



Techniques de production en oléiculture



Techniques
de production
en **oléiculture**

TECHNIQUES DE PRODUCTION EN OLÉICULTURE

© **Conseil oléicole international, 2007**

Príncipe de Vergara, 154

28002 Madrid (Espagne)

Tél. : (34) 915 903 638

Fax : (34) 915 631 263

E-mail : iooc@internationaloliveoil.org

Première édition : 2007

ISBN : 978-84-931663-8-0

Dépôt légal : M-40802-2007

Impression : Artegraf, S.A.

Imprimé en Espagne

Techniques de production en oléiculture



CONSEIL OLÉICOLE INTERNATIONAL

L'équipe scientifique désignée pour la réalisation de cette publication, sous la direction du Secrétariat exécutif du COI, est constituée de chercheurs de prestige reconnu au niveau international. Grâce à leur travail important, ces personnes ont fait de cet ouvrage une réalité.

***Agostino Tombesi et Sergio Tombesi**

**Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali
Università degli Studi
Borgo 20 Giugno, 74
06121 Perugia (Italie)*

Riccardo d'Andria et Antonella Lavini

*CNR-Istituto per i Sistemi Agricoli e Forestali del
Mediterraneo (CNR-ISAFoM)
Via Patacca 85,
80056 Ercolano, Napoli (Italie)*

M^a Milagros Saavedra Saavedra

*CIFA Alameda del Obispo
IFAPA-CICE- Junta de Andalucía
Apdo. 3092
14080 Córdoba (Espagne)*

Taïeb Jardak

*Avec la contribution de Mohamed Ali Triki,
Ali Rhouma et Mohieddine Ksantini
Institut de l'Olivier
B. P. 1087
3000 Sfax (Tunisie)*

Ricardo Fernández-Escobar

*Departamento de Agronomía
Universidad de Córdoba
Campus de Rabanales, Edificio C4
Carretera de Madrid, km. 396
14071 Córdoba (Espagne)*

Coordination :

Mohammed Ouhmad Sbitri

Chef de la Division Technique (COI)

Francesco Serafini

Chef du Département de l'Environnement (COI)

Table des matières

Table des matières



I. CONCEPTION ET INSTALLATION DE L'OLIVERAIE

1.1. INTRODUCTION.....	17
1.2. BASES PHYSIOLOGIQUES.....	18
1.3. BASES ÉCONOMIQUES.....	20
1.4. OBJECTIFS ET CARACTÉRISTIQUES DE L'OLIVERAIE.....	20
1.5. ZONES À VOCATION OLÉICOLE.....	23
1.5.1. Climat.....	23
1.5.2. Sol.....	23
1.6. CHOIX DE LA DENSITÉ ET DES SCHÉMAS DE PLANTATION.....	26
1.6.1 Plantations superintensives.....	29
1.7. CHOIX DES VARIÉTÉS.....	29
1.7.1. Floraison et pollinisateurs.....	30
1.7.2. Maturation des fruits et période optimale de récolte.....	32
1.8. TECHNIQUES DE PLANTATION.....	32
1.8.1. Opérations préliminaires.....	32
1.8.2. Défoncement.....	33
1.8.3. Contrôle des adventices.....	34
1.8.4. Plantation.....	34
1.8.4.1. Plantation dans les exploitations superintensives.....	36
1.8.5. Opérations postérieures.....	36
1.9. RÉNOVATION DES OLIVERAIES PEU PRODUCTIVES.....	39
1.10. SYNTHÈSE ET RECOMMANDATIONS.....	39
BIBLIOGRAPHIE.....	40

2. TAILLE DE L'OLIVIER ET FORMES DE CONDUITE

2.1. INTRODUCTION.....	45
2.2. EFFETS DE LA TAILLE.....	45
2.2.1 Taille et exposition des feuilles à la lumière.....	46
2.2.2 Taille, croissance des pousses et augmentation des réserves nutritives.....	47
2.2.3 Taille et fructification.....	47
2.3. OBJECTIFS DE LA TAILLE ET CARACTÉRISTIQUES DE L'OLIVERAIE.....	48
2.4. TAILLE, RÉSISTANCE AU FROID ET ÉTAT SANITAIRE DE L'ARBRE.....	49
2.5. PRODUCTION VÉGÉTATIVE.....	49



2.6. OPÉRATIONS DE TAILLE.....	50
2.6.1. Suppression et rabattage des branches.....	50
2.6.2. Suppression et rabattage des rameaux.....	50
2.6.3. Inclinaison et courbure.....	51
2.6.4. Incision annulaire.....	51
2.6.5. Pincement.....	52
2.6.6. Ravalement.....	52
2.6.7. Rabattage.....	52
2.6.8. Élimination des caries.....	53
2.6.9. Dimensions des rameaux les plus efficaces.....	53
2.7. SYNTHÈSE DES ACTIONS RÉSULTANT DE LA TAILLE ET PRINCIPAUX OBJECTIFS.....	53
2.8. ÉPOQUE DE TAILLE ET MODALITÉS D'EXÉCUTION DES COUPES.....	54
2.9. TAILLE DE FORMATION.....	54
2.10. TAILLE DE FRUCTIFICATION.....	57
2.11. INTENSITÉ ET PÉRIODICITÉ DE LA TAILLE.....	60
2.12. FORMES DE CONDUITE.....	64
2.12.1. Gobelet.....	64
2.12.2. Globe.....	66
2.12.3. Monocône.....	66
2.12.4. Axe vertical.....	67
2.12.5. Systèmes superintensifs en haie.....	67
2.12.6. Palmette.....	68
2.13. CRITÈRES DU CHOIX DE LA TAILLE ET DU MODE DE CONDUITE.....	68
2.14. GOBELET LIBRE : LA FORME LA PLUS DIFFUSÉE.....	70
2.15. TAILLE D'ADAPTATION À LA RÉCOLTE MÉCANIQUE.....	70
2.16. TAILLE DE RÉNOVATION.....	71
2.17. TAILLE DES ARBRES FRAPPÉS PAR LE GEL.....	72
2.17.1. Manifestations les plus fréquentes des dégâts provoqués par le gel.....	72
2.17.2. Méthodes de récupération.....	74
2.18. INSTRUMENTS POUR L'EXÉCUTION DES COUPES.....	76
2.19. TAILLE MÉCANISÉE.....	76
2.20. GESTION DU BOIS DE LA TAILLE.....	78
2.21. CONCLUSIONS.....	78
2.22. RÉFÉRENCES IMPORTANTES ET RECOMMANDATIONS.....	79
BIBLIOGRAPHIE.....	80

3. CONDUITE DU TERRAIN OLÉICOLE

3.1. INTRODUCTION.....	85
3.2. ÉROSION ET DÉGRADATION DU SOL.....	87
3.2.1. Importance du sol.....	87
3.2.2. Taux de formation et de perte de terrain.....	87
3.2.3. Développement des processus d'érosion.....	88
Facteurs intervenant dans l'érosion : vitesse d'infiltration et d'écoulement.....	89
Différences entre le dessous de la frondaison de l'olivier et le milieu des rangées de plantation.....	90
3.3. BILAN HYDRIQUE ET NUTRIMENTS.....	91
Conservation de l'eau dans le sol : évaporation et transpiration.....	91
Nutriments et rôle de la matière organique.....	92

3.4. FLORE DE L'OLIVERAIE (ADVENTICES).....	93
3.4.1. Inconvénients des adventices.....	93
3.4.2. Avantages des adventices.....	95
3.4.3. Caractéristiques de la flore de l'oliveraie méditerranéenne.....	95
3.4.4. Évolution de la flore.....	96
Adaptation des espèces à chaque système de culture.....	96
Flore de printemps-été.....	97
Tolérance et résistance aux herbicides.....	97
Concurrence entre espèces.....	98
3.5. SYSTÈMES DE CULTURE : EFFETS SUR L'ÉROSION, LA CONTAMINATION, LES HERBES, LA MATIÈRE ORGANIQUE ET LE CO ₂	98
3.5.1. Labour.....	99
3.5.2. Non labour sur sol nu.....	101
3.5.3. Couvertures inertes.....	102
3.5.4. Couvertures de restes végétaux.....	103
3.5.5. Couvertures végétales vivantes.....	103
3.6. TECHNIQUES DE CONDUITE DES COUVERTURES VÉGÉTALES VIVANTES.....	104
Rotation des espèces de couverture.....	108
3.7. TECHNIQUES POUR LE CONTRÔLE DE L'ÉROSION ET DU RUISSELLEMENT, COMPLÉMENTAIRES AU SYSTÈME DE CONDUITE.....	108
Installation des plantations et des réseaux d'irrigation.....	108
Drainages.....	109
Talus de terre.....	109
Terrasses.....	109
Gradins et digues.....	109
Mares.....	110
Tranchées.....	110
Couverture des sillons, des ravines et des bords des cuvettes.....	111
Correction des ravines.....	111
Décompactage des ornières.....	112
Sous-solage perpendiculaire à l'inclinaison de la pente.....	112
Géotextiles.....	112
Amendements.....	112
3.8. RÉSUMÉ.....	113
3.8.1. Pratiques antérieures à la plantation et à l'installation des plantations.....	113
3.8.2. CONDUITE DU SOL APRÈS L'INSTALLATION.....	113
Au milieu des rangées.....	113
Sous la frondaison des oliviers.....	114
Utilisation d'herbicides.....	114
BIBLIOGRAPHIE.....	114

4. EMPLOI DES HERBICIDES

4.1. INTRODUCTION.....	119
4.2. CONCEPT D'HERBICIDE.....	119
4.3. PRINCIPALES MATIÈRES ACTIVES.....	121
4.4. RISQUES DE L'EMPLOI DES HERBICIDES.....	124
4.4.1. Risques pour l'utilisateur.....	125



4.4.2. Risques environnementaux	125
4.4.3. Risques pour l'agrosystème	126
4.4.4. Risques pour la culture et la production	126
4.4.5. Cas spécifiques de risques	127
Manipulation à proximité des cours d'eau et des puits	127
Pratiques de culture inadéquates	127
Arbres jeunes	127
Situations climatiques particulières : sécheresse - excès d'humidité	127
Sol mouillé	127
Sols sableux et pauvres en matière organique	128
Températures élevées	128
Herbicides très persistants - phytotoxicité à long terme	128
Emballages des produits commerciaux	128
4.5. MACHINES POUR L'APPLICATION DES HERBICIDES	128
Caractéristiques et éléments d'un pulvérisateur à traction mécanique	129
Pompe	130
Rampe porte-buses	130
Buses	131
Débit des buses et filtres	131
Distribution du débit	133
Identification des buses	133
Taille de la gouttelette, dérive et pression	133
Disposition des buses sur la rampe de pulvérisation	134
Vitesse d'avancement dans la pulvérisation	135
4.6. CALIBRAGE DU PULVÉRISATEUR D'HERBICIDES	136
Paramètres de calibrage	137
Réglage de la machine	137
Modalités de traitement	137
Nettoyage et entretien de l'équipement	138
Remplacement des filtres et des buses	138
4.7. PISTOLETS DE PULVÉRISATION	138
4.8. ÉLÉMENTS DE SÉCURITÉ	139
4.9. RÉSUMÉ DES ÉTAPES À SUIVRE DANS L'APPLICATION DES HERBICIDES	139
BIBLIOGRAPHIE	140

5. FERTILISATION

5.1. INTRODUCTION	145
5.2. IDENTIFICATION DES BESOINS NUTRITIFS	146
5.2.1. Échantillonnage des feuilles	147
5.2.2. Analyse de la fertilité du sol	149
5.2.3. Échantillonnage du sol	149
5.2.4. Interprétation de l'analyse de la fertilité du sol	150
5.3. ÉTABLISSEMENT DU PLAN ANNUEL DE FERTILISATION	152
5.4. CORRECTION DES CARENCES NUTRITIVES	153
5.4.1. Azote	153
5.4.2. Potassium	155
5.4.3. Fer	156
5.4.4. Bore	156

5.4.5. Calcium.....	157
5.4.6. Autres nutriments.....	157
5.5. APPLICATION DES FERTILISANTS.....	157
5.5.1. Application au sol.....	158
5.5.1.1. Fertigation.....	158
5.5.2. Fertilisation foliaire.....	159
5.5.2.1. Facteurs affectant l'absorption des nutriments par la feuille.....	160
5.5.3. Injections dans le tronc des arbres.....	161
5.6. RÉSUMÉ.....	162
Pratiques obligatoires.....	162
Pratiques recommandées.....	163
Pratiques non recommandées ou interdites.....	163
BIBLIOGRAPHIE.....	164

6. IRRIGATION

6.1. INTRODUCTION.....	169
6.2. BESOINS HYDRIQUES.....	170
6.2.1. Disponibilité hydrique adéquate.....	170
6.2.2. Disponibilité d'eau dans le sol.....	171
6.2.3. Climat et évapotranspiration.....	175
6.2.4. Calcul des besoins hydriques de l'olivier (ETM) à partir de kc expérimentaux.....	178
6.2.5. Calculs des besoins hydriques de l'olivier (ETM) à partir de kc calculés.....	179
6.3. BILAN HYDRIQUE DU SOL ET ESTIMATION DES DOSES D'IRRIGATION.....	182
6.3.1. Programmation de l'irrigation.....	182
6.3.2. Irrigation en condition de déficit.....	188
6.4. IRRIGATION LOCALISÉE.....	189
6.4.1. Caractéristiques des systèmes d'irrigation localisée.....	190
6.4.2. Caractéristiques des organes de distribution.....	191
6.4.3. Nombre et position des organes de distribution.....	195
6.4.4. Irrigation souterraine.....	197
6.5. QUALITÉ DE L'EAU.....	198
6.5.1. Traitement de l'eau.....	201
6.5.2. Irrigation avec de l'eau saline.....	204
CONCLUSIONS.....	207
RÉSUMÉ.....	209
BIBLIOGRAPHIE.....	209

7. PROTECTION PHYTOSANITAIRE

7.1. INTRODUCTION.....	215
7.2. PRINCIPALES ESPÈCES NUISIBLES.....	217
7.2.1. Position systématique, répartition géographique et organes attaqués.....	217
7.2.2. Clés de reconnaissance et d'identification des principales espèces nuisibles.....	224
7.3. STRATÉGIES DE PROTECTION.....	230
7.3.1. Lutte chimique aveugle.....	230
7.3.2. Lutte chimique conseillée.....	230
7.3.3. Lutte dirigée.....	231



7.3.4. Lutte intégrée.....	231
7.3.5. Production intégrée.....	231
7.4. PROTECTION INTÉGRÉE DE L'OLIVIER DANS LE CONTEXTE D'UNE AGRICULTURE DURABLE.....	232
7.4.1. Objectifs.....	232
7.4.2. Principaux éléments de base.....	232
7.4.2.1. Mesures prophylactiques ou préventives.....	232
7.4.2.2. Surveillance des populations nuisibles, prévision et estimation du risque de dégâts.....	234
7.4.2.3. Moyens de lutte directe.....	235
7.4.3. Principales espèces nuisibles et méthodes de lutte recommandées.....	238
7.4.3.1. Ravageurs animaux.....	238
Ordre des Diptères.....	238
Mouche de l'olive : <i>Bactrocera oleae</i> Gmel (Diptera, F. Trypetidae).....	238
Cécidomyies (Diptera, Cecidomyiidae) : <i>Dasineura oleae</i> F. LOEW.....	242
<i>Resseliella oleisuga</i> Targioni - Tozzeti.....	244
Ordre des Lépidoptères.....	247
Teigne de l'olivier : <i>Prays oleae</i> Bern. (Lepidoptera, F. Hyponomeutidae).....	247
Zeuzère : <i>Zeuzera pyrina</i> L. (Lepidoptera, F. Cossidae).....	251
Pyrale de l'olivier : <i>Euzophera pinguis</i> HAW. (Lepidoptera, F. Pyralidae).....	255
Pyrale du jasmin : <i>Margaronia unionalis</i> HÜBN. (Lepidoptera, F. Pyralidae).....	258
Ordre des Homoptères.....	261
Cochenille noire : <i>Saissetia oleae</i> Olivier (Homoptera, F. Coccidae).....	261
Cochenille blanche : <i>Aspidiotus nerii</i> Bouché (A. <i>Hederae</i> Vallot) (Homoptera, Diaspididae).....	265
Psylle de l'olivier : <i>Euphyllura olivina</i> Costa (Homoptera, F. Aphalaridae).....	268
Ordre des Coléoptères.....	272
Hylésine : <i>Hylesinus oleiperda</i> Fabr. (Coleoptera, F. Scolytidae).....	272
Neïroun : <i>Phloeotribus scarabaeoïdes</i> Bern. (Coleoptera, Scolytidae).....	276
Otiorrhynche : <i>Otiorrhynchus cribricollis</i> GYLL. (Coleoptera, Curculionidae).....	280
Ordre des Acarina.....	283
Acarïens ériophyïdes (Acarina, F. Eriophyidae).....	283
7.4.3.2. Maladies.....	287
Œil de paon : <i>Spilocaea oleagina</i> (= <i>Cyloconium oleaginum</i> Cast.).....	287
Verticilliose de l'olivier : <i>Verticillium dahliae</i> Kleb.....	289
Cercosporiose de l'olivier : <i>Cercospora cladosporioides</i> SACC.....	291
Momification de l'olive : <i>Gloeosporium olivarum</i> ALM ; <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> (forme télomorphe : <i>Glomerella cingulata</i> (Stoneman) Spaulding et Schrenk).....	292
Lèpre de l'olive : <i>Sphaeropsis dalmatica</i> (Thüm., Berl. Morettini) = <i>Macrophoma dalmatica</i> (Thüm.) Berl. & Vogl.....	293
Champignons responsables de la pourriture des racines : <i>Armillaria mellea</i> ; <i>Macrophomina phaseoli</i> (= <i>Rhizoctonia bataticola</i>) ; <i>Fusarium oxysporum</i> , <i>Fusarium</i> <i>solani</i> , <i>Phytophthora</i> sp. <i>Sclerotium rolfsii</i> , <i>Corticium solani</i> , <i>Rosellina necatrix</i>	295
Tuberculose de l'olivier : <i>Pseudomonas savastanoi</i> pv. <i>Savastanoi</i> (Smith).....	297
(= <i>P. syringae</i> pv. <i>Savastanoi</i>).....	
Galle du collet : <i>Agrobacterium tumefaciens</i> (Smith et Toswmsend).....	299
7.4.3.3. Synthèse des bonnes pratiques de protection phytosanitaire en oléiculture....	301
BIBLIOGRAPHIE.....	310

8. RÉCOLTE MÉCANISÉE DES OLIVES

8.1. INTRODUCTION.....	317
8.2. LA MÉCANISATION COMME OUTIL DE DÉVELOPPEMENT DE L'OLÉICULTURE.....	319
8.3. PÉRIODE OPTIMALE DE RÉCOLTE	319
8.3.1. Définition en temps réel du début de la récolte.....	327
8.4. MÉCANISATION DE LA RÉCOLTE	327
8.4.1. Détachement des fruits.....	327
8.4.2. Types de machines par catégorie.....	328
8.4.2.1. Outils mécaniques d'aide à la récolte	328
8.4.2.2. Gaules mécaniques.....	329
8.4.2.3. Vibreurs de tronc.....	330
8.4.2.4. Récolteuses.....	331
8.5. RÉCEPTION DU PRODUIT ET EFFICACITÉ DE LA RÉCOLTE	332
8.5.1. Outils mécaniques d'aide à la récolte et filets.....	333
8.5.2. Gaules mécaniques et filets.....	333
8.5.3. Vibreurs de tronc et réception du produit.....	334
8.5.4. Récolteuses.....	336
8.6. FACTEURS AGRONOMIQUES	337
8.6.1. Productivité.....	337
8.6.2. Point d'attache	337
8.6.3. Volume de frondaison	337
8.6.4. Densité de plantation	338
8.6.5. Formes de conduite.....	338
8.6.6. Taille du fruit.....	338
8.6.7. Résistance au détachement.....	338
8.6.8. Variété.....	338
8.6.9. Âge de l'arbre.....	339
8.6.10. Terrain	339
8.7. DÉGÂTS PROVOQUÉS PAR LES MACHINES.....	339
8.8. TRANSMISSION DE LA VIBRATION À L'ARBRE.....	340
8.9. OPTIONS CHOISIES PAR LES AGRICULTEURS	340
8.10. RÉCOLTE AU SOL.....	342
8.11. EMPLOI DE PRODUITS FAVORISANT L'ABSCISSION	343
8.12. RÉCOLTE DES OLIVES DE TABLE	343
8.13. CONCLUSIONS	344
8.14. POINTS FONDAMENTAUX DE LA RÉCOLTE MÉCANISÉE DES OLIVES.....	345
BIBLIOGRAPHIE.....	346

Préface

Préface



Les profondes mutations dans les domaines technologique, économique et social que nous observons dans tous les pays du monde ont poussé les agriculteurs à s'adapter à cette nouvelle situation. Les oléiculteurs ne font pas l'exception et pour les accompagner dans leur effort de modernisation, le COI met à leur disposition cet ouvrage intitulé « Techniques de production en oléiculture », qui est le fruit d'un travail de longue haleine d'un groupe d'experts des pays membres du COI spécialisés dans l'oléiculture.

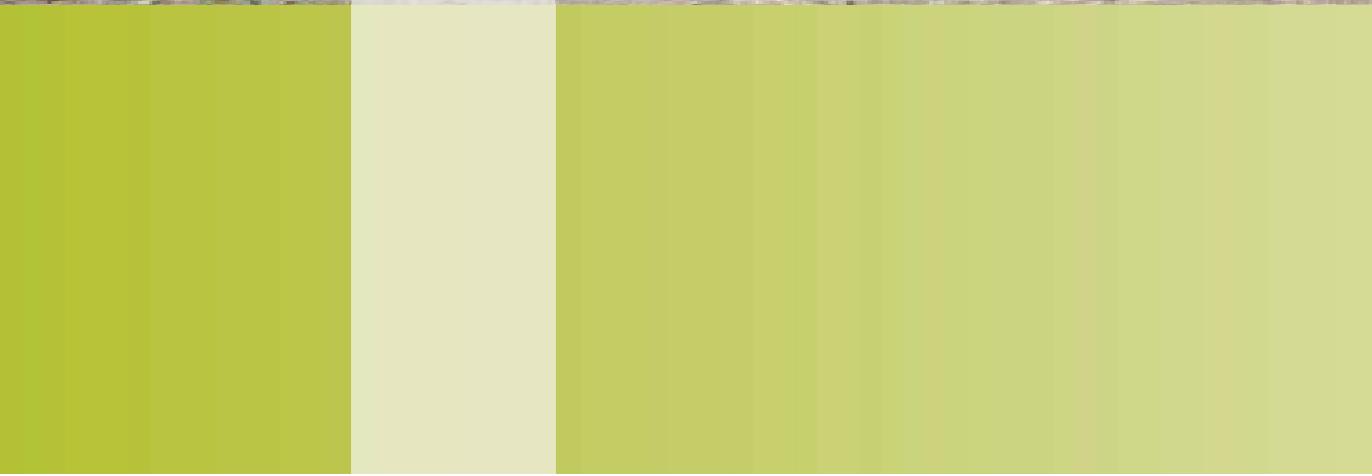
L'objectif principal de cette publication, qui est destinée aux techniciens, aux producteurs et aux formateurs, est de permettre d'accroître la productivité du secteur oléicole en offrant des produits de qualité qui sont de plus en plus demandés par les consommateurs, tout en respectant en même temps l'environnement.

Les thèmes traités dans ce livre couvrent les techniques de production, et notamment la plantation - y compris en super-intensif -, les techniques de taille, la conduite du terrain, l'emploi des herbicides, la fertilisation, les systèmes d'irrigation, la protection phytosanitaire et la récolte.

J'espère que les lecteurs de cet ouvrage y trouveront des solutions claires et précises à toutes les difficultés qu'ils pourraient rencontrer dans l'accomplissement de leur tâche quotidienne.

Directeur exécutif du
Conseil oléicole international

Habib Essid





Conception et installation de l'oliveraie

*Agostino Tombesi et Sergio Tombesi
*Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali
Università degli Studi
Borgo 20 Giugno, 74
06121 Perugia (Italie)

SOMMAIRE

- I.1. INTRODUCTION
 - I.2. BASES PHYSIOLOGIQUES
 - I.3. BASES ÉCONOMIQUES
 - I.4. OBJECTIFS ET CARACTÉRISTIQUES DE L'OLIVERAIE
 - I.5. ZONES À VOCATION OLÉICOLE
 - I.5.1. Climat
 - I.5.2. Sol
 - I.6. CHOIX DE LA DENSITÉ ET DES SCHÉMAS DE PLANTATION
 - I.6.1. Plantations superintensives
 - I.7. CHOIX DES VARIÉTÉS
 - I.7.1. Floraison et pollinisateurs
 - I.7.2. Maturation des fruits et période optimale de récolte
 - I.8. TECHNIQUES DE PLANTATION
 - I.8.1. Opérations préliminaires
 - I.8.2. Défoncement
 - I.8.3. Contrôle des adventices
 - I.8.4. Plantation
 - I.8.4.1. Plantation dans les exploitations superintensives
 - I.8.5. Opérations postérieures
 - I.9. RÉNOVATION DES OLIVERAIES PEU PRODUCTIVES
 - I.10. SYNTHÈSE ET RECOMMANDATIONS
- BIBLIOGRAPHIE

I. Conception et installation de l'oliveraie



installation de l'oliveraie

I.1. INTRODUCTION

Dans certaines situations, il s'avère nécessaire de procéder à l'installation de nouvelles plantations (Figure 1) :

- 1) Pour rénover des oliveraies obsolètes qui ne répondent plus aux techniques de culture en raison de l'âge avancé des arbres ou de l'ampleur des zones dévitalisées du tronc.
- 2) En raison d'une altération des conditions de fertilité du sol, suite à la réduction de l'oxygène, des éléments fertilisants et de l'eau disponibles, qui rend difficile le développement et la fonctionnalité du système racinaire.
- 3) En raison de la réduction de la densité de la plantation suite à la mort d'arbres provoquée par des dégâts produits par les gelées ou par la présence de maladies ou de ravageurs.



Figure 1. Renouvellement des oliveraies pour les rendre plus efficaces.



Figure 2. Une gestion rationnelle permet une oléiculture plus compétitive.

- 4) Pour remplacer des oliveraies plantées sur des terrains caractérisés par une pente excessive ou dans des zones présentant des risques de gelée, de sécheresse ou d'inondation.
- 5) Pour adapter les oliveraies à des systèmes efficaces de mécanisation (récolte) (Figure 2).
- 6) Pour faire correspondre le choix variétal aux cahiers des charges des dénominations d'origine (DOP, DOC, IGP) ou pour adapter les oliveraies aux conditions nécessaires pour la pollinisation ou aux équipements utilisés pour la récolte.
- 7) Pour augmenter la production et satisfaire la demande croissante du produit.

Les facteurs suivants encouragent l'installation de nouvelles plantations :

- 1) Les bonnes perspectives économiques de l'oléiculture dans de nombreux pays et au niveau mondial.
- 2) La disponibilité de moyens efficaces et relativement bon marché pour la préparation du terrain.



- 3) La facilité d'obtention d'oliviers pour leur plantation (Figure 3).
- 4) La croissance rapide des arbres et la fructification précoce.

L'installation de nouvelles plantations sera donc l'une des interventions les plus requises dans un avenir proche et celle qui permettra le mieux d'augmenter la production et de mécaniser la culture.

Au moment de concevoir la plantation, on considérera en priorité les aspects liés à la gestion économique de l'oliveraie. L'exploitation devra en effet être gérée dans l'objectif d'obtenir une production abondante au moyen de pratiques culturales bon marché. Il est possible d'obtenir une production élevée dans le cadre d'un modèle d'oliveraie permettant d'optimiser les facteurs qui conditionnent les processus physiologiques de la production tout en réduisant les coûts de production grâce à la mécanisation, en particulier en ce qui concerne les opérations de récolte.



Figure 3. Plants bien développés et formés de manière rationnelle prêts à être plantés.

L'autre objectif important est la production d'huile et d'olives de qualité.

Les options retenues en ce qui concerne la plantation, ajoutées à celles relatives aux modes de conduite et aux techniques de gestion de l'oliveraie, doivent tenir compte des bases physiologiques et économiques qui caractérisent la culture de l'olivier.

1.2. BASES PHYSIOLOGIQUES

Les processus les plus importants du cycle de production de l'olivier sont l'activité du système racinaire, la synthèse des hydrates de carbone, la différenciation des bourgeons à fleurs et le développement des fruits (Figure 4).

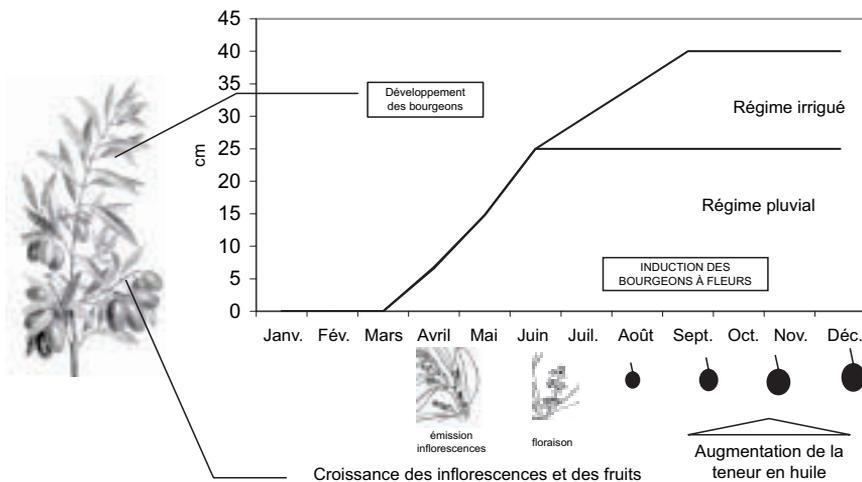


Figure 4. Cycle biennal de fructification de l'olivier avec les périodes de croissance des pousses, fleurs et fruits.

Le système racinaire se développe et absorbe de l'eau et des nutriments en métabolisant les substances nutritives que la frondaison met à sa disposition. Pour assumer au mieux ces fonctions, le système racinaire a besoin d'un grand volume de terrain à explorer, contenant de l'oxygène, de l'eau et des éléments nutritifs assimilables.

La synthèse des hydrates de carbone par l'appareil foliaire se produit lorsque sont réunies des conditions de températures optimales, de 20-30°C, et d'intensités de lumière supérieures au point de compensation, de 20-30 $\mu\text{moles de photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ et 600-1 000 μmoles , au-delà desquelles la photosynthèse reste constante (Figures 5 et 6).

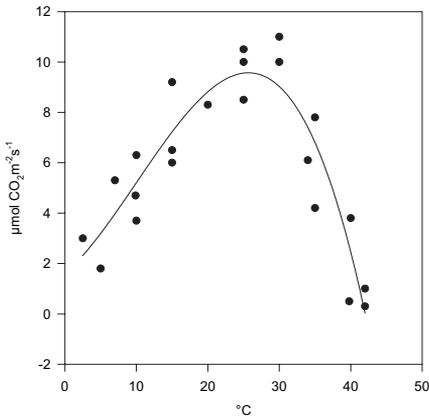


Figure 5. Évolution de la photosynthèse des feuilles du cultivar Maurino selon la température.

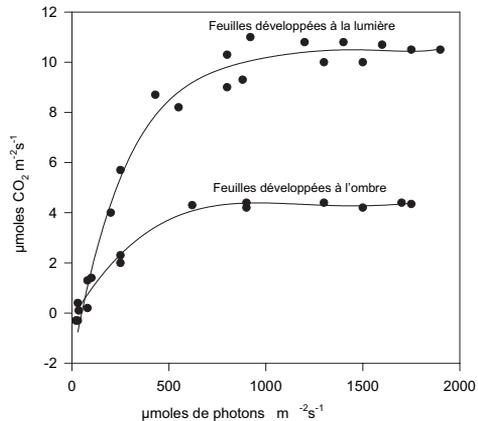


Figure 6. Influence des conditions de développement de la feuille et de l'intensité de la lumière sur la photosynthèse.

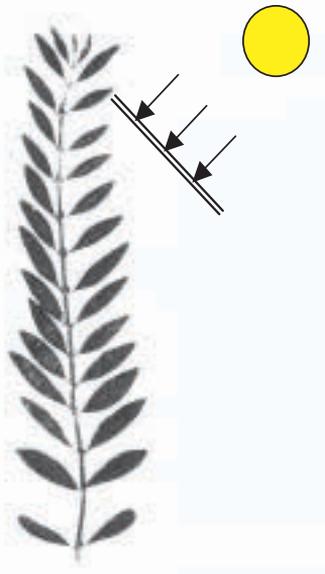


Figure 7. Grâce à leur position, les feuilles situées sur un rameau bien éclairé (1 600 $\mu\text{moles de photons}$) reçoivent une exposition moyenne de lumière de 900-1 000 $\mu\text{moles de photons}$.

Néanmoins, en raison de l'inclinaison et de l'orientation, seules les feuilles des pousses exposées au soleil (1 600 $\mu\text{moles de photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$) reçoivent une intensité de lumière équivalente aux niveaux de saturation (Figure 7) et le bilan photosynthétique des feuilles situées à l'ombre à l'intérieur de la frondaison ou à l'ombre des frondaisons des arbres plantés à proximité peut s'avérer négatif pendant une grande partie de la journée.

La photosynthèse est également affectée négativement dans des conditions de stress hydrique ou de stress thermique et par les attaques des ravageurs (Figure 8).

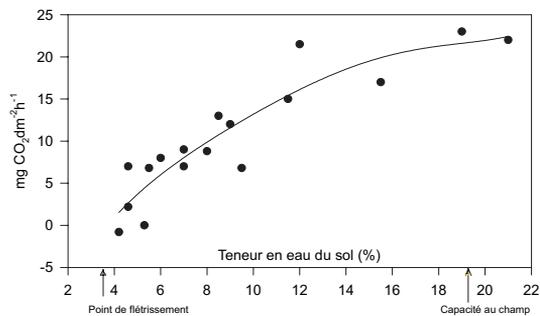


Figure 8. Influence de l'humidité du sol sur la photosynthèse des feuilles de l'olivier.



Les tissus de la plante utilisent une partie des assimilats pour la croissance annuelle et pour la respiration ; le reste des assimilats est stocké dans les organes d'accumulation (fruits et tissus de réserve).

Une photosynthèse active de la frondaison de l'arbre favorise la différenciation des bourgeons à fleur, la nouaison et la croissance des fruits, alors que l'ombre des feuilles les inhibe (Figure 9).

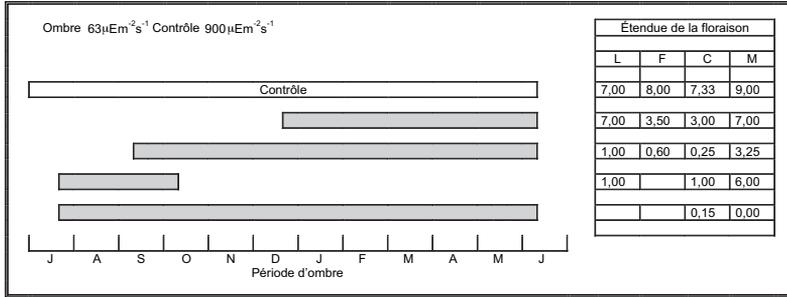


Figure 9. Formation des fleurs des variétés Leccino (L), Frantoio (F), Coratina (C) et Maurino (M) dans différentes conditions de lumière

1.3. BASES ÉCONOMIQUES

La culture de l'olivier doit tendre vers des productions de qualité et une réduction drastique de la main-d'œuvre ; c'est pourquoi la mécanisation des pratiques culturales, et en particulier de la récolte, est une condition indispensable (Figure 10). Les vibreurs de tronc, qui sont actuellement les systèmes de référence pour la mécanisation de la récolte, exigent des arbres de taille moyenne avec des troncs d'au moins un mètre et des frondaisons dépourvues de branches tombantes et



Figure 10. La mécanisation de la récolte est une priorité dans les nouvelles oliveraies.

concentrant la production dans la zone intermédiaire à élevée. Les oliveraies doivent également avoir une densité adéquate et être plantées sur des terrains dont la pente n'est pas excessive. Elles doivent faciliter les différentes pratiques de culture telles que le labour, la fertilisation, l'irrigation et la taille (cette dernière intervention devant être conçue dans un esprit d'économie puisqu'elle représente 10 à 20 % du total de l'ensemble des pratiques : elle doit donc être facile à réaliser, rapide et peu onéreuse).

1.4. OBJECTIFS ET CARACTÉRISTIQUES DE L'OLIVERAIE

Compte tenu des progrès techniques et scientifiques réalisés, l'objectif consistera à réunir les conditions les plus favorables à l'élaboration d'une nouvelle oliveraie, productive et compétitive en termes de coûts de gestion, dans laquelle pourront être appliquées des techniques suffisamment vérifiées au niveau expérimental afin de garantir le plus haut degré de fiabilité (Figure 11).



Figure 11. Oliveraie située dans une zone adéquate et compétitive en termes de production et de coûts de gestion.

L'un des aspects les plus critiques de la phase de production est la récolte, en raison de ses coûts élevés si elle est effectuée à la main. L'alternative est la mécanisation. Les vibreurs de tronc ont prouvé qu'ils constituaient un système efficace et peu onéreux bien qu'ils exigent que l'arbre réponde à certaines conditions. L'une des conditions fondamentales réside dans le volume de la frondaison (I).

(I) $V = \pi/4 \cdot d^2 \cdot h$ où V = volume de la frondaison, d = diamètre de la frondaison, h = hauteur de la frondaison, $\pi = 3,14$.

Avec une frondaison d'environ 30-40 m^3 , on obtient des résultats très satisfaisants ; lorsqu'elle atteint 50 m^3 , si les résultats restent bons, il sera toutefois nécessaire de mieux choisir les autres facteurs comme la variété, l'époque de récolte et la puissance des vibreurs. Ainsi, au moment d'élaborer les plans d'une nouvelle oliveraie, le volume de la frondaison devra être l'élément de référence : on définira aussi bien sa largeur que sa hauteur compte tenu des aspects physiologiques de l'arbre et de leur mode de gestion (Figure 12).

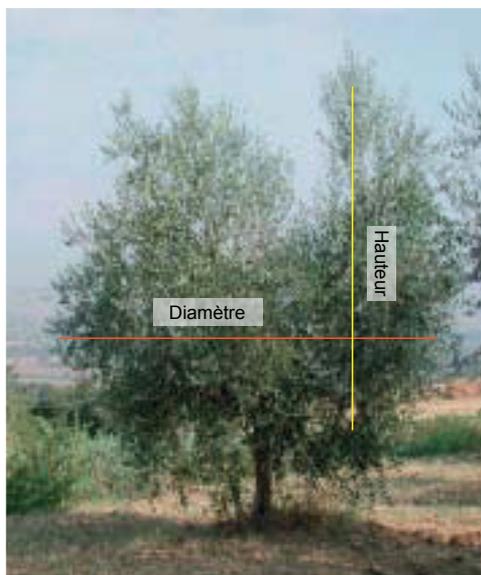


Figure 12. Détermination du volume cylindrique à partir du diamètre et de la hauteur.

Aspects physiologiques de l'arbre et de leur mode de gestion (Figure 12).

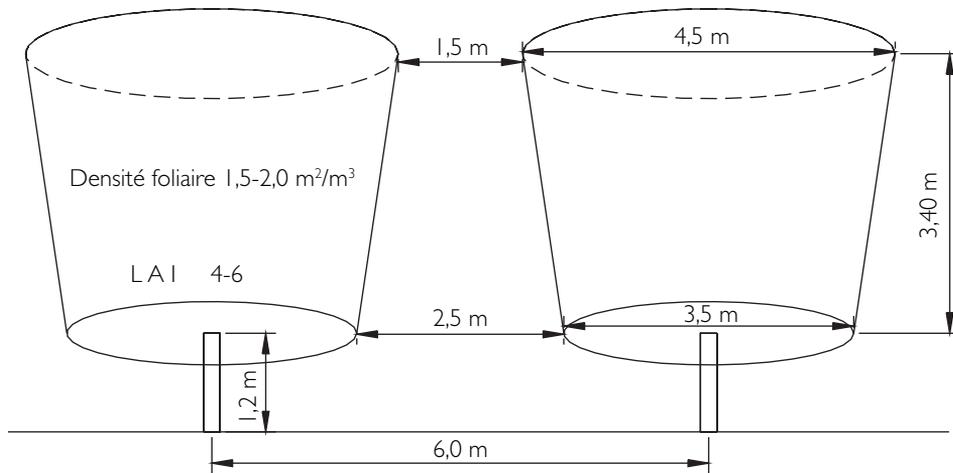


Figure 13. Dimensions de l'arbre pour une densité de 278 arbres/ha et un volume de frondaison de 12 000 m³.

La première condition est de s'assurer que la frondaison reçoit la plus grande quantité d'énergie solaire possible, ce qui est possible en favorisant l'expansion de la frondaison et en laissant un espace suffisant par rapport à la frondaison des arbres voisins pour éviter qu'ils ne se fassent de l'ombre réciproquement.

Autre condition : il convient de limiter la hauteur de la frondaison pour éviter d'avoir un squelette trop volumineux et caractérisé par un volume excessif de branches qui consomment de l'énergie pour leur entretien et leur croissance annuelle. En outre, une frondaison d'une hauteur raisonnable est plus accessible pour les opérations de taille, les traitements phytosanitaires et la récolte à la main ou au moyen de vibreurs de tronc ou d'autres équipements.

Troisième condition : la superficie foliaire de la frondaison doit permettre la plus grande synthèse possible d'hydrates de carbone.

La fonctionnalité de la frondaison dépend également des ressources hydriques et nutritionnelles que le sol, le climat et les techniques de culture mettent à la disposition de l'arbre, c'est-à-dire les ressources présentes de manière naturelle dans l'environnement ou celles apportées au moyen de la fertilisation et de l'irrigation. Le volume des arbres, avec une densité foliaire donnée par hectare, est étroitement lié à la pluviométrie de la zone. Dans des environnements arides, comme dans certaines zones de Tunisie, avec des précipitations annuelles de 250 mm, on peut trouver des volumes de 3 000 m³. En Andalousie, avec des précipitations de 600 mm, on peut obtenir entre 8 000 et 10 000 m³ par hectare alors que dans le centre de l'Italie, où les précipitations sont de 850 mm, il est possible d'atteindre 11 000-12 000 m³ par hectare, toujours en régime pluvial. Dans les oliveraies irriguées, les volumes maximaux de nombreuses zones du bassin Méditerranéen se situent autour de 13 000-15 000 m³. Si l'on suppose un volume de frondaison par hectare de 12 000 m³, et 278 arbres pour un cadre de 6 x 6 m, le volume par arbre est de 43 m³, ce qui s'inscrit dans les intervalles adaptés aux vibreurs de tronc, même s'ils sont d'une certaine puissance. La taille de l'arbre s'ajuste aux critères imposés par les conditions environnementales et par les caractéristiques de vigueur d'une grande partie des variétés cultivées. En réalité, il est important que chaque variété puisse développer sa frondaison en fonction de la vigueur déterminée par ses caractéristiques génétiques et par les conditions de climat et de sol dans lesquelles elle est cultivée. Dans ce cas, on aura recours à la taille pour sélectionner les branches les plus efficaces et pour conserver la forme de l'arbre sans modifier excessivement son équilibre végétatif et productif.

Une fois le volume de référence défini, il convient d'établir le développement en largeur et en hauteur de la frondaison (Figure 13). Le développement en largeur, qui est nécessaire pour intercepter le maximum d'énergie solaire, est lié à la hauteur. Si l'on considère une hauteur de frondaison de 3,4 m, la surface maximale d'expansion de la frondaison sera de 15,9 m², ce qui équivaut à un diamètre de 4,5 m, et une distance jusqu'à la frondaison des arbres voisins de 1,5-2,5 m, ce qui est tout juste suffisant pour permettre la circulation des machines pour la récolte et pour éviter des phénomènes d'ombre durant la journée. La hauteur maximale de 3,4 m constitue donc une bonne référence car elle permet une distribution adéquate des feuilles, avec une densité de 1,6-2 m² de feuilles par m³ de frondaison, et une surface foliaire (LAI) maximale de 6, considérée optimale en oléiculture au terme de la période végétative pour obtenir des productions abondantes. De même, une hauteur de frondaison d'environ 3,4 m facilite l'accès pour les opérations de taille et de récolte et les traitements phytosanitaires. Dans ces conditions, les parties inférieures de la frondaison reçoivent également un éclairage suffisant, supérieur de 10-15 % par rapport à celui que reçoit le sommet de la frondaison, ce qui garantit une fonctionnalité adéquate et un développement satisfaisant des fruits formés dans ces zones. Ces parties reçoivent également la lumière dérivée de l'inclinaison variable des rayons du soleil au cours de la journée, l'exposition à la lumière pouvant être améliorée par une distribution uniforme de la végétation. Dans les oliveraies en régime irrigué, on peut prévoir une frondaison légèrement plus haute, qui augmente le volume total sans altérer excessivement les conditions nécessaires pour la fonctionnalité de la frondaison et la mécanisation de la récolte.

Les cadres de 7 x 7 m facilitent l'emploi des vibreurs de tronc munis de récepteurs mécanisés.

I.5. ZONES À VOCATION OLÉICOLE

I.5.1. Climat

Les zones aptes à la culture de l'olivier sont caractérisées par un climat avec des températures minimales non inférieures à - 6 ou - 7°C, seuil en dessous duquel les feuilles sont gravement affectées. Une température de - 3 ou - 4 °C peut abîmer les fruits ayant une teneur élevée en eau qui n'auraient pas encore été récoltés, avec des conséquences négatives sur la qualité de l'huile. C'est pourquoi dans les zones situées au nord, l'olivier est planté sur les flancs des collines, à des altitudes intermédiaires. Les zones de plus grande diffusion de l'olivier sont caractérisées par des hivers doux, des températures rarement inférieures à zéro degré et des étés secs avec des températures élevées. Dans les régions chaudes, il est nécessaire de satisfaire les exigences en froid de la culture car des températures constamment supérieures à 16°C empêchent le développement des bourgeons à fleur. Les températures doivent en effet être inférieures à 11-12°C pendant au moins un mois. Enfin, les températures élevées durant la maturation du fruit provoquent une augmentation de l'acide linoléique dans l'huile et une forte réduction de l'acide oléique.

Les précipitations doivent être supérieures à 400 mm ; jusqu'à 600 mm, les conditions sont suffisantes ; elles sont acceptables jusqu'à 800 mm et bonnes jusqu'à 1 000 mm. La distribution doit permettre qu'il n'y ait pas de périodes de sécheresse supérieures à 30-45 jours ni d'inondations prolongées. La grêle est nuisible, tout comme la neige, qui ne doit pas être excessive pour éviter qu'elle ne s'accumule dans la frondaison et qu'elle ne rompe les branches.

I.5.2. Sol

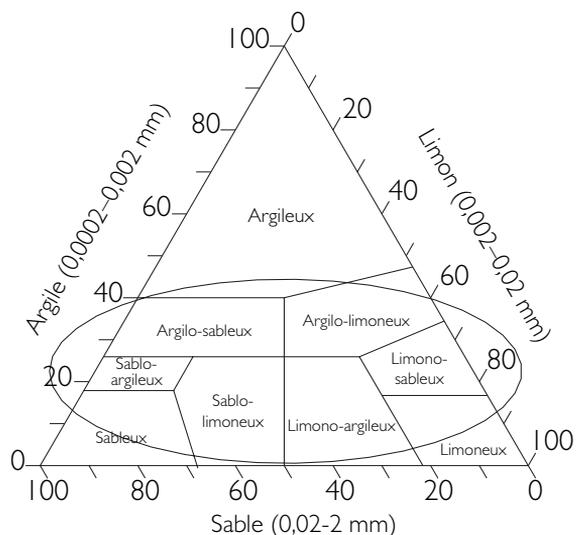
Le système racinaire de l'olivier s'étend de préférence dans les 50 à 70 premiers cm du sol, les racines pouvant aller jusqu'à un mètre de profondeur pour chercher un supplément d'eau. C'est pourquoi



le sol doit être adapté en termes de texture, de structure et de composition sur une profondeur d'au moins un mètre. Les concrétions calcaires, ferrugineuses ou basaltiques formées dans le sol pourraient constituer un obstacle au développement du système racinaire. Si elles sont fines et superficielles, elles peuvent être rompues à l'aide d'une charrue de défoncement, pour préparer le terrain avant la plantation. Toutefois, l'un des problèmes les plus fréquents est l'apparition d'une semelle de labour, résultat du compactage des particules fines du terrain sous l'horizon de labour comme conséquence de la compression exercée par les engins lorsque le labour est toujours pratiqué à la même profondeur.

En ce qui concerne la texture, les sols les plus aptes pour l'olivier sont ceux caractérisés par un équilibre entre sable, limon et argile (Figure 14). Les sols majoritairement sableux ont une faible capacité de rétention de l'eau et des minéraux mais permettent une bonne aération du terrain et constituent un avantage pour l'olivier lorsque l'eau est disponible, à condition qu'une fertilisation pertinente soit assurée pour satisfaire les exigences nutritionnelles en éléments minéraux. Les quantités d'argile ne doivent pas être excessives car elles pourraient constituer un obstacle à la circulation de l'air et à la conduite du sol. Les particules doivent former des structures glomérules pour donner une certaine porosité au terrain, ce qui est possible si le sol contient une quantité suffisante de matière organique et si l'on procède à une conduite rationnelle du sol pour éviter les phénomènes de compactage ou d'érosion. Au sujet des propriétés chimiques, on signalera que l'olivier tolère une bonne marge de pH. On fera toutefois attention aux sols acides dont les niveaux de pH sont inférieurs à 6,5 car ils entraînent la libération d'ions interchangeables d'aluminium et de manganèse toxiques pour la culture. En outre, sur les sols acides, l'activité des microorganismes est réduite et la minéralisation se bloque, ce qui provoque une carence en éléments nutritifs. Pour palier les problèmes posés par l'acidité du sol, on pourra apporter des composés alcalins de calcium, comme du carbonate de calcium en poudre fine, de la chaux vive ou des marnes calcaires.

Figure 14. Triangle granulométrique pour déterminer le type de sol. Les côtés du triangle correspondent aux pourcentages de sable, de limon et d'argile. L'intersection des trois côtés donne le type de sol (classification internationale).



Avec un pH élevé, le phosphore et le fer tendent à devenir insolubles ; jusqu'à 8,3, le niveau de carbonate de calcium est tolérable pour l'olivier mais en cas de teneurs élevées en calcaire avec un pH atteignant ces niveaux, il est préférable d'opter pour des variétés tolérantes aux sols calcaires.

S'il est normalement difficile de corriger les caractéristiques chimiques anormales du sol, il est toutefois possible d'effectuer des interventions pour améliorer des situations problématiques. Pour ré-

duire le pH, on pourra recourir à l'emploi d'engrais acidifiants comme le soufre, la matière organique, le fumier ou l'engrais vert, qui solubilisent le carbonate de calcium en formant des acides organiques et de l'anhydride carbonique. Sur les sols caractérisés par un pH supérieur à 8,3, la présence de carbonate de sodium empêche la floculation de l'argile et la structuration des particules : le sol durcit, il a du mal à s'oxygéner et devient imperméable. Cela peut arriver dans des zones caractérisées par des climats arides, où la pénétration de l'eau dans le sol est nulle ou extrêmement réduite et où la forte évaporation fait remonter les sels solubles depuis les horizons profonds du sol. Cette situation peut être corrigée par l'apport de gypse (sulfate de calcium), à raison de 3 à 10 t par hectare, qui libère du Ca et élimine le sodium du complexe d'échange qui disparaît postérieurement par lavage du sol.

Sur des sols caractérisés par une concentration élevée en sel dissous dans la solution circulante, comme les sulfates et les chlorures, l'absorption racinaire est plus difficile. Lorsque la conductivité électrique du sol, qui mesure la concentration des sels, est supérieure à 4 dS/m, les effets négatifs commencent à se noter ; avec des valeurs de 10-15 dS/m, ces effets sont considérables. La quantité de sels peut être réduite au moyen d'une irrigation de lessivage à condition que le système de drainage soit efficace, sachant qu'une irrigation de saturation permet d'éliminer environ 50 % des sels.

La pente du terrain ne doit pas être supérieure à 20-25 % pour permettre une bonne circulation des équipements. On préférera de toute façon les zones plates ou caractérisées par une légère pente.

Sur des pentes allant jusqu'à 5 %, les labours peuvent être effectués dans n'importe quelle direction ; avec des inclinaisons de 5-10 %, des phénomènes d'érosion commencent à apparaître. Il est alors nécessaire de prendre des précautions pour protéger le sol, en réduisant par exemple la longueur des parcelles en pente. Lorsque la pente est supérieure à 30-40 %, on aura recours au système de terrasses, avec l'augmentation des coûts et la plus grande difficulté de mécanisation que suppose ce système.

Les expositions au sud, à l'est et à l'ouest sont les meilleures car elles permettent de bonnes productions en termes de quantité et de qualité.

Les sols francs, profonds et fertiles constituent donc une base optimale de développement. Ils devraient avoir des caractéristiques physico-chimiques correspondant à celles indiquées dans le Tableau I. Ainsi, la teneur en argile ne devrait pas être supérieure à 40-45 % et la teneur totale en calcaire ne devrait pas dépasser 50-60 %. Les valeurs minimales correspondant aux matières organiques doivent être d'environ 1 % et celles d'azote, être à peine supérieures à 0,1 %. Avec des capacités d'échange cationique du sol inférieures à 10, les valeurs minimales de P_2O_5 assimilable doivent être de 5 ppm et celles de K_2O , de 50 ppm. Le pH optimal est compris entre 7 et 8.

L'olivier parvient à absorber les quantités réduites de phosphore dont il a besoin, même sur des sols caractérisés par une teneur faible en phosphore. Les disponibilités de potassium et d'azote ont une influence directe sur la concentration de ces éléments dans les pousses, les feuilles et les fruits.

C'est pourquoi, avant de procéder à la plantation, il convient d'évaluer le profil du terrain et d'analyser les horizons de sol dans lesquels la plupart du système racinaire se concentrera. Les échantillons de sol qui seront analysés devront être représentatifs de la parcelle. On prendra, dans au moins cinq endroits distribués uniformément sur la parcelle, une portion de sol à une profondeur allant jusqu'à 50 cm, en évitant la couverture végétale superficielle. On mélangera ensuite les différents échantillons de sol et on enverra 1-2 kg du total au laboratoire dans un sac en plastique aux fins de l'analyse physico-chimique.

**TABLEAU I***Caractéristiques d'un sol jugé adéquat pour l'oléiculture*

Texture	Sable Limon Argile	20-75% 5-35% 5-35%
Structure	Friable	
Capacité de rétention d'eau	30-60 %	
Perméabilité	10-100 mm/h	
pH	7-8	
Matière organique	>1%	
Azote	>0,10 %	
Phosphore disponible (P_2O_5)	5-35 ppm	
Potassium échangeable (K_2O)	50-150 ppm	
Calcium échangeable ($CaCO_3$)	1 650-5 000 ppm	
Magnésium échangeable	10-200 ppm	

Le sol doit être également exempt de pathogènes qui peuvent infester les nouvelles plantations. On veillera surtout à prévenir les attaques de *Verticillium dahliae* Kleb., en choisissant du matériel sain, en évitant d'utiliser des terrains consacrés précédemment à des cultures horticoles (tomate, pomme de terre, poivron ou melon) et en effectuant un contrôle efficace des adventices.

Même si l'olivier peut être cultivé dans les conditions les plus diverses, il convient toutefois de choisir des zones présentant le moins possible de facteurs limitants et dans lesquelles l'olivier peut s'avérer compétitif en termes de gestion et de production.

Les zones oléicoles doivent également être soutenues par des réseaux d'assistance technique et commerciale efficaces pour s'assurer que lors des phases postérieures à la récolte, le produit puisse être valorisé de manière adéquate.

1.6. CHOIX DE LA DENSITÉ ET DES SCHÉMAS DE PLANTATION

Pour déterminer la densité de plantation, il faut tenir compte du développement final de l'arbre et de son rythme de croissance. La distance de plantation doit permettre aux frondaisons de capter la quantité maximale d'énergie solaire, sans ombrage réciproque entre les arbres voisins (Figure 15). Toutefois, si le rythme de croissance est lent et que la période nécessaire pour que l'arbre atteigne son plein développement est longue, on sera confronté au problème de l'utilisation insuffisante de l'énergie solaire durant les premières périodes de croissance.



Figure 15. Oliviers bien espacés avec des frondaisons bien éclairées et suffisamment d'espace entre les rangées.

En oléiculture, les distances définitives oscillent majoritairement entre 5 × 5 m, 6 × 6 m et 7 × 7 m, sans considérer les zones dont les climats sont particulièrement favorables et dans lesquelles le développement est supérieur à la normale et où des distances plus grandes sont alors nécessaires.

Compte tenu du rythme de développement de l'olivier, on n'obtient une bonne interception de lumière seulement au bout de 10-15 ans de vie de l'olivier: C'est pourquoi jusqu'à cette période, les productions sont inférieures au potentiel prévu pour la superficie de l'oliveraie.

Pour récupérer durant la phase initiale de développement l'énergie disponible, des essais consistant à augmenter la densité en intercalant des arbres temporaires dans la rangée, qui sont arrachés dès l'apparition des phénomènes de concurrence, ont été réalisés.

Les résultats des essais de densité de plantation réalisés au début des années soixante-dix montrent que les premières productions appréciables s'obtiennent en général à partir de la cinquième année et qu'après trois ou quatre ans, on commence à observer des phénomènes de concurrence si la densité est excessive. En Espagne, après 10-12 ans, on obtient les plus grandes productions à des densités d'environ 320 arbres par ha, avec des plantations carrées. Dans les oliveraies irriguées, des densités de 200-240 arbres/ha se sont avérées plus intéressantes en ce qui concerne le comportement à moyen terme. En Grèce, sur des essais réalisés pendant huit campagnes, Psyllakis n'a pas enregistré de différence significative avec des densités comprises entre 280 et 620 arbres/ha, et les densités inférieures ont été considérées plus adéquates car elles permettent une augmentation de la production, contrairement à ce qui se produit à des densités supérieures.

En France, la comparaison des plantations carrées de 6 × 6 m et rectangulaires de 6 × 3 m a montré que dans les plantations de plus grande densité, des productions plus abondantes sont obtenues au cours des premières années mais qu'au bout de dix ans, seules de légères différences justifient des densités plus élevées.

Des essais réalisés dans le centre de l'Italie avec des plantations temporaires en rectangle de 6 × 3 m indiquent que la quantité d'olives par arbre, en comptant les cinq premières récoltes, oscille entre 30 et 40 kg avant que ne se manifestent les premiers symptômes de concurrence. Cela suppose, au prix net de récolte, des revenus inférieurs ou similaires aux dépenses de plantation et de culture des arbres supplémentaires par rapport à l'écartement de 6 × 6 m.

Par conséquent, les essais réalisés dans le bassin Méditerranéen avec différentes densités et schémas de plantation montrent que les plantations rectangulaires de haute densité finissent par créer rapidement une haie continue tout au long des rangées, qui réduit la capacité de production, crée des problèmes phytosanitaires et entraîne un déséquilibre entre l'activité végétative et l'activité reproductive difficilement contrôlable avec des interventions de taille, et fait qu'il n'y pas d'autre solution que d'arracher les arbres en trop.

Ainsi, les résultats des essais menés sur des parcelles pilotes sur la densité de plantation ont confirmé les effets qu'exerce l'intensité de la lumière sur l'activité reproductive de l'olivier et sur le rapport entre interception de la lumière et productivité (Figure 16).

Il s'avère également évident que la brièveté de la période entre l'entrée en production et l'apparition de phénomènes de concurrence limite la possibilité d'opter pour des schémas temporaires de densité supérieure, en particulier des plantations rectangulaires de 6 × 3 m, dans lesquelles les arbres d'une même



rangée se font concurrence pour la lumière, alors qu'entre les rangées, l'énergie solaire retombe sur le sol et se perd en majorité. Les plantations de 5 x 5 m à 7 x 7 m s'avèrent donc les plus efficaces. On optera dans chaque oliveraie pour celle qui s'ajuste le mieux au développement que l'arbre devrait atteindre en fonction de la vigueur de la variété, de la fertilité du sol, de la disponibilité en eau et des techniques de culture appliquées. Les plantations de 6 x 6 m et de 7 x 7 m constituent une bonne référence dans les oliveraies du bassin Méditerranéen.



Figure 16. Arbres trop proches les uns des autres qui deviennent inefficaces en raison de l'ombrage.

Avec l'introduction de la récolte mécanisée au moyen de vibreurs de tronc munis de récepteurs, il est préférable d'adopter des distances légèrement supérieures à celles employées dans les oliveraies où d'autres systèmes de culture sont appliqués.

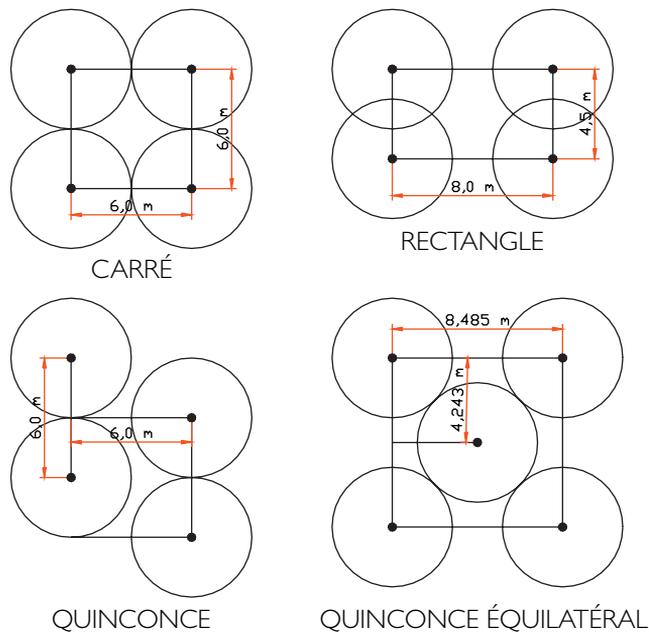


Figure 17. Arbres plantés en carré, rectangle et quinconce à une même densité de 278 arbres par hectare.

En ce qui concerne la disposition géométrique des arbres, les solutions possibles sont : le carré, le rectangle, le système en quinconce et le quinconce équilatéral. Dans la Figure 17, on peut observer la disposition des arbres dans les différents systèmes avec indication par un cercle autour de chaque arbre de l'espace utile pour la frondaison de chacun d'eux. En comparant les différents schémas de plantation, conçus de manière à ce que la densité soit de 278 arbres/ha, on observe que le carré permet aux oliviers de tirer profit d'un espace semblable dans les deux directions et que les labours peuvent être réalisés avec facilité aussi bien en longueur que dans le sens transversal. Dans le système en quinconce,

les arbres jouissent d'une meilleure exposition à la lumière. La circulation des machines s'avère plus facile dans l'une des deux directions, et un peu moins dans la perpendiculaire. Avec la plantation rectangulaire, un phénomène d'ombre peut se produire avec les frondaisons situées sur la ligne plus courte alors que dans l'espace intercalaire, l'exposition des frondaisons à la lumière est satisfaisante. Plus la différence entre les deux distances est grande et moins l'efficacité de l'exposition de la frondaison à la lumière est bonne. En augmentant une distance, on favorise dans sa longueur l'emploi des machines.

Le quinconce équilatéral est assez compliqué : les frondaisons jouissent d'une meilleure exposition à la lumière que dans le cadre carré mais la circulation des machines est plus difficile. Les schémas de plantation les plus efficaces et les plus diffusés sont donc le carré et le système en quinconce ; le rectangle n'est utilisé que dans certains cas imposés par les exigences de la mécanisation et lorsque le volume de la frondaison n'atteint pas des niveaux maximaux en raison de limitations environnementales.

1.6.1. Plantations superintensives

Des systèmes de culture de haute densité ont été proposés au cours des dernières années. À cet effet, on utilise des variétés productives et de développement limité, comme 'Arbosana', 'Arbequina' et 'Koroneiki'. Les distances recommandées sont de 4 x 1,5 m. Les oliviers à planter sur le terrain doivent être petits, de 40-50 cm de hauteur, être âgés de 18 mois et disposer d'un bon système racinaire. Ils doivent faire l'objet des soins pertinents pour se maintenir à une taille qui s'avère efficace pour l'emploi de machines récolteuses et garantir un équilibre entre l'activité végétative et l'activité productive. On prêterera une attention particulière au contrôle des ravageurs qui, dans ces conditions, deviennent plus virulents et produisent plus de dégâts.

1.7. CHOIX DES VARIÉTÉS

Les variétés qui ont été consolidées dans chaque zone de culture ont été choisies à partir du matériel disponible dans ces environnements. Peu de variétés sont sorties de leur zone de diffusion sauf récemment, lorsque dans les nouvelles plantations du continent américain, en Afrique du Sud ou en Australie ont été introduites les meilleures variétés des pays ayant une longue tradition oléicole. Actuellement, avec les nouvelles exigences en matière de qualité de l'huile, de mécanisation et de résistance aux ravageurs, le choix des variétés est devenu un aspect important. Aujourd'hui, les caractéristiques des principales variétés cultivées au niveau mondial sont mieux connues, grâce aux collections qui ont été constituées au cours des dernières années. À partir des informations acquises, il est possible de faire une liste des variétés en fonction des exigences considérées de plus grand intérêt pour le développement de l'olivieraie.

- Précocité d'entrée en production et récolte abondante : 'Koroneiki', 'Arbequina', 'Maurino', 'Picual', 'Manzanilla'.
- Qualité de l'huile : 'Frantoio', 'Arbequina', 'Moraiolo', 'Picual'.
- Résistance au froid : 'Nostrale di Rigali', 'Leccino', 'Orbetana', 'Dolce Agogia'.
- Tolérance aux sols calcaires : 'Picudo', 'Cobrançosa', 'Galego', 'Lechín de Sevilla', 'Lechín de Granada', 'Hojiblanca'.
- Tolérance à la salinité : 'Picual', 'Arbequina', 'Lechín de Sevilla', 'Canivano', 'Nevadillo'.
- Tolérance à *Spilocaea oleagina* : 'Lechín de Sevilla', 'Leccino', 'Maurino', 'Ascolana tenera'.
- Tolérance à *Verticillium dahliae* : 'Frantoio', 'Arbequina', 'Cipressino'.
- Tolérance à *Bacterium savastanoi* : 'Leccino', 'Dolce Agogia', 'Orbetana', 'Gentile di Chieti', 'Cordovil de Serpa', 'Galega vulgar', 'Picholine marocaine', 'Gordal sevillana'.



Le choix des variétés doit être effectué en tenant compte de l'expérience acquise avec le temps dans chaque zone de culture. On consolidera celles qui se sont avérées avoir une grande capacité pour s'adapter au territoire et qui contribuent à caractériser l'huile des différentes localités et on optera pour les variétés admises dans les cahiers des charges des dénominations d'origine de chaque zone. Dans l'objectif prioritaire d'une bonne gestion économique de l'oliveraie, qui suppose le recours à un certain nombre de machines, on optera, à conditions égales en ce qui concerne d'autres aspects, pour des variétés qui répondent de manière adéquate aux exigences de la récolte mécanique, qui sont résistantes aux parasites et qui donnent des productions abondantes et de qualité (Tableau 2).

TABLEAU 2

*Productivité de différentes variétés à huile et aptitude à la récolte mécanisée
(moyennes calculées sur trois ans)*

Variété	Production	Rendement récolte mécanisée
	kg	%
Frantoio	11,28	87,00
Leccino	12,91	85,90
Maurino	14,08	89,91

Actuellement, les variétés les plus diffusées en Italie dans les zones de plus grande production donnent une huile de bonne qualité mais sont moins intéressantes en termes de productivité et de résistance aux parasites. C'est pourquoi il convient de poursuivre un programme d'expérimentation pour introduire des améliorations dans les schémas existants afin de palier ou de réduire les inconvénients que posent ces variétés, en privilégiant celles qui s'adaptent le mieux à la mécanisation des opérations de culture. Il est important de recourir à la grande disponibilité de matériel génétique existant, en optant pour les variétés qui se distinguent par des caractères spécifiques, comme la résistance aux parasites, une productivité élevée, la grande qualité de leur huile, une aptitude pour la récolte mécanisée et des fruits de grande dimension. À moyen terme, on pourra bénéficier de la sélection de nouvelles variétés obtenues par croisement à partir des variétés les plus avantageuses. Toutefois, il faudra attendre un certain temps avant que des essais comparatifs pertinents ne soient réalisés avec les meilleures variétés disponibles, en vue de démontrer leur supériorité dans certains caractères importants.

1.7.1. Floraison et pollinisateurs

Une phase particulièrement critique dans le processus de production est la floraison et la pollinisation. En effet, disposer d'une grande quantité de fleurs est la base pour obtenir une bonne production. La présence de fleurs en juin dépend de l'évolution des bourgeons qui commencent à se développer aux mois d'avril et de mai de l'année antérieure sur les pousses en phase de croissance. Postérieurement se produit la différenciation florale. Ce processus complexe et important commence avec l'induction florale, c'est-à-dire avec la création des conditions physiologiques pertinentes comme la disponibilité de nutriments et d'hormones pour que le bourgeon terminal tende à la formation de l'axe inflorescentiel et des fleurs. Ces dernières se forment et complètent leurs organes à partir du mois de mars et jusqu'en mai-juin au moment de la floraison. Les fruits se forment à partir de la fécondation de la cellule de l'œuf présente dans le pistil de la fleur. La fécondation se produit par le transfert du pollen au pistil,

avec la germination postérieure et la pénétration du tube pollinique jusqu'à l'ovule présent dans l'ovaire. Pratiquement aucune variété n'est capable de produire des récoltes satisfaisantes avec son propre pollen ; seul le pollen de variétés compatibles permet de féconder de manière efficace la cellule de l'œuf et de développer le fruit. C'est pourquoi il est important de planter dans l'olivieraie, outre les variétés principales, des variétés pollinisatrices dans une proportion supérieure à 10-15 %. Il convient de choisir les pollinisateurs les plus efficaces pour chaque variété (Figures 18 et 19). Même pour les variétés les plus diffusées en Espagne, on a recours à des pollinisateurs. On suggère ici quelques combinaisons : Manzanilla de Sevilla-Gordal sevillana ; Hojiblanca-Picual ; Picual-Arbequina. Pour faire face aux conditions climatiques défavorables et aux phénomènes d'alternance, on utilise différentes variétés inter-fertiles d'intérêt commercial, qui sont placées en blocs de 3-4 rangées pour garantir un bon échange de pollen et faciliter les techniques de contrôle des parasites et de récolte spécifiques pour chaque variété.

Pollinisateur									
Variété principale	Carolea	D. Agogia	Frantoio	Leccino	Maurino	Moraiolo	N. di Rigali	Kalamon	Orbetana
Carolea			*	*		*			*
D. Agogia						*			
Frantoio	*			*		*		*	
Leccino	*	*			*				
Maurino			*			*			*
Moraiolo					*			*	
N. di Rigali				*					*
Kalamon				*		*			
Orbetana	*							*	

Figure 18. Pollinisateurs efficaces des principaux cultivars à huile.

Variété principale	Ascolana tenera	Grossa di Spagna	Nocellara Etnea	S. Caterina	S. Agostino	Itrana
Ascolana Tenera				*		*
Grossa di Spagna						*
Nocellara Etnea	*			*		*
S. Caterina	*	*			*	
S. Agostino			*			*
Strana					*	

Figure 19. Pollinisateurs efficaces des principaux cultivars d'olives de table.



I.7.2. Maturation des fruits et période optimale de récolte

Au moment de choisir les variétés, il convient de connaître leur période optimale de récolte, c'est-à-dire le moment où les fruits cueillis de l'arbre ont la quantité et la qualité maximales d'huile. On tiendra compte de différents aspects, comme l'augmentation du poids des fruits, l'évolution de la teneur en huile et la chute naturelle des fruits, les paramètres commerciaux exigés pour l'huile d'olive vierge extra, la teneur en polyphénols et l'analyse organoleptique. À partir de ces indications, le choix des variétés se fait également en tenant compte de la possibilité d'effectuer la récolte de manière échelonnée, à condition que les caractéristiques de la variété se conservent, ce qui permet de tirer parti constamment de la main-d'œuvre et des machines durant une longue période.

I.8. TECHNIQUES DE PLANTATION

La plantation est la mise en pratique des options que nous venons d'analyser ; elle comporte un certain nombre d'activités préliminaires, comme la préparation du terrain et le défoncement, la plantation proprement dite, et les opérations postérieures pour créer un environnement fertile, stabiliser la nouvelle plantation et permettre son développement.

I.8.1. Opérations préliminaires

Elles consistent à défricher le terrain de résidus végétaux des cultures antérieures, y compris par l'extirpation des racines des arbres ou des arbustes qui auraient été présents préalablement dans la parcelle. Il est ensuite important d'aplanir le terrain, en constituant des surfaces plates ou légèrement en pente. Les parcelles doivent avoir une bonne dimension, pas moins d'un hectare, pour réduire



Figure 20. Nivellement.



Figure 21. Drainage aux points d'accumulation des eaux de pluie.

les temps morts dans les opérations de culture (Figure 20). Lorsque pour la préparation superficielle du terrain, des opérations de défoncement sont nécessaires au-delà de l'horizon actif du sol, on éliminera l'horizon superficiel pour le redistribuer par la suite sur les zones affectées. Bien que coûteuse, cette opération permet le développement régulier de la nouvelle plantation. Le déplacement de la terre se fait avec des excavatrices superficielles ou des pelles mécaniques très puissantes.

Autre phase préliminaire importante : la prévision du drainage de l'eau, aussi bien en surface qu'en profondeur. L'olivier est particulièrement sensible aux inondations, qui rendent les attaques de champignons plus virulentes, ce qui provoque la pourriture des racines. Si la parcelle s'inonde avec de l'eau



Figure 22. Tubes en PVC revêtus de fibres naturelles ou artificielles.

provenant de terrains situés à une altitude supérieure, il faudra créer un canal d'une profondeur suffisante pour dévier l'eau avant qu'elle n'inonde les terrains situés à des altitudes plus basses. En surface, pour éviter l'érosion du sol et la formation de tranchées profondes dans les courbes de plus grande pente, on effectuera sur la longueur, tous les 20-30 mètres, des fosses transversales qui confluent dans des canaux latéraux protégés qui dévient les eaux en trop jusqu'à la vallée. En profondeur, il est fréquent que se produisent des inondations et des éboulements sur les sols

argileux dépourvus d'un drainage naturel, sur ceux qui ont une semelle imperméable ou une semelle de labour; et dans les marécages où l'eau a tendance à s'accumuler de manière naturelle. En l'absence d'un drainage des eaux superficielles, ces zones restent humides pendant longtemps ; leur profil montre des strates de couleur gris ou bleuté qui indiquent des déficiences et une mauvaise oxygénation. Cette situation s'avère nocive pour le système racinaire. Pour y remédier, on réalisera des drainages avec des tubes en PVC revêtus de fibre de coco ou avec des briques, des dalles, des pierres ou des cailloux de différentes tailles dans des fosses de 1,5 m de profondeur, à une distance de 20-40 m et avec des pentes supérieures à deux pour mille (Figures 21, 22 et 23).



Figure 23. Excavation et mise en terre des tubes de drainage.

1.8.2. Défoncement

Le défoncement du terrain en profondeur est déterminant pour garantir la fertilité du sol disponible pour le développement du système racinaire. Il est particulièrement nécessaire sur les sols compacts sur lesquels se produit un appauvrissement en raison des espaces vides entre les particules des couches profondes. Les racines sont alors obligées de se déplacer vers la surface en raison de la limitation de la disponibilité d'eau et de nutriments. Il est également nécessaire dans les zones caractérisées par des horizons imperméables ou des semelles de labour qui empêchent la pénétration en profondeur des racines et sur les sols où il convient d'homogénéiser la texture et la composition chimique. C'est pourquoi les labours qui favorisent l'aération et améliorent la structure des particules aug-



Figure 24. Défoncement.

est la meilleure époque pour réaliser le défoncement bien qu'on puisse le réaliser également à d'autres périodes de l'année, à condition que le terrain soit dans un état favorable aux semailles. Lorsqu'on ne veut pas déplacer le terrain par crainte des éboulements ou de la remontée de strates profondes ou peu fertiles et pierreuses, on peut procéder à un sous-solage croisé à 40-50 cm et à un labour ordinaire en surface (Figure 25). Si l'on prévoit de fertiliser, il convient d'enterrer l'engrais avec un labour préalable au défoncement pour ne pas réduire l'adhérence des machines. Sur le terrain soumis au défoncement, les éventuelles mottes de terre doivent pouvoir être désagrégées par les agents atmosphériques, avec l'aide d'un hersage de profondeur moyenne. De même, on nettoiera le terrain des éventuelles pierres qui remontent à la surface avec le défoncement.



Figure 25. Sous-solage.

1.8.3. Contrôle des adventices

Si les opérations de défoncement n'ont pas permis de contrôler les plantes adventices, celles-ci devront être éliminées avec des herbicides. Les espèces les plus préoccupantes sont la graminée (*Cynodon dactylon*) et la serratule (*Cirsium arvense*), particulièrement nocives pour les jeunes oliviers lorsqu'elles occupent les trous de plantation car elles exercent une concurrence pour l'eau et les nutriments et peuvent entraîner des allélopathies dues à l'excrétion radicale de substances nocives pour les racines de l'olivier. Elles peuvent être facilement contrôlées avec le glyphosate, qui est absorbé lorsqu'elles commencent à fleurir et qu'elles ne souffrent pas de stress hydrique. Pour défendre l'olivier d'espèces arborées comme *Asparagus*, *Rubus* et *Crataegus*, on peut procéder à des applications localisées avec un mélange de glyphosate + MCPA (sels potassiques à 40 %) et d'une huile minérale.

1.8.4. Plantation

Avant la plantation, on effectue le piquetage en s'ajustant à la densité et aux schémas de plantation fixés. Dans une plantation rectangulaire, la distance la plus grande se définit en fonction du sens de la marche des machines qui préfèrent travailler sur la perpendiculaire à la pente.

Sur les points où seront situés les arbres, on creusera les trous après avoir placé latéralement deux points de référence pour localiser la position exacte où ira le tronc (Figure 26). La taille du trou, creusé à l'aide d'une tarière ou à la main avec une bêche, sera de 40 cm de large et de profondeur (Figure 27).

Les trous devront être pratiqués lorsque le terrain est sec, en particulier sur les sols argileux où, dans des conditions d'humidité importante, les tarières compriment les parois et créent une strate imperméable qui empêche les racines de



Figure 26. Plantation.

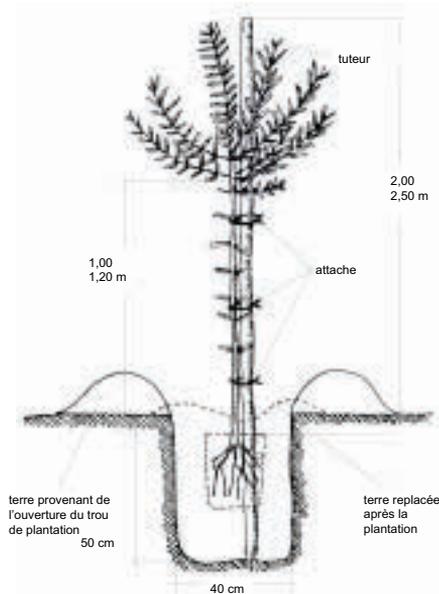


Figure 27. Schéma de plantation.

conduits aériens de l'irrigation, on augmentera leur hauteur d'environ 0,5 m. On extraira alors le plant de son pot et on le placera de manière à ce que la motte de terre soit située à 5-10 cm en dessous du niveau du terrain, surtout si on utilise des plants autoracinés, pour favoriser le développement du système racinaire. On utilisera des plants de 18-24 mois dans des pots d'au moins 3 litres, d'une hauteur de 1,5-1,8 m, bien formés et dépourvus de ramifications vigoureuses (Figure 28).

Le trou devra être rebouché avec une terre bien structurée, qu'il faudra bien compacter en laissant à la surface une petite cuvette. On attache

se distribuer uniformément et peut même provoquer l'asphyxie du système racinaire en raison de l'accumulation d'eau dans le trou. Les trous devront être ouverts avant la plantation pour que les agents atmosphériques améliorent l'état d'agrégation des particules qui ont tendance à produire des glomérules.

Au fond du trou, on plantera un tuteur; normalement de châtaignier, d'environ 6 centimètres de diamètre et d'au moins 2 mètres de haut dont on laissera dépasser 1,5 m. On pourra également utiliser des baguettes de fer de $\frac{3}{4}$ de pouce, de 27 mm de diamètre. Si les tuteurs doivent supporter les



Figure 28. Jeunes plants avant la plantation.



Figure 29. Fixation du plant au tuteur.

chera la plante au tuteur avec une languette en plastique et on arrosera avec environ 10 litres d'eau pour que le sol adhère aux racines (Figures 29 et 30).

L'époque de plantation dans le centre de l'Italie, où les hivers sont froids, se situe au printemps. Dans les zones où il n'y a pas de danger de froids hivernaux, il convient de planter en automne. Si l'on utilise des plants cultivés dans des pots, il sera possible de planter à n'importe quelle période à condition qu'il y ait de l'eau dis-



Figure 30. Irrigation après la plantation.

ponible. Au moment de la plantation, on pourra installer le système d'irrigation, en faisant tenir les tuyaux d'irrigation avec des fils de fer reliés à la tête d'irrigation et appuyés aux tuteurs à 1,9 m du sol pour permettre les labours croisés, ou bien avec des tuyaux à même le sol, avec les asperseurs correspondants à proximité de chaque arbre. Dans les zones caractérisées par la présence de rongeurs (lapins sauvages), on protégera le tronc avec des filets métalliques ou tout autre matériel imperméable aux rongeurs facilitant l'emploi d'herbicides pour le contrôle des adventices à proximité de l'arbre et le long de la rangée. Le matériel devra être peu coûteux et facile à appliquer.

1.8.4.1. Plantation dans les exploitations superintensives

On utilisera des variétés à développement limité, comme 'Arbosana', 'Arbequina' ou 'Koroneiki'. L'écartement conseillé est de 4 x 1,5 m. Les arbres devront être de petite taille, âgés de 18 mois, mesurer 40-50 cm de haut et disposer d'un bon système racinaire. Pour planter, on ouvrira des trous de taille inférieure ou on utilisera des repiqueuses pour ouvrir un sillon dans lequel on placera les plants. On les recouvrira alors de terre retournée au moyen de deux charrues à versoirs opposés. Les plants seront attachés à des tuteurs légers de bambou ou à une baguette de fer de 6-8 mm de diamètre à une hauteur de 1,8 m à partir du niveau du sol. La haie de plants sera soutenue avec des piliers en bois placés tous les 30 mètres et un à chaque extrémité, unis entre eux par trois fils horizontaux à 0,40 ; 0,80 et 1,20 m de hauteur (Figure 31).

1.8.5. Opérations postérieures

Autour de l'arbre, on pourra étendre une toile en plastique d'un mètre de large pour contrôler les adventices et obtenir de meilleures conditions en termes d'humidité et de température à proximité



Figure 31. Récolte avec un équipement de type vendangeuse dans une plantation superintensive.

du système racinaire (Figure 32). L'utilisation de couvertures permet un meilleur développement de l'oléaie et une gestion plus facile. Après la plantation, il est important d'éviter le stress hydrique et donc nécessaire de garantir une disponibilité en eau constante, en irriguant dès que les ressources naturelles s'avèrent insuffisantes. Cette intervention est fondamentale surtout durant les deux premières années, pour permettre le développement en profondeur du système racinaire dans les parties du sol mieux pourvues en eau. En été, au cours des deux premières années de développement, il faut 2-3 litres d'eau par arbre et par jour pour maintenir la croissance active. En l'absence de pluies, au cours des mois secs, on effectuera des irrigations de secours toutes les semaines.

La frondaison doit être bien développée ou en phase de formation (Figure 33). Au moment de la plantation, on pourra omettre les interventions de taille ou bien réaliser une taille légère pour éliminer les ramifications vigoureuses du tronc le cas échéant. Pendant la première année, on éliminera le plus tôt possible les ramifications qui naissent directement du tronc lorsqu'elles sont encore dans la phase herbacée. En plus du contrôle de l'émis-



Figure 32. Paillis de plastique autour des troncs.



Figure 33. Plant bien développé idéal pour la plantation.

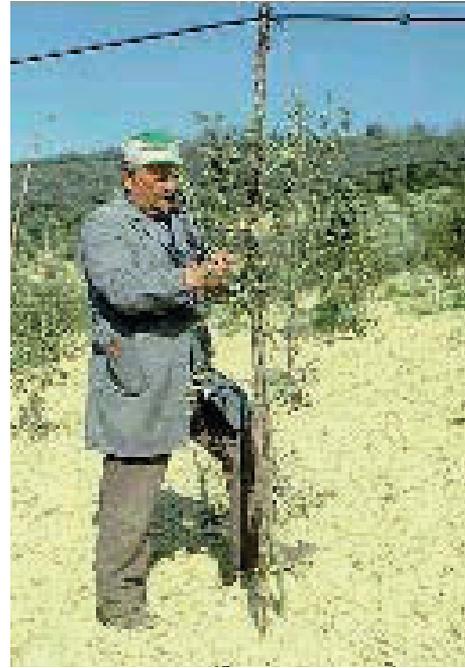


Figure 34. Contrôle des attaches.

sion de pousses sur le tronc, on révisera tous les deux mois les attaches du tuteur et on ajoutera celles qui sont nécessaires pour maintenir l'arbre vertical (Figure 34). De manière échelonnée, on éliminera aussi les branches situées sous la fourche, en commençant par les plus vigoureuses et celles qui ont tendance à



Figure 35. Contrôle du développement des pousses sur le tronc

la verticalité, que l'on avait laissé pousser préalablement pour favoriser le développement du tronc en diamètre. Dans la frondaison, on ne réalisera aucun type de taille et on favorisera son développement naturel en forme de sphère (Figure 35). De la frondaison sortiront quelques branches plus vigoureuses qui seront les futures branches principales. On veillera à ce que les attaches ou les tuteurs ne causent aucune blessure ou étranglement aux plantes en remettant les attaches ou en remplaçant correctement le tuteur si nécessaire. On prêterera une attention particulière au contrôle des ravageurs, avec un calendrier de traitements durant les premières années de formation de la plante, pour éviter les dégâts qui réduiraient la croissance. Il faut craindre particulièrement les dégâts provoqués par *Prays*, *Margaronia* ou par les acariens, qui détruisent les pousses terminales et obligent la plante à développer des bourgeons axillaires pour l'allongement des pousses, avec un blocage dans la croissance de 10-15 jours. Les produits conseillés sont le carbaril et le diméthoate, et *Bacillus Thuringiensis*.

I.9. RÉNOVATION DES OLIVERAIES PEU PRODUCTIVES

Lorsque les oliveraies sont obsolètes, elles deviennent peu efficaces, ne répondent pas de manière adéquate aux techniques de culture et leurs productions sont réduites. Avec le temps, elles cessent d'être rentables et sont abandonnées. Au premier signe de décadence, on procédera à la rénovation pour récupérer la pleine efficacité de l'oliveraie, aussi bien en ce qui concerne la réponse aux techniques de culture que pour des raisons commerciales et de production, afin d'obtenir une plus grande quantité de produit et de meilleure qualité.

Les interventions consistent dans ce cas à abattre les vieux oliviers avec des excavatrices, en arrachant leur racine et en déchaussant les zones envahies par des ravageurs (Figure 36). Le phénomène de fatigue du sol n'est pas trop préoccupant car l'olivier tolère bien la présence des toxines provenant des cultures précédentes.



Figure 36. Arrachage des arbres qui ne sont plus efficaces.

Le matériel obtenu est récupéré comme bois de combustion ou comme bois d'artisanat. On nivellera la surface, en éliminant les talus et les ravines pour faciliter la mécanisation des pratiques de culture et réaliser des rangées de longueur adéquate lorsque cela sera possible. Les zones dans lesquelles se produisent des inondations fréquentes seront assainies avec des drainages.

La fertilité du sol devra être complétée jusqu'à obtenir une teneur en matière organique d'au moins 1-1,5 %, une teneur en anhydride phosphorique assimilable jusqu'à 5 ppm et une teneur en oxyde de potassium jusqu'à 100 ppm, au moyen de fumier, de perphosphate ou de sulfate de potassium avant le défoncement ; ou bien, dans le cas d'un sous-solage, avant de réaliser les labours profonds.

On réalisera ensuite toutes les opérations prévues pour l'installation des nouvelles plantations.

I.10. SYNTHÈSE ET RECOMMANDATIONS

La planification pour la création des nouvelles plantations est l'intervention la plus importante pour augmenter la production, faciliter la mécanisation et contribuer au développement de l'oliveraie.

Dans les nouvelles plantations, il convient de :

- Créer les conditions optimales pour le développement du système racinaire, la fonctionnalité de la frondaison et l'obtention d'une fructification élevée et d'un produit de qualité.
- Prévoir des oliveraies aptes à la mécanisation complète de la récolte.
- Choisir des zones à vocation oléicole pour leur climat et disposer de structures techniques et commerciales.
- Opter pour des densités de plantation adaptées aux exigences de l'espèce et des différentes variétés et aptes à une mécanisation efficace.



- Choisir des variétés productives, résistantes aux ravageurs, aptes à la mécanisation et permettant d'obtenir un produit de qualité.
- Prévoir une forte présence de pollinisateurs.
- Opter pour des variétés qui permettent la récolte échelonnée et adopter une programmation en conséquence.
- Préparer les superficies pour faciliter la mécanisation.
- Effectuer un défoncement avec une charrue ou un sous-solage suivi d'un labour.
- Garantir la régulation des flux d'eau, en éliminant le cas échéant les retenues au moyen d'un drainage.
- Choisir des plants cultivés dans des pots, avec un bon développement, fixés au moyen d'un tuteur après la plantation.
- Arroser après la plantation et effectuer un suivi attentif des plants durant les deux premières années pour obtenir un développement maximal, éviter le stress hydrique et les carences en nutriments et réaliser un contrôle phytosanitaire efficace.

BIBLIOGRAPHIE

Morettini A., Olivicoltura, REDA, Roma, 1972.

Fiorino P., Olea, Trattato di olivicoltura. Edagricole, Bologna, 2003.

Navarro C., Parra M.A., Plantation in Barranco D., Fernández Escobar R., Rallo L., El cultivo del olivo, Ed. Mundi-Prensa, Madrid 1997.

Tombesi A., Olive Orchard Installation, Soil arrangement, Planting density and training. Proceedings International Seminar on Olive Growing, Chania, Crete, Greece, 18-24 May 1997, 55-65.

Tombesi A., Correia J., Potatura ed intercettazione dell'energia radiante nell'olivo. Rivista di Frutticoltura I, 2004:31-35.

Tombesi A., Boco M., Pilli M., Guelfi P., Nottiani G., Efficienza e prospettive della raccolta meccanica delle olive. L'informatore Agrario, 25, 2004, 49-52.



2





Taille de l'olivier et 
formes de conduite

*Agostino Tombesi et Sergio Tombesi
*Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali
Università degli Studi
Borgo 20 Giugno, 74
06121 Perugia (Italie)

SOMMAIRE

- 2.1. INTRODUCTION
 - 2.2. EFFETS DE LA TAILLE
 - 2.2.1 Taille et exposition des feuilles à la lumière
 - 2.2.2 Taille, croissance des pousses et augmentation des réserves nutritives
 - 2.2.3 Taille et fructification
 - 2.3. OBJECTIFS DE LA TAILLE ET CARACTÉRISTIQUES DE L'OLIVERAIE
 - 2.4. TAILLE, RÉSISTANCE AU FROID ET ÉTAT SANITAIRE DE L'ARBRE
 - 2.5. PRODUCTION VÉGÉTATIVE
 - 2.6. OPÉRATIONS DE TAILLE
 - 2.6.1. Suppression et rabattage des branches
 - 2.6.2. Suppression et rabattage des rameaux
 - 2.6.3. Inclinaison et courbure
 - 2.6.4. Incision annulaire
 - 2.6.5. Pincement
 - 2.6.6. Ravalement
 - 2.6.7. Rabattage
 - 2.6.8. Élimination des caries
 - 2.6.9. Dimensions des rameaux les plus efficaces
 - 2.7. SYNTHÈSE DES ACTIONS RÉSULTANT DE LA TAILLE ET PRINCIPAUX OBJECTIFS
 - 2.8. ÉPOQUE DE TAILLE ET MODALITÉS D'EXÉCUTION DES COUPES
 - 2.9. TAILLE DE FORMATION
 - 2.10. TAILLE DE FRUCTIFICATION
 - 2.11. INTENSITÉ ET PÉRIODICITÉ DE LA TAILLE
 - 2.12. FORMES DE CONDUITE
 - 2.12.1. Gobelet
 - 2.12.2. Globe
 - 2.12.3. Monocône
 - 2.12.4. Axe vertical
 - 2.12.5. Systèmes superintensifs en haie
 - 2.12.6. Palmette
 - 2.13. CRITÈRES DU CHOIX DE LA TAILLE ET DU MODE DE CONDUITE
 - 2.14. GOBELET LIBRE : LA FORME LA PLUS DIFFUSÉE
 - 2.15. TAILLE D'ADAPTATION À LA RÉCOLTE MÉCANIQUE
 - 2.16. TAILLE DE RÉNOVATION
 - 2.17. TAILLE DES ARBRES FRAPPÉS PAR LE GEL
 - 2.17.1. Manifestations les plus fréquentes des dégâts provoqués par le gel
 - 2.17.2. Méthodes de récupération
 - 2.18. INSTRUMENTS POUR L'EXÉCUTION DES COUPES
 - 2.19. TAILLE MÉCANISÉE
 - 2.20. GESTION DU BOIS DE LA TAILLE
 - 2.21. CONCLUSIONS
 - 2.22. RÉFÉRENCES IMPORTANTES ET RECOMMANDATIONS
- BIBLIOGRAPHIE

2. Taille de l'olivier et formes de conduite



2.1. INTRODUCTION

La taille est appliquée dans tous les pays oléicoles et est considérée indispensable pour la gestion des exploitations. Elle est réalisée selon différentes modalités en fonction des caractéristiques des oliveraies, des conditions environnementales et culturelles et de traditions consolidées avec le temps. La taille doit en outre s'adapter aux tendances qui apparaissent ou se confirment dans les différents pays, notamment et en particulier à la création de nouvelles plantations, à l'augmentation du nombre d'arbres par hectare, au développement de l'irrigation, au choix de certaines formes de conduite, à l'adaptation des exploitations à la mécanisation et au rajeunissement des plantations.

Ainsi, pour qu'elle puisse donner les meilleurs résultats, la taille doit être considérée et comprise pour les objectifs qu'elle prétend atteindre, à savoir l'amélioration de la production, sa capacité à faciliter certaines phases du cycle de fructification, la mécanisation des techniques de culture et la réduction des coûts de production.

2.2. EFFETS DE LA TAILLE



Figure 1. Arbre non taillé depuis plusieurs années.

La taille de l'olivier est pratiquée pour augmenter la productivité et permettre une fructification précoce, régulière et rentable. L'olivier qui ne fait pas l'objet d'une opération de taille devient excessivement grand et prend la forme d'un énorme buisson ou, s'il est abandonné alors qu'il s'est développé sur un seul tronc, prend la forme d'un dôme dont la végétation est confinée dans la partie externe supérieure de l'arbre alors qu'à l'intérieur, les branches ont perdu leurs feuilles qui sont progressivement remplacées par d'autres feuilles externes mieux exposées à la lumière (Figure 1). Le développement privilégie les parties structurales mais réduit la fructification et rend les arbres peu adaptés aux techniques de culture.

La taille consiste à éliminer une partie de la plante, en général une partie de la frondaison comprenant les branches, les rameaux et les feuilles considérés inutiles pour la gestion correcte de l'arbre.



La taille prétend empêcher la domination d'une partie de la plante sur les autres et optimiser la contribution que chaque partie peut apporter à la production et à l'adoption des techniques de culture.

2.2.1. Taille et exposition des feuilles à la lumière

La taille doit contribuer à réunir les conditions optimales pour la synthèse des produits nécessaires à la production, qui dépendent de la superficie foliaire, de l'exposition à la lumière, de la température et de la disponibilité d'eau et d'éléments nutritifs.

Dans la mesure où les feuilles synthétisent les formes assimilables qui servent à alimenter toutes les fonctions de la plante :

- elles doivent être suffisamment nombreuses pour atteindre une surface adéquate, ce qui se produit avec le développement des pousses ;
- elles deviennent rapidement efficaces lorsqu'elles atteignent plus de 50 % de leur surface définitive et elles sont actives tant qu'elles restent sur la plante ;
- leur activité est fortement influencée par l'exposition à la lumière : elles sont particulièrement efficaces à la lumière directe du soleil, et à peine autosuffisantes dans les zones très ombragées de la frondaison ;
- leur température optimale de fonctionnement est comprise entre 15 et 30°C ;
- l'assimilation diminue à des niveaux d'eau dans le sol inférieurs à 50 % de l'eau disponible ;
- la photosynthèse est stimulée par la taille, par les fruits et par les pousses en croissance active.

La taille doit réduire la surface foliaire qui se reconstruit durant la période de végétation. Les feuilles s'adaptent aux conditions de lumière dans lesquelles elles poussent ou dans lesquelles elles se trouvent après les interventions de taille. Entre temps, la taille favorise la pénétration de la lumière dans la frondaison, améliorant ainsi l'exposition des feuilles et des fruits.

La taille peut renforcer la photosynthèse grâce à l'augmentation de la surface foliaire des feuilles, de l'épaisseur du mésophylle et de la chlorophylle et grâce à une plus grande activité journalière, due à une meilleure économie de l'eau disponible.

Une croissance plus active permet d'augmenter la demande des formes assimilables qui stimulent la photosynthèse.

Il convient non seulement de garantir les conditions optimales de fertilité et de disponibilité d'eau dans le sol, mais également d'assurer aux feuilles une disposition rationnelle dans l'espace pour que le maximum de surface foliaire soit exposé à la lumière. La taille et la forme de conduite permettent de réunir ces conditions : la taille, en garantissant un volume idéal de frondaison pour assurer une exposition suffisante à la lumière qui atteint même les feuilles situées de manière moins favorable ; et la forme de conduite, en permettant aux pousses et aux feuilles de se situer dans l'espace sur une structure ou un squelette le plus réduit possible.

2.2.2. Taille, croissance des pousses et augmentation des réserves nutritives

La taille, en éliminant une partie de la frondaison, provoque également la diminution du nombre de bourgeons, ce qui donne lieu à l'apparition de pousses plus vigoureuses qui bénéficient ainsi d'un volume supérieur de substances hormonales, nutritives et d'eau qui affluent de l'appareil racinaire.

La formation d'un nombre élevé de nouvelles pousses entraîne en effet la réduction des réserves, en particulier des hydrates de carbone stockés dans les parties structurelles de la plante. S'il est vrai que les plantes taillées accumulent l'amidon plus tardivement que les plantes non taillées, à la fin de l'été, les unes et les autres présentent le même niveau de substances nutritives.

La régulation de l'azote et de l'eau parallèlement à la taille peut favoriser ce processus. Après la taille, l'arbre est caractérisé par une croissance globale plus lente mais au lieu d'un développement diffus en faveur de branches vieilles et de rameaux affaiblis, la croissance se concentre sur un nombre inférieur de pousses qui sont plus vigoureuses. Si dans la phase juvénile, caractérisée par une vigueur élevée, la taille accentue ultérieurement la vigueur des pousses et retarde la mise à fruit, dans la phase adulte, elle peut améliorer la fructification en rendant plus vigoureuses les pousses tendant à être faibles.

Une taille sévère sur toute la frondaison permet ainsi le développement de rameaux vigoureux alors qu'une taille légère sur toute la frondaison entraîne le développement de pousses ayant tendance à être faibles.

Sur une plante soumise à une taille légère, la taille énergique d'une branche l'affaiblit davantage et peut servir à la remettre en équilibre avec les autres parties de la frondaison.

2.2.3. Taille et fructification

Chez les jeunes plantes, la production diminue avec la taille car celle-ci stimule une activité végétative déjà intense. Chez les plantes adultes, caractérisées par un développement plus lent, la taille augmente la vigueur des pousses, favorise la formation des fleurs et renforce la nouaison et le développement des fruits.

Les rameaux à bois, les rameaux mixtes et les rameaux à fruits doivent se développer de manière équilibrée pour assurer une bonne fructification. Toutefois, les fruits exercent une force d'attraction énergétique vis-à-vis des substances nutritives et réduisent ainsi la croissance des pousses, la différenciation des bourgeons à fleurs et les réserves de l'arbre.

La croissance des pousses, si elle influence la présence des fruits, est en concurrence positive avec l'accroissement des racines, l'accumulation de réserves et la différenciation des bourgeons à fleurs.

L'apparition des bourgeons à fleurs est favorisée par la présence d'une quantité suffisante de substances nutritives dans la plante, sans la concurrence des fruits, des pousses ou des racines. Ces bourgeons apparaissent sur les pousses de dimensions moyennes et bien exposées à la lumière qui ne sont ni trop faibles ni trop vigoureuses.



La carence de substances nutritives et la présence de pousses trop vigoureuses qui continuent à se développer pendant une longue période de l'année empêchent la différenciation des bourgeons à fleurs car l'extrémité de ces pousses, en activité continue, attire les substances nutritives synthétisées.

Il convient donc de favoriser une activité végétative modérée durant la croissance printanière, qui devrait s'atténuer par la suite pour permettre la constitution de réserves, la croissance des fruits et la différenciation des bourgeons à fleurs. Un rapport correct entre activité végétative et reproductive constitue un équilibre optimal vers lequel l'olivier doit tendre. Avec une taille d'intensité moyenne, on stimule une croissance modérée des pousses, qui s'arrête à temps et qui permet à la plante d'accumuler des hydrates de carbone, de nourrir ses fruits et de différencier les bourgeons à fleurs.

Le rapport qui s'instaure entre la frondaison et les racines doit être maintenu à un niveau constant pour ne pas concentrer les ressources supplémentaires dans la croissance de l'un ou de l'autre appareil. En réalité, le développement de la frondaison est réduit par les périodes de carence d'eau qui stimulent toutefois la croissance de l'appareil racinaire qui se développe dans des zones nouvelles et plus profondes du sol pour garantir un réapprovisionnement hydrique suffisant. Ce rapport altéré, provoqué par une carence d'eau temporaire, conduit à immobiliser les formes assimilables dans les racines aux dépens de la fructification. Ainsi, même dans des conditions d'ombre et de faible disponibilité de formes assimilables, la formation de nouvelles pousses et de feuilles dans la partie externe de la frondaison est stimulée, augmentant la quantité de substances nutritives utilisées par les organes végétatifs.

2.3. OBJECTIFS DE LA TAILLE ET CARACTÉRISTIQUES DE L'OLIVERAIE

La référence pour la taille doit porter sur des oliveraies efficaces et compétitives en ce qui concerne leurs coûts de gestion. Il convient alors de fixer une norme de référence pour chaque environnement. L'une de ces normes, largement acceptée, tient compte des exigences des secoueurs de tronc utilisés pour la récolte, ces derniers nécessitant pour fonctionner correctement des volumes de frondaison non supérieurs à 50 m³ distants au minimum de 6 x 6 m. Les arbres doivent intercepter une quantité maximum d'énergie solaire, avec des frondaisons à diamètre suffisamment large et une hauteur raisonnable pour abaisser les parties structurelles de la frondaison de manière à faciliter les opérations culturales, de taille, de récolte ou de traitement contre les parasites. La densité des feuilles devrait être proche de 2 m² par m³ de frondaison et atteindre des indices de superficie foliaire (LAI) de 5 à 6. Les volumes par hectare sont liés à la pluviométrie de la zone et varient entre 2 et 3 000 m³ par pluviosité de 250 mm, de 9 à 10 000 m³/ha avec des pluies de 600 mm et de 11 à 12 000 m³ par hectare avec une pluviosité de 850 mm. Sur des terrains irrigués, on peut arriver à 13 à 15 000 m³/ha. Ces indications sont données à titre d'orientation et doivent être adaptées aux conditions de travail. Il est important que chaque variété développe sa frondaison en fonction de la vigueur inhérente à ses caractéristiques génétiques, au climat et au sol. Dans ce cas, on laisse au tailleur le soin de choisir les rameaux les plus efficaces et de conserver la forme de l'arbre sans en modifier excessivement l'équilibre croissance-production.

L'expansion de la frondaison devrait occuper environ 50 % de la surface du sol destiné à la plante (50 % de 6 x 6 m = 18 m²). Une hauteur de frondaison de 3 à 4 m environ permet une bonne ac-

cessibilité pour la taille, la récolte et les traitements phytosanitaires. Dans ces conditions, les parties inférieures de la frondaison reçoivent une illumination suffisante, supérieure à 10-15 % de celle que reçoit le dessus de la frondaison, qui garantit une fonctionnalité suffisante et un développement modéré des fruits qui se forment dans cette zone, et profite également de la lumière que les parties de la frondaison reçoivent durant les différentes heures du jour grâce à une distribution régulière de la végétation. Dans le cas d'oliveraies irriguées, on peut prévoir des frondaisons un peu plus hautes qui augmentent le volume global sans trop altérer les conditions de fonctionnalité de la frondaison et de réponse à la récolte mécanique.

2.4. TAILLE, RÉSISTANCE AU FROID ET ÉTAT SANITAIRE DE L'ARBRE

La taille augmente la sensibilité au froid car :

- 1) elle prolonge dans le temps la croissance et réduit la maturité des tissus,
- 2) elle réduit la superficie foliaire et la quantité de réserves,
- 3) elle interrompt la période de dormance,
- 4) elle facilite la formation de gel dans les cellules proches des blessures résultant des coupes réalisées avant l'arrivée des basses températures.

La taille augmente la possibilité d'infections par des champignons et des bactéries bien qu'elle facilite le contrôle des parasites en ouvrant la frondaison et en la rendant plus accessible aux traitements.

2.5. PRODUCTION VÉGÉTATIVE

L'olivier donne lieu aux productions végétatives suivantes :

- les *rejets de souche*, qui sont les pousses vigoureuses qui se développent au pied de l'arbre, en particulier quand le tronc ou la frondaison ont du mal à se développer (Figure 2) ;
- les *gourmands*, qui sont des pousses vigoureuses provenant de bourgeons adventifs situés à la base des branches affaiblies et qui ne sont pas très utiles pour l'économie générale de la plante (Figure 3) ;
- les *pousses terminales* ou *latérales*, qui sont érigées, vigoureuses, pourvues de rameaux anticipés et ont un caractère végétatif (Figure 4) ;



Figure 2. Les rejets de souche qui apparaissent au pied de l'arbre sont généralement peu utiles.



Figure 3. Les gourmands provenant des bourgeons adventifs se développent à l'intérieur de la frondaison.



Figure 5. Rameaux fructifères de vigueur moyenne.



Figure 4. Pousse vigoureuse pourvue de rameaux anticipés, utile pour la future fructification.

- les *rameaux obliques*, ou *pendants*, qui sont de vigueur moyenne, produisent des fleurs et émettent à leur tour des bourgeons au niveau de la courbure et dans la partie terminale (Figure 5) ;
- les branches de 1^{er}, 2^e, 3^e ordres et le *tronc*, qui constituent le support structurel de la frondaison.

2.6. OPÉRATIONS DE TAILLE

2.6.1. Suppression et rabattage des branches

Cette opération consiste à supprimer des branches entières lorsqu'elles sont épuisées ou se trouvent dans une position susceptible de limiter significativement la diffusion de la lumière dans les parties avoisinantes. Le raccourcissement des branches est une pratique essentielle dans la taille de production pour éliminer la partie terminale de la branche affaiblie par la fructification. Elle consiste à tailler au-dessus d'une pousse de bonne vigueur qui aura pour fonction de remplacer progressivement la branche (Figure 6). Les tailles devront être réalisées avec des outils bien affûtés et être si possible légèrement inclinées par rapport à la section du rameau pour favoriser le rejet d'eau et la cicatrisation. Dans le cas de coupes très grandes, il pourrait être opportun de recouvrir leur surface avec du mastic à luter.

2.6.2. Suppression et rabattage des rameaux

Les rameaux d'un an peuvent être taillés à la base ou être raccourcis à des hauteurs différentes. La première opération est exécutée vers la fin de la période de croissance pour éclaircir les frondaisons trop denses et alléger l'extrémité des branches afin de les affaiblir pour donner ainsi la possibilité aux rameaux inférieurs de croître davantage et de recouvrir la branche de manière uniforme. On raccourcit les rameaux

à différents niveaux lorsque l'on veut stimuler l'accroissement des pousses qui se forment à partir des bourgeons les plus éloignés du rameau taillé. On raccourcit l'axe de la plante si l'on veut stimuler la formation de branches latérales ou principales.

Après la fructification, les rameaux de vigueur moyenne tendent à se plier, ce qui donne lieu à la formation de nouvelles pousses dans la partie de la courbure du rameau. La taille permet ici d'éliminer la partie intermédiaire-terminale du rameau qui a fructifié, pour la remplacer par un ou deux rameaux parmi ceux apparus à la base. Les rameaux fructifères tendent également à former une nouvelle pousse à partir du bourgeon apical. Le choix de cette pousse apicale provoquera l'allongement excessif des branches fructifères et l'augmentation des parties structurales de la plante. Les zones fructifères situées à l'extrémité de branches privées de végétation, perdent leur vigueur et s'épuisent rapidement. L'olivier émet facilement de nouveaux rameaux après une taille plus ou moins énergique, ce qui permet d'assurer un bon renouvellement des branches épuisées, en utilisant les branches les plus proches des branches principales.



Figure 6. Branche de 3^e ordre, avec fructification sur la partie terminale, rénovée par une taille au dessus d'une pousse de vigueur moyenne.

2.6.3. Inclinaison et courbure

Cette pratique consiste à incliner les rameaux ou les branches en déplaçant leur axe d'un angle plus ou moins large par rapport à la verticale. L'inclinaison permet d'accentuer de manière considérable la tendance trapue de l'olivier. Cette technique permet également le développement de pousses vigoureuses à la base du rameau ou de la branche, pour compenser une cime affaiblie portée vers la fructification (Figures 7 et 8).

2.6.4. Incision annulaire

Cette pratique consiste à enlever un anneau d'écorce d'un centimètre de hauteur lorsque la plante est en sève, l'objectif étant d'empêcher que les substances élaborées par la partie du rameau incisé soient



Figure 7. Courbure d'une branche pour l'orienter à la fructification.

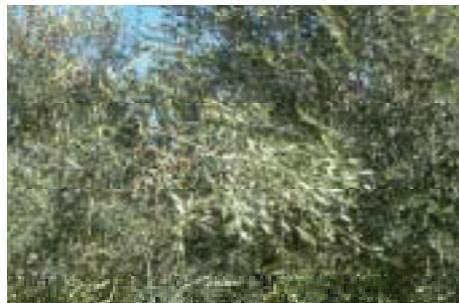


Figure 8. Inclinaison d'une grosse branche pour favoriser la fructification.



utilisées par d'autres parties de la plante. Cette technique favorise la différenciation des bourgeons (si l'incision est faite à temps), la nouaison et le développement des fruits mais elle provoque l'arrêt de la croissance végétative - les parties incisées sont donc destinées à s'épuiser - et entraîne une réduction des substances nutritives dans le reste de l'arbre (Figure 9).

2.6.5. Pincement

Cette opération consiste à couper l'extrémité des pousses. Si cette opération est exécutée durant la période de développement, elle provoque un arrêt momentané de la croissance et la formation ultérieure de rameaux anticipés. Si elle est réalisée à la fin de la croissance, elle bloque le prolongement de la pousse, sans provoquer l'émission de nouvelles productions végétatives. Elle permet au rameau d'utiliser les substances qui se sont formées pour la maturation des tissus et pour la différenciation des organes floraux. Le pincement peut être réalisé dans le prolongement de l'axe de la plante pour encourager la formation de branches latérales



Figure 9. Incision annulaire d'une grosse branche.

utiles à la constitution du squelette de l'arbre. Cette opération permet de remplacer une pousse vigoureuse par d'autres pousses de vigueur moyenne qui répondent mieux à la fructification.

2.6.6. Ravalement

Cette pratique consiste à tailler à la base ou à 40 à 50 cm de leur insertion, une ou toutes les branches principales (Figure 10). Cette pratique est utilisée dans les opérations de rajeunissement pour



Figure 10. Taille d'une branche à la base.

remplacer les frondaisons endommagées par des événements climatiques ou des attaques de parasites.

2.6.7. Rabattage

Cette opération consiste à éliminer la partie aérienne de l'olivier en taillant le tronc à une hauteur variable ou au niveau du sol. Cette opération est pratiquée sur des oliviers fortement endommagés par le gel, le feu ou de fortes attaques parasitaires. Dans certains cas, on a recours au rabattage pour rabaisser la frondaison et faciliter les opérations culturales.

2.6.8. Élimination des caries

Cette pratique consiste à éliminer le bois détérioré par la carie sur les branches, le tronc ou la souche : l'opération est complète lorsque l'on arrive à proximité du bois encore intact (Figure 11).

2.6.9. Dimensions des rameaux les plus efficaces

Chez les arbres adultes, les rameaux les plus efficaces pour la production sont les rameaux moyens d'environ 25 cm qui sont caractérisés par une forte floraison et une nouaison importante. Les rameaux d'environ 40 cm ont une floraison inférieure mais une nouaison semblable ou légèrement supérieure à celle des rameaux de longueur moyenne. Chez les plantes jeunes, les rameaux de 15 à 50 cm sont également efficaces. Ceux qui sont plus longs ont une moindre floraison et une nouaison élevée.



Figure 11. Élimination des caries sur un tronc.

2.7. SYNTHÈSE DES ACTIONS RÉSULTANT DE LA TAILLE ET PRINCIPAUX OBJECTIFS

L'arbre taillé voit son développement global réduit car il synthétise moins de substances et doit reconstituer les parties éliminées. Lorsque la taille affecte la frondaison, les parties restantes profitent temporairement d'un approvisionnement plus important en substances de réserve accumulées dans l'appareil racinaire, en eau, en substances minérales et en hormones produites par les racines, ce qui donne lieu au développement d'un nombre inférieur de pousses mais celles-ci sont plus vigoureuses.

La taille réalisée pendant la phase juvénile renforce donc la vigueur et retarde la mise à fruits. Lorsqu'elle est exécutée au cours de la phase adulte, elle peut améliorer la fructification si elle rend les rameaux affaiblis plus vigoureux ou la réduire si elle accentue excessivement leur vigueur.

La taille réalisée sur des frondaisons excessivement denses, améliore également l'ensoleillement, l'aération et le calibre des fruits.

Lorsqu'elle est appliquée sur tous les organes de la plante, la taille en réduit le développement. Toutefois, elle influence le reste de la frondaison en permettant une plus grande disponibilité de substances fournies par l'appareil racinaire : une branche taillée s'affaiblit alors que les autres, qui n'ont pas été taillées, deviennent plus robustes.

L'action d'affaiblissement ou de fortification de la végétation doit tenir compte des effets produits par les autres techniques de culture.

On rappellera que les principaux objectifs de la taille sont : l'amélioration de l'exposition à la lumière, l'équilibre entre les branches et l'obtention de pousses de vigueur moyenne, constamment renouvelées, pour garantir une production abondante et régulière.



2.8. ÉPOQUE DE TAILLE ET MODALITÉS D'EXÉCUTION DES COUPES

La taille doit être réalisée de préférence pendant l'hiver, entre la récolte et le débourrement. Toutefois, dans les zones caractérisées par des températures hivernales fréquemment basses, on retardera les opérations de taille car elles influencent négativement la résistance des arbres aux basses températures qui empêchent en outre une cicatrisation rapide des coupes.

Les tailles exécutées après le débourrement affaiblissent la plante car les réserves nutritives accumulées durant l'hiver dans les racines et dans les grosses branches ont déjà été mobilisées.

L'élimination hivernale des rejets de souche peut être anticipée au mois d'août alors que l'élimination des gourmands à cette période n'est utile que dans des frondaisons excessivement touffues et peu éclairées. Elle vise dans ce cas à atténuer les conséquences d'une faible disponibilité d'eau.

Il est conseillé de tailler les plantes affectées par la tuberculose au cours de la saison estivale car les coupes cicatrisent plus rapidement et la diffusion des bactéries responsables de la maladie n'est pas favorisée.

La taille des branches et des rameaux ne doit pas être trop profonde (à ras de l'écorce) pour ne pas endommager l'intégrité des branches inférieures. On veillera également à éliminer tous les chicots pour faciliter la cicatrisation.

2.9. TAILLE DE FORMATION

Durant la période de formation, l'objectif principal de la taille est d'atteindre la forme définitive le plus tôt possible afin de stimuler successivement la production.

Pour une croissance initiale rapide, l'idéal est de partir d'un matériel de pépinière : les arbres devront être bien développés en hauteur et présenter peu de ramifications latérales. Dès la mise en terre, le sol doit garantir les meilleures conditions de croissance aux jeunes plants.

Pendant cette phase, la taille doit être réduite au minimum pour promouvoir un développement maximum. On contrôlera, par des interventions limitées, les ramifications latérales du tronc. Leur présence est indispensable pour stimuler l'expansion du diamètre mais elles ne doivent en aucun cas prendre le dessus. Presque tous les rameaux devront être éliminés, à l'exception de quelques petites branches peu vigoureuses et tombantes qui, dès qu'elles seront plus vigoureuses, devront être taillées (Figure 13).

L'exposition de la frondaison à la lumière au cours des premières années de développement ne doit pas préoccuper outre mesure car les dimensions limitées de la frondaison ne posent pas encore de problèmes d'ombrage.

En ce qui concerne la formation et le choix des branches sur le tronc, il faut savoir que les branches sont plus solides lorsqu'elles sont insérées à des points distants de 5 à 10 cm, qu'elles forment un angle d'inclinaison de 30 à 40° par rapport à la verticale et qu'elles commencent à une hauteur de tronc d'au moins 100 cm pour répondre aux exigences de la récolte mécanique (Figures 12 et 13). La formation et le développement des branches sont favorisés par la nature trapue de l'olivier, qui privilégie la croissance des branches latérales par rapport au sommet. C'est pourquoi il

est préférable de ne pas chercher à réduire l'appareil foliaire ou alors de limiter la taille à un écimage ou à un éclaircissement de quelques branches concurrentes pour faciliter le développement de celles mieux insérées qui ont été choisies pour la formation des branches principales.

Lorsque l'arbre a deux ou trois ans, on changera le tuteur de place pour éviter les lésions sur l'écorce et l'absence prolongée de rameaux sur le côté du tronc en contact avec le tuteur:



Figure 12. Il convient d'éviter de choisir des branches ayant le même point d'insertion car elles peuvent se rompre.



Figure 13. Au cours des deux premières années suivant la plantation, il n'est nécessaire de contrôler par la taille que les pousses qui se développent sur le tronc ou au pied de l'arbre.

Avant que les branches ne deviennent rigides, on les éloignera du tronc au moyen de trois tuteurs disposés en trépied ou d'un cerceau que l'on utilisera pour repousser les branches vers l'extérieur. On obtiendra le même effet avec différents types d'instruments conçus pour éloigner les branches (Figures 14, 15 et 16). Grâce à l'éloignement, les pousses internes et vigoureuses de la frondaison feront office d'axe principal, alors que les ramifications secondaires, externes, deviendront des branches inférieures ou temporaires.

Lorsque la frondaison de l'arbre est constituée par un axe allongé, la formation des branches sera favorisée en courbant l'axe de la plante au point où l'on souhaite ramifier l'olivier. Les branches seront inclinées différemment selon leur vigueur. Tout vide dû à une absence de branches devra être comblé avec des pousses nouvelles et vigoureuses que l'olivier formera à partir des nombreux bourgeons adventifs.



L'année suivant l'inclinaison des branches, on pourra commencer à tailler légèrement en éliminant les rameaux internes des branches, les bifurcations des branches précédentes, des branches superposées et de celles présentant un développement transversal.

Ce n'est qu'à la quatrième ou cinquième année que l'on pourra corriger les éventuelles anomalies de forme en éliminant les branches trop nombreuses (Figure 17).

La taille de formation donne lieu à la constitution d'une structure robuste et fonctionnelle consistant à répartir l'appareil foliaire dans l'espace, de manière à assurer l'exposition à la lumière de la plus ample superficie possible avec un nombre réduit de branches et à permettre la réalisation des soins cultureux par des moyens mécaniques.



Figure 14. Séparation des branches au moyen de trois tuteurs disposés en trépied.



Figure 15. Séparation des branches au moyen d'un instrument conçu à cet effet.

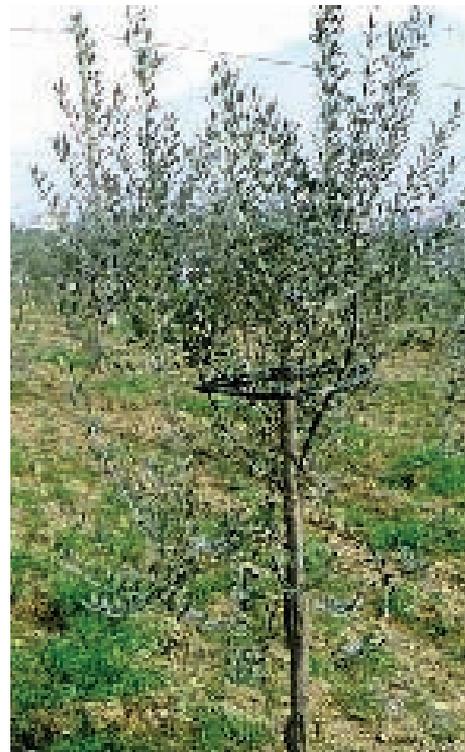


Figure 16. Séparation des branches principales au moyen d'un cerceau métallique.



Figure 17. Au bout de 4 ou 5 ans, la taille permet de sélectionner les branches principales et d'éliminer les rameaux qui se développent à l'intérieur de la frondaison.

2.10. TAILLE DE FRUCTIFICATION

Lorsque les oliviers ont acquis la forme de croissance choisie, la taille de production les aidera à conserver leurs dimensions et à assurer une fructification élevée et régulière dans le temps.

La conservation d'un volume optimal de production de la frondaison est le premier objectif que la taille de production doit poursuivre (voir chapitre 2.3). Un volume supérieur à celui que l'environnement peut maintenir provoque un épuisement plus rapide des réserves d'eau en été qui donne lieu à une chute des fruits plus élevée. Dans les cas les plus graves, on observe également une forte chute de feuilles et une altération du rapport feuille-bois qui peut aggraver l'alternance des productions et provoquer une réduction de la quantité et de la qualité du produit.

La production est le résultat d'un équilibre entre l'activité d'absorption de l'appareil racinaire et la formation de photosynthèse par la frondaison. Un rapport adéquat entre les deux activités donne lieu au développement de rameaux de longueur moyenne (entre 20 et 40 cm) et de bourgeons majoritairement fructifères. En présence de nombreux rameaux à bois, l'arbre peut être ramené à un meilleur équilibre au moyen d'une légère taille d'espacement, de manière à ce que la frondaison se répande et puisse capturer une plus grande quantité de lumière pour produire plus d'hydrates de carbone nécessaires pour une bonne fructification (Figure 18). Si l'expansion de l'arbre accentue l'ombrage à l'intérieur de la frondaison ou avec les frondaisons voisines, cela signifie que l'objectif n'a pas été atteint puisque l'augmentation de la surface foliaire n'a pas donné lieu à une augmentation en conséquence des produits de la photosynthèse et que l'olivier est resté principalement dans une activité végétative.

En cas de rameaux faibles à l'intérieur d'une frondaison épaisse, une taille d'intensité moyenne pourra rétablir une bonne illumination, une bonne aération et la production de pousses de dimension moyenne et à forte capacité de fructification.



Figure 18. Taille de fructification sur des arbres adultes pour récupérer le volume et éclaircir la frondaison.

Une plante non taillée produit une quantité de fruits supérieure à la capacité de nutrition de l'arbre. Cela donne lieu à la production de petits fruits dont la chute s'accroît en été et dont la teneur en huile est basse.

La forte attraction de substances nutritives exercée par les fruits cause la formation de pousses moins nombreuses et plus faibles pour la production de l'année suivante, l'olivier tendant alors à une alternance qui s'accroît dans des conditions édaphoclimatiques difficiles ou quand les soins culturaux ne seront pas suffisants.

Une taille énergique dans le courant de l'année de plus forte production permettra d'atténuer l'excès d'activité reproductive et d'éviter l'instauration d'une alternance de production.

Les rameaux fructifères tendent à se situer vers l'extrémité en raison de l'allongement des branches, alors que la base des branches est dépouillée de végétation. Pour éviter ce type d'anomalie, on procédera à des tailles de renouvellement sur les rameaux situés à la courbure des rameaux fructifères en retournant régulièrement sur les pousses qui surgissent à la base des branches fructifères. Cela permettra d'éviter que la végétation ne se déplace vers les parties supérieures, externes, de la frondaison.

Il conviendra d'accorder une attention particulière à l'aération constante de la frondaison afin que toutes les feuilles soient exposées à une intensité de lumière adéquate (Figure 19). Durant la phase de formation, lorsque l'olivier est encore bien éclairé et l'activité végétative domine, la taille de production, qui coexiste avec celle de formation, devra donc être légère. Durant la phase adulte en revanche, la taille de fructification devra être réalisée régulièrement pour éliminer les gourmands, les branches épuisées et une partie des branches pour contrôler le développement en hauteur, en réduisant les extrémités et en fixant la végétation le plus près possible des branches principales. Les étapes de la taille de production sont les suivantes :

- 1) contrôle de la régularité de la forme et correction éventuelle au moyen de tailles pratiquées sur les branches principales et secondaires ;
- 2) élimination des gourmands et éventuelle utilisation de certains d'entre eux pour remplacer les branches dépéries ;



Figure 19. Éclaircissement de la frondaison d'un olivier de la variété 'Chemlali' en Tunisie.

- 3) aération des extrémités des branches par des tailles de rappel jusqu'à la hauteur maximale de la forme de conduite ;
- 4) aération des branches secondaires et tertiaires en éliminant les branches déformées et épuisées ou cariées et en raccourcissant les branches trop longues. Élimination des rameaux bifurqués et éclaircissage des rameaux et des branches trop denses ;
- 5) taille des drageons (rejetons) à leur insertion sur la cépée.

Les éléments fondamentaux à prendre en compte sont : l'équilibre entre les différentes parties de l'arbre, le respect de la forme de conduite, le maintien de la hauteur avec des tailles de rappel, un rapport élevé entre les feuilles et les parties structurales et l'absence de branches dépourvues de végétation.

Les gourmands doivent être bien contrôlés dans les zones intérieures de la frondaison. On peut éventuellement en laisser quelques-uns pour faire de l'ombre et maintenir la branche en activité.

Les rameaux vigoureux ne doivent pas être laissés à l'extrémité car ils pourraient provoquer un allongement excessif des branches vers le haut, la présence de zones d'ombre et la diminution des substances nutritives aux dépens des branches inférieures. Les rameaux qui naissent de branches de 2^e ou 3^e ordre doivent également être éliminés car ils tendent à concurrencer la branche principale.

Une fois les possibilités de concurrence éliminées, les ramifications restantes doivent être espacées pour éviter la superposition des rameaux ou la présence de branches épuisées, malades ou cassées.

Si l'élimination des branches vigoureuses a donné lieu à une réduction sévère de l'appareil foliaire, certaines des branches de vigueur moyenne peuvent être conservées. Dans ce cas, il est conseillé de les raccourcir pour en réduire le développement et pour favoriser la formation de branches fructifères. Cette solution peut s'avérer utile pour remplir les vides qui se seraient formés à l'intérieur de la frondaison.

Quand l'arbre commence à produire des pousses dont le développement est limité et à manifester la supériorité des parties structurales sur la présence des feuilles et que l'on observe en même temps



une émission considérable de gourmands ou de drageons, on peut considérer qu'il s'agit d'une décadence de certaines parties structurelles de la frondaison. Il convient de noter ces signes au moment opportun car il sera nécessaire d'intervenir par une taille de rajeunissement pour éliminer les parties affaiblies, au risque de pertes de production importantes. Les interventions les plus efficaces sont la substitution des branches au moyen d'une taille à la base et leur reconstitution à partir des pousses apparaissant sous la coupe. Le remplacement de la branche rétablit un rapport feuille-bois équilibré dans la frondaison et améliore l'exposition à la lumière de la partie restante de la frondaison.

2.1.1. INTENSITÉ ET PÉRIODICITÉ DE LA TAILLE

Les opérateurs doivent exécuter la taille en suivant les recommandations correspondant aux phases de plantation, de formation et de production afin de réduire la période d'improductivité initiale, de stabiliser et faire durer celle de production, et de retarder la décadence de l'oliveraie. Certains schémas et résultats d'essais expérimentaux sur l'intensité et la périodicité de la taille peuvent être utiles pour choisir les interventions.

Dans une oliveraie de dix ans, élevée en gobelet sur un terrain de consistance légère, conduite en régime irrigué et faisant l'objet d'une fertilisation rationnelle avec un apport d'azote principalement, trois intensités de taille différentes ont été appliquées : légère, moyenne et sévère, à des cycles de taille annuelle, biennale et triennale.

Aux intensités de taille testées correspondaient des indices de superficie foliaire (LAI) de 5,1 ; 3,2 et 2,7 respectivement pour la taille légère, moyenne et intense au début de la saison. Les opérations ont été exécutées tous les ans, tous les deux ans et tous les trois ans, l'objectif étant de réduire la frondaison au volume assigné, au moyen de tailles de rappel sur les branches principales pour ramener la plante à la hauteur de référence (Figures 20, 21 et 22). Cette action a été d'autant plus énergique que les intervalles entre une taille et l'autre étaient espacés.



Figure 20. Arbre avant et après une taille légère.



Figure 21. Arbre avant et après une taille d'intensité moyenne.



Figure 22. Arbre avant et après une taille sévère.

Tous les gourmands vigoureux ont été éliminés, à l'exception d'un gourmand plus faible qui a été laissé dans l'hypothèse où il finirait par devenir fructifère. On a ensuite procédé à l'aération des branches de troisième ordre en taillant les branches mortes et les branches trop touffues à leur base.



Les petites branches trop basses, ombragées et pendantes ont été éliminées ou raccourcies. Les interventions n'ont pas concerné la totalité des branches, d'une part pour ne pas réduire le nombre global de feuilles et d'autre part, pour ne pas augmenter le temps d'exécution des opérations.

La frondaison était globalement équilibrée, bien garnie de feuilles, suffisamment ouverte dans la partie supérieure et avec de larges espaces laissant passer la lumière dans les zones internes.

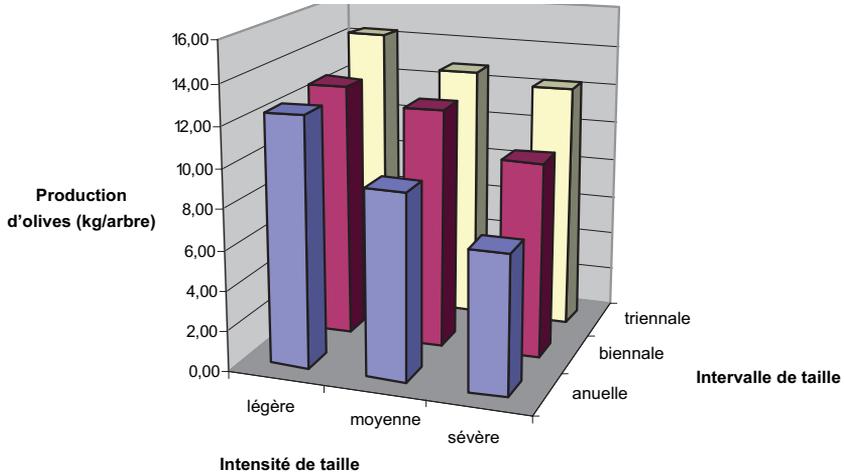


Figure 23. Influence de l'intensité et des intervalles de la taille de fructification.

La taille légère a permis d'enregistrer des productions nettement supérieures à celles résultant des tailles moyenne et sévère (Figure 23). La surface foliaire a été décisive aux fins de la production. Celle-ci a également été favorisée par le développement des ramifications de vigueur moyenne plus portées à produire. Les tailles moyenne et sévère ont donné lieu à l'apparition de gourmands ou de pousses à caractère majoritairement végétatif. La taille moyenne a donné des productions peu élevées lorsqu'elle était appliquée tous les ans, mais bonnes à des intervalles de 2-3 ans. La taille sévère a donné des productions réduites avec des cycles de taille annuels ou biennaux et de bonnes productions si elle était appliquée tous les trois ans. Les plus grandes productions ont été obtenues principalement grâce à une augmentation du volume de la frondaison, puisque toutes les combinaisons ont enregistré une efficacité de production similaire en kg d'olive par m³ de frondaison. Aucune différence statistiquement significative n'a été observée entre les variétés (Figure 24).

Ces résultats montrent la nécessité d'une surface foliaire élevée et de rameaux de vigueur moyenne qui doivent demeurer intacts pendant plus d'un an pour récupérer leur potentialité de production, avant d'être éliminés avec la taille. Il ne s'agirait pas d'une taille annuelle de production mais d'une taille obéissant à des cycles plus longs. Lorsqu'il est nécessaire de maintenir le volume de la frondaison dans des limites précises, les tailles moyenne et sévère peuvent être utilisées si elles sont associées à des intervalles opportuns entre une taille et la suivante. Cette considération a toutefois ses limites en raison de ses conséquences en termes d'ombre et de distribution spatiale irrégulière de la frondaison.

Cette solution rendrait également l'opération de taille moins détaillée, moins spécifique, les cycles biennaux et triennaux étant suffisants pour récupérer toutes les potentialités de production des plantes.

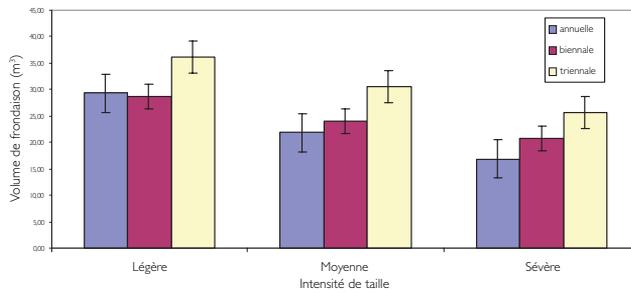


Figure 24. Impact de la taille sur le volume de la frondaison.

La limite qu'il convient de ne pas dépasser est atteinte lorsque les dimensions des rameaux qui se développent dans l'intervalle entre les opérations de taille prennent des dimensions excessives et entrent en concurrence avec la branche principale sur laquelle ils sont insérés. La frondaison est alors trop épuisée pour commencer un nouveau cycle de manière efficace.

À cet égard, on tiendra compte également de la capacité d'adaptation des variétés à des cycles de taille plus ou moins longs. Les variétés les moins susceptibles de produire des gourmands supportent généralement des cycles de taille plus longs.

La variété 'Frantoio' est plus exigeante en termes de taille que les variétés 'Leccino' et 'Maurino'. Après deux ans, elle nécessite en effet une réorganisation, d'autant plus qu'elle fait preuve d'une certaine sensibilité aux attaques de *Cycloconium* dans les tailles à plus long terme. Les mêmes considérations sont valables pour la cochenille dont la diffusion est favorisée par une densité excessive de la frondaison. Même si l'on constate qu'une plus grande densité de feuilles est synonyme d'augmentation de la production, il pourrait être opportun, pour limiter la diffusion des parasites, de ne pas exacerber ce paramètre et d'adopter des schémas prévoyant des tailles d'intensité moyenne, avec des intervalles supérieurs à un an.

Les tailles d'intensité moyenne permettent un renouvellement plus efficace des productions fructifères. Elles améliorent l'aération et l'illumination de la frondaison jusqu'à ce que la plante ait de nouveau une superficie foliaire plus grande.

La quantité de bois éliminé, qui diminue avec l'allongement du cycle de taille et qui dépend de la variété, est nécessaire pour la sélection des parties structurelles et fonctionnelles de la frondaison (Figure 25). Les variétés de vigueur moyenne permettent de limiter l'élimination et de consacrer une plus grande quantité de matière sèche élaborée par la plante à la fructification.

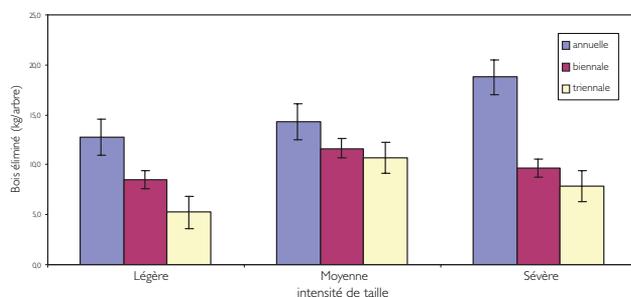


Figure 25. Bois de taille éliminé, par arbre et par an.



2.12. FORMES DE CONDUITE

La forme de conduite a pour objectif de permettre à la frondaison de l'olivier de se développer en fonction de la vigueur permise par les conditions édaphoclimatiques et de distribuer l'appareil foliaire dans l'espace pour assurer une bonne exposition à la lumière. Le mode de conduite choisi favorise alors la fructification. On le contrôlera par des interventions de taille si l'on veut éviter une vigueur ou un ombrage excessif, facteurs responsables de productions non satisfaisantes.

Grâce à la présence d'un grand nombre de rameaux sur la souche et les branches, l'olivier réagit même aux traitements les plus énergiques et s'adapte à de nombreuses formes de conduite. Toutefois, plus les formes de conduite s'éloignent du modèle naturel de végétation, plus leur efficacité diminue, ce qui rend nécessaire la pratique d'interventions de taille constantes et sévères qui réduisent le potentiel productif de la plante.

La forme idéale est donc celle qui respecte le port naturel et qui permet une efficacité de production élevée en termes de surface foliaire photosynthétiquement active. Les différentes formes géométriques sont regroupées en :

- formes en gobelet (gobelet polyconique, à l'envers, buissonnant) ;
- formes en globe ;
- formes à axe vertical (monocône, axe vertical) ;
- formes en murs (palmette, rangée).

2.12.1. Gobelet

Forme largement diffusée, elle présente de nombreuses variantes qui portent principalement sur l'inclinaison des branches et la distribution de la végétation autour des branches. Toutefois, le concept fondamental du gobelet est celui de la répartition de la végétation sur plusieurs axes distants, ce qui permet à l'olivier de se développer dans un volume plus grand et de profiter d'une meilleure exposition à la lumière.

Cette forme permet en outre d'atteindre un volume élevé pour répondre au fort développement qui peut caractériser l'olivier dans des environnements favorables. Dans ces conditions, il est plus facile de conserver l'équilibre de la plante entre ses deux activités : végétative et reproductive.

L'une des variantes du gobelet est le gobelet polyconique. Il s'agit d'un olivier élevé sur un tronc de 100-120 cm d'où partent trois ou quatre branches principales (charpentières) inclinées à 40-45° et prenant par la suite une position presque verticale (Figure 26).



Figure 26. Forme de conduite en gobelet polyconique.

Pour obtenir une forme en gobelet, il suffit de laisser pousser l'olivier librement pendant deux ou trois ans à partir de la mise en terre et de bien contrôler le développement des pousses le long du tronc. Lorsque le tronc atteint une hauteur de 100-120 cm, on sélectionnera les rameaux les plus vigoureux ou les mieux insérés sur l'axe principal pour la constitution des branches. On les laissera se développer initialement dans une direction proche de la verticale et on les inclinera le plus tard possible, jusqu'à ce que l'élasticité des branches le permette.

On laissera les branches inclinées pousser jusqu'à atteindre la largeur de la frondaison voulue, après quoi on les dirigera vers le sommet. Chaque branche principale est revêtue de branches fructifères, dont la longueur diminue de bas en haut pour éviter un ombrage réciproque excessif. Le sommet est aéré pour garantir un développement suffisant des branches inférieures et il est maintenu à une hauteur maximale de 4 mètres par des tailles de rappel. On évitera le développement des gourmands sur les branches principales car ils abîment les branches sur lesquelles ils se trouvent, entraînent un ombrage excessif à l'intérieur de la frondaison et n'apportent aucune contribution significative à la fructification. Les formes en gobelet sont bien adaptées à la récolte mécanique mais il est nécessaire de raccourcir ou de rigidifier les branches secondaires et tertiaires et de réduire l'inclinaison.

L'une des variables du gobelet polyconique est le gobelet buissonnant. Il peut être constitué d'un ou de trois arbres. Dans le premier cas, les branches, au nombre de 6 ou 7, se développent sur un tronc de 50 à 70 cm. Dans le second cas, les oliviers sont plantés aux angles d'un triangle équilatéral d'un mètre de côté. Cela permet un fort investissement de plantes à l'hectare et la proximité de la frondaison par rapport au sol facilite la récolte manuelle (Figure 27).



Figure 27. Forme de conduite en gobelet buissonnant.

À l'opposé de la tendance vers une forme géométrique rigide dans le passé, on se dirige davantage aujourd'hui vers un concept qui permet une plus grande liberté. Les interventions de taille sont limitées et on peut faire preuve d'une plus grande flexibilité quant au nombre des branches, à leur inclinaison et à leur équilibre réciproque qui se rapproche des formes en globe.



2.12.2. Globe

La frondaison prend la forme d'une sphère dans laquelle la végétation est distribuée uniformément à partir de 3 à 5 branches principales. Cette forme est utilisée dans les zones caractérisées par des climats chauds et une forte intensité d'exposition à la lumière pour protéger les branches d'éventuels dégâts causés par des températures élevées et pour éviter que les rayons du soleil n'affectent directement leur écorce.

La production tend à se développer dans la partie externe dont la profondeur dépend de l'espacement. La plante mise en terre est étêtée à une hauteur de 100 à 120 cm. On fait partir trois branches qui forment à leur tour des branches secondaires pour stabiliser une surface fructifiante dans la partie externe de la frondaison (Figure 28).

La taille de production permettra de renouveler les branches épuisées dans la frondaison et de stimuler la formation annuelle de rameaux fructifères de vigueur moyenne. Il convient de limiter la hauteur de la frondaison à 4,5-5 m avec des tailles de rappel pour éliminer l'extrémité des branches et les libérer des gourmands qui finissent par les épouser.

Il convient également de contrôler le développement de la frondaison pour éviter un ombrage excessif provoqué par les plantes voisines. Les distances de plantation doivent donc être bien calculées en fonction du développement de la plante.



Figure 28. Forme de conduite en globe.

2.12.3. Monocône

L'arbre, avec son axe central émergent, est revêtu de branches latérales de longueur croissante du haut vers le bas, avec un tronc plus ou moins réduit selon que la récolte est manuelle ou mécanique.

L'olivier est fixé à un tuteur de 2,5 m de haut. On le laissera pousser librement en se limitant à éclaircir la cime jusqu'à la hauteur souhaitée. Dès qu'elles apparaissent, les pousses vigoureuses ou insérées à angle aigu le long du tronc seront éliminées. Les branches situées autour de l'axe central doivent avoir un grand angle d'insertion. On pratiquera alors une taille de production consistant en un éclaircissement et la substitution des branches épuisées. En définitive, il s'agit d'une branche d'un gobelet polyconique.

La forme répond aux exigences de production jusqu'à ce que l'on parvienne à maintenir l'olivier dans des proportions moyennes, avec des branches latérales courtes et éclaircies, de manière à ce



Figure 29. Forme de conduite en monocône durant la phase initiale.



Figure 30. Oliviers en monocône durant la phase de production.

que toute la frondaison soit bien éclairée (Figure 29). Si l'olivier devient trop grand, la taille trop sévère que l'on est obligé d'exécuter affecte l'équilibre de l'arbre en le rendant excessivement vigoureux. À l'inverse, il acquiert des dimensions qui entraînent un allongement exagéré des branches qui se dépouillent de végétation dans la partie inférieure, ce qui donne lieu à une perte d'efficacité et à l'impossibilité de pratiquer la récolte mécanique (Figure 30).

2.12.4. Axe vertical

Il s'agit d'un axe vertical de trois mètres de haut, pourvu sur toute la hauteur de branches latérales de même longueur qui sont renouvelées régulièrement. La taille de fructification consiste à éclaircir les rameaux et à raccourcir les branches qui ont déjà fructifié pour les encourager à produire de nouveaux rameaux de vigueur moyenne. Cette forme a donné de bons résultats avec des cultivars très productifs, mais elle exige beaucoup d'expérience car le développement de l'olivier est difficile à contrôler et on ne parvient pas toujours à atteindre l'indispensable équilibre entre activité végétative et activité productive.

2.12.5. Systèmes superintensifs en haie



Figure 31. Oliveraie superintensive et tracteurs utilisés pour la récolte.

On élève l'olivier en axe vertical à des distances réduites de 4 x 1,5 m, avec le soutien d'un tuteur léger et d'une structure composée de pieux et de fils métalliques pour permettre la récolte au moyen de tracteurs à une hauteur maximum de 2,5 m (Figure 31). Les oliveraies devront être irriguées, bien fertilisées et constituées de variétés productives de vigueur moyenne, type 'Arbequina' et 'Arbosana'. On obtient ainsi des productions significatives, comparables à celles de la phase constante de production, à partir de la 4^e ou 5^e année. La durée de l'exploitation est de 13 à 15 ans.



2.12.6. Palmette

Ce système permet d'élever l'olivier de manière aplatie pour assurer une bonne exposition à la lumière et pour faciliter l'exécution des soins culturaux.

L'olivier est constitué d'un axe principal et de branches disposées sur plusieurs étages, en général une ou deux. En pépinière, la plante est privée alternativement de la moitié des branches latérales et de la moitié des branches de la base. La troisième année, on obtient une plante vigoureuse avec des rameaux latéraux bien développés, dont deux sont utilisés pour la première ramification.

Sur le terrain, l'axe central est soutenu par un tuteur puis raccourci à environ 1,2 m pour stimuler la production des rameaux nécessaires à la formation du deuxième étage. Les branches latérales, que l'on laisse pousser avec une inclinaison de 40-45°, se couvrent de végétation.

La taille de production consiste à éliminer les gourmands, à espacer les rameaux, à remplacer les branches épuisées et à incliner les rameaux vigoureux (Figure 32).



Figure 32. Forme de conduite en palmette.

2.13. CRITÈRES DE CHOIX DE LA TAILLE ET DU MODE DE CONDUITE

Le choix du type de taille et du mode de conduite exige une analyse minutieuse des conditions dans lesquelles on opère, en particulier des facteurs édaphoclimatiques, des caractéristiques des cultivars d'olivier et des effets que la taille produit. Il convient également de définir les objectifs que l'on souhaite atteindre en ce qui concerne la productivité et la mécanisation des techniques culturales.

Compte tenu des conditions physiologiques et biologiques qui régissent le développement et la fructification, il est important de permettre un développement initial rapide, en créant les conditions agronomiques les plus favorables et en taillant le moins possible, uniquement pour corriger quelque anomalie ou pour éliminer une pousse inutile pour la formation de la structure définitive de l'olivier.

Par la suite, au moyen du mode de conduite, des distances de plantation et de la taille, on veillera à conserver de grandes superficies fructifères bien exposées à la lumière, en équilibre entre la phase végétative et la phase reproductive.

Dans les zones où l'olivier acquiert des dimensions importantes, il convient de s'orienter vers des formes de conduite qui permettent un grand développement, en répartissant la végétation en

plusieurs éléments pour éliminer les zones ombragées. Les modes qui ne permettent pas cette possibilité réduisent l'efficacité de production de l'olivier, qui est alors caractérisé par des branches nombreuses, affaiblies et dépouillées à la base, et par un rapport défavorable entre feuilles actives et squelette.

En ce qui concerne la réponse des oliviers à la récolte mécanique au moyen de vibreurs, les modes de conduite doivent être adaptés de manière à garantir la présence de branches peu nombreuses, rigides, érigées, la zone de fructification étant concentrée dans la partie moyenne à supérieure de la frondaison. Les arbres qui s'adaptent le mieux à la récolte mécanique sont de dimensions moyennes. Dans le cas d'arbres particulièrement élevés, il convient de prévoir la fixation des vibreurs sur les branches principales.

Dans cette dynamique, les techniques culturales telles que l'irrigation, la fertilisation et la protection phytosanitaire jouent un rôle décisif pour leur impact sur la productivité et la fonctionnalité des exploitations.

Les exploitations superintensives en rangées stimulent l'intérêt de certains opérateurs mais se trouvent encore dans une phase d'expérimentation. En réalité, les propositions de culture superintensives ne sont pas nouvelles. Dans la région italienne des Pouilles, dans les années soixante, la forme en haie a été appliquée à des oliviers distants de 5 x 1,7 m ayant fait l'objet de tailles limitées, qui ont donné des productions à la 4^e, 5^e et 6^e année de 5 ; 5 et 19,8 t/ha respectivement. Toutefois, cette forme de conduite a été abandonnée car les exploitations n'étaient plus productives à partir de la 10^e ou 12^e année. De la même manière, une recherche menée sur la densité de plantation dans le bassin Méditerranéen vers l'année 1970, avait permis de conclure que les densités moyennes de 200-400 arbres étaient les plus recommandées. Nous conseillons ici d'attendre les résultats d'essais expérimentaux menés sur ces solutions afin de vérifier le bien-fondé et les avantages réels de ces propositions. À l'heure actuelle, des doutes subsistent sur les effets négatifs que l'ombrage et l'activité végétative de l'arbre peuvent causer à la fructification, aux possibilités de contrôle du développement des arbres dans les limites imposées par les machines utilisées pour la récolte et à la rentabilité économique de la culture. Il convient donc d'être prudent avant de recourir à des systèmes qui n'ont pas encore fait leurs preuves et qui exigent des investissements importants comme les oliveraies superintensives.

On soulignera de nouveau l'importance d'une connaissance parfaite des processus responsables de la production, qui peuvent être satisfaits grâce à une application précise de la taille, associée à des formes de conduite adaptées, pour atteindre l'objectif d'une plus grande productivité.

Quoi qu'il en soit, l'énorme capacité d'adaptation de l'olivier permet l'adoption de solutions diverses, à condition de ne faire l'impasse sur aucun des facteurs qui interviennent dans la production et qui peuvent maintenir l'arbre dans l'équilibre idéal entre activité végétative et activité reproductive.

Le mode de conduite doit de toute façon permettre d'adapter l'arbre aux techniques de culture et à leur exécution par des moyens mécaniques comme le labour ou la récolte et éventuellement la taille.

Dans ce contexte, des arbres de taille supérieure à 4 - 4,5 mètres peuvent poser des problèmes de gestion économique.



2.14. GOBELET LIBRE : LA FORME LA PLUS DIFFUSÉE

Actuellement, le mode de conduite le plus employé dans les nouvelles exploitations est la forme de gobelet libre. On lui a reconnu en effet le mérite de se rapprocher de la forme naturelle de développement de l'olivier, de permettre d'intercepter une quantité élevée d'énergie solaire et de maintenir les feuilles et la surface fructifère à l'exposition de la lumière. Avec son tronc unique et libre de ramifications jusqu'à 1,20 m, l'arbre est adapté à la récolte mécanique avec des méthodes qui jusqu'à présent se sont avérées efficaces et disponibles.

À ce mode de conduite est appliquée la taille décrite pour la forme en gobelet, selon les détails d'exécution indiqués aux points 2.9 et 2.12.1. Les instructions données seront appliquées avec une certaine flexibilité, en évitant des tailles trop sévères et avec l'appui des autres techniques culturales pour accélérer le développement.



Figure 33. Forme de conduite en gobelet libre.

La validité de ce mode de conduite a été démontrée dans le cadre d'essais expérimentaux et par l'expérience des agriculteurs qui avaient eu l'occasion de tester d'autres solutions comme la palmette, le gobelet buissonnant ou le monocône.

Au sujet de la palmette, on peut affirmer que les interventions continues de main-d'œuvre nécessaires pour conserver sa forme l'ont rendue peu intéressante. Le gobelet buissonnant constitué de plusieurs troncs ralentit l'action des vibreurs dans la récolte mécanique des olives. Quant au monocône, les arbres présentent à 10-15 ans des difficultés dues à la hauteur excessive de la plante, à une exposition limitée de la frondaison à la lumière, à la supériorité de l'activité végétative et à la limitation du rapport feuilles-bois.

Les agriculteurs qui avaient adopté ces modes de conduite ont préféré passer au gobelet libre, forme retenue plus efficace, plus rassurante et qui a fait ses preuves dans le temps (Figure 33).

2.15. TAILLE D'ADAPTATION À LA RÉCOLTE MÉCANIQUE

Parmi les propositions de machines pour la récolte des olives, celles qui sont actuellement les plus fiables et les plus efficaces sont les vibreurs de troncs avec intercepteur mécanisé. Pour optimiser l'emploi de ces machines, les caractéristiques des arbres devront être adaptées. Outre la capacité d'adaptation de la variété en ce qui concerne la dimension des fruits, la longueur du pédoncule et le modèle de maturation des fruits, d'autres paramètres interviennent au niveau de la taille, notamment le mode de conduite, le volume de la frondaison, sa distribution, les typologies et l'élasticité des rameaux fructifères.

En ce qui concerne les modes de conduite, celui en gobelet est encore le plus adapté, y compris pour sa capacité à intercepter une quantité élevée d'énergie lumineuse. On partira d'un tronc unique et libre sur une hauteur d'au moins 1,20 m. Les branches pendantes seront limitées pour ne pas en-

combrer l'espace réservé à l'intercepteur. Les branches seront régulières sur toute la longueur et leur angle d'insertion par rapport à la verticale sera d'environ 40°. Les branches secondaires et tertiaires devront s'insérer sans déviation trop brusque. L'arbre devra être sain dans toutes ses parties.

Le volume de la frondaison doit être maintenu à l'intérieur de limites compatibles avec la puissance du vibreur. Les volumes jusqu'à 40-50 m³ s'avèrent totalement efficaces pour les vibreurs appliqués à des tracteurs de 50-80 kW de puissance.

La densité de la frondaison doit être moyenne de manière à garantir la surface foliaire nécessaire pour la production et à ne pas créer une résistance excessive à la vibration de la frondaison sollicitée par les vibreurs. La frondaison devrait être distribuée de préférence dans la partie centrale à supérieure, les parties les plus basses devant être constituées de branches peu élastiques, c'est-à-dire être courtes et être caractérisées par une bonne épaisseur transversale.

2.16. TAILLE DE RÉNOVATION

Elle est pratiquée sur des oliviers dont la fonctionnalité productive a diminué et qui ne réagissent plus aux soins culturaux car ils sont trop vieux ou trop affaiblis. Ce sont des arbres caractérisés par la présence d'une zone fructifère située uniquement à l'extrémité des rameaux insérés sur des branches nombreuses, dépouillées et caractérisées par une végétation rare ou inexistante.

Lorsque les arbres sont réduits à de telles conditions, il est nécessaire de procéder à une taille énergique pour reconstruire la frondaison de manière à ce qu'elle redevienne suffisamment robuste et physiologiquement active. Les interventions sont réalisées en fonction de la validité des organes de l'arbre et des objectifs que l'on souhaite atteindre.

Si le tronc et les branches principales sont encore valables et que l'on décide de raccourcir la frondaison, on taillera les branches au-dessus d'un rameau latéral ; les branches secondaires seront raccourcies de manière à ce que la longueur soit décroissante du bas vers le haut (Figure 34). Si la hauteur de la plante à rajeunir n'est pas excessive, on ne pourra éliminer que les branches secondaires insérées dans la zone apicale, en respectant les branches inférieures.

Si la branche principale n'est plus productive, on la coupera à la base. De nombreuses pousses naîtront dans cette zone qu'il conviendra de laisser pousser librement pendant un an. Ensuite, on éclaircira un peu et on choisira un rameau qui constituera le prolongement de la branche principale d'où devront partir les branches secondaires et tertiaires.

Si l'on taille en même temps toutes les branches, les nouvelles pousses se formeront aux dépens des substances de réserve de la plante,

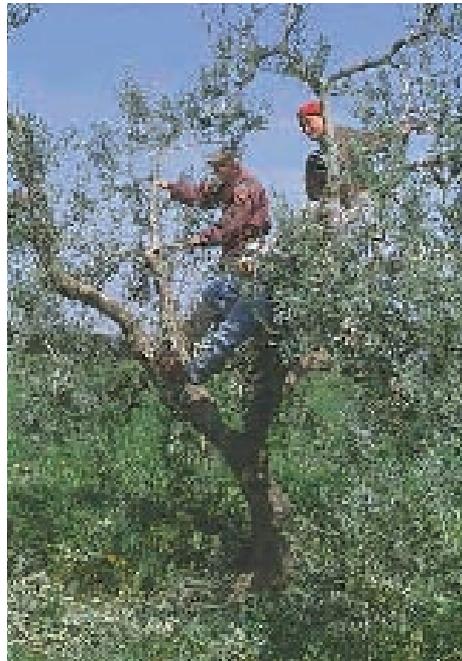


Figure 34. Taille de rénovation.



elles deviendront vigoureuses et prendront souvent un caractère juvénile donnant lieu à un retard de 4-5 ans pour l'entrée en production. Il est donc recommandé de pratiquer cette taille de manière progressive de façon à conclure l'opération de rajeunissement en quelques années.

Sur les plantes qui le permettent, on pourra laisser une partie de la frondaison productive non taillée pour réduire la vigueur des repousses végétatives et atténuer les pertes de production découlant de la reconstitution.

Les arbres dont la fourche est excessivement élevée verront leur tronc raccourci à la hauteur voulue, ce qui donnera lieu à la naissance d'un grand nombre de pousses. Après deux ou trois ans de libre végétation, on choisira des pousses bien placées qui constitueront les branches principales de la future frondaison. Au fur et à mesure que celles-ci se couvriront de branches secondaires, les gourmands restants seront progressivement éliminés. Il conviendra de limiter le nombre de branches pour éviter qu'un faible rapport feuille-bois empêche une bonne fructification. Sur les plantes excessivement hautes et avec une fourche superposée, on taillera le tronc au-dessus de la première fourche et on éclaircira les branches restantes en laissant 3 ou 4 axes principaux pour le renouvellement et le développement de la frondaison. Après deux ans, on éclaircira légèrement les pousses, les rameaux et les gourmands qui se trouvent dans une position défavorable pour la formation correcte de l'arbre.

Le rajeunissement de la frondaison est réalisé systématiquement en Espagne lorsque l'on observe un ralentissement de la croissance végétative, des feuilles de couleur vert pâle brun et l'apparition de gourmands et de rameaux vigoureux. La partie qui manifeste des symptômes de dépérissement est alors éliminée. Cette opération est renouvelée chaque fois que ces symptômes apparaissent. Une fois que le rajeunissement de la frondaison est initié, l'opération devra être poursuivie de manière échelonnée et continue sur toute la frondaison. L'intervalle entre les tailles correspondra au temps nécessaire pour que la végétation qui se développe suite à l'élimination de la branche dépérisse entre en production. On procédera alors au renouvellement de la branche adjacente jusqu'au complet renouvellement de la frondaison. Cette solution, si elle est appliquée au moment adéquat de la vie de l'olivier, donnera de bons résultats car elle permet d'anticiper le renouvellement de la frondaison avant que celle-ci ne commence à être peu efficace. Les plantations intensives ont elles aussi besoin d'une taille de rajeunissement en vue d'éclaircir le squelette des arbres grâce à l'élimination de quelques branches inutiles ou surnuméraires et de les adapter à la récolte mécanique au moyen de vibreurs. Ces interventions, bien que plus énergiques que des interventions normales, doivent chercher à respecter un bon rapport entre frondaison et racines pour ne pas créer de déséquilibre chez la plante.

Lorsque l'on procède à une réduction drastique de la frondaison, il convient de permettre aux rameaux issus des bourgeons adventifs distribués régulièrement dans les parties terminales voisines des coupes, de se développer librement pour garantir l'afflux de la sève qui alimentera toutes les parties de l'arbre pour éviter le dépérissement.

La taille de rajeunissement est largement appliquée. Toutefois, son utilisation devra faire l'objet d'une évaluation économique globale, non seulement en ce qui concerne les résultats de production qu'elle permet d'obtenir mais également en considération de la capacité d'adaptation à d'autres techniques de culture et aux caractéristiques qui sont exigées aux nouvelles plantations. Elle devra en effet assurer une efficacité de production et s'adapter aux techniques culturales.

2.17. TAILLE DES ARBRES FRAPPÉS PAR LE GEL

2.17.1. Manifestations les plus fréquentes des dégâts provoqués par le gel

L'une des premières manifestations des dégâts provoqués par le gel est la nécrose des tissus du pétiole qui provoque la *chute partielle ou totale des feuilles* de l'arbre. Elle se manifeste à des températures de - 6, - 7°C. Lorsque les dégâts sont plus importants et qu'ils frappent également les branches, les feuilles - bien que déjà complètement brunes - demeurent sur l'arbre car la plante n'a pas le temps de permettre leur chute.

Les rameaux d'un an ou deux peuvent souffrir d'une *fissuration de l'écorce* dans toute leur épaisseur ou dans leurs parties externes. Les dégâts sont provoqués en particulier par le passage rapide de basses températures nocturnes de - 10 ou - 12°C à des températures plus douces du matin de 5 ou 6°C, ou par la formation de gel due à l'absorption d'eau par une partie des feuilles et des rameaux restés longtemps en contact avec la pluie, la neige ou la brume. Ces altérations causent une déshydratation rapide des tissus et la mort des rameaux ou des branches concernés.



Figure 35. Écorce du tronc fissurée par le gel.

Le *brunissement de l'écorce* en plaques, sur des surfaces plus ou moins grandes, frappe les rameaux dont le cambium et les vaisseaux ligneux, fortement endommagés, manquent d'eau et de substances nutritives. Cela provoque leur dépérissement jusqu'à leur complète dévitalisation. Même si près des plaques nécrosées, dans le sens de la longueur, des zones d'écorce et de cambium encore vivantes peuvent continuer à permettre d'alimenter les zones distales des branches, ces zones de végétation ne peuvent pas être considérées valables pour assurer une base de production solide.

La *fissuration des branches principales et du tronc* et le détachement de l'écorce (Figure 35) : L'alternance entre les températures basses et moyennes provoque l'expansion des tissus, en particulier des tissus externes du tronc et des branches qui, lorsque les températures sont basses, augmentent de volume. À partir du moment où les parties périphériques se réchauffent, la dilatation diminue, ce qui provoque une différence de tension entre les couches d'écorce et entraîne le glissement de l'écorce sur le bois en raison d'une couche de cellules particulièrement

riches en eau ou ayant une capacité d'absorption hydrique rapide. Cette action s'exerce sur tous les oliviers et, lorsque l'écorce est particulièrement peu élastique, donne lieu à des lésions verticales profondes qui frappent davantage certaines variétés sensibles, les plantes adultes caractérisées par une écorce rigide ou les troncs lésés par des gels précédents ou dont les blessures ne sont pas encore cicatrisées. Ces altérations ne se manifestent pas sur les plantes jeunes ou sur les cultivars à écorce plus élastique.

Les *dégâts sur les vaisseaux ligneux et le cambium* sont les plus fréquents. Ils donnent lieu à la nécrose et à la dévitalisation des derniers cerne ligneux qui sont littéralement désagrégés (Figures 36 et 37). Une grande partie des cellules du cambium est ainsi endommagée. Selon l'importance des dégâts, le cerne nécrosé peut être continu ou limité à certaines parties, certains rayons du xylème restant fréquemment intacts et se rattachant à travers le cambium aux rayons corticaux. Ces éléments sont à l'origine de nouveaux tissus qui commencent alors à se développer pour rétablir la connexion entre l'écorce et le bois vivant.

Au même moment, on distingue dans l'écorce des groupes de cellules ou une chaîne de nouveaux éléments de nature liégeuse qui isolent la partie détériorée et protègent les zones demeurées vivantes. La reprise peut intéresser seulement un secteur ; dans ce cas, la partie restante se détériore à partir de l'écorce qui devient brune, le bois meurt et est envahi par des champignons responsables

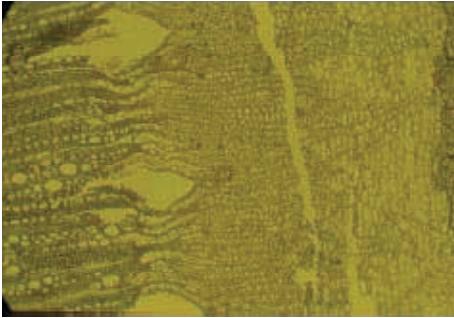


Figure 36. Dégâts sur les vaisseaux ligneux externes causés par le gel.

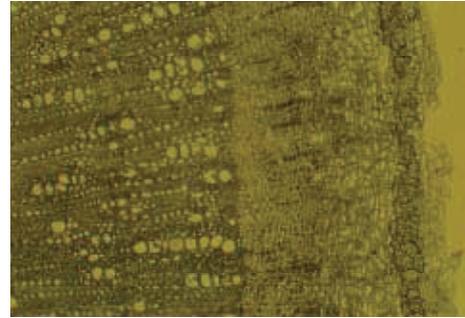


Figure 37. Bois et écorce d'une branche intacte.

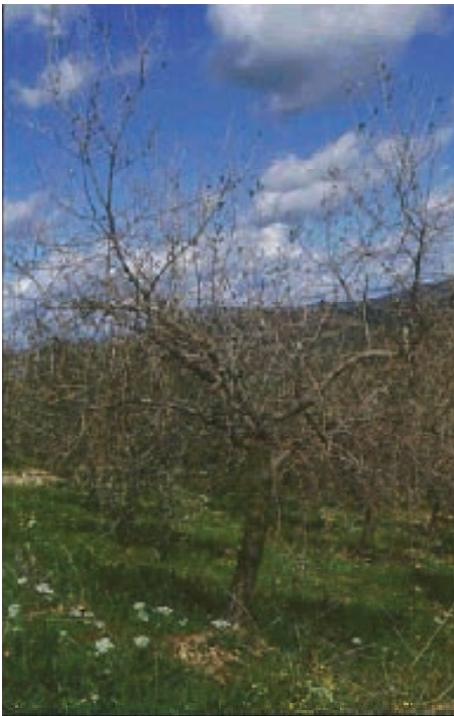


Figure 38. Arbre présentant une défoliation de 80-90 %.

de la carie. Les rameaux et les branches qui ne sont pas fissurés peuvent donc, dans une certaine limite, supporter les blessures et permettre la reprise de l'activité de la plante (Figures 38 et 39).

Une écorce qui a subi à plusieurs endroits des lacérations ou une nécrose des tissus, cesse de réagir et devient brun-rosâtre. La nécrose s'étend et le rameau ou la branche à laquelle elle appartient finit par mourir:



Figure 39. Formation d'une strate nécrosée de cellules dans la partie externe du bois et tentative de réparation du dégât par l'écorce.

2.17.2. Méthodes de récupération

La défoliation influence la formation et le développement des bourgeons à fleurs ; une défoliation de 20-25 % peut entraîner des effets à peine perceptibles, mais à des pourcentages supérieurs, elle réduit la floraison et peut même l'annuler:

- 1) Lorsque les plantes n'ont subi qu'une légère défoliation, on éliminera en premier lieu les rameaux endommagés par le froid. La taille devra être réalisée de manière à donner à la frondaison une densité équilibrée avant le débourrement, pour éviter une dispersion inutile des substances de réserve.

- 2) Lorsqu'en revanche la défoliation est d'environ 80-90 % et que les branches et les rameaux sont encore valides, on en profitera pour effectuer une taille de réforme : on coupera immédiatement les branches en surnombre et on s'orientera vers une structure qui prévoit une bonne exposition de la frondaison à la lumière et qui facilite les opérations de culture, y compris la récolte mécanique. La taille sera globalement sévère (Figure 40).
- 3) Lorsque la défoliation est de 70-80 % et que les rameaux les moins endommagés sont concentrés à l'extrémité des branches, ils seront énergiquement éclaircis alors que les rameaux et les branches dont l'écorce est fissurée seront éliminés. La frondaison pourra être réformée de manière équilibrée.
- 4) Les rameaux d'un an et les branches de deux ans dont l'écorce présente des fissures diffuses et profondes sont destinés à sécher rapidement. La reconstitution portera sur les branches principales (Figure 41). Dans ce cas, on choisira celles dont la conformation et le nombre réagissent le mieux et on abaissera la cime pour permettre un revêtement plus uniforme de végétation tout le long de l'axe. Si l'intervention a lieu vers la fin avril, le début du développement des bourgeons adventifs pourra confirmer la validité des branches sur lesquelles la reconstitution a été effectuée.



Figure 40. Reconstitution d'arbres ayant subi une défoliation presque complète.

prouvé qu'elles pouvaient reprendre mais également les zones proximales, pour s'assurer qu'aucune zone partiellement nécrosée ne subsiste. L'opération devra être exécutée en mai.

- 6) Lorsque les branches principales et le tronc sont fissurés, deux solutions sont possibles : le dessouchage ou l'arrachage. Les plantes endommagées à différents niveaux qui n'ont répondu à aucune forme adoptée pourront faire l'objet d'une réforme. On pourra par exemple remplacer le monococone par le gobelet, en taillant l'axe principal à 1,30 - 1,40 mètre puis en choisissant 3 ou 4 gourmands bien disposés pour la formation des charpentières.

Pour procéder au dessouchage, on déchaussera la cépée puis on la taillera à environ 10 cm sous le niveau du terrain pour éliminer les zones mortes et permettre le développement de

- 5) Si la défoliation est complète et si l'écorce des branches principales et du tronc - qui dans quelques zones de dépression peut s'être détachée du bois (à vérifier au son que l'on obtient en tapant sur la branche) - est restée intacte, même si la reconstitution sur les branches principales est hypothétique, il convient d'attendre le début de la végétation pour identifier les organes vivants. On procédera alors à la taille de restructuration en coupant non seulement les zones terminales qui ont



Figure 41. Reconstitution d'arbres dont les branches d'1-2 ans ont été endommagées.



pousses à partir des ovules situés plus bas et plus loin de la cépée. On en profitera pour éliminer toute autre partie abîmée de la cépée.

L'arrachage sera réalisé au moyen de pelles mécaniques pour éliminer toute la cépée avec les grosses racines.

2.18. INSTRUMENTS POUR L'EXÉCUTION DES TAILLES

Les instruments peuvent être classés en trois groupes : manuels, mécaniques et mécanisés.

Parmi les instruments manuels, on citera le sécateur, la scie et la hache. Il existe essentiellement deux types de sécateurs : 1) à lames superposées, la contre-lame servant d'appui à la branche et l'autre lame taillant ; et 2) à lames opposées ; les deux lames participant à la taille. Ces dernières coupent mieux, n'entraînent pas de blessures sur l'écorce et demandent un moindre effort à l'opérateur. Parmi les scies, celles en acier avec des dents de différente hauteur sont légères, maniables et efficaces ; elles servent à tailler des rameaux jusqu'à 7-10 cm de diamètre. La hache remplit les mêmes fonctions que la petite scie manuelle mais exige une certaine maîtrise. Pour explorer les zones situées à une hauteur supérieure, on peut également employer des ciseaux montés sur des bras de 60-80 cm. Ils permettent de réaliser des coupes de branches de 5 cm de diamètre situées à 2,8 mètres du sol.

Parmi les instruments mécaniques, on citera les ciseaux pneumatiques ou hydrauliques avec ou sans manche (les manches, en fibre légère, peuvent mesurer 1, 2 ou 3 mètres) et les scies pneumatiques ou hydrauliques (Figure 42). Leur emploi prévoit l'usage d'une petite centrale d'air comprimé ou d'huile à pression reliée aux instruments utilisés. Pour une taille normale de formation ou de production et sur des arbres de dimensions moyennes, les ciseaux pneumatiques montés sur des manches légers de 2 mètres donnent de bons résultats, tout comme les sécateurs ou ciseaux manuels à double lame. Ces instruments sont respectivement utilisés dans la partie élevée, moyenne et basale de la frondaison.



Figure 42. L'emploi de sécateurs et de scies pneumatiques augmente l'efficacité et la sécurité des utilisateurs.

Les scies normales et légères sont largement utilisées et appréciées pour l'efficacité et la rapidité des tailles. Elles sont utilisées dans la taille de réforme ou de rajeunissement et dans la taille normale pour couper les branches d'une certaine dimension.

Dans le groupe des instruments mécanisés, on citera également les barres de coupe munies de scies à disque activées par un moteur hydraulique qui peuvent tailler jusqu'à 150 mm et les barres faucheuses pour les rameaux d'épaisseur limitée. Il est toutefois nécessaire de repasser à la main ou de tailler à la main l'année suivant la taille mécanique.

2.19. TAILLE MÉCANISÉE

La taille mécanique consiste à employer des machines munies de barres de coupe constituées de 4 ou 5 disques qui s'exécutent à une vitesse de 2 000-3 500 tours/minute grâce à un moteur



Figure 43. Exécution du "topping" sur des oliviers conduits en gobelet.



Figure 44. Exécution du "hedging" sur des oliviers conduits en haie.

hydraulique. Les barres peuvent tailler les rameaux et les branches en position verticale, horizontale ou inclinée, à différentes hauteurs de la frondaison (Figures 43 et 44).

Les interventions de taille mécanisée les plus efficaces sont celles qui éliminent la partie supérieure de la frondaison à une profondeur de 1 à 1,5 m car elles permettent la réapparition de pousses vigoureuses, les tailles latérales de 0,75 m étant moins intéressantes. Les intervalles entre les tailles réalisées mécaniquement varient entre 2 et 4 ans. Dans les systèmes de conduite en haie, le "topping", taille sur un plan horizontal de la frondaison, provoque la formation de gourmands qui sont éliminés à la main après environ deux ans, en même temps que le bois sec qui s'est formé à l'intérieur de la frondaison et les chicots de rameaux taillés. Cette opération peut être réalisée également en été pour éviter la croissance ultérieure de structures destinées à être éliminées.

Dans les systèmes de conduite en gobelet, on élimine les gourmands qui se sont formés au centre de la frondaison après le "topping".

Les plantes taillées mécaniquement sont peu adaptées à la récolte manuelle et donnent des fruits de dimension inférieure. Les traitements phytosanitaires exigent également une plus grande attention. Toutefois, la taille mécanique permet de rétablir rapidement les volumes de frondaison souhaités et d'utiliser de la main-d'œuvre ayant une expérience limitée (Figure 45).



Figure 45. Oliviers formés en gobelet taillés mécaniquement.

Les résultats les plus intéressants ont été obtenus dans des oliveraies intensives conduites en régime irrigué et dans les opérations de taille de production. Lorsque ces conditions sont réunies, les productions sont comparables à celles obtenues avec la taille manuelle. Les résultats sont moins intéressants sur les sols plus pauvres ou conduits en régime pluvial ou sur des plantes réagissant peu à la taille. On a pu confirmer l'utilité d'intervalles de taille moyens et la capacité d'avoir une bonne production au moyen d'un renouvellement rapide de la végétation fructifère (Figure 46).



Figure 46. Arbres un an après la taille et l'élimination des gourmands.



La mise au point de machines plus sensibles et l'augmentation de la capacité de taille offrent une contribution précieuse à la taille manuelle qui est également effectuée au moyen d'équipements efficaces et faciles à utiliser pour la sécurité du travail et pour réduire la main-d'œuvre et les coûts de l'opération.

2.20. GESTION DU BOIS DE LA TAILLE

Les résidus de la taille qui, dans une plantation intensive de 300 arbres par hectare, peuvent représenter près de 3 à 4 tonnes de matière fraîche (à environ 50 % d'humidité), sont constitués de bois de diamètre supérieur à 4 mm, de rameaux et de feuilles. Alors que le bois peut être utilisé pour la combustion, les rameaux et feuilles seront broyés et enfouis dans le sol au moyen des mêmes équipements que ceux utilisés pour d'autres cultures fruitières. D'autres utilisations, telles que la récolte ou l'incinération, supposent des coûts supérieurs et la perte des substances organiques que ce matériel peut fournir.

2.21. CONCLUSIONS

L'actualisation des connaissances sur la taille est liée à l'évolution des propositions qui caractérisent la culture de l'olivier. L'installation de nouvelles plantations, l'adoption de l'irrigation pour corriger les carences en eau, l'augmentation des densités de plantation à 200-300 arbres par hectare et la nécessité de mécaniser les opérations culturales imposent à la taille de se centrer prioritairement sur des aspects qui s'avèrent fondamentaux pour les schémas de production en phase d'expansion. En réalité, ceux-ci ont pour objectif d'optimiser le schéma de production des olives en utilisant au mieux les moyens techniques à disposition. Dans cette phase, pour faciliter la compréhension des interventions, il convient que la taille fasse référence aux processus qui sont à la base de la production, c'est-à-dire qu'elle contribue à réunir les conditions qui sont nécessaires pour optimiser la production des substances assimilables et leur accumulation, en grandes quantités, dans les fruits. Ces conditions sont réunies lorsque les arbres ont une surface foliaire développée au maximum, qu'ils sont bien exposés à la lumière, qu'ils ne souffrent pas d'attaques de parasites et qu'ils ne font l'objet d'aucune limitation de caractère environnemental ou de techniques culturales. Il convient également de s'assurer que l'efficacité de l'oliveraie reste élevée, que sa gestion est rentable et que les techniques adoptées sont les plus adaptées.

Il est important de garantir un développement initial rapide, en créant les conditions agronomiques les plus favorables et en limitant le plus possible les opérations de taille à la correction de quelque anomalie ou à l'élimination d'une pousse inutile pour la formation de la structure définitive de l'olivier. Par la suite, au moyen de la forme de conduite, des distances adéquates de plantation et des opérations de taille appropriées, on garantira l'existence de grandes surfaces fructifères bien éclairées et un équilibre correct entre la phase végétative et la phase reproductive. En même temps, on cherchera à adapter la culture à la récolte mécanique au moyen de vibreurs de troncs, grâce à quelques branches rigides et érigées et une fructification concentrée dans la zone centrale à supérieure de la frondaison. L'irrigation, la fertilisation et la protection phytosanitaire influencent la productivité et la fonctionnalité des plantations. Le gobelet libre est la forme la plus employée dans les nouvelles oliveraies car elle se rapproche de la forme naturelle de développement de l'olivier; elle permet d'intercepter une grande quantité d'énergie solaire et d'exposer les feuilles et la surface fructifère à la lumière. Formant des arbres à tronc unique et libre sur au moins un mètre, elle est adaptée à la récolte mécanisée avec des moyens qui se sont avérés efficaces et disponibles.

Si la taille est indéniablement une technique qui influence l'efficacité de la frondaison, pour donner des résultats satisfaisants, elle doit être associée à d'autres techniques, en particulier dans le domaine de la fertilité du sol. Pratiquée à des intervalles corrects et selon l'intensité qui convient, elle doit per-

mettre de garantir la rentabilité des opérations et de s'adapter aux possibilités de mécanisation. Elle mérite en outre d'être comprise et appliquée par les nouvelles générations guidées par l'expérience des tailleurs qui l'ont pratiquée comme un art pendant une grande partie de leur vie. La taille devrait ainsi faire l'objet d'un regain d'intérêt, dans une perspective actualisée, pour contribuer, comme dans le passé, au développement de l'oléiculture. Il convient de la rendre plus accessible et plus compréhensible, en l'expliquant au moyen de références précises en termes de dimensions de la plante, de densités de plantation et de frondaison et de résultats d'essais expérimentaux, dans l'optique de l'appliquer sur de grandes superficies avec un emploi limité de la main-d'œuvre.

2.22. RÉFÉRENCES IMPORTANTES ET RECOMMANDATIONS

- La taille consiste à éliminer une partie de la plante, en général une partie de la frondaison comprenant les branches, les rameaux et les feuilles considérés inutiles pour la gestion correcte de l'arbre.
- La taille et la forme de conduite doivent assurer l'exposition à la lumière de la plus grande surface foliaire possible.
- La taille réduit le développement global et favorise la croissance d'un nombre inférieur de pousses plus vigoureuses.
- Les rameaux les plus efficaces du point de vue de la production ont une longueur de 15-50 cm.
- La taille améliore l'exposition à la lumière, l'équilibre entre les branches et permet l'obtention de pousses de vigueur moyenne.
- Durant la formation, la taille doit être réduite au maximum pour favoriser la croissance et consister essentiellement à éliminer les pousses qui apparaissent le long du tronc.
- Les branches du gobelet, au nombre de 3 ou 4, doivent partir à des points distants de 5 à 10 cm et former un angle par rapport à la verticale de 30-40° par écartement avant de devenir rigides.
- La correction des anomalies de la frondaison doit être réalisée à la quatrième ou à la cinquième année grâce à l'élimination des branches en surnombre.
- La taille de production doit chercher à : 1) redonner aux arbres un volume optimal et une forme correcte, 2) éliminer les gourmands, 3) éclaircir et abaisser la cime, 4) éclaircir les branches secondaires et tertiaires, 4) tailler les pousses à leur insertion sur la cépée.
- La taille légère donne lieu aux productions les plus importantes ; la taille d'intensité moyenne donne lieu à de fortes productions si elle est réalisée tous les deux ou trois ans et permet de renouveler les productions fructifères et d'améliorer l'aération et l'exposition de la frondaison à la lumière.
- Les variétés caractérisées par une production limitée de rejetons et une bonne tolérance aux parasites supportent des cycles de taille plus longs et des tailles d'intensité légère.
- La forme de conduite, qui dépend de la vigueur de la plante, doit permettre à la frondaison de se développer correctement, d'assurer une exposition suffisante à la lumière et de faciliter l'exécution des soins culturaux.
- Le gobelet libre, sur un tronc de 1,00-1,20 m de haut, est la forme la plus employée car elle est adaptée à la récolte mécanisée au moyen de vibreurs et permet un bon développement de la frondaison et une bonne exposition des feuilles à la lumière.
- Pour adapter l'arbre à la récolte mécanisée au moyen de vibreurs, le tronc devra mesurer entre 1 m et 1,20 m et les branches retombantes devront être raccourcies afin de se développer de manière régulière, sans écart brusque, et de former une inclinaison maximale de 40° par rapport à la verticale. Le volume de la frondaison devra être maintenu à 40-50 m³ et les branches secondaires et tertiaires devront être courtes, épaisses et rigides.



- Lorsque les arbres donneront des signes de fonctionnalité réduite ou qu'ils auront perdu leur forme d'origine, les branches principales, secondaires et tertiaires seront taillées de manière à rétablir la forme et l'efficacité de la plante. Les nouvelles pousses seront progressivement sélectionnées.
- La taille des arbres frappés par le gel consiste à éliminer toutes les branches dont le cambium et les parties extérieures du bois sont nécrosés. On interviendra sur les branches tertiaires, secondaires et principales et en dernier lieu sur le tronc. Quand des interventions sévères seront nécessaires, il conviendra de réfléchir à l'opportunité d'une reconstitution ou de l'arrachage de la plantation pour l'installation d'une nouvelle plantation.
- La taille mécanique au moyen de barres à disques peut être appliquée pour rabaisser la frondaison en effectuant des coupes horizontales à 1-1,5 m de la cime, ou latérales à une profondeur de 0,75 m. Ces opérations sont efficaces si elles sont réalisées tous les quatre ans et alternées tous les deux ans avec une taille manuelle. Cette technique peut contribuer, en association avec une taille manuelle au moyen d'équipements efficaces, à réduire l'emploi de la main-d'œuvre et à réduire les coûts.

BIBLIOGRAPHIE

- Baldy C., Lhotel J.C., Hanocq J. F. – Effets du rayonnement solaire sur le fonctionnement photosynthétique de l'olivier (*Olea europaea* L.). *Olivae* 8, 18-23, 1985.
- Barranco D., Fernández-Escobar D., Rallo L. - El cultivo del olivo. Mundi-Prensa, Madrid, 1997.
- Ben Rouina B., Omri A., Trigui A. – Effect of hard pruning on trees vigor and yields of old olive orchards. *Acta Horticulturae*, 586, 321-324, 2002.
- Cantini C., Panicucci M. – Managing of a traditional olive orchard by timesaving biennial pruning. *Acta Horticulturae*, 586, 361-364, 2002.
- Cartechini A., Tombesi A., Boco M., Pilli M. – Raccolta delle olive: cantieri a confronto. *L'Informatore Agrario*, 40, 1999.
- CiriK N. – Les facteurs ayant une incidence sur la formation des bourgeons à fleurs chez l'olivier. *Olivae* 27, 25-27, 1989.
- Collectif – L'olivo. Reda, Roma, 1981.
- Denden M., Harzallah M.S., Mathlouthi M., Bouslama M., Bouaouina T. – Action de la taille de rajeunissement sur la production de l'olivier cultivé en sec et en irrigué. *Olivae*, 74, 54-57, 1998.
- Ferguson L., Krueger W.H., Reyes H., Metheney P.D. – Effect of mechanical pruning on California black ripe (*Olea europaea* L.) cv. 'Manzanillo' table olive yield. *Acta Horticulturae*, 586, 281-284, 2002.
- Fernandes Serrano J.M., Abela V. – Influences de la taille de régénération sur des oliviers adultes en fonction du climat. *Olivae*, 4, 22-30, 1984.
- Conseil oléicole international. Encyclopédie mondiale de l'olivier. Madrid, 1996.
- Jiménez Córdoba P., Pastor Muñoz-Cobo M. – Augmentation de la densité des vergers traditionnels d'oliviers adultes conduits en sec en Andalousie. *Olivae*, 27, 1989.
- Lakhdar D. – Conduite de l'olivier en axe vertical en culture intensive de la variété "Dahbia" dans la région de Meknès. *Olivae* 3, 38-40, 1984
- Lauri P.E., Moutier N., Garcia C. – Édification architecturale de l'olivier : conséquences pour la conduite des vergers. *Olivae*, 86, 38-40, 2001.
- López Rivares E.P., Paz Suárez García M. – Étude sur l'époque et les largeurs optimales du baguage chez l'olivier. *Olivae* 32, 38-41, 1990
- Mannino P., Pannelli G. - La meccanizzazione integrale della raccolta delle olive. Prime valutazioni tecniche ed agronomiche. *L'Informatore Agrario*, 39, 1999.

- Metzidakis I. - Effect of regeneration pruning for the recovery of olive productivity and fruit characteristics in ten olive cultivars. *Acta Horticulturae*, 586, 333-336, 2002.
- Morettini A. - *Olivicoltura*. Reda, Roma, 1972.
- Pastor M., J. Humanes, V. Vega, J. Castro. *Diseño y manejo de plantaciones de olivar*: Junta de Andalucía: Consejería de Agricultura y Pesca, 1998.
- Pastor Muñoz-Cobo M., Humanes Guillén J. - *Poda del olivo, moderna olivicultura*. Editorial Agrícola Española, 1998.
- Peca J.O., Días A.B., Pinheiro A.C., Santos L., Morais N., Pereira A.G., Reynolds de Souza D. - Mechanical pruning of olive trees as an alternative to manual pruning. *Acta Horticulturae*, 586, 295-300, 2002.
- Porras Piedra A., Humanes Guillén J., Pastor Muñoz-Cobo M., Soriano Martín M.L., Cabrera de la Colina J., Marcilla Goldaracena I., Pérez de los Reyes C., Rodríguez de la Rubia E., Abenza Corral J.M., Guijarro Barreda L. - Plantations à haute densité : concepts nécessaires. *Olivae* 69, 44-47, 1997.
- Proietti P., Palliotti A., Famiani F., Preziosi P., Antognozzi E. - Confronto tra le forme di allevamento a monocono e a vaso in diverse cultivar di olivo. *Rivista di Frutticoltura*, 7-8, 1998.
- Tan M. - Effets de la taille et de la fertilisation foliaire sur la qualité et le rendement du fruit des oliviers de la variété Edremit Yaglik. *Olivae*, 68, 32-36, 1997.
- Tombesi A. - Impianto dell'oliveto e forme di allevamento. "L'Olivicoltura mediterranea verso il 2000" Atti VII International Course on Olive Growing - Scandicci, 6-11 maggio 1996.
- Tombesi A. - Olive Orchard installation, Soil arrangement, Planting density and training. Proceedings International Seminar on Olive Growing, Chania, Crete, Greece, 18-24 May, 1997.
- Tombesi A., Boco M., Pilli M., Farinelli D. - Influenza della potatura sulla raccolta meccanica delle olive con vibrator di tronco. *Rivista di Frutticoltura*, 10, 2000.
- Tombesi A., Boco M., Pilli M. - Microclima del frutto: influenza della luce sull'accrescimento e sulla sintesi dell'olio. *Rivista di Frutticoltura*, 7/8, 1998.
- Tombesi A., Michelakis N., Pastor M. - Recommandations du groupe de travail sur les techniques de production en oléiculture et la productivité. *Olivae*, 63, ottobre 1996.
- Tombesi A., Boco M., Pilli M., Guelfi P., Nottiani G. - Efficienza e prospettive della raccolta meccanica delle olive. *L'Informatore Agrario*, 25, 49-52, 2004.
- Tombesi A., Pilli M., Boco M. - Prime valutazioni su intensità e periodicità della potatura nell'olivo. *Rivista di Frutticoltura*, 10, 71-76, 2002.
- Tombesi A. - Fisiologia dell'olivo, tecniche colturali e loro interazioni. *Rivista di Frutticoltura*, 12, 1995.
- Tombesi A. - Potatura e forme di allevamento nell'olivo. *Rivista di Frutticoltura*, 1, 1989.
- Tombesi A. - *Tecniche per lo sviluppo dell'olivicoltura in Umbria*. Arusia. Regione dell'Umbria. Perugia, 2002.





Conduite du terrain oléicole

Dédié à Miguel Pastor Muñoz-Cobo

M^a Milagros Saavedra Saavedra
CIFA Alameda del Obispo
IFAPA-CICE- Junta de Andalucía
Apdo. 3092
14080 Córdoba (Espagne)

SOMMAIRE

- 3.1. INTRODUCTION
 - 3.2. ÉROSION ET DÉGRADATION DU SOL
 - 3.2.1. Importance du sol
 - 3.2.2. Taux de formation et de perte de terrain
 - 3.2.3. Développement des processus d'érosion
 - Facteurs intervenant dans l'érosion : vitesse d'infiltration et d'écoulement
 - Différences entre le dessous de la frondaison de l'olivier et le milieu des rangées de plantation
 - 3.3. BILAN HYDRIQUE ET NUTRIMENTS
 - Conservation de l'eau dans le sol : évaporation et transpiration
 - Nutriments et rôle de la matière organique
 - 3.4. FLORE DE L'OLIVERAIE (ADVENTICES)
 - 3.4.1. Inconvénients des adventices
 - 3.4.2. Avantages des adventices
 - 3.4.3. Caractéristiques de la flore de l'oliveraie méditerranéenne
 - 3.4.4. Évolution de la flore
 - Adaptation des espèces à chaque système de culture
 - Flore de printemps-été
 - Tolérance et résistance aux herbicides
 - Concurrence entre espèces
 - 3.5. SYSTÈMES DE CULTURE : EFFETS SUR L'ÉROSION, LA CONTAMINATION, LES HERBES, LA MATIÈRE ORGANIQUE ET LE CO₂
 - 3.5.1. Labour
 - 3.5.2. Non labour sur sol nu
 - 3.5.3. Couvertures inertes
 - 3.5.4. Couvertures de restes végétaux
 - 3.5.5. Couvertures végétales vivantes
 - 3.6. TECHNIQUES DE CONDUITE DES COUVERTURES VÉGÉTALES VIVANTES
 - Rotation des espèces de couverture
 - 3.7. TECHNIQUES POUR LE CONTRÔLE DE L'ÉROSION ET DU RUISSELLEMENT COMPLÉMENTAIRES AU SYSTÈME DE CONDUITE
 - Installation des plantations et des réseaux d'irrigation
 - Drainages
 - Talus de terre
 - Terrasses
 - Gradins et digues
 - Mares
 - Tranchées
 - Couverture des sillons, des ravines et des bords des cuvettes
 - Correction des ravines
 - Décompactage des ornières
 - Sous-solage perpendiculaire à l'inclinaison de la pente
 - Géotextiles
 - Amendements
 - 3.8. RÉSUMÉ DES BONNES PRATIQUES EN OLÉICULTURE
 - 3.8.1. Pratiques antérieures à la plantation et à l'installation des plantations
 - 3.8.2. Conduite du sol après la plantation
 - Au milieu des rangées
 - Sous la frondaison des oliviers
 - Utilisation d'herbicides
- BIBLIOGRAPHIE

Conduite du terrain oléicole

3. Conduite du terrain oléicole

3.1. INTRODUCTION

Les pratiques de culture dans l'olivieraie doivent, dans le contexte actuel, chercher à garantir une rentabilité élevée et des productions de qualité sur le plan organoleptique et sanitaire, mais elles doivent aussi être durables du point de vue environnemental. Ces trois conditions sont la base d'une activité agricole dont l'objectif est de couvrir les nécessités alimentaires sans compromettre l'avenir des générations futures.

Il existe une certaine controverse sur le système le plus adéquat de conduite du terrain de l'olivieraie. La culture pose différents problèmes, notamment : la nécessité d'utiliser au mieux l'eau de pluie, le contrôle des adventices, l'érosion, l'emploi d'herbicides ou les risques de contamination des huiles et des eaux. Tout cela, ajouté à la grande diversité des situations pédoclimatiques, des topographies, de l'insolation et des caractéristiques propres à la culture (différents développements, schémas de plantation, nombre de troncs, variétés qui conditionnent les dates de récolte, etc.), ne permet pas de conseiller une manière unique de conduire le terrain. Il est donc nécessaire d'évaluer les facteurs qui affectent la productivité et l'environnement et, en fonction des conditions environnementales de chaque olivieraie, de décider quelles sont les techniques adéquates que l'on peut appliquer à tout moment.

Nous avons retrouvé dans des documents anciens et dans certains proverbes populaires, des recommandations intéressantes. Ainsi, au cours des premières années de notre ère, le gaditain Lucio Junio Moderato Columela, fameux agronome hispano-romain, contemporain de Jésus Christ, donnait dans le Livre V de son *Traité des Travaux des Champs*, des recommandations précises sur le labour de l'olivieraie :

"... au minimum deux fois par an elle doit être labourée et binée profondément avec la houe autour des arbres ; et après le solstice, quand la terre s'ouvre à cause de la chaleur, il faut veiller à ce que le soleil ne pénètre pas jusqu'aux racines des arbres à travers les crevasses. Après l'équinoxe d'automne, les arbres doivent être déchaussés de manière à créer, à partir de la partie supérieure, si l'olivier est en pente, des rigoles qui mènent l'eau jusqu'au tronc".

Ce même auteur cite un ancien proverbe populaire dans lequel les priorités sont clairement établies :

"qui laboure une olivieraie lui demande des fruits ; qui la fume le lui demande avec insistance ; et qui la taille, l'oblige à les lui donner".



Quatorze siècles plus tard, Gabriel Alonso de Herrera, dans le chapitre V du livre premier de son *Traité d'agriculture générale*, édité pour la première fois en 1513, recommandait également de :

"... tuer l'herbe qui, si elle pousse trop, quitte la substance aux autres plantes, les laisse sans sève et les étouffe, et peut même les tuer complètement".

On trouve également dans le *Refranero Agrícola Español* (recueil de proverbes agricoles espagnols) (Hoyos Sancho, 1954) de nombreux proverbes intéressants, notamment :

"L'olivieraie devrait toujours libre d'herbes voir le jour"

"En mars, si je te trouve, je te laboure"

"Quand l'olivier est en fleurs, que n'y touche pas le laboureur"

Éviter la concurrence des herbes, tirer parti de l'eau, apporter de la matière organique sous forme de fumier et protéger l'arbre, ses racines et ses fleurs, étaient alors, et sont encore aujourd'hui, les bases de la conduite du terrain dans l'olivieraie.

Les progrès technologiques, notamment l'apparition de la traction mécanique qui a remplacé la traction animale dans de nombreux pays, et des herbicides, ont facilité le contrôle des adventices, bien qu'on ait fréquemment abusé des labours et des applications d'herbicides. En revanche, l'incorporation de la matière organique dans les sols n'a pas augmenté dans les mêmes proportions, non seulement parce que les possibilités d'épandage de fumier ou de compost sont très limitées, mais également parce que l'élimination des herbes a été intensifiée, alors que ce sont elles qui apportent la matière organique au sol. Le labour favorisant la minéralisation de la matière organique existante, l'olivier a eu plus de nutriments à sa disposition. Tout cela a donné lieu dans de nombreux cas à une augmentation des productions, mais également de l'érosion, de la dégradation des sols et des risques de contamination due aux produits phytosanitaires et fertilisants, compromettant parfois la future productivité de l'olivier.

Cela ne veut pas dire que l'on doit refuser les progrès technologiques : bien au contraire. Les tracteurs, les machines, les herbicides ou les fertilisants non organiques, permettent de réaliser les pratiques agricoles et d'arriver plus facilement à nos fins. Toutefois, nous devons connaître également leurs effets négatifs et savoir comment les éviter. C'est pourquoi nous exposerons ci-après les principes fondamentaux de la conduite du terrain et les pratiques recommandées afin que chaque oléiculteur choisisse à chaque moment la technique qui lui convient le mieux. Les deux principaux objectifs à poursuivre sont :

- CONSERVER LE SOL ET ÉVITER L'ÉROSION pour garantir une capacité constante de production
- ASSURER UN BON BILAN D'EAU ET DE NUTRIMENTS pour permettre une production élevée.

On appliquera des techniques de conservation des sols pour réduire l'érosion et éviter leur dégradation ou leur contamination. Un bon bilan hydrique s'obtient fondamentalement en augmentant l'infiltration de l'eau, ce qui fait du compactage du sol son principal ennemi, surtout entre les rangées où circulent les machines ; en évitant l'évaporation - c'est dans cet objectif que l'on couvrira le sol - ; et en limitant la transpiration de la couverture végétale vivante, ce qui conduira à l'éliminer au moment adéquat. Un bon bilan nutritionnel s'obtient en fertilisant non seulement l'arbre mais également les couvertures si nécessaire et en veillant à améliorer la teneur en matière organique jusqu'à atteindre des valeurs adaptées à chaque terrain, qui permettent d'obtenir la plus grande productivité possible.

3.2. ÉROSION ET DÉGRADATION DU SOL

3.2.1. Importance du sol

La FAO définit le sol comme « la couche supérieure de la terre qui s'est formée lentement par décomposition du matériel rocheux sous-jacent (roche mère) sous l'action de conditions atmosphériques (climat) et de la végétation ou au moyen de dépôt de matières entraînées par les cours d'eau, les mers (sols alluviaux) ou par le vent ("loëss" ou sols de cendres volcaniques) ».

Parmi les fonctions du sol, on rappellera notamment que :

Le sol est une réserve d'eau et de nutriments. L'eau est le facteur qui influence le plus la production de l'olivier, ce qui est particulièrement important dans des conditions de régime pluvial lorsque la pluviométrie est faible. De plus, un olivier bien nourri tire mieux profit de l'eau et supporte mieux les conditions climatiques adverses et les attaques de ravageurs et de pathogènes. La profondeur du sol influencera dans une grande mesure sa capacité à stocker l'eau.

Le sol est l'espace où se développent les racines et le support de l'arbre. C'est pourquoi il convient d'éliminer dans la mesure du possible tous les éléments qui empêchent leur développement, comme les roches ou les couches compactes, de procéder au drainage des couches phréatiques et des zones d'inondation temporaire, et d'éviter les accumulations de sels entraînées par une mauvaise pratique de l'irrigation, de la fertilisation ou par un drainage insuffisant.

Le sol constitue le lieu où se produisent la plupart des processus d'absorption et de dégradation des produits phytosanitaires. Ces processus sont majoritairement liés aux substances du complexe argilo-humique et à l'activité microbienne. C'est pourquoi la présence de matière organique et de microorganismes dans le sol, contribue à éviter les problèmes de pollution des eaux par les produits phytosanitaires.

Le sol est le support fondamental de l'agrosystème, de la flore et de la faune et abrite les microorganismes et les pathogènes. L'équilibre de cet agrosystème est l'un des aspects les moins connus en oléiculture. Il est donc important d'y être particulièrement attentif et de contrôler l'intensification de la culture et les pertes possibles de la diversité car les déséquilibres pourraient favoriser les attaques de ravageurs ou aggraver les maladies.

Si les oliveraies occupent des sols très différents, certaines présentent des limites importantes, en particulier celles qui sont plantées sur des sols caractérisés par un drainage insuffisant ou sur des terrains inondés, caractéristiques qui favorisent l'attaque des pathogènes et par conséquent la mort des plantes. D'autres facteurs, comme l'excès de calcaire, une salinité élevée ou une proportion excessive de gypse et la tendance à la formation de grandes crevasses profondes, limitent également fortement la capacité productive. Pourtant, il est vrai qu'en général, l'olivier peut végéter sur pratiquement tous les sols agricoles et, dans la plupart des cas, une profondeur de 60 à 80 cm est suffisante pour assurer un développement adéquat de l'olivier et des productions rentables.

3.2.2. Taux de formation et de perte de terrain

L'un des aspects les plus importants à prendre en compte est la lenteur du processus de formation des sols. La durée de ce processus est en outre variable : elle dépend en effet de la nature de la roche



mère et des facteurs environnementaux. Sur des sols agricoles, les taux de formation peuvent varier entre 3 et 15 tonnes par hectare et par an. Néanmoins, et s'agissant d'un phénomène naturel, il est possible d'établir un taux de perte de sol « tolérable », difficile à déterminer quantitativement car il dépendra fondamentalement non seulement du taux de formation de chaque type de sol mais également de sa profondeur. Ainsi, pour une profondeur de 25 cm, les pertes ne devraient pas être supérieures à $2,2 \text{ t ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$, alors que si la profondeur est de 150 cm, on peut tolérer jusqu'à $11 \text{ t ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$. On peut considérer comme pertes légères des valeurs inférieures à $10 \text{ t ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$, modérées entre 10 et 50, accusées de 50 à 100, fortes entre 100 et 200 et très fortes à partir de 200.

Dans de nombreuses oliveraies, les pertes réelles de terrain sont très supérieures aux taux de formation. Dans le bassin Méditerranéen, vu les conditions climatiques, ces pertes sont dues essentiellement à l'érosion hydrique. Toutefois, dans certains endroits, l'érosion éolienne peut également être en cause. Les conséquences sont très graves pour la production de l'oliveraie (Figure 1) :

- Réduction de la capacité de stockage d'eau
- Réduction de la quantité de nutriments disponibles
- Perte du système racinaire de l'arbre
- Risques de pollution par pesticides à travers l'écoulement et l'entraînement de particules



Figure 1. Olivier décrépi suite à une perte progressive de terrain. Les grandes dimensions du tronc indiquent que la plante était autrefois vigoureuse.

La conduite du terrain doit donc chercher à éviter sa perte (érosion) ou sa dégradation.

3.2.3. Développement des processus d'érosion

L'eau de pluie a un impact sur la surface du sol et entraîne la désagrégation des particules. L'eau de ruissellement, qui s'écoule à une certaine vitesse, déplace ces particules. Lorsque la vitesse d'écoulement diminue suffisamment, les particules finissent par se déposer. On distinguera donc trois étapes : désagrégation, entraînement et sédimentation. L'érosion se manifeste sous quatre formes :

- *Laminaire*. Ce type d'érosion consiste en la perte de particules superficielles. Elle est très importante mais passe souvent inaperçue à première vue.
- *En sillons*. Ce type d'érosion est la conséquence de la présence d'une accumulation du ruissellement. Les résultats du labour parviennent à le dissimuler.
- *En ravines*. Il s'agit d'un processus très spectaculaire et très visible.
- *Mouvements en masses*. Ce processus correspond à un problème de stabilité des sols et échappe généralement au contrôle de l'agriculteur.

Morgan (1995) donne de nombreuses informations sur ce thème. Bergsma (1981) et ICONA (1988) citent les indices d'agressivité de la pluie estimés et calculés pour le bassin Méditerranéen et l'Espagne respectivement.

Facteurs intervenant dans l'érosion : vitesse d'infiltration et d'écoulement

L'érosion est liée à la vitesse d'infiltration de l'eau et à la production d'eau de ruissellement, véritable responsable des pertes de terrain. Une vitesse réduite d'infiltration, dans le cas d'une pluviométrie élevée, donnera lieu à une perte d'eau par ruissellement. La vitesse de l'eau augmente la capacité érosive. On peut dire que « **ce n'est pas l'eau qui est responsable de l'érosion mais la vitesse à laquelle elle circule** ». Tout élément ou facteur capable d'améliorer l'infiltration et de réduire la vitesse de l'eau de ruissellement contribuera à réduire les taux d'érosion. Parmi les facteurs qui interviennent, on citera :

- La *texture du sol*, qu'il n'est pas possible de modifier au moyen de techniques de conduite ou de fertilisation. Plus la proportion de sable est grande, plus la vitesse d'infiltration est élevée (Figure 2) et moins le ruissellement est important. En outre, la susceptibilité du sol à l'érosion est supérieure lorsque la teneur en sable fin et en limon augmente.
- La *densité apparente du sol*, qui est liée à la *porosité*. Plus la densité apparente est réduite, plus le volume des pores est important et plus la vitesse d'infiltration augmente. Cette densité peut être modifiée par la conduite du sol : elle peut être réduite par le labour, ou augmentée par le compactage - à la suite du passage des machines par exemple. Ainsi, le labour des sols compactés favorise l'infiltration de l'eau, en diminuant les écoulements, et facilite le contrôle de l'érosion. Toutefois, sur les terrains en pente, cet effet est fortement conditionné par la profondeur du labour et l'intensité de la pluie. En effet, les labours superficiels sur des sols compactés et les pluies torrentielles peuvent entraîner des processus érosifs très intenses. La proportion de macropores est également très importante : ceux de plus grande dimension sont capables de conduire une plus grande quantité d'eau ; ils apparaissent en présence de végétation (racines mortes) et de mésofaune (comme les vers par exemple). L'effet des macropores est plus accusé sur des sols argileux car la vitesse d'infiltration sur ces sols est faible. Lorsque la densité apparente est trop élevée, donc sur des sols compactés, la macroporosité a peu d'importance en termes absolus car le vrai problème réside dans le compactage.
- La *matière organique*, qui affecte la densité apparente, en la réduisant, et augmente donc l'infiltration. La matière organique favorise la formation d'agrégats, en structurant le sol et en le rendant plus résistant au compactage et moins sensible à la désagrégation due à l'impact de la pluie et à l'imperméabilisation de la surface, grâce à la formation d'une croûte.
- L'*humidité du sol*, qui limite la capacité d'infiltration de l'eau par rapport au sol sec. Si un sol contient déjà une certaine quantité d'eau, ses possibilités de continuer à en stocker seront plus limitées. Les risques d'érosion sont donc plus forts sur des sols déjà humidifiés.
- La *rugosité du terrain*, qui favorise la formation de mini bassins et la rétention de l'eau d'écoulement, donc l'infiltration. Les labours qui augmentent la rugosité peuvent contribuer à réduire l'érosion.
- La *couverture du sol* évite l'impact des gouttelettes de pluie et du vent qui produisent la désagrégation des particules. La présence d'une végétation verte ou de restes végétaux augmente la rugosité du sol, permet de retenir l'eau dans de petites dépressions qui se forment par accumulation des restes et ralentit l'écoulement.
- Les *horizons de haute densité apparente*, comme peuvent l'être les horizons souterrains d'accumulation d'argile ou les horizons sous-jacents de matériel parental du sol. Leur présence limitant l'infiltration, ils peuvent entraîner des inondations sous la surface et favoriser ainsi l'érosion.



- La *semelle de labour*, qui se produit sous l'horizon labouré comme conséquence du passage des machines et que des labours plus profonds ne permettent pas d'atteindre, réduit la vitesse d'infiltration. Sa présence dépend du type de sol, de la fréquence des labours, du type de machines employées et du moment où les labours sont réalisés. Les labours de sols argileux caractérisés par un excès d'humidité et l'emploi de machines lourdes donnent lieu à la formation de semelles persistantes, qui peuvent s'installer pendant plusieurs années, même si le sol n'est plus labouré. En revanche, sur les vertisols, caractérisés par la formation de crevasses qui s'agrandissent avec l'humidité, les semelles tendent à disparaître plus rapidement alors que sur les sols très sableux, elles ne parviennent pas à se former.
- L'*impermeabilisation de la surface* par les particules fines résultant de la désagrégation, par la pluie ou par les labours, crée une couche superficielle, peu poreuse, qui rend l'infiltration difficile. La couverture réduit l'étanchéité de la surface en protégeant le sol de l'impact direct de la pluie et en évitant la désagrégation des particules. Les sols limoneux sont très enclins à ce phénomène.
- *La pente et la longueur de la pente*. Plus les pentes sont longues, plus elles contribuent à augmenter la vitesse de l'eau et à diminuer l'infiltration. L'une des clés pour réduire l'érosion consiste précisément à réduire la pente et sa longueur. C'est sur ce principe que reposent les systèmes traditionnels de conservation des sols et d'accumulation de l'eau comme les terrasses et les gradins.
- *La taille du bassin*, qui permet l'accumulation d'un certain volume d'eau. L'endroit où s'accumulent les écoulements devra faire l'objet d'actions spécifiques. Ces zones devront être protégées.

Dans des conditions de pluviométrie abondantes, l'écoulement est inévitable. Morgan (1995) et Gómez et Fereres (2004) proposent des méthodes de calcul qui permettent de décider de manière adéquate les éléments d'évacuation à prévoir de manière à minimiser les dégâts (voir aussi le point 3.7 de ce chapitre).

Différences entre le dessous de la frondaison de l'olivier et le milieu des rangées de plantation

- Sous l'olivier, en raison de la frondaison, les gouttelettes d'eau de pluie sont plus grosses. Elles ont une énergie supérieure, ce qui fait que leur capacité érosive est également plus élevée. Toutefois, le sol sous la frondaison, en raison de l'accumulation des restes végétaux de l'olivier, de sa grande porosité et de la présence du système racinaire, freine l'effet érosif de ces gouttelettes plus grandes. C'est la raison pour laquelle il est déconseillé d'éliminer les restes végétaux sous la frondaison (Figure 2), surtout si on le fait systématiquement chaque année.
- Au centre des rangées, le passage continu des machines rend le sol plus compact (Gil-Ribes et al., 2005) et réduit le taux d'infiltration. En plus, ce mouvement continu empêche le développe-



Figure 2. Le sol sous la frondaison de l'olivier n'est plus protégé si on élimine les feuilles et les restes secs et devient plus vulnérable à l'érosion. C'est pourquoi cette pratique ne devrait pas être adoptée de manière systématique.

ment de la couverture végétale (Figure 3). En revanche, la zone située sous la frondaison a généralement un taux d'infiltration plus élevé car le terrain y est presque toujours plus poreux et présente une teneur supérieure en matière organique, en raison de l'accumulation des feuilles de l'olivier, et parce que l'impact du passage des machines est bien moins important. Le flux d'écoulement se concentre au milieu des rangées d'oliviers car le sol y est plus compacté et les taux d'érosion sont plus élevés que sous la frondaison.

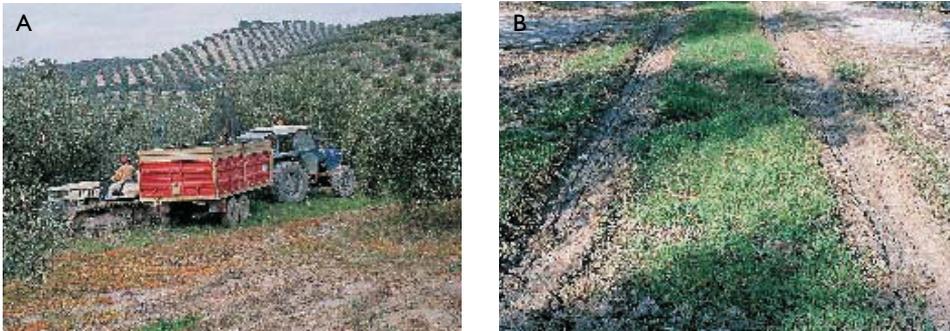


Figure 3.A) Le passage des machines, en particulier celles qui sont utilisées pour la récolte en hiver durant la période humide, donne lieu à un fort compactage du sol au milieu des rangées B), qui peut empêcher le développement de la couverture végétale, en particulier sur les sols argileux, et obliger à réaliser des labours pour réaménager le sol dans ces zones.

3.3. BILAN HYDRIQUE ET NUTRIMENTS

Le bilan hydrique sera le résultat de l'eau infiltrée moins celle qui s'évapore directement du sol et celle qui est consommée par les plantes par transpiration. Dans le point précédent (3.2.2), nous avons analysé les facteurs qui affectent le premier élément, la vitesse d'infiltration. Les techniques utilisées pour améliorer l'infiltration et réduire l'érosion, contribuent elles aussi à améliorer le bilan hydrique. Toutefois, il est nécessaire de conserver cette eau pour assurer une bonne production.

Conservation de l'eau dans le sol : évaporation et transpiration

Parmi les facteurs qui affectent l'évaporation et la transpiration, on citera :

- La *couverture du sol*. Les pertes d'eau par évaporation peuvent être diminuées en recouvrant le sol, par exemple avec des matières comme des pierres, de la paille ou des restes végétaux.
- Les *plantes vivantes* sont des herbes spontanées ou des cultures, elles couvrent aussi le sol et diminuent l'évaporation mais consomment de l'eau par transpiration. Toutefois, même si dans la majorité des oliveraies du bassin Méditerranéen, l'eau est très rare en été, on observe fréquemment des excès de précipitations en automne et en hiver. Cet excès d'eau peut être utilisé pour l'entretien durant cette période d'une couverture végétale qui permet d'améliorer les caractéristiques du sol et de réduire l'érosion. À partir d'une certaine date, qui dépendra des conditions climatiques de chaque endroit et de chaque année, la couverture devra être éliminée. À cet effet, on pourra recourir au labour, au désherbage chimique (avec des herbicides), au désherbage mécanique ou au pâturage. Dans les endroits où l'eau est déficitaire toute l'année ou lors d'années de faible pluviométrie, le maintien d'une couverture végétale vivante peut réduire considérablement la production d'olives.



- Les labours qui ramènent le sol humide à la surface et l'exposent au dessèchement font perdre beaucoup d'eau. L'effet des labours qui sont réalisés lorsque le sol est déjà suffisamment sec et lorsqu'il s'agit de couvrir les crevasses profondes est différent. Le résultat des labours sur l'évaporation peut donc varier selon les conditions d'humidité et le type de sol.
- Le *désherbage chimique* peut être réalisé avec des herbicides de contact ou systémiques. Les herbicides de contact permettent d'éliminer les parties vertes des plantes mais celles-ci peuvent repousser; en particulier les espèces hémicryptophytes dont les bourgeons de renouvellement ne sont pas affectés par le traitement herbicide (voir point 3.4.3.). En revanche, avec des applications d'herbicides ayant un très fort pouvoir de pénétration, la repousse est faible ou nulle et le contrôle de la transpiration de la couverture intervient de manière immédiate, ce qui se traduit par une perte d'humidité moins importante (Figure 4).
- Le *désherbage mécanique* donne lieu à un contrôle de la transpiration moins efficace que les herbicides de contact car il ne permet pas de contrôler, en plus des espèces hémicryptophytes et géophytes, les espèces annuelles à port rampant et celles qui sont encore peu développées. La capacité de repousse dépend donc non seulement du type biologique, mais également de la

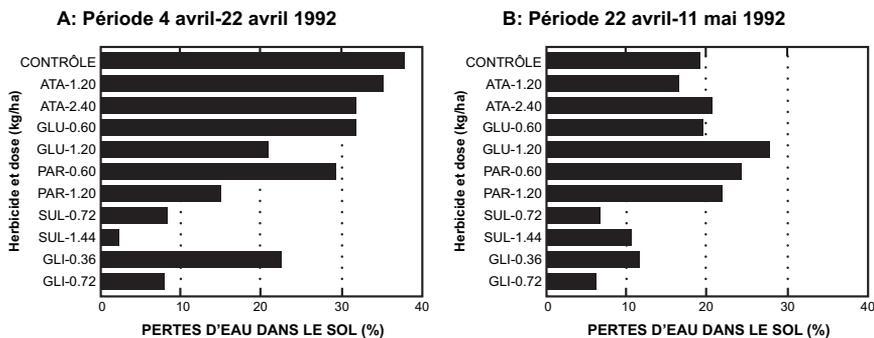


Figure 4. Perte d'eau dans le sol sur des parcelles recouvertes d'orge traitées le 12 mars 1992 avec différents herbicides :ATA = amitrol ; GLU = glufosinate d'ammonium ; PAR = paraquat ; SUL = glyphosate sel trimésique ; GLI = glyphosate sel amine. La moindre perte d'humidité dans le sol suppose un meilleur effet herbicide pour un meilleur bilan hydrique (Castro, 1993).

morphologie et de l'état phénologique des espèces. Il serait très intéressant de disposer d'espèces qui, une fois qu'elles ont été désherbées, présentent peu ou aucune capacité de repousse. Dans ce sens, on signalera le travail intéressant de Alcántara *et al.* (2004) sur les espèces crucifères. Ce sont des herbes de cycle hivernal fréquentes dans les oliveraies, faciles à semer et qui repoussent à peine après un ou deux désherbages mécaniques réalisés à la fin de l'hiver ou au début du printemps.

- Le *pâturage* a un effet très similaire à celui du désherbage mécanique, avec la particularité que les animaux peuvent sélectionner et consommer les espèces les plus appétissantes et rejeter celles qu'ils n'apprécient pas ou qui ont des épines.

Nutriments et rôle de la matière organique

Le bilan des macronutriments et donc les apports qui doivent être réalisés vont dépendre des techniques de conduite du sol et de la couverture végétale. On précisera que les labours produisent une minéralisation de la matière organique, ce qui permet d'apporter des nutriments facilement assimilables, l'azote étant particulièrement important. En revanche, les couvertures végétales vivantes les immobilisent. Dans la plupart des oliveraies méditerranéennes, le moment où il est nécessaire d'éliminer les couvertures vivantes pour contrôler la transpiration, coïncide avec l'augmentation des températures à la fin de l'hiver ou au début du printemps, lorsque l'olivier sort de son repos et a lui

aussi besoin de nutriments. Après le désherbage, les restes végétaux commencent à se décomposer et à s'incorporer progressivement au sol (Figure 5). Pour éviter un déficit momentané, on recommande de fertiliser les couvertures végétales et de couvrir au moins une partie de leurs besoins, indépendamment de la fertilisation de l'olivier.

Quant aux micronutriments, leur teneur est adéquate dans la plupart des sols. Toutefois, ils sont présents sous des formes non assimilables pour l'olivier. Néanmoins, les molécules organiques forment

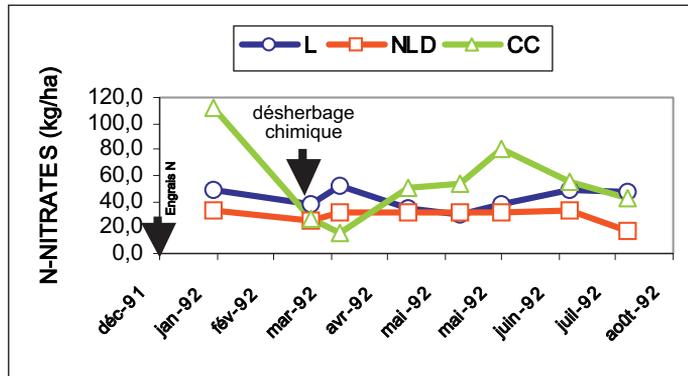


Figure 5. Évolution des teneurs en nitrate sur un sol labouré (L), non labouré sur sol nu (NLD) et avec couverture d'orge (CC) entre 0 et 60 cm de profondeur. Le désherbage chimique a coïncidé avec la diminution de la teneur en nitrates du sol dans la couverture d'orge, malgré une fertilisation préalable à l'azote à une dose de 50 kg/ha (108,6 kg/ha d'urée par hectare) (Castro, 1993).

avec la plupart de ces nutriments des composés qui peuvent être absorbés par les plantes, comme les chélates. C'est le cas du fer, qui est abondant dans de nombreux sols calcaires d'olivieraies, même si ceux-ci sont affectés de chloroses ferriques qui limitent énormément la croissance des oliviers. C'est pourquoi il convient toujours d'augmenter la teneur en matière organique qui est faible dans la plupart des olivieraies car celle-ci favorise la fertilisation et améliore son efficacité.

3.4. FLORE DE L'OLIVERAIE (ADVENTICES)

La flore de l'olivieraie constitue l'une des parties les plus importantes de son agrosystème. On l'a appelé « adventices » en raison des nuisances qu'elle occasionne mais elle présente également des avantages et contribue à l'équilibre environnemental. La conduite du sol est forcément liée à celle des adventices. Dans Saavedra et Pastor (2002), on trouvera de nombreuses informations sur la biologie, l'écologie des espèces et leurs relations avec les systèmes de culture.

3.4.1. Inconvénients des adventices

La présence de végétation spontanée dans les olivieraies occasionne des inconvénients divers et importants :

- *Concurrence pour l'eau et les nutriments*, en particulier durant la période de faible disponibilité d'eau et de développement du fruit, au printemps et en été. Cette concurrence est proportionnelle à la densité des racines. Sur les petits oliviers, l'effet est plus évident (Figure 6). Gabriel Alonso de Herrera le disait déjà au XVI^e siècle et nous le signalons dans l'introduction de ce chapitre, "la yerba, la cual si mucho crece, quita la sustancia" (l'herbe, si elle pousse trop, quitte



Figure 6. A) La couverture végétale vivante d'espèces spontanées, « adventices », exerce une forte concurrence pour l'eau et provoque un stress hydrique important chez les oliviers. B) Le manque d'eau donne lieu à des symptômes de stress et entraîne une diminution de la production. Cette couverture devrait avoir été éliminée plusieurs semaines avant pour éviter cette situation. Photographies prises dans la province de Jaén, Espagne, respectivement à la fin du mois d'avril et en octobre.

la substance). Cela est un fait qui n'a pas changé bien que les techniques de culture et les moyens de production aient évolué et se soient améliorés, et bien que l'esprit conservateur soit aujourd'hui plus fort que jamais. Les techniques de culture devront tendre à conserver la présence d'une couverture pour éviter l'érosion et la dégradation des sols, favoriser la diversité des espèces, etc., mais, évidemment, il est fondamental de réaliser une conduite adéquate des herbes pour éviter les pertes de récolte.

- *Interférence avec la récolte et les autres opérations culturales.* Le coût de la récolte de l'olive tombée au sol en présence d'herbe est très élevé et les pratiques telles que la surveillance des goutteurs, la taille ou l'application de produits phytosanitaires deviennent plus difficiles (Figure 7). Ces inconvénients s'accroissent sous la frondaison des arbres mais sont presque insignifiants entre les rangées. C'est pourquoi on s'efforcera d'exercer un contrôle plus important sous la frondaison par rapport au milieu des rangées. Certaines espèces peuvent en outre produire des gênes physiques aux ouvriers, notamment celles qui ont des épines ou qui produisent des allergies cutanées comme *Capnophyllum peregrinum*.

- *Elles peuvent augmenter la présence de certaines maladies et de certains ravageurs ainsi que des dégâts climatiques.* Même si sur ces aspects, l'information disponible est encore insuffisante, on sait par exemple que la présence de végétation, y compris sous forme de couvertures semées, donne lieu à l'augmentation de l'humidité environnementale et favorise la présence de champignons du type œil de paon. On a également constaté un développement plus important de certains ravageurs comme le psylle. Les herbes hautes compliquent aussi la surveillance des rongeurs qui attaquent l'olivier,



Figure 7. Les herbes très développées sous la frondaison des oliviers rendent difficiles la récolte et d'autres pratiques comme la taille, l'élimination des brindilles, les traitements phytosanitaires ou le contrôle de l'irrigation.

comme les lapins, les taupes et les souris. De même, les dégâts occasionnés par les gelées printanières peuvent être plus importants dans les oliveraies recouvertes de végétation car les gelées y sont plus intenses et durent plus longtemps (Figures 8 et 9).

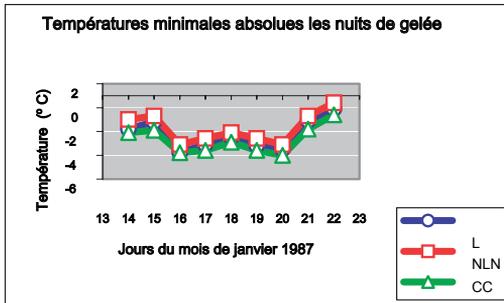


Figure 8. Les gelées sont souvent plus intenses et plus longues en présence d'une couverture végétale. Le graphique montre les températures minimales enregistrées sur un sol labouré (L), sur un sol nu non labouré (NLN) et sur un sol avec couverture végétale vivante de céréales (CC) en 1987 à Alameda del Obispo (Pastor, 1998).



Figure 9. Jeunes oliviers morts par gel suite à une inversion thermique dans un talweg. Dans les zones basses, et surtout si les oliviers sont jeunes, la présence d'une couverture végétale augmente les risques de dégâts provoqués par les gelées.

3.4.2. Avantages des adventices

La présence d'herbe suppose d'importants bénéfices pour l'oliveraie, de manière directe et indirecte. Nous citerons en particulier les avantages suivants :

- Elles protègent le sol, contribuent à sa formation et réduisent considérablement les taux d'érosion.
- Elles favorisent la présence de faune et la biodiversité. L'abondance d'oiseaux par exemple est fréquemment très liée à la végétation spontanée. Toutefois, cette faune peut également entraîner les inconvénients déjà mentionnés plus haut (voir point 3.4.1).
- Elles apportent de la matière organique, fixent les nutriments et le CO_2 atmosphérique, tout en réduisant l'impact de la pollution entraînée par les activités industrielles et urbaines.

3.4.3. Caractéristiques de la flore de l'oliveraie méditerranéenne

L'oliveraie méditerranéenne, qui représente 97 % de l'oliveraie mondiale, pourrait être considérée du point de vue agro-écologique comme une forêt méditerranéenne éclaircie, dans la mesure où il s'agit d'une espèce arboricole autochtone cultivée mais extraordinairement adaptée au milieu et caractérisée par une flore très particulière dont on soulignera :

- La très forte diversité d'espèces. L'Espagne par exemple comptabilise à elle seule 800 espèces. Il n'est d'ailleurs pas rare de trouver 100 espèces différentes sur un seul hectare en Andalousie.
- Les espèces sont majoritairement d'origine méditerranéenne et sont très bien adaptées aux conditions pédoclimatiques. On peut également trouver des espèces d'autres origines comme des allochtones d'origine subtropicale qui se trouvent par exemple sur des terrains irrigués où les conditions climatiques de température élevée et de forte disponibilité d'eau rappellent cet écosystème chaud et humide.
- Elles dominent les *thérophytes* (annuels, qui passent la période défavorable de leur vie sous forme de graines), fondamentalement en raison du labour qui est la méthode de contrôle la plus diffusée, mais on trouve également une grande présence d'hémicryptophytes (typiques des



pâturages, qui présentent des pousses de reprise au ras du sol) et géophytes (pérennes, difficiles à contrôler et présentant des pousses de reprise souterraines).

- *Cycles phénologiques très différents.* En raison de la faible disponibilité d'eau durant la période estivale, la plupart sont des espèces de cycle automne-printemps ou des espèces hautement résistantes à la sécheresse mais on trouve aussi dans les oliveraies des espèces estivales. En plus, la durée des cycles végétatifs peut être très différente, de 2-3 mois jusqu'à 10-11 ou d'annuels à pluriannuels dans le cas des espèces pérennes.

La flore de l'oliveraie est donc caractérisée par un très grand nombre d'espèces, capables en outre de s'adapter aux différents milieux mais aussi à des systèmes divers de culture. Ce sont ces qualités qui permettent à cette flore de coloniser différents milieux et d'évoluer en concordance avec les techniques appliquées, comme nous le verrons ultérieurement.

Dans d'autres pays, situés hors du bassin Méditerranéen, la flore de l'olivier est différente et les espèces sont propres à chaque territoire, mais en général, ce qui est exprimé ci-après est également valable pour ces situations, à l'exception de la diversité d'espèces qui sera propre à chaque zone.

3.4.4. Évolution de la flore

La flore d'une oliveraie n'est pas statique. Les populations qui constituent une communauté changent chaque année en réponse à de multiples facteurs, comme par exemple des facteurs climatiques, pédologiques, de concurrence interspécifique (entre différentes espèces) et intraspécifique (à l'intérieur de la même espèce), de régulation intrinsèque des populations ou des techniques de culture. Lorsque ces changements se dirigent de manière répétée dans une direction, nous pouvons parler d'évolution de la flore. Nous signalons ci-après quelques-uns de ces changements qui sont d'ailleurs très évidents aussi bien du point de vue théorique que dans la pratique.

Adaptation des espèces à chaque système de culture

Chaque système de culture favorise l'installation et le développement d'espèces données. Avec le temps et les changements physico-chimiques qui affectent le sol, les populations évoluent vers celles qui sont les mieux adaptées et les plus difficiles à contrôler avec le système de conduite adopté. Voici quelques exemples :

- Le désherbage mécanique ne permet pas de contrôler les espèces géophytes et hémicryptophytes dont les pousses, qui se développent respectivement au ras du sol et sous le sol, leur permettent de survivre. Il ne permet pas non plus de contrôler les espèces annuelles (thérophytes) de port rampant (Figure 10), parce que les éléments de coupe des machines ne peuvent pas les atteindre. Logiquement, ces espèces proliféreront jusqu'à devenir dominantes, au détriment de celles qui sont éliminées facilement avec le désherbage.



Figure 10. Les espèces à port rampant, ici *Anthyllis tetraphylla*, ne sont pas éliminées au moyen du désherbage mécanique.

- En revanche, les systèmes de non labour sur sol nu favorisent l'installation des espèces qui ont besoin de lumière pour germer parce que la graine n'est pas enfouie et qu'elle reste exposée à la lumière.
- Les labours très fréquents et continus, tous les 2-3 mois, permettent de contrôler la plupart des espèces, mais les espèces annuelles de cycles plus courts, capables de produire des graines pour se perpétuer durant ce laps de temps, seront moins affectées. En revanche, si le labour est réalisé de manière espacée, des espèces de cycles plus longs pourront se développer. La Figure 11 montre une oliveraie avec une population importante de *Diplotaxis erucoides*, espèce crucifère de cycle moyennement hivernal fréquente dans les oliveraies soumises au labour.



Figure 11. *Diplotaxis erucoides* est une crucifère hivernale qui pousse facilement dans les oliveraies labourées régulièrement sauf pendant 4-5 mois en automne-hiver. L'absence de labours pendant ce laps de temps permet alors à cette espèce de compléter son cycle et de produire des semences. C'est la raison pour laquelle cette espèce est également fréquente dans les vignobles.

Flore de printemps-été

Les systèmes de culture visent à obtenir la plus grande production possible et donc à maintenir le maximum d'eau et de nutriments à la disposition de l'olivier durant la période de croissance. Dans les conditions du climat méditerranéen, où les automnes et les hivers sont pluvieux et les étés sont secs, le fait de maintenir au maximum le degré d'humidité dans le sol durant le printemps et l'été, favorise les espèces de cycles plus tardifs, celles qui végètent au printemps et en été et ont besoin d'eau durant cette période (Figure 12) et qui sont en plus les plus compétitives, car l'olivier a lui aussi besoin à ce moment-là d'une plus grande quantité d'eau, comme on le verra plus loin dans le chapitre consacré à l'irrigation.

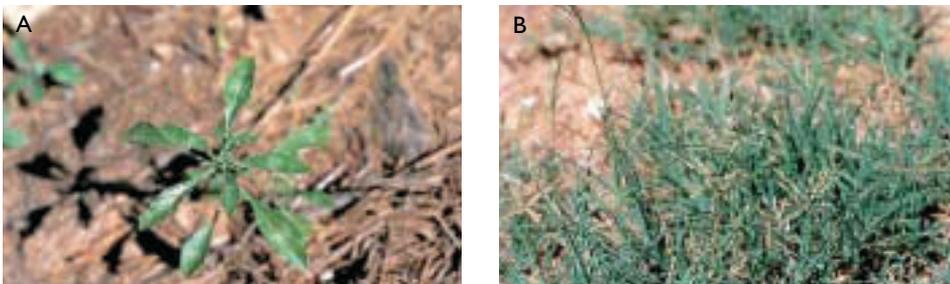


Figure 12. A) *Amaranthus blitoides* (annuelle) et B) *Cynodon dactylon* (pérenne) sont des exemples d'espèces très compétitives, représentatives de la flore de printemps et d'été typique des oliveraies méditerranéennes.

Tolérance et résistance aux herbicides

Avec le temps, les espèces qui échappent au contrôle des traitements herbicides deviennent plus nombreuses et finissent par être dominantes (Figure 13), d'où l'importance d'alterner l'emploi des herbicides, mais également l'avantage de pouvoir employer cet outil, à travers des traitements destinés à contrôler certaines espèces et à en sélectionner d'autres, pour changer la composition floristique de nos oliveraies. Par exemple, si l'on emploie un herbicide sélectif de graminées ou de légumineuses,



Figure 13. Oliveraie traitée de manière répétée avec du glyphosate dans laquelle les espèces malvacées (*Malva* spp. et *Lavatera* spp.) n'ont pas été totalement contrôlées et sont devenues des espèces dominantes.

on pourra, sans nécessité de semer, obtenir une couverture végétale vivante composée d'espèces spontanées à base de graminées ou de légumineuses respectivement.

Concurrence entre espèces

La présence de certaines espèces, qui consomment de l'eau et des nutriments, rend difficile l'apparition d'autres espèces de cycles plus tardifs, qui devront s'installer lorsque les ressources sont déjà rares (parce que les plus précoces les ont consommées), et dans des circonstances de plus grande interférence pour la lumière, l'espace, les substances allélopathiques, etc. Cette absence de concurrence interspécifique constitue l'un des outils de conduite des adventices les plus intéressants car il permet d'agir en favorisant la présence d'espèces moins compétitives, au détriment des plus compétitives ; en d'autres termes, elle permet de favoriser la présence de certaines espèces en hiver lorsque normalement les ressources hydriques sont importantes et que les oliviers sont au repos, et d'éviter la présence de flore d'été qui concurrence fortement l'olivier pour ses besoins en eau.

3.5. SYSTÈMES DE CULTURE : EFFETS SUR L'ÉROSION, LA CONTAMINATION, LES HERBES, LA MATIÈRE ORGANIQUE ET LE CO₂

On appelle système de culture l'ensemble des pratiques et techniques qui peuvent être appliquées pour la conduite du sol et des adventices. On trouvera dans le Tableau 1 un schéma des différentes alternatives selon la couverture du sol et la forme de conduite.

Aucun système de culture ne peut être considéré idéal en soi ; chaque exploitation, voire chaque secteur ou zone à l'intérieur d'une exploitation, peut exiger des conduites différentes. On signalera en particulier deux zones très différentes :

- Sous la frondaison, où il est surtout nécessaire de faciliter la récolte et qui présente normalement des taux d'infiltration supérieurs,
- Entre les rangées d'oliviers, où le compactage du sol et la susceptibilité à des écoulements et à une érosion plus importante, conditionneront le choix du système.

Nous analyserons les avantages et les inconvénients que présente chaque système.

TABLEAU I.*Schéma des systèmes de culture en oliveraie*

Couverture du sol	Systèmes et mode de conduite		
Sol nu	Labour conventionnel, plus ou moins fréquent et profond		
	Non labour, avec application d'herbicides		
Sol avec couverture	Couverture inerte : pierres et autres matières		
	Couverture de restes végétaux : feuilles et résidus de la taille broyés, paille, etc.		
	Couverture végétale vivante	Adventices (flore spontanée)	Désherbage chimique
			Désherbage mécanique
			Pâturage
		Plante cultivée avec croissance contrôlée	Coupées et enfouies au moyen d'un labour
			Désherbage chimique
			Désherbage mécanique
	Céréales ou graminées	Pâturage	
		Légumineuses	Coupées et enfouies au moyen d'un labour
Autres			

3.5.1. Labour

Le labour consiste à déplacer le sol, principalement dans le but de contrôler les herbes et de faciliter l'infiltration. Le labour a été et est encore le système le plus utilisé par les oléiculteurs mais l'excès de labours peut également avoir des effets négatifs sur l'olivier et sur le sol.

Effet sur l'érosion

Le labour présente l'inconvénient de désagréger les particules de sol et de le rendre en principe plus vulnérable aux processus érosifs. Toutefois, lorsqu'il est effectué sur un sol qui est compacté, il favorise l'infiltration d'eau et augmente la rugosité, ce qui contribue à diminuer le ruissellement et l'érosion (Figure 14). Néanmoins, il convient d'éviter aussi bien les labours en direction de la pente la plus forte (car ils provoquent la formation de canaux de ruissellement par lesquels l'eau circule à grande vitesse, avec un fort pouvoir érosif), que les labours sur des sols humides au printemps et en été, qui favorisent les pertes d'eau par évaporation.



Figure 14. Un labour à profondeur moyenne dans le sens transversal à la pente s'est avéré efficace contre l'érosion car les particules entraînées se sont déposées au fond des sillons.



Le labour favorise la formation d'une *semelle de labour*, qui nuit au développement des racines de l'olivier et qui favorise la diminution de la vitesse d'infiltration. On peut toutefois éviter l'apparition des semelles au moyen de labours profonds de décompactage ou de labours sur des sols qui se trouvent dans un état favorable aux semis. La semelle tend à disparaître après plusieurs années sans labour.

L'emploi du rouleau, pour ameublir et tasser le sol et faciliter la récolte, doit se limiter exclusivement à la zone située sous la frondaison et être utilisé avec prudence car le compactage superficiel des sols augmente l'écoulement et réduit l'infiltration.

Les labours très superficiels (2 à 5 cm) (qui ne sont pas conseillés sur des sols compactés), sont généralement effectués en été pour boucher les crevasses mais ils exposent la couche du sol déplacée aux effets érosifs des premières pluies d'automne. En revanche, s'ils sont réalisés pour rompre la croûte superficielle, ils favorisent l'infiltration.

Le labour n'est pas conseillé sous la frondaison de l'olivier car il pourrait casser les racines. En outre, dans cette zone, il est rare qu'on observe un compactage du sol ou des problèmes d'infiltration. Néanmoins, dans certaines situations, on laboure sous la frondaison pour forcer la formation d'un système racinaire plus profond et éviter des problèmes majeurs comme par exemple la formation, sur les sols en pente et au cours de l'été, de grandes crevasses capables de rompre des racines de plus de 5 cm de diamètre et de dessécher le système racinaire profond.

Contamination par herbicides

Le labour permet de réduire ou d'éliminer le risque encouru par l'utilisation des herbicides. Dans cette optique, il s'agit d'une technique recommandable.

Contrôle des herbes

Les labours permettent de contrôler les herbes annuelles et bisannuelles mais ils ne sont pas toujours efficaces contre les herbes pérennes. Ils sont très utiles pour contrôler la flore adaptée au non labour et difficiles à contrôler avec d'autres moyens, comme par exemple *Conyza* spp. (Figure 15). On observe de plus en plus fréquemment l'apparition de populations de ces espèces résistantes ou tolérantes à des herbicides comme la simazine, le diuron ou le glyphosate sur les parcelles en non labour sur sol nu.



Figure 15. *Conyza canadensis* attaque fréquemment les parcelles non labourées et traitées avec des herbicides. Dans ce cas, il s'agit d'une population résistante à la simazine.

Matière organique et fixation du CO₂

Le labour favorise la minéralisation de la matière organique et met à la disposition de l'olivier des nutriments facilement assimilables. Toutefois, s'il est effectué trop fréquemment, il peut provoquer la perte progressive de matière organique et contribuer à augmenter l'apport de CO₂ à l'atmosphère. En suivant ce critère, la réalisation d'un labour doit être justifiée car le labour continu et très fréquent favorise la dégradation des sols cultivés.

3.5.2. Non labour sur sol nu

Consiste à maintenir le sol libre d'adventices par l'application d'herbicides, sans aucun labour.

Effet sur l'érosion

Il existe une certaine controverse parmi les chercheurs sur l'efficacité de ce système par rapport au labour pour le contrôle de l'érosion de l'olivieraie et le bilan hydrique. Les recherches devront donc être poursuivies pour déterminer les limites d'application de ce système.

Il est bien accueilli par les agriculteurs car il contribue à court terme à augmenter les productions d'olives et d'huile (Figure 16 A). Toutefois, à moyen et à long terme, le compactage du sol qui se produit sur de nombreux sols s'avère limitant pour la culture en raison de la réduction des taux d'infiltration (Figure 16 B) et de l'augmentation des ruissellements, ce qui donne lieu à des pertes de récolte et de terrain et à la formation de ravines sur les sols en pente. Sous les frondaisons, le non labour sur sol nu facilite la récolte et ne présente généralement pas ces inconvénients. Dans les rangées de la plantation, le système donne ou non des résultats selon les conditions particulières de chaque exploitation, en particulier du risque de compactage.

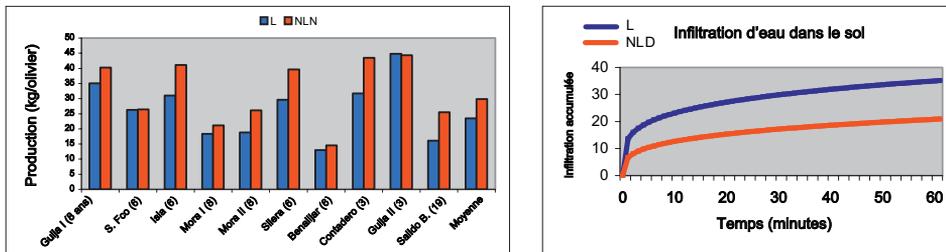


Figure 16. A) Récoltes obtenues dans différentes plantations et B) taux d'infiltration avec les systèmes de culture en labour (L) et non labour sur sol nu (NLD). On peut observer que le non labour sur sol nu a permis d'augmenter la récolte dans la plupart des exploitations. Toutefois, la réduction du taux d'infiltration peut être limitative sur certains sols.

Contamination provoquée par les herbicides

Le non labour sur sol nu oblige à employer des herbicides. Le soin apporté au choix de la matière active, le moment de l'application et la dose sont des éléments cruciaux pour éviter les problèmes de contamination. Ce risque diminue considérablement si l'on évite d'implanter le système sur toute la surface de l'olivieraie, en se limitant à de larges bandes de couverture végétale, en apportant de la matière organique sur la surface (par exemple des résidus des huileries) et en alternant les traitements herbicides (matières actives et moments d'application). Au sujet de ce dernier point, la disponibilité d'un plus grand nombre de matières actives enregistrées, permettrait de diversifier les traitements herbicides et de réduire les risques de contamination. Dans le chapitre 4 (Emploi d'herbicides) nous approfondirons ces aspects.

Contrôle des herbes

Les herbicides actuels autorisés (en Espagne) permettent de contrôler de manière efficace la majeure partie de la flore de l'olivieraie. Pourtant, il serait souhaitable de disposer d'un plus grand nombre de matières actives qui nous permettraient d'améliorer les contrôles et d'éviter l'apparition de populations résistantes et tolérantes.



Matière organique et fixation du CO₂

Ce système ne permet pas d'apporter de matière organique (à l'exception de la chute naturelle des feuilles de l'olivier, donc de fixer le CO₂). Toutefois, il ne provoque pas non plus la perte de la matière organique déjà disponible.

3.5.3. Couvertures inertes

Ce système consiste à maintenir le sol sans labour et recouvert de matières inertes. On entend par matières inertes celles qui n'apportent pas de matière organique, comme par exemple des pierres ou des matières synthétiques.

Effet sur l'érosion

Elles ont un effet important sur le contrôle de l'érosion parce qu'elles évitent l'impact direct de la pluie sur le sol et constituent un obstacle important au ruissellement. Mais dans le cas des pierres, selon leur taille et leur disposition, elles peuvent aussi faciliter la concentration du débit de l'écoulement et accentuer les processus d'érosion. En revanche, disposées en cercle autour de l'olivier et dans les rangées, elles facilitent la récolte des olives tombées et s'avèrent efficaces dans le contrôle de l'érosion (Figure 17).



Figure 17. Oliveraie avec couverture de pierres disposées autour de l'olivier et dans les rangées.

Contamination provoquée par les herbicides

Ces couvertures n'exigent pas une application d'herbicides aussi intense que dans le cas du non labour sur sol nu, mais il faut rappeler que les herbicides déposés par exemple sur les pierres sont facilement lavés par les eaux de ruissellement, avec le risque de contamination que cela suppose, puisqu'ils ne sont pas retenus par le complexe argilo-humique.

Contrôle des herbes

Ce type de couverture suppose une barrière très importante à l'apparition et au développement des adventices, mais ne parvient pas à les éliminer totalement. Son efficacité dépend de la grosseur et du type de couverture. Par exemple, une couche dense de pierres élimine une grande partie de la flore annuelle et un filet noir anti-herbe peut contrôler presque toute la flore, à l'exception d'espèces comme *Cyperus* spp. Des bâches de plastique noir et des filets anti-herbes peuvent être employés sous les jeunes oliviers.

Matière organique et fixation du CO₂

Ces couvertures n'affectent pas directement les niveaux de matière organique ni la fixation du CO₂.

3.5.4. Couvertures de restes végétaux

Il s'agit de couvrir le sol avec des restes de la taille et des feuilles d'olivier ainsi qu'avec d'autres déchets végétaux de différentes origines, sans labour.

Effet sur l'érosion

Elles sont très efficaces contre l'érosion car elles permettent d'éviter l'impact direct de la pluie, constituent un obstacle à la perte d'eau par ruissellement et à l'entraînement des sédiments et permettent également d'augmenter les teneurs en matière organique et les taux d'infiltration.

Contamination provoquée par les herbicides

Elles ont un effet très positif sur le contrôle de la contamination car elles permettent l'emploi d'herbicides et améliorent le complexe argilo-humique, en augmentant l'absorption et en favorisant sa dégradation. En outre, elles réduisent le transport des sédiments et des eaux qui contiennent les herbicides.

Contrôle des herbes

Elles permettent de contrôler en partie les herbes car elles constituent une barrière physique et provoquent l'apparition des substances allélopathiques au moment de la décomposition de la couverture. Pour cette même raison, elles limitent le développement des couvertures végétales vivantes (Figure 18).

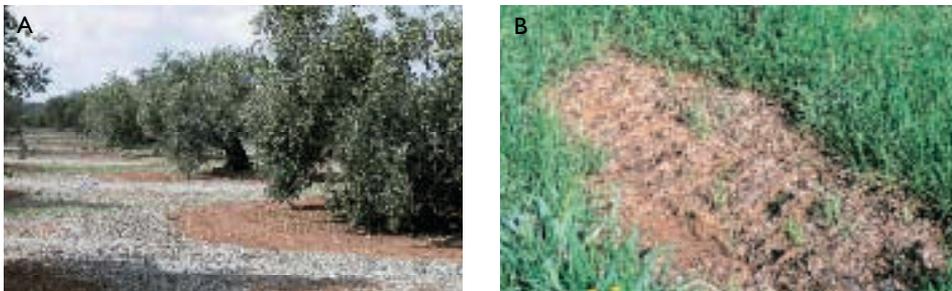


Figure 18. A) Oliveiraie avec couverture de restes végétaux (Photo Miguel Pastor). B) Dans le détail, on observe comment les restes accumulés constituent un obstacle au développement des herbes et de la couverture végétale vivante.

Matière organique et fixation du CO₂

Le grand avantage de ces couvertures est l'apport de matière organique au sol mais elles présentent également le risque d'introduire certains pathogènes comme le *Verticillium dahliae*, à travers les feuilles et les résidus de la taille d'arbres malades. Éviter les infections de ce champignon du sol est prioritaire pour la survie de la plantation. En cas d'infections, les restes devront être éliminés et en aucun cas être enfouis dans le sol ou abandonnés à la surface.

3.5.5. Couvertures végétales vivantes

Cette pratique consiste à laisser pousser les herbes ou à semer une culture et à les maintenir vivantes durant une période donnée, soit sur toute la surface soit en bandes. Ces herbes sont ensuite éliminées à un moment précis pour éviter la concurrence pour l'eau et pour les nutriments qui



s'exerce avec l'olivier. Les techniques de conduite sont détaillées dans le paragraphe qui suit. C'est un système particulièrement recommandé au milieu des rangées de la plantation. Sous la frondaison, ces couvertures peuvent s'avérer excessivement concurrentes et plus difficiles à gérer :

Effet sur l'érosion

Elles ont un effet très positif sur le contrôle de l'érosion. Elles couvrent le sol, améliorent sa structure, permettent une grande infiltration d'eau et réduisent la vitesse d'écoulement de l'eau, en provoquant la sédimentation dans les bandes de couverture (Figure 19). S'agissant de plantes vivantes, le système racinaire décompacte le sol, ce qui est très important lorsque l'on souhaite réduire ou éliminer les labours.

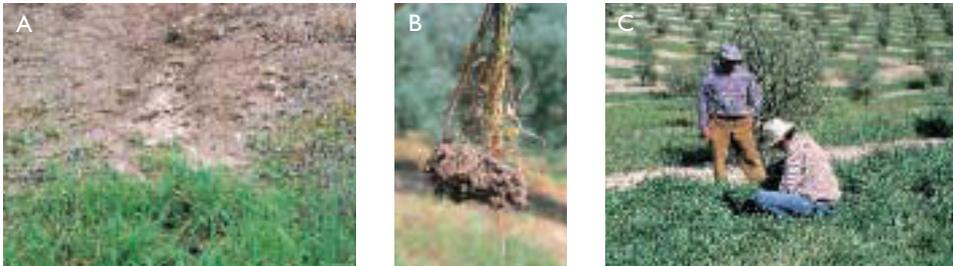


Figure 19. A) La couverture vivante couvre le sol, le protège de l'impact direct des goutelettes de pluie, réduit la vitesse de l'eau d'écoulement et favorise la sédimentation, B) ses racines décompactent le sol et lorsqu'elles meurent, elles fournissent une grande quantité de macropores qui augmentent l'infiltration d'eau et réduisent l'écoulement ; C) mais il est nécessaire de contrôler l'évolution de l'eau et des nutriments dans le profil du sol pour éviter des pertes de récolte.

Contamination provoquée par les herbicides

Les couvertures vivantes permettent de réduire l'emploi d'herbicides et donc les risques de contamination. Avec certaines espèces, grâce à l'emploi combiné d'un désherbage mécanique et/ou d'un labour pour les enfouir, on peut éviter d'avoir recours aux herbicides dans les zones qu'elles occupent. Elles apportent de la matière organique et améliorent le complexe argilo-humique, en favorisant ainsi l'absorption et la dégradation des produits phytosanitaires. Elles réduisent la quantité d'écoulement et les risques d'entraînement des sédiments et des eaux contaminées.

Contrôle des herbes

Les couvertures vivantes concurrencent la flore spontanée et facilitent le contrôle des adventices.

Matière organique et fixation du CO₂

Elles permettent d'augmenter la teneur en matière organique dans le sol et de fixer le CO₂.

3.6. TECHNIQUES DE CONDUITE DES COUVERTURES VÉGÉTALES VIVANTES

Les couvertures végétales vivantes sont installées de préférence au milieu des rangées d'oliviers. On peut les semer ou bien les laisser pousser de manière spontanée en automne et en hiver durant la

période froide et pluvieuse, lorsque l'eau est disponible (Figure 20). Elles doivent occuper une grande partie de la surface (Figure 21), approximativement un tiers. Leur apparition doit être précoce pour tirer profit au maximum de la période de pluies et produire le maximum de biomasse ou, ce qui revient au même, de matière organique, et pour maintenir le sol bien couvert le plus tôt possible. On choisira des espèces rustiques caractérisées par une croissance initiale rapide, bien adaptées aux conditions de culture de l'olivieraie et résistantes au piétinement inévitable durant la période de récolte.



Figure 20. A) Couverture d'orge au milieu des rangées d'une oliveraie, dans ce cas et exceptionnellement semée avec un semoir de semis direct, mais dans la plupart des exploitations, il faudra réaliser un labour superficiel pour semer et enfouir légèrement les semences. B) L'orge se laisse pousser durant l'automne et l'hiver et C) à la fin de l'hiver ou au début du printemps, on réalise le contrôle de la couverture, dans ce cas avec un désherbage chimique.

Les couvertures doivent être fertilisées indépendamment de l'olivier car durant leur croissance, elles peuvent immobiliser des nutriments dont l'arbre aura besoin après le débourrement pour le développement des pousses et des fruits. Dans le cas d'une couverture de céréales dans des zones de pluviométries moyennes comprises entre 500 et 600 mm, on a conseillé d'apporter au moins 50 kg d'azote par hectare couvert (environ 100 kg d'urée à 46 %). Cet engrais est également très important pour que la couverture pousse de manière vigoureuse dans les phases initiales et qu'elle concurrence les herbes non désirées, ce qui permet d'éviter des interventions postérieures de contrôle de ces adventices à base d'herbicides, de désherbages ou de labours.

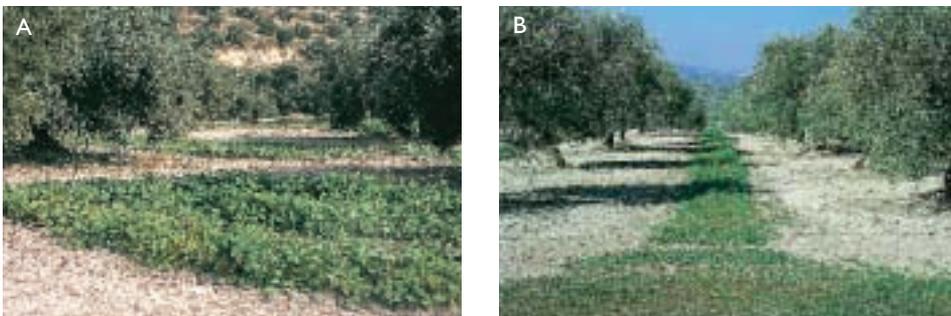


Figure 21. A) Oliveraie avec couverture d'espèces spontanées avec et B) sans couverture suffisante.

La couverture doit être éliminée avant le début de la concurrence pour l'eau (normalement à la fin de l'hiver ou au début du printemps dans le bassin Méditerranéen). Si l'on veut assurer un contrôle efficace de la concurrence, il est conseillé de réaliser une application avec un herbicide systémique (désherbage chimique) à la dose nécessaire pour chaque espèce en fonction de son état phénologique, par exemple du glyphosate à 0,72-1,08 kg de matière active par hectare s'il s'agit de graminées. On peut également avoir recours à l'élimination mécanique mais cette technique peut occasionner des pertes de récolte dues essentiellement au fait que le contrôle de la couverture n'est pas total (Figure 22) et que la concurrence continue. Le pâturage produit un effet similaire à l'élimination mécanique parce que les animaux n'éliminent pas non plus complètement toutes les herbes. En revanche, lorsque que l'on

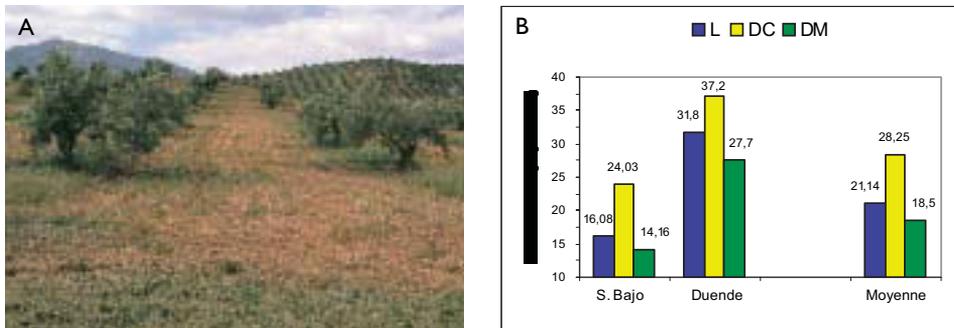


Figure 22. A) La couverture défrichée, dans ce cas à base d'espèces spontanées, n'est pas totalement contrôlée et repousse, ce qui fait que B) le système de conduite avec couverture et désherbage mécanique (DM) peut produire des pertes de récolte par rapport à d'autres systèmes de conduite du sol et de contrôle de la couverture, comme le labour (L) ou la couverture avec désherbage chimique (DC).

coupe la couverture et qu'on l'enfouit dans le sol par un labour; on peut obtenir un bon contrôle de la couverture même si le labour entraîne une perte d'eau du sol par évaporation. Cette perte d'eau peut entraîner une réduction de la récolte par rapport aux systèmes de contrôle qui ne déplacent pas le sol mais elle peut être compensée en partie par l'efficacité du contrôle de la couverture vivante qui consomme de l'eau par transpiration. Dans la conduite des couvertures végétales, et en particulier en régime irrigué, le plus important pour éviter la concurrence et la perte de production est de contrôler effectivement la couverture au moment adéquat et d'éviter les pertes par évaporation, car la production en dépend largement. Les modèles de calcul des besoins hydriques peuvent aider à les déterminer de manière approximative. Si l'on ne connaît pas précisément les coefficients de culture des espèces de couverture, on peut utiliser comme approximation ceux des espèces les plus proches.

Lorsque la couverture est une espèce cultivée comme l'orge, il faudra la semer chaque année. En revanche, s'il s'agit d'une espèce spontanée, dont les semences se trouvent en repos dans le sol, elle repoussera l'année suivante. Toutefois, les semences dans le sol ont une durée limitée ; c'est pourquoi on a recours à la stratégie de laisser des bandes étroites de couverture sans les contrôler ou bien des coins de terre qui produiront des semences, ce qui permettra l'année suivante de s'assurer que la couverture sera installée après les pluies d'automne. Ainsi, l'élimination ne peut être réalisée qu'à partir de la couverture pour permettre la production de semence et la régénération les années suivantes (Figure 23). Ce système est très efficace lorsqu'il s'agit d'espèces graminées spontanées comme *Hordeum murinum*, *Bromus madritensis*, etc., qui sont fréquentes et abondantes dans les oliveraies et qui peuvent s'installer comme couverture en appliquant simplement un herbicide sélectif pour ces graminées dans la zone que l'on pré-



Figure 23. A) Couverture de graminées spontanées contrôlées au moyen d'un traitement herbicide en laissant une partie de la surface sans traitement pour permettre la production de semence au milieu de la rangée et B) changement de position de la bande semée l'année suivante.

tend couvrir avec elles, en éliminant la plupart des dicotylédones ; en outre, ces espèces dispersent leurs graines entre 0,5 et 2 m, distance adéquate pour régénérer la couverture à partir des graines produites. Pour éviter les inversions de flore sur la bande semée, celle-ci doit être réalisée chaque année dans une position différente, pour faciliter ainsi l'homogénéité de la couverture au cours des années successives.

Si les espèces choisies comme couverture ont des cycles phénologiques courts, c'est-à-dire s'ils complètent leur cycle avant le début de la concurrence pour l'eau avec l'olivier, elles auront besoin de moins d'interventions de contrôle, ce qui est souhaitable du point de vue économique (coûts réduits) et environnemental (ni labours ni traitements herbicides). Récemment, des graminées autochtones avec des cycles assez courts ont été sélectionnées à partir de la flore spontanée méditerranéenne (Soler et al., 2002). On trouve actuellement sur le marché européen des semences d'espèces comme *Brachypodium distachyon*, qui présentent des caractéristiques adéquates pour être employées comme couverture dans l'oliveraie (Figure 24).



Figure 24. *Brachypodium distachyon*, graminée annuelle autochtone dont on a sélectionné des variétés pour les employer comme couverture végétale dans l'oliveraie.

Les couvertures peuvent se conserver en suivant ces étapes pendant plusieurs années. Toutefois, il est fréquent de rencontrer des problèmes de compactage. Pour limiter ces derniers, plusieurs espèces de crucifères, spontanées ou cultivées, ont été expérimentées et étudiées et deux espèces spontanées ont en principe été sélectionnées, *Sinapis alba* et *Eruca vesicaria* (Figure 25). Elles peuvent être traitées par élimination mécanique car elles ne repoussent pas ou peu (Alcántara et al., 2004). Maintenues sur le sol, elles



Figure 25. *Sinapis alba* et *Eruca vesicaria* sont des espèces autochtones, fréquentes dans les oliveraies, qui peuvent également être semées. Ce sont des couvertures concurrentes des adventices, qui facilitent leur contrôle. Une fois coupées et enfouies dans le sol, elles sont montrées efficaces pour réduire l'apparition de *Verticillium dahliae* dans le sol.



réduisent et retardent l'émergence des adventices de cycle printemps-été (Alcántara, 2005), et une fois coupées et enfouies, elles se sont montrées efficaces pour réduire l'apparition de *Verticillium dahliae* (Cabeza et Bejarano, 2005). Dans cette ligne de recherche et de développement technologique, il convient de travailler dans deux directions : expérimenter sur le terrain et approfondir les mécanismes d'action des crucifères face aux adventices et aux pathogènes du sol, en cherchant un équilibre de l'écosystème, dans le cadre de ce que nous connaissons comme production intégrée.

Rotation des espèces de couverture

Tout comme il n'existe pas une technique de culture idéale, il n'existe pas non plus de couverture idéale. Chaque type de couverture présente ses avantages et ses inconvénients. En outre, les conditions du sol changent et la flore et les couvertures évoluent, d'autant plus rapidement que l'on fait moins d'interventions sur la couverture. Il s'agit d'une succession écologique (voir point 3.4.4). Il est possible que le système sélectionné puisse se conserver facilement pendant 3 ou 5 ans, voire plus, mais si des changements se produisent qui rendent difficile sa conduite, il est conseillé de changer le type de couverture, c'est-à-dire d'établir une rotation, comme s'il s'agissait d'une culture herbacée, en alternant également les systèmes de conduite de celle-ci, bien qu'il ne soit pas nécessaire de le faire chaque année.

3.7. TECHNIQUES POUR LE CONTRÔLE DE L'ÉROSION ET DU RUISSELLEMENT, COMPLÉMENTAIRES AU SYSTÈME DE CONDUITE

Dans de nombreuses occasions, même une excellente conduite du sol n'est pas suffisante pour permettre de contrôler l'érosion et maintenir la fertilité et les productions. Pour cela, il est nécessaire d'employer des méthodes complémentaires qui permettent de contrôler les ruissellements et d'éviter leur effet dévastateur, soit sur toute la surface, soit sur les points concrets où se produit l'évacuation des eaux. Ces actions visent à réduire la pente et la longueur de la pente pour diminuer la vitesse de l'eau et son pouvoir érosif ; favoriser l'infiltration et réduire le ruissellement en accumulant l'eau dans des zones concrètes ; protéger spécifiquement les cours d'eau et les zones d'écoulement ; et apporter des amendements au sol pour limiter son pouvoir érosif.

Ces actions, qui supposent des mouvements de terre, sont limitées techniquement par la stabilité du terrain. Par exemple, la construction de mares ou de terrasses sur des sols gypseux n'aura très probablement aucun résultat parce qu'elles finiront par se rompre et provoqueront même plus d'érosion que celle qui avait été constatée auparavant.

Installation des plantations et des réseaux d'irrigation

Avant d'installer une nouvelle plantation, il convient de concevoir le tracé des rangées de manière à empêcher la concentration des eaux de ruissellement d'une zone étendue et leur circulation à grande vitesse. On cherchera à assurer la circulation et l'évacuation de l'eau à travers des zones protégées par la végétation ou par des travaux d'infrastructure. On conservera également les éléments utiles pour protéger le sol de l'érosion : haies végétales, petites constructions, etc.

Parallèlement, la conception d'une nouvelle installation d'irrigation devra tenir compte des pratiques de conservation du sol, en particulier en ce qui concerne le sens du passage des machines et des labours qui seront de préférence perpendiculaires à la pente.

Drainages

Pour la culture des oliviers, on évitera les sols saturés en eau, qui donnent lieu à de graves problèmes en raison des pathogènes, ou on effectuera un drainage adéquat pour éviter l'inondation temporaire, surtout celle qui peut avoir lieu à proximité du tronc.

Talus de terre

Ils sont construits presque toujours pour éviter les inondations temporaires qui se produisent sur des sols argileux ou qui présentent des horizons imperméables sous la surface ou simplement parce qu'ils sont trop plats et que le drainage superficiel est très lent (Figure 26). En outre, ils permettent d'éviter l'accumulation des sels provoquée par les inondations continues. Ils sont également construits sur des sols en pente, dans le sens transversal à la pente, en vue de fractionner et de distribuer l'eau d'écoulement et d'obtenir un moindre effet érosif.



Figure 26. Oliveraie avec des talus pour éviter les problèmes phytopathologiques dérivés de l'inondation temporaire, A) avec et B) sans couverture végétale entre les rangées.

Terrasses

On peut avoir recours aux terrasses lorsque les pentes sont fortes. Leur coût est très élevé mais elles s'avèrent extrêmement efficaces. Morgan (1997) décrit différents types de terrasses, leurs caractéristiques et leurs limitations sur les pentes et la longueur conseillée. Elles doivent être conçues par un expert.

Gradins et digues

Les gradins sont des terrasses particulières construites si le sol est caractérisé par une très forte érosion ou si les pentes sont très élevées, en alternant les plates-formes et les talus protégés généralement par des pierres ou des éléments de matériaux résistants, comme le béton ou les pierres (Figure 27 A et B). Dans les zones très arides, on construit des digues sur les cours d'eau ou les versants, de manière à provoquer l'accumulation d'eau et de sédiments, en créant des plates-formes qui rendent la culture possible (Figure 27C).



Figure 27. A) Plan d'un gradin protégé par de grosses pierres ; B) olivier protégé au moyen de ce système et C) digue construite pour accumuler l'eau et les sédiments, traditionnelle en Tunisie où elle est appelée Jessour (Photo Taïeb Jardak).



Mares

Elles sont réalisées sur des sols de pente moyenne mais ne sont pas conseillées sur des pentes élevées car elles obligeraient à déplacer trop de terrain. Elles sont déconseillées sur les terrains qui ont du mal à se consolider car elles se casseraient et provoqueraient de graves dégâts. Elles permettent d'accumuler l'eau en grande quantité et de tirer profit des eaux de pluie sporadiques et intenses qui se perdraient et également de capter des sédiments, ce qui donne lieu à des améliorations importantes de la production. Elles rendent assez difficile la circulation des machines, en particulier celles utilisées pour la récolte. Elles exigent un entretien continu. Il est très important de les concevoir pour chaque exploitation en fonction de la pente, du schéma de plantation, de la possibilité de pluies torrentielles, des pratiques de culture qui sont habituellement adoptées, etc.

Elles peuvent être construites de différentes manières. Certaines sont réalisées avec un outil spécial, en forme de demi-lune, normalement dans la partie supérieure de la rangée d'arbres. Elles sont généralement reliées les unes aux autres à travers des sillons qui permettent de conduire l'eau entre les arbres et d'évacuer l'excès d'eau (Figure 28 A et B). D'autres sont construites de manière isolée dans des zones de faible pente, elles sont normalement de plus grande dimension et exigent des écartements de plantation plus spacieux (Figure 28 C). En Tunisie, on trouve des exemples de mares assez grandes qui permettent de compartimenter toute la surface en petits bassins pour accumuler l'eau et les sédiments.



Figure 28 A) Machine utilisée pour construire des mares de petites dimensions, B) mares construites sur un sol sableux, qui ne se sont pas consolidées et se sont cassées facilement, C) mares de grandes dimensions parfaitement consolidées.

Tranchées

Elles sont construites à l'aide d'une pelleteuse, dans le sens transversal à la pente. Normalement, le terrain excavé est réparti autour de l'olivier; sur la zone la plus érodée (Figure 29). Elles mesurent généralement entre 2 et 4 m de long, de 1 à 1,5 m de profondeur et de 0,5 à 0,7 m de large. Avant leur construction, il faut tenir compte également de la stabilité des sols car une fois pleines d'eau, elles pourraient provoquer un phénomène d'érosion par mouvement de masses. Elles sont plus faciles à construire que les mares et fonctionnent mieux lorsque les pentes sont élevées parce qu'elles ne présentent pas autant de risques de rupture lorsqu'elles débordent et n'exigent pas un entretien continu. Elles sont très efficaces sur les sols dégradés et compactés et sur les sols rocheux, car elles retiennent en leur intérieur les éléments les plus fertiles de la surface du sol et améliorent fortement la productivité de l'olivier. Elles impliquent évidemment de circuler dans l'olivieraie avec beaucoup d'attention pour ne pas tomber dedans mais elles occupent moins d'espace que les mares pour des volumes d'eau retenue similaires.



Figure 29. Olivier avec une tranchée réalisée au moyen d'une draineuse pour accumuler l'eau et les sédiments.

Couverture des sillons, des ravines et des bords des cuvettes

Cette couverture permet d'éviter l'érosion des bords et de diminuer la vitesse de l'eau. On peut laisser pousser la flore spontanée, ou encore semer ou planter des espèces adéquates adaptées à chaque zone climatique et à chaque type de terrain (Figure 30).



Figure 30. Petite ravine recouverte de végétation spontanée et éléments de construction permettant de réduire la vitesse d'écoulement de l'eau.

Correction des ravines

Il s'agit essentiellement de réduire la vitesse de l'eau et son pouvoir érosif. On peut le faire de plusieurs manières. On dispose d'une expérience limitée sur l'adéquation de chacune aux différentes caractéristiques du sol. Parmi elles, on peut signaler :



Figure 31. Les résidus de la taille disposés dans les sillons permettent de diminuer la vitesse d'écoulement de l'eau.

- L'accumulation des débris de la taille et d'autres végétaux dans le fonds des sillons et des petites ravines (Figure 31) ;
- Construction de dénivellations pour réduire la pente, par exemple avec des gabions de cailloux (Figure 32) ou avec des plaques en béton mises en travers et disposées verticalement ou des dénivellations bétonnées dans leur totalité si la ravine est très grande et que beaucoup d'eau y circule ;

- Plantation d'espèces végétales avec des racines puissantes comme *Arundo donax* (Figure 33) ;
- Barrières à base de piquets plantés verticalement et de filets transversaux perméables à l'eau, qui permettent de soutenir les branchages, les débris végétaux et les cailloux (Figure 34) ;
- Alpagas de paille déposés au fond, efficaces sur les sols expansibles.



Figure 32. Gabions de cailloux construits dans un ruisseau pour réduire la vitesse de l'eau.



Figure 33. L'*Arundo donax* planté dans le lit d'une grande ravine permet de réduire l'érosion hydrique et le remplissage du lit avec des sédiments, tout en facilitant le passage des machines dans l'oliveraie.



Figure 34. Exemple d'une barrière simple et économique construite au moyen d'un pieu métallique en angle et d'un filet galvanisé sur le lit d'une petite ravine.



Décompactage des ornières

C'est une pratique très recommandée et efficace pour améliorer l'infiltration dans les zones compactées par le passage continu des équipements où la présence de végétation est quasiment impossible. Cela facilite ainsi l'infiltration de l'eau et l'installation d'espèces végétales qui couvrent le sol. Le décompactage est normalement réalisé avec un outil à un seul soc. Il est important que le sillon ne soit pas long et qu'il soit divisé en tronçons pour éviter qu'il ne devienne un canal d'écoulement et ne provoque la formation d'une rigole.

Sous-solage perpendiculaire à l'inclinaison de la pente

C'est une technique qu'il faut employer avec précaution car le sous-solage rompt les racines de l'arbre. C'est pourquoi elle ne doit être employée qu'en cas de problèmes graves de compactage du sol et d'infiltration, en veillant à le faire au milieu des rangées, en suivant un tracé le plus proche possible du sens perpendiculaire à la pente et sur des tronçons courts pour ne pas provoquer la formation de canaux d'écoulement (Figure 35). Dans les zones proches des ravines ou des ruisseaux, ces sillons devront être interrompus pour la même raison que celle énoncée ci-dessus.



Figure 35. Sillon réalisé au moyen d'une sous-soleuse à profondeur moyenne pour favoriser l'infiltration de l'eau en profondeur.

Géotextiles

Il s'agit de matériaux composés d'éléments synthétiques ou végétaux. On en trouve de plusieurs types sur le marché, par exemple des couvertures organiques à base de paille ou de fibres de coco ou de sparte, tissées avec ces fibres ou avec des matières plastiques ; d'autres sont complètement synthétiques. Les géotextiles sont utilisés pour faciliter l'installation de végétation dans les zones sensibles à l'érosion comme les parois des ravines ayant des pentes prononcées. Ils sont disposés soit sur la surface et soutenus par des pieux ou des clous soit sur d'autres éléments comme des gabions ou des barrières de pieux. Ils peuvent contenir des semences de plantes ou des fertilisants.

Amendements

Il s'agit d'apports au sol visant à améliorer sa structure pour faciliter l'infiltration et parallèlement améliorer la fertilité ou à corriger des carences.

Jusqu'à une époque récente, on utilisait du fumier et du compost comme apport organique pour améliorer la fertilité et la structure du sol. Actuellement, ces matières étant plus rares, on utilise avec succès les résidus de la trituration des olives, mais les quantités qui peuvent être employées sont limitées du fait de leur teneur élevée en potassium. S'ils sont utilisés en excès, ils peuvent provoquer des problèmes de salinisation. Des études sont en cours pour déterminer les quantités maximales qui peuvent être utilisées dans chaque situation pédoclimatique.

On recommande l'emploi d'amendements calcaires sur les sols acides et/ou mal structurés en raison d'un manque de calcium, qu'on appliquera en suivant les normes traditionnelles.

En revanche, l'application des boues de dépurateurs comme amendement a produit d'importants dégâts de phytotoxicité sur les arbres, aussi bien dans le cadre d'essais de recherche contrôlés par des techniciens que lors d'expériences menées directement par les agriculteurs, alors que d'autres cultures ne s'en voient pas affectées. D'après les connaissances actuelles, les boues qui sont produites aujourd'hui ne doivent pas être utilisées dans les oliveraies.

3.8. RÉSUMÉ

3.8.1. Pratiques antérieures à la plantation et à l'installation des plantations

Éviter les sols mal drainés ou procéder préalablement à un drainage adéquat et envisager la possibilité de planter de grands billons (ados) pour éviter l'inondation temporaire, surtout à proximité du tronc de l'olivier.

Éviter les sols infestés par *Verticillium dahliae*. Les terrains qui ont été consacrés pendant longtemps à des cultures sensibles comme des cultures horticoles ou cotonnières présentent de grands risques. Semer préalablement des cultures qui éliminent les pathogènes transmis à travers le sol, en les employant comme amendements. Les études démontrent l'efficacité de certaines crucifères et de l'herbe du Soudan.

Éliminer les souches et les restes d'espèces arborées précédentes, en particulier celles qui sont sensibles aux maladies transmissibles par le sol qui affectent également les oliviers.

Éliminer les adventices pérennes concurrentes comme *Cynodon dactylon* ou *Convolvulus arvensis*. Pour assurer un contrôle plus efficace, on peut utiliser des herbicides systémiques sélectifs.

Décompacter le sol en profondeur, par exemple au moyen d'un sous-solage, et éliminer les barrières physiques qui font obstacle au développement des racines.

Conserver ou établir des éléments végétaux ou fabriqués pour protéger le sol de l'érosion : haies végétales, barrières, terrasses, etc.

Concevoir la plantation et les systèmes d'irrigation de manière à ce que la conduite postérieure permette d'empêcher la concentration des eaux d'écoulement et facilite leur évacuation à travers des rigoles protégées.

3.8.2. Conduite du sol après la plantation

Au milieu des rangées

Choisir de préférence des systèmes qui conservent la couverture végétale, au milieu des rangées, en bandes les plus larges possible. Sur les terrains en pente et à condition que les précipitations soient suffisantes, on conseille des couvertures vivantes.

Fertiliser les couvertures vivantes pour qu'elles se développent rapidement et constituent une bonne couverture et une biomasse importante.

Maintenir les couvertures vivantes le plus longtemps possible, bien que cette condition soit limitée par les disponibilités hydriques pour la production d'olives.



Éliminer la couverture végétale vivante avec des herbicides, par désherbage mécanique, labour ou pâturage, en vue de limiter la concurrence pour l'eau, à la fin de l'hiver ou au printemps. Aux endroits ou aux moments où la pluviométrie est faible, pour éviter des pertes de production et l'affaiblissement de l'arbre, la couverture sera éliminée plus tôt.

Éviter le compactage des sols et l'inversion de flore en employant des couvertures compétitives et avec une biomasse abondante. Assurer la rotation des couvertures ou changer le système de conduite lorsque des difficultés apparaissent pour contrôler les herbes. Si nécessaire, décompacter le sol et favoriser l'infiltration au moyen de labours qui seront réalisés en minimisant la rupture des racines importantes et en évitant la circulation d'eau de ruissellement dans le sens de la pente.

Utiliser des techniques complémentaires au système de conduite au cas où il n'y en aurait pas et conserver les barrières physiques déjà existantes.

Sous la frondaison des oliviers

La couverture vivante ne doit pas devenir trop haute. On peut même s'en passer pour éviter les difficultés au moment de la récolte et dans la conduite de la culture.

Utilisation d'herbicides

Les herbicides doivent être considérés comme un outil supplémentaire pour contrôler la flore spontanée et les couvertures et pour faciliter les opérations culturales, en particulier la récolte.

On doit en faire le moindre usage possible, sur la surface la plus réduite possible, en utilisant de préférence d'autres alternatives de conduite mais en gardant toujours à l'esprit le fait que la conservation du sol et la productivité sont les objectifs prioritaires.

Les avantages de leur emploi et les risques qu'il suppose sont exposés dans le Chapitre 4.

BIBLIOGRAPHIE

- Alcántara C. 2005. Selección y manejo de especies crucíferas para su uso como cubiertas vegetales en olivar. Tesis doctoral. Universidad de Córdoba. 152 pp.
- Alcántara C., Sánchez S., Saavedra M. (2004). Siega mecánica y capacidad de rebrote de cubiertas de crucíferas en olivar. *Phytoma España*, n° 155, 14-17.
- Bergsma E. 1981. Indices of rain erosivity. *ITC Journal* 1981, vol. 4, 460-484.
- Cabeza E., Bejarano J. 2005. Influencia de las cubiertas vegetales sobre la epidemiología y control de la verticilosis del olivo. *Actividades de Investigación y Transferencia de Tecnología. IFAPA y DAP*, 176-178.
- ICONA 1988. Agresividad de la lluvia en España. Valores del factor R de la ecuación universal de pérdidas de suelo. MAPA, Madrid.
- Gil-Ribes J., Marcos N., Cuadrado J., Agüera J., Blanco G. 2005. Estudio de la compactación en cubiertas vegetales de olivar. *Agricultura de Conservación (Revista de la AEAC/SV)*, n° 1, 28-31.
- Gómez J.A., Ferreres E. 2004. Conservación de Suelo y Agua en el Olivar Andaluz en Relación al Sistema de Manejo de Suelo. *Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía*. 67 pp.

- Morgan R.P.C. 1995. Soil Erosion and Conservation. Longman Group Limited. 198 pp.
- Saavedra M., Pastor M. 2002. Sistemas de Cultivo en Olivar: Manejo de Malas Hierbas y Herbicidas. Editorial Agrícola Española S.A. 428 pp.
- Soler C., Casanova C., Monte J.V., Saavedra M., García P. 2002. Obtención de variedades gramíneas para ser utilizadas como cubiertas vivas en olivar: Jornadas de Investigación y Transferencia de Tecnología al Sector Oleícola. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. 257-261.



4



Emploi des herbicides



M^a Milagros Saavedra Saavedra
CIFA Alameda del Obispo
IFAPA-CICE- Junta de Andalucía
Apdo. 3092
14080 Córdoba (Espagne)

SOMMAIRE

- 4.1. INTRODUCTION
- 4.2. CONCEPT D'HERBICIDE
- 4.3. PRINCIPALES MATIÈRES ACTIVES
- 4.4. RISQUES DE L'EMPLOI DES HERBICIDES
 - 4.4.1. Risques pour l'utilisateur
 - 4.4.2. Risques environnementaux
 - 4.4.3. Risques pour l'agrosystème
 - 4.4.4. Risques pour la culture et la production
 - 4.4.5. Cas spécifiques de risques
 - Manipulation à proximité des cours d'eau et des puits
 - Pratiques de culture inadéquates
 - Arbres jeunes
 - Situations climatiques particulières : sécheresse - excès d'humidité
 - Sol mouillé
 - Sols sableux et pauvres en matière organique
 - Températures élevées
 - Herbicides très persistants - phytotoxicité à long terme
 - Emballages des produits commerciaux
- 4.5. MACHINES POUR L'APPLICATION DES HERBICIDES
 - Caractéristiques et éléments d'un pulvérisateur à traction mécanique
 - Pompe
 - Rampe porte-buses
 - Buses
 - Débit des buses et filtres
 - Distribution du débit
 - Identification des buses
 - Taille de la gouttelette, dérive et pression
 - Disposition des buses sur la rampe de pulvérisation
 - Vitesse d'avancement dans la pulvérisation
- 4.6. CALIBRAGE DU PULVÉRISATEUR D'HERBICIDES
 - Paramètres de calibrage
 - Réglage de la machine
 - Modalités de traitement
 - Nettoyage et entretien de l'équipement
 - Remplacement des filtres et des buses
- 4.7. PISTOLETS DE PULVÉRISATION
- 4.8. ÉLÉMENTS DE SÉCURITÉ
- 4.9. RÉSUMÉ DES ÉTAPES À SUIVRE DANS L'APPLICATION DES HERBICIDES
- BIBLIOGRAPHIE

Emploi des herbicides



4. Emploi des herbicides

4.1. INTRODUCTION

L'utilisation des herbicides n'est pas obligatoire en oléiculture. Toutefois, leur emploi facilite fréquemment la conduite du sol et des adventices et s'avère généralement économique, mais suppose également des risques que l'agriculteur se doit d'évaluer et d'éviter. Dans ce chapitre nous abordons les aspects les plus importants qui doivent être pris en compte pour que l'emploi d'herbicides soit sûr, y compris le choix des produits les plus adéquats et des équipements pour les appliquer.

4.2. CONCEPT D'HERBICIDE

Les herbicides sont des produits qui permettent d'éliminer les herbes. Pour les utiliser en agriculture, ils doivent être autorisés dans le pays correspondant, c'est-à-dire être enregistrés comme produit phytosanitaire herbicide et autorisés pour la culture à laquelle ils sont appliqués. La substance qui a réellement le pouvoir de tuer l'herbe, c'est-à-dire le pouvoir herbicide, s'appelle matière active.

Les matières actives (m.a.) qui sont employées actuellement sont des substances organiques plus ou moins complexes qui dans leur majorité sont obtenues par synthèse à partir du pétrole. Leurs molécules sont composées principalement des atomes de C, O, H, voire de quelques autres comme P, S, K, Cl ou F.

Les biocides désinfectants du sol comme le métam-sodium ou le bromure de méthyle ont également un effet herbicide et la recherche tend de plus en plus à identifier des alternatives à base de produits naturels et de micro-organismes capables de détruire l'herbe. Toutefois, ceux-ci ne sont pas employés actuellement en oléiculture et c'est pourquoi nous n'y faisons pas allusion dans ce chapitre.

Les matières actives ne sont pas commercialisées directement, mais vendues en mélange avec certaines substances, appelées additifs ou coadjuvants, pour améliorer leurs caractéristiques et faciliter leur application, en particulier leur dissolution ou leur dispersion dans l'eau, ce qui donne un produit formulé ou produit commercial (p.c.). Les formulations peuvent être liquides ou solides : solutions, émulsions, suspensions, suspensions concentrées, poudres solubles, poudres mouillables, granulés, etc. La concentration du produit commercial est la proportion de matière active qu'il contient et s'exprime en pourcentage (%) du poids de m.a. par volume de p.c. (pour les liquides) ou du poids de m.a. par poids de p.c. (pour les solides). Les produits commerciaux sont vendus dans des emballages qui portent une étiquette sur laquelle sont indiqués : la matière active, la concentration, la dose d'application, la culture pour laquelle le produit est autorisé, le mode d'application, les herbes qu'il contrôle, les risques de son application et les précautions à observer. Il est obligatoire avant d'utiliser un herbicide de lire attentivement l'étiquette et de suivre strictement toutes les indications mentionnées.



Il est fréquent de trouver différents produits commerciaux ayant la même composition en matière active sous des marques (noms des produits commerciaux) différentes d'un pays à l'autre. C'est pourquoi il est normal que les techniciens recommandent de préférence une certaine dose de matière active. Il est alors nécessaire de calculer la dose de produit commercial en adoptant la formule suivante :

$$\text{Dose de produit commercial} = \text{Dose de matière active} \times 100 / \text{concentration (\%)}$$

Les herbicides s'appliquent normalement par pulvérisation et, plus rarement, selon d'autres modalités. Préalablement, ils sont dilués ou dispersés dans un volume d'eau donné, conformément aux caractéristiques de chaque produit : depuis des applications de produit pur, sans dilution, jusqu'à des volumes de 1 000 l/ha. En oléiculture, il est fréquent d'appliquer entre 100 et 300 l/ha. Il est important de suivre les indications des étiquettes en ce qui concerne le volume car l'efficacité de chaque herbicide dépendra en partie de ce facteur.

Les produits herbicides peuvent s'appliquer sur le sol avant l'apparition des adventices, en pré-levée, ou sur les plantes déjà nées, en post-levée. Certains produits agissent à travers le sol : ils sont absorbés par les racines ou entrent en contact avec les plantes au moment de leur apparition. D'autres produits sont absorbés par les feuilles et les parties vertes des plantes. Certains ont une double action et agissent simultanément à travers le sol et sur les parties vertes. Ils sont généralement appliqués en post-levée précoce des herbes. Dans le cas où l'absorption se fait par la racine, il est important que le produit pénètre légèrement dans le sol et qu'il puisse entrer en contact avec les racines des herbes. Dans le cas de l'absorption par les feuilles ou les parties vertes, le volume de masse végétale doit être suffisant pour intercepter le produit : c'est pourquoi il ne peut pas être appliqué après un désherbage mécanique (ou un pâturage) qui aurait détruit partiellement ou totalement les herbes à contrôler.

La taille des gouttelettes est très importante dans la pulvérisation car pour mouiller le sol ou les parties vertes de la plante, pour un même volume de produit pulvérisé, plus les gouttelettes sont réduites, plus la surface mouillée est grande. Les gouttelettes devraient donc être très petites pour couvrir la plus grande superficie possible. Toutefois, cette règle présente certaines limites en raison du risque d'évaporation et en raison du problème de dérive : le risque que les gouttelettes soient déplacées par le vent est en effet bien plus grand lorsqu'elles sont très petites. Les applications herbicides ne doivent donc pas être réalisées lorsque la vitesse du vent est supérieure à 5 km/h. On ne peut pas non plus les réaliser à haute pression (à plus de 4-5 bars) parce qu'une grande proportion de gouttelettes trop petites risquent de mouiller l'arbre. Le problème se résout généralement en ajoutant des substances tensioactives aux produits, qui permettent, avec des gouttelettes de taille moyenne, de mouiller plus de superficie.

Certaines plantes présentent des barrières importantes à l'absorption des produits herbicides, comme celles à cuticules épaisses, à poils abondants ou celles à feuilles filiformes qui présentent très peu de superficie. Les jeunes feuilles absorbent normalement mieux les produits que les feuilles âgées mais comme elles sont moins développées, la quantité de produit qu'elles interceptent est généralement limitée. Certains problèmes d'absence d'absorption par les plantes peuvent être évités en ajoutant aux produits des substances huileuses qui agissent sur les cuticules et facilitent la pénétration des matières actives.

Une fois que le produit a pénétré dans la plante, il peut rester immobile et agir par contact (herbicide de contact) ou se déplacer à l'intérieur de la plante (herbicide systémique), à travers le xylème (via apoplastique) ou le phloème (via symplastique). La mobilité d'un herbicide est très importante. Celui-ci peut atteindre des zones qui s'avèreraient inaccessibles par pulvérisation directe, comme par exemple les pousses souterraines, ce qui facilite le contrôle des plantes et permet de mouiller

seulement une partie de celles-ci. Cette propriété présente toutefois un inconvénient majeur : si on mouille accidentellement une partie d'un olivier et que l'herbicide est absorbé, le dégât s'étendra à l'ensemble de l'arbre.

Chaque herbicide a un spectre d'action spécifique, c'est-à-dire qu'il contrôle certaines espèces d'adventices lorsqu'il est appliqué à une certaine dose et d'une manière précise. L'efficacité du traitement dépend de la dose de produit, une dose plus grande étant nécessaire pour le contrôle d'espèces développées et d'espèces pérennes. La sensibilité des plantes à un herbicide est généralement exprimée selon différents degrés :

- Résistantes – lorsqu'elles ne sont pas contrôlées aux doses normales, voire à des doses supérieures
- Tolérantes ou modérément résistantes
- Moyennement ou partiellement sensibles
- Sensibles – lorsque le contrôle est complet

Le choix de l'herbicide dépendra par conséquent des herbes présentes sur chaque parcelle. Il conviendra ainsi de disposer de l'historique de la parcelle, de la visiter et de vérifier l'état de développement des herbes. Les informations concernant l'efficacité de chaque herbicide devront être consultées avant de décider quel produit appliquer, à quelle dose et à quel moment.

Lorsqu'un produit ne contrôle pas une espèce déterminée, on dit que l'herbicide est sélectif pour cette espèce. Dans le cas de la culture, la sélectivité des produits doit être garantie pour éviter les dégâts. La sélectivité peut être le résultat de la matière active, qui n'a pas d'influence sur la plante en question (sélectivité physiologique ou morphologique), ou du mode d'application du produit (sélectivité par position). Des exemples de sélectivité par position sont la pulvérisation sur l'herbe d'un herbicide de contact qui n'affecte pas l'olivier si on ne mouille pas les branches basses, ou l'application de l'herbicide sur le sol qui n'atteint pas les racines de l'olivier situées en profondeur.

On recommande fréquemment d'ajouter certains produits aux herbicides pour améliorer leur efficacité, par exemple des correcteurs de pH de l'eau comme du sulfate d'ammonium ou des acides. L'agriculteur se fera conseiller dans chaque cas par un technicien sur les produits les plus adéquats et les proportions à respecter.

4.3. PRINCIPALES MATIÈRES ACTIVES

Les matières actives et les produits commerciaux autorisés peuvent être différents dans chaque pays. La raison peut être strictement commerciale ou due à des raisons techniques liées aux conditions environnementales de chaque région. Le Tableau 1 indique quelques matières fréquemment utilisées et leurs caractéristiques.

Dans les catalogues, guides et sites Internet, on trouve de nombreuses informations sur le mode d'action de chaque produit et les espèces qu'il contrôle. Les caractéristiques les plus notables sont mentionnées ci-après.

- Herbicides de pré-levée absorbés par les racines : diuron et simazine. Ils contrôlent un grand nombre d'espèces annuelles, de graminées et de dicotylédones, et leur effet à travers le sol est durable.

**TABLEAU I.***Matières actives, caractéristiques et moment d'application.*

Matière active	Absorption par la plante	Mobilité dans la plante	Persistance de l'effet herbicide à travers le sol	Moment d'application	Type d'espèces contrôlées	Repousse d'espèces pérennes
Simazine	R	A	***	PRE	An	
Diuron	h-R	A	***	PRE-post	An	
Terbuthylazine	H-R	A	**	PRE-POST	An	
Flazasulfuron	H-R	AD	**	PRE-POST	An	
Oxyfluorène	H	E	**	PRE-POST	An	Rapide
Diflufénican	H-r	E	**	PRE-Post	An Dicot	Rapide
Glyphosate	H	AD	0	POST	An-Per	Faible-nulle
Glyphosate trimésium	H	AD	0	POST	An-Per	Faible-nulle
Fluroxypyr	H-r	D	*	pre-POST	An-Per Dicot	Faible
Quizalofop-P	H	AD	*	pre-POST	An-Per Gram	Faible
Amitrole	H-r	AD	*	pre-POST	An-Per	Partielle
MCPA	H-R	D	*	pre-POST	An-Per Dicot	Partielle
Tribénuron méthyle (1)	H-R	D	*	pre-POST	An-Per Dicot	Partielle
Diquat	H	AD	0	POST	An-Per	Rapide
Paraquat	H	AD	0	POST	An-Per	Rapide
Glufosinate	H	D	0	POST	An-Per	Rapide

Absorption par la plante : par la racine : beaucoup (R) ou peu (r) ; par la feuille et les parties vertes : beaucoup (H) ou peu (h).

Mobilité dans la plante : ascendante : beaucoup (A) ou peu (a) ; descendante : beaucoup (D) ou peu (d) ; mobilité faible ou nulle (E).

Persistance de l'effet herbicide à travers le sol : nulle (0), 0-2 mois (*), 3-4 mois (**), 5-12 mois (***).

Moment d'application : pré-levée (PRE et pre), post-levée (POST et post). Les majuscules indiquent l'action principale et les minuscules, l'action secondaire.

Contrôle : annuelles (An), pérennes (Per), dicotylédones (Dicot), graminées (Gram).

(1) Dans des conditions de froid et sur un sol alcalin, le tribénuron-méthyle se dégrade lentement et peut augmenter sa persistance jusqu'au degré (**).

- Herbicides de pré et post-levée précoce : terbuthylazine et flazasulfuron. Ils sont absorbés par les racines et les parties vertes des feuilles. Ils contrôlent les espèces annuelles. Leur effet est moins durable que celui de la simazine et du diuron.
- Herbicides de post-levée et avec un pouvoir de dispersion élevé. Leur effet dans le sol est durable et ils peuvent exercer une action de pré-levée pendant plusieurs semaines : amitrole MCPA et tribénuron-méthyle.
- Herbicides de post-levée et pouvoir de dispersion élevé, sans action à travers le sol dans les conditions normales d'application : glyphosate, glyphosate trimesium, fluroxypyr et quizalofop-P. Ils sont très efficaces pour contrôler les espèces pérennes. Le fluroxypyr ne contrôle que les dicotylédones et le quizalofop-P, que les graminées.

- Herbicides de post-levée qui agissent par contact : diquat, paraquat et glufosinate d'ammonium. Ils exercent une action herbicide rapide sur tout type d'herbe mais la repousse est rapide car les pousses qui ne sont pas mouillées restent vivantes.
- Herbicides avec mode d'action spécial : oxifluorène et diflufénican. Ils agissent par contact et s'appliquent en post-levée mais ont également une action en pré-levée lorsque les plantules à la naissance sont en contact avec l'herbicide déposé sur la surface du sol. Les applications au sol, pour une action de pré-levée, doivent se faire sur un sol libre de résidus secs qui pourraient empêcher le contact des plantules avec l'herbicide.

Les herbicides peuvent être classés en différents groupes selon leur mode d'action, c'est-à-dire en fonction de la manière dont ils exercent une action herbicide à l'intérieur de la plante (Tableau 2). Il convient d'alterner l'emploi d'herbicides à modes d'action différents pour prévenir l'apparition de plantes résistantes.

TABLEAU 2.

Classement des herbicides proposé par le « Herbicide Resistance Action Committee » en fonction de leur mode d'action. Les herbicides les plus fréquents en oléiculture sont signalés en caractères gras.

Groupe	Mode d'action
A	Inhibition de l'ACCCase : diclofop-métail, quizalofop-P , etc.
B	Inhibition de l'ASL : tribénuron-méthyle, flazasulfuron , etc.
C1	Inhibition de la photosynthèse dans le photosystème II : simazine, terbuthylazine
C2	Inhibition de la photosynthèse dans le photosystème II : diuron , etc.
C3	Inhibition de la photosynthèse dans le photosystème II : bromoxinil
D	Écart du flux électronique dans le photosystème I : diquat, paraquat
E	Inhibition de la protoporphyrinogène oxydase PPO : oxifluorène , oxadiazon
F1	Décoloration. Inhibition des caroténoïdes dans la PDS : diflufénican , norflurazone
F2	Décoloration. Inhibition de la 4-HPPD
F3	Décoloration. Inhibition de la synthèse de caroténoïdes sur un point inconnu : amitrole
G	Inhibition de l'EPSP synthétase : glyphosate, glyphosate trimésium
H	Inhibition de la glutamine synthétase : glufosinate d'ammonium
I	Inhibition de la DPH synthétase
K1	Inhibition de l'union de microtubules dans la mitose : orizaline, pendimétaline, trifluraline
K2	Inhibition de la mitose
K3	Inhibition de la division cellulaire
L	Inhibition de la synthèse de cellulose : isoxabène
M	Découpleurs
N	Inhibition de la synthèse des lipides (non ACCCase)
O	Auxines synthétiques : 2,4-D, MCPA, fluroxipir
P	Inhibition de l'AIA
Z	Mode d'action inconnu



Les matières actives, et dans certains cas les produits commerciaux, sont souvent mélangées pour faciliter le contrôle d'un grand nombre d'espèces. Les mélanges de produits n'étant pas toujours compatibles, il est conseillé de s'adresser à un technicien spécialiste dans chaque cas.

4.4. RISQUES DE L'EMPLOI DES HERBICIDES

Les substances herbicides, depuis leur application jusqu'à leur dégradation complète, peuvent suivre différents processus (Figure 1). Leur présence dans l'environnement implique certains risques que nous devons connaître pour éviter les dégâts qui peuvent affecter l'utilisateur, l'environnement en général, l'agrosystème, la culture et la récolte. Ce risque peut être évité partiellement grâce à une manipulation correcte des produits, le risque inhérent à la propre substance demeurant. Certains des principaux paramètres permettant d'évaluer le niveau de risque sont cités dans le Tableau 3.

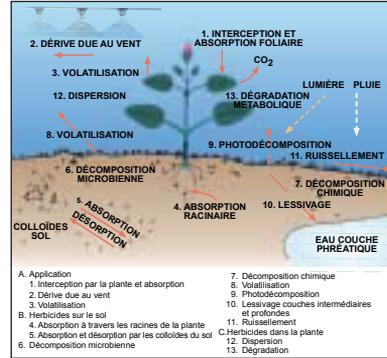


Figure 1. Comportement des herbicides dans le sol, dans la plante et dans l'environnement.

TABLEAU 3.

Caractéristiques des matières actives.

Matière active	Toxicité	T1/2	Solubilité	Koc	Kow
	DL50	Vie moyenne		Coefficient d'absorption	Coefficient de partition octanol/eau
	mg/kg	jours	mg/l	mg/g	Log
Simazine	5 000	60	6,2	90-(130)	2,10
Diuron	3 400	90	36,4	480	2,85
Terbuthylazine	1 700	60	8,5	250	3,21
Flazasulfuron	5 000	38-(7)	2 100	380	-0,06 (-0,6)
Diflufenican	2 000	170-(90)	0,05	2 000	4,9
Oxifluorène	5 000	35	0,116	32 000	4,47
Glyphosate	5 600	47	11 600	24 000	-3,4
Glyphosate trimésium	750	3-174-720	4 300 000	-	-4,6 (-2,9)
Fluroxipir	2 405	34-63	91	4900	-1,24
Quizalofop-P	1 670	60	0,3	510	4,28
Amitrole	1 100	14	280 000	100	-0,97
MCPA	1 000	25	734	20	2,75
Tribénuron méthyle	5 000	2-23	2 040	52	0,78
Diquat	231	1 000	700	1 000 000	-4,6
Paraquat	157	1 000	700 000	1 000 000	-0,08
Glufosinate	2 000	7	1 300 000	100	0,1

Les valeurs sont données à titre d'information : elles peuvent varier en fonction des sources et des conditions environnementales. Données provenant de différentes sources.

4.4.1. Risques pour l'utilisateur

Le risque est le résultat de la toxicité du produit, du mode d'exposition et du temps d'exposition.

La toxicité est la capacité d'une substance à produire des effets nocifs pour la santé des personnes et des animaux. La toxicité aiguë (Tableau 3) est la quantité de produit absorbé en 24 heures capable de produire la mort de 50 % des individus. Elle est exprimée en Dose Létale Moyenne (DL50). La toxicité chronique est produite par l'absorption de petites quantités pendant une période de temps prolongée. L'absorption peut se produire par contact, par inhalation ou par ingestion. Les yeux et la bouche sont des zones particulièrement sensibles. Bien que les herbicides ne soient pas précisément des produits très toxiques, si on les compare aux insecticides par exemple, l'utilisateur doit prendre toutes les mesures possibles pour se protéger.

En premier lieu, il doit lire l'étiquette attentivement et être conscient du risque que présente chaque produit. Sur l'étiquette figurent des symboles ou des pictogrammes qui indiquent le danger (Figure 4.3), des phrases de risques faisant référence au type de danger et des conseils de prudence qui doivent être pris en considération et strictement respectés.

Les vêtements de l'utilisateur doivent être spécifiques et conformes au risque présenté par le produit, à savoir vêtement, tablier, lunettes, masque, gants et chaussures adéquats. Dans l'Union européenne, ces vêtements devront porter le symbole de conformité de la CE. On sera particulièrement attentif au type de masque, selon qu'il s'agit de poudres, de liquides ou de gaz. Ne jamais manger, fumer ou boire pendant l'application du produit. Après l'application, changer de vêtement et se laver.

Les pulvérisateurs doivent être en parfait état, correctement calibrés et manipulés avec précaution. L'équipement doit rester propre et dans de parfaites conditions pour des usages postérieurs. Les conditions environnementales, de température, d'humidité, de vent, doivent être optimales. Les écoulements de produit devront être absolument évités, en particulier ceux qui pourraient affecter l'utilisateur.

En cas d'intoxication, un médecin devra être immédiatement consulté. L'étiquette du produit lui sera montrée. Les vêtements contaminés devront être retirés et l'intoxiqué devra recevoir les premiers soins en fonction du type d'intoxication qu'il présente. Les normes de protection et de sécurité pour la manipulation en vigueur dans chaque pays devront être respectées. Les services agricoles ou de santé proposent des cours spécialisés aux agriculteurs et aux utilisateurs dans l'objectif de les informer de manière détaillée sur ces normes.

4.4.2. Risques environnementaux

La vie moyenne d'un produit est le temps nécessaire à la décomposition de 50 % de la quantité de matière active appliquée. Les substances ayant des vies moyennes élevées comme le diquat, le paraquat, le difluénican ou le diuron présentent a priori plus de risques que celles qui se décomposent rapidement comme le glufonisate. Toutefois, il convient de rappeler que les conditions environnementales peuvent modifier considérablement ces paramètres car la dégradation effective dépend de nombreux facteurs, notamment de l'activité microbienne, de la température et de l'humidité. Certains herbicides doivent nécessairement avoir une vie moyenne suffisamment élevée, par exemple ceux qui agissent à travers le sol en pré-levée car le produit doit demeurer un certain temps sans se décompo-



ser pour exercer son action durant la période de levée des herbes. Comme on peut l'observer dans le Tableau 3, les herbicides diuron et simazine ont des vies moyennes de 90 et 60 jours respectivement, durée nécessaire pour exercer l'action herbicide pendant plusieurs mois.

Le coefficient d'absorption dans le sol (Tableau 3) indique le risque de contamination des eaux par lessivage ($Koc = Kd \times 1,724 \times 100 / \% \text{ de matière organique}$). Si le Koc est réduit (< 1000), le risque de contaminer les nappes phréatiques est élevé. Toutefois, ce risque dépend à son tour de la durée de séjour du produit dans le sol, de la vie moyenne du produit ainsi que de la capacité de perméabilité du sol. On peut observer que des produits ayant un Koc réduit ont également une vie moyenne plus courte. Un produit présentant des risques élevés de contaminer, une vie moyenne longue et un Koc réduit ne pourrait pas être autorisé. À noter également que le risque est plus grand sur les sols sableux que sur les sols argileux.

Il est très important de tenir compte de ces paramètres, en particulier dans les situations spécifiques de risque.

4.4.3. Risques pour l'agrosystème

Comme on l'a vu dans le Chapitre 4.3, les herbicides produisent des changements importants sur la flore et peuvent également perdre leur efficacité.

La *perte de diversité de la flore* est l'un des effets les plus visibles. Les espèces les plus sensibles à l'herbicide appliqué tendent à disparaître alors que les populations d'espèces plus tolérantes augmentent.

Résistance et tolérance. Les traitements répétés avec le même herbicide provoquent l'apparition d'espèces (ou d'écotypes) résistantes et tolérantes qui finissent par devenir dominantes et s'avèrent plus difficiles à contrôler. Pour résoudre ces problèmes, il est inutile d'augmenter les doses ; il faut au contraire modifier la stratégie de contrôle, y compris le type d'herbicide.

Dégradation accélérée. Ce phénomène est le résultat de la spécialisation des micro-organismes qui dégradent l'herbicide, ce qui entraîne une diminution considérable de la vie moyenne du produit et réduit son efficacité à travers le sol.

Pour éviter ces déséquilibres, il est conseillé d'alterner les herbicides appartenant à différents groupes selon leur mode d'action (voir Tableau 2) et de modifier le moment d'application (différentes dates, en pré et post-levée).

4.4.4. Risques pour la culture et la production

Les herbicides ne doivent pas mouiller les branches de l'olivier car ils peuvent produire une phototoxicité. Ceux qui sont absorbés par les feuilles et les parties vertes et sont caractérisés par un pouvoir de dispersion élevé, comme l'amtrole, le MCPA, le glyphosate, etc., présentent des risques supérieurs. Des dégâts peuvent également apparaître si l'herbicide est absorbé par les racines, ce qui est plus probable s'il s'agit d'herbicides avec une forte persistance dans le sol, la terbuthylazine étant l'un des herbicides qui provoquent le plus d'accidents de ce type.

Si l'herbicide entre en contact avec les olives, celles-ci peuvent être contaminées. L'herbicide peut atteindre l'olive de différentes manières : soit parce qu'il a été absorbé par l'arbre, soit parce que les

feuilles ont été mouillées pendant la pulvérisation, soit par contact avec le sol traité. Le coefficient Kow permet d'estimer le degré de risque des différents produits car il indique le degré d'affinité du produit par rapport à l'eau et à l'octanol. Si le Kow est élevé, le produit demeurera probablement dans l'huile mais s'il est faible, il sera éliminé avec l'eau de lavage. De ce point de vue, les produits qui présentent le plus de risques sont le diflufenican, l'oxifluorène, le quizalofop-P, la terbuthylazine, le diuron, le MCPA et la simazine ; en revanche, le risque est moindre avec le diquat ou le glyphosate.

4.4.5. Cas spécifiques de risques

Manipulation à proximité des cours d'eau et des puits

La manipulation des produits herbicides dans des situations de risque est fréquemment responsable des contaminations. La manipulation doit avoir lieu loin des sources d'eau, des puits, des lacs ou des cours d'eau. Il est important de remplir les réservoirs des pulvérisateurs en prenant toutes les précautions possible, de manière à ne pas faire tomber de liquide contenant de l'herbicide dans l'eau. Souvent, les risques peuvent être évités en utilisant des pompes munies d'un dispositif (clapet) anti-retour. Les produits doivent être versés à l'intérieur du réservoir en faisant très attention. Au moment de nettoyer les équipements pour le traitement, on veillera à ne pas verser les liquides dans des cours d'eau ni dans des collecteurs urbains.

Pratiques de culture inadéquates

Après avoir appliqué des herbicides persistants qui agissent à travers le sol, on ne réalisera aucun labour jusqu'à la dégradation du produit car leur incorporation dans le sol en profondeur favorise l'absorption de l'herbicide par les racines de l'olivier.

Arbres jeunes

On prendra toutes les précautions nécessaires dans le cas d'herbicides d'absorption foliaire, en particulier sur les arbres jeunes qui peuvent les absorber par les feuilles et les troncs verts, surtout si ces herbicides ont un pouvoir de dispersion élevé, car ils pourraient affecter toute la plante.

Situations climatiques particulières : sécheresse - excès d'humidité

Les herbicides présentant un faible Koc peuvent dans certaines circonstances être absorbés majoritairement par les racines et produire des dégâts sur l'olivier. Par exemple, s'ils sont appliqués dans des conditions de sécheresse et qu'une pluie abondante se produit, l'herbicide passe dans la solution du sol et l'arbre peut l'absorber rapidement. Ainsi, des dégâts ont été observés avec des traitements au MCPA à la fin d'un hiver sec.

Sol mouillé

Aucun herbicide ne peut être appliqué si le sol est mouillé, par exemple après une pluie abondante ou une irrigation, manuelle, par aspersion ou par goutte à goutte. Dans ces conditions, la possibilité qu'un herbicide pénètre dans les couches profondes du sol ou qu'il puisse être absorbé par l'olivier sont très élevées. Il faut toujours attendre un jour ou deux pour que l'eau disparaisse après avoir appliqué l'herbicide, puis arroser de nouveau. Si l'on prévoit des pluies abondantes, on évitera également d'appliquer un herbicide.



Sols sableux et pauvres en matière organique

Sur des sols sableux et pauvres en matière organique, l'absorption d'herbicide dans les sols est plus faible. Les possibilités de lessivage de l'herbicide ou bien d'absorption par les oliviers est bien plus élevée que sur les sols argileux et riches en matière organique. C'est pourquoi les doses autorisées sur les sols sableux sont généralement inférieures.

Températures élevées

Les produits plus volatiles comme le MCPA peuvent donner lieu à une phytotoxicité s'ils sont appliqués à des températures élevées. Ces produits ne pouvant pas être employés dans ces conditions sur de grandes surfaces, les applications seront strictement limitées aux espèces difficiles à contrôler par d'autres moyens.

Herbicides très persistants – phytotoxicité à long terme

La toxicité que produisent les herbicides se manifeste parfois à long terme, y compris au bout d'un an. Cela peut être le cas des herbicides qui agissent à travers le sol et qui sont absorbés par les racines, ou des herbicides de contact qui ne manifestent pas de symptômes clairs mais seulement un retard ou un arrêt de la croissance. Il est très important de connaître les risques que peuvent comporter les herbicides dans différentes situations agroclimatiques et d'éviter les applications répétées qui sont très dangereuses dans ces situations de risque.

Emballages des produits commerciaux

Les emballages doivent être rincés 2 ou 3 fois, et les liquides doivent être vidés dans un réservoir. Les emballages seront ensuite déposés dans des lieux aménagés à cet effet.

4.5. MACHINES POUR L'APPLICATION DES HERBICIDES

Les herbicides sont normalement appliqués dans les oliveraies par pulvérisation hydraulique, hydro-pneumatique ou centrifuge et peuvent être employés sur toute la surface ou sur une partie, en bandes ou sur de petites surfaces de terrain. Le type de pulvérisation dépend de la taille de la gouttelette, selon le type de buse utilisé. Les pulvérisations hydrauliques et hydro-pneumatiques permettent d'appliquer des volumes de 50 à 1 000 l/ha, à des pressions comprises normalement entre 1,5 et 4 bars. La pulvérisation centrifuge ou de « très faible volume » (ULV) pulvérise à faible pression des gouttelettes de petite taille très uniformes. Selon la vitesse du disque, cette technique permet d'appliquer 5 à 50 l/ha de produit (Tableau 4).

TABLEAU 4.

Taille de la gouttelette et volume de produit par hectare appliqué selon la vitesse du disque dans une pulvérisation centrifuge.

Vitesse du disque Nombre de tours par minute	Taille de la gouttelette Microns	Volume appliqué l/ha
2 000	250	30
3 500	160	15-25
5 000	70-100	4-5

Source : CAP (2003). *Aplicación de Plaguicidas, Nivel Cualificado, Manual y Ejercicios. Cursos Modulares. CAP, Junta de Andalucía.*

Les machines peuvent être actionnées manuellement ou mécaniquement, traînées ou suspendues à un tracteur. Dans Boto et López (1999) et Saavedra et Humanes (1999), on trouvera de nombreuses informations sur les équipements. Les plus courants sont :

Les équipements manuels :

- Pulvérisateurs portables (à dos) (Figure 2), qui disposent de dépôts de 15-16 litres de capacité et peuvent porter des rampes avec 1 à 4 buses de pulvérisation hydraulique ou hydropneumatique. Ils sont actionnés au moyen d'un piston.
- Pulvérisateurs avec buse centrifuge et fonctionnant avec des piles électriques, appelés « machines à piles » (Figure 3).



Figure 2. Pulvérisateur portable fonctionnant par piston manuel.

Les équipements de traction mécanique :

- Pulvérisateurs de grande taille (Figure 4), caractérisés par des réservoirs pouvant contenir entre 500 et 1 500 l de liquide et munis de rampes supportant tout type de buses, bien que les plus fréquentes soient de pulvérisation hydraulique ou hydro-pneumatique. Ils sont employés pour les grandes superficies.



Figure 3. Pulvérisateurs avec buse centrifuge fonctionnant avec piles électriques.

Caractéristiques et éléments d'un pulvérisateur de traction mécanique

Les pulvérisateurs doivent être conçus avec des éléments et des matériels résistant à la corrosion et/ou à l'abrasion des produits. Ils sont composés d'un réservoir où l'on verse l'eau et l'herbicide, d'un système d'agitation, d'une pompe qui permet d'atteindre une pression d'au moins 5 bars, d'un système de retour pour le mélange en excès, d'un distributeur, de tubes pour la circulation du mélange avec des filtres en ligne, de soupapes d'ouverture et de fermeture, d'éléments régulateurs de pression et



Figure 4. Pulvérisateur de traction mécanique muni d'un réservoir de grande capacité et de rampes portes-buses à l'avant et à l'arrière.

de flux, d'un manomètre avec échelle indiquant facilement des pressions de 0 à 8 bars approximativement et d'une rampe porte-buses. Ils peuvent également disposer d'autres éléments de contrôle plus sophistiqués. La Figure 7 montre les détails d'un pulvérisateur.



Figure 5. Détails du distributeur, du filtre et des tubes et mécanismes hydrauliques d'extension de la rampe.

Pompe

Elle peut être de différents types mais il est très important qu'elle permette de maintenir une pression faible dans les buses et qu'elle soit de faible débit. Les agriculteurs emploient fréquemment des équipements destinés à la pulvérisation foliaire qui atteignent jusqu'à 20 ou 30 bars de pression qu'ils n'arrivent pas à réduire et à stabiliser dans les circonstances où sont réalisées les applications d'herbicides à une pression de 1,5 à 4 bars.

Rampe porte-buses

La rampe doit être robuste, rétractable à l'extérieur pour éviter les ruptures et les coups sur le tronc de l'olivier en cas de choc accidentel, s'adapter aux irrégularités du terrain et être pliable pour faciliter le transport. La longueur totale de la rampe ne doit pas dépasser six mètres, car les irrégularités du terrain ne permettent généralement pas les applications avec des rampes plus longues sans risque de mouiller les arbres. Il est conseillé d'utiliser des rampes divisées en trois tronçons : les



Figure 6. A) Détails des articulations de la rampe et disposition des buses aux extrémités. B) Schéma de l'adaptation aux changements de pente.

deux tronçons des extrémités situés à l'avant du tracteur et le tronçon central disposé à l'arrière pour empêcher de repasser sur la superficie déjà traitée (Figure 6).

Buses

Les buses sont les éléments les plus importants du pulvérisateur. On en trouve de nombreux types. Les fabricants indiquent dans leurs catalogues quelles sont les buses adaptées à la pulvérisation des herbicides.

Les plus courantes sont les buses de pulvérisation hydraulique à jet plat, qui projettent un jet symétrique ou excentré. Parmi elles, on trouve les buses appelées anti-dérive qui produisent des gouttelettes de taille plus grande et plus homogène et qui peuvent être de pulvérisation hydraulique ou hydro-pneumatique (Figure 4.10). Il existe également des buses à cône (creux ou plein), qui sont normalement utilisées avec des pulvérisateurs portables.

Débit des buses et filtres

La taille de l'orifice de la buse conditionne le débit. Le débit (q) varie avec la pression (p) selon la relation :

$$q_1^2/p_1 = q_2^2/p_2$$

**TABLEAU 5.**

Couleurs normalisées selon la norme ISO 10.625:1996 pour les différentes tailles de buses et les débits à 3 bars lorsqu'elles sont disposées à 50 cm de distance selon la vitesse d'avancement.

Référence	Couleur	Débit à pression 3 bars (l/min)	Volume d'application à pression 3 bars (l/ha)	
			4 km/heure	6 km/heure
01	Orange	0,4	97	65
015	Vert	0,6	150	100
02	Jaune	0,8	195	130
03	Bleu	1,2	300	200
04	Rouge	1,6	390	260
05	Marron	2,2	495	330
06	Gris	2,4	600	400
08	Blanc	3,2	750	500

La norme ISO 10.625:1996 établit un code de couleurs auquel les fabricants s'ajustent progressivement (Tableau 5). Si l'on achète des buses neuves, il est probable que leur couleur coïncide avec ce tableau. En revanche, si l'on utilise des buses anciennes, il faudra vérifier leurs caractéristiques en faisant un essai si nécessaire et ne pas déduire leur débit par leur couleur. Avec l'usage, les buses s'usent et leurs orifices s'agrandissent ou se bouchent à cause de la précipitation des produits. Il est donc nécessaire de remplacer régulièrement les buses lorsque les variations de débit sont supérieures à 10 % du débit nominal.

Chaque buse doit être pourvue d'un filtre qui garantit son bon fonctionnement (Figure 7). La superficie de filtrage doit être la plus grande possible pour éviter que la buse se bouche et que des nettoyages continus soient nécessaires sur le terrain. À cet effet, on conseille plutôt les filtres cylindriques. La taille de la maille du filtre doit être adaptée à la taille de l'orifice. Normalement, pour les orifices 01 et 015, on choisira des filtres de maille 100 et pour les orifices 02 et plus, une maille de 50. Les catalogues indiquent les filtres adaptés à chaque buse. Néanmoins, les filtres individuels tendent à être remplacés par des filtres de rampe qui permettent une plus grande surface

FILTRES POUR BUSES	
Filter chapeau	Filter cylindrique ou cartouche
	



Figure 7. Types de filtres pour buses.

de filtrage, pour 3-5 buses, ce qui permet d'éviter les obstructions et leur nettoyage sur le terrain pendant le traitement.

Distribution du débit

La distribution du débit d'une buse peut être en forme de cloche ou uniforme (Figure 8). Celles en forme de cloche permettent de les disposer en série sur une rampe de manière à ce qu'elles se chevauchent et fournissent une bande large et homogène de produit. Les buses excentriques pulvérisent en forme de cloche asymétrique et sont utilisées pour les extrémités des rampes comme nous le verrons ci-après. En revanche, celles de distribution uniforme ne peuvent pas être disposées en série sur une rampe car le chevauchement ne peut pas se produire de manière adéquate mais elles sont utiles pour des applications en bandes étroites comme par exemple les traitements sur une ligne de goutteurs.

La distribution du débit varie avec la hauteur de l'application pour une distance donnée entre les buses. L'angle d'ouverture du jet influence également et varie avec le type de buse et avec la pression. En oléiculture, on utilise généralement des buses de

110 degrés d'ouverture de l'arc car elles permettent de distribuer le mélange de manière homogène en le pulvérisant à une hauteur réduite. On les dispose à 50 cm de distance et on pulvérise à une hauteur sur l'herbe ou le sol de 50 cm également. Pour cela, on utilise généralement des pressions de 2 à 3 bars.

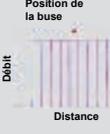
A) BUSES À DÉBIT UNIFORME		
BUSE	DISTRIBUTION DES DÉBITS	RECOUVREMENT
<p>Arc plat</p> 	<p>Position de la buse</p>  <p>Débit</p> <p>Distance</p>	<p>Insuffisant</p> 
<p>Miroir</p> 		<p>Excessif</p> 

Figure 8. Distribution des débits selon les différents types de buses.

Identification des buses

Sur les buses figurent normalement les informations sur le modèle, la marque, l'angle d'ouverture de l'arc, la taille de l'orifice de sortie (qui indique le débit) et le matériel dont elle sont faites (Figure 9).

Taille de la gouttelette, dérive et pression

Les gouttelettes sont classées en fonction de leur taille et de la finesse de pulvérisation comme très fines, fines, moyennes, grandes, très grandes et extrêmement grandes (Norme S-1572 ASAE - American Society of Agricultural Engineers). Celles de tailles fine et très fine sont très susceptibles à la dérive. Il est important que la taille de la gouttelette soit homogène et que le nombre et le volume des gouttelettes de petite taille soit le plus réduit possible pour éviter les risques et les dégâts entraînés par la dérive du produit. Pour les herbicides, on conseille des gouttelettes de 200 à 600 microns, taille relativement grande par rapport à celle recommandée pour les insecticides (200-350 microns) ou pour les fongicides (100-200 microns). La taille de la gouttelette dépend du type de buse et sur certains modèles, le pourcentage de gouttelettes fines et très fines est très réduit et les buses sont alors appelées anti-dérive (Tableau 6). La pression influence la taille de la gouttelette : plus la pression est élevée, plus la dérive est grande et plus la gouttelette est petite (Tableau 6) et affecte également l'angle d'ouverture de l'arc de pulvérisation qui augmente avec la pression. L'application d'herbicides est donc

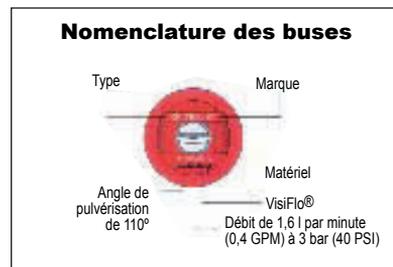


Figure 9. Identification d'une buse : type de buse, marque commerciale, angle, débit, matériel de fabrication.



réalisée à basse pression, normalement entre 1,5 et 4 bars. La pression doit être vérifiée juste avant la sortie de la buse et pas seulement à la sortie de la pompe. Hors du champ de pressions pour lequel la buse a été conçue, celle-ci cesse de fonctionner correctement.

TABLEAU 6.

Pourcentage de volume de liquide pulvérisé avec des gouttelettes de taille inférieure à 200 microns, susceptibles à la dérive, à différentes pressions.

Type de buse	Pression 1,5 bar	Pression 3 bars
Standard 110 03	14 %	34 %
Standard 80 03	2 %	23 %
Anti-dérive 110 03	< 1 %	20 %
Anti-dérive 80 03	< 1 %	16 %

Source : Catalogue Teejet. Produits pour aspersion Teejet. Guide d'achat 210-E. Spraying Systems Co.

Disposition des buses sur la rampe de pulvérisation

Dans Saavedra et Humanes (1999), on trouvera différentes variantes de la disposition des buses sur une rampe. On détaille ici les deux cas les plus fréquents pour l'application en bandes au milieu des rangées et sous les frondaisons respectivement.

L'application d'herbicides entre les rangées se fait sans difficulté au moyen de buses à arc symétrique (Figure 10). Les buses symétriques doivent être placées légèrement de côté par rapport au plan vertical de la rampe pour éviter le choc des arcs de pulvérisation (Figure 11).

En revanche, l'application d'herbicides sous la frondaison de l'olivier pose certaines difficultés. Les oliviers à plusieurs troncs, les branches basses et la hauteur de certains arbres rendent difficile l'approche de la rampe et même la visibilité. C'est pourquoi on dispose à l'extrémité de la rampe des buses à arc plat excentrées qui permettent de pulvériser à une certaine distance alors que sur le reste de la rampe, on place des buses à arc symétrique. La Figure 4.16 présente un schéma à cet effet. Pour que la pulvérisation soit correcte et que le produit soit distribué de manière homogène, certaines conditions, analysées dans le détail dans Saavedra et Humanes (1999) et résumées ci-après, doivent être respectées.

La buse située à l'extrémité permet, grâce à son mode de distribution du débit, de pulvériser sous l'olivier et d'éviter le tronc. À l'étape suivante, de l'autre côté de l'arbre, on procédera de la même manière. Une fois les deux passages terminés, la pulvérisation doit être homogène. Il est important que les débits correspondant à chaque buse dans la largeur du travail qui lui

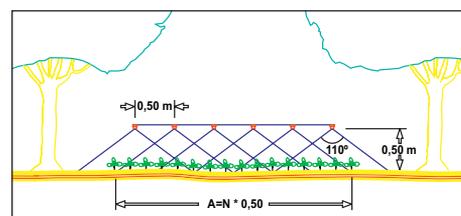


Figure 10. Schéma de la pulvérisation avec des buses à arc plat symétriques pour une application en bande entre les rangées.

correspond soient le plus similaire possible. C'est à dire qu'à une pression donnée, q_1 étant le débit nominal de chaque buse symétrique, d_1 la distance entre les buses symétriques, D la distance à l'arbre de la dernière buse symétrique et q_2 le débit nominal de la buse excentrée, les débits correspondant à chaque buse dans la largeur sur laquelle ils sont appliqués doivent être très similaires :

$$q_1 / d_1 \cong q_2 / (D - (d_1/2))$$

En outre, la portée de la buse excentrée ne doit être ni trop courte ni trop longue. On suivra le schéma suivant :

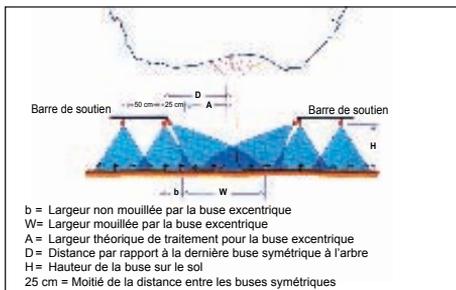


Figure 12. Schéma de la pulvérisation avec buses à arc plat symétriques et asymétriques pour une application en bande sous les frondaisons.

buses auront été disposées sur la rampe, en utilisant par exemple un dispositif similaire à celui indiqué dans la Figure 13, ou dans des stations autorisées pour la révision et le calibrage des équipements agricoles.

Vitesse d'avancement dans la pulvérisation

Les applications d'herbicides dans les oliveraies sont difficiles à réaliser à des vitesses élevées du tracteur pour plusieurs raisons : sols en pente, cadres irréguliers, longueurs courtes de passage et risques de mouiller les oliviers. C'est pourquoi il est normal de réaliser les traitements à une vitesse comprise entre 4 et 6 km/h. Dans ces conditions, il est difficile d'obtenir des applications d'herbicide à de faibles volumes de mélanges car il faudrait opter pour des buses avec des orifices très petits qui se bouchent facilement.

La vitesse devra être vérifiée avant le début de l'application. Le Tableau 8 indique le temps nécessaire pour parcourir 100 m à différentes vitesses d'avancement :

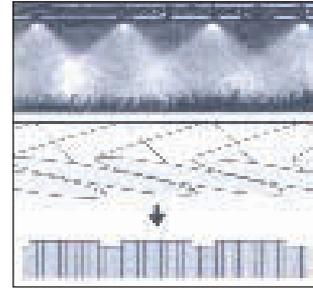


Figure 11. Disposition des buses symétriques légèrement de côté par rapport au plan vertical de la rampe.

- La distance $b + W$ doit être supérieure à la distance entre la dernière buse symétrique et l'arbre pour permettre le recouvrement.
- La distance $b + W$ doit être inférieure ou égale au double de la distance entre la dernière buse et l'arbre pour éviter une surdose sur la zone pulvérisée par la buse symétrique.

Le Tableau 7 donne les combinaisons possibles, calculées pour une pression de 3 bars.

La distribution du débit doit être homogène. Cette condition devra être vérifiée dès que les

buses auront été disposées sur la rampe, en utilisant par exemple un dispositif similaire à celui indiqué dans la Figure 13, ou dans des stations autorisées pour la révision et le calibrage des équipements agricoles.

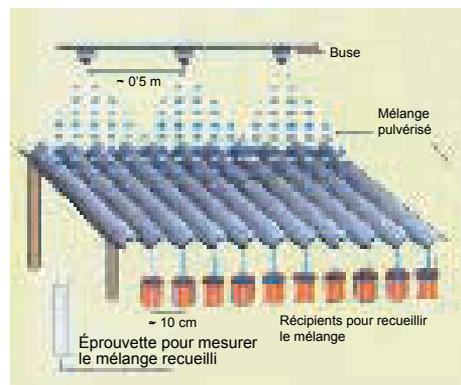


Figure 13. Schéma d'un dispositif simple pour vérifier l'homogénéité de la distribution de mélange fourni par une rampe de pulvérisation d'herbicides.



TABLEAU 7.

Débâts par mètre de largeur de la bande traitée, fournis par les buses symétriques disposées à 50 cm de distance et par les buses excentrées situées à l'extrémité de la rampe en fonction de la distance au tronc de la dernière buse symétrique.

Débâts par minute et par mètre PRESSION 3 BARS				Débâts nominaux/Largeur théorique l/m/min							
				Distance de la dernière buse symétrique à l'arbre (cm)							
Buse asymétrique	W cm	b cm	W+b cm	Débit nominal l/min							
					0,75	100	125	150	175	200	225
TEEJET OC-02	177	45	222	0,79	1,58	1,05	0,79	0,63	0,53	0,45	0,40
TEEJET OC-03	203	40	243	1,18	2,36	1,57	1,18	0,94	0,79	0,67	0,59
TEEJET OC-04	236	30	266	1,58	3,16	2,11	1,58	1,26	1,05	0,90	0,79
TEEJET OC-06	256	30	286	2,37	4,74	3,16	2,37	1,90	1,58	1,35	1,18
TEEJET OC-08	259	30	289	3,16	6,32	4,21	3,16	2,53	2,11	1,80	1,58
TEEJET OC-12	264	30	294	4,74	9,48	6,32	4,74	3,79	3,16	2,71	2,37
TEEJET OC-16	350	25	375	6,32	12,6	8,43	6,32	5,06	4,21	3,61	3,16

Buse symétrique	Débit nominal l/min	Débâts nominaux/Largeur théorique l/m/min
TEEJET I10-015	0,59	1,18
TEEJET I10-02	0,79	1,58
TEEJET I10-03	1,18	2,36
TEEJET I10-04	1,58	3,16

TABLEAU 8.

Temps nécessaire pour parcourir 100 m à différentes vitesses du tracteur.

Vitesse km/h	3	4	5	6	7
Temps nécessaire pour parcourir 100 m	2 min	1 min 30 sec	1 min 12 sec	1 min	51 sec

4.6. CALIBRAGE DU PULVÉRISATEUR D'HERBICIDES

Le calibrage se fait en trois étapes. On pourra consulter Boto et López (1999) et Saavedra et Pastor (2002) :

- 1° - Fixer les paramètres du calibrage (phase théorique).
- 2° - Régler la machine de manière à satisfaire les paramètres théoriques préalablement fixés.
- 3° - Vérifier le réglage et, si nécessaire, réajuster.

Paramètres de calibrage

Nettoyer avec soin le pulvérisateur et tous ses éléments. Ensuite, en fonction des caractéristiques de la parcelle à traiter, déterminer une vitesse d'avancement à laquelle le conducteur du tracteur se sentira à l'aise pour changer les vitesses et maintenir le régime du moteur.

Déterminer le débit correspondant à toutes les buses (Q), la largeur du travail (a) et le volume de mélange à appliquer par hectare (V) pour cette vitesse d'avancement (v).

Les buses et la pression de travail auront été choisies conformément aux recommandations formulées dans les points précédents.

$$V \text{ (litres/hectare)} = 600 \times Q \text{ (litres/minute)} / v \text{ (kilomètres/heure)} \times a \text{ (mètres)}$$

En fonction du volume de mélange à appliquer, déterminer la quantité de produit (D) à verser dans chaque réservoir.

Si les paramètres ne s'inscrivent pas dans la fourchette prévue, déterminer de nouveau pour d'autres conditions.

Réglage de la machine

Une fois le calcul réalisé et les paramètres corrects déterminés, vérifier le fonctionnement de l'équipement : le régime du moteur, la hauteur de la rampe, les tuyaux, les régulateurs, les soupapes d'ouverture et de fermeture, les filtres, les buses (type de buse correct, distance entre elles, placement légèrement de côté, état des filtres), fixer la pression et vérifier le débit. Toutes ces opérations doivent être effectuées avec de l'eau propre dans le dépôt avant de verser l'herbicide. Pour vérifier la distribution correcte du débit à l'intérieur de l'exploitation, on peut utiliser des dispositifs simples comme celui qui est présenté dans la Figure 13. Postérieurement, vérifier la vitesse d'avancement du tracteur et le fonctionnement correct des mécanismes d'extension, d'ouverture et de pliage de la rampe.

Modalités de traitement

Vérifier que les conditions environnementales pour l'application d'herbicides sont adéquates : sans vent, sans menace de pluie, température ni trop élevée ni trop basse, pas de brouillard ni de conditions adverses. Le terrain sur lequel passe la machine pour appliquer l'herbicide doit être plat, sans trous qui feraient osciller la base et entraîneraient un risque de mouillage de l'arbre.

Programmer les modalités d'application sur la parcelle de manière à éviter les recouvrements non nécessaires et les zones non traitées. Traiter d'abord au centre de la parcelle puis autour, où le tracteur a réalisé les manœuvres. Le schéma (Figure 14) montre le mode d'application sur une parcelle trapézoïdale.

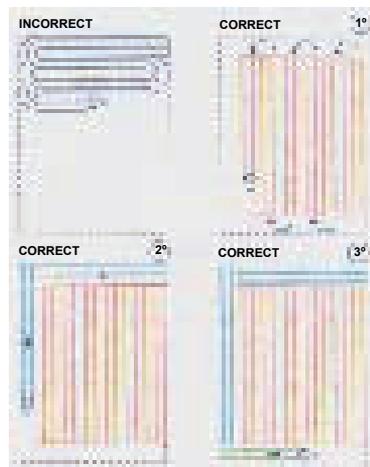


Figure 14. Formes correctes et incorrecte de réaliser les virages et l'application d'herbicides sur les bordures d'une parcelle.



S'assurer que toutes les conditions sont réunies avant de remplir le réservoir avec de l'eau propre ; mettre en marche l'agitateur et verser le produit herbicide à la dose calculée. On ne doit jamais verser le produit trop tôt pour éviter les dégradations et les floculations. Si l'on doit mélanger plusieurs produits ou ajouter des additifs ou des correcteurs de pH, on le fera directement dans le réservoir sauf indication contraire. On ne fera pas le mélange dans des récipients plus petits pour ensuite le verser dans le réservoir.

Nettoyage et entretien de l'équipement

Durant l'application, il est possible que les filtres et les buses se bouchent et qu'il soit nécessaire de les nettoyer. Cette opération devra être réalisée avec précaution et exclusivement avec de l'eau. On évitera de souffler avec la bouche en raison du risque que cela suppose pour l'utilisateur.

Une fois le traitement terminé, il ne devrait pas rester de produit si les calculs ont été faits correctement. Toutefois, s'il en reste une petite quantité, ne pas la verser dans des cours d'eau ou dans les égouts mais la déposer dans des lieux destinés expressément à ces produits ou bien la répartir dans l'exploitation.

L'équipement doit être nettoyé consciencieusement selon les produits qui ont été utilisés :

- Produits huileux : avec un détergent liquide et rinçage à l'eau
- Herbicides hormonaux : avec une solution ammoniacale à 20 % et plusieurs rinçages. Carbone activé à 100 g pour 100 litres durant 12 heures.

Démonter toutes les buses et les filtres, vider les tuyaux et les pompes, graisser les éléments mécaniques, enlever la pression de la soupape régulatrice pour que le ressort reste en repos et réparer les imperfections dont pourrait avoir souffert l'équipement.

Remplacement des filtres et des buses

Les filtres se détériorent avec le temps et les buses s'usent en raison de la dilatation de leur orifice de sortie ou de leur rétrécissement dû à la précipitation de certaines substances. Changer les buses lorsque les variations de débit sont supérieures à 10 % du débit nominal.

4.7. PISTOLETS DE PULVÉRISATION

Parfois, face à la difficulté d'appliquer des herbicides avec un pulvérisateur muni d'une rampe, on a recours à des pistolets de pulvérisation qui facilitent l'accès à des zones où un équipement conventionnel ne peut pas être utilisé. Il est possible de faire une application correcte d'herbicide avec des pistolets à condition que la pression soit réduite (1 à 5 bars), que la répartition soit uniforme et que la taille de la goutelette soit adéquate. Les buses excentrées utilisées à l'extrémité des rampes pour appliquer les herbicides sous les oliviers peuvent également être installées sur un pistolet de pulvérisation. Toutefois, pour une distribution correcte du produit, le pistolet devra être maintenu en position adéquate, à une distance et une hauteur correctes et à une distance de l'arbre permettant un recouvrement correct lorsque l'herbicide est appliqué de l'autre côté de l'arbre.

Les pulvérisateurs à buses oscillantes de type "cassotti" ne sont pas indiqués pour appliquer des herbicides dans une oliveraie car ils ne permettent pas une distribution homogène du produit et comportent des risques de mouillage de l'arbre.

4.8. ÉLÉMENTS DE SÉCURITÉ

Il existe des écrans protecteurs pour faciliter les applications sous l'olivier sans mouiller l'arbre. Toutefois, dans la pratique, ces écrans ne sont généralement utilisés que dans les opérations manuelles car ils s'accrochent facilement sur les branches et les troncs. Ils devraient être dessinés avec des matériaux et des formes mieux adaptés aux conditions de l'oliveraie.

Il existe des dispositifs d'application des herbicides entre les rangées de plantation, qui permettent de s'approcher de l'olivier, même des oliviers très petits, sans risquer de les mouiller. Dans ce cas, le pulvérisateur est muni d'une buse centrifuge qui applique l'herbicide à très basse pression, et d'un mécanisme d'approche et de mouvement autour de l'arbre, qui évite les risques de le mouiller avec l'herbicide, mais permet d'appliquer à proximité du tronc. Ces dispositifs sont très utiles pour contrôler l'herbe courte et moyennement courte.

4.9. RÉSUMÉ DES ÉTAPES À SUIVRE DANS L'APPLICATION DES HERBICIDES

Inspecter l'oliveraie, identifier les adventices et évaluer les dégâts.

Déterminer le moment adéquat pour procéder au contrôle des herbes ou de la couverture végétale et choisir l'herbicide approprié.

Choisir ceux de moindre risque pour des conditions identiques, en sachant qu'il n'existe pas de risque zéro et que l'emploi abusif d'un seul produit implique également un risque.

Éviter les traitements répétés avec une même matière active. Alternier les produits selon les moments d'application, les modes d'action et les caractéristiques. Éviter également les applications dans des zones très vastes avec un même produit.

Lire attentivement l'étiquette et suivre fidèlement toutes les indications qui y sont données.

Porter des vêtements de protection adaptés et les nettoyer soigneusement après chaque usage.

L'équipement doit toujours être spécifique à l'application d'herbicides. Ne pas appliquer d'herbicide avec des pulvérisateurs de haute pression ou des pulvérisateurs prévus pour d'autres fins.

Le pulvérisateur doit toujours être propre et calibré.

Choisir les buses les plus adaptées en fonction du type d'herbicide et des conditions d'application. Changer les éléments usés, notamment les buses si les variations de débit sont supérieures à 10 % du débit nominal.

Observer les conditions atmosphériques, du sol et des herbes. Ne pas appliquer s'il y a du vent, si des pluies sont prévues ou s'il existe des risques pour l'olivier, l'utilisateur, les autres cultures ou l'environnement. En particulier, ne pas appliquer d'herbicides avant une pluie abondante, surtout



là où des ruissellements peuvent se produire, si leur vie moyenne est élevée et si le coefficient d'absorption est faible.

Remplir le réservoir et manipuler les produits herbicides avec précaution.

Ne pas appliquer sur l'arbre ou sur les olives que l'on prévoit de récolter, sauf si le produit est autorisé spécifiquement à cette fin.

Ne pas appliquer sur le sol d'herbicides ayant un Kow élevé si l'on prévoit de récolter bientôt les olives tombées sur le sol.

Pulvériser à faible pression, à moins de 4-5 bars. Noter les conditions environnementales dans lesquelles l'application a été réalisée.

Observer l'efficacité du traitement, l'évolution des herbes ou des couvertures végétales le cas échéant et la noter pour en tenir compte lors des applications postérieures.

Face à une intoxication possible, prévenir un médecin, lui montrer l'étiquette du produit et réaliser les premiers soins.

BIBLIOGRAPHIE

- Boto J.A., López F.J., 1999. La aplicación de fitosanitarios y fertilizantes. Universidad de León, Secretariado de Publicaciones. 293 pp.
- C.A.P., 2003. Aplicación de plaguicidas. Nivel cualificado. Manual y ejercicios, cursos Modulares. Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía, España.
- Saavedra M., Pastor M., 1996. Weed populations in olive groves under non-tillage and conditions of rapid degradation of simazine. *Weed Research*, 36, 1-14.
- Saavedra M., Humanes M.D., 1999. Manual de aplicación de herbicidas en olivar y otros cultivos leñosos: Estudio de la barra de distribución. Editorial Agrícola Española S.A. 78 pp.
- Saavedra M., Pastor M., 2002. Sistemas de cultivo en olivar: Manejo de malas hierbas y herbicidas. Editorial Agrícola Española S.A. 428 pp.





Fertilisation 

Ricardo Fernández-Escobar
Departamento de Agronomía
Universidad de Córdoba
Campus de Rabanales, Edificio C4
Carretera de Madrid, km. 396
14071 Córdoba (Espagne)

SOMMAIRE

- 5.1. INTRODUCTION
- 5.2. IDENTIFICATION DES BESOINS NUTRITIFS
 - 5.2.1. Échantillonnage des feuilles
 - 5.2.2. Analyse de la fertilité du sol
 - 5.2.3. Échantillonnage du sol
 - 5.2.4. Interprétation de l'analyse de la fertilité du sol
- 5.3. ÉTABLISSEMENT DU PLAN ANNUEL DE FERTILISATION
- 5.4. CORRECTION DES CARENCES NUTRITIVES
 - 5.4.1. Azote
 - 5.4.2. Potassium
 - 5.4.3. Fer
 - 5.4.4. Bore
 - 5.4.5. Calcium
 - 5.4.6. Autres nutriments
- 5.5. APPLICATION DES FERTILISANTS
 - 5.5.1. Application au sol
 - 5.5.1.1. Fertigation
 - 5.5.2. Fertilisation foliaire
 - 5.5.2.1. Facteurs affectant l'absorption des nutriments par la feuille
 - 5.5.3. Injections dans le tronc des arbres
- 5.6. RÉSUMÉ
 - Pratiques obligatoires
 - Pratiques recommandées
 - Pratiques non recommandées ou interdites
- BIBLIOGRAPHIE

Fertilisation

5. Fertilisation

5.1. INTRODUCTION

La fertilisation est une pratique commune en agriculture : elle vise à satisfaire les besoins nutritionnels des cultures lorsque les nutriments nécessaires pour leur croissance ne sont pas apportés en quantités suffisantes par le sol. Bien que tous les sols aient de nombreuses caractéristiques communes, chaque sol présente des caractéristiques morphologiques et une fertilité différentes. De la même manière, toutes les plantes ont besoin des mêmes éléments nutritifs pour leur croissance mais leur capacité à les puiser du sol varie selon les espèces et les variétés. Les besoins d'un jeune arbre peuvent également être différents de ceux d'un arbre adulte et le système de culture aura aussi une influence sur la disponibilité des nutriments pour l'arbre. Chaque culture pose donc, dans chaque exploitation et à chaque moment, un problème différent, ce qui rendrait peu logique l'établissement de recommandations générales sur les apports annuels de fertilisants, y compris pour une même culture ou au même endroit.

La pratique répétée de la fertilisation basée sur l'apport de différents éléments nutritifs de manière simultanée constitue toutefois une pratique habituelle dans de nombreuses zones oléicoles. Une enquête réalisée auprès de pays producteurs du bassin Méditerranéen en 2001 pour mieux connaître la pratique de la fertilisation des oliveraies dans la zone révélait ainsi que 97 % des apports correspondaient à des fertilisants minéraux ; dans 77 % des cas, les agriculteurs répétaient chaque année le même plan de fertilisation, consistant en général en l'apport de différents éléments minéraux parmi lesquels figurait toujours l'azote, bien que cet apport ne correspondait pas aux carences nutritives de l'oliveraie, carences qui dans presque 50 % des cas n'étaient même pas identifiées. Ce mode d'action tend à apporter plus d'éléments que ceux qui sont réellement nécessaires – certains d'entre eux pouvant être disponibles pour l'arbre en quantités suffisantes pour assurer une bonne récolte –, à provoquer des carences en n'apportant pas l'élément nécessaire en quantités suffisantes et à en apporter d'autres en quantités excessives. Cette pratique augmente les coûts de culture, contribue à la contamination du sol et peut avoir des conséquences négatives sur l'arbre et sur la qualité de la production.

Une fertilisation rationnelle doit :

- 1.- Satisfaire les besoins nutritifs de l'olivier.
- 2.- Minimiser l'impact sur l'environnement, en particulier la contamination du sol, de l'eau et de l'air.
- 3.- Permettre d'obtenir une production de qualité.
- 4.- Éviter les apports systématiques et excessifs de nutriments.



5.2. IDENTIFICATION DES BESOINS NUTRITIFS

L'olivier, comme toutes les autres plantes, a besoin de seize éléments essentiels pour compléter son cycle vital : le carbone (C), l'hydrogène (H), l'oxygène (O), l'azote (N), le phosphore (P), le potassium (K), le magnésium (Mg), le calcium (Ca), le soufre (S), le fer (Fe), le manganèse (Mn), le zinc (Zn), le cuivre (Cu), le molybdène (Mo), le bore (B) et le chlore (Cl). Ces éléments sont considérés comme essentiels car sans eux, la plante ne serait pas en mesure de compléter son cycle vital. Aucun élément ne peut en remplacer un autre et chaque élément exerce un effet direct sur la croissance ou le métabolisme.

Les trois premiers - C, H et O - sont des éléments non minéraux et constituent approximativement 95 % du poids sec d'un olivier. Ils ne concernent pas la fertilisation puisque l'arbre les absorbe à partir du CO₂ de l'atmosphère et de l'eau (H₂O) du sol, dont la combinaison, grâce à la photosynthèse, forme les hydrates de carbone. Cela explique pourquoi le déficit hydrique réduit la croissance et la production de manière si spectaculaire. Les treize éléments restants, qui sont des éléments minéraux, constituent l'objet de la fertilisation ; tous ensemble, ils ne représentent que 5 % environ du poids sec de l'olivier, ce qui signifie qu'un excès est facile à provoquer. Ces éléments sont absorbés par les racines de l'olivier dans la solution du sol où ils sont présents sous forme d'ions. Une fois dans l'arbre, l'équilibre entre eux doit être conservé.

La fertilisation doit donc satisfaire les besoins de la plante en éléments minéraux. Toutefois, certains étant déjà disponibles dans la solution du sol en quantités adéquates, l'apport systématique de ces éléments ne serait pas rationnel, tout comme la restitution au sol des résidus de la culture, car elle ne tient pas compte de la consommation "de luxe", de la réutilisation de certains éléments par l'arbre, de la présence d'éléments dans l'eau d'irrigation ou dans l'eau de pluie, de la minéralisation, des réserves de l'arbre ou de la dynamique des nutriments dans le complexe du sol. L'absence de réponse à la fertilisation lorsqu'un élément est disponible dans la solution du sol en quantité suffisante pour les plantes, est un concept tout à fait démontré.

Le diagnostic de l'état nutritionnel de l'olivieraie est la seule alternative pour déterminer ses besoins nutritifs à un moment précis. Parmi les méthodes de diagnostic, celle qui s'avère la plus précise est l'analyse foliaire, c'est-à-dire l'analyse chimique d'un échantillon de feuilles. Cette analyse, associée à la connaissance des caractéristiques du sol et de l'aspect ou de la symptomatologie que pourraient présenter les arbres, permet de réaliser un diagnostic sur l'état nutritionnel de l'olivieraie et de formuler en conséquence des recommandations en matière de fertilisation. L'analyse foliaire est utilisée pour identifier les déséquilibres nutritifs, pour évaluer le niveau de nutriments avant l'apparition de carences, pour mesurer la réponse aux programmes de fertilisation et pour détecter des toxicités causées par des éléments comme le chlore (Cl), le bore (B) ou le sodium (Na), qui doivent être confirmées par l'analyse du sol et de l'eau d'irrigation le cas échéant.

Le *niveau critique d'un nutriment* est la concentration de ce nutriment dans la feuille sous laquelle le taux de croissance et de production de la plante diminue par rapport à celui d'autres plantes présentant des concentrations plus élevées. Ces niveaux sont universels pour chaque espèce et sont valables indépendamment du lieu ou de la situation dans laquelle les plantes sont cultivées. Les niveaux critiques pour les feuilles d'olivier sont indiqués dans le Tableau I.

Les niveaux définis ci-dessus correspondent aux valeurs d'insuffisance mentionnées dans le Tableau I pour chaque élément nutritif. Les concentrations supérieures peuvent être faibles (comprises

TABLEAU I*Interprétation des niveaux de nutriments dans des feuilles d'olivier prélevées en juillet (exprimés sur matière sèche).*

Élément	Insuffisant	Adéquat	Toxique
Azote, N (%)	1,4	1,5-2,0	-
Phosphore, P (%)	0,05	0,1-0,3	-
Potassium, K (%)	0,4	>0,8	-
Calcium, Ca (%)	0,3	>1	-
Magnésium, Mg (%)	0,08	>0,1	-
Manganèse, Mn (ppm)	-	>20	-
Zinc, Zn (ppm)	-	>10	-
Cuivre, Cu (ppm)	-	>4	-
Bore, B (ppm)	14	19-150	185
Sodium, Na (%)	-	-	>0,2
Chlore, Cl (%)	-	-	>0,5

Source : Fernández-Escobar, 2004.

entre insuffisantes et adéquates), adéquates, excessives (supérieures aux adéquates) ou toxiques. Dans le cas de la plupart des nutriments, les valeurs élevées ne produisent pas de toxicité à proprement parler; mais si les nutriments se trouvent en quantités excessives, c'est-à-dire hors de l'intervalle adéquat, ils peuvent affecter l'assimilation d'autres nutriments ou le métabolisme de la plante et provoquer alors des réactions négatives chez l'arbre. Une fois ces niveaux connus, il suffit de comparer l'analyse de l'échantillon de feuilles d'une oliveraie à ces valeurs pour déterminer si un élément se trouve à un niveau insuffisant, faible, adéquat ou trop élevé et prendre les mesures opportunes pour le corriger. Pour permettre un diagnostic correct, il convient de prélever les échantillons de feuilles conformément aux normes mentionnées au point suivant.

L'exception à ce qui vient d'être dit concerne le fer (Fe), car cet élément s'accumule dans les feuilles, même dans une situation de carence. L'inspection visuelle des symptômes, bien que toujours conseillée pour assurer un bon diagnostic, s'avère indispensable pour cet élément. Les symptômes caractéristiques de la carence en fer sont une chlorose d'intensité variable : les veines restent vertes mais on observe une diminution de la taille des feuilles apicales et de la longueur des pousses (Figure 6). Cette carence est fréquente dans les oliveraies plantées sur des sols très calcaires.

5.2.1. Échantillonnage des feuilles

Les feuilles de l'olivier peuvent être de trois âges différents : de l'année, d'un an et de deux ans. Les fonctions physiologiques et la teneur en nutriments varient selon leur âge. C'est pourquoi l'échantillonnage des feuilles ne peut pas être effectué totalement au hasard. De même, le contenu minéral des feuilles variant tout au long de l'année (Figure 1), on ne peut pas non plus procéder à l'échantillonnage à n'importe quelle époque. Les feuilles seront donc échantillonnées lorsque la teneur en nutriments subit le moins de variations. Dans tous les cas, il convient d'échantillonner de la même manière que pour déterminer les niveaux critiques mentionnés dans le Tableau I, sinon les résultats donneront lieu à des diagnostics erronés. L'échantillon doit également être représentatif de la parcelle étudiée.

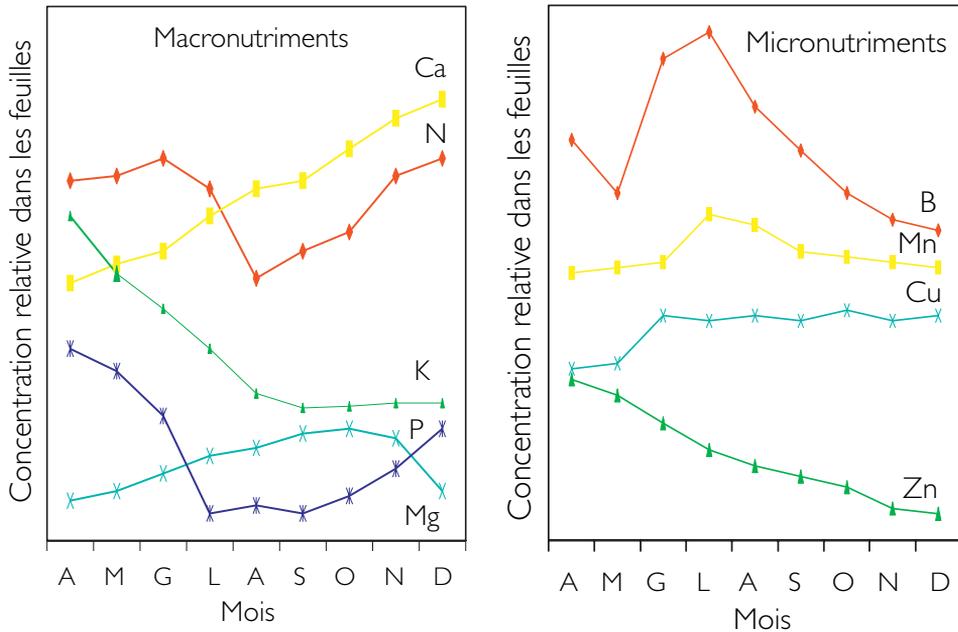


Figure 1. Évolution saisonnière de la concentration de nutriments dans les feuilles de l'année (d'après Fernández-Escobar et al., 1999).

La procédure est la suivante :

- 1.- Différencier les parcelles par type de sol, variété cultivée, âge des arbres, systèmes de culture ou toute autre caractéristique permettant de différencier la parcelle.
- 2.- Réaliser l'échantillonnage pendant la période estivale de repos végétatif, au mois de juillet dans l'hémisphère Nord, de préférence au cours de la deuxième quinzaine.
- 3.- Prélever environ 100 feuilles de chaque parcelle. S'il s'agit d'une parcelle de grandes dimensions, le prélèvement portera sur un nombre supérieur d'échantillons, au moins pendant les premières années.
- 4.- Choisir plusieurs arbres de chaque parcelle de manière aléatoire le long d'un parcours identique à celui indiqué plus loin pour l'échantillonnage du sol (Figure 3).
- 5.- Prélever entre 2 et 4 échantillons par arbre, de pousses représentatives situées vers le centre de la frondaison, orientées dans des directions différentes et de vigueur normale, en ignorant les plus vigoureuses, celles de faible croissance et celles situées à l'intérieur de la frondaison.
- 6.- Choisir des feuilles de l'année, totalement épanouies, avec pétiole, et âgées de 3 à 5 mois. Ces caractéristiques correspondent aux feuilles centrales à basales de la pousse de l'année au mois de juillet (Figure 2).



Figure 2. Branche fructifère en juillet. La partie apicale, sans fruits, correspond à la croissance de l'année. Les feuilles échantillonnées sont prélevées sur cette partie de la branche.

- 7.- Ne pas prélever de feuilles d'arbres atypiques ou présentant des symptômes sauf s'il s'agit d'un échantillonnage spécifique. Dans ce cas, choisir les feuilles apparemment sans symptômes.
- 8.- Introduire chaque échantillon de feuilles, de préférence identifié, dans un sac en papier qui sera conservé dans un réfrigérateur portable durant l'échantillonnage.
- 9.- Envoyer rapidement les échantillons au laboratoire pour analyse ou les conserver dans un réfrigérateur conventionnel en attendant leur envoi.

5.2.2. Analyse de la fertilité du sol

La connaissance des caractéristiques du sol est très utile au moment de programmer la fertilisation de l'olivieraie. Elle requiert l'étude du profil du sol au moyen de sondages effectués dans des lieux représentatifs de l'olivieraie. L'analyse du profil indiquera le type de sol et ses caractéristiques physiques, chimiques et biologiques et permettra de connaître les limites du sol pour la culture de l'olivier. Ces études devraient être réalisées avant la plantation et prises en compte lors de chaque intervention postérieure à celle-ci.

Du point de vue de la fertilisation, la connaissance des caractéristiques du sol permettra d'évaluer la quantité des nutriments qui y sont présents et leur disponibilité pour l'arbre. Si un sol présente une faible quantité d'un nutriment, il est probable que l'olivieraie qui y est plantée finisse par montrer des carences en ce nutriment. Toutefois, si la teneur en nutriments du sol est normale, cela ne veut pas dire que ceux-ci seront disponibles pour les arbres lorsqu'ils en auront besoin, le nutriment pouvant rester bloqué dans le sol en raison d'une caractéristique particulière. L'état calcaire de nombreux sols méditerranéens est un facteur fréquent de blocage de certains éléments minéraux. C'est pourquoi l'analyse du sol, bien que très utile pour la conduite de la culture et de la fertilisation, a un intérêt limité pour déterminer les besoins nutritionnels de l'olivieraie.

L'analyse de la fertilité du sol réalisée avec une certaine régularité est utile car elle permet de connaître les variations de la teneur en nutriments disponibles et s'avère indispensable pour diagnostiquer les toxicités causées par des excès de sodium, de chlore et de bore.

5.2.3. Échantillonnage du sol

L'échantillonnage du sol doit être représentatif du volume de sol exploré par les racines sur la parcelle étudiée. Comme la teneur en nutriments du sol varie aussi bien verticalement (en profondeur) qu'horizontalement, on prélèvera des échantillons de chaque horizon ou chaque couche de sol à différents endroits de la parcelle à échantillonner.

La procédure est la suivante :

1. Différencier les parcelles par type de sol, topographie, variétés, etc., comme pour l'échantillonnage des feuilles.
2. Tracer un parcours dans la parcelle de la manière indiquée dans la Figure 3 et prélever à chaque endroit signalé un échantillon de chacune des couches du sol. En général, sauf dans des cas particuliers, il suffit de prélever entre 0 et 30 cm et entre 30 et 60 cm de profondeur. L'échantillon peut être prélevé au moyen d'une bêche ou d'une pioche.



3. Prélever entre 8 et 20 échantillons pour chaque profondeur, en veillant à ne pas mélanger la terre des deux profondeurs et à ce que tous les échantillons de chaque couche soit d'un volume identique.
4. Mélanger ensuite tous les échantillons de chaque couche de sol pour former un échantillon le plus homogène possible. En extraire une portion de 0,5 kg pour l'analyse de la fertilité.
5. Laisser sécher les échantillons avant de les mélanger s'ils sont humides. Faire sécher les échantillons à l'air libre avant de les mettre dans des sacs en plastique et de les identifier. Remettre les échantillons au laboratoire pour analyse.

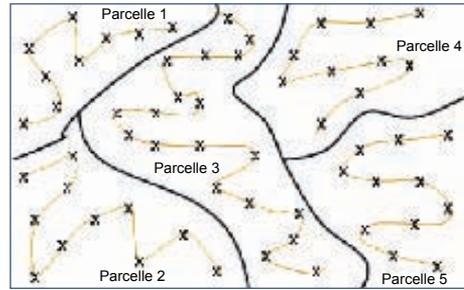


Figure 3. Division d'une oliveraie en cinq parcelles et parcours à réaliser pour le prélèvement des échantillons de sol.

5.2.4. Interprétation de l'analyse de la fertilité du sol

Le niveau critique d'un nutriment dans le sol est la concentration du nutriment au-delà de laquelle on n'observe aucune augmentation de la croissance ou de la production lorsque la fertilisation est renforcée. Cette valeur ne dépend pas seulement de la teneur en nutriments du sol mais également d'autres caractéristiques du sol qui affectent la disponibilité pour la culture. Le niveau critique de chaque nutriment dans le sol n'a pas été déterminé spécifiquement pour l'olivier. Il existe des données génériques applicables à de nombreuses cultures. Dans tous les cas, si la concentration du nutriment dans le sol est faible ou très faible, on peut s'attendre à une réponse positive à l'engrais, ce qui ne serait pas le cas si les concentrations étaient moyennes ou élevées.

L'**azote** disponible dans la solution du sol est sujet à des processus de perte et de transfert qui dépendent parfois du climat. Aucune procédure précise d'analyse ne peut donc être utilisée comme indicateur de la disponibilité d'azote pour la culture.

Le niveau critique du **phosphore** dans le sol dépend de la méthode d'analyse utilisée. Pour des sols modérément acides à alcalins et calcaires, la méthode de Olsen est la plus pratique. L'échelle d'interprétation présentée dans le Tableau 2 correspond à une large gamme de cultures. Dans le cas

TABLEAU 2

Interprétation des niveaux de phosphore dans le sol.

Interprétation	Phosphore (méthode de Olsen) (ppm)
Très élevé	>25
Élevé	18-25
Moyen	10-17
Faible	5-9
Très faible	<5

Source : FAO, 1984

de l'olivier; on peut considérer que le niveau critique ne doit pas être supérieur à 9 ppm, l'absence de réponse à l'amendement phosphorique étant habituelle en oléiculture.

La disponibilité de **potassium, calcium et magnésium** correspond aux teneurs d'échange de ces nutriments et exige de connaître la texture ou la capacité d'échange cationique (CEC). L'interprétation des niveaux, qui, comme nous l'avons déjà indiqué, ne correspond pas spécifiquement à l'olivier, est présentée dans le Tableau 3.

TABLEAU 3

Interprétation des niveaux de potassium, calcium et magnésium disponibles selon la texture et la CEC du sol.

Texture	CEC	Interprétation du niveau	K (ppm)	Mg (ppm)	Ca (ppm)
Épaisse	Faible (<5 mmolc/kg)	Très élevé	>100	>60	>800
		Élevé	60-100	25-60	500-800
		Moyen	30-60	10-25	200-500
		Faible	15-30	5-10	100-200
		Très faible	<15	<5	<100
Moyenne	Moyenne (5-15 mmolc/kg)	Très élevé	>300	>180	>2 400
		Élevé	175-300	80-180	1 600-2 400
		Moyen	100-175	40-80	1 000-1 600
		Faible	50-100	20-40	500-1 000
		Très faible	<50	<20	<500
Fine	Élevé (>15 mmolc/kg)	Très élevé	>500	>300	>4 000
		Élevé	300-500	120-300	3 000-4 000
		Moyen	150-300	60-120	2 000-3 000
		Faible	75-150	30-60	1 000-2 000
		Très faible	<75	<30	<1 000

Source : FAO, 1984

L'interprétation des valeurs de magnésium doit également tenir compte du rapport de cet élément avec le potassium. En effet, si le rapport K/Mg est supérieur à 1, il est probable que les carences en magnésium soient induites par le potassium.

Les micronutriments **fer, manganèse, cuivre et zinc** sont généralement présents dans le sol mais des carences peuvent être entraînées par le pH, le calcaire, les interactions, etc. La carence en fer est particulièrement importante dans les oliveraies plantées sur des sols calcaires. Le tableau 4 montre les niveaux critiques correspondant à ces nutriments, qui semblent s'ajuster à ceux de l'olivier; en particulier les niveaux de fer.

La **salinité du sol** indique l'existence d'une quantité excessive de sels solubles qui rendent difficile l'absorption d'eau par la culture et peuvent entraîner des problèmes de toxicité. La salinité est évaluée en mesurant la conductivité électrique dans l'extrait de saturation (CEes), un sol étant considéré salin lorsque CEes > 4 dS/m. L'olivier est modérément tolérant à la salinité. Il peut supporter une teneur

**TABLEAU 4***Niveaux critiques de micronutriments dans le sol pouvant être extraits avec du DTPA (DIÉTHYLÈNE TRIAMINE PENTA ACIDE)*

Micronutriment	Niveau critique (ppm)
Fer (Fe)	3
Manganèse (Mn)	1,4
Cuivre (Cu)	0,2
Zinc (Zn)	0,8

Source : Parra et al., 2003.

en sels supérieure à d'autres espèces fruitières mais les ions salins **sodium, chlore et bore** peuvent provoquer des problèmes de toxicité chez l'olivier; même à des niveaux faibles de CE. Les valeurs auxquelles on peut s'attendre à des effets négatifs sur la culture sont indiquées dans le tableau 5.

TABLEAU 5*Conditions limitatives de salinité, teneur en sodium, excès de bore et de chlore dans le sol pour l'olivier.*

Type de limitation	Degré limite		
	Léger	Modéré	Sévère
Salinité du sol - CEes (dS/m)	4	5	8
Pourcentage de sodium interchangeable (%)		20-40	
Toxicité induite par le bore (ppm)	2		
Toxicité induite par les chlorures (meq/l)	10-15		

Source : Parra et al., 2003.

5.3. ÉTABLISSEMENT DU PLAN ANNUEL DE FERTILISATION

Un bon programme d'analyse foliaire permet d'évaluer l'état nutritionnel à un moment donné et de prévoir les besoins de la campagne suivante. Les cultures pérennes comme l'olivier possèdent de nombreux organes de réserve de nutriments. La stratégie consiste à maintenir tous les éléments nutritifs dans les limites du niveau adéquat mentionné dans le Tableau 1, et à apporter un élément sous forme d'engrais uniquement s'il se trouve à des niveaux de carence provoqués par la récolte ou par la faible disponibilité de cet élément dans le sol. Logiquement, on ne devrait pas se permettre d'aller en deçà du niveau de carence car cela provoquerait une diminution de la croissance à des niveaux intolérables. Dans le cas du potassium (K), il est recommandé d'utiliser un engrais riche en cet élément lorsque l'analyse foliaire indique un faible niveau de ce nutriment, c'est-à-dire lorsque la valeur est inférieure à l'intervalle adéquat. Il ne faut pas s'attendre à une réponse immédiate car l'absorption du potassium est généralement faible si l'arbre se trouve dans une situation proche de la carence.

Dans certains cas, les niveaux faibles ou de carence sont dus à un excès ou à une carence d'un autre élément et il suffirait d'ajouter ou de supprimer ce dernier pour revenir à la normalité. Bien que

l'interprétation des interactions possibles entre éléments reste à étudier dans leur globalité, on peut néanmoins affirmer que les interactions entre N et P, entre P et Zn, et entre K et Mg notamment, sont assez fréquentes chez de nombreuses espèces fruitières.

Une fois l'analyse foliaire et le diagnostic réalisés, on établira le plan de fertilisation de la prochaine campagne. La stratégie à suivre est la suivante :

1. Si tous les éléments se trouvent à un niveau adéquat dans les feuilles, il est préférable de ne pas procéder à la fertilisation lors de la campagne suivante. On répétera l'analyse au mois de juillet pour évaluer de nouveau l'état nutritionnel des arbres.
2. Si un élément est présent en faible quantité ou est absent, on appliquera une fertilisation riche en cet élément, à condition de s'assurer que cette situation n'est pas due à l'excès ou à la carence d'un autre élément, auquel cas il faudrait agir sur cet autre élément.
3. Si plusieurs éléments se trouvent à des niveaux faibles ou de carence, il suffira dans la plupart des cas d'appliquer celui qui fait le plus défaut pour corriger la situation. Cela n'est toutefois pas une règle générale et il est donc recommandé de demander l'avis d'un expert. Il ne faut jamais oublier que l'application d'éléments en excès ou qui ne sont pas nécessaires à un moment donné peut provoquer des déséquilibres nutritionnels chez l'arbre qui seront ensuite difficiles à corriger.

5.4. CORRECTION DES CARENCES NUTRITIVES

L'olivier est une plante rustique, capable de végéter et de produire des fruits même dans des conditions environnementales adverses. Comme toutes les plantes pérennes, elle possède des organes de réserve de nutriments qu'elle réutilise facilement. C'est la raison pour laquelle les besoins nutritionnels de l'olivier sont moins importants que ceux d'autres cultures.

L'azote (N) est l'élément nutritif dont les plantes ont le plus grand besoin, y compris l'olivier. C'est pourquoi il constitue traditionnellement la base de la fertilisation en oléiculture. Dans les sols conduits en régime pluvial (c'est-à-dire non irrigués), le problème nutritionnel majeur réside dans la carence en potassium (K), qui augmente lorsque la récolte est élevée. Sur des sols calcaires, outre le potassium, on observe souvent des cas de carence en fer (Fe) et en bore (B), et sur des sols acides, on peut s'attendre à des carences en calcium (Ca). Ce sont quelques-uns des déséquilibres nutritionnels qui peuvent affecter la plupart des oliveraies et c'est pourquoi il convient de contrôler les parcelles au moyen des analyses nécessaires. Toutefois, il est rare que tous ces déséquilibres apparaissent en même temps dans une même plantation.

5.4.1. Azote

L'azote est un élément très dynamique qui se perd facilement par lessivage, volatilisation ou dénitrification, ce qui entrave son absorption par les racines des arbres et favorise la contamination, en particulier des eaux souterraines, à cause du lessivage. C'est pour cette raison qu'on a traditionnellement considéré nécessaire de réaliser une fertilisation annuelle de maintien pour compenser les pertes d'azote. Toutefois, des études réalisées dans différentes conditions de culture ont montré l'inefficacité de cette pratique pour le maintien d'un bon niveau de production de l'oliveraie, certaines zones ayant même enregistré une augmentation significative de la contamination des eaux par l'azote.



Les exportations d'azote par les récoltes, au maximum de 3-4 g N/kg d'olives, sont faibles si on les compare à celles des cultures annuelles. En outre, l'azote est apporté par la minéralisation de la matière organique du sol et par l'eau de pluie et l'eau d'irrigation, en quantités normalement inconnues lorsque l'on détermine les besoins en fertilisation azotée. Sur des sols relativement fertiles, les besoins en azote de l'oliveraie sont donc peu importants. Dans la plupart des cas, il n'est pas nécessaire d'apporter des doses d'azote tous les ans pour maintenir un niveau adéquat dans les feuilles et un bon niveau de production. À l'inverse, on a observé un effet négatif sur la qualité de l'huile lorsque l'azote a été appliqué en excès (Fernández-Escobar *et al.*, 2006).

En cas de carence diagnostiquée (Figure 4), il est recommandé d'appliquer 0,5 kg N/arbre à titre d'essai dans une oliveraie adulte et de n'excéder en aucun cas les 150 kg/ha. La dose optimale dépendra des caractéristiques et de la conduite de chaque oliveraie et devra être ajustée en fonction du résultat d'analyses foliaires périodiques qui, correctement interprétées, indiqueront la nécessité d'augmenter ou de réduire les doses appliquées.



Figure 4a. Olivier montrant des symptômes de carence en azote.

L'efficacité de l'utilisation de l'azote (NUE) est définie comme la quantité d'azote absorbé par la plante, divisée par la quantité totale d'azote apporté. En général, on estime que la NUE oscille entre 25 et 50 %, ce qui indique que la plupart de l'azote apporté n'est pas absorbé par les cultures. Parmi les facteurs qui diminuent la NUE, on peut citer 1) la présence d'azote disponible dans le sol : plus il est appliqué par fertilisation, moins il est absorbé par l'arbre ; 2) l'apport d'azote durant la période de repos hivernal de l'arbre car ce dernier est incapable de l'absorber dans ces circonstances ; et 3) une récolte abondante qui fait que l'absorption est plus importante au cours des années « moins ». À l'inverse, le fractionnement de l'application de l'azote favorise l'absorption de l'élément par l'arbre et augmente la NUE. En régime pluvial, il est recommandé de fractionner l'application en apportant une partie de l'azote au sol juste avant une pluie et une partie en application foliaire. On peut également appliquer tout l'azote par voie foliaire en fractionnant l'apport (le traitement sera répété plusieurs fois). En régime irrigué, il convient d'appliquer l'azote dissous dans l'eau d'irrigation ; en raison de ses caractéristiques, l'irrigation fréquente minimise les pertes d'azote en permettant un plus grand fractionnement de l'application.

L'efficacité de l'utilisation de l'azote (NUE) est définie comme la quantité d'azote absorbé par la plante, divisée par la quantité totale d'azote apporté. En général, on estime que la NUE oscille entre 25 et 50 %, ce qui indique que la plupart de l'azote apporté n'est pas absorbé par les cultures. Parmi les facteurs qui diminuent la NUE, on peut citer 1) la présence d'azote disponible dans le sol : plus il est appliqué par fertilisation, moins il est absorbé par l'arbre ; 2) l'apport d'azote durant la période de repos hivernal de l'arbre car ce dernier est incapable de l'absorber dans ces circonstances ; et 3) une récolte abondante qui fait que l'absorption est plus importante au cours des années « moins ». À l'inverse, le fractionnement de l'application de l'azote favorise l'absorption de l'élément par l'arbre et augmente la NUE. En régime pluvial, il est recommandé de fractionner l'application en apportant une partie de l'azote au sol juste avant une pluie et une partie en application foliaire. On peut également appliquer tout l'azote par voie foliaire en fractionnant l'apport (le traitement sera répété plusieurs fois). En régime irrigué, il convient d'appliquer l'azote dissous dans l'eau d'irrigation ; en raison de ses caractéristiques, l'irrigation fréquente minimise les pertes d'azote en permettant un plus grand fractionnement de l'application.



Figure 4b. Chlorose généralisée sur des feuilles occasionnée par une carence en azote (à droite) et feuilles normales (à gauche).

5.4.2. Potassium

Le potassium est l'élément consommé en plus grande quantité par la culture, environ 4,5 g K/kg d'olives, ce qui signifie qu'il s'agit d'un élément important dans la nutrition de l'olivier. Cette importance s'accroît en raison de l'influence du milieu de culture sur la disponibilité de potassium pour l'arbre.

Les carences ou les faibles niveaux de potassium sont communs dans une grande partie des oliveraies. Les arbres manquant de potassium présentent des nécroses apicales sur les feuilles et une défoliation des petites branches. Les années « plus », les fruits sont ridés et de dimensions inférieures à la normale (Figure 5). Ces carences se manifestent avec plus d'intensité dans les oliveraies conduites en régime pluvial et au cours des années les plus sèches, car la faible humidité du sol limite la diffusion de l'ion potassium (K⁺) dans la solution du sol et empêche son absorption par les racines. Les carences sont également fréquentes sur les sols caractérisés par une faible teneur en argile, car le pouvoir tampon du sol et le K disponible pour l'arbre sont inférieurs.



Figure 5a. Symptômes de carence de potassium sur des branches d'olivier.



Figure 5b. Sommets et bords de feuilles nécrotiques typiques d'une carence en potassium.

Les carences de potassium en oléiculture sont difficiles à corriger car le potassium apporté sous forme d'engrais est moins bien absorbé par les arbres qui se trouvent dans cette situation. C'est pourquoi il convient de surveiller tous les ans la concentration en potassium dans les feuilles et d'appliquer cet élément dès que les valeurs sont insuffisantes, avant d'arriver à un état de carence. Les doses d'essai à appliquer dans ces cas sont de l'ordre de 1 kg K/arbre au sol, à condition que l'humidité du sol ne soit pas un facteur limitant. En régime pluvial, 2 à 4 applications foliaires à 1 %-2 % de K en fonction du niveau de K ont donné des résultats satisfaisants, bien qu'il soit généralement nécessaire de répéter l'opération au cours des campagnes suivantes avant d'obtenir une concentration adéquate de K dans les feuilles. Il convient de procéder aux applications au printemps, car les jeunes feuilles absorbent de plus grandes quantités de potassium que les feuilles plus âgées. En général, des applications plus diluées et plus fréquentes ont donné de meilleurs résultats pour augmenter le niveau de potassium dans les feuilles que celles plus concentrées et moins fréquentes.

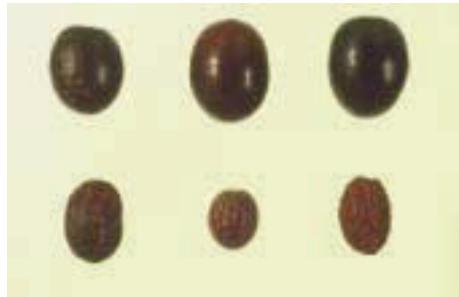


Figure 5c. Fruits normaux (en haut) et fruits provenant d'arbres manquant de potassium (en bas).

Dans le cas des applications au sol, il faut savoir que le potassium, contrairement à l'azote, est caractérisé par une faible mobilité, en particulier si la teneur en argile est élevée. Cela signifie que le potassium demeure à la surface du sol, sauf s'il est appliqué à proximité des racines.



5.4.3. Fer

La carence en fer, appelée chlorose ferrique, est un déséquilibre nutritif qui peut affecter les oliveraies plantées sur des sols très calcaires caractérisés par un pH élevé. Dans ce type de milieu, les formes ioniques du fer sont peu solubles et ne sont pas disponibles pour les plantes, bien qu'elles soient présentes en quantités suffisantes dans le sol. Les arbres affectés par la chlorose ferrique présentent



Figure 6a. Symptômes typiques de chlorose ferrique sur des feuilles d'olivier.

les symptômes caractéristiques de la chlorose sur les feuilles, une faible croissance des pousses et une diminution de la production (Figure 6). L'olive de table est moins appréciée car les fruits sont généralement plus petits et affectés également de chlorose. Ces symptômes sont le seul moyen de diagnostiquer la carence, car l'analyse foliaire n'est pas utile dans ce cas puisque le fer s'accumule dans les feuilles, même dans des situations de carence.

La carence en fer peut également être entraînée par une aération insuffisante du sol, condition qui augmente la concentration de l'anion bicarbonate dans la solution du sol et aggrave la chlorose ferrique. C'est la raison pour laquelle il convient d'éviter les situations d'inondation sur les sols calcaires.

Corriger la chlorose ferrique est difficile et coûteux. La meilleure solution pour les nouvelles plantations consiste à choisir une variété tolérante à cette anomalie. Dans les oliveraies déjà établies, on appliquera des chélates de fer dans le sol, car leur effet dure plus longtemps que celui d'autres produits, ou on injectera des solutions de fer dans le tronc des arbres, les effets de l'injection pouvant durer quatre ans ou plus.

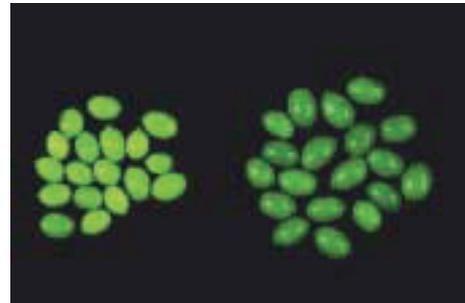


Figure 6b. Olives chlorotiques (à gauche) et fruits normaux (à droite).

5.4.4. Bore

L'olivier est une plante considérée comme ayant des besoins importants en bore. Il est en effet plus tolérant aux excès de bore dans la solution du sol que d'autres espèces fruitières. La disponibilité de bore dans le sol diminue dans des conditions de sécheresse et sur les sols caractérisés par un pH élevé, en particulier les sols calcaires. Les symptômes de la carence en bore sont fréquemment confondus avec les symptômes provoqués par une carence en potassium et on apporte parfois de manière erronée du bore pour corriger les anomalies provoquées par le potassium qui, comme on l'a vu plus haut, sont normalement plus fréquentes. Le diagnostic foliaire est indispensable avant toute application, car le bore est un élément qui, à des concentrations élevées, peut s'avérer toxique pour l'olivier.

En cas de carence diagnostiquée, celle-ci sera corrigée facilement en appliquant entre 25 et 40 grammes de bore par arbre au sol. Sur les sols calcaires ayant un $\text{pH} > 8$ et sur les sols conduits en régime pluvial, on préférera l'application foliaire de produits solubles à une concentration de 0,1 % de

bore avant la floraison. Une seule application peut être suffisante car le bore est un micro-élément indispensable aux plantes en petites quantités.

5.4.5. Calcium

La plupart des oliveraies étant plantées sur des sols d'origine calcaire, le calcium est disponible en quantités élevées pour les arbres. Seuls les sols acides, où le lessivage a éliminé une grande partie des bases échangeables, peuvent présenter des concentrations de calcium proches de valeurs pouvant provoquer des carences. Dans ce cas, on réalisera un amendement calcaire, c'est-à-dire un chaulage à base de carbonate de calcium ou d'oxyde de calcium, pour neutraliser l'acidité. La quantité à appliquer dépend de la texture et du pH du sol. Celle-ci sera calculée en fonction des résultats de l'analyse du sol.

5.4.6. Autres nutriments

Les autres nutriments ne posent généralement pas de problème en oléiculture, sauf dans des cas très spécifiques. Le **phosphore** est un élément important dans la fertilisation des cultures annuelles, mais dans le cas des cultures pérennes et ligneuses, son importance relative diminue en raison de la facilité de réutilisation de cet élément et de son exportation réduite (0,7 g P/kg d'olives). L'absence de réponse à l'engrais phosphorique est un phénomène général chez l'olivier. Néanmoins, en cas de carence, on peut apporter une quantité de 0,5 kg P/arbre que l'on corrigera en fonction de la réponse de l'arbre indiquée par les analyses foliaires. Le **magnésium** est un élément qui se trouve généralement en quantités importantes dans la solution du sol et son comportement dans le sol est similaire à celui du calcium. Dans les sols acides, les carences seront corrigées en neutralisant l'acidité, comme dans le cas du calcium, au moyen de carbonate de magnésium. Dans les sols neutres et sableux, le sulfate de magnésium peut permettre de corriger la carence diagnostiquée. Les carences en magnésium peuvent également être le résultat de fortes concentrations de potassium, de calcium ou d'ammonium, ions présents dans la solution du sol. Un rapport K d'échange/Mg d'échange supérieur à 1 favorise en effet la situation de carence.

En ce qui concerne les micronutriments, les quantités requises par l'olivier sont encore plus faibles que celles des autres éléments et, en général, l'arbre les trouve facilement dans la solution du sol. Le **cuivre** est normalement présent à des niveaux élevés dans les feuilles d'olivier car il est fréquemment utilisé comme produit fongicide dans les oliveraies. On fait rarement allusion au **manganèse** et au **zinc** en oléiculture, car ces éléments sont habituellement présents à des niveaux adéquats dans les feuilles. Les carences possibles ont sûrement une ampleur locale. Les amendements utilisés pour réduire le pH du sol peuvent apporter ces éléments à l'arbre et leur application foliaire sous forme de sulfate ou de chélates peut constituer une solution pour corriger une éventuelle carence que l'on ne parvient pas à corriger d'une autre manière. Dans le cas du zinc, on vérifiera qu'il ne provoque pas de phytotoxicité. Cet élément peut également être appliqué dans le sol sous forme de sulfate.

5.5. APPLICATION DES FERTILISANTS

Il existe trois modes d'application des fertilisants : au sol, pour favoriser leur absorption par les racines ; sur les feuilles, pour favoriser leur pénétration à travers le feuillage ; et dans le système vasculaire, au moyen d'injections dans le tronc ou sur les branches. Chaque mode d'application présente des avantages et des inconvénients.



5.5.1. Application au sol

C'est la manière traditionnelle d'apporter des fertilisants aux cultures et d'enrichir la solution du sol à proximité des racines pour que celles-ci absorbent les éléments nutritifs. Les applications peuvent être réalisées en surface ou en profondeur. Les premières sont généralement les plus communes pour leur facilité et leur moindre coût et elles sont indiquées pour l'application d'éléments mobiles comme l'azote. L'engrais peut être enterré au moyen d'un labour superficiel pour éviter la volatilisation de l'élément ou bien être incorporé au sol au moyen d'une irrigation ou juste avant une pluie. Dans le cas d'une application superficielle, on distribuera le produit sur toute la surface de la manière la plus homogène possible afin de le mettre en contact avec le plus grand nombre possible de racines absorbantes. On veillera à ne pas recourir à des concentrations trop fortes, qui provoqueraient une toxicité. L'application d'engrais en surface autour de l'arbre n'est pas une pratique adéquate (Figure 7).



Figure 7. Pratique erronée d'application de fertilisants à la surface du sol.

Les applications d'engrais en profondeur visent à mettre à la disposition de l'arbre, à proximité du plus grand nombre de racines absorbantes, des éléments nutritifs peu mobiles dans le sol comme le potassium, ou qui se bloquent facilement, comme le fer. Pour ne pas abîmer les racines des arbres, ces applications peuvent être réalisées au moyen d'une pompe grâce à laquelle on injectera des produits solubles (Figure 8). Six à huit injections sont nécessaires autour d'un arbre pour une application correcte.



Figure 8. Application de fertilisants par injection d'une solution nutritive dans le sol.

En général, les applications au sol présentent quelques inconvénients. Si un nutriment est bloqué dans le sol pour une raison inhérente au terrain, son apport dans le sol ne sera généralement pas efficace. Des exemples clairs en oléiculture sont le potassium et le fer, qui peuvent provoquer des carences tout en étant présents dans des quantités adéquates. Autre inconvénient : la faible efficacité des apports d'éléments mobiles. Bien que la bonne utilisation des techniques minimise le problème, les applications au sol d'éléments comme l'azote augmentent considérablement la contamination des eaux.

5.5.1.1. Fertigation

La fertigation consiste à appliquer l'engrais au sol par dissolution dans l'eau d'irrigation. L'irrigation localisée fréquente est particulièrement utile pour ce mode d'application. Il suffit d'installer un réservoir de fertilisation dans les oliveraies qui disposent d'un système d'irrigation. Les avantages sont le faible coût d'application des fertilisants et son efficacité, car les nutriments sont apportés à proximité des racines absorbantes et répartis dans le bulbe d'irrigation. Cette technique permet également de

fractionner l'application des fertilisants, ce qui est très important, en particulier dans le cas de l'azote. Le fractionnement permet en effet à l'arbre d'absorber le nutriment lorsqu'il en a besoin et de réduire les pertes par lessivage, ce qui augmente l'efficacité de l'utilisation de l'azote (NUE).

La fertigation présente toutefois certains inconvénients. Le premier est l'augmentation de la salinité de l'eau d'irrigation due à la dissolution des fertilisants dans l'eau, ce qui peut provoquer des effets négatifs sur les arbres si la salinité est élevée. On évitera ce risque en fractionnant correctement l'application des nutriments. La fertigation exige l'utilisation de produits solubles dans l'eau. Il convient également de faire particulièrement attention aux mélanges de composés, qui ne sont pas toujours nécessaires, pour éviter que leur précipitation ne provoque l'obturation des goutteurs. L'acidité de la solution doit donc être réduite. La solution fertilisante sera ajoutée au milieu de l'opération d'irrigation pour que celle-ci commence et s'achève avec de l'eau propre, sans mélange avec des fertilisants. La fertigation exige un entretien particulier du réseau. Le système devra être convenablement nettoyé.

L'azote étant l'élément le plus important en oléiculture, c'est aussi le plus fréquemment appliqué par fertigation. La plupart des engrais azotés peuvent être appliqués grâce à ce système, mais ils présentent des différences qu'il convient de prendre en considération. L'urée et les nitrates sont très mobiles dans l'eau alors que l'ammonium se fixe dans les particules du sol et se déplace plus lentement ; toutefois, il se transforme rapidement en nitrate et se déplace alors plus facilement. En ce qui concerne l'acidité, le sulfate d'ammoniaque a plus de pouvoir acidifiant que les autres, ce qui peut constituer un avantage, sauf sur les sols acides où son emploi peut être limitant. Indépendamment de l'engrais azoté utilisé, les restes d'azote dans les tuyaux d'irrigation peuvent favoriser la prolifération de micro-organismes qui provoqueraient des obturations dans le réseau d'irrigation. Cela peut être évité si l'application des fertilisants s'achève avant la fin de l'irrigation comme on l'a indiqué plus haut. Toutefois, l'eau d'irrigation comporte souvent des quantités appréciables de nitrates, ce qui n'arrange pas le problème.

En ce qui concerne les autres nutriments, on soulignera la facilité d'application des composés potassiques par fertigation, en particulier des nitrates, sulfates et chlorures. À l'inverse, les engrais phosphoriques sont ceux qui produisent le plus d'obstruction car ils réagissent au calcium de l'eau d'irrigation et donnent lieu à des précipités. C'est pourquoi on emploiera en cas de besoin des produits préparés pour la fertigation ou on acidifiera la solution avec de l'acide sulfurique. Quant aux micronutriments, ils peuvent être apportés sous forme de sulfates et de chélates, bien que ces derniers soient généralement plus solubles.

5.5.2. Fertilisation foliaire

La fertilisation foliaire est une technique basée sur la capacité d'absorption des produits chimiques par les feuilles (Figure 9). Par rapport à l'application au sol, la fertilisation foliaire présente l'avantage d'une utilisation plus rapide et plus efficace du produit. Cette technique permet de réduire la quantité d'azote à appliquer car elle augmente la NUE et réduit ainsi les risques de pollution du sol et des eaux. La fertilisation foliaire est nécessaire lorsqu'il faut apporter des éléments bloqués dans le sol en raison d'une caractéristique inhérente à celui-ci.

La fertilisation foliaire est généralement plus économique lorsqu'il s'agit d'appliquer des micronutriments, car l'olivier a besoin de ces éléments en petites quantités. Lorsque l'on applique des



Figure 9. Application foliaire de fertilisants.

traitement dès que les conditions seront de nouveau favorables car le produit pourrait ne pas avoir été absorbé par la feuille. Toutefois, si le lessivage se produit alors qu'une partie du produit a déjà été absorbée, la difficulté consiste à savoir quelle quantité est concernée, s'il est nécessaire de répéter l'application et à quelle dose. Un autre inconvénient de la fertilisation foliaire est la phytotoxicité à des concentrations élevées, d'où la difficulté de décider de répéter l'application lorsqu'une partie du produit a été absorbée. Enfin, si la fertilisation foliaire s'avère peu efficace avec certains produits, en particulier les composés ferreux, elle reste une technique intéressante car elle permet de fractionner l'application des macronutriments dans l'oliveaie conduite en régime pluvial.

micronutriments comme l'azote ou le potassium, il est nécessaire d'augmenter le nombre d'applications car la feuille n'est pas capable d'assimiler en une seule application les quantités requises pour corriger la carence. Le coût de l'application peut être réduit si l'on applique les nutriments en même temps que les pesticides et que l'on profite du même traitement pour appliquer les deux produits.

L'un des inconvénients de la fertilisation foliaire est le risque de lessivage du produit en cas de pluie modérée. Dans ce cas, on répétera immédiatement le

5.5.2.1. Facteurs affectant l'absorption des nutriments par la feuille

L'absorption foliaire des nutriments est influencée par les conditions environnementales et en particulier par l'humidité et la température. L'absorption a lieu lorsque la feuille reste humide et elle cesse lorsque celle-ci est sèche. Si des restes de matière active n'ont pas encore pénétré, ceux-ci se solidifieront à la surface de la feuille et l'absorption pourra reprendre si la feuille est de nouveau mouillée (sans excès pouvant entraîner le lessivage). L'application de nutriments est donc plus efficace si elle a lieu de nuit, lorsque l'humidité relative est supérieure, et elle diminue si elle est effectuée dans la journée, en particulier les jours de grande chaleur ou au milieu de la journée lorsque la température est plus élevée, ce qui provoque une diminution de l'humidité relative. L'utilisation d'agents mouillants ou tensioactifs augmente l'humectation de la feuille au fur et à mesure que diminue la tension superficielle, ce qui réduit l'angle de contact entre le liquide et la surface de la feuille. Leur emploi favorise l'absorption foliaire du produit appliqué.

L'âge de la feuille joue un rôle important dans l'absorption. Les feuilles plus âgées absorbent moins bien les nutriments. C'est pourquoi il convient de procéder aux applications foliaires lorsque les feuilles sont encore jeunes, c'est-à-dire, dans l'hémisphère Nord, entre les mois d'avril et de juillet.

La formulation chimique et la concentration du produit influencent également l'absorption des nutriments par voie foliaire. Un produit plus dilué est généralement mieux absorbé par les feuilles que s'il est plus concentré. En outre, cette pratique réduit le risque de phytotoxicité.

5.5.3. Injections dans le tronc des arbres

L'injection de produits chimiques dans le système vasculaire constitue le troisième mode d'application des produits. Bien que cette technique soit moins employée dans l'application de nutriments, elle est utilisée plus fréquemment dans le contrôle des maladies et des ravageurs que pour la fertilisation. Son emploi est indiqué lorsque les applications au sol ou la fertilisation foliaire ne sont pas suffisamment efficaces. C'est pourquoi son utilisation en oléiculture se limite au traitement de la chlorose ferrique. Les injections dans le tronc empêchent la contamination de l'air et de l'eau puisque la totalité du produit reste à l'intérieur de l'arbre, ce qui permet en outre une utilisation plus efficace du produit.

Les méthodes d'injection mises au point sont nombreuses mais la diffusion commerciale de la plupart d'entre elles est restée limitée en raison de leur faible efficacité ou de leur coût élevé, ce qui a entraîné une utilisation moins répandue de cette technique. Globalement, les méthodes d'injection se basent sur deux procédures distinctes : infusion et injection. La première procédure dépend du courant transpiratoire de l'arbre pour introduire le produit dans le xylème. Deux méthodes sont généralement utilisées en oléiculture pour appliquer des composés riches en fer. La première méthode est dite *d'imprégnation de l'écorce* et elle consiste à appliquer le produit sur l'écorce des arbres comme s'il s'agissait d'effectuer un chaulage : se diffusant à travers l'écorce, le produit atteint ainsi le tissu conducteur de l'arbre (Figure 10). L'utilité de la méthode est très limitée car elle est liée aux possibilités de mouvements des solutés à travers les tissus de l'écorce qui constitue une barrière importante. La deuxième méthode consiste à incruster des capsules solides du produit à appliquer (*implants*) d'une taille comprise entre 8 et 13 mm de diamètre et entre 3 et 4 cm de long, dans le tronc des arbres. Les fluides du xylème dissolvent le matériel incrusté, qui est entraîné par les courants transpiratoires de l'arbre et se répand à l'intérieur de la plante. Pour que le traitement soit efficace, il est nécessaire d'incruster un grand nombre d'implants autour du tronc pour garantir une distribution homogène. L'un des inconvénients de cette méthode est que la dissolution par les fluides du xylème n'a lieu que lorsque



Figure 10. Écorce imprégnée de composés de fer.



Figure 11. Dégâts provoqués par la pose d'implants dans le tronc d'arbres.

la coupe est encore fraîche : une fois que la blessure est cicatrisée, le produit n'est en effet plus en mesure de pénétrer dans l'arbre. Pendant la période d'activité du cambium, cette cicatrisation peut intervenir très rapidement. Avec le temps, l'implant non dissous qui reste incrusté dans le bois produit des aires nécrotiques qui finissent par abîmer le tronc (Figure 11).

La deuxième procédure est celle de l'injection à proprement parler. Le produit se présente sous forme liquide et est introduit dans l'arbre au moyen de la pression exercée par un appareil conçu à cet effet, ce qui élimine



les problèmes rencontrés avec les méthodes antérieures. Les systèmes mis au point sont nombreux. On distingue les systèmes à haute pression, qui injectent la solution à des pressions comprises entre 0,7 et 1,4 MPa, et les systèmes à basse pression, qui permettent d'introduire le produit à des pressions inférieures à 100 kPa. Ces derniers sont aujourd'hui les plus utilisés car ils sont faciles d'emploi et permettent une distribution efficace du produit. L'appareil de la Figure 12 est l'un des plus utilisés : il est muni d'un injecteur en plastique que l'on place sur le tronc ou sur les branches principales et d'une capsule pressurisée, conçue dans un matériau extensible et élastique, qui contient le liquide à injecter. La pression exercée par la capsule permet au produit d'atteindre les courants transpiratoires de l'arbre et de se répandre correctement. Le nombre d'injections par arbre dépend de la taille de l'arbre mais, en général, entre une et trois injections suffisent. L'effet d'un traitement contre la chlorose ferrique peut durer au moins quatre ans.



Figure 12. Injection à basse pression.

Le principal inconvénient des techniques d'injection réside dans les risques de phytotoxicité si elles ne sont pas employées correctement. À cet égard, on a observé que ces risques sont plus grands lorsque les arbres sont traités au printemps, au moment de l'expansion foliaire. Les injections devraient donc avoir lieu de préférence à partir du milieu du mois de juin ou en hiver.

5.6. RÉSUMÉ

Compte tenu de ce qui précède et des directives de l'IOBC (2002) pour la production intégrée de l'olivier, on citera ci-après les pratiques de fertilisation qui peuvent être considérées comme obligatoires, recommandées et non recommandées ou interdites en oléiculture.

Pratiques obligatoires

- 1.- Déterminer les besoins nutritifs au moyen d'un diagnostic de l'état nutritionnel de l'olivier basé sur une analyse foliaire réalisée comme indiqué précédemment. Dans certains cas, le diagnostic doit être complété par l'observation visuelle d'éventuels symptômes et par une analyse du sol.
- 2.- Procéder à l'échantillonnage des feuilles durant le mois de juillet dans l'hémisphère Nord. Les feuilles doivent être prélevées avec leur pétiole sur les branches de l'année. Elles doivent être totalement ouvertes.
- 3.- Veiller à ce que tous les éléments minéraux se trouvent à l'intérieur de leur intervalle adéquat dans les feuilles.
- 4.- Apporter un nutriment uniquement si le niveau constaté est proche du niveau de carence, à condition que cette situation ne soit pas provoquée par l'action d'un autre nutriment, auquel cas il faudrait agir sur ce dernier. Le potassium doit être apporté dès que l'on observe un faible niveau dans les feuilles.

- 5.- Fractionner l'apport d'azote, qu'il soit appliqué au sol ou par voie foliaire. En application au sol, il convient de l'enterrer ou de l'incorporer en même temps que l'eau de pluie ou d'irrigation. En fertigation, apporter la quantité correspondant à chaque jour d'irrigation. Ne pas réaliser d'apport d'engrais après l'été.
- 6.- Fractionner l'application foliaire de potassium.
- 7.- S'assurer que les applications en superficie concernent toute la surface (pas seulement sous les arbres), sauf en cas de fertigation.

Pratiques recommandées

- 1.- Diviser l'oliveraie en unités homogènes en termes de sol, d'âge, de variétés, de système de culture, etc.
- 2.- Effectuer une analyse du profil du sol, de préférence avant la plantation, afin de connaître les limitations possibles du profil à la culture de l'olivier.
- 3.- Réaliser une analyse de la fertilité du sol tous les 3 à 5 ans, selon la fertilité et l'intensité des cultures, et à chaque fois que des concentrations élevées de sodium, de chlore ou de bore sont observées dans les feuilles.
- 4.- Procéder à l'échantillonnage du sol à deux profondeurs, normalement entre 0 et 30 cm et entre 30 et 60 cm, lorsque la profondeur du sol le permet, conformément à la procédure décrite dans le texte.
- 5.- Si l'analyse foliaire indique une concentration d'azote très supérieure à l'intervalle adéquat ou dans les limites supérieures de cet intervalle, analyser l'eau d'irrigation le cas échéant et identifier l'origine du problème.
- 6.- En cas de nécessité d'apports de nutriments, commencer par les doses d'essai indiquées dans le texte puis corriger les doses en fonction des analyses foliaires.
- 7.- Procéder aux applications foliaires de nutriments au printemps lorsque les jeunes feuilles sont encore tendres. Éviter de réaliser des applications au milieu de la journée et opérer de préférence le soir en cas d'évaporation élevée. L'emploi d'agents mouillants est recommandé pour favoriser l'absorption foliaire des produits.
- 8.- Réaliser les apports de potassium au sol à proximité des racines, en particulier sur les sols argileux.
- 9.- Dans les analyses périodiques de la fertilité du sol, s'assurer que le rapport K/Mg n'est pas supérieur à 1 pour éviter des carences de magnésium causées par de fortes concentrations de potassium.

Pratiques non recommandées ou interdites

- 1.- Appliquer un nutriment alors que l'apport n'est pas justifié par un diagnostic foliaire, à l'exception du fer, car l'analyse n'est pas efficace pour diagnostiquer cette carence.
- 2.- Pratiquer une fertilisation annuelle d'entretien avec de l'azote si cet élément se trouve dans les limites adéquates.
- 3.- Apporter plus de 150 kg d'azote par hectare.
- 4.- Appliquer tout l'azote en un seul apport.
- 5.- Apporter l'azote durant le repos hivernal.
- 6.- Réaliser des applications foliaires de composés ferreux qui ne sont pas efficaces pour corriger cette carence.
- 7.- Injecter des composés ferreux dans le système vasculaire des arbres pendant l'époque d'expansion foliaire.



- 8.- Appliquer des engrais composés, sauf dans les cas exceptionnels où plus d'une carence a été observée. Évaluer l'interaction entre les éléments.
- 9.- Appliquer du bore au sol sur des terrains calcaires cultivés en régime pluvial et caractérisés par un $\text{pH} > 8$.

BIBLIOGRAPHIE

- FAO, 1984. Los análisis de suelos y de plantas como base para formular recomendaciones sobre fertilizantes. Boletín de suelos 38/2, Roma.
- Fernández-Escobar R., Moreno R., García-Creus M., 1999. Seasonal changes of mineral nutrients in olive leaves during the alternate-bearing cycle. *Scientia Horticulturae*, 82(1-2), 25-45.
- Fernández-Escobar R., 2004. Fertilización. D. Barranco, R. Fernández-Escobar, L. Rallo (Eds.), *El Cultivo del Olivo*, 5ª Edición, Mundi-Prensa, Madrid.
- Fernández-Escobar R., Beltrán G., Sánchez-Zamora M.A., García-Novelo J., Aguilera M.P., Uceda M., 2006. Olive oil quality decreases with nitrogen over-fertilization. *HortScience* 41(1), 215-219.
- IOBC, 2002. Guidelines for integrated production of olives. *IOBC/WPRS Bulletin* 25.
- Parra M.A., Fernández-Escobar R., Navarro C., Arquero O., 2003. Los suelos y la fertilización del olivar cultivado en zonas calcáreas. Mundi-Prensa, Madrid.



6



Irrigation 

Riccardo d'Andria et Antonella Lavini
CNR-Istituto per i Sistemi Agricoli e Forestali del Mediterraneo
(CNR-ISAFoM)
Via Patacca 85,
80056 Herculano, Napoli (Italie)

SOMMAIRE

- 6.1. INTRODUCTION
 - 6.2. BESOINS HYDRIQUES
 - 6.2.1. Disponibilité hydrique adéquate
 - 6.2.2. Disponibilité d'eau dans le sol
 - 6.2.3. Climat et évapotranspiration
 - 6.2.4. Calcul des besoins hydriques de l'olivier (ETM) à partir de k_c expérimentaux
 - 6.2.5. Calculs des besoins hydriques de l'olivier (ETM) à partir de k_c calculés
 - 6.3. BILAN HYDRIQUE DU SOL ET ESTIMATION DES DOSES D'IRRIGATION
 - 6.3.1. Programmation de l'irrigation
 - 6.3.2. Irrigation en condition de déficit
 - 6.4. IRRIGATION LOCALISÉE
 - 6.4.1. Caractéristiques des systèmes d'irrigation localisée
 - 6.4.2. Caractéristiques des organes de distribution
 - 6.4.3. Nombre et position des organes de distribution
 - 6.4.4. Irrigation souterraine
 - 6.5. QUALITÉ DE L'EAU
 - 6.5.1. Traitement de l'eau
 - 6.5.2. Irrigation avec de l'eau saline
- CONCLUSIONS
RÉSUMÉ
BIBLIOGRAPHIE

L'irrigation

6. Irrigation

6.1. INTRODUCTION

L'intérêt pour l'irrigation en oléiculture a surtout porté jusqu'à présent sur les oliveraies consacrées à la production d'olives de table, les exploitations destinées à la production d'olives à huile étant traditionnellement conduites en régime pluvial. Toutefois, de nombreuses expériences démontrent que l'irrigation est un instrument fondamental pour l'amélioration qualitative et quantitative des productions.

L'intérêt du marché pour les productions oléicoles oblige les opérateurs à proposer des produits de qualité élevée tout en garantissant la durabilité économique de l'activité de production. Dans les conditions climatiques caractéristiques de la Méditerranée, ces objectifs sont toutefois difficiles à atteindre sans une gestion correcte de l'irrigation.

L'olivier est une espèce particulièrement résistante aux stress hydriques. Cette plante est en effet caractérisée par un certain nombre d'adaptations anatomiques et de mécanismes physiologiques qui lui permettent de préserver ses fonctions vitales, même dans des conditions très sévères. Parmi ces mécanismes, on citera l'aspect tomenteux (duveteux) de la face inférieure de la feuille ; la conductance élevée des tissus ; le nombre réduit de stomates (dont la densité est comprise entre 200 et 700 mm⁻²) et leur position en petites dépressions sur la face supérieure de la feuille, qui contribuent à limiter la transpiration ; le diamètre réduit des vases xylématiques, qui permettent à la plante un flux de transpiration à des potentiels hydriques élevés ; les caractéristiques de l'appareil racinaire, qui expliquent l'aptitude de la plante à utiliser l'eau du sol à des potentiels inférieurs à la valeur communément citée comme point de flétrissement ; l'efficacité élevée des feuilles, capables de réaliser une activité de photosynthèse et de transpiration à des potentiels hydriques foliaires de ≈ 6 ou ≈ 7 Mpa ; un mécanisme efficace de régulation de l'activité stomatique, qui permet de moduler les échanges gazeux en fonction des variations de la demande évaporative et de réduire le flux de transpiration ; et une capacité élevée d'augmenter le rapport entre les racines et la frondaison dans des conditions de déficit hydrique, qui permet d'accroître le volume du sol exploré par les racines.

L'activation de ces mécanismes de défense suppose toutefois une dépense énergétique notable de la part de la plante, qui peut entraîner une chute de la production et une réduction sensible de la croissance végétative, situation susceptible de s'avérer compromettante, non seulement pour les productions de l'année en cours mais également pour celles des années suivantes (Tableau 1)

L'eau est une ressource de plus en plus demandée à des fins civiles et industrielles, ce qui signifie qu'elle est de moins en moins disponible à des fins d'irrigation dans la plupart des régions méditerranéennes et que les coûts d'approvisionnement et de distribution tendent à augmenter.

**TABLEAU I**

Effets du déficit hydrique sur les processus de croissance et de production de l'olivier selon les moments où il se produit.

Phases du cycle de végétation et de production	Période	Effet du déficit hydrique
Croissance végétative	fin été-automne	Développement réduit des bourgeons à fleurs et des pousses l'année suivante
Formation des bourgeons à fleurs	février-avril	Réduction du nombre de fleurs ; avortement ovarien
Floraison	mai	Réduction du nombre de fleurs fécondées
Nouaison	mai-juin	Réduction du nombre de fruits noués (augmentation de l'alternance)
Croissance initiale du fruit	juin-juillet	Diminution de la taille du fruit (moins de cellules/fruit)
Croissance postérieure du fruit	août-novembre	Diminution de la taille du fruit (cellules du fruit plus petites)
Lipogenèse	juillet-novembre	Teneur plus faible d'huile/fruit

Source : Modifié à partir de Beede et Goldhamer (1994).

Les opérateurs doivent donc gérer au mieux l'irrigation pour :

- éviter de gaspiller l'eau,
- améliorer l'efficacité de l'emploi de cette ressource,
- adopter des systèmes adéquats de distribution.

6.2. BESOINS HYDRIQUES

Le calcul des besoins hydriques dans les différents milieux de production oléicole n'est possible que si l'on connaît bien et si l'on définit correctement les principaux paramètres édaphiques et climatiques.

On utilisera alors des méthodes de détermination simples à appliquer pour définir au mieux les besoins hydriques de la culture et adopter les « décisions d'irrigation » les plus adaptées.

6.2.1. Disponibilité hydrique adéquate

Pour gérer correctement l'irrigation, il convient de bien connaître le cycle biennal de l'olivier, en particulier si l'on a recours à une stratégie d'irrigation en déficit (Fernandez et Moreno, 1999).

Dans un environnement méditerranéen, les pousses apparaissent entre février et août et, si les conditions climatiques sont favorables, une reprise végétative peut même se produire en automne. À la fin de l'hiver, avec l'augmentation de la température, on assiste à la formation des inflorescences et à l'épanouissement de la fleur. La floraison commence au printemps. Si aucun incident ne retarde la coulure des fruits, il suffit d'un pour cent d'induction florale pour obtenir

une bonne production. L'abscission des fleurs et des fruits peut avoir lieu entre cinq et six semaines après la pleine floraison.

Le noyau (endocarpe) de l'olive (drupe) commence à se lignifier (durcir) entre quatre et six semaines après la nouaison. La croissance du fruit se poursuit alors pendant trois mois. Celle du mésocarpe (pulpe) continue pendant tout l'été, avec l'évolution sigmoïdale qui la caractérise. Le fruit mûrit au moment du changement complet de couleur et la croissance peut être considérée comme terminée au début de la véraison.

Compte tenu de ces quelques informations sur la biologie de l'olivier, il est évident que la programmation de l'irrigation devra tenir compte des interactions entre les nécessités hydriques de l'olivier et ses différents stades phénologiques :

1) Au moment du débourrement, la disponibilité d'eau et de substances nutritives est fondamentale pour garantir la croissance végétative, la formation de fleurs parfaites, la floraison et la nouaison.

Entre le début de la différenciation des bourgeons (en bourgeons à bois ou à fleurs) et la floraison, le déficit hydrique doit être absolument évité car il aurait des conséquences non seulement sur la qualité mais également sur la quantité de production des fleurs et donc sur le nombre de fruits noués. Quatre-vingt pour cent des cellules du fruit se forment entre le début de la croissance du fruit et le durcissement du noyau. La chute des fruits noués est étroitement liée au stress hydrique et à l'état nutritionnel de la plante. Cette phase est considérée comme étant la plus sensible de tout le cycle de production. Il est donc essentiel d'assurer un bon apport hydrique et nutritionnel pendant cette période. Celle-ci coïncidant également avec la croissance végétative, le maintien d'une surface foliaire adéquate est nécessaire pour garantir une quantité suffisante d'assimilats pour la production de l'année et pour la préparation des organes de production de l'année suivante.

2) Durant la phase de durcissement du noyau, l'expérience montre que l'olivier manifeste une moindre sensibilité au stress hydrique. Pendant cette période, il sera donc possible de réduire le volume des apports d'eau (réduction du pourcentage d'ETM), ce qui permettra une économie significative du volume saisonnier d'irrigation sans entraîner d'effets négatifs significatifs sur la production.

3) La lipogenèse (synthèse des triglycérides) et le remplissage des cellules ont lieu durant la phase de maturation du fruit jusqu'à la récolte. C'est donc une période où la plante est très sensible au stress hydrique, surtout si la carence a lieu en été, car c'est le moment où la dimension finale des fruits se définit et où les réserves nécessaires pour assurer un potentiel correct de production pour l'année suivante s'accumulent dans la plante.

6.2.2. Disponibilité d'eau dans le sol

Les différents types de sol ont des caractéristiques hydrologiques bien définies qui influencent la capacité du sol à mettre l'eau à la disposition des racines. Un sol est saturé lorsque macropores et micropores sont pleins. Une fois que toute l'eau des macropores pénètre dans le sol, celui-ci se trouve en situation de capacité au champ (C.C.). Dans ces conditions, la disponibilité d'eau pour la culture est maximale. Elle commence alors à diminuer jusqu'au point dit de flétrissement (PF.) en raison de l'effet de la consommation hydrique et des processus d'évaporation du sol, offrant



progressivement une plus grande résistance à l'extraction (Tableau 2). Le point de flétrissement est donc atteint lorsque l'eau est retenue dans le sol avec une force telle que les plantes ne parviennent plus à l'extraire.

TABLEAU 2.

Valeurs de la force nécessaire pour l'extraction de l'eau (h) dans différentes conditions d'humidité du sol.

h cm d'eau	h MPa	État hydrique du sol
10	-0,01	Juste après l'irrigation
316	-0,03	Capacité au champ
800	-0,08	Sec (limite du tensiomètre)
15 185	-1,5	Point de flétrissement ¹

¹ La valeur de -1,5 Mpa est une convention : en effet, l'olivier absorbe l'eau au-delà du point de flétrissement et maintient une activité foliaire à une valeur d'environ -2,5 Mpa (Fernández, 2001).

La différence entre C.C. et P.F. représente la réserve utilisable (R.U.) par les plantes.

Le contenu hydrique à la C.C. et au P.F. variant en fonction des caractéristiques physiques et de texture du sol (argileux, limoneux, sableux, équilibré, etc.), la R.U. sera également différente selon les typologies de sol (Tableau 3). Celle-ci sera plus élevée dans les sols argileux (plus grande microporosité) que dans les sols sableux (moindre microporosité).

TABLEAU 3.

Teneur en eau au point de flétrissement (P.F.; - 1,5 MPa), à la capacité au champ (C.C.; - 0,03 MPa) et réserve utilisable (R.U.) selon les types de sol.

Sol	P.F.	C.C.	R.U.
	% volume		
sableux	2	3	1
sablo-limoneux	4	7	3
limono-sableux	5	9	4
limoneux	6	13	6
limono-argileux	10	18	8
équilibré	14	24	10
équilibré argileux	36	17	19
très argileux	26	46	20

La teneur en eau du sol peut être exprimée en unité de poids (g g^{-1}), en volume (g cm^{-3}) et en pourcentage d'eau dans le sol, en multipliant la teneur en eau en volume par 100.

Pour calculer la R.U. en mm, on utilisera la formule suivante :

$$R.U. = \frac{R.U.}{100} \quad Pr = \frac{(C.C.-P.F.)}{100} Pr$$

R.U. = réserve utilisable (mm)

Pr = profondeur du sol exploré par les racines (mm)

C.C. = capacité au champ (% volume)

P.F. = point de flétrissement (% volume)

La valeur de Pr dépend des caractéristiques du sol (texture, profondeur) et de la profondeur de l'appareil racinaire de la culture (âge et développement des plantes). Pour l'olivier, la couche de sol où se produit la plus grande extraction de la solution circulante se situe entre 50 cm et 1 m et dans le cas d'arbres adultes plantés sur des sols profonds, les racines peuvent se développer jusqu'à 2 m de profondeur (Fernández *et al.*, 1999). Même ainsi, pour estimer le bilan hydrique, on considérera une profondeur de 1 m pour une oliveraie adulte.

Les termes nécessaires pour estimer la R.U. sont indispensables pour connaître l'environnement sur lequel on agit. On les obtiendra facilement au moyen d'analyses en laboratoire.

La réserve facilement utilisable (R.F.U.) est la fraction de réserve utilisable (R.U. _{mm}) qui peut être utilisée par les plantes sans qu'elles ne manifestent de symptômes de stress hydrique. La quantité de R.F.U. est caractéristique de l'espèce cultivée (capacité spécifique de la plante à extraire l'eau). Pour l'olivier, on considère que la R.F.U. oscille entre 65 % (Fernandez, 2001) et 75 % de la R.U. (Orgaz et Fereres, 1997).

Pour calculer la R.F.U. moyenne, on pourra utiliser la formule suivante :

$$R.F.U. = 0,70 \quad R.U.$$

R.F.U. = réserve facilement utilisable (mm)

R.U. = réserve utilisable (mm)

Pour définir la teneur en eau d'un sol, différentes méthodes peuvent être utilisées. Parmi les plus employées, on citera :

1) la méthode gravimétrique, qui consiste à prélever des échantillons de sol et à mesurer la teneur en eau par unité de poids de sol, en calculant la différence entre le poids de l'échantillon humide et celui de l'échantillon séché en étuve (105 °C) et en le rapportant au poids sec. La transformation en volume s'obtient en multipliant la valeur en poids sec par la densité apparente du sol (t m⁻³).

Cette méthode exige du temps mais elle est peu coûteuse.



$$H (\%ps) = \frac{Pf - Ps}{Ps} 100$$

$H_{\%ps}$ = humidité de l'échantillon (% du poids sec)

Pf = poids frais de l'échantillon

Ps = poids sec de l'échantillon

$$H (\% vol.) = H (\% ps) Da$$

$H_{\%vol}$ = humidité de l'échantillon (% du volume)

Da = densité apparente du sol

2) La méthode de la sonde à neutrons : la sonde est constituée d'une source de neutrons rapides et d'un détecteur de neutrons lents. Lorsque les neutrons rapides entrent en collision avec les atomes d'hydrogène, ils sont déviés et se dispersent, perdant alors leur énergie cinétique. Le flux de neutrons lents, proportionnel à la teneur en eau, est converti en nombre au moyen d'un compteur. Une courbe de calibrage - qui dépend du type de sol -, permet de déterminer la teneur en eau du terrain par unité de volume à partir du nombre 'lu' par le détecteur.

L'inconvénient de cette méthode est qu'elle ne peut pas être utilisée sur des sols crevassés ou caillouteux et que le coût de la manutention et de l'achat de la sonde est plutôt élevé. En outre, il est nécessaire de disposer de personnel qualifié et, dans de nombreux pays, des autorisations spécifiques sont demandées pour la détention et l'utilisation de cet instrument. En revanche, cette méthode peut être utilisée pour une large gamme d'humidité du sol.

3) La méthode de la réflectométrie dans le domaine temporel (TDR) : l'instrument transmet des ondes électromagnétiques à une sonde qui les renvoie à un récepteur qui enregistre la vitesse de propagation et l'ampleur du signal. L'instrument fournit la lecture de la teneur en eau en unité de volume.

Le coût de l'équipement est plutôt élevé et pour les sols organiques et salins, un calibrage spécifique est nécessaire. En outre, des précautions particulières doivent être prises pour l'installation des sondes (excavation de tranchées) pour des mesures à des profondeurs supérieures à 50/60 cm, en particulier sur les sols argileux.

4) La méthode du domaine fréquentiel (FD) : il s'agit également d'une méthode automatisée et précise pour déterminer la teneur en eau du sol qui permet de mesurer la capacitance et la conductivité à une fréquence fixe. L'instrument est muni de senseurs caractérisés par une fréquence comprise entre 10 et 150 MHz. Un courant sinusoïdal passe à travers une résistance formée de deux électrodes. Les propriétés diélectriques du sol sont estimées à partir de la tension mesurée entre les deux électrodes et de la différence de phase entre le courant et la tension. Les électrodes peuvent avoir différentes formes (en plaques, à anneaux ou cylindriques). La technique est facile à utiliser et peut être utile lorsque l'on emploie un nombre élevé de senseurs.

Ces dernières années, de nombreux instruments basés sur ces deux dernières techniques (TDR et FD) sont apparus sur le marché. Certains sont munis d'applications informatiques qui permettent de visualiser les données sur un mode numérique ou graphique.

Toutes les méthodes conçues pour calculer la teneur en eau du sol fournissent des estimations fiables si l'on dispose d'un nombre élevé de points de mesure.

6.2.3. Climat et évapotranspiration

La connaissance des paramètres environnementaux (température, humidité relative de l'air, vent, radiation solaire, etc.) est nécessaire pour la programmation de l'irrigation car ces variables influencent la transpiration et l'évaporation de l'eau (à partir de la plante et du sol).

La transpiration est l'eau que perd la plante sous l'effet du climat (température, humidité, vent) et des processus métaboliques nécessaires pour la production de biomasse. Cette quantité d'eau, ajoutée à celle perdue par évaporation de la surface du sol nu, constitue ce qu'on appelle l'évapotranspiration maximale de la culture en conditions hydriques optimales (ETM), cette consommation devant être satisfaite par la pluie et/ou par l'irrigation pour éviter tout stress hydrique à la plante.

Le besoin hydrique (B.H.) peut être calculé au moyen de la formule suivante :

$$\text{B.H.} = \text{ETM} - \text{Pe} - \text{R} \quad [1]$$

Pe = précipitations effectives (mm)

R = réserve hydrique du sol (mm)

La réserve hydrique (R) représente l'eau accumulée dans le profil du sol exploré par les racines qui peut être consommée par la culture.

Pour éviter le stress hydrique, la teneur en eau du sol ne doit jamais être inférieure à la réserve facilement utilisable (R.F.U) telle que définie précédemment.

$$\text{R (mm)} = [\text{ETM (mm jour}^{-1}\text{)} - \text{Pe (mm jour}^{-1}\text{)}] n^{\text{bre}} \text{ de jours}$$

Si l'ETM est inférieure à la Pe, la réserve du profil du sol considéré se recharge grâce aux apports hydriques naturels. À l'inverse, si l'ETM est supérieure à la Pe, la réserve diminue.

La pluie efficace (Pe) est l'eau de pluie qui pénètre dans le sol et reste à disposition de la culture. La Pe est toujours inférieure à la précipitation totale et elle dépend de son intensité, des caractéristiques hydrologiques et de disposition du terrain, des techniques de labour du sol qui influencent la vitesse d'infiltration de l'eau, et du développement de la frondaison qui intercepte une partie des précipitations qui tendra à s'évaporer avant d'atteindre le sol. La Pe peut varier entre 90 % des précipitations totales en cas de pluies de faible intensité sur un sol sableux, sec et labouré, et 50 % en présence de pluies intenses sur des sols non labourés, argileux, humides et en pente. Vu la diversité des variables qui influencent l'estimation de la Pe, pour programmer l'irrigation dans les régions oléicoles méditerranéennes, on considère généralement qu'environ 70 % des précipitations totales sont efficaces. Les pluies de faible volume qui se produisent lorsque le climat est sec et chaud n'atteignent en effet que la partie superficielle du sol et se perdent par évaporation avant que la plante ne puisse



les utiliser. Pendant l'été, il est recommandé de ne pas tenir compte des pluies inférieures à 6 - 10 mm sur 24 heures.

L'autre paramètre de l'équation [1], l'ETM, peut être calculé selon la formule proposée par la FAO (Doorenbos et Pruitt, 1977 ; Allen *et al.*, 1998) :

$$ETM = ET_0 kc \quad [2]$$

ET_0 = évapotranspiration de la culture de référence (mm)

kc = coefficient cultural

L' ET_0 est la demande évapotranspirative de l'atmosphère, quels que soient le type de culture, le stade phénologique et les techniques de culture adoptées.

Pour estimer l' ET_0 , on pourra utiliser des méthodes directes ou indirectes. On ne parlera ici que des méthodes indirectes car les méthodes directes sont d'application difficile. Les méthodes indirectes les plus diffusées ou susceptibles de l'être sont : 1) la méthode de l'évaporimètre de classe « A », 2) l'atmomètre, 3) les modèles basés sur la mesure des variables climatiques.

1) La première méthode d'estimation consiste à mesurer l'eau évaporée sur une période donnée dans un conteneur de dimensions connues et répondant à des caractéristiques de fabrication standardisées : le bac évaporimètre. Le type de bac le plus diffusé est celui de « classe A » (Figure 1) dont les caractéristiques de fabrication et d'installation ont été décrites par Doorenbos et Pruitt (1977).



Figure 1. Cuve évaporimétrique de classe 'A' avec senseur pour l'enregistrement automatique des données.

On appliquera la formule suivante :

$$ET_0 = E_{pan} kp$$

E_{pan} = évaporation du bac (mm)

kp = coefficient du bac

Les valeurs du coefficient kp , qui sont indiquées dans les tableaux de Doorenbos et Pruitt (1977), dépendent des conditions climatiques et de l'aire où se trouve le bac.

Cette méthode est très diffusée. Elle est économique et donne de bons résultats si les modalités d'emploi et de gestion du bac sont respectées. Le principal inconvénient est l'application correcte du kp et le coût de l'entretien permanent du bac (nettoyage, recharge de l'eau, etc.)

2) L'atmomètre modifié (Altenhofen, 1985) est un instrument peu coûteux, d'entretien facile, de lecture simple et qui n'exige pas de coefficients de correction (Figure 2). Il s'agit d'une capsule de



Figure 2. Atmomètre (d'après Altenhofen, 1985).

céramique poreuse (capsule du Bellani) recouverte de tissu vert, montée sur un récipient cylindrique contenant environ 1 litre d'eau distillée et reliée à un petit tube externe pour la lecture du niveau. L'appareil simule l'évapotranspiration d'une culture de référence (ET_0). Les lectures peuvent être automatisées avec un enregistreur de données (data-logger).

3) Les méthodes basées sur la mesure des variables climatiques peuvent utiliser des rapports empiriques qui doivent toutefois être confirmés préalablement par des données expérimentales correspondant à l'aire concernée. Le choix des rapports à utiliser dépend de la précision de l'estimation requise, de la fréquence de l'information nécessaire et de la possibilité ou non de disposer de senseurs pour mesurer les variables qui composent les équations.

– Le modèle de Penman-Monteith est le plus précis. Il est proposé par la FAO (Allen *et al.*, 1998) comme référence internationale pour l'estimation de l' ET_0 . Toutefois, pour l'utiliser, il est nécessaire de connaître toutes les variables agro-météorologiques figurant dans le Tableau 4.

TABLEAU 4.

Paramètres climatiques et culturaux nécessaires pour l'estimation de l' ET_0 selon les modèles agro-météorologiques.

Modèles pour l'estimation de l' ET_0	Paramètres climatiques moyens	Constantes climatiques	Paramètres culture
Penman-Monteith	T_m, H_{rm}, V, R_n, G	Λ, γ	r_a, r_c
Hargreaves	T_{min}, T_{max}	R_a	

T_m = température moyenne ; H_{rm} = humidité moyenne quotidienne ; V = direction du vent ; R_n = radiation nette ; G = flux de chaleur ; Λ = vapeur de ; γ = constante ; r_a = résistance aérodynamique ; r_c = résistance ; T_{min} = température minimale ; T_{max} = température maximale ; r_a = radiation

La principale limitation de cette méthode réside dans l'entretien des instruments (2 à 3 fois par mois), l'étalonnage et le coût élevé des senseurs. Cette méthode peut être intéressante si l'on bénéficie du soutien d'un service technique d'assistance pour recueillir les informations nécessaires, élaborer les données et les communiquer aux opérateurs.

Les stations agro-météorologiques de mesure des variables du modèle de Penman-Monteith peuvent être automatisées et dotées de systèmes de lecture à distance, ce qui permet d'avoir des estimations continues de l' ET_0 (Figure 3).



Figure 3. Station météorologique automatique.



– L'autre modèle, plus facile à appliquer que celui de Penman-Monteith, est le modèle proposé par Hargreaves (1994). Les seules données nécessaires sont les températures maximales et minimales. Avant de l'utiliser, on vérifiera le coefficient empirique de la zone concernée. Ce modèle fournit une bonne estimation de l' ET_0 et est caractérisé par la simplicité de mesure des paramètres et le coût réduit de son instrumentation :

$$ET_0 = 0,0023 Ra (T_m + 17,8) \sqrt{T_{max} - T_{min}}$$

0,0023 = coefficient empirique

T_m, T_{max}, T_{min} = respectivement température moyenne, maximale et minimale de la période considérée (°C)

Ra = radiation extraterrestre ($mm\ jour^{-1}$), valeur variant en fonction de la latitude et de la période de l'année.

Dans des milieux caractérisés par une humidité relative élevée, des vents forts et fréquents ou qui sont situés à proximité de la mer, il est recommandé d'appliquer un coefficient de 0,0029 au lieu de 0,0023 ou d'effectuer un étalonnage *in situ* sur place (Vanderlinden, 1999).

6.2.4. Calcul des besoins hydriques de l'olivier (ETM) à partir de kc expérimentaux

Pour résoudre l'équation [2], il est nécessaire de connaître le coefficient cultural (kc). Ce coefficient quantifie l'effet des caractéristiques de la culture par rapport au besoin en eau et exprime le rapport entre l'évapotranspiration d'une culture qui couvre complètement le sol et l'évapotranspiration de référence (ET_0). La valeur du kc est empirique : elle doit être déterminée de manière expérimentale et se rapporter aux conditions de la culture et de son environnement, en particulier : a) la période de l'année considérée ; b) les conditions édapho-climatiques (ET_0 , type de sol) ; c) les caractéristiques agronomiques de gestion du système (densité, âge des oliviers, développement et volume de la frondaison).

Les valeurs de kc pour l'olivier - citées dans la littérature pour différents environnements - sont indiquées dans le Tableau 5. Ces kc ont un minimum et un maximum en fonction de la période de l'année : maximum au printemps et en automne, et minimum en été.

Les valeurs des kc indiquées dans le tableau doivent être considérées comme des références données à titre d'orientation. Il est en effet conseillé d'utiliser des valeurs déjà définies pour des environnements spécifiques. Hélas, ces informations n'existent pas toujours. Dans les environnements où aucune référence expérimentale n'est disponible, il serait opportun de promouvoir des études dans ce domaine.

L'olivier n'est pas une culture qui couvre toute la surface du sol à sa disposition comme le font les cultures herbacées. Pour tenir compte de cette caractéristique, il est donc nécessaire d'introduire un coefficient de réduction (kr) pour l'estimation de l'ETM. L'équation [2] devient donc :

$$ETM = ET_0 kc kr \quad [3]$$

TABLEAU 5.*Valeurs des coefficients culturaux (kc) obtenus et/ou adaptés dans différents environnements de culture.*

Valeurs de Kc	Auteurs	Zones
0,4-0,6	Doorenbos et Kassan, 1988	
0,5-0,6	Milella et Dettori, 1986	Italie (Sardaigne)
0,5-0,55	Dettori, 1987	Italie (Sardaigne)
0,4-0,64	Deidda <i>et al.</i> , 1990	Italie (Sardaigne)
0,53-0,72	García Fernández et Berengena, 1993	Espagne (Cordoue)
0,45-0,65	Pastor et Orgaz, 1994	Espagne (Cordoue)
0,5-0,85	Michelakis <i>et al.</i> , 1994	Grèce (Crète)
0,55-0,75	Goldhamer <i>et al.</i> , 1994	Etats-Unis (Californie)
0,5-0,81	Michelakis <i>et al.</i> , 1996	Grèce (Crète)
0,6-0,65	Patumi <i>et al.</i> , 1999	Italie (Campanie)
0,5-0,65	Pastor <i>et al.</i> , 1999	Espagne (Jaén)
0,5-0,7	Fernández, 1999	Espagne (Séville)
0,5-0,7	Xiloyannis <i>et al.</i> , 1999	Italie (Sardaigne)
0,69-0,72	Luna, 2000	Espagne (Lérida)
0,63-0,77	Fernández, 2006	Espagne (Séville)

La valeur du coefficient de réduction (k_r) tient compte de l'état de développement de la culture (superficie couverte par la frondaison des arbres) et se situe entre 0 et 1. On utilisera des valeurs légèrement supérieures à 0 pour une plantation jeune et des valeurs égales à 1 pour une oliveraie adulte et intensive conduite en régime irrigué et dont la frondaison peut couvrir jusqu'à plus de 50 % de sol. On ne dispose pas d'informations spécifiques pour l'olivier, mais de bons résultats ont été obtenus avec le rapport proposé pour l'amandier par Fereres *et al.* (1981)

$$K_r = \frac{2 S_c}{100}$$

S_c = surface couverte par la projection de la frondaison (%), calculée au moyen de la formule suivante :

$$S_c = \frac{\pi D^2 N}{400}$$

D = diamètre moyen de la frondaison (m)

N = densité de plantation (n^{bre} d'oliviers ha^{-1})

6.2.5. Calcul des besoins hydriques de l'olivier (ETM) à partir de kc calculés

Une méthode alternative pour l'estimation du coefficient cultural a été proposée récemment par Orgaz et Pastor (2005). Comme indiqué précédemment, il s'agit du paramètre utilisé pour la résolution de l'équation [3].



La méthode proposée se base sur le fait que la méthode classique d'estimation du coefficient cultural (k_c) pourrait générer des erreurs, en particulier dans des environnements caractérisés par des pluies fréquentes et dans des oliveraies dont les arbres ont une frondaison réduite et une faible densité de plantation.

La méthode considère le k_c comme la résultante des trois éléments suivants :

- 1) la transpiration de la plante, qui dépend de la grandeur de l'arbre et de la période de l'année ;
- 2) l'évaporation de la surface du sol, qui dépend de l'énergie solaire et de la teneur hydrique présente dans le sol ;
- 3) l'évaporation de la surface humectée du sol si l'on a recours à une méthode d'irrigation localisée.

Pour estimer le k_c , on utilisera la formule suivante

$$k_c = k_t + k_s + k_g \quad [4]$$

k_t = coefficient de transpiration

k_s = coefficient d'évaporation du sol

k_g = coefficient d'évaporation du sol humecté par les goutteurs

La méthode de calcul de chaque élément est indiquée ci-après.

Calcul du coefficient de transpiration (k_t)

Pour calculer ce coefficient, les auteurs (Orgaz et Pastor, 2005) ont paramétré un modèle simplifié à partir d'un modèle complexe (Testi *et al.*, 2006)

$$k_t = Q_d \cdot F_1 \cdot F_2 \quad [5]$$

Q_d = fraction de radiation solaire interceptée par la frondaison de l'arbre, donnée par :

$$Q_d = 1 - e^{-kr \cdot Vu}$$

Vu = volume de frondaison par unité de surface ($m^3 m^{-2}$)

kr = coefficient d'extinction de la radiation = $0,52 + 0,00079 N - 0,76 e^{-1,25 Df}$

N = nombre de plants par hectare

Df = densité de surface foliaire ($m^2 m^{-3}$) = $2 - (V_0 - 20)/100$

V_0 = volume de la frondaison ($m^3 pt^{-1}$) = $1/6 \pi D^2 H$

D = diamètre moyen de la frondaison (m)

H = hauteur de la frondaison (m)

Les valeurs de F_1 (paramètre d'ajustement dépendant de l'intensité de la plantation) et F_2 (paramètre d'ajustement dépendant de l'époque de l'année) de l'équation [5] prendront les valeurs suivantes :

- $F_1 = 0,72$ pour une densité de plantation < 250 plants par hectare,
 $F_1 = 0,66$ pour une densité de plantation > 250 plants par hectare,
 $F_2 =$ valeur indiquée dans le Tableau 10 en fonction du mois considéré.

Calcul du coefficient d'évaporation du sol (k_s)

Un autre modèle simplifié a été paramétré (Orgaz et Pastor, 2005) sur la base de travaux publiés par Bonachela *et al.* (1999, 2001). Le k_s est le résultat du rapport suivant :

$$k_s = \left[0,28 - 0,18 \cdot S_c - 0,03 \cdot ET_0 + \frac{3,8 \cdot F \cdot (1 - F)}{ET_0} \right] \cdot (1 - f_w)$$

S_c = surface couverte par la projection de la frondaison = $(\pi D^2/4)$ (N/10000)

F = fréquence des précipitations mensuelles = n^{bre} jours de pluie / n^{bre} jours du mois

f_w = fraction de sol humectée par les goutteurs = $(\pi Dg^2/4)$ (n^{bre} goutteurs olivier⁻¹ N/10000)

Dg = diamètre moyen du bulbe de la surface du sol mouillée par chaque goutteur (m)

La valeur du Dg devrait être mesurée sur le terrain. Si ce n'est pas possible, on utilisera à titre indicatif les valeurs présentées dans le Tableau 6, en fonction de la portée des goutteurs et de la texture du sol.

TABLEAU 6.

Diamètre moyen de l'aire humectée à 30 cm de profondeur avec des goutteurs de 4 et 8 L h⁻¹ de portée en fonction de la texture du sol (Orgaz et Pastor, 2005)

Texture du sol	4 L h ⁻¹	8 L h ⁻¹
	cm	
sableux	75	100
sablo-limoneux	85	120
limono-sableux	95	130
limoneux	110	140
fins limoneux	120	150
limono-argileux	130	160
argilo-limoneux	135	170
argileux	145	180

* Surface humectée = $\pi D^2 / 4$

La valeur du k_s calculé de cette manière n'est pas valable en présence d'une évapotranspiration élevée, d'une faible fréquence de pluie ou d'un pourcentage élevé de couverture du sol, conditions fréquentes pendant l'été dans les zones de climat méditerranéen et dans les oliveraies intensives adultes où les valeurs de k_s pourraient même être négatives. On fixera donc une valeur minimale ($k_{s,min}$)

sous laquelle ce coefficient ne peut pas être calculé au moyen de la formule précédente. Dans ce cas, on utilisera le rapport suivant :

$$k_s \geq k_{s_{\min}} = 0,30/ET_0 \text{ (giornaliera)}$$

Calcul du coefficient d'évaporation du sol humecté par les goutteurs (kg)

La valeur du troisième élément du kc dépend de différents facteurs, notamment la grandeur des oliviers, la demande évaporative, le type de sol, la disposition des goutteurs et la fréquence d'irrigation.

Dans ce cas également, les auteurs (Orgaz et Pastor, 2005) ont paramétré un modèle simplifié à partir des travaux publiés par Bonachela *et al.* (1999, 2001). Le kg est le résultat de la formule suivante :

$$kg = \frac{1,4 \cdot e^{-1,6 \cdot Qd} + \left(4,0 \cdot \frac{\sqrt{i-1}}{ET_0} \right)}{i} \cdot fw$$

- i = intervalle entre deux irrigations en jours
- ET₀ = évapotranspiration de référence journalière
- fw = fraction de sol humectée par les goutteurs (décrit précédemment)

En présence d'une densité élevée de goutteurs (distance comprise entre 0,75 et 1 m) et donc d'une bande continue de sol humecté le long des rangées, le calcul de fw pourra être effectué au moyen de la formule suivante :

$$fw = \frac{l}{L}$$

- l = largeur de la bande mouillée par les goutteurs (m)
- L = distance entre les rangées des arbres (m)

Évidemment, dans les périodes d'absence d'apport hydrique, fw sera égal à 0.

6.3. BILAN HYDRIQUE DU SOL ET ESTIMATION DES DOSES D'IRRIGATION

6.3.1. Programmation de l'irrigation

Pour définir les intervalles entre deux irrigations et les volumes d'eau (mm ou m³ ha⁻¹ ou L pt⁻¹), il est nécessaire de disposer des informations concernant les paramètres décrits précédemment, à savoir :

- caractéristiques physiques du sol (C.C. ; P.F. ; R.U. ; R.F.U.)
- profondeur de l'appareil racinaire

- Besoins hydriques de la culture dans différents environnements et aux différents stades phénologiques (k_c ; k_r)
- Eau disponible (quantité et qualité)
- Variables climatiques (P_e ; ET_0)
- Techniques agronomiques qui influencent la consommation hydrique (sol nu ou couvert végétal, type de conduite et densité de plantation ; système de taille ; méthode d'irrigation employée, etc.)

On trouvera ci-après quelques exemples de calcul du volume d'eau dans l'hypothèse d'une plantation d'une densité de 200 plants ha^{-1} .

Les exemples sont proposés pour un environnement où l'évapotranspiration (ET_0) moyenne annuelle est de 1 366 mm, la pluviosité est de 388 mm, le sol est limono-argileux et la RFU est de 142,5 mm. La plantation considérée (200 plants par hectare) est caractérisée par un volume moyen de 8 100 m^3 de frondaison par hectare. Les valeurs de k_c utilisées pour le calcul des consommations hydriques sont extraites des publications les plus récentes consacrées à ce sujet et ont été confirmées par des essais expérimentaux réalisés dans la région de culture de Séville (Fernández *et al.*, 2006). Les auteurs affirment que les valeurs de k_c citées dans les travaux précédents pour le même environnement avaient été estimées avec une ET_0 calculée au moyen de l'équation FAO-Penman (Doorenbos et Pruitt, 1977) que Mantovani *et al.* (1991) avaient considérée fiable pour cet environnement. Toutefois, Gavilán et Berengena (2000) ont démontré que l'équation FAO 56 Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998) permettait d'obtenir des valeurs plus précises de l' ET_0 pour cet environnement et ont proposé un k_c corrigé lorsque l' ET_0 est calculée au moyen de cette dernière méthode, qui est actuellement une référence internationale. Nous avons d'ailleurs tenu compte de cette condition dans les exemples de programmation de l'irrigation avec la méthode classique que nous proposons ci-après. Pour les mois d'hiver (novembre, décembre, janvier et février), nous avons utilisé à titre d'exemple un $k_c = 0,75$.

Pour simplifier et permettre une comparaison entre les différents exemples de programmation de l'irrigation, nous avons considéré un bilan hydrique mensuel. Il est évident que les opérateurs devront adapter le calcul hydrique à l'intervalle d'irrigation adopté dans les conditions d'action spécifiques. L'intervalle dépendra des caractéristiques techniques des installations de distribution qui pourront être différentes de celles proposées dans ce guide.

Le premier exemple (Tableau 7) considère une installation adulte irriguée en goutte à goutte dans un environnement où il n'existe pas de limitations des volumes d'eau et où il est possible d'apporter de l'eau à la culture de manière à satisfaire complètement ses besoins d'évapotranspiration, c'est-à-dire toute l'ETM moins la P_e . Aucune réserve utilisable n'est envisagée dans la couche du sol explorée par l'appareil racinaire et l'ETM totale est de 667 mm. Au cours des trois premiers mois, les pluies sont supérieures à la consommation et il n'est donc pas nécessaire d'irriguer : le bilan hydrique positif (ΔR) constituera une réserve accumulée dans le sol où, si celle-ci est déjà au niveau de la C.C., elle s'épuisera par percolation. À partir du mois de mai, le bilan hydrique est négatif et il est donc nécessaire d'irriguer pour restituer toute l'eau consommée par la plante. Le volume d'irrigation saisonnier (405 mm) est supérieur de 126 mm au besoin saisonnier moins les précipitations, volume d'eau perdue par percolation dans les couches les plus profondes du sol. Ce critère d'intervention d'irrigation suppose donc un gaspillage inutile de la ressource et s'avère peu efficace.



TABLEAU 7.

Exemple de calendrier d'irrigation mensuelle sans apport hydrique de la réserve du sol.

Mois	ET ₀	kc	kr	ETc	Pe	Irrigation	ΔR
	mm mois ⁻¹			mm mois ⁻¹			
Janvier	39	0,75	0,69	20,0	56,1	0	36,1
Février	52	0,75	0,69	27,0	53	0	26,0
Mars	87	0,76	0,69	45,8	48,3	0	2,5
Avril	109	0,76	0,69	57,2	47,7	10	0,0
Mai	161	0,76	0,69	84,5	30,2	54	0,0
Juin	186	0,70	0,69	89,7	0	90	0,0
Juillet	210	0,63	0,69	91,5	0	91	0,0
Août	207	0,63	0,69	89,8	0	90	0,0
Septembre	140	0,72	0,69	69,4	15,7	54	0,0
Octobre	90	0,77	0,69	47,8	31,3	16	0,0
Novembre	49	0,75	0,69	25,5	55,6	0	30,1
Décembre	36	0,75	0,69	18,5	49,8	0	31,3
T. annuelle	1 366			667	338	405	126

Hypothèse de calcul :
Diamètre moyen de la frondaison (D) = 4,7 m
Nombre d'oliviers par hectare (N) = 200
Sol limono-argileux
Profondeur des racines (Pr) = 1 000 mm

Légende :
kc = Coefficient de culture de l'olivier
kr = $2 [(3,14 N)/400]/100$
ETc = ET₀ kc kr
ΔR = Pe + irrigation - ETc
Pe = 70 % des précipitations totales

Dans le second cas (Tableau 8), l'hypothèse porte toujours sur une oliveraie de 200 arbres par hectare, dotée d'une installation de distribution d'eau en goutte à goutte qui peut fonctionner au maximum 6 h 30 par jour pendant une moyenne de 25 jours ouvrables par mois, et dont les caractéristiques techniques sont les suivantes :

$$4 \text{ goutteurs par arbre de 4 litres par heure} = 16 \text{ L arbre}^{-1} \text{ heure}^{-1}$$

$$\text{Volume d'irrigation fixe par mois} = 50 \text{ mm mois}^{-1} \text{ (à restituer en 25 jours ouvrables)}$$

c'est-à-dire que l'installation peut distribuer,

$$2,0 \text{ mm jour}^{-1} = 20,0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ jour}^{-1}$$

et que les arbres peuvent recevoir:

$$\frac{20,0 (\text{m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ jour}^{-1})}{200 (\text{plantes} \cdot \text{ha}^{-1})} = 0,1 \cdot (\text{m}^3 \text{ plante}^{-1} \text{ jour}^{-1}) = 100 (\text{L plante}^{-1} \text{ jour}^{-1})$$

en termes de temps de fonctionnement, on obtiendra :

$$\frac{100 (\text{L plante}^{-1} \text{ jour}^{-1})}{16 (\text{L plante}^{-1} \text{ h}^{-1})} = 6,30 \text{ h par jour de fonctionnement de l'équipement}$$

D'après le calcul proposé dans le Tableau 8, l'apport saisonnier a été de 280 mm, ce qui signifie que l'irrigation a été déficitaire par rapport à la consommation, si l'on tient compte de l'apport hydrique de la réserve présente dans le sol consommée durant les périodes de besoin maximum (voir colonne « R acc ») et estimée de la manière suivante :

$$R \text{ acc}_t = R \text{ acc}_{(t-1)} + (ET_c - Pe_t - Irr_t)$$

R acc = teneur en eau dans le sol au début (t-1) et à la fin (t) de la période de temps considérée.

La réserve du sol recommencera à augmenter lorsque les pluies d'automne seront supérieures à la consommation ($ET_c < Pe$).

TABLEAU 8.

Exemple de calendrier d'irrigation mensuel dans le cas d'une plantation irriguée pouvant recevoir un volume maximum de 50 mm par mois (sur la base des caractéristiques techniques de l'installation d'irrigation suivantes : 4 goutteurs par arbre de 4 L h⁻¹ chacun) avec l'apport des réserves en eau du sol.

Mois	ET ₀ mm mois ⁻¹	kc	kr	ETc	Pe	Irr	ΔR	R. acc
Janvier	39	0,75	0,69	20,0	56,1	0	36,1	97,6
Février	52	0,75	0,69	27,0	53	0	26,0	123,6
Mars	87	0,76	0,69	45,8	48,3	0	2,5	126,0
Avril	109	0,76	0,69	57,2	47,7	15	0,0	131,5
Mai	161	0,76	0,69	84,5	30,2	50	0,0	127,2
Juin	186	0,70	0,69	89,7	0	50	0,0	87,5
Juillet	210	0,63	0,69	91,5	0	50	0,0	46,0
Août	207	0,63	0,69	89,8	0	50	0,0	6,3
Septembre	140	0,72	0,69	69,4	15,7	50	0,0	2,6
Octobre	90	0,77	0,69	47,8	31,3	15	0,0	0,0
Novembre	49	0,75	0,69	25,5	55,6	0	30,1	30,2
Décembre	36	0,75	0,69	18,5	49,8	0	31,3	61,5
T. annuelle	1 366			667	338	280	126	

Hypothèse de calcul :

Diamètre moyen de frondaison (D) = 4,7 m

Nombre d'oliviers par hectare (N) = 200

Sol limono-argileux

RU = réserve utilisable = (0,36

- 0,17) Pr = 190 mm ;

Réserve facilement utilisable (RFU) =

= 0,75 (0,36 - 0,17) Pr = 142,5 mm

Profondeur des racines (Pr) = 1 000 mm

Légende :

kc = coefficient de culture de l'olivier

kr = 2 [(3,14 D N)/400]/100

ETc = ET₀ kc kr

Pe = 70 % des précipitations totales

Δ R = Pe + irrigation - ETc

R acc. = Pe + irrigation - ETc + R acc. du mois précédent



Durant la saison d'irrigation, l'ETc a été satisfaite en partie avec l'eau d'irrigation (Irr) et en partie avec la réserve d'eau présente dans le sol (R. acc), ce qui fait qu'à la fin de l'été (en octobre, R acc. = 0), les arbres auront consommé presque toute la réserve qui sera reconstituée « gratuitement » pendant l'hiver.

Cette seconde stratégie, qui tient compte de l'utilisation de l'eau de la réserve, présente l'avantage de permettre des économies d'eau d'irrigation – puisque la consommation est de 280 mm (Tableau 8) contre 405 mm (Tableau 7) – et d'utiliser des volumes d'eau constants aux périodes de plus grand besoin, ce qui, dans la pratique, simplifie la gestion de l'irrigation.

Dans l'exemple du Tableau 8, si l'irrigation n'est pas suffisante pour maintenir une réserve dans le sol supérieure à la limite imposée par la R.F.U., les volumes d'eau devront être augmentés pour éviter tout stress hydrique. On fera particulièrement attention au moment de déterminer la contribution de la réserve hydrique du sol au début de la saison d'irrigation. Celle-ci devra être anticipée en cas d'hivers secs. Il est conseillé, lorsque l'on utilise des méthodes d'irrigation localisée, de ne pas commencer à irriguer au-delà d'une limite de 60-70 % de la R.F.U.

Pour réduire l'érosion des sols en pente et améliorer l'apport des substances organiques, il peut être intéressant de prévoir la présence d'une couverture végétale entre les rangées. Dans ce cas, au moment de calculer les volumes d'eau, on corrigera l'estimation de la Pe et du kc pour tenir compte de la consommation de la végétation entre les rangées jusqu'à son apparition, sachant que :

- la Pe sera supérieure à son niveau en absence de couverture (environ 80 % du total), en particulier en cas de pertes par ruissellement (sols en pente) ;
- le kc devra être calculé non seulement pour la culture mais également pour le « système olivier-couverture végétale ». On utilisera alors l'équation suivante :

$$kc_1 = \frac{kc_e S}{10\ 000} + kc \text{ (olivier) } kr$$

kc_e = coefficient cultural de la couverture végétale
S = surface couverte d'herbe (m² ha⁻¹).

Pour éviter une concurrence excessive de la couverture végétale pour l'eau, on procédera à son élimination au moyen de désherbants, de labours du sol ou de désherbage mécanique (voir chapitre Conduite du terrain) dès que le bilan hydrique (ETc – Pe) sera négatif.

On trouvera dans le Tableau 9 les informations nécessaires au calcul de l'ETM et des volumes d'irrigation en présence d'une couverture végétale éliminée en mars, en tenant compte de la réserve du sol. Dans cet exemple, le volume saisonnier d'irrigation est de 375 mm, soit 95 mm de plus qu'en absence de couverture entre les rangées (Tableau 8).

En ce qui concerne la fréquence d'irrigation, s'il n'y a pas de limites imposées par les systèmes ou les sources d'approvisionnement, les intervalles entre deux irrigations devront être réduits sur les sols de faible rétention hydrique (sableux). On pourra adopter des intervalles plus longs dans le cas des sols argileux, bien que cela implique une augmentation des volumes d'eau qui pourrait provoquer des

TABLEAU 9.

Exemple de calendrier d'irrigation mensuelle dans le cas d'une plantation irriguée pouvant recevoir un volume maximum de 50 mm par mois (sur la base des caractéristiques techniques de l'installation d'irrigation suivantes : 4 goutteurs par arbre de 4 L h⁻¹ chacun) avec l'apport des réserves hydriques du sol et une couverture végétale entre les rangées.

Mois	ET ₀ mm mois ⁻¹	k _c	K _{c1}	ETc	Pe	Irr	ΔR	R. acc
				mm mois ⁻¹				
Janvier	39	0,50	0,68	26,5	56,1	0	29,6	78,5
Février	52	0,60	0,72	37,5	53,0	0	15,6	94
Mars	87	0,70	0,76	66,2	48,3	50	32,1	126,1
Avril	109	1,00	0,86	93,6	47,7	50	4,1	130,2
Mai	161	0,00	0,52	84,5	30,2	50	-4,3	125,9
Juin	186	0,00	0,48	89,7	0	50	-39,7	86,2
Juillet	210	0,00	0,43	91,5	0	50	-41,5	44,7
Août	207	0,00	0,43	89,8	0	50	-39,8	5,0
Septembre	140	0,00	0,50	69,4	15,7	50	-3,7	1,3
Octobre	90	0,30	0,63	56,8	31,3	25	-0,8	-0,1
Novembre	49	0,40	0,65	32,0	55,6	0	23,6	23,5
Décembre	36	0,50	0,68	24,0	49,8	0	25,4	48,8
T. annuelle	1 366			762	338	375		

Hypothèse de calcul :
 Diamètre moyen de frondaison (D) = 4,7 m
 Nombre d'oliviers par hectare (N) = 200
 Sol limono-argileux
 RU = réserve utilisable = (0,36 - 0,17)
 Pr = 190 mm
 Réserve facilement utilisable (RFU) =
 = 0,75 (0,36 - 0,17) Pr = 142,5 mm
 Profondeur des racines (Pr) = 1 000 mm

Légende :
 k_c = coefficient de culture de la couverture végétale
 k_{c1} = k_c S 10 000⁻¹ + k_c (olivier) kr
 S = 10 000/3 = 3 333,33 m² ha⁻¹
 ETc = ET₀ k_{c1}
 Pe = 70 % des précipitations totales
 ΔR = Pe + irrigation - ETc
 R acc. = Pe + irrigation - ETc + R acc. du mois précédent

conditions d'asphyxie sur les sols argileux ou des pertes d'eau dans les strates non intéressées par les racines absorbantes dans les sols sableux.

On trouvera dans Tableau 10 un exemple de calcul du besoin hydrique au moyen de la méthode proposée par Orgaz et Pastor (2005). La simulation, qui peut être réalisée au moyen d'une simple feuille de calcul, porte sur une exploitation située dans un environnement où les caractéristiques édapho-climatiques et les techniques agronomiques sont les mêmes que dans les autres exemples.

Les valeurs mensuelles d'ETM résultant du calcul du k_c présenté précédemment [4] s'avèrent peu supérieures à celles calculées au moyen de la méthode classique pour cet environnement.

Les exemples montrés ne reposent toutefois que sur une seule méthode pour le calcul du volume d'eau. Nous insisterons à cet effet sur l'importance d'une estimation précise des paramètres pour chaque environnement de culture. Cette condition suppose des limites dans les deux approches de



TABLEAU 10.

Exemple de calcul de l'ETc avec les valeurs de kc obtenues avec la méthode de Orgaz et Pastor (2005).

Mois	ET ₀ mm mes ⁻¹	kc	F ₂	kt	ks	kg	N ^{bre} jours de pluie			ETc mm mois ⁻¹
							Pe mm mois ⁻¹	F		
Janvier	39	0,79	0,70	0,19	0,59	0,00	56,1	5,0	0,16	30,4
Février	52	0,71	0,75	0,21	0,50	0,00	53,0	6,0	0,21	37,2
Mars	87	0,59	0,80	0,22	0,37	0,00	48,3	7,0	0,23	51,5
Avril	109	0,50	0,90	0,25	0,25	0,00	47,7	5,0	0,17	54,8
Mai	161	0,47	1,05	0,29	0,10	0,08	30,2	2,0	0,06	75,9
Juin	186	0,45	1,23	0,34	0,03	0,08	0	0,0	0,00	83,9
Juillet	210	0,44	1,25	0,35	0,01	0,08	0	0,0	0,00	92,5
Août	207	0,43	1,20	0,33	0,02	0,08	0	0,0	0,00	88,7
Septembre	140	0,51	1,10	0,30	0,12	0,08	15,7	2,0	0,07	70,9
Octobre	90	0,66	1,20	0,33	0,25	0,08	31,3	3,0	0,10	59,0
Novembre	49	0,86	1,10	0,30	0,55	0,00	55,6	6,0	0,20	42,1
Décembre	36	0,82	0,70	0,19	0,63	0,00	49,8	5,0	0,16	29,4
T. annuelle	1 366						338			716

*Diamètre moyen de frondaison (D) = 4,50 m ; Hauteur moyenne de la frondaison (H) = 3,5 m ; Volume de la frondaison (Vo) = 40,5 m³ ;
 Nombre d'oliviers par hectare (N) = 200 ; Volume de frondaison par unité de surface (Vu) = 0,81 m³ m² ;
 kr = Coefficient d'extinction de la radiation = 0,584 ; Densité foliaire (DF) = 1,80 m³ m² ; Df ≤ 2 m² m⁻³ ;
 Fraction de radiation solaire interceptée par la frondaison (Qd) = 0,383 ; Fraction de sol recouverte (Sc) = 0,347 m² ;
 Nombre de goutteurs par olivier (Ng) = 4 ; Goutteurs avec 4 L heure⁻¹ ; Diamètre moyen du bulbe humide (Dg) = 1,30 m ;
 Fraction du sol humectée par les goutteurs (fw) = 0,106 ; Intervalle entre deux irrigations (i) = 1 jour ;
 Pe = 70 % des précipitations totales ;
 Fréquence des jours de pluies au cours du mois (F) = nbre jours de pluie / nbre jours dans le mois.*

programmation de l'irrigation, qui dépendent principalement de l'exactitude de l'évaluation des variables considérées dans l'estimation de l'ETM et qui doivent être évaluées pour chaque environnement de culture.

6.3.2. Irrigation en condition de déficit

L'olivier est une espèce qui fait preuve d'une réponse évidente à l'irrigation, même dans des conditions de limitation. Cette caractéristique permet d'adopter des stratégies d'irrigation en déficit qui consistent à apporter un volume d'irrigation saisonnier ne satisfaisant que partiellement le besoin hydrique.

L'une des techniques qui commence à faire l'objet d'une certaine diffusion est celle du « déficit hydrique contrôlé ». Cette stratégie prévoit la réduction de l'apport d'eau aux stades phénologiques les moins critiques en terme de production et un apport hydrique adéquat au cours des phases critiques. L'adoption d'une telle méthode suppose une connaissance précise des effets de la carence hydrique aux différents stades phénologiques de la culture et des mécanismes physiologiques liés à la réponse de la plante au stress hydrique.

Comme nous l'avons dit plus haut, les périodes les plus critiques sont les phases de floraison, de nouaison et de différenciation cellulaire durant la croissance du fruit. Il a été démontré que la présence d'un stress hydrique modéré au cours de la phase de durcissement du noyau, peut influencer légèrement la dimension finale du fruit sans toutefois réduire la production d'huile. Des essais menés en Espagne (Catalogne) ont montré que des volumes correspondant à 75 et à 50 % de l'ETM apportés au stade de durcissement du noyau, n'ont pas entraîné de réductions significatives de la production par rapport à une irrigation couvrant totalement les besoins de la plante. En revanche, un apport de seulement 25 % de l'ETM a entraîné une réduction de 16 % de la production. En termes d'économie d'eau, ces essais ont montré une réduction possible du volume saisonnier de 24, 35 et 47 % respectivement (Girona, 2001). Cette stratégie est particulièrement intéressante car elle permet de réduire le niveau de concurrence pour l'emploi de l'eau à des périodes où celle-ci est nécessaire à d'autres cultures ou à la consommation humaine. L'adoption de cette stratégie améliore l'efficacité de l'emploi de l'eau puisqu'elle permet d'obtenir des réductions significatives des volumes saisonniers d'irrigation.

Cette approche exige toutefois d'être testée car elle peut donner des résultats différents en fonction de l'environnement, de la destination du produit (huile ou olives de table) ou de la tolérance des cultivars au stress hydrique.

Pour les olives de table par exemple, le stress imposé au cours du durcissement du noyau devra être moins sévère et durer moins longtemps que dans le cas des oliveraies destinées à la production d'huile car la dimension du fruit à la récolte est l'un des principaux critères de valorisation commerciale de la production.

Dans les environnements où il existe des limitations à l'emploi de l'eau durant la saison d'été, il peut être utile d'irriguer en hiver ou au début du printemps. De cette manière, on pourra garantir une bonne dotation de la réserve du sol durant les phases critiques du débournement, de la floraison et de la nouaison. Cette approche sera efficace en présence de sols profonds caractérisés par une capacité élevée de rétention de l'eau. Pour définir le volume adéquat à administrer, il sera important de bien connaître les propriétés hydrologiques du sol pour éviter des irrigations excessives avec la perte d'eau par percolation qui en résulte. On tiendra également compte du fait que la culture consommera certainement la réserve hydrique avant d'avoir complété son cycle de production. Il sera donc nécessaire de contrôler la teneur en eau du sol pour déterminer le moment où il faudra intervenir en irriguant durant les périodes critiques de la culture.

Dans les environnements arides et caractérisés par une disponibilité hydrique limitée pendant toute l'année, on pourra appliquer des irrigations de secours. Dans ce cas, il conviendra de prévoir des interventions aux stades phénologiques les plus sensibles, comme indiqué plus haut.

L'amélioration continue des connaissances des rapports sol-plante-atmosphère fournira des informations utiles pour la gestion de l'irrigation en déficit, thème qui devrait faire l'objet d'études plus approfondies à l'avenir, la pression croissante pour un emploi rationnel et durable de l'eau en agriculture imposant en effet un intérêt croissant pour cette question.

6.4. IRRIGATION LOCALISÉE

Les méthodes de distribution de l'eau d'irrigation diffèrent quant à l'efficacité et à l'uniformité de la distribution.



Le rendement (Re), ou efficacité de distribution, est défini par la localisation de l'eau au niveau de l'appareil racinaire et par l'absence de pertes hydriques durant l'alimentation. Il représente donc le pourcentage d'eau qui atteint utilement la plante.

$$Re = \frac{\text{eau fournie à la zone racinaire}}{\text{eau distribuée}} \cdot 100$$

Si une plantation a un rendement de 90 % et reçoit un volume d'eau mensuel de 35 mm, les neuf-dixièmes de ce volume seront effectivement à la disposition de la plante. Le coefficient de rendement varie en fonction des conditions environnementales entre 0,85 ; 0,90 et 0,95 pour les climats arides, tempérés et humides respectivement.

Une uniformité correcte de distribution signifie que toutes les plantes reçoivent la même quantité d'eau en même temps. Cela dépend non seulement des conditions d'hydraulique qui caractérisent la parcelle mais également des particularités technologiques des systèmes d'irrigation.

Parmi les différentes méthodes de distribution de l'eau, ce sont les systèmes localisés qui s'avèrent les plus efficaces (RE > 90 %). Les méthodes traditionnelles (submersion, infiltration, aspersion, etc.) ne sont pas décrites dans cet ouvrage car leurs rendements sont moins élevés et leur utilisation n'est conseillée que dans des conditions particulières.

L'irrigation localisée répond à la nécessité de réduire les volumes d'eau pour économiser la ressource hydrique et la rendre disponible pour augmenter les surfaces irriguées ou pour d'autres utilisations. Par rapport aux autres méthodes de distribution, elle permet en effet de ne pas mouiller toute la surface du sol.

Le fonctionnement de ce système d'irrigation est automatisable et exige un emploi réduit de main-d'œuvre pour l'entretien courant. Ce système peut également être utilisé pour apporter des nutriments à la plante (fertigation).

6.4.1. Caractéristiques des systèmes d'irrigation localisée

- Fonctionnement à basse pression

L'irrigation localisée est caractérisée par une pression comprise entre 0,10 et 0,25 Mpa par distributeur. Cela permet d'utiliser des stations de pompage moins élevées par rapport à d'autres équipements, tout en économisant sur les coûts d'investissement et de fonctionnement. Le matériel plastique employé (tubes, raccords, etc.) est également adapté aux faibles pressions.

- Distributeurs à faible débit

Pour satisfaire les besoins hydriques de la plante, les irrigations doivent être de longue durée et fréquentes. Ces caractéristiques permettent :

- de conserver une humidité constante dans le profil du sol et de mouiller uniformément les sols caractérisés par une faible infiltration (argileux, limoneux, non structurés) ou une faible rétention hydrique (sableux);

- d'utiliser des sources hydriques de faible débit et des rampes de diamètre réduit
- d'employer des eaux et des sols modérément salins, les sels se déplaçant vers l'extérieur de la zone humectée, ce qui réduit la concentration en sel au point d'extraction de l'eau par les racines.

Les équipements pour l'irrigation en goutte à goutte caractérisés par des débits très faibles (2-8 L h⁻¹) sont peu adaptés aux interventions qui ne prévoient que des irrigations de secours ou des intervalles très longs entre les irrigations avec des volumes d'eau élevés.

- Distribution de l'eau à proximité des racines

Cela permet :

- d'apporter l'eau et les fertilisants à l'endroit idéal par rapport aux racines absorbantes,
- de maintenir constamment le sol à un degré correct d'humidité pour la culture,
- de ne pas mouiller toute la surface du sol et de réduire ainsi les pertes d'eau par évaporation
- de ne pas mouiller la plante et de réduire ainsi les pertes d'eau par évaporation de la surface mouillée des feuilles et l'apparition de champignons,
- de limiter le développement des mauvaises herbes,
- de continuer à utiliser des équipements ou à exécuter des opérations culturales pendant l'irrigation,
- d'annuler l'effet négatif du vent sur l'homogénéité de la distribution de l'eau.

C'est dans les zones humectées par irrigation que l'appareil racinaire absorbant sera le plus dense, ce qui, pendant les périodes sèches, rendra la plante très dépendante de la teneur en eau de cette partie du sol. Cela comporte indirectement un aspect négatif car le volume de sol exploré par les racines sera limité et l'eau qui y est contenue sera consommée rapidement. Cet aspect de la micro-irrigation devra être attentivement considéré car un plan inadéquat ou une période de suspension de l'irrigation, même pour des raisons accidentelles, donnera lieu à un stress encore plus élevé qu'avec des méthodes d'irrigation qui mouillent de larges zones de terrain.

Dans les installations d'irrigation localisée, les dispositifs de distribution de l'eau sont constitués de différents types de goutteurs ou de diffuseurs.

6.4.2. Caractéristiques des organes de distribution

Débit nominal

Exprime la valeur (généralement en litres par heure) du débit déclaré par le constructeur.

Un test de laboratoire permet d'obtenir un jugement sur l'uniformité technologique du débit des distributeurs (goutteurs ou diffuseurs) grâce à l'estimation de la déviation du débit (Qd) et du coefficient de variation (CV) des distributeurs.

Déviaton du débit

Indique la valeur de la différence en pourcentage entre le débit nominal et le débit réel (débit mesuré en laboratoire sur un échantillon représentatif de distributeurs).



$$Q_d = 100 \frac{Q_r - Q_{\text{moyen}}}{Q_r}$$

Q_d = déviation du débit moyen

Q_r = débit nominal

Q_{moyen} = débit moyen mesuré sur un échantillon représentatif de distributeurs

Plus la différence entre les valeurs de chaque distributeur et la moyenne est réduite, plus l'uniformité de distribution est grande. On considère généralement les classes de Q_d (%) suivantes : 0-4 ; 4-8 ; 8-12 ; > 12, qui indiquent respectivement que les distributeurs sont très bons, bons, médiocres, mauvais.

Coefficient de variation

C'est l'évaluation statistique qui exprime la variation du débit des distributeurs comme pourcentage du débit moyen d'un lot de distributeurs. Le CV se calcule de la manière suivante :

$$CV = \frac{S}{Q_{\text{moyen}}}$$

CV = coefficient de variation

S = écart-type des débits d'un lot de distributeurs

Q_{moyen} = débit moyen mesuré sur un échantillon représentatif d'un lot de distributeurs

On considère généralement les classes de CV% suivantes : 0-5 ; 5-10 ; 10-15 ; > 15, qui indiquent respectivement que les distributeurs sont très bons, bons, médiocres, mauvais.

Capacité de compensation

La capacité de compensation indique la capacité effective des distributeurs à conserver intact le débit réel lorsque la pression d'exercice varie. L'évaluation de la capacité de compensation s'obtient à partir de l'estimation de la déviation du débit (Q_d) et du coefficient de variation (CV).

Goutteurs

Les goutteurs sont des dispositifs à travers lesquels l'eau contenue dans une rampe circule vers l'extérieur. L'eau passe à travers une série de passages très étroits : les débits de distribution sont plutôt faibles (généralement entre 2 et 8 litres h⁻¹) et la pression d'exercice est comprise entre 0,10 et 0,15 MPa.

– Le flux de l'eau à l'intérieur du goutteur peut être laminaire, turbulent ou à tourbillon.

Dans le flux laminaire, l'eau s'écoule lentement et la vitesse du flux hydrique est réglée par le frottement le long des parois du conduit. Par conséquent, plus le conduit est étroit et long, plus la résistance est grande et plus le débit est réduit. Il s'agit de dispositifs simples et peu coûteux mais qui présentent certains inconvénients : le débit varie fortement en fonction de la pression, ils se bouchent facilement en raison de la vitesse réduite d'écoulement et du diamètre réduit des conduits, et sont en outre sensibles à la viscosité de l'eau (c'est-à-dire que le débit varie en fonction de la température de l'eau).

Dans le flux turbulent, l'eau s'écoule rapidement par mouvements irréguliers. La vitesse du flux est réglée par le frottement le long des parois du conduit ou entre les particules d'eau. Les parcours internes sont plus courts et de diamètre supérieur à ceux des diffuseurs à flux laminaire : ils donnent donc moins de problèmes d'obstruction et sont moins sensibles à la viscosité de l'eau (Figures 4 et 5).



Figure 4. Schéma de goutteur « in line » (Irritol System Europe s.r.l.).

- La pression d'exercice : on trouvera dans le commerce deux types de goutteurs : ordinaires et auto-régulants.

Les goutteurs ordinaires n'ont aucun dispositif de régulation du débit, celui-ci variant en fonction de la pression d'exercice de l'équipement. Ces goutteurs ne peuvent donc être utilisés que pour des lignes courtes et installées sur des terrains plats, car la différence de pression entre le début et la fin des rampes pourrait affecter l'uniformité de distribution de l'eau.

Les goutteurs auto-régulants (Figures 6 et 7) maintiennent le débit constant, même lorsque la pression d'exercice varie. Ils permettent donc une bonne uniformité de distribution de l'eau dans les installations de grandes dimensions avec de longues rampes de goutteurs situées sur des terrains en pente. La capacité de compensation est entraînée par la présence d'une membrane (généralement en silicone) qui, sous la pression de l'eau, se déforme en maintenant le flux à un niveau constant. Ces caractéristiques devront être prises en compte dans le projet pour garantir une uniformité de distribution.

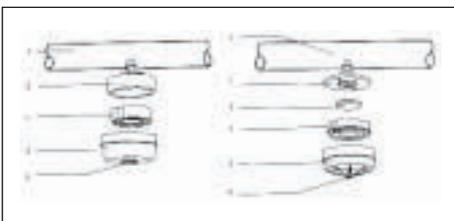


Figure 6. Schéma d'un goutteur « ordinaire » (à gauche) et d'un goutteur « autorégulant » (à droite). 1) tube ; 2) base avec branchement ; 3) membrane pour la compensation ; 4) labyrinthe interne ; 5) bouchon ; 6) orifice d'évacuation (d'après Guidoboni, 1990).

Dans les diffuseurs à tourbillon, l'eau s'introduit à l'intérieur du diffuseur en formant un tourbillon au centre duquel se produit une dépression. Le point d'émission correspond au centre du tourbillon. Ces diffuseurs sont moins sensibles aux variations de pression que ceux à flux turbulent mais en général, leurs conduits sont plus étroits et se bouchent plus facilement.

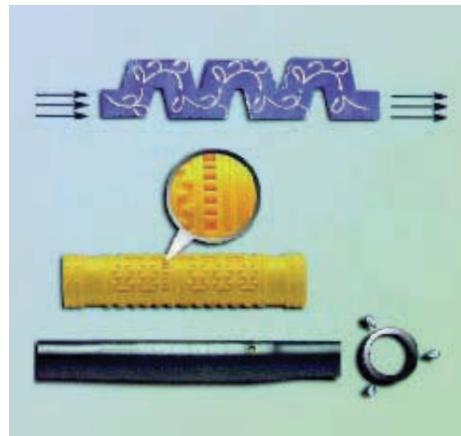


Figure 5. Schéma de fonctionnement d'un goutteur à flux turbulent (Siplast, 2003).

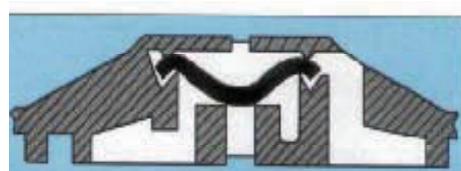


Figure 7. Schéma de fonctionnement de la membrane dans un goutteur autorégulant (Irritol System Europe s.r.l.).



- La position des goutteurs sur les rampes : on peut distinguer les goutteurs « on line » et « in line » :

Les goutteurs sont *on line* quand ils sont montés en dérivation du tube, et *in line* quand ils sont installés sur la rampe. Les premiers sont utilisés surtout pour des lignes suspendues, alors que les deuxièmes peuvent également être installés sur le sol. En cas de lignes pré-montées, l'intervalle entre les goutteurs en ligne est déterminé avant l'extrusion des rampes.

- Les goutteurs peuvent être démontables ou non : les premiers pouvant s'ouvrir, ils permettent d'éliminer les particules solides qui obstruent la sortie de l'eau. Les goutteurs de type démontables auto-régulants ne sont pas conseillés : en effet, leur ouverture risque d'altérer les caractéristiques de la membrane, ce qui entraînerait une variation du débit (Figure 8).
- Goutteurs équipés de système antigouttes :

La vidange de l'équipement à la fin de l'irrigation peut être résolue en adoptant des goutteurs munis d'un système anti-gouttes particulier, qui permet de bloquer l'égouttement lorsque l'installation est arrêtée. Ce système présente l'avantage de permettre de doser plus facilement et plus précisément le volume d'irrigation.



Figure 8. Goutteur démontable (Irrital System Europe s.r.l - type Euro-Key classic).

- Goutteurs auto-nettoyants

On trouve dans le commerce des goutteurs qui s'adaptent mieux que d'autres à l'emploi d'eaux de qualité médiocre. Le système d'auto-nettoyage est actionné par l'ajustement de la pression d'exercice de l'installation.

Diffuseurs

Les diffuseurs ont un débit supérieur à celui des goutteurs : ils sont appelés micro-diffuseurs lorsque leur débit est compris entre 30 et 150 litres heure⁻¹, et mini-diffuseurs lorsque leur débit est compris entre 150 et 350 litres heure⁻¹.

On trouve des diffuseurs statiques (Figure 9) et des diffuseurs dynamiques (Figure 10). Si les premiers ne sont pas équipés d'organes mobiles, le type et la forme des orifices de sortie de l'eau permettent toutefois de couvrir différents secteurs de mouillage du sol (circulaire ou par secteur). Les seconds sont dotés d'organes mobiles (rotation) qui donnent un secteur de mouillage de forme circulaire.

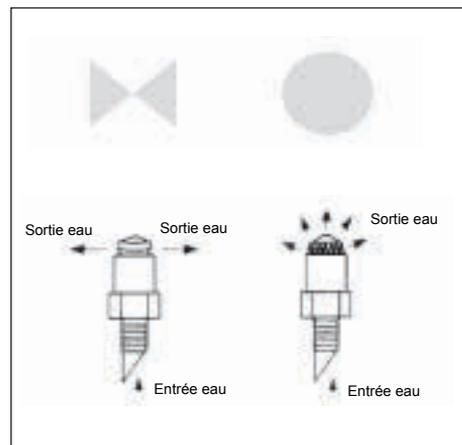


Figure 9. Schéma de diffuseur statique (ERSAM, 2001).

Différents modèles sont disponibles dans le commerce. Il faut savoir toutefois que les prestations de diffusion de l'eau varient non seulement selon la pression d'exercice, mais également selon la hauteur par rapport au sol. Le montage direct sur le tuyau est possible mais déconseillé car il ne permet pas de maintenir la perpendicularité du distributeur par rapport au sol à cause des mouvements et des torsions du tuyau dus aux changements de température, ce qui entraîne une déformation des zones mouillées par les distributeurs.

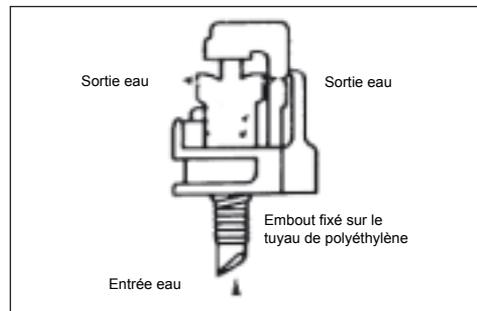


Figure 10. Schéma de diffuseur dynamique (ERSAM, 2001).

Pour pallier cet inconvénient, différentes solutions ont été prévues, notamment:

- le montage sur une perche plantée directement dans le sol à proximité de la plante et reliée au tuyau d'alimentation par un petit tube conçu à cet effet. De cette manière, la disposition du diffuseur n'est pas dépendante des mouvements du tuyau. Le tuyau d'alimentation pourra dans ce cas être appuyé directement sur le sol, enterré le long de la rangée ou suspendu à des supports aménagés à cet effet ou aux arbres (Figure 11)
- certains types de diffuseurs, pour les lignes en hauteur, peuvent être montés la tête en bas et reliés au tuyau d'alimentation par un petit tube flexible. Il est parfois nécessaire d'insérer un petit tube en plastique rigide dans le tuyau de liaison pour que le système reste perpendiculaire par rapport au sol.



Figure 11. Mini-diffuseur monté sur une perche (Irritol System Europe s.r.l).

Le premier système présente l'avantage de permettre de modifier la position du goutteur selon les exigences de la plante. Il suffit ainsi de le déplacer légèrement pour suivre les besoins hydriques de la plante par rapport à son développement dans le temps (dans les jeunes plantations). La perche constitue toutefois un obstacle pour les travaux effectués le long des rangées. Le choix dépendra donc du type de conduite de l'exploitation.

Le positionnement des diffuseurs est particulièrement important : le mouillage du tronc des plantes favorise en effet l'apparition de champignons sur le collet ou sur le tronc (Figure 12).

6.4.3. Nombre et position des organes de distribution

La décision concernant le nombre de diffuseurs dépend du type de terrain, de la densité de plantation et du volume d'eau. Il s'agit d'une décision importante si l'on veut conserver les avantages de la micro-irrigation.



Figure 12. Plant d'olivier arrosé par un mini-diffuseur. Le mouillage du tronc favorise l'apparition de maladies.



Du point de vue agronomique, il faut savoir que le front d'humectation de l'eau diffusée par un goutteur varie en fonction des caractéristiques hydrologiques du sol et de la vitesse de la diffusion (Tableau 6). L'eau dans le sol étant soumise aux forces de gravité (vers le bas) et à la capillarité (dans le sens radial externe), le modèle de diffusion de l'eau est caractéristique à chaque type de sol (Figure 13).

Le nombre et la position des points de diffusion sont donc définis en fonction du type de sol dont il sera nécessaire de connaître les caractéristiques. À titre d'orientation, on considère que :

- sur les terrains argileux, la perméabilité est faible et l'eau tend à se répandre d'abord à la surface (latéralement) puis en profondeur. Le volume de sol mouillé étant significatif, on pourra installer un nombre réduit de diffuseurs par rapport à d'autres types de sols.
- sur des terrains de texture semi-légère, les forces de gravité et la capillarité sont plus équilibrées et l'eau est distribuée plus uniformément en profondeur, ce qui exige d'augmenter le nombre des diffuseurs. Dans ce cas, pour éviter des pertes d'eau par percolation profonde (en deçà des zones absorbantes), on augmentera le nombre de diffuseurs, on réduira le volume d'eau et on augmentera la fréquence des interventions.
- sur des terrains sableux ou pierreux (perméables), les forces de gravité et la capillarité réduite donnent lieu à une percolation rapide de l'eau en profondeur. La forme de la zone humectée sera étroite et allongée. Dans ce cas, le rapport entre sol mouillé et racines sera efficace avec un nombre élevé de diffuseurs et des irrigations fréquentes avec des volumes d'eau réduits.

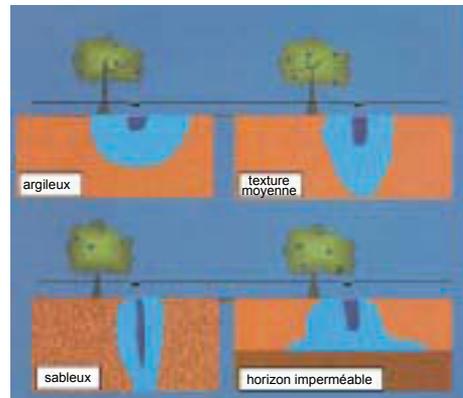


Figure 13. Schéma du mouvement de l'eau distribuée par un goutteur sur un sol argileux, limoneux, sableux et un horizon imperméable (ERSAM, 2001).

La décision concernant le nombre de goutteurs sur les lignes dépendra également du climat, des besoins de la plante et du type de sol. Cet aspect est non seulement important pour satisfaire le besoin hydrique de la culture mais il a également une répercussion sur les coûts d'investissement (diamètre des rampes, nombre de goutteurs, dimension de la station de pompage, etc.). On trouvera dans le Tableau 11 quelques exemples de l'effet du changement de disposition des goutteurs sur différents types de sol en fonction de leur débit. Des applications informatiques simples à utiliser sont également disponibles.

Pour les diffuseurs, on considèrera le rayon de mouillage et la forme de la zone mouillée. La zone humectée par les diffuseurs est précisée dans les catalogues des fabricants. L'aire mouillée par les diffuseurs dynamiques est en général comprise entre 1 et 5 m et sa forme est circulaire. Il est conseillé de disposer les diffuseurs à une distance égale au double de la longueur du jet par rapport à la plante, indépendamment du type de sol.

TABLEAU 11.

Nombre de goutteurs par arbre, distance de chaque côté du tronc et pluviométrie relative moyenne en fonction du type de texture du sol et de la portée des goutteurs.

Type de sol	Débit goutteurs									
	4 litres par heure					8 litres par heure				
	Goutteurs plante ⁻¹	Distance au tronc			Pluviométrie	Goutteurs plante ⁻¹	Distance au tronc			Pluviométrie
	n.pt ⁻¹	cm			mm h ⁻¹	n.pt ⁻¹	cm			mm h ⁻¹
	I°	II°	III°			I°	II°	III°		
Sableux	6	59	118	178	0,49	6	59	118	178	0,98
Limoneux	6	62	125	188	0,49	6	62	125	188	0,98
Argileux	4	145	218	-----	0,33	4	145	218	-----	0,65

Les besoins hydriques augmentant au fur et à mesure de la croissance des plantes, il est important de prévoir les rampes qui seront nécessaires pour satisfaire les besoins d'une oliveraie adulte et d'augmenter le nombre de goutteurs en fonction des besoins imposés par le développement des plantes.

6.4.4. Irrigation souterraine

Les rampes de goutteurs « in line » peuvent être placées sous la surface du sol pour permettre l'irrigation souterraine.

Cette technique offre un certain nombre d'avantages par rapport à l'irrigation au goutte à goutte en surface, en particulier dans des environnements à climat aride. Des expériences récentes ont permis d'observer notamment :

- une réduction des pertes d'eau dues à l'évaporation et à l'action du vent (observées dans le cas des installations aériennes) ;
- une efficacité accrue de la fertilisation, l'irrigation souterraine favorisant la distribution des fertilisants dans la zone occupée par les racines ;
- une réduction des maladies fongiques et une limitation du développement des mauvaises herbes grâce à l'humidité constante du sol sous la végétation ;
- un emploi plus facile des eaux recyclées caractérisées par une charge microbienne élevée ;
- une meilleure protection des installations contre la dégradation entraînée par les rayons ultraviolets et par l'amplitude thermique, grâce à l'enterrement des rampes ;
- un impact réduit des rampes enterrées sur le paysage, qui sont en outre moins exposées aux actes de vandalisme ;
- un passage plus facile des machines, ce qui permet de mécaniser les opérations culturales grâce à l'absence de rampes aériennes ou de surface.

Ce système a toutefois quelques inconvénients, notamment le risque de colmatage des orifices de sortie de l'eau par les racines et le sol.

Pour prévenir les occlusions par les particules de sol, on évitera les chutes de pression à la fin du processus d'irrigation. À cet effet, on installera des clapets de purge à double effet à l'endroit de la



zone irriguée situé à l'altitude la plus élevée, que l'on raccordera aux rampes situées à l'extrémité au moyen d'un collecteur d'échappement. Ce problème est encore plus fréquent sur les terrains en pente variable, où l'on pourra installer des clapets de purge supplémentaires dans les zones plus élevées. Il est conseillé d'employer également des goutteurs à flux turbulent auto-nettoyants. Pour réduire le problème de l'intrusion des chevelus racinaires dans les goutteurs, on pourra utiliser des goutteurs (disponibles sur le marché) contenant une dose de dés herbant (trifluralin) diffusé de manière continue en très petites quantités non nuisibles pour l'environnement. Le trifluralin n'est pas lessivé car il est absorbé par le terrain et dévie le parcours de l'allongement des racines.

En oléiculture, à titre d'orientation, pour des plantations intensives, on pourra prévoir deux rampes par rangée, enterrées à environ 35 cm de profondeur et installées à 120 - 140 cm de la rangée, avec des goutteurs de 2 ou 4 litres h⁻¹ posés à des intervalles de 1 mètre.

Comme pour les installations en surface, il est conseillé de faire élaborer le projet par un professionnel pour définir les caractéristiques agronomiques et techniques de l'installation.

6.5. QUALITÉ DE L'EAU

L'eau d'irrigation provient de différentes sources d'approvisionnement (rivières, lacs, canaux, retenues artificielles, puits, eaux usées urbaines et industrielles, etc.) qui en influencent la qualité. La connaissance des caractéristiques qualitatives de l'eau est importante quant à ses effets sur la plante, sur le sol et sur l'entretien des installations (Tableau 12).

Les indicateurs de la qualité des eaux peuvent être classés en trois catégories :

- 1) Indicateurs physiques : température, suspensions solides, substances organiques naturelles
- 2) Indicateurs biologiques : microorganismes pathogènes (coliformes, streptocoques, etc.), algues, champignons, actinomycètes.
- 3) Indicateurs chimiques : pH, salinité, CAS (Coefficient d'Adsorption du Sodium), présence de chlorures, sulfates, bore, traces d'éléments (métaux lourds) et traces de composés (tensioactifs, solvants, colorants, etc.)

Indicateurs physiques

La température élevée qui peut être enregistrée dans les rampes lorsque l'installation n'est pas en fonctionnement, entraîne certaines réactions chimiques (transformation du bicarbonate de calcium en carbonate insoluble pouvant entraîner des dépôts dans l'installation et des occlusions) et donne lieu au développement de micro-organismes. En outre, la présence de particules solides en suspension, d'origine organique ou non, provoque des problèmes d'occlusion des diffuseurs, de colmatage des filtres, etc. En général, la présence de ces particules ne doit pas être supérieure à 50 mg L⁻¹. Les eaux les plus contaminées, de ce point de vue, sont les eaux superficielles et les eaux résiduaires.

Indicateurs biologiques

Outre le danger que certaines bactéries constituent pour la santé humaine, la présence de microorganismes peut générer une prolifération de boues bactériennes entraînant des colmatages et des problèmes d'uniformité de distribution de l'eau. En outre, des algues, actinomycètes et champignons peuvent se développer à la surface des fosses et des bassins exposés à la lumière.

TABLEAU 12.

Déterminations analytiques nécessaires pour évaluer la qualité de l'eau en vue de l'irrigation (Ayers et Westcot, 1994).

Paramètres analytiques	Symboles	Unités de mesure ¹	Valeurs normales
SALINITÉ			
Conductivité électrique	Ecw	dS m ⁻¹	0 – 3
Solides dissous totaux	TDS	mg L ⁻¹	0 – 2 000
CATIONS et ANIONS			
Calcium	Ca ⁺⁺	meq L ⁻¹	0 – 20
Magnésium	Mg ⁺⁺	meq L ⁻¹	0 – 5
Sodium	Na ⁺	meq L ⁻¹	0 – 40
Carbonates	CO ₃ ⁻⁻	meq L ⁻¹	0 – .1
Bicarbonates	HCO ₃ ⁻	meq L ⁻¹	0 – 10
Chlore	Cl ⁻	meq L ⁻¹	0 – 30
Sulfates	SO ₄ ⁻⁻	meq L ⁻¹	0 – 20
NUTRIMENTS			
Nitrate d'azote ²	NO ₃ - N	mg L ⁻¹	0 – 10
Azote ammoniacal ²	NH ₄ - N	mg L ⁻¹	0 – 5
Phosphate-phosphore ²	PO ₄ -P	mg L ⁻¹	0 – 2
Potassium	K ⁺	mg L ⁻¹	0 – 2
AUTRES			
Bore	B	mg L ⁻¹	0 – 2
Acidité/alcalinité	PH	l - 14	6,0 – 8,5
Coefficient d'Adsorption Sodium	CAS	meq L ⁻¹	0 - 15

¹ dS m⁻¹ = 10 Siemens par mètre⁻¹ (équivalent à 1 mmho cm⁻¹ = 1 milihmho centimètre⁻¹)

mg L⁻¹ = milligrammes par litre = parties par million (ppm)

meq L⁻¹ = milliéquivalents par litre (mg L⁻¹ ÷ poids équivalent = meq L⁻¹)

² Généralement, les laboratoires fournissent la quantité de NO₃⁻ en équivalents chimiques de l'azote. Il en est de même avec l'ammonium et les phosphates.

Indicateurs chimiques

Le pH optimal de l'eau est compris entre 6,5 et 7,5. En présence de valeurs supérieures à 8, il convient d'être attentif à la présence d'ions Ca⁺⁺, Fe⁺⁺, Fe⁺⁺⁺, PO₄⁻ car les précipités de calcium, les oxydes de fer, les composés phosphatiques, etc., peuvent entraîner le colmatage des distributeurs.

Un autre aspect de nature chimique qui doit être pris en compte pour l'évaluation des eaux d'irrigation, est relatif à la quantité et à la qualité des sels dissous (salinité) sous forme ionique, pour leurs effets sur le sol et sur la plante.

Pour définir la salinité de l'eau, plusieurs indices peuvent être utilisés. L'un des plus employés est la conductibilité électrique (CE), qui est généralement exprimée en dS m⁻¹.



Plus la valeur de la CE est élevée et plus la quantité de sels dissous dans l'eau est élevée, ce qui entraîne, lorsque les autres conditions sont inchangées, une augmentation de la pression osmotique de la solution circulante dans le sol et donc une réduction de la disponibilité d'eau pour la culture.

La CE ne permet qu'une évaluation quantitative des sels. Pour estimer les effets phytotoxiques spécifiques de certains ions (bore, chlore, sodium) et les effets sur la nature chimique et physique du sol d'autres solutés (sodium, calcium, magnésium, carbonates, etc.), des évaluations analytiques qualitatives seront nécessaires.

Parmi les différents indices adoptés pour l'évaluation des risques de salinisation du terrain, avec la dégradation des caractéristiques physiques qui en résulte, l'un des plus utilisés est le CAS (Coefficient d'Adsorption Sodium), qui tient compte de la qualité des sels dont l'effet sur les phénomènes d'absorption colloïdale influence la structure du sol :

$$CAS = Na^+ / \sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}$$

où les concentrations ioniques (Na⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺) sont exprimées en milliéquivalents par litre (meq L⁻¹).

La connaissance de la CE, du CAS et de la quantité de certains ions toxiques est d'une importance fondamentale pour définir la possibilité d'utiliser l'eau à des fins d'irrigation (Tableaux 12 et 13).

TABLEAU 13.

Indications générales pour l'évaluation des eaux destinées à l'irrigation

Problèmes possibles durant l'irrigation	Indice/ions	Unité de mesure	Degré de limitation à l'emploi		
			aucun	modéré	sévère
Salinité	CE _{eau}	dS m ⁻¹	< 0,7	0,7 – 3,0	> 3,0
Réduction de la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol	CAS	Avec : 0 < SAR < 3 et CE _{eau} →	> 0,7	0,7 – 0,2	< 0,2
		Avec : 0 < SAR < 6 et CE _{eau} →	> 1,2	1,2 – 0,3	< 0,3
		Avec : 0 < SAR < 12 et CE _{eau} →	> 1,9	1,9 – 0,5	< 0,5
		Avec : 0 < SAR < 20 et CE _{eau} →	> 2,9	2,9 – 1,3	< 1,3
		Avec : 0 < SAR < 40 et CE _{eau} →	> 5,0	5,0 – 2,9	< 2,9
Effets toxiques sur cultures sensibles	sodium (Na ⁺)	mg L ⁻¹	< 69	> 69	
	chlore (Cl ⁻)	mg L ⁻¹	140	140 – 350	> 350
	bore (B)	mg L ⁻¹	< 0,5	0,5 - 1	> 1
	autres éléments (voir Tableau 11)				
Effets divers sur cultures sensibles	azote (NO ₃ ⁻)	mg L ⁻¹	< 0,5	5 – 30	> 30
	bicarbonate (HCO ₃ ⁻)	meq L ⁻¹	< 1,5	1,5 – 8,5	> 8,5
	pH		Compris entre 6,5 et 8,4		

Source : Modifié à partir de Ayers et Westcot, 1995.

6.5.1. Traitement de l'eau

Les distributeurs utilisés pour la micro-irrigation sont caractérisés par de petits orifices de passage de l'eau, qui se bouchent facilement. Cela exige une connaissance précise des caractéristiques qualitatives de l'eau afin de choisir d'éventuels équipements de filtrage.

Le traitement de l'eau peut être :

PHYSIQUE = pour éliminer les matières en suspension (organiques et inorganiques)

CHIMIQUE = pour éliminer les substances dissoutes dans l'eau (carbonates, fer, etc.)

- Le traitement physique de l'eau peut être effectué au moyen de différents systèmes en fonction du type de matières présentes dans l'eau. Les principaux systèmes utilisés sont la cuve de sédimentation et les filtres hydrocyclones, à gravier, à sable, à tamis ou à disques. Différents types de filtres peuvent être associés.

Bacs de sédimentation

Les bacs de sédimentation servent à réduire la charge de matières en suspension dans l'eau. Les particules en suspension les plus lourdes se déposent sous l'effet de la force de gravité. La vitesse de dépôt dépend du type de matières en suspension et des caractéristiques de fabrication du bac. Il s'agit de systèmes qui exigent des investissements élevés et une manutention spécifique et qui ne sont donc utilisés que dans des cas particuliers.

Filtres centrifuges ou hydrocyclones

L'hydrocyclone ou séparateur centrifuge (Figure 14) est surtout utilisé en présence de sable et de particules plus lourdes que l'eau. Le filtrage a lieu sous l'effet de la force centrifuge générée par la forme du filtre, en entonnoir, qui entraîne les impuretés le long des parois jusqu'au récipient de récupération situé en dessous. Les séparateurs centrifuges sont souvent associés aux pompes pour en réduire l'usure (Figure 15). Pour les nettoyer, il suffit d'ouvrir les soupapes de décharge pour permettre l'évacuation des sédiments entraînés par le flux d'eau. Certains modèles sont auto-nettoyants. La perte de pression due à la force centrifuge est assez élevée, en particulier sur les filtres montés à l'entrée des pompes (0,50 - 0,80 MPa). Le filtre est généralement conçu en acier galvanisé, avec des parois internes revêtues de matériaux époxydes qui réduisent l'abrasion.

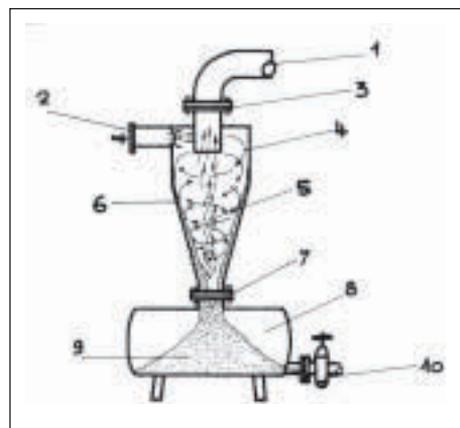


Figure 14. Schéma de fonctionnement d'un filtre hydrocyclone. 1) tube d'alimentation ; 2) tube d'entrée ; 3) joint avec tube d'alimentation ; 4) mouvement de l'eau ; 5) direction d'évacuation de l'eau ; 6) paroi en zinc ; 7) joint entre le filtre et le récipient de recueil du sable ; 8) récipient de recueil du sable ; 9) sable ; 10) valve de vidange (d'après Guidoboni, 1990).

Filtres à sable ou à gravier

Dans les filtres à gravier (Figure 16), l'élément filtrant est constitué de granit ou de silice broyée, de dimension variable en fonction du



Figure 15. Schéma de fonctionnement d'un séparateur de sable (d'après Boswell, 1993).

nettoyer ce type de filtres (manuellement ou automatiquement), le flux de l'eau est inversé et la bouche de sortie est utilisée comme bouche d'entrée, l'eau sale sortant à l'extérieur par une vanne prévue à cet effet. L'opération de contre-lavage doit être effectuée à chaque fois que l'on observe une perte de pression d'environ 0,03 - 0,08 MPa par rapport aux valeurs normales.

Filtres à tamis

Le filtre à tamis (Figure 17) est constitué d'une cuve en plastique ou en acier inoxydable, de forme cylindrique, fermée par un couvercle hermétique,

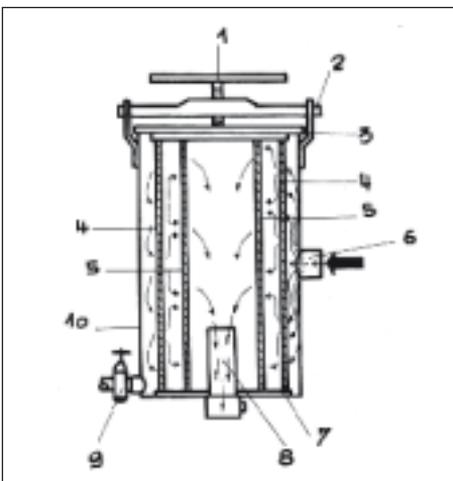


Figure 17. Schéma de fonctionnement d'un filtre à maille. 1) fermeture ; 2) couvercle ; 3) joint ; 4) cartouche filtrante externe ; 5) cartouche filtrante interne ; 6) entrée de l'eau ; 7) joint ; 8) collecteur de vidange ; 9) valve de purge ; 10) corps du filtre (d'après Guidoboni, 1990).

besoin de filtrage et de la dimension des orifices des diffuseurs (Tableau 14). Certains modèles situent les strates des graviers les plus gros dans la partie supérieure du filtre et celles des graviers plus fins dans la partie plus proche de l'orifice de sortie. L'eau pénètre dans la cuve contenant le gravier, par une ouverture située au sommet, le jet étant tourné vers le haut. L'eau se répartit ainsi de manière homogène à la surface du gravier et en traversant les strates, elle se libère des algues, des déchets organiques, des particules de terrain et autres particules. Les impuretés accumulées limitent le pouvoir filtrant. Pour

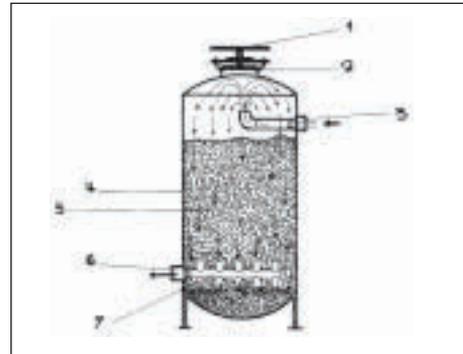


Figure 16. Schéma de fonctionnement d'un filtre à gravier. 1) couvercle avec poignée ; 2) joint du couvercle ; 3) alimentation ; 4) paroi du filtre ; 5) élément filtrant ; 6) évacuation de l'eau ; 7) collecteur (d'après Guidoboni, 1990).

à l'intérieur de laquelle se trouvent un ou plusieurs tamis fins qui constituent l'élément filtrant. Ces types de filtres sont utilisés pour retenir le sable ou d'autres particules grossières. La dimension de la maille du tamis dépend de la qualité de l'eau à traiter et de la dimension des orifices de sortie des diffuseurs (Tableau 14). La dimension du tamis est exprimée en mesh (nombre de fils de maille par pouce au carré). Ces filtres peuvent être employés seuls mais plus fréquemment, ils sont associés à un filtre à gravier ou un hydrocyclone.

L'eau qui entre à l'intérieur du filtre passe à travers une maille qui retient les impuretés. Il y a entassement lorsque la différence entre la pression mesurée par des manomètres installés à l'entrée et à la sortie du filtre est supérieure à la normale. En général, les mailles filtrantes sont

TABLEAU 14.

Paramètres pour le choix à titre indicatif du filtrage nécessaire en fonction du diamètre de passage des orifices du diffuseur – goutteurs et diffuseurs (ERSAM, 2001).

Diamètre des orifices des diffuseurs (mm)	Diamètre du sable (mm)		Maille des filets (mesh)	
	Goutteurs	Diffuseurs	Goutteurs	Diffuseurs
< 0,4	0,6		270	
0,4 – 0,5	0,7		230	
0,5 – 0,6	0,8		200	
0,6 – 0,7	1,0		170	
0,7 – 0,8	1,1	1,1	140	140
0,8 – 1,0	1,4	1,4	120	120
1,0 – 1,2	1,7	1,7	100	100
1,2 – 1,4	1,7	2,0	100	80
1,4 – 1,6	1,7	2,3	100	70
1,6 – 1,8	1,8	2,5	100	70
1,8 – 2,0	1,8	2,5	100	60
2,0 – 2,3	1,8	2,5	100	60

remplacées après chaque campagne d'irrigation. Vu le coût réduit de ce type de filtres, il est conseillé d'en installer plusieurs.

Filtres à disques

Le filtre à disques (Figure 18) est constitué d'un corps en plastique très résistant, contenant un grand nombre de lames rugueuses qui, comprimées l'une sur l'autre au moyen d'un ressort ou d'un boulon, forment une surface filtrante efficace. Les disques sont de couleurs différentes : chaque couleur correspond à un degré de filtration compris en général entre 40 et 200 mesh.

Pour nettoyer ce filtre, il suffit d'enlever puis de laver les disques. Des modèles auto-nettoyants sont également disponibles dans le commerce.

En fonction de la quantité de solides en suspension, organiques ou non, dans l'eau d'irrigation, on peut utiliser différents types de filtres en batterie.

Le traitement chimique est nécessaire dès que l'analyse de l'eau indique la présence de substances qui peuvent entraîner le colmatage

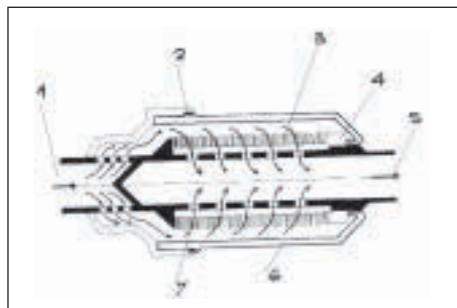


Figure 18. Schéma de fonctionnement d'un filtre à lames. 1) alimentation en eau ; 2 et 6) joint ; 3) anneaux de filtrage ; 4) bague de serrage ; 5) évacuation de l'eau (d'après Guidoboni, 1990)

des orifices de sortie (Tableau 15). On interviendra au moyen de produits qui évitent la formation de précipités.

Le fer est présent en solution dans les nappes aquifères. Après le pompage, il peut être facilement s'oxyder par l'action des micro-organismes oxydants. Dans ce cas, il est conseillé d'ajouter à l'eau des produits acidifiants comme le chlore (on utilise en général de l'hypochlorite de sodium). La chloration peut être exécutée de manière continue (à une concentration de chlore de 1 mg de chlore pour 0,7 mg L⁻¹ de fer). C'est également une bonne solution pour remédier à la présence de sels de calcium qui peuvent former des précipités insolubles dans les goutteurs ou dans les rampes.

TABLEAU 15.

Concentration des principaux agents chimiques présents dans l'eau d'irrigation pouvant donner lieu à des problèmes de colmatage des orifices de sortie (Nakayama et Bucks, 1981)

Agent chimique	Niveau du problème		
	Nul	Moyen	Grave
		mg L ⁻¹	
Fer	0 - 0,1	0,1 - 0,4	> 0,4
Manganèse	0 - 0,2	0,2 - 0,4	> 0,4
Sulfures	0 - 0,1	0,1 - 0,2	> 0,2
pH	< 7	7,0 - 8,0	> 8

Pour empêcher la croissance d'algues dans le bac ou de bactéries, en l'absence de lumière dans les rampes et les différents éléments de l'installation (risque élevé avec 50 000 bactéries par mL), l'intervention acidifiante peut également être réalisée de façon discontinue à des concentrations de chlore comprises entre 10 et 20 mg L⁻¹ pendant environ une heure (Guidoboni, 1990) lorsqu'un colmatage est observé (Figure 19). On peut également utiliser d'autres acides tels que les acides phosphorique, hypochlorhydrique ou sulfurique, en veillant à ne pas mouiller la partie épigée de la plante.

Tous les acides doivent être utilisés avec précaution et en prenant soin d'ajouter l'acide à l'eau et non l'eau à l'acide.

Le traitement aux acides est généralement effectué à la fin de la campagne d'irrigation et au début de la saison suivante en tant que mesure d'entretien.

Le traitement chimique de l'eau n'est pas toujours possible en raison du coût élevé des installations. Il convient donc de procéder à une évaluation spécifique de chaque situation.



Figure 19. Incrustations entraînées par la présence de fer dans l'eau (d'après Guidoboni, 1990).

6.5.2. Irrigation avec de l'eau saline

L'olivier est considéré comme une espèce modérément tolérante à la salinité. Les dégâts sur la culture (Freeman et Hartman, 1994) commencent à des valeurs de conductivité électrique de l'eau d'irrigation

(CEe) comprises entre 2,5 et 4 dS m⁻¹ et s'aggravent à des valeurs supérieures à 5,5 dS m⁻¹ (Tableau 16). La conductivité de l'extrait saturé du sol (CEes), qui influence directement le comportement de la culture, entraîne une réduction de 10 % de la production à des valeurs de 4-5 dS m⁻¹, de 25 % à des valeurs comprises entre 5 et 7,5 dS m⁻¹ et de 50 % à des valeurs supérieures à 8 dS m⁻¹ (Mass et Hoffman, 1977). Les mêmes auteurs calculent que la production est perdue à des valeurs de CEes de 14 dS m⁻¹.

TABLEAU 16.

Niveaux de risques relatifs aux valeurs de CE_e et CE_{es} pour l'olivier

	Niveau du problème		
	Nul	Moyen	Grave
		dS m ⁻¹	
Salinité de l'eau d'irrigation	< 2	2,5 - 4	> 5,5
Salinité du sol	< 4	5 - 8	> 8

Le stress salin se manifeste par les symptômes caractéristiques suivants : diminution du nombre de fleurs, réduction de la croissance des pousses et des racines, réduction de la surface foliaire et de la grosseur des fruits, altération de la composition des tissus de la plante et des acides gras présents dans l'huile, augmentation de la matière sèche, diminution de l'humidité du fruit et réduction de la production.

La réponse au stress salin varie selon les cultivars. Une étude récente sur ce thème a permis d'établir un classement des cultivars les plus diffusés, bien que les mêmes auteurs précisent que la plupart des essais ont été réalisés sur des plantes élevées dans un milieu contrôlé.

En outre, l'olivier présente une toxicité spécifique à l'égard du bore dont la quantité dans l'eau d'irrigation ne devrait pas être supérieure à 2,5 ppm.

À partir de l'interprétation des analyses de l'eau, on définira le degré de risque d'accumulation de sels dans les parties du sol où se trouvent les racines. En général, il faut prendre en considération la quantité des éléments par rapport à la qualité de l'eau (voir Tableau 13) et contrôler également les éventuelles variations de la conductivité électrique (CE) tout au long de l'année.

En particulier, si la CEe est supérieure à 2,5 dS m⁻¹, on pourra adopter certaines règles générales :

- S'assurer que la valeur de CEe n'est pas inférieure à celle du sol.
- Utiliser des systèmes d'irrigation localisée à une fréquence d'intervention élevée. Cela permet de maintenir une humidité constante dans le temps et d'assurer que les sels se concentrent dans la zone périphérique du bulbe humide, ce qui réduit la conductivité électrique dans la zone centrale de l'aire humide (Figure 20).
- Continuer à irriguer même s'il pleut, pour limiter la redistribution des sels qui se sont concentrés dans la partie périphérique du bulbe humide (qui annule les avantages de l'irrigation localisée).
- Assurer un bon drainage du sol pour favoriser l'éloignement des sels transportés en profondeur par le lessivage.



- Lessiver de préférence durant les périodes de faible évaporation.
- Si les sols sont calcaires, acidifier l'eau (avec de l'acide sulfurique) de manière à rendre les sels de calcium solubles, ce qui facilite le lessivage des sels de sodium et améliore la perméabilité de ces terrains.
- Si les sols ne sont pas calcaires et qu'ils présentent un déficit en Ca^{++} et en Mg^{++} , apporter ces sels pour favoriser le lessivage des sels de sodium.
- Modifier la stratégie de fertilisation pour privilégier les engrais qui contiennent du potassium et du calcium (attention, le sodium et le chlore sont antagonistes pour l'absorption de ces ions).
- Si l'eau présente une valeur de CE supérieure à 4 dS m^{-1} et une teneur en bore supérieure à $2,5 \text{ ppm}$ (ou mg L^{-1}), envisager de ne pas irriguer.
- Utiliser des volumes d'eau supérieurs aux volumes nécessaires, avec une eau ayant une CE inférieure à celle du sol, pour éloigner les sels plus solubles (NaCl) de la zone explorée par les racines (lessivage).

Calcul de la fraction de lessivage

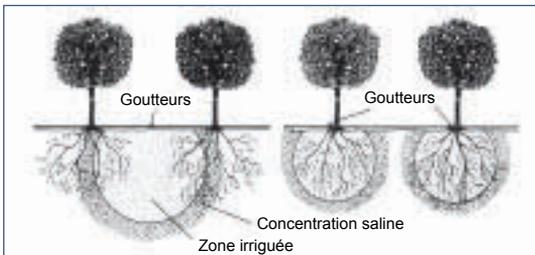


Figure 20. Disposition des goutteurs en fonction du mouvement des sels dans le sol (d'après Boswell, 1993).

Pour éloigner les sels solubles en excès, il est généralement conseillé de pratiquer le lessivage, opération qui consiste à augmenter le volume d'eau d'irrigation dans une proportion telle, qu'elle favorisera le déplacement des sels hors de la zone colonisée par les racines. Les méthodes utilisées pour le calcul de l'eau de lessivage sont multiples. On trouvera ci-après deux approches qui peuvent être proposées dans deux situations différentes.

La quantité d'eau à apporter dans le cas des méthodes par aspersion (diffuseurs statiques ou dynamiques) peut être calculée de la manière suivante (Ayers et Westcot, 1995) :

$$\text{Vol. irr.} = \text{ET} (1 - \text{LR})^{-1}$$

Vol. irr. = besoin d'irrigation avec des eaux salines

ET = besoin d'irrigation avec des eaux de bonne qualité

LR = fraction de lessivage, donnée par

$$\text{LR} = \frac{\text{CEe}}{5\text{CEes} - \text{CEe}}$$

CEe = conductivité électrique de l'eau d'irrigation (dS m^{-1})

CEes = valeur de la conductivité électrique du sol à laquelle aucune diminution de la production n'est observée (dS m^{-1}).

Dans le cas de l'olivier, selon Mass et Hoffman (1977), la CEes à laquelle la production commence à diminuer à cause de la salinité est de $2,7 \text{ dS m}^{-1}$.

Dans le cas d'une irrigation en goutte à goutte, le besoin de lessivage peut être calculé comme suit (Ayers et Westcot, 1985) :

$$LR = \frac{CEe}{2(\max CEes)}$$

max CEes = conductivité électrique maximum ($dS\ m^{-1}$) qui donne lieu à une réduction de 100 % de la production.

CONCLUSIONS

La réponse positive de l'olivier à l'apport d'eau est évidente. Cela permet d'utiliser des stratégies d'irrigation qui s'adaptent bien à différentes conditions édaphoclimatiques. L'irrigation qui consiste à satisfaire pleinement les besoins de la plante, constitue la technique qui donne les meilleurs résultats en termes de production, mais le coût élevé de l'eau et la rareté de cette ressource, particulièrement évidente dans la région méditerranéenne, rendent nécessaire l'adoption de stratégies d'irrigation dont l'objectif est de réduire le volume saisonnier d'irrigation tout en maintenant un niveau qualitatif et quantitatif de production élevé. L'emploi correct de l'irrigation permet, en outre, une plus grande stabilité de la production avec toutes les retombées sociales et économiques qui en résultent.

Recommandations pour l'estimation du volume d'eau disponible :

- Pour élaborer un programme de gestion de l'irrigation, il est fondamental de connaître les caractéristiques du sol et d'estimer les variables climatiques. C'est sur cette base que l'on pourra déterminer les intervalles et les volumes d'irrigation. Les caractéristiques hydrologiques du sol fournissent des informations sur la quantité d'eau pouvant s'accumuler dans la fraction explorée par les racines, dont il faudra tenir compte dans le calcul du volume d'eau. De cette manière, on pourra estimer l'apport de la réserve hydrique disponible dans le sol et en tenir compte dans le calcul du volume d'eau. L'évolution des paramètres climatiques permettra d'estimer, avec une certaine précision, la consommation hydrique de la culture pour déterminer le volume d'eau nécessaire.
- Lorsque l'eau n'est pas un facteur limitant, il est conseillé de restituer complètement la consommation en eau de la culture, en considérant l'apport hydrique de la réserve. Les méthodes pour atteindre cet objectif sont multiples et peuvent supposer également l'emploi d'équipements complexes et coûteux. Pour une programmation facile à suivre par des producteurs ou des centres d'assistance technique, les stratégies basées sur l'approche agro-météorologique décrite dans le texte, peuvent donner de bons résultats tout en assurant un coût raisonnable, une application simple et un emploi efficace de l'eau. Nous avons cité la méthode classique et la méthode proposée récemment par Orgaz et Pastor (2005). La première part de l'hypothèse que l'on connaît les coefficients culturaux (k_c) pour chaque environnement de culture et les coefficients de réduction (k_r) pour chaque oliveraie. Quant à la seconde, elle fournit une méthode pour déterminer directement les k_c .
- Si la disponibilité de l'eau est un facteur limitant, il conviendra d'utiliser des techniques qui permettent d'économiser cette ressource sans que cela n'entraîne une diminution excessive de la productivité. Il est possible de réduire les volumes d'eau durant certaines phases du cycle

ou d'apporter l'eau à des périodes où elle est disponible à bas prix et dans la mesure où son emploi ne nuit pas à l'environnement. Dans le premier cas, on pourra réduire le volume d'eau de plus de 50 % durant la phase de durcissement du noyau ; dans le second, en présence de terrains profonds et caractérisés par une bonne capacité de rétention hydrique, on irriguera en hiver et au printemps. De cette manière, la culture trouvera, pendant les phases critiques de la floraison, de la nouaison et durant les premières phases de développement du fruit, une réserve hydrique suffisante pour éviter le stress. On irriguera de nouveau lorsque la réserve du sol sera épuisée ou, si cela n'est pas possible, on apportera des irrigations d'urgence durant les phases de différenciation cellulaire.

Recommandations pour choisir une méthode de distribution de l'eau :

- Il est conseillé d'employer des méthodes localisées de distribution de l'eau en raison de leur efficacité. Parmi ces méthodes, l'irrigation en goutte à goutte est celle qui permet les plus grandes économies d'eau. Toutefois, lorsque l'eau est disponible à faible coût et en quantité suffisante, on pourra avoir recours à l'emploi de diffuseurs sous la frondaison.
- Les goutteurs doivent avoir de faibles coefficients de variation de la portée. En général, on préférera les goutteurs autocompensés car ils présentent l'avantage de maintenir la portée dans un rayon suffisamment large de pression d'exercice. Cette caractéristique les rend également intéressants dans les zones non plates.
- Le choix des filtres de l'eau, pour éviter les problèmes de colmatage des installations, doit être effectué en fonction de la qualité de l'eau disponible :
 - Pour le traitement physique, on préférera adopter des filtres hydrocyclones ou à maille en présence de sable ou de particules solides plus lourdes que l'eau, et à graviers en présence d'algues et de déchets organiques. Le pouvoir filtrant sera déterminé en fonction de la qualité de l'eau.
 - Le traitement chimique de l'eau est généralement difficile et coûteux. La présence d'ions Ca^{++} , Fe^{++} , Fe^{+++} et PO_4^- peut entraîner le bouchage des diffuseurs en raison des précipitations de calcium, d'oxydes de fer, de composés phosphoriques, etc., qui se forment. Dans ce cas, il est conseillé de mélanger l'eau avec des produits acidifiants. Cette pratique est également conseillée à la fin de la saison d'irrigation pour éviter la croissance d'algues et de bactéries dans les installations.

Recommandations pour l'emploi d'eaux salines :

- Le niveau de risque si l'on utilise des eaux salines est moyen si la C_{Ee} est comprise entre 2,5 et 4 dS m⁻¹ et est élevé à des valeurs supérieures à 5,5 dS m⁻¹. La conductivité de l'extrait saturé du sol (C_{Ees}) entraîne une réduction de 10 % de la production à des valeurs de 4-5 dS m⁻¹, de 25 % à des valeurs comprises entre 5 et 7,5 dS m⁻¹ et de 50 % à des valeurs supérieures à 8 dS m⁻¹ et la perte de la production à des valeurs de E_{Ce} de 14 dS m⁻¹. Ces valeurs sont données à titre indicatif car on ne dispose pas de résultats d'expériences menées sur de longues périodes et les cultivars tolérants peuvent s'adapter à des conditions de salinité supérieures.
- La technique du lessivage peut être adoptée : sur des sols profonds et caractérisés par un bon drainage ; durant les périodes de faible évaporation et lorsque la conductivité électrique de l'eau est inférieure à celle du sol.

RÉSUMÉ

Nous avons cité dans ce texte les principaux paramètres utilisés pour la détermination des exigences hydriques de l'olivier. Les principales caractéristiques des sols et certains paramètres hydrologiques ont été définis de manière synthétique pour déterminer l'eau disponible et la fraction facilement utilisable par la culture. Nous avons également mentionné les principes d'utilisation de quelques-uns des principaux instruments pour la détermination de l'humidité du sol, avec les avantages et les inconvénients de chaque méthode. Nous avons notamment donné des exemples de calcul du volume d'eau et du moment de l'intervention qui, adaptés correctement aux différentes conditions environnementales et de conduite des oliveraies, pourront être utilisés comme lignes directrices pour le pilotage de l'irrigation. La programmation de l'irrigation a été présentée pour différentes conditions environnementales en mettant en évidence les principes pour améliorer l'efficacité de l'emploi de l'eau en oléiculture et les principaux facteurs qui déterminent les stratégies possibles pour réduire la consommation hydrique en termes de volumes saisonniers et de nombre d'interventions. Nous avons fait référence en particulier à l'« irrigation en déficit contrôlé » - c'est-à-dire à l'irrigation qui ne satisfait que partiellement les besoins de la culture - et aux solutions pour atténuer le niveau de pression quant à l'emploi de l'eau à des périodes de l'année où la ressource est importante pour d'autres usages. Dans la seconde partie de ce travail, nous avons présenté les méthodes de distribution de l'eau les plus efficaces – goutte à goutte, avec diffuseurs, irrigation souterraine – et les principes de fonctionnement des principaux équipements disponibles, en montrant de manière synthétique les avantages et les inconvénients de leurs caractéristiques de fonctionnement. Compte tenu de la réduction croissante de la qualité de l'eau d'irrigation considérée comme l'un des principaux facteurs responsables de la diminution de la productivité des cultures -, nous avons présenté les concepts de base pour l'emploi des eaux salines en oléiculture, en particulier les niveaux critiques pour l'utilisation de ce type d'eau et deux approches possibles pour le calcul des besoins de lessivage (leaching), pour une irrigation par aspersion ou en goutte à goutte.

BIBLIOGRAPHIE

- Allen R., Pereira L. S., Raes D., Smith M., 1998. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage, quaderno n. 56, FAO - Roma.
- Altenhofen J., 1985. A modified atmometer for on-farm ET determination. Proceedings of ASAE, Advances in ET conference. Chicago Illinois, USA.
- Ayers R.S., Westcot D.W., 1994. Water quality for agriculture. FAO Irrig. and Drain., paper 29.
- Beede, R. H., Goldhamer D., 1994. Olive irrigation management. In: Olive production Manual. University of California. Pub. 3353.
- Bonachela, S., Orgaz, F., Villalobos, F., Fereres, E., 1999. Measurement and simulation of evaporation from soil in olive orchards. Irrigation Science, 18: 205-211.
- Bonachela, S., Orgaz, F., Villalobos, F., Fereres, E., 2001. Soil evaporation from drip-irrigated olive orchards. Irrigation Science, 20: 65-71.
- Boswell M. J., 1993. Manuale per la microirrigazione. Ed. Edagricole, pp. 178.
- Doorenbos J., Pruitt W. O., 1977. Crop water requirements. Irrigation and Drainage, quaderno n. 24 FAO – Roma. pp. 144.
- ERSAM, 2001. La microirrigazione: guida pratica alla scelta dei materiali. Ed. ERSAM, pp. 71.
- Fereres E., Pruitt W. O., Beutel J. A., Henderson D.W., Holzapfel E., Shulbach H., Uriu K., 1981. ET and drip irrigation scheduling. In Fereres E., Drip irrigation management. Univ. Of California. Div of agric. Sci. n° 21259: 8-13.



- Fernández J. E., Moreno F., 1999. Water use by olive tree. *Journal of Crop Production*. pp. 101-162.
- Fernández J. E., 2001. Programmazione irrigua in olivicoltura. *Atti del Corso Internazionale "Gestione dell'acqua e del territorio per un'olivicoltura sostenibile"* – Napoli, 24-28 Settembre, pp. 1149-163.
- Fernández J.E., Díaz-Espejo A., Infante J.M., Durán P., Palomo M.J., Chamorro V., Girón I.F., Villagarcía L., 2006. Water relations and gas exchange in olive trees under regulated deficit irrigation and partial rootzone drying. *Plant and Soil*, 284: 273-291.
- Freeman M. Uriu K., Hartman H.T., 1994. Diagnosing and correcting nutrient problems. In L. Ferguson, Sibbett G.S. Martin G.C. *Olive production manual*. University of California, USA, Publication 3353: 77-86.
- Gavilán P. e Berengena J. 2000. Comportamiento de los métodos Penman-FAO y Penman-Monteith-FAO en el Valle medio del Guadalquivir. *Proc. of the XVIII Congreso Nacional de Riegos*. Huelva, 20-22 junio. pp. 7, edited on CD.
- Girona i Gomis J., 2001. Strategie di deficit irriguo controllato. *Atti del Corso Internazionale "Gestione dell'acqua e del territorio per un'olivicoltura sostenibile"* – Napoli, 24-28 Settembre, pp. 138-148.
- Guidoboni G., 1990. Impianti microirrigui: qualità dell'acqua e manutenzione. In *tecnica in campo*, Ed. Edagricole, p. 49:59.
- Hargreaves G. H., 1994. Defining and using reference evapotranspiration. *ASCE journal of irrigation drainage engineering*, 120: 1132-1139.
- Irritol System Europe s.r.l. 2003. *Via dell'Artigianato 1/3, 00065 Fiano Romano, Roma, Italia*.
- Maas E.V., Hoffman G. J., 1977. Crop salt tolerance: current assessment. *J. Irrigation Drainage Div.* 103: 115-134.
- Mantovani C. E., Berengena J., Villalobos F. J., Orgaz F., Fereres E., 1991. Medidas y estimaciones de la evapotranspiración real del trigo de regadío en Córdoba. *Actas IX Jornadas Técnicas de Riegos*. Granada.
- Nakayama, F.S., Bucks, D.A., 1981. Emitter clogging effects on trick irrigation uniformity. *Trans.ASAE* 24(1):77-80.
- Orgaz F., Fereres E., 1997. Riego. In Barranco D., Fernández-Escobar R., Rallo L. (ed): *El cultivo del olivo*: 261-280.
- Orgaz Rosúa, F., Pastor Muñoz-Cobo, M., 2005. Fertirrigación del olivo. *Programación de riegos*. C. Cadahía, C. "Fertirrigación. Cultivos Hortícolas, Frutales y Ornamentales". Ed. Mundi-Prensa, S.A. Madrid. 496-533.
- Siplast S.p.A., Via Gambitta Conforto, Contrada S. Lucia, 98071 Capo d'Orlando, Messina, Italia.
- Testi L., Villalobos F.J., Orgaz F., Fereres E., 2006. Water requirements of olive orchards: I simulation of daily evapotranspiration for scenario analysis. *Irrigation Science*, 24:69-76.
- Vanderlinden K., Romero A., Reina, D., Giráldez, J.V., 1999. Evaluación del método de Hargreaves en 16 estaciones completas de Andalucía. *Actas del XVII Congreso Nacional de Riegos*. Murcia. 92-99.





Protection phytosanitaire 

Taïeb JARDAK

Avec la contribution de :

Mohamed Ali Triki, Ali Rhouma et Mohieddine Ksantini

Institut de l'Olivier, B. P. 1087

3000 Sfax (Tunisie)

SOMMAIRE

- 7.1. INTRODUCTION
- 7.2. PRINCIPALES ESPÈCES NUISIBLES
 - 7.2.1. Position systématique, répartition géographique et organes attaqués
 - 7.2.2. Clés de reconnaissance et d'identification des principales espèces nuisibles
- 7.3. STRATÉGIES DE PROTECTION
 - 7.3.1. Lutte chimique aveugle
 - 7.3.2. Lutte chimique conseillée
 - 7.3.3. Lutte dirigée
 - 7.3.4. Lutte intégrée
 - 7.3.5. Production intégrée
- 7.4. PROTECTION INTÉGRÉE DE L'OLIVIER DANS LE CONTEXTE D'UNE AGRICULTURE DURABLE
 - 7.4.1. Objectifs
 - 7.4.2. Principaux éléments de base
 - 7.4.2.1. Mesures prophylactiques ou préventives
 - 7.4.2.2. Surveillance des populations nuisibles, prévision et estimation du risque de dégâts
 - 7.4.2.3. Moyens de lutte directe
 - 7.4.3. Principales espèces nuisibles et méthodes de lutte recommandées
 - 7.4.3.1. Ravageurs animaux
 - Ordre des Diptères
 - Mouche de l'olive : *Bactrocera oleae* Gmel (Diptera, F. Trypetidae)
 - Cécidomyies (Diptera, Cécidomyiidae) : *Dasineura oleae* F. LOEW
 - Resseliella oleisuga* Targioni - Tozzeti
 - Ordre des Lépidoptères
 - Teigne de l'olivier : *Prays oleae* Bern. (Lepidoptera, F. Hyponomeutidae)
 - Zeuzère : *Zeuzera pyrina* L. (Lepidoptera, F. Cossidae)
 - Pyrале de l'olivier : *Euzophera pinguis* HAW. (Lepidoptera, F. Pyralidae)
 - Pyrале du jasmin : *Margarona unionalis* HÜBN. (Lepidoptera, F. Pyralidae)
 - Ordre des Homoptères
 - Cochenille noire : *Saissetia oleae* Olivier (Homoptera, F. Coccidae)
 - Cochenille blanche : *Aspidiotus nerii*
 - Bouché (*A. hederæ* Vallot) (Homoptera, Diaspididae)
 - Psylle de l'olivier : *Euphyllura olivina* Costa (Homoptera, F. Aphalaridae)
 - Ordre des Coléoptères
 - Hylésine : *Hylesinus oleiperda* Fabr. (Coleoptera, F. Scolytidae)
 - Neïroun : *Phloeotribus scarabaeoides* Bern. (Coleoptera, Scolytidae)
 - Otiorrhynche : *Otiorrhynchus cribricollis* GYLL. (Coleoptera, Curculionidae)
 - Ordre des Acarina
 - Acarïens ériophyides (Acarina, F. Eriophyidae)
 - 7.4.3.2. Maladies
 - Œil de paon : *Spilocea oleagina* (= *Cyloconium oleaginum* Cast.)
 - Verticilliose de l'olivier : *Verticillium dahliae* Kleb.
 - Cercosporiose de l'olivier : *Cercospora cladosporioides* SACC.
 - Momification de l'olive : *Gloeosporium olivarum* ALM ; *Colletotrichum gloeosporioides*, (forme télomorphe : *Glomerella cingulata* (Stoneman) Spaulding & Schrenk)
 - Lèpre de l'olive : *Sphaeropsis dalmatica* (Thüm., Berl. Morettini) = *Macrophoma dalmatica* (Thüm.) Berl. & Vogl.
 - Champignons responsables de la pourriture des racines : *Armillaria mellea* ; *Macrophomina phaseoli* (= *Rhizoctonia bataticola*) ; *Fusarium oxysporum*, *Fusarium solani*, *Phytophthora* sp. *Sclerotium rolfsii*, *Corticium solani*, *Rosellinea necatrix*
 - Tuberculose de l'olivier : *Pseudomonas savastanoi* pv. *Savastanoi* (Smith) (= *P. syringae* pv. *Savastanoi*)
 - Galle du collet : *Agrobacterium tumefaciens* (Smith & Townsend).
 - 7.4.3.3. Synthèse des bonnes pratiques de protection phytosanitaire en oléiculture

BIBLIOGRAPHIE

Protection phytosanitaire



7. Protection phytosanitaire

7.1. INTRODUCTION

L'olivier, culture bien ancrée dans les traditions ancestrales des peuples méditerranéens, joue un rôle socioéconomique et environnemental de plus en plus important dans la plupart des pays oléicoles.

Ainsi, depuis la fin des années 80, l'oléiculture n'a cessé de connaître un regain d'intérêt dans la plupart des pays producteurs méditerranéens et même d'ailleurs suite à la mise en évidence des vertus diététiques de l'huile d'olive, aidée en cela par les grands progrès techniques et technologiques réalisés dans les domaines de la propagation du matériel végétal, des techniques de conduite des plantations ainsi que de l'extraction de l'huile.

Les efforts d'amélioration de la productivité des plantations axés sur la restructuration des vieilles oliveraies et surtout sur l'extension des superficies moyennant l'application de techniques modernes tendant vers l'intensification, ont été à l'origine d'un accroissement substantiel de la production mondiale, mais soulèvent en même temps des problèmes liés notamment à la commercialisation (concurrence) et à la qualité du produit final ainsi qu'à la préservation des ressources naturelles et de l'équilibre du milieu naturel.

Dans ce contexte, les aspects phytosanitaires viennent au premier plan parmi les facteurs de production conditionnant la qualité des olives et de l'huile et la gestion des ressources naturelles, surtout dans une conjoncture internationale où la sécurité alimentaire des produits est de plus en plus prise en compte et régie par des normes internationales de plus en plus restrictives à l'égard de l'usage des produits agrochimiques.

Durant les trente dernières années, les méthodes de protection n'ont cessé de connaître une évolution en passant par plusieurs étapes (OILB, 1977) : de la lutte chimique aveugle (ou lutte selon un calendrier préétabli) à la lutte chimique conseillée ou dirigée pour finalement aboutir à la protection intégrée, phase considérée par les scientifiques il y a 20 ans comme étant ultime et la plus avantageuse à atteindre.

Cependant, le développement récent de nouveaux modes de gestion des ressources naturelles avec l'apparition des termes « Production intégrée » (OILB, 1993) et « Production biologique » (CEE, 1991), considère que la protection phytosanitaire ne peut être dissociée de l'ensemble des opérations culturales et devrait être intégrée dans le système de production (OILB, 1993, 1998, 1999, 2002).



Cette évolution très rapide dans les concepts de gestion des ressources naturelles n'est pas malheureusement suivie sur le terrain par des applications pratiques à grande échelle, même en ce qui concerne la protection intégrée.

Force est de constater, qu'en dépit de l'avancement des recherches et de la disponibilité des techniques, de nombreux pays, notamment du Sud de la Méditerranée voire de la rive Nord, ne maîtrisent pas convenablement les problèmes phytosanitaires, ni l'application des interventions.

Ce manuel sera un outil appréciable pour les vulgarisateurs et les producteurs ; l'objectif étant d'assurer une production durable de très haute qualité, en donnant la priorité aux mécanismes naturels de régulation des populations nuisibles et en minimisant l'usage et les effets secondaires des pesticides (traitements inutiles ou mal positionnés, risques de transfert des matières actives dans le milieu, problème des résidus dans le produit final, déséquilibre faunique...).

Ce guide est présenté sous une forme très simple facilement accessible aux techniciens vulgarisateurs et aux oléiculteurs avertis, tout en accordant une attention particulière aux aspects pratiques.

Après cette brève introduction mettant en exergue l'importance de plus en plus grande accordée à la protection phytosanitaire de l'olivier surtout face à l'évolution de l'opinion publique mondiale à l'égard de tout ce qui se rapporte à la qualité et la sécurité alimentaire des produits et à la gestion durable des ressources naturelles, les principales espèces nuisibles sont présentées selon les symptômes qu'elles occasionnent aux divers organes de la plante, mais également selon la classification systématique la plus couramment utilisée en commençant par les insectes supérieurs pour terminer par les ordres inférieurs et les maladies, complétée par des informations sur leur répartition géographique et leur importance économique selon les régions oléicoles.

Le chapitre suivant a été consacré aux stratégies de lutte et notamment aux bases du concept « Protection intégrée » dans le contexte d'une agriculture durable et à la stratégie recommandée pour chaque espèce cible en insistant sur celles revêtant une importance économique dans la plupart des régions ou localisées dans certains pays.

Il est évident qu'en raison de l'évolution perpétuelle des moyens de protection et des progrès sans cesse de la science, les données que nous avons proposées notamment en matière de techniques et produits de lutte sont à titre indicatifs et mériteraient d'être actualisées chaque fois qu'il est nécessaire.

Une attention particulière a été accordée aux moyens et méthodes d'application des interventions du point de vue de leur efficacité et de leur impact sur le milieu.

Enfin, l'ensemble des données sur les bonnes pratiques a été rassemblé dans des tableaux de synthèse en vue d'une lecture rapide par l'utilisateur.

7.2. LES PRINCIPALES ESPÈCES NUISIBLES

7.2.1. Position systématique répartition géographique et organes attaqués

TABLEAU I.

Classification des espèces animales

Ordre	Espèce	Aire de répartition géographique	Organes attaqués
Lépidoptères	Teigne de l'olivier <i>Prays oleae</i> BERN. = <i>Prays oleaellus</i> (STANTON, 1867)	Tout le bassin Méditerranéen jusqu'en Russie (bords de la mer Noire : Crimée et Géorgie).	Feuilles et bourgeons terminaux, fleurs et fruits.
	Zeuzère <i>Zeuzera pyrina</i> L. = <i>Zeuzera aesculi</i> L.	Europe septentrionale et méridionale, Nord de l'Afrique, ensemble du Proche et Moyen-Orient, Iran, Chine et Japon.	Pétiole des feuilles, jeunes rameaux, rameaux, branches et troncs.
	Pyrale du jasmin <i>Margaronia</i> (<i>Palpita</i> = <i>Glyphodes</i>) <i>unionalis</i> HÜBN.	Région méditerranéenne, Proche-Orient jusqu'aux Îles Canaries et Madère, Japon et Amérique tropicale.	Feuilles, bourgeons terminaux, voire fruits.
	Pyrale de l'olivier <i>Euzophera pinguis</i> HAW. (= <i>Euzophera neliella</i> RAG.)	Ensemble du bassin Méditerranéen, majeure partie de l'Europe : Danemark, France, Europe centrale et Portugal.	Branches et troncs.
	Zelleria oleastrella MILL. (= <i>Tinea oleastrella</i> MILL.)	Espagne, Italie et France.	Parenchyme de la face supérieure des feuilles, folioles de l'extrémité des rejets.
	Petite mineuse des feuilles de l'olivier <i>Parectopa latifoliella</i> MILL. (= <i>Oecophyllembius neglectus</i> SILV.)	Toute la zone méditerranéenne de culture de l'olivier.	Feuille (face supérieure).
	Gymnoscelis pumilata HÜBN (= <i>Eupithecia pumilata</i> = <i>Tephrochystia pumilata</i> HÜBN.)	Toute l'Europe depuis l'Irlande, l'Afrique du Nord et jusqu'au Turkestan.	Boutons floraux.

**TABLEAU I (suite)**

Classification des espèces animales

Ordre	Espèce	Aire de répartition géographique	Organes attaqués
Diptères	Mouche de l'olive <i>Bactrocera oleae</i> GMEL. (= <i>Dacus oleae</i> , <i>Musca oleae</i> , <i>Daculus oleae</i>)	Toute la Méditerranée, Îles Canaries, Proche-Orient jusqu'à l'Inde, Afrique du Nord, de l'Est et du Sud.	Olives.
	Cécidomyie des feuilles d'olivier (<i>Dasineura oleae</i> F. LOEW. = <i>Perrisia oleae</i> = <i>Perrisia lathieri</i>)	Région méditerranéenne orientale, Croatie et Italie.	Feuilles, bourgeons végétatifs, hampes et pédoncules floraux.
	Cécidomyie de l'écorce de l'olivier <i>Resseliella oleisuga</i> (= <i>Diplosis</i> = <i>clinodiplosis</i> = <i>Thomasiniana oleisuga</i>) (TARGIONI-TOZZETI)	Zone traditionnelle de culture de l'olivier (Espagne, France, Grèce, Italie, Monténégro, Yougoslavie, Liban, Syrie, Jordanie, Maroc et Tunisie).	Tiges lignifiées et écorce.
	Cécidomyie des olives <i>Prolasioptera berlesiana</i> PAOLI (= <i>Lasioptera brevicornis</i> = <i>L. carpophila</i>)	Majeure partie de la zone oléicole méditerranéenne.	Olives.
Homoptères	Cochenille noire <i>Saissetia oleae</i> OLIVIER	Tout le bassin Méditerranéen.	Feuilles, rameaux et inflorescences.
	Psylle de l'olivier <i>Euphyllura olivina</i> COSTA (= <i>Thrips olivina</i> , <i>Psylla oleae</i> , <i>Psylla olivina</i> , <i>Euphyllura oleae</i>)	Toute la zone oléicole méditerranéenne.	Feuilles, bourgeons, jeunes pousses, tiges et grappes florales et fructifères.
	Philippia follicularis TARGIONI – TOZZETTI (= <i>Euphilippia olivina</i> BERLESE et SILVESTRI)	Bassin Méditerranéen.	Feuilles et rameaux.
	Lichtensia viburni SIGNORET (= <i>Philippia oleae</i> COSTA)	Tout le bassin Méditerranéen.	Feuilles et rameaux.
	Pollinia pollini COSTA (= <i>Coccus pollinii</i> COSTA)	Tout le bassin Méditerranéen et Argentine.	Feuilles, rameaux et pédoncules des fruits.

TABLEAU I (suite)
 Classification des espèces animales

Ordre	Espèce	Aire de répartition géographique	Organes attaqués
Homoptères (suite)	Cochenille blanche du lierre <i>Aspidiotus nerii</i> BOUCHE (= <i>A. hederæ</i> VALLOT)	Toute la région paléarctique méridionale (pays riverains de la Méditerranée).	Feuilles et fruits.
	Cochenille des olives (<i>Parlatoria oleæ</i> COLVEE = <i>P. Calianthina</i> BERL et LEON = <i>P. affinis</i> NEWST)	Tout le bassin Méditerranéen, États-Unis (Californie, Arizona, Maryland), Asie, Europe, Afrique du Nord et Moyen-Orient.	Feuilles, parties ligneuses et fruits.
	Cochenille virgule <i>Lepidosaphes ulmi</i> L. (= <i>L. pomorum</i> BOUCHE = <i>L. juglandis</i> FITH = <i>L. oleæ</i> LEONARDI)	Vaste répartition géographique : toute la zone paléarctique, introduite en Amérique, signalée en Asie, en Afrique du Sud et en Australie.	Feuilles, rameaux et fruits.
	<i>Lepidosaphes destefanii</i> LEON (= <i>L. conchyformis</i> KORONES)	Bassin Méditerranéen (depuis l'Espagne jusqu'au Moyen-Orient), Ex-URSS et Californie.	<u>Femelles</u> : rameaux et troncs de jeunes arbres à écorce lisse. <u>Mâles</u> : bordures des feuilles et parfois sur rameaux.
	<i>Leucaspis riccæ</i> TARG. (= <i>L. ephedrae</i> MARCHAL)	Espèce méditerranéenne, ne semble pas exister en Europe occidentale (France, Espagne) et dans certains pays d'Afrique du Nord (Maroc, Algérie).	Feuilles, rameaux, branches et fruits.
	<i>Quadraspidiotus maleti</i> VAYSS.	Espèce localisée au Maroc.	Feuilles et fruits (base du pédoncule).
	<i>Quadraspidiotus lenticularis</i> LIND.	Toute la région paléarctique.	Feuilles et fruits.
	Pou de Californie <i>Aonidiella aurantii</i> MESK. (= <i>Aspidiotus citri</i> COMSTOCK)	Toutes les régions tropicales et subtropicales favorables à la culture des <i>Citrus</i> .	Troncs, branches, rameaux, feuilles et fruits.


TABLEAU I (suite)

Classification des espèces animales

Ordre	Espèce	Aire de répartition géographique	Organes attaqués
Homoptères (suite)	Cigales - <i>Cicada orni</i> L. - <i>Tibicen plebejus</i> Scop. - <i>Cicadetta brullei</i> Fieb. - <i>Psalmocharias plagifera</i> Schum.	Italie. Tunisie (région du Sud-Ouest).	Jeunes rameaux. Jeunes rameaux.
	Coléoptères		
	Neiroun <i>Phloeotribus scarabaeoides</i> BERN, (<i>P. oleae</i> LATREILLE)	Toute la région méditerranéenne, Afrique du Nord, Proche et Moyen-Orient jusqu'en Iran.	Rameaux, grappes florifères et surtout fructifères, bois de taille, troncs, branches et rameaux d'arbres dépérissants.
	Hylésine <i>Hylesinus oleiperda</i> FABR. (= <i>H. terranio</i> DANTHOINE = <i>H. suturalis</i> REDT. = <i>H. esau</i> GREGLER)	Toute la zone méditerranéenne jusqu'au Proche et Moyen-Orient (Iran), l'Europe septentrionale (Belgique, Angleterre, Danemark), Chili et Argentine.	Troncs et branches.
	Otiorrhynches <i>Otiorrhynchus cribricollis</i> GYLL. (= <i>O. terrestris</i> MARSEUL)	Tout le bassin Méditerranéen ; espèce introduite en Californie, en Australie et en Nouvelle Zélande.	Feuilles.
	Rhynchites cribripennis DESBR. (= <i>R. ruber</i> Shilsky NON FAIRM)	Région méditerranéenne orientale, extrémité méridionale de la Russie, Turquie, Grèce, Italie, Yougoslavie, Nord oriental, Centre et méridional, quelques îles (Malte, Sicile, Sardaigne, Corse).	Feuilles et fruits.
	Vers blancs <i>Melolontha</i> sp.	Espagne, Tunisie.	Racines et collet.
Thysanoptères	Thrips de l'olivier <i>Liothrips oleae</i> COSTA (= <i>Thrips oleae</i> , <i>Phloeothrips oleae</i> , <i>Leurothrips linearis</i>)	Toutes les zones oléicoles méditerranéennes.	Feuilles, jeunes tiges, pousses terminales et fruits.

TABLEAU I (suite)
Classification des espèces animales

Ordre	Espèce	Aire de répartition géographique	Organes attaqués
Acarina	<i>Aceria oleae</i> NAL.	Toutes les zones méditerranéennes.	Feuilles, bourgeons, pousses, grappes florales et fruits.
	<i>Oxycenus maxwelli</i> VEIFER	Région oléicoles méditerranéennes et Californie.	Feuilles (face supérieure), jeunes pousses et grappes florales.
	<i>Aceria olivi</i> et <i>Oxycenus niloticus</i> (ZAHER et ABOU AWAD)	Égypte (El Fayoum).	Feuilles (face inférieure et supérieure).
	<i>Aculus olearius</i> CASTAGNOLI	Italie.	Boutons floraux et jeunes fruits
	<i>Aculops benakii</i>	Grèce.	Jeunes feuilles, jeunes pousses, boutons floraux et fruits.
	<i>Tegolophus hassani</i>	Grèce, Égypte, Italie et Portugal.	Jeunes feuilles et grappes florales.
	<i>Dytrimacus athiasellus</i>	Italie, Grèce, Portugal et Algérie.	Jeunes feuilles, axe de l'inflorescence et pédoncules floraux.
Nématodes	<i>Pratylenchus vulnus</i> et autres <i>Pratylenchus</i>	Bassin Méditerranéen et États-Unis.	
	<i>Tylenchulus semipenetrans</i>	Bassin Méditerranéen et États-Unis.	Racines.
	<i>Meloidogyne sp.</i>	Espagne, Grèce, Italie et Portugal.	


TABLEAU II.

Classification des maladies (champignons, bactéries et virus).

Ordre/groupe	Espèce	Aire de répartition géographique	Organes atteints
G. Hyphomycètes	Œil de paon <i>Cyloconium oleaginum</i> = <i>Spilocaea oleaginea</i> FRIES	Régions oléicoles méditerranéennes, Californie, Chili et Afrique du Sud.	Surtout les feuilles et exceptionnellement les fruits et les jeunes rameaux.
	Verticilliose de l'olivier <i>Verticillium dahliae</i> KLEB	Nombreux pays oléicoles méditerranéens et États-Unis.	Maladie vasculaire entraînant le flétrissement puis le dessèchement des parties atteintes.
	Cercosporiose de l'olivier <i>Cercospora cladosporioides</i> SACC.	Certains pays oléicoles du bassin Méditerranéen (Italie, Portugal, Grèce, Espagne, Algérie, Tunisie...), Californie et Australie.	Feuilles et fruits.
G. Coelomycètes	Anthraxose de l'olivier <i>Gloeosporium olivarum</i> ALM.	La plupart des zones oléicoles méditerranéennes, Argentine, Russie, Japon et Uruguay.	Feuilles, rameaux, fleurs et fruits.
	Lèpre de l'olive <i>Macrophoma</i> (= <i>Sphaeropsis</i>) <i>dalmatica</i> THUM	La plupart des zones oléicoles méditerranéennes.	Fruits.
G. Hyphomycètes	Fumagine <i>Capnodium meridionale</i> , <i>Capnodium oleae</i> , Genres <i>Towba</i> , <i>Triposporium</i> , <i>Brachysporium</i> , <i>Alternaria</i> , <i>Cladosporium</i> .	Toutes les régions oléicoles du bassin Méditerranéen.	Feuilles, fleurs, fruits, rameaux et branches.

Champignons responsables de la pourriture des racines

O. Agaricales	<i>Armillaria mellea</i> (= <i>Armillariella</i>)	Certains pays oléicoles : Italie, Espagne, Syrie, Tunisie...	Racines.
G. Agonomycètes	<i>Macrophomina phaseoli</i> (= <i>Rhizoctonia bataticola</i>)	Plusieurs pays méditerranéens.	Racines des plants de pépinière et des jeunes plantations.

TABLEAU II (suite)

Classification des maladies (champignons, bactéries et virus).

Ordre/groupe	Espèce	Aire de répartition géographique	Organes attaqués
G. Hyphomycètes	<i>Fusarium oxysporum</i>, <i>F. solani</i>	Plusieurs pays méditerranéens.	Racines des plants de pépinière et des jeunes plantations.
O. Xylariales	<i>Rosellinea necatrix</i>	Espagne et Argentine.	Racines des plants de pépinière et des jeunes plantations.
O. Ceratobasidiales	<i>Corticium solani</i>	Italie et Tunisie.	Racines de plants de pépinière.
O. Pythiales	<i>Phytophthora sp.</i>	Plusieurs pays méditerranéens.	Racines de jeunes plants.
G. Agonomycètes	<i>Sclerotium rolfsii</i>	Plusieurs pays méditerranéens.	Racines de jeunes plants.
Bactéries	Tuberculose	Toute la zone oléicole méditerranéenne, Europe centrale, Asie mineure, Australie, Afrique du Sud, Argentine, Californie et Pérou.	Rameaux, branches, troncs et feuilles.
Pseudomonas	<i>Pseudomonas syringae</i> PV. <i>savastanoi</i> SMITH		
Eubactéries	Galle du collet	Jordanie et Tunisie.	Collet et racines.
	<i>Agrobacterium tumefaciens</i> Smith et Townsend		
Virus*	Plusieurs espèces	Espagne, Grèce, Italie, Portugal...	Feuilles, bourgeons et fleurs.

* Très peu d'informations sont disponibles



7.2.2. Clés de reconnaissance et d'identification des principales espèces nuisibles

TABLEAU III.*Clés de reconnaissance des espèces nuisibles.*

Organes attequés / Symptômes	Agent causal
I. RACINES Petites écorchures de l'écorce des racines à proximité de la base du tronc d'arbres irrigués et présence de larves blanches caractéristiques des coléoptères <i>scarabaeidae</i> .	Vers blancs : <i>Melolontha</i> , <i>Melolontha papposa</i> ...
– Le cortex des racines présente des craquelures longitudinales avec un brunissement et une nécrose des tissus profonds.	Nématodes : <i>Pratylenchus vulnus</i> .
– Apparition sur les racines d'une « gangue » mucilagineuse (nids) produite par les femelles ; destruction des poils absorbants.	Nématodes : <i>Tylenchulus semi penetrans</i> .
– Apparition de nombreuses galles sur les racines (hypertrophie cellulaire).	Nématodes : <i>Meloidogynes</i> .
– Présence de petites taches d'écorce pourrie, en général dans l'orientation la moins ensoleillée (Nord – Nord-Est) et d'un duvet blanchâtre sur les racines infestées et le sol à proximité.	Champignon responsable de la pourriture des racines : le pourridié agaric <i>Armillaria mellea</i> .
– Présence d'excroissances au niveau des racines à proximité du tronc (tumeurs) : cancer végétal ou galle du collet.	Galle du collet : <i>Agrobacterium tumefasciens</i> .
– Pourriture de l'écorce des petites racines et nécroses au niveau des racines secondaires.	Diverses espèces de champignons à isoler et à identifier au laboratoire : <i>Fusarium sp.</i> , <i>Phytophthora sp.</i> , <i>Rhizoctonia bataticola</i> ...
II. TRONCS, BRANCHES, RAMEAUX, BOIS DE TAILLE	
– Présence dans l'écorce de trous d'entrée avec sciure ou d'orifices de sortie de petite taille sur bois de taille coupé ou sur tronc/branches d'arbres dépérissants.	Neiroun : <i>Phloeotribus scarabaeoides</i> .
– Présence de logettes sur petits rameaux florifères ou fructifères hébergeant un coléoptère de couleur noire de petite taille (avec sciure) ou vides.	Neiroun : <i>Phloeotribus scarabaeoides</i> .

TABLEAU III (suite)*Clés de reconnaissance des espèces nuisibles.*

Organes attequés / Symptômes	Agent causal
– Bois de taille présentant des trous de sortie assez gros d'environ 5 mm de diamètre, creusés en oblique par rapport à l'axe longitudinal du bois.	Cérambycide : <i>Xylotrechus smeii</i> .
– Branches et branchettes présentant un aspect chlorotique et une chute de feuilles. Craquelures et fissures de l'écorce des zones attequées avec présence à l'extérieur de glomérules excrémentiels au niveau du collet du tronc ou aux fourches des branches charpentières (ou sous charpentières).	Pyrale de l'olivier : <i>Euzophera pinguis</i> .
– Troncs et branches charpentières présentant des plaques avec trou d'entrée de scolyte où l'écorce est de couleur rougeâtre ou des plaques avec craquelures de l'écorce et trous de sortie de scolytes de taille plus grande que ceux du Neiroun. L'arbre entier ou une partie peut présenter un aspect chlorotique avec chute de feuilles en cas de fortes attaques.	Hylésine : <i>Hylesinus oleiperda</i> .
– Apparition de galeries sur rameaux, branches ou troncs avec présence ou non d'excréments de teinte beige ou marron à leur entrée, pouvant être de gros diamètre (6 – 7 mm) sur les grosses branches ou le tronc et hébergeant ou non une chenille. – Présence d'une chrysalide à proximité de la galerie vers la fin de l'hiver, début du printemps.	Zeuzère : <i>Zeuzera pyrina</i> .
– Rameaux secs ou dépérissants présentant à certains endroits des fissures ou craquelures de l'écorce de couleur rougeâtre. Sous l'écorce, présence de larves de couleur rose, disposées en série le long de l'axe longitudinal du rameau.	Cécidomyie de l'écorce : <i>Resseliella oleisuga</i> .
– Présence sur rameaux ou branchettes de boucliers de cochenilles en forme de virgule.	Cochenille virgule : <i>Lepidosaphes ulmi</i> .
– Présence sur rameaux de boucliers arrondis et rectangulaires gris ou blancs.	Cochenille des olives : <i>Parlatoria oleae</i> .
– Présence sur rameaux ou branchettes de boucliers bruns noirâtres portant la lettre "H" avec parfois un noircissement du végétal due à la présence d'un complexe de champignons (la fumagine).	Cochenille noire : <i>Saissetia oleae</i> avec éventuellement la fumagine.

**TABLEAU III (suite)**

Clés de reconnaissance des espèces nuisibles.

Organes attaqués / Symptômes	Agent causal
<p>– Dépérissement partiel ou total des sous charpentières ou des charpentières. Le bois prend une couleur violette alors que le xylème des branches infestées tend à brunir (mais le brunissement n'est pas de règle comme chez les autres espèces fruitières). Les feuilles de la partie attaquée perdent progressivement leur coloration verte en s'enroulant d'abord longitudinalement vers leur face inférieure tout en virant au gris terne, au jaune brun puis au jaune clair et finissent par se dessécher sans chuter.</p> <p>– Les symptômes sont observés en deux périodes : fin du printemps et fin de l'été-automne (septembre-octobre).</p>	Verticilliose : <i>Verticillium dahliae</i> .
<p>– Présence sur les brindilles, rameaux et charpentières, d'excroissances ou de tumeurs nécrotiques de différentes tailles, isolées ou groupées.</p>	Tuberculose : <i>Pseudomonas savastanoi</i> .
III. FEUILLES ET JEUNES POUSES	
<p>– Feuilles à bords présentant des échancrures caractéristiques sous forme de crénelures. Sur les jeunes pousses tendres, les feuilles et les bourgeons sont pratiquement dévorés.</p>	Otiorrhynche : <i>Otiorrhynchus cribricollis</i> .
<p>– Extrémités des jeunes pousses dévorées, avec des feuilles souvent rongées sur la face inférieure en respectant l'épiderme, voire dévorées partiellement ou totalement. Présence éventuelle de chenilles de couleur vert clair translucide.</p>	Pyrale du jasmin : <i>Margaronia unionalis</i> .
<p>– Feuilles avec face inférieure rongée en respectant l'épiderme, déformées et montrant des trous béants.</p>	<i>Rhynchites cribripennis</i> .
<p>– Feuilles avec des déformations plus ou moins prononcées selon l'âge de la feuille et présence de petites taches de couleur blanc jaunâtre dues aux piqûres. La feuille se tord si la piqûre se trouve à proximité de la nervure principale.</p>	Thrips : <i>Liothrips oleae</i> .
<p>– Présence sur la face inférieure des feuilles et sur rameaux :</p> <ul style="list-style-type: none">• de boucliers de différentes formes et tailles, de couleur allant du jaune orangé-jaune clair au jaune isabelle bigarré de brun ;• d'ovisacs blancs.	<i>Lichtensia Viburni</i> (= <i>Philippia oleae</i>).

TABLEAU III (suite)*Clés de reconnaissance des espèces nuisibles.*

Organes attequés / Symptômes	Agent causal
– Feuilles déformées avec présence sur la face inférieure de taches enfoncées de couleur vert clair et dépourvues de trichomes et saillies chlorotiques correspondant à la face supérieure. Sur les bourgeons et jeunes pousses, l'attaque se traduit par des déformations des feuilles semblables à celles provoquées par le thrips.	Acariens : <i>Aceria oleae</i> .
– Feuilles déformées avec taches enfoncées de couleur jaune blanchâtre sur la face supérieure, auxquelles correspondent de petites saillies sur la face inférieure.	Acariens : <i>Aculops benakii</i> ou <i>Oxycenus maxwelli</i> .
– Feuilles présentant des galeries creusées dans le parenchyme palissadique de différentes formes et dimensions selon le stade de la chenille ou une grande galerie creusée sur la face inférieure de la feuille n'épargnant que l'épiderme supérieur rendant la feuille transparente.	Teigne de l'olivier, <i>Prays oleae</i> : génération phyllophage.
– Présence de galles foliaires dues à des épaissements localisés et visibles du limbe aux deux faces ; feuilles parfois fortement déformées en spirale ou crispées.	Cécidomyie des feuilles de l'olivier : <i>Dasineura oleae</i> .
– Feuilles présentant une galerie sous épidermique assez large, très visible sur la face supérieure.	Petite mineuse des feuilles de l'olivier : <i>Ecophyllembius neglectus</i> .
– Présence sur les jeunes pousses et bourgeons d'amas cotonneux blancs avec du miellat et de la cire.	Psylle de l'olivier : <i>Euphyllura olivina</i> .
– Parenchyme de la face supérieure des feuilles âgées dévoré, folioles de l'extrémité des rejets et limbe rongés.	<i>Zelleria oleastrella</i> .
– Présence sur la face inférieure des feuilles de boucliers allongés de forme ovale pouvant être de taille différente et de couleur allant de l'ambre clair au marron noirâtre.	Cochenille noire : <i>Saissetia oleae</i> .
– Boucliers circulaires ou subcirculaires, légèrement convexes, d'une couleur bistre clair, uniforme et mat, de différentes tailles, localisés sur la face inférieure ou supérieure de la feuille. Larve jaune sous le bouclier.	Cochenille blanche : <i>Aspidiotus nerii</i> .
– Bouclier ayant la forme d'une virgule, mytiliforme ou étroitement pyriforme, droit ou ondulant, bombé de couleur brun foncé uniforme, luisant.	Cochenille virgule : <i>Lepidosaphes ulmi</i> .
– Feuilles présentant des boucliers ovalaires rectangulaires, assez convexes, gris cendré à gris sale. Exuvies larvaires excentrées brunes. Femelle vivante de couleur violet foncé.	Cochenille des olives : <i>Parlatoria oleae</i> .
– Feuilles avec des petites tumeurs nécrotiques sur le limbe ou le pétiole.	Tuberculose : <i>Pseudomonas savastanoi</i> .

**TABLEAU III (suite)**

Clés de reconnaissance des espèces nuisibles.

Organes attequés / Symptômes	Agent causal
– Taches circulaires concentriques, jaunes, brunes, noires et vertes de taille variable sur la face supérieure de la feuille. Taches noirâtres sur la face inférieure, le long de la nervure.	Œil de paon : <i>Cyloconium oleaginum</i> .
– Taches grisâtres sur la face inférieure des feuilles auxquelles correspondent des taches jaunes puis brunes sur la face supérieure à l'approche de la chute de la feuille.	<i>Cercospora cladosporioides</i> .
– Dessèchement partiel de l'extrémité des feuilles de couleur grisâtre, suivi d'un flétrissement total des jeunes plants en pépinière.	Champignons telluriques : (<i>Fusarium oxysporum</i> et <i>Rhizoctonia bataticola</i>).
IV. INFLORESCENCES ET BOURGEONS	Teigne de l'olivier : <i>Prays oleae</i> (génération anthophage).
– Boutons floraux, troués ou détruits partiellement ou totalement (pistil de la fleur sectionné), avec la présence éventuelle d'une chenille, pétales reliés par des fils de soie formant des amas marron à la fin de la floraison avec parfois la présence de chrysalides dans un cocon soyeux.	
– Bourgeons terminaux dévorés avec la présence d'excréments de chenilles et de fils de soie.	Teigne de l'olivier : <i>Prays oleae</i> (génération phyllophage).
– Inflorescences et bourgeons terminaux couverts d'amas cotonneux blancs sous lesquels se trouvent des larves de couleur jaune rougeâtre ou jaune marron. Grappes florales desséchées en cas de forte attaque.	Psylle de l'olivier : <i>Euphyllura olivina</i> .
– Trous couverts de sciure à l'insertion de la grappe florale au rameau, grappes flétries.	Neiroun (<i>Phloeotribus scarabaeoïdes</i>) : morsures nutritionnelles.
– Hampes et pédoncules floraux présentant des gonflements, contournés, tordus sur eux-mêmes, fortement épaissis et recourbés en spirales.	Cécidomyie des feuilles d'olivier : <i>Dasineura oleae</i> .
– Bouton floral présentant un trou abritant une chenille arpen-teuse bien visible dévorant l'intérieur de la fleur et les pétales.	<i>Gymnocelis pumilata</i> .
– Inflorescences partiellement ou totalement flétries ou desséchées, chute précoce des boutons et des inflorescences en cas de fortes attaques.	Acariens : espèces diverses.

TABLEAU III (suite)

Clés de reconnaissance des espèces nuisibles.

Organes attequés / Symptômes	Agent causal
– Dessèchement des inflorescences sur une partie sectorielle de l'arbre.	Verticilliose : <i>Verticillium dahliae</i> .
– Dessèchement des inflorescences sur l'ensemble de l'arbre (arbres jeunes irrigués notamment).	Champignons des racines.
V. FRUITS	
– Olives vertes de l'été présentant une ou plusieurs traces de piqûres nécrosées dans l'épiderme.	Mouche de l'olive : piqûres des générations estivales.
– Olives vertes dont la pulpe est partiellement dévorée, montrant un affaissement de l'épiderme et une couleur marron rougeâtre de la partie attequée, avec la présence parfois d'un trou de sortie d'une larve. Olives déformées en raison d'une cicatrisation de la partie dévorée (présence de galeries sinueuses dans la pulpe).	Mouche de l'olive : dégâts des générations estivales.
– Olives violacées ou mures laissant exsuder de l'huile avec présence d'un asticot dans la pulpe ou caractérisées par un affaissement partiel de l'épiderme et un trou de sortie à l'extrémité de la partie attequée.	Mouche de l'olive : génération automnale/hivernale, voire printanière.
– Chute d'olives vertes dès la fin de l'été et durant tout l'automne avec ou sans trous à l'insertion du pédoncule au fruit.	Teigne de l'olivier (<i>Prays oleae</i>) : chute automnale due à la génération carpophage.
– Chute estivale massive des jeunes fruits noués (mai- juillet).	Chute physiologique d'éclaircissage chez la plupart des variétés (à petit fruit et à huile) partiellement due à <i>Prays oleae</i> (génération carpophage).
– Chute de grappes fructifères en été et en automne.	Neiron : <i>Phloeotribus scarabaeoides</i> (phase nutritionnelle).
– Fruits comportant des boucliers circulaires ou ovales de couleur blanchâtre couvrant partiellement ou totalement la surface de l'olive. Fruits plus ou moins déformés avec des taches violacées.	Cochenille du lierre : <i>Aspidiotus nerii</i> .

**TABLEAU III (suite)**

Clés de reconnaissance des espèces nuisibles.

Organes attequés / Symptômes	Agent causal
– Fruits avec boucliers en forme de virgule.	Cochenille virgule : <i>Lepidosaphes ulmi</i> .
– Fruits avec boucliers gris cendré à gris sale, circulaires et allongés, présentant des taches décolorées ou au contraire fortement assombries et des malformations.	Cochenille des olives : <i>Parlatoria oleae</i> .
– Déformations plus ou moins prononcées sur fruits avec des concavités plus ou moins profondes qui apparaissent sur les olives mûres.	Thrips : <i>Liothrips oleae</i> .
– Taches brunes, circulaires ou irrégulières, déprimées d'abord, isolées et situées vers la partie apicale des fruits mûrs, pouvant s'étendre à l'ensemble de l'olive. Les olives se dessèchent et tombent.	Anthraxose : <i>Gloeosporium olivarum</i> .
– Taches brunes isolées et affaissées.	Lèpre des olives : <i>Macrophoma dalmatica</i> .
– Olives présentant des piqûres d'adultes et des trous de sortie de larves.	<i>Rynchites cribripennis</i> .
– Olive verte avec pulpe partiellement dévorée jusqu'au noyau et présence d'excréments de chenille.	Pyrale du jasmin : <i>Margaronia unionalis</i> .

7.3. LES STRATÉGIES DE PROTECTION

En Europe, l'Organisation internationale de lutte biologique (OILB) n'a cessé de jouer un rôle primordial dans le développement des techniques de protection des cultures.

En 1977, l'OILB a publié l'évolution des stratégies de protection, celles-ci ayant été définies comme suit :

7.3.1. Lutte chimique aveugle (ou selon un calendrier préétabli)

Elle repose sur l'application systématique et routinière des formulations chimiques disponibles, en se référant éventuellement aux recommandations des fabricants des produits pesticides.

Une telle stratégie continue malheureusement à être appliquée en oléiculture, exceptionnellement, dans de rares pays oléicoles.

7.3.2. Lutte chimique conseillée qui fait appel à l'usage d'une large gamme de pesticides après consultation d'un service officiel spécialisé dans le domaine de la protection phytosanitaire.

Cette stratégie continue à être adoptée de nos jours par de nombreux producteurs dans certaines régions oléicoles.

7.3.3. Lutte dirigée

Elle constitue la phase transitoire avant d'aboutir au concept de la protection intégrée du fait qu'elle tient compte de trois éléments nouveaux et importants dans la stratégie de lutte :

- le seuil économique d'intervention ;
- le choix de produits pesticides sans effets secondaires négatifs sur le milieu ;
- et enfin la protection des auxiliaires ou ennemis naturels des espèces nuisibles.

Ce concept de lutte est en réalité le plus largement suivi dans de nombreux pays oléicoles bien qu'on ait souvent tendance à le confondre avec une stratégie plus évoluée, à savoir la « protection intégrée ».

7.3.4. Lutte intégrée

Elle ressemble à la stratégie précédente mais en intégrant en plus les moyens de lutte biologique et biotechnique ainsi que les bonnes pratiques culturales de conduite des vergers, alors que le recours à la lutte chimique se trouve strictement limité aux besoins nécessaires.

Ce concept ne cesse de connaître depuis une dizaine d'années un développement pour son application à grande échelle dans certains pays oléicoles, en particulier ceux du Nord de la Méditerranée qui disposent de structures professionnelles bien organisées (Espagne, Italie, Grèce, France) ou dans de rares cas où le domaine de la protection (avertissement et interventions) est encore entre les mains de l'État (Tunisie).

Cependant, dès la fin des années 80 et le début des années 90, l'émergence de nouveaux modes de gestion dans le contexte de l'agriculture durable, a été à l'origine de diverses interprétations du concept de « lutte intégrée » ayant abouti finalement à un nouveau concept plus moderne, « production intégrée », où les aspects phytosanitaires font partie intégrante du système de production et où l'élément clé est l'agroécosystème et où la priorité est donnée aux mécanismes de régulation naturelle.

7.3.5. Production intégrée

En plus de la protection intégrée, ce mode de gestion s'appuie sur l'intégration et l'exploitation de tous les facteurs de l'agroécosystème agissant favorablement sur la quantité et la qualité de la production selon des principes écologiques.

Sur cette base, l'approche donne la priorité aux mesures préventives de protection (ou mesures indirectes), alors que la surveillance et la prévision des populations nuisibles constituent le second élément important qui conditionne la décision finale de la dernière étape de la stratégie, à savoir les mesures de lutte directe. Dans ces conditions, l'usage des pesticides constitue l'option de dernier recours en cas où les mesures préventives de lutte s'avèrent insuffisantes.



7.4. PROTECTION INTÉGRÉE DE L'OLIVIER DANS LE CONTEXTE D'UNE AGRICULTURE DURABLE

7.4.1. Objectifs

- Promouvoir un modèle d'oléiculture économiquement viable qui respecte l'environnement et qui permet à la culture de jouer pleinement ses divers rôles : social, culturel et écologique.
- Assurer une production durable d'olives et d'huile de très haute qualité alimentaire et sanitaire avec le minimum ou quasiment l'absence de résidus.
- Prémunir les producteurs et leurs ouvriers des risques de manipulation des produits agrochimiques.
- Garantir le maintien de la stabilité et de l'équilibre de l'écosystème tout en œuvrant à préserver et à développer la diversité biologique.
- Donner la priorité aux mécanismes naturels de régulation.

7.4.2. Principaux éléments de base

Dans le contexte du développement durable et de la préservation des ressources naturelles, la nouvelle approche du concept de « lutte intégrée » considère l'agroécosystème comme l'élément de base et primordial de la stratégie de protection. Partant de ce principe, celle-ci s'appuie par ordre de priorité, sur les trois éléments suivants : les mesures préventives, la surveillance et l'estimation du risque de dégâts des populations nuisibles, et enfin l'application de moyens de lutte directe.

7.4.2.1. Mesures prophylactiques ou préventives

Une priorité absolue est accordée à ces mesures préventives aussi bien dans les plantations existantes qu'en cas de l'installation d'un nouveau verger :

Elles reposent sur les principes suivants :

L'utilisation optimale des ressources naturelles lors de la mise en place d'une nouvelle plantation :

- Choix variétal adapté aux conditions du milieu : variétés ou clones résistants ou tolérants aux ravageurs et maladies.
- Plants et sol indemnes de toute présence d'insectes, de maladies ou de nématodes.
- Les sols avec des précédents culturaux sensibles à certaines maladies sont à éviter.
- Les cultures maraîchères en intercalaires sensibles aux maladies (*Verticillium*, *Fusarium*...) ne sont pas recommandées.
- Préparation du sol et fumure adéquates (sol aéré et filtrant, fumure équilibrée, fumure organique hautement recommandée).
- Densité et époque de plantation appropriées (les densités trop élevées ne permettant pas l'aération de l'arbre et la pénétration des rayons solaires ne sont pas recommandées).
- Système et techniques d'irrigation appropriés (irrigation pas trop près du tronc, régulière et sans excès...).
- L'intensification trop poussée (densité supérieure à 300 plants/ha) est à éviter.

L'application de techniques culturales sans effets négatifs sur l'agroécosystème et particulièrement défavorables au développement et à la multiplication des espèces nuisibles.

Elles englobent toutes les pratiques de culture afférentes à la conduite des arbres (taille de formation, de fructification et de rajeunissement, entretien du matériel de taille, gestion des sous-produits de la taille, traitements chimiques...) et à l'aménagement du sol (labour, fertilisation, irrigation, travaux de conservation des eaux et du sol, lutte contre les mauvaises herbes...) qui permettent de maintenir la stabilité de l'agroécosystème (diversité de la flore et de la faune auxiliaire), d'assurer les conditions défavorables au développement des espèces nuisibles et de favoriser le rôle des antagonistes naturels.

Parmi les techniques ayant un rôle important dans la prévention des problèmes phytosanitaires, il y a lieu de citer :

- La taille, en agissant sur l'aération de la frondaison et la pénétration des rayons solaires par l'élimination du gros bois ou l'éclaircissage des branches et rameaux et l'ablation des rejets, constitue un moyen relativement efficace pour réduire les effectifs de nombreuses espèces nuisibles (insectes, acariens et maladies) ou pour défavoriser leur développement, notamment l'œil de paon, les cochenilles, le psylle, les insectes xylophages (neiroun, hylésine, pyrale, zeuzère...), la teigne de l'olivier (3^e génération).
- La désinfection du matériel de taille est nécessaire pour éviter la propagation de la tuberculose, tandis que la cicatrisation des plaies de taille est fortement recommandée car ces dernières constituent une source d'entrée pour les agents pathogènes (champignons, bactéries) et les larves de xylophages (*Euzophera pinguis*, *Zeuzera pyrina*).
- La bonne gestion des sous-produits de la taille (bois, brindilles), soit par leur transformation et leur incorporation au sol pour améliorer la fertilité de ce dernier, soit en les éloignant du verger après les avoir utilisés comme attractifs pour le neiroun.
- L'apport d'azote ne doit pas être excessif pour éviter le développement des cochenilles, du psylle, des acariens et de la maladie de l'œil de paon. D'une façon générale, l'apport des éléments nutritifs devrait être réalisé selon les analyses foliaires et du sol.
- En culture intensive, l'apport d'eau ne doit pas être excessif, ni être réalisé trop près du tronc. Toute stagnation ou difficulté d'infiltration de l'eau risquerait de développer les maladies des racines.
- Les façons culturales doivent être adaptées aux conditions pédoclimatiques de culture, de manière à éviter l'érosion et le compactage du sol, à maîtriser la concurrence exercée par les mauvaises herbes et à assurer une exploitation optimale des eaux pluviales, en particulier dans les régions semi-arides et arides.
- La récolte des olives doit être réalisée au moment opportun (relativement précoce) pour garantir une bonne qualité de l'huile et éviter les infestations par la mouche de l'olive.
- Les interventions phytosanitaires (choix et mode d'application des produits, lâcher ou introduction-acclimatation d'auxiliaires) et toutes autres pratiques (préservation de la flore ou plantes-relais, installation de haies servant de refuge aux auxiliaires...) visant la protection et le renforcement du rôle des antagonistes naturels sont vivement recommandées.

Il convient de souligner que les mesures préventives s'appuient sur une bonne connaissance du milieu naturel avec toutes ses composantes édaphiques, climatiques, agronomiques, biologiques et sociales et de leurs interactions.



7.4.2.2. Surveillance des populations nuisibles, prévision et estimation du risque de dégâts

La surveillance des espèces nuisibles et la détermination de leur seuil de nuisibilité constituent le second élément important de la stratégie puisqu'il fournit les informations nécessaires pour décider de l'opportunité d'une intervention.

Objectifs

- Détecter la présence de l'espèce nuisible et estimer son importance numérique (populations adultes, stades préimaginaux par unité de mesure, taux de contamination...) dans un verger ou un ensemble d'exploitations homogènes.
- Délimiter si possible son aire de répartition géographique (foyers primaires, secondaires...).
- Appréhender le risque de dégâts économiques (seuil de nuisibilité) en tenant compte de l'ensemble des facteurs du milieu (plante-hôte, climat, faune auxiliaire, techniques de conduite du verger).
- Déterminer l'époque optimale pour l'intervention en tenant compte du ou des stades vulnérables de l'espèce nuisible.

Outils et moyens

Piégeage des adultes

- Différents types de pièges sont utilisés : pièges sexuels à phéromone, pièges alimentaires, pièges chromotropiques, pièges lumineux, attractifs naturels (bois de taille)... ;
- Les conditions d'emploi des différents types de pièges revêtent une importance pour l'interprétation des relevés de captures : densité de pièges/ha, localisation sur l'arbre et disposition dans le verger, précautions à prendre, fréquence des relevés... (voir fiche par espèce cible).

Échantillonnage

- Objectifs : estimer le degré d'infestation et le risque potentiel des dégâts et suivre l'état d'évolution de l'espèce nuisible (stades préimaginaux) en vue de décider de l'opportunité d'une intervention et de la période de son application.
- Modalités : prélèvement d'échantillons d'organes végétaux (racines, rameaux, tiges, feuilles, fleurs, fruits, écorce...) ou examen *in situ*.

La fréquence des prélèvements varie selon les espèces cibles et le type d'informations à recueillir. Elle est généralement hebdomadaire ou décadaire durant la période d'activité de reproduction du nuisible. L'importance de l'échantillon (quantité d'organes, nombre d'arbres de contrôle) varie selon l'espèce cible et la densité de ses populations.

- Examen des échantillons : l'examen des échantillons se fait selon des fiches de notation qui sont élaborées selon l'espèce et la nature des données à recueillir.
- Dépouillement des données d'échantillonnage : l'informatisation des données faciliterait leur dépouillement et leur analyse ainsi que leur mise en réseau lorsqu'il s'agit de centraliser les données de plusieurs stations de contrôle d'une ou de plusieurs zones oléicoles.

Autres paramètres de surveillance

- L'examen et l'analyse au laboratoire pour l'identification des agents pathogènes.
- Le suivi de la phénologie de la plante hôte (stades repères) et de la fertilité des femelles dans le cas de la mouche de l'olive.
- Le suivi des données climatiques (températures extrêmes et pluies notamment).
- Le grattage de l'écorce du bois ou le dénombrement des trous d'entrée / de sortie dans le cas des espèces xylophages (hylésine, neiroun, zeuzère, pyrale, cécidomyie de l'écorce...).

Mise en place du système de surveillance

Les stations de surveillance peuvent être à l'échelle individuelle du producteur (d'un verger, d'une ferme) ou pour un ensemble d'exploitants d'une localité ou d'une zone oléicole, organisés en associations ou coopératives et ce dans le cadre d'un réseau de stations appuyé par un ou plusieurs postes météorologiques.

Dans ce dernier cas, la zone oléicole est découpée en microzones suffisamment homogènes (relief, état des plantations, système de production et techniques de conduite...) où le nombre de stations varie selon le degré d'homogénéité des exploitations oléicoles ; en général, une station pour 500 à 1 000 ha environ. Chaque station comporte un nombre variable de parcelles d'observation selon l'hétérogénéité du milieu, où l'on procède à l'installation des outils de piégeage (3 à 5 pièges/parcelle) et au prélèvement d'échantillons.

7.4.2.3. Moyens de lutte directe

Principes

- La lutte directe n'est entreprise que si les niveaux de population atteignent le seuil de nuisibilité.
- La priorité est donnée aux moyens et techniques de protection naturelle, culturale, biologique, biotechnique et à des méthodes spécifiques de lutte, tandis que le recours aux pesticides devrait être minimisé au maximum.
- Le choix des produits pesticides est axé sur les formulations les plus sélectives, les moins toxiques en général ou dont l'action est la moins rémanente avec le minimum d'effets sur l'homme, le gibier, le bétail et l'environnement en général.

Méthodes et techniques de lutte

- Diverses techniques culturales peuvent être employées comme moyens de lutte directe : la taille et l'élimination des rejets contre de nombreuses espèces nuisibles, l'emploi d'attractifs naturels contre le neiroun, de bandes pièges contre l'otiorrhynche voire la capture directe d'insectes ou la lutte mécanique, la taille et l'incinération d'organes infestés, les façons culturales (labour, binage sous le tronc et la frondaison) contre les mauvaises herbes ou les insectes vivant dans le sol (teigne, mouche de l'olive, vers blancs, otiorrhynches, larves de cigale...).
- L'emploi de produits spécifiques et sélectifs, en particulier les formulations à base de bactéries telles que *Bacillus thuringiensis* ou *Saccharopolyspora spinosa* (*Spinocide*) ou de champignons contre les chenilles de lépidoptères (*Prays oleae*, *Margaronia unionalis*, *Euzophera pinguis*, *Zeuzera pyrina*...) ou même les larves de diptères (*Bactrocera oleae*), est fortement recommandé.



- Toutes les techniques faisant appel à la combinaison d'un attractif (alimentaire, phéromonal...) et d'un insecticide appliqué localement sur une superficie réduite de l'arbre sont recommandées.
- Les méthodes biotechniques axées sur les captures de masse ou la confusion sexuelle sont à encourager (*Bactrocera oleae*, *Prays oleae*, *Margaronia unionalis*, *Euzophera pinguis*...).
- Les lâchers d'agents auxiliaires (parasitoïdes, prédateurs) sont recommandés en particulier contre les cochenilles en association avec les moyens culturaux.
- Enfin, l'emploi de formulations pesticides particulières à base de soufre (contre les acariens) ou de chaux en mélange avec les produits cupriques constitue une alternative à l'usage des insecticides de synthèse.

Sélection des pesticides et conditions d'application

Critères de base pour le choix des pesticides :

- Seules les formulations homologuées sont autorisées tout en respectant scrupuleusement leurs conditions d'emploi.
- Les pesticides sont classés selon les critères suivants :
 - leur degré de toxicité vis-à-vis de l'homme, des ennemis naturels, du gibier et des animaux ;
 - leur degré de pollution du sol et de l'eau ;
 - leur capacité d'induire le développement d'autres nuisibles ;
 - leur sélectivité ;
 - leur durée de rémanence dans le milieu et leur solubilité dans l'huile ;
 - le risque de développer des phénomènes de résistance chez les espèces cibles.

D'une façon générale, les produits non sélectifs, rémanents et très volatils, sont à proscrire.

Partant de ces critères, il est recommandé :

- d'éviter les traitements de couverture à l'aide des pyréthriinoïdes,
- d'éviter l'emploi de certains herbicides toxiques et très persistants (diquat, paraquat...),
- de rationaliser l'usage de certains insecticides et fongicides (doses et nombre d'applications/ha/an) : les organophosphorés à large spectre d'action, les carbamates, les produits cupriques...,
- de respecter les délais entre l'application des produits et la récolte afin de minimiser voire garantir l'absence de traces de résidus dans l'olive et l'huile.

Modes d'application et équipements d'intervention

L'application des interventions phytosanitaires doit répondre aux impératifs suivants :

- Être suffisamment efficace pour maintenir les niveaux de populations de l'espèce cible en dessous du seuil de tolérance économique.
- La quantité pulvérisée de bouillie doit se limiter au strict besoin en matière active par hectare ou par arbre, en tenant compte de la taille des arbres. Toute perte de produit sur le sol ou par la dérive, devrait être réduite au maximum.
- La répartition du produit doit être homogène sous forme de pulvérisation fine et sous une pression convenable (autour de 6 bars) et ciblée sur les parties de l'arbre où l'espèce nuisible peut être atteinte.

- Avoir le minimum d'effets secondaires sur la faune auxiliaire et le milieu naturel en général.
- L'automatisation de la pulvérisation est vivement souhaitée pour limiter au maximum l'effet des erreurs des manipulateurs.

Recommandations

- Les traitements aériens sont à proscrire en raison de leurs répercussions très néfastes sur l'environnement.

Ils ne peuvent être tolérés qu'en cas d'impossibilité d'emploi des moyens terrestres ou si des études scientifiques ont prouvé leur impact écologique limité. En tout état de cause, les traitements aériens de couverture ne peuvent être autorisés.

- Le réglage et le calibrage des pulvérisateurs doivent être effectués régulièrement avant le démarrage de l'application, en particulier le contrôle de la pression et des buses.
- L'usage d'appareils à fonctionnement semi ou totalement automatisé est à encourager.
- Les traitements par temps venté ou très chaud sont proscrits.
- Les applications localisées moyennant l'usage d'un appât empoisonné (insecticide + attractif alimentaire ou phéromonal) contre la mouche de l'olive sont très recommandées. Il en est de même pour les traitements localisés sur le tronc et/ou les branches charpentières pour lutter contre les xylophages (hylésine, pyrale de l'olivier et zeuzère éventuellement).



7.4.3. Principales espèces nuisibles et méthodes de lutte recommandées

7.4.3.1. Ravageurs animaux

Ordre des Diptères

MOUCHE DE L'OLIVE : *BACTROCERA OLEAE* GMEL (DIPTERA, F. TRYPETIDAE)

Noms communs

Mouche de l'olive (en français) ; Olive fruit fly (en anglais) ; Mosca del olivo (en espagnol) ; Mosca dell'olivo (en italien) ; Mosca da azeitouna (en portugais) ; Dhoubabet azzaitoun (en arabe).

Répartition géographique

Toute la Méditerranée jusqu'à l'Inde, États-Unis (Californie). L'espèce revêt une grande importance économique dans la majorité des pays producteurs.

Plante hôte

L'olivier cultivé, l'oléastre.

Description

- *Adulte* : mouche de 5 mm de long, abdomen brun à côtés noirs mais avec une grande variabilité de couleur, femelle avec tarière (Figure 1).



Figure 1. Adultes de *B. oleae*.

- *Œuf* : allongé blanc de 0,8 mm (Figure 2).
- Stades larvaires : 3 stades larvaires et une puppe.

Cycle biologique

Il présente plusieurs générations annuelles (4 à 5) dont le nombre est étroitement lié au climat et à la disponibilité des fruits.

- *Hivernation* : à l'état d'adulte, de larves dans les fruits pendants et de pupes dans le sol.
- Démarrage de la 1^{re} génération estivale en rapport avec la réceptivité des fruits et les conditions thermiques : précoce (juin) dans les zones littorales chaudes (sud de la Méditerranée) et plus tardif (juillet-août) au Nord de la Méditerranée et en régions montagneuses.
- 3 à 4 générations peuvent se succéder dès le début de l'automne jusqu'en hiver.

Symptômes et dégâts

- Traces de piqûres sur l'olive (Figure 3).
- Chute précoce des fruits attaqués par la ou les générations estivales ou plus tardivement en automne.
- Perte en poids de l'olive (partie de la pulpe consommée par la larve) et par conséquent du rendement en huile (attaques plus tardives d'automne et/ou d'hiver) (Figure 4).
- Altération de la qualité de l'huile.

Facteurs de régulation

- *Climat*

Les températures estivales trop élevées (supérieures à 35°C) ainsi que les basses températures hivernales bloquent l'activité de ponte de la mouche.

- *Réceptivité des fruits*



Figure 2. Œuf pondu dans une olive verte, dégagé de la pulpe.



Figure 3. Traces de piqûres sur l'olive en début d'été.



Figure 4. Partie de la pulpe dévorée par la larve de *B. oleae* (attaque estivale).



Les olives de grosse taille et charnues (rapport pulpe/noyau élevé), plus réceptives, sont les premières à être infestées.

– Faune auxiliaire

Elle est relativement riche et diversifiée (oiseaux, myriapodes et notamment insectes) mais son rôle est souvent insuffisant, en particulier en cas de population élevée. Parmi les parasitoïdes les plus importants, il y a lieu de citer *Opius concolor* (Hymenoptera, Braconidae), *Eupelmus urozonus* (Hym. Eupelmidae), *Eurytoma martelli* (Hym. Eurytomidae), *Pnigalio mediterraneus* (Hym. Eulophidae).

Surveillance et prévision du risque

La surveillance fait appel à différentes méthodes qui sont complémentaires.

Piégeage des adultes

- Piège alimentaire type Mac phail appâté par un hydrolysât de protéines, du bicarbonate d'ammonium ou du phosphate diammonique dilué à 3 % (Figures 5 et 6), relativement plus efficace en régions chaudes.
- Piège type plaque simple ou Rebell (plaques croisées) (Figure 7) et piège chromatropique (couleur jaune) appâté ou non par une capsule à phéromone sexuelle à base de spiroacétate (Figure 8).

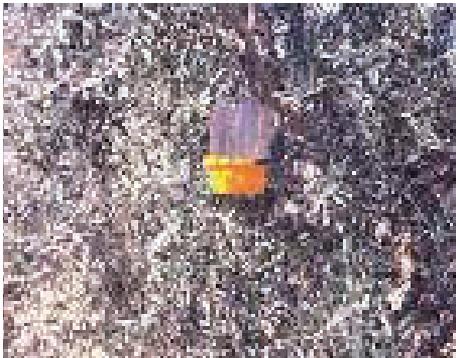


Figure 5. Piège Mac Phail en plexiglas.



Figure 6. Piège Mac Phail (gobe mouche) en verre appâté par du phosphate diammonique.

Conditions d'emploi

Densité de pièges/ha : 2 à 3 placés à hauteur d'homme dans la frondaison avec relevé des captures une à deux fois/semaine.

Le niveau de captures n'étant pas corrélé avec le degré d'infestation, il est nécessaire de compléter le piégeage par :

- le contrôle de la fertilité des femelles par la dissection d'une cinquantaine de femelles par semaine à partir du démarrage de la première génération estivale (à partir de mai dans les régions chaudes) : notation de l'état des ovaires et du nombre d'œufs mûrs par ovaire et du pourcentage de femelles mûres ;



Figure 7. Piège chromotropique type Rebell.

- l'échantillonnage des fruits pour estimer l'activité de ponte de l'insecte : relevé d'une dizaine de fruits par arbre sur un minimum de 20 arbres : pourcentage de fruits portant un ou plusieurs œufs et/ou larves.
- Suivi des données climatiques (températures maximales notamment).



Figure 8. Piège chromotropique avec capsule à phéromone.

Méthodes de lutte

Mesures culturales

- Retournement du sol sous la frondaison (15-20 cm de profondeur) en automne et en hiver, voire au début du printemps pour enfouir les pupes.
- Activation de la cueillette des olives en cas de déclenchement d'attaques automnales.

Méthodes biotechniques

Capture de masse des adultes en début de saison : un piège par arbre ou tous les 2 arbres (efficace surtout en cas de populations faible à moyenne).

Types de piège

Mac Phail appâté par un hydrolysate de protéines ou du bicarbonate d'ammonium ou du phosphate diammonique (DAP) ; plaque en plastique engluée ou plaque en bois (25 x 17 cm) imprégnée de Décis (Deltaméthrine) et appâtée par un sachet de bicarbonate d'ammonium ou de DAP et d'une capsule à phéromone (80 mg de spiroacétate) ; piège Ecotrap (Figure 9) dont l'efficacité est plus ou moins satisfaisante, bouteilles d'eau ou de lait, dotées de trous au tiers supérieur permettant l'entrée des mouches et appâtées par un attractif (DAP à 3 %).

Lutte chimique

- Lutte adulticide par traitement localisé par appât empoisonné avant ou dès l'apparition de la première piquûre.

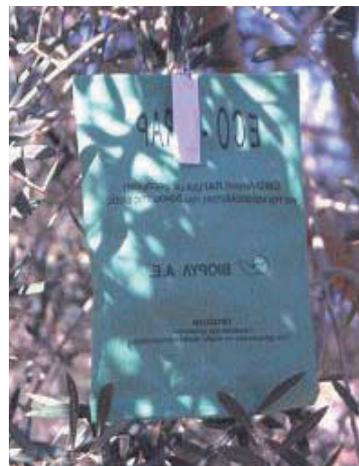


Figure 9. Piège Ecotrap.



Conditions d'emploi

- Intervention précoce en début de saison avant la multiplication massive des populations. Le seuil de captures par piège et par jour est variable selon les régions et les niveaux de population. Il en est de même pour le nombre de traitements.
 - Mélange à base d'insecticide (0,3 à 0,6 litre de Décis-diméthoate...) et d'un litre d'hydrolysate de protéines dans 100 litres d'eau. L'hydrolysate peut être remplacé par la phéromone de *B. oleae*.
 - Application sur certains arbres du verger ou sur une partie de l'arbre à raison de 250 cc à 2 litres/arbre (selon le volume de la frondaison).
- Lutte adulticide par application localisée de bouillie bordelaise (expérimentée en Italie) : mélange de 1 kg de sulfate de cuivre et 2,5 kg de chaux dans 100 litres d'eau ou du Spinosad ou Tracer 240.
- Lutte contre les larves et les adultes
- Seuil d'intervention : 10 à 15 % de fruits infestés par des œufs et/ou des larves (olives à huile) ; 1 à 2 % (olives de table).
 - Produits : organophosphorés systémiques.
 - Pulvérisation terrestre sur l'ensemble de l'arbre.

NB : La date limite pour l'application des traitements chimiques se situe vers la fin septembre – début octobre.

Lutte biologique par lâcher inondatif du braconide *Opius concolor* (500 à 1 000 parasitoïdes/arbre). La parasitoïde n'est efficace qu'en début d'été et en présence de populations faibles à moyennes.

CÉCIDOMYIES (DIPTERA, CECIDOMYIDAE) : CÉCIDOMYIE DES FEUILLES D'OLIVIER DASINEURA OLEAE F. LOEW

Noms communs

Cécidomyie des feuilles d'olivier – Cécidomyie des feuilles et des pédoncules floraux de l'olivier (en français) ; Olive leaf gall midge (en anglais) ; Mosquito de la hoja del olivo (en espagnol) ; Cecidomia dell'olivo (en italien) ; Dhoubabet Aourak azzaitoun (en arabe).

Répartition géographique

Espèce localisée principalement en Méditerranée orientale (Syrie, Liban, Jordanie, Palestine, Israël, Chypre, Grèce) mais signalée également en Croatie, en Italie et en Istrie.

Plante hôte

Olea europaea.

Description

- *Adulte* : 2,25 à 2,50 mm de long, coloration jaunâtre avec abdomen rougeâtre chez la femelle. Vie très courte. Fécondité/femelle : une centaine d'œufs (Figure 1).
- *Œuf* : allongé, légèrement aminci aux deux pôles, jaune pâle puis rouge aux deux pôles.
- *Larve* : jaune avec spatule sternale bilobée brun foncé.
- *Nymphe* : rouge orange.



Figure 1. Adulte de *D. oleae* (d'après Arambourg, 1986)

Cycle biologique

Il comporte deux générations par an.

- Apparition des adultes : fin février à mai.
- Ponte : immédiatement après l'émergence des adultes sur les jeunes feuilles, au milieu des bourgeons ou encore au sein des boutons floraux.
- Développement larvaire et nymphal :

La pénétration de la larve néonée dans les organes végétaux s'accompagne de la formation d'une galle.

- Développement sur feuilles (génération phyllophage) : les larves du 2^e stade entrent en diapause à la fin de l'été et ne se transforment en pupes qu'à la fin de l'hiver.
- Développement sur grappes florales (génération anthophage) : le développement des larves s'achève en avril-mai. Les adultes sortis en mai pondent sur les feuilles et les larves du 2^e stade subissent la diapause postestivale.

Symptômes et dégâts

- Apparition de galles sur les feuilles et les inflorescences.
- Déformation des feuilles et des inflorescences et coulure de ces dernières.

Moyens de surveillance

L'échantillonnage des organes demeure le seul moyen pour estimer la présence des larves dans les feuilles et les inflorescences.

Stratégie de lutte

Généralement, la nuisibilité de l'insecte ne nécessite pas d'interventions. Toutefois, en cas de fortes infestations sur grappes florales (comme ce fut le cas en Syrie), l'emploi de produits systémiques à faible dose peut s'avérer nécessaire contre le premier stade larvaire au printemps.



CÉCIDOMYIE DE L'ÉCORCE : *RESSELIELLA OLEISUGA* TARGIONI - TOZZETI

Synonymie

Diplosis oleisuga ; *Clinodiplosis oleisuga* ; *Thomasiniana oleisuga*.

Noms communs

Cécidomyie de l'écorce de l'olivier (en français) ; Olive bark midge (en anglais) ; Mosquito de la corteza del olivo (en espagnol) ; Cecidomia suggjiscorza dell'olivo (en italien) ; Dhoubabet Kichrat Azzaitoun ou Dhoubabet Kelf Aghsan Azzaitoun (en arabe).

Répartition géographique

L'espèce a été observée dans la plupart des pays oléicoles du bassin Méditerranéen (Afrique du Nord, Moyen-Orient, Espagne, Grèce, Italie, France, ex-Yougoslavie). Elle tend à se développer dans les plantations intensives.

Plante hôte

Bien que les larves ne se développent que sous l'écorce de l'olivier, elles peuvent vivre sous l'écorce d'autres oléacées (*Phillyrea*, *Fraxinus*).

Description

- *Adulte* : 3 mm de long, couleur noire avec des segments abdominaux colorés en orangé chez la femelle et grisâtres chez le mâle (Figure 1).
- *Œuf* : elliptique, allongé et transparent, virant au jaune avant l'éclosion, de 0,25 à 0,30 mm de long.
- *Larve* : transparente, blanchâtre et virant à l'orangé au stade âgé, 3 à 4 mm de long.
- *Nymphe* : jaune ombrée à orangé, 1,5 à 2,2 mm de long.



Figure 1. Adulte de *R. oleisuga* (d'après Arambourg, 1986).

Cycle biologique

Deux générations annuelles sauf en Crète (une seule génération) : une printanière et une estivale.

- *Hivernation* : à l'état de larves issues de la génération estivale.
- *Nymphose* : fin d'hiver.
- *Émergence des adultes* : début du printemps.



Figure 2. Ponte groupée sur rameau.

- Ponte : par petits groupes de 10 à 30 œufs sous des écorces soulevées (blessures naturelles, provoquées par l'homme ou par les insectes) (Figure 2).
- Développement larvaire et nymphal : la jeune larve creuse sa propre logette sous corticale dans le cambium, parallèle à celles de ses voisines (Figure 2). Au terme de son développement, elle quitte l'écorce pour se nymphoser dans le sol.

Symptômes et dégâts

Les attaques sont fréquemment observées à la base des jeunes pousses d'arbres vieux rajeunis ou de plantations jeunes irriguées.

Symptômes

- Nécroses de l'écorce autour du site de ponte, sous forme de dépressions et de craquelures, et modification de la couleur de l'écorce qui devient jaune rougeâtre (Figure 3).
- Dessèchement de la partie du rameau au dessus du site de ponte (Figure 4).



Figure 3. Craquelure sur rameau.



Figure 4. Dessèchement du rameau.

Facteurs de régulation des populations

Facteurs abiotiques

- Le développement de l'insecte est favorisé par une humidité relative élevée, une pluviométrie abondante ou par l'irrigation.
- Les blessures de l'écorce de toute nature (par l'homme, le vent, les insectes, le gel, la grêle...) constituent un facteur favorable à l'activité de ponte du ravageur.
- L'aridité associée aux fortes chaleurs limite son développement et semble affecter la survie des larves en été.

Facteurs biotiques

- Présence signalée d'un ectoparasite *Eupelmus hartigi* et d'un acarien prédateur du genre *Pymotes*.



Moyen de surveillance

Observation visuelle des symptômes d'attaques sur rameaux.

Stratégie de lutte (valable en culture biologique)

Lutte axée principalement sur les techniques culturales :

– Mesures prophylactiques

- Masticage des plaies de taille et coupe des parties blessées par le vent ou par les opérations de cueillette.
- Éviter les blessures par les engins mécaniques.

– Lutte directe par la coupe et l'incinération des branchettes et rameaux attaqués.

Ordre des Lépidoptères

TEIGNE DE L'OLIVIER : PRAYS OLEAE BERN. (LEPIDOPTERA, F. HYPONOMEUTIDAE)

Noms communs

Teigne de l'olivier (en français) ; Olive kernel borer ou Olive moth (en anglais) ; Polilla del olivo (en espagnol) ; Tignola dell'olivo (en italien) ; Traça de oliveira (en portugais) ; Al Itha (en arabe).

Répartition géographique

Tout le bassin Méditerranéen jusqu'en Russie.

Description

- *Adulte* : microlépidoptère de 6 à 7 mm de long et 13 à 14 mm d'envergure (Figure 1).
- *Œuf* : forme légèrement ovalaire, convexe, plaqué sur le support végétal, à forte réticulation, blanc à l'état frais puis jaunâtre au fur et à mesure de son évolution, sensible à la hausse des températures et à la baisse d'hygrométrie (Figure 2).
- *Développement larvaire* : 5 stades larvaires
- *Nymphe* : chrysalide enfermée dans un cocon soyeux lâche de couleur blanc sale.



Figure 1. Adulte de *P. oleae*.

Cycle biologique

Trois générations par an :

- Hivernation à l'état de larves vivant en mineuses dans les feuilles.

1^{re} génération (anthophage) : envol des adultes début mars (régions chaudes) et début avril (Nord de la Méditerranée). Ponte sur le calice du bouton floral qui n'est réceptif qu'à partir du stade D (Figure 2).

- Développement larvaire aux dépens des étamines et du pistil (Figure 3). Nymphe sur grappes florales (Figure 4).

2^e génération (carpophage) : début d'envol des adultes début mai - début juin. Ponte sur calice des jeunes fruits (Figure 5). La larve pénètre dans l'olive et se nourrit de l'amandon (Figure 6). Au terme de son développement, elle quitte le fruit en creusant un trou de sortie au niveau du calice et se nymphose dans le sol (Figures 7 et 8).

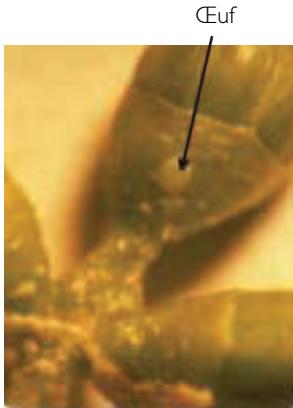


Figure 2. Ponte sur bouton floral.



Figure 3. Chenille âgée dévorant les boutons floraux.



Figure 4. Dégâts sur grappes florales (noter la nymphose au sein des grappes florales).

3^e génération (phyllophage) : le début d'envol des adultes de 2^e génération a lieu en septembre-octobre. La ponte a lieu sur la face supérieure de la feuille. Les larves vivent en mineuses en creusant des galeries caractéristiques de chaque stade larvaire. La nymphose s'effectue entre deux feuilles ou dans les crevasses des branches charpentières et du tronc.

Symptômes et dégâts

Génération anthophage

Destruction d'une partie plus ou moins importante des boutons floraux, pouvant entraîner la baisse du taux de nouaison (Figures 3 et 4).

Génération carpophage

- Chute estivale des jeunes fruits (pénétration de la larve) : plus ou moins confondue avec la chute physiologique.
- Chute automnale (sortie de la larve) : constitue les dégâts réels (Figures 7, 8 et 9)

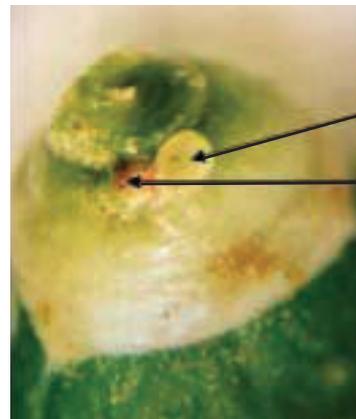


Figure 5. Ponte sur le calice d'un jeune fruit (génération carpophage).



Figure 6. Larve âgée ayant dévoré l'amandouille.



Figure 7. Chenille sortant de l'olive au terme de son développement.



Figure 8. Olive trouée suite à la sortie de la chenille.

Génération phyllophage

Galeries mineuses de différentes formes sur feuilles, correspondant aux différents stades larvaires. Bourgeons terminaux parfois dévorés en cas de forte attaque (Figures 10, 11 et 12).

Facteurs de régulation

– Climat

La température et l'hygrométrie déterminent la répartition spatiale de l'espèce qui reste cantonnée dans les zones littorales ou les régions humides à climat doux, en raison de la sensibilité des œufs à la siccité de l'air. Ainsi, les températures printanoestivales élevées (supérieures à 30°C et proches de 35°C) associées à une baisse d'hygrométrie, ont un effet drastique sur la survie des œufs et des jeunes larves à l'intérieur du fruit (génération carpophage).



Figure 9. Chute automnale d'olives due à *P. oleae*.

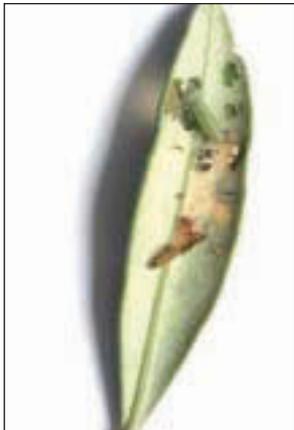


Figure 10. Galerie et chenille au stade L3.



Figure 11. Galeries larvaires de différentes tailles sur feuilles.



Figure 12. Bourgeon terminal attaqué.

– Végétal

Il agit de trois manières, surtout au niveau de la génération carpophage :

- La chute d'éclaircissage des fruits en début d'été s'accompagne d'une élimination non négligeable des œufs et des larves ;
- La charge de l'arbre en fruits, lorsqu'elle est faible à moyenne, se traduit par une ponte multiple par fruit et contribue par conséquent à la réduction d'une partie des larves surnuméraires du fait que l'olive ne permet le développement que d'une seule larve ;
- Enfin, la réaction de l'olive à la pénétration de la larve associée à la hausse des températures contribue à une mortalité importante des jeunes larves en cours de pénétration.



– Ennemis naturels

La faune auxiliaire est assez riche et diversifiée et comporte une quarantaine d'espèces parasitoïdes et prédatrices dans les régions Nord de la Méditerranée alors qu'elle est moins lotie dans la zone Sud (une dizaine d'espèces en Tunisie).

Son rôle est loin d'être négligeable, notamment au niveau de la 2^e génération par la prédation des œufs (pouvant atteindre les 80 %) et le parasitisme ovariaire et larvaire (pouvant dépasser les 60 %) et semble être en rapport avec la densité de l'hôte.

Surveillance et prévision du risque

Contrôle des adultes

Piège sexuel à phéromone type INRA (Figure 13) : 2 à 3 pièges/ha (50–70 m entre les pièges) :

- Installation à hauteur d'homme :

1^{re} génération : fin février (régions chaudes) à fin mars (régions froides) ;

2^e génération : fin avril à fin mai ;

3^e génération : début septembre.

- Changement de la capsule à phéromone à la fin de chaque génération et de la plaque à glu chaque fois qu'il est nécessaire (captures importantes, vent de sable).

Les captures moyennes/piège et celles maximales/7 jours/piège peuvent renseigner sur le risque potentiel d'infestation sur grappes et sur fruits. De même, les niveaux de captures de la première génération permettent de prédire ceux de la seconde.

Échantillonnage

Anthophage : 50 à 100 grappes florales/arbre à prélever sur une dizaine d'arbres juste à l'approche du début de floraison (pourcentage de grappes infestées et densité d'œufs éclos/100 grappes).

Carpophage : 10 à 30 fruits/arbre selon l'importance de l'infestation sur 10 arbres, tous les 7 jours, dès la nouaison (pourcentage de fruits infestés, densité d'œufs éclos/100 fruits).

Phyllophage : 1 seul prélèvement de feuilles (100 feuilles/arbre sur 10 arbres) au stade larve âgée-début de nymphose (fin janvier- fin février) : densité de larves/100 feuilles.



Photo 13. Piège sexuel à phéromone.

Stratégie de lutte

Mesures culturales

- Taille appropriée à la fin de l'hiver pour réduire les populations phyllophages.
- Retournement du sol sous la frondaison en automne pour réduire les populations adultes issues de la 2^e génération.

Lutte directe (curative)

- Seuils d'intervention : 4 à 5 % de grappes infestées ; 20 à 30 % d'olives infestées (olives à huile de petite taille) ; seuils plus bas (10 %) pour les variétés d'olives de table.
- Moyens de lutte
 - Microbiologiques à l'aide de *Bacillus thuringiensis* ou *Saccharopolyspora spinosa* (Spinosaad-Tracer) contre la 1^{re} génération, dès les premières fleurs ouvertes, avec un bon mouillage de l'arbre et exceptionnellement contre la troisième, en cas de fortes densités de larves sur feuilles.
 - Chimique contre la 2^e génération à l'aide d'un produit systémique (diméthoate) quand le taux d'éclosion des œufs dépasse les 50 % et se rapproche de 75 %.

ZEUZÈRE : ZEUZERA PYRINA L. (LEPIDOPTERA, F. COSSIDAE)

Noms communs

Zeuzère (en français) ; Leopard moth (en anglais) ; Taladro del olivo (en espagnol) ; Perdilegno bianco/Perdilegno giallo (en italien) ; Broca (en portugais) ; Hoffar essak (en arabe).

Répartition géographique

La zeuzère est répandue dans l'ensemble de l'Europe septentrionale et méridionale, l'Afrique du Nord et tout le Proche et Moyen-Orient, l'Iran, jusqu'en Chine et au Japon.

Dans le bassin Méditerranéen, sa présence sur olivier n'est surtout remarquée que dans les régions orientales (Syrie, Liban, Égypte, Israël, Jordanie, Chypre, Turquie...) et rarement en Méditerranée occidentale, bien qu'elle ait été signalée en Italie (Sicile).

Plante hôte

La zeuzère est un ravageur très polyphage s'attaquant à plusieurs espèces arboricoles et arbustives, notamment le pommier, le poirier, le prunier, le cerisier, le figuier, l'olivier voire le grenadier.



Description

- Adulte : c'est un gros papillon de 50 à 70 mm d'envergure chez la femelle et de 40 à 50 mm chez le mâle, de couleur blanc pur parsemé de taches bleu foncé, assez grosses et nombreuses sur les ailes antérieures et plus effacées sur les ailes postérieures (Figure 1).



Figure 1. Femelle de *Zeuzera pyrina*.

Les deux sexes se distinguent aisément par la taille (plus grande chez la femelle) et par la forme des antennes (filiformes chez la femelle et bipectinées à la moitié basale chez le mâle).

- Œuf : il mesure 1 mm environ avec une forme ovoïde, subelliptique et de couleur jaune à saumon. La ponte est souvent groupée dans les crevasses de l'écorce et les anciennes galeries.
- Larve : au cours de son développement larvaire, l'insecte passe par cinq stades larvaires suivis du stade chrysalide. Après éclosion de l'œuf, la larve L₁ de couleur jaune pâle mesure 1 mm de long et arrive au terme de son développement (L₅) à atteindre 50 à 60 mm de long (Figure 2).
- Chrysalide : de couleur brun-jaunâtre, elle mesure 35 mm de long. La nymphose s'effectue à l'entrée de la galerie larvaire où la chrysalide se trouve protégée par un bouchon de sciure (Figure 3).



Figure 2. Larve de *Zeuzera pyrina* (d'après Guario et al., 2002).

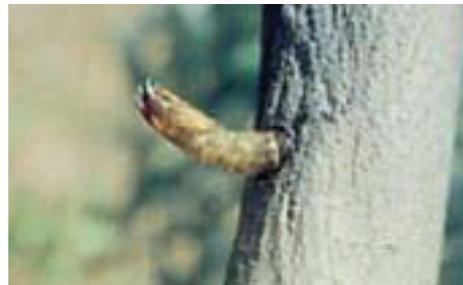


Figure 3. Dépouille d'une chrysalide de *Z. pyrina* (d'après Guario et al., 2002).

Cycle biologique

En Europe méridionale et plus généralement dans la région méditerranéenne de l'olivier, le cycle est annuel et rarement bisannuel.

- *Envol des adultes*

La période d'envol varie selon les sites géographiques. Elle s'étale du mois de mai jusqu'à la fin du mois d'août voire jusqu'en novembre (en Italie) avec un ou deux pics en juin et en août, alors qu'elle se situe de la fin août à octobre avec un maximum vers la fin septembre en Syrie.

– Ponte

Elle a lieu quelques jours après le début de l'envol des adultes dans les anfractuosités, fissures de l'écorce ou les anciennes galeries larvaires.

– Développement larvaire



Figure 4. Amas de sciure suite à la pénétration de la larve (d'après Guario et al., 2002).

Dès l'éclosion, les larves L_1 restent groupées un certain temps avant de se disperser pour se diriger vers les jeunes rameaux ou les rejets et gourmands où elles vont pénétrer en creusant une galerie généralement ascendante et en rejetant les excréments à l'extérieur du trou de pénétration sous forme d'amas rougeâtre (Figure 4).

Quelques semaines plus tard, les larves plus âgées vont s'attaquer aux brindilles âgées de 1 à 4 ans, voire aux branches plus âgées ou aux charpentières.

Par la suite, les larves assez grosses du 4^e et 5^e stades migrent vers les grosses branches et le tronc où elles passent l'hiver dans les galeries.

– Nymphose

Parvenue au terme de son développement vers le début du printemps, la larve âgée se retourne dans sa galerie et se dirige vers le trou d'entrée pour se nymphoser en se séparant de l'extérieur par un amas de sciure caractéristique.

Symptômes et dégâts

Au Moyen-Orient, *Zeuzera pyrina* est considérée comme un ravageur primaire causant d'importants dégâts, aussi bien dans les jeunes plantations que sur les arbres adultes. La galerie déterminée par la larve s'accompagne d'un affaiblissement voire du dessèchement (Figure 5) de la partie du végétal surmontant le trou d'entrée (cas des jeunes rameaux ou des brindilles).



Figure 5. Dessèchement des jeunes rameaux à la suite de la migration des jeunes larves (d'après Guario et al., 2002).

Seuil de tolérance économique

- 5 larves/arbre âgé de 8 ans
- 5 - 15 larves/arbre âgé de 20 ans
- 20 à 30 larves/arbre âgé de plus de 20 ans



Moyens de surveillance

Détermination de la période d'envol des adultes

Emploi du piégeage lumineux ou sexuel des adultes de *Z. pyrina* (Figure 6). Les femelles étant très lourdes pour voler, ce sont surtout les mâles qui sont capturés.

Estimation du niveau d'infestation

- Vers la fin de l'été, relevé hebdomadaire des jeunes rameaux infestés (en voie de dessèchement) à la suite de la migration des larves L₁ sur une vingtaine d'arbres.
- Relevé en hiver-début du printemps, des traces de présence des larves âgées au niveau du tronc et des branches charpentières.

Méthodes de lutte

La lutte est rendue difficile par suite de l'étalement des périodes d'envol et de ponte.

Actuellement, la lutte contre *Z. pyrina* fait appel à la combinaison de diverses méthodes :

– Culturelles

- taille fréquente des jeunes rameaux présentant des signes d'infestation par les jeunes larves ;
- abattage et incinération des branches et branchettes affaiblies et fortement infestées afin d'éliminer les larves qui s'y trouvent ;
- conservation des rejets et gourmands durant la période automno-hivernale en tant que sites préférentiels pour la première migration larvaire puis leur coupe et leur incinération.

– Mécanique

- introduction de fil de fer dans les galeries pour tuer les larves âgées ;
- bouchage des galeries larvaires par de la pâte à modeler ou un coton imbibé de produits toxiques ;
- ramassage des femelles en période d'envol.

– Biotechnique

Piégeage de masse des adultes (mâles notamment) en plaçant 10 à 20 pièges lumineux (Figure 6) ou sexuels/ha.

– Biologique

- Emploi de produits microbiologiques (*Bacillus thuringiensis*, *Saccharopolyspora spinosa*) contre les jeunes larves mobiles en migration vers les rameaux et brindilles ou contre les larves âgées en hiver-début du printemps moyennant leur injection dans les galeries et le masticage des trous.

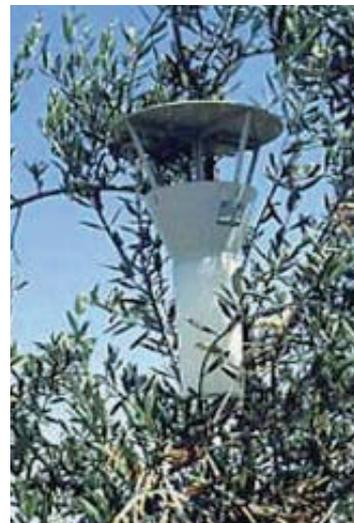


Figure 6. Piège lumineux pour le piégeage des adultes de *Z. pyrina* (d'après Guarino et al., 2002).

PYRALE DE L'OLIVIER : *EUZOPHERA PINGUIS* HAW. (LEPIDOPTERA, F. PYRALIDAE)

Noms communs

Pyrale de l'olivier (en français) ; Pyralid moth (en anglais) ; Barrenador de la rama ou Agusanado del olivo (en espagnol) ; Piralide dell'olivo ou Perforatore dei rami (en italien) ; Farachet Kelf Azzaitoun (en arabe).



Figure 1. Adulte d'*Euzophera pinguis*
(d'après Arambourg, 1986).

Répartition géographique

Bien que présente dans l'ensemble du bassin Méditerranéen et la majeure partie de l'Europe, *E. pinguis* n'est signalée sur l'olivier qu'en Espagne, en Tunisie, au Maroc et occasionnellement en Italie.

Plante hôte

Fraxinus excelsior en Méditerranée septentrionale, *Olea europaea* en Méditerranée méridionale.

Description

– *Adulte* : c'est un papillon de 20 à 25 mm d'envergure et de 12 à 14 mm de long, de couleur beige à marron foncé, avec le tiers basal brun délimité par une ligne claire en zigzag et le tiers apical plus grisâtre séparé du disque par une ligne en zigzag claire (Figure 1).

– *Œuf* : il est de forme ovale, aplati, ressemblant à un bulbe d'oignon (1 mm x 0,8 mm), dont le chorion est finement réticulé (Figure 2).

– *Larves et chrysalide* : le développement préimaginal passe par 5 stades larvaires suivis d'un stade nymphal.

Larve du 1^{er} stade : 1 à 2 mm de long, couleur rose.

Larve du dernier stade : 20 à 25 mm, couleur blanc jaunâtre.

Chrysalide : 10 à 12 mm, couleur marron foncé, enfermée dans un cocon soyeux.



Figure 2. Œufs d'*E. pinguis*.



Cycle biologique

Aussi bien en Espagne qu'en Tunisie, le cycle présente deux générations annuelles : la première printanoestivale (durée environ 4 mois) et la seconde automno-hivernale (durée 7 mois) (Figure 3).

- Hivernation sous forme de larves dans les galeries creusées sous l'écorce du tronc et des branches.
- Nymphose : mars – début avril jusqu'à fin mai.
- Evol des adultes : mars – avril jusqu'à fin juin.
- Ponte : 2^e quinzaine d'avril. Les œufs sont déposés de façon isolée ou en groupe de 5 à 6. Le développement larvaire se prolonge de la fin du mois d'avril jusqu'en août.
- Nymphose : 1^{re} quinzaine d'août.
- Evol des adultes de 1^{re} génération : août – octobre.
- Ponte et développement larvaire durant l'automne, l'hiver et le début du printemps de l'année suivante.

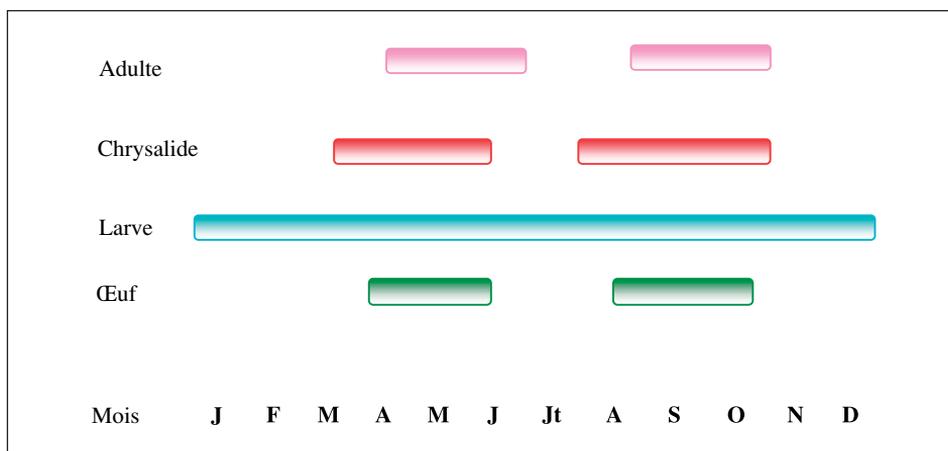


Figure 3. Cycle biologique d'*E. pinguis* (Espagne, Tunisie)

Symptômes et dégâts

E. pinguis est un ravageur primaire qui s'attaque aux arbres vigoureux. Les galeries creusées par les chenilles à la base du tronc ou aux fourches des branches charpentières (Figure 4), entravent la circulation de la sève et s'accompagnent d'un affaiblissement de la partie située au dessus de l'emplacement de l'attaque.

Sur les jeunes plantations, la présence de quelques larves peut entraîner la mort de l'arbre (Figure 5).

Moyens de surveillance

La surveillance du ravageur se base sur le suivi de l'envol des adultes, le relevé des stades préimaginaux par arbre et l'observation visuelle des symptômes de dessèchement et des traces de sciure sur le tronc et les branches.

Amas de sciure

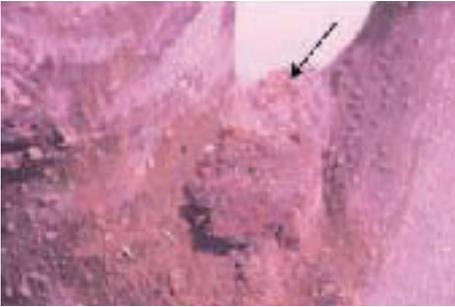


Figure 4. Galerie larvaire au niveau de la fourche d'une branche charpentière reconnaissable grâce à la présence d'un amas de sciure.



Figure 5. Affaiblissement et dessèchement des parties situées au dessus de la zone attaquée (d'après Civantos, 1999).

- Suivi de l'envol des adultes par :
 - Piégeage lumineux : très efficace pour connaître la présence ou l'absence des adultes (Figure 6), mais le niveau des captures ne renseigne pas sur le risque potentiel d'infestation.
 - Piégeage sexuel à phéromone.
 - Piégeage alimentaire appâté d'un liquide attractif composé d'un mélange de vin, de vinaigre et de sucre.
- Suivi des stades préimaginaux pour estimer leur nombre et leur degré d'évolution moyennant le grattage de l'écorce sur une dizaine d'arbres. La présence de traces de sciure aiderait à réaliser le suivi (Figure 7).

Méthodes de lutte

- Mesures culturales
 - Masticage des plaies de taille et des blessures, sources d'attraction des femelles en

Amas de sciure



Figure 7. Grattage de l'écorce pour le suivi des stades de développement.



Figure 6. Piège lumineux (d'après Civantos, 1999).

quête de ponte et lieux de pénétration facile des jeunes larves.

- Bon entretien des arbres (labour, taille, irrigation, fertilisation...) pour éviter leur affaiblissement par l'attaque de l'insecte.

- Lutte directe

Elle doit être dirigée contre les stades vulnérables et accessibles, en particulier les adultes, les œufs et les jeunes larves avant leur pénétration dans l'écorce ; ce qui nécessite un suivi rigoureux de l'envol des adultes et des stades préimaginaux (par grattage des galeries).



En cas de nécessité (foyers importants d'*E. pinguis* ou jeunes arbres infestés), le traitement peut être appliqué contre les jeunes larves et éventuellement contre les adultes au printemps (période correspondant généralement au maximum d'envol) moyennant l'emploi d'un mélange de produits organophosphorés et d'huile minérale (1,5 l d'insecticide + 2 l d'huile minérale dans 100 litres d'eau) ou de produit microbiologique (Spinosad), en particulier en cas de production biologique.

L'application des produits doit être localisée sur le tronc et les branches présentant les symptômes d'infestation.

Le traitement printanier doit être répété au cas où son efficacité s'avère insuffisante (plus de 20 % de larves vivantes après la première application) ou repris lors de la génération automnohivernale (septembre-octobre).

PYRALE DU JASMIN : MARGARONIA UNIONALIS HÜBN. (LEPIDOPTERA, F. PYRALIDAE)

Synonymie

Glyphodes unionalis HÜBN., *Palpita unionalis* HÜBN.

Noms communs

Pyrale du jasmin (en français) ; Jasmine moth (en anglais) ; Polilla del jazmin (en espagnol) ; Tignola del gelsomino (en italien) ; Farachat alyassamine (en arabe).

Répartition géographique

Espèce d'origine méditerranéenne, largement répandue dans les régions subtropicales et tropicales des cinq continents. Elle prend de plus en plus d'importance dans les pépinières et dans les plantations intensives, notamment dans les régions chaudes (par exemple l'Égypte).



Figure 1. Adulte de *Margaronia unionalis*.

Plante hôte

Espèce polyphage, mais surtout inféodée aux oléacées dont l'olivier et le jasmin.

Description

– *Adulte* : papillon de 30 mm d'envergure, de couleur blanc satiné, d'activité principalement nocturne (Figure 1).

- *Œuf* : de forme plus ou moins elliptique, aplati, à surface finement réticulée et de couleur blanchâtre, il mesure 1 x 0,6 mm (Figure 2).
- *Larves* : six stades larvaires. À l'éclosion, la jeune larve est de couleur jaunâtre et mesure 1,4 x 0,25 mm puis au fur et à mesure de son développement, elle devient de couleur verdâtre plus ou moins prononcée (Figure 3). Parvenue au terme de son développement, la larve âgée (18 à 25 mm de long) tisse un cocon de soie entre les feuilles et s'y transforme en chrysalide.

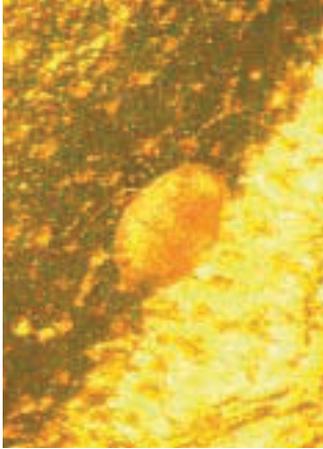


Figure 2. Œuf de *M. unionalis*.



Figure 3. Larve âgée sur feuille.



Figure 4. Parenchyme foliaire dévoré par la larve.

Cycle biologique

- Hivernation à l'état larvaire.
- Envol des adultes : les premiers adultes apparaissent en mars-avril et les derniers en octobre-novembre. Plusieurs générations peuvent se succéder avec chevauchement de différents stades.
- Ponte et développement larvaire : la ponte a lieu isolément ou par paquet sur l'une ou l'autre face des jeunes feuilles des pousses terminales. La larve qui en est issue se nourrit d'abord du parenchyme foliaire (Figure 4), puis dévore les feuilles et les jeunes pousses (Figure 5), voire les olives en cas de fortes attaques (Figure 6).

Symptômes et dégâts

Les dégâts causés par les larves aux jeunes pousses et au feuillage n'ont pas d'importance sur les plantations adultes. En revanche, ils peuvent avoir une incidence économique dans les pépinières et dans les jeunes plantations (Figure 7), en particulier lorsque les larves s'attaquent aux fruits (Figure 6).



Figure 5. Feuilles et jeunes pousses dévorées.



Moyens de surveillance

- Contrôle des vols des adultes par piégeage sexuel suite à la mise au point de la phéromone sexuelle (E)-11-hexadécénal et (E)-11-hexadécényl-acétate (Mazomenos *et al.*, 1994) : emploi de 2 à 3 pièges Funnel/ha avec changement mensuel de la capsule à phéromone et relevé hebdomadaire des captures (Figure 8).
- Échantillonnage des rameaux
L'échantillonnage reste la technique la plus fiable pour le suivi des stades préimaginaux et la prise de décision quant à l'opportunité d'une intervention : prélèvement hebdomadaire d'une dizaine de jeunes pousses sur 5 à 10 arbres de contrôle dès le début du printemps jusqu'en octobre-novembre.



Figure 6. Feuilles et fruits dévorés par *G. unionalis*.



Figure 7. Dégâts importants sur jeunes pousses.



Figure 8. Piège Funnel.

Stratégie de lutte

En général, les infestations par *M. unionalis* ne nécessitent pas d'interventions, à l'exception d'attaques sévères sur jeunes plants ou sur fruits. Dans ce cas, il est recommandé :

- D'appliquer un produit microbiologique (*Bacillus thuringiensis*, *Saccharopolyspora spinosa*) dès l'apparition des premières manifestations de l'attaque au printemps.
- De procéder à des lâchers inondatifs des parasitoïdes du genre *Trichogramma* tels que *Trichogramma bourarachae*, *Trichogramma cordubensis* (à raison de 500 000 à 1 000 000 de trichogrammes/ha) en plusieurs lâchers.

Ordre des Homoptères

COCHENILLE NOIRE : *SAISSETIA OLEAE* OLIVIER (HOMOPTERA, F. COCCIDAE)

Noms communs

Cochenille noire ou Cochenille tortue (en français) ; Black scale (en anglais) ; Cochinilla negra (en espagnol) ; Cocciniglia mezzo grano di pepe (en italien) ; Cochonilha negra (en portugais) ; Ennemcha Essaouda (en arabe).

Répartition géographique

L'espèce est répandue dans tout le bassin Méditerranéen.

Plante hôte

S. oleae est très polyphage, s'attaquant à de nombreuses espèces cultivées et ornementales parmi lesquelles le laurier *Nerium oleander*, qui semble être sa plante hôte préférentielle, *Olea europaea* et les *Citrus*.

Description

– *Adulte* : la femelle mesure de 2 à 5 mm de long sur 1 à 4 mm de large, de couleur variant du brun clair à l'âge jeune au brun foncé voire noirâtre lorsqu'elle est en phase de reproduction, où elle présente sur la face dorsale du bouclier des reliefs en forme de H caractéristique de l'espèce (Figure 1).

Malgré la présence signalée des mâles, la reproduction est parthénogénétique. La fécondité de la femelle varie de 150 à 2 500 œufs avec une moyenne d'un millier.

– *Œuf* : il est de forme ovale, de couleur initialement blanc clair puis rose orangé au fur et à mesure de son évolution (Figure 2).



Figure 1. *S. oleae* adulte sur rameau.

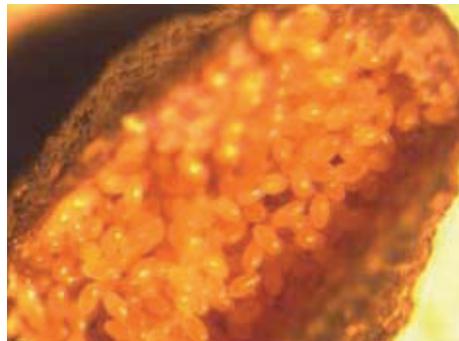


Photo 2. Œufs sous le bouclier.



– Larves : le développement larvaire comporte 3 stades (Figure 3) :

- Larve du premier stade

Dès l'éclosion de l'œuf, la larve née de couleur jaune clair, très mobile, va se fixer de préférence sur la face inférieure des feuilles (Figure 3).

- Larve du deuxième stade

Presque similaires aux larves L_1 , les larves L_2 se caractérisent par un bouclier plus convexe dorsalement avec l'apparition d'une crête longitudinale dorsalement et de deux crêtes transverses qui se forment latéralement à la fin du stade.

- Larve du troisième stade

De forme ovale avec un bouclier plus convexe portant des reliefs en forme de H plus prononcés.



Figure 3. Larves de différents stades sur la face inférieure des feuilles.

Cycle biologique

S. oleae présente généralement une génération annuelle mais peut en développer une seconde, cette fois-ci partielle si les conditions climatiques sont favorables (cas de la rive Sud de la Méditerranée). Dans ce cas, une partie des larves L_1 au début de l'été vont évoluer rapidement et donner des femelles pondueuses en automne, voire en hiver. Le reste de la population devra attendre le printemps de l'année suivante pour achever son développement.

L'hivernation de l'insecte s'effectue sous forme de larves L_2 et L_3 avec parfois une très faible proportion de femelles. Dès le printemps, les larves vont se déplacer vers les rameaux et se transformer en jeunes femelles dont la ponte ne tarde pas à avoir lieu en mai-juin. Les larves qui en sont issues vont se fixer sur la face inférieure des feuilles.



Figure 4. Développement de la fumagine sur rameau fortement infesté par *S. oleae*.

Symptômes et dégâts

Les dégâts sont de deux ordres :

- Directs, dus à la succion de la sève par les larves et les adultes entraînant l'affaiblissement de l'arbre en cas de densités de population élevées.
- Indirects, suite à la sécrétion du miellat par l'insecte et au développement d'un complexe de champignons appelés « fumagine » qui, en couvrant les feuilles d'une couche noirâtre, entrave la photosynthèse et entraîne leur chute (Figure 4).

Seuil d'intervention

De 3 à 5 larves par feuille ; 10 femelles par mètre linéaire de rameau.

Facteurs de régulation des populations

Durant tout son cycle de développement, la cochenille subit une forte mortalité naturelle pouvant atteindre plus de 90 %, due aux :

Facteurs abiotiques

Les températures élevées, supérieures à 35°C, associées à la baisse d'hygrométrie, ont un effet drastique sur les jeunes larves auquel il faut ajouter l'effet du vent et de la pluie lors de la dispersion des larves L₁.

En revanche, les températures clémentes, une humidité relative élevée (bas fond, excès d'irrigation...), l'usage abusif des engrais chimiques (azote notamment) et le manque d'aération des arbres ou une densité élevée de plantation, favorisent le développement de la cochenille.

D'autres facteurs non moins importants peuvent être favorables à l'espèce : les traitements chimiques abusifs et les régions polluées par l'industrie.

Facteurs biotiques

Le complexe parasitaire et prédateur joue un rôle très important dans le maintien des populations de cochenilles à des niveaux tolérables.

– Parasitoïdes

Plusieurs parasitoïdes autochtones ou introduits sont très actifs contre la cochenille noire :

Les hyménoptères du genre *Metaphycus* : *Metaphycus helvolus*, Encyrtide, parasitoïde endophage des larves L₂ et L₃ ; *Metaphycus lounsburyi* et *Metaphycus bartletti*, parasitoïde des L₃ et des femelles ; *Diversinervus elegans* contre les adultes ; *Coccophagus scutellaris* et *C. Lycimnya*, parasitoïdes endophages des larves L₂ voire L₃.

– Prédateurs

- *Scutellista cyanea*, Hyménoptère Pteromalidae, prédateur des œufs de *S. oleae* (Figure 5).
- Les coccinelles, notamment : *Exochomus quadripustulatus*, de couleur noire avec 2 taches irrégulières sur les élytres (3 à 5 mm de taille), *Chilocorus bipustulatus* de couleur noire rosâtre brillant avec 2 taches circulaires sur les élytres.



Figure 5. Cochenille prédatée par *S. cyanea*.



Moyens de surveillance

– Échantillonnage

- Prélèvement sur une dizaine d'arbres de 10 rameaux/arbre ou d'une centaine de feuilles par parcelle (Italie, Espagne) pour estimer la densité de cochenilles par feuille ou par mètre linéaire de rameaux et l'état des divers stades présents.
- Période et fréquence

Tous les 15 jours de mai à octobre et mensuellement de novembre à avril.

Stratégie de lutte

La lutte doit être axée essentiellement sur une bonne conduite du verger tout en limitant au maximum l'usage des insecticides.

– Mesures culturales

- Taille appropriée pour une bonne aération des arbres tout en procédant à l'élimination des branchettes et rameaux fortement infestés.
- Fertilisation équilibrée tout en évitant l'excès d'azote et d'irrigation.

– Moyens biologiques

- Préservation de la faune auxiliaire en évitant les traitements chimiques.
- Renforcement du rôle de la faune autochtone par l'introduction-acclimatation d'auxiliaires exotiques ou par des lâchers inondatifs de parasitoïdes et/ou de prédateurs dont l'élevage est facile sur leur hôte naturel multiplié sur le laurier rose ou l'olivier ou sur un hôte de substitution tels que *Coccus hesperidum* et *Chloropulvinaria urbicola*.

Les parasitoïdes suivants peuvent être préconisés :

Metaphycus helvolus (parasitoïde endophage des L₂ et L₃) en octobre-novembre, *Metaphycus bartletti*, *Metaphycus lounsbury* et *Diversinervus elegans* contre les derniers stades et les adultes (fin du printemps, début de l'été).

Comme prédateurs, ce sont les coccinelles qui paraissent très efficaces contre *S. oleae* : *Rhizobius forestieri* introduit d'Australie (Figure 6), *Chilocorus bipustulatus* et *Exochomus quadripustulatus* (prédateur polyphage).



Figure 6. Ponte de *Rhizobius forestieri* sous le bouclier de *S. oleae*.

– *Lutte chimique*

Elle n'est envisageable qu'en cas d'extrême nécessité, contre les jeunes stades, de préférence après avoir vérifié l'effet des hautes températures estivales et l'importance de l'impact de la faune auxiliaire (de septembre à octobre). Des produits de contact, seuls ou en mélange avec les huiles minérales, sont recommandés, en prenant soin de bien mouiller l'arbre.

COCHENILLE BLANCHE : *ASPIDIOTUS NERII* BOUCHÉ (*A. HEDERAE* VALLOT) (HOMOPTERA, DIASPIDIDAE)

Noms communs

Cochenille du lierre, Cochenille blanche (en français) ; Oleander scale (en anglais) ; Piojo blanco (en espagnol) ; Cocciniglia bianca degli agrumi (en italien) ; Escama da oliveira ou Cochonilha branca (en portugais) ; Ennemcha el baidha (en arabe).

Répartition géographique

Espèce très commune dans toute la région paléarctique méridionale. Dans le bassin Méditerranéen, elle s'attaque à l'olivier en zones littorales et sublittorales des pays d'Afrique du Nord, en Grèce continentale et insulaire, au Moyen-Orient, en Espagne et en Italie.

Plante hôte

Espèce très polyphage s'attaquant à diverses plantes cultivées et spontanées (plus de 400 espèces recensées).

Description

- *Adulte* : bouclier femelle circulaire ou subcirculaire, légèrement convexe, couleur bistre clair uniforme et mat, à exuvies larvaires subcentrales (Figure 1). Follicule mâle ovalaire blanc pur mat à exuvies larvaires excentrées.
- *Œuf* : forme ovale, couleur jaunâtre (Figure 2).
- *Larve* : 3 stades larvaires dont seul le premier est mobile (Figure 2).

Cycle biologique

Espèce polyvoltine (trois générations annuelles) :

- La première démarre en février (sud de la méditerranée) ou en mars (régions plus froides) avec les femelles pondéuses issues des formes hivernantes.



Figure 1. Boucliers femelles sur feuilles.



Figure 2. Œufs et jeunes larves sous le bouclier de la femelle.



- La deuxième apparaît en juin et s'achève fin août-septembre et coïncide avec la présence des fruits.
- La troisième s'observe de septembre jusqu'au mois de février de l'année suivante.

La durée de développement de chaque génération est en rapport avec les conditions thermiques ambiantes.

Dès l'éclosion, les jeunes larves mobiles se dirigent vers les parties ombragées de l'arbre pour se fixer sur les feuilles et les fruits.

Facteurs de régulation

Facteurs abiotiques

- Les températures élevées associées à la baisse de l'hygrométrie sont défavorables à la survie des jeunes larves, notamment dans les régions chaudes.
- La chute des feuilles et le ramassage des olives infestées contribuent à la réduction des populations.

Facteurs biotiques

Dans les conditions naturelles, le complexe parasitaire et prédateur peut contribuer à la limitation des populations à des niveaux tolérables en l'absence de traitements chimiques.

Parmi ce complexe, on peut citer les parasitoïdes *Aphytis chrysomphali* (espèce autochtone), *Aphytis chilensis* (ectoparasite des larves L₂ et L₃), *Aphytis melinus* et l'endoparasite *Aspidiotiphagus citrinus* (espèces introduites) et enfin le coccinellide *Chilocorus bipustulatus*, prédateur des larves et des femelles (Figure 3).



Figure 3. Larve prédatrice de *Chilocorus bipustulatus* en train de dévorer une femelle d'*A. nerii*.

Symptômes et dégâts

La présence de la cochenille sur les feuilles est en général tolérable sauf en cas de densités très élevées, pouvant entraîner l'affaiblissement des rameaux, voire leur dessèchement.

En revanche, les attaques sur les fruits par la deuxième génération, sont plus graves puisqu'elles entraînent leur déformation et une perte du poids et du rendement en huile, voire l'altération de la qualité de l'huile (Figure 4).

Les seuils établis en Grèce et en Tunisie pour des variétés à huile se situent aux alentours de 10 cochenilles par fruit. Ce seuil est nettement plus bas pour les olives de table (Figure 5).



Figure 4. Olive à huile fortement infestée par *A. nerii* (d'après Arambourg, 1986).



Figure 5. Olive de table infestée par *A. nerii*.

Moyens de surveillance

Échantillonnage : prélèvement d'une dizaine de rameaux fructifères par arbre à partir du mois de juin et dénombrement des populations de cochenilles sur feuilles et sur fruits.

Moyens de lutte

– Mesures culturales

Élimination et incinération des rameaux fortement infestés.

– Lutte biologique

- Renforcement du rôle de la faune auxiliaire en évitant la lutte chimique.
- Élevage des deux ectoparasites *Aphytis chilensis* et *Aphytis melinus* sur leur hôte naturel *A. nerii* multiplié sur pomme de terre et leur lâcher inondatif contre les 2^e et 3^e stades à raison de 10 à 30 individus/arbre.

– Lutte chimique

En dernier recours, la lutte chimique peut être envisagée contre les jeunes larves du premier stade à l'aide d'huiles minérales, de produits organophosphorés ou de pyréthrinoides.



PSYLLE DE L'OLIVIER : *EUPHYLLURA OLIVINA* COSTA (HOMOPTERA, F. APHALARIDAE)

Noms communs

Psylle de l'olivier (en français) ; Olive psyllid (en anglais) ; Algodon del olivo (en espagnol) ; Cotonello dell'olivo (en italien) ; Algodao da oliveira (en portugais) ; Psylla azzaitoun (en arabe).

Répartition géographique

L'espèce est présente dans toutes les zones oléicoles méditerranéennes et se distingue de deux autres espèces voisines inféodées à l'olivier, *Euphyllura phillyreae* et *Euphyllura straminea*, par la nervation des ailes antérieures. Elle revêt plus d'importance dans la rive Sud de la Méditerranée, notamment en Afrique du Nord et plus particulièrement en Tunisie.

Plante hôte

L'olivier cultivé et l'oléastre.

Description

- *Adulte* : forme massive et trapue (2,4 à 2,8 de long), ailes repliées en toit au repos, couleur vert pâle à l'âge jeune puis vert noisette plus foncé chez les adultes âgés (Figure 1).
- *Œuf* : forme elliptique, extrémité antérieure plus ou moins conique et arrondie, extrémité postérieure hémisphérique avec un court pédoncule fixant l'œuf dans le tissu de la plante.

Fraîchement pondus, les œufs sont de couleur blanche qui vire au jaune orangé au fur et à mesure de leur évolution (Figure 2).

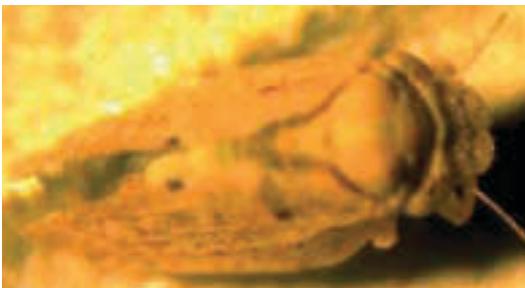


Figure 1. Adulte d'*E. olivina*.



Figure 2. Œufs d'*E. olivina* dans une fissure de la corolle du bouton floral.

Le dépôt des œufs, généralement groupé, s'effectue en lignes serrées le long de la nervure principale des folioles et des jeunes feuilles des bourgeons terminaux ou en couronne simple sur les bords internes du calice et au niveau de la surface de contact entre ce dernier et la corolle.

- *Larve* : 5 stades larvaires, de forme aplatie dorsoventralement, de couleur jaune ocre à jaune pâle, distinguables par la taille, les articles aux antennes et le degré de développement des fourreaux alaires et des aires cirpares (Figure 3).

Au cours de leur évolution, les larves secrètent du miellat, de la cire blanche et un amas cotonneux de plus en plus abondants avec l'âge, donnant au végétal infesté un aspect caractéristique (Figure 4).



Figure 3. Colonies de différents stades larvaires du psylle sur grappes florales (très forte infestation).



Figure 4. Aspect cotonneux caractéristique sur jeunes grappes et pousses d'un rameau infesté par *E. olivina*.

Cycle biologique

L'activité du psylle est étroitement liée à l'état de croissance du végétal et aux conditions climatiques (températures hivernales et estivales). Il s'ensuit que le nombre de générations par an est variable selon les pays : 2 à 6 en Italie, 4 en France, 2 à 3 au Maroc, 2 à 5 en Tunisie.

- Hivernation : l'insecte passe l'hiver sous forme d'œufs, de larves et d'adultes généralement sur les rejets, les gourmands ou les jeunes pousses, en particulier dans les régions chaudes à hiver doux où le psylle peut développer une génération hivernale (cas de la Tunisie).
- Printemps : c'est la principale saison d'activité du psylle. Généralement, deux générations sont développées voire une troisième, partielle : la première démarre vers la fin de l'hiver ou au début du printemps sur les jeunes pousses, les bourgeons et les jeunes grappes florales. La seconde se développe principalement sur les grappes florales (stades D, E) (Figure 5) : les œufs sont déposés entre calice et corolle (Figure 6) et, à moindre degré, sur les jeunes pousses. Enfin une troisième génération

peut avoir lieu sur les jeunes fruits noués si les conditions demeurent favorables mais elle est souvent bloquée par la hausse des températures de la fin du printemps-début de l'été.



Figure 5. Développement du psylle sur grappes florales.



Figure 6. Œufs d'*E. olivina* pondus à l'intérieur du calice du bouton floral.



Figure 7. Développement estival du psylle sur rejets.

- *Été* : les adultes du psylle entrent en repos estival avec la hausse des températures mais une faible proportion des femelles peut rester en activité de ponte, cette fois-ci sur les rejets (Figure 7).
- *Automne* : durant cette saison, le psylle se reproduit généralement sur les rejets et gourmands en développant une à deux générations. Mais en cas de conditions particulièrement favorables (pluies abondantes en début d'automne après une sécheresse), l'insecte peut se développer sur la frondaison (Figure 8).



Figure 8. Développement du psylle sur frondaison en automne.

Symptômes et dégâts

Le développement du psylle se traduit par des symptômes spectaculaires (amas cotonneux, miellat, cire) caractéristiques (Figure 9). Les dégâts qui en résultent en cas de forte densité de population sont de deux ordres :

- *Directs* : avortement des grappes florales ou leur flétrissement et leur chute se traduisant par la réduction du taux de nouaison (Figure 9).
- *Indirects* : affaiblissement du végétal par l'installation de la fumagine suite à la sécrétion du miellat par les larves.

Seuil de tolérance économique

2,5 à 3 larves par 100 grappes florales correspondant à un taux d'infestation des grappes variant de 50 à 60 %.



Figure 9. Chute importante de coton et de cire sous la frondaison avec perte totale de la production suite à une forte attaque de psylle.

Facteurs de régulation

– Le climat

- *Effet indirect* : les températures clémentes en hiver, au début du printemps et en automne, associées à l'abondance des pluies, surtout en automne, favorisent la croissance végétative et par conséquent l'activité de l'insecte.
- *Effet direct* : la hausse des températures en fin de printemps et en été bloque l'activité du psylle et induit l'entrée en repos estival des femelles. Les chaleurs excessives (sirocco par exemple) ont un effet drastique sur les œufs et les jeunes larves.

– Les ennemis naturels

Bien qu'étant assez diversifié, le cortège parasitaire et prédateur identifié en Tunisie ne semble pas jouer un rôle significatif dans la régulation des populations.

- Prédateurs : quatre chrysopides, cinq espèces de syrphes, un anthocoride (*Anthocoris nemoralis*), deux acariens et deux coléoptères *Malachis rufus* et *Exochomus quadripustulatus* (Figures 10 et 11).
- Parasitoïdes : *Psyllaephagus euphyllurae* et son hyperparasitoïde *Alloxysta eleaphila*.

Moyens de surveillance

L'échantillonnage des rameaux

Prélèvement hebdomadaire d'une dizaine de rameaux par arbre sur 10 arbres de contrôle durant la période d'activité du psylle (printemps surtout) : relevé des stades préimaginaux et estimation de la densité du psylle par grappe florale et/ou par unité de longueur de rameaux.



Figure 11. Œufs de syrphe sur grappe florale.



Figure 10. Larve de chrysope en train de dévorer un adulte de psylle.

Le taux d'infestation des grappes florales peut renseigner sur la densité d'individus par inflorescence (corrélation établie entre densité de colonies et taux d'infestation des grappes).

Moyens de lutte

Hormis les rares cas d'explosion démographique sous certaines conditions favorables (cas de la Tunisie certaines années), les niveaux de population du psylle sont généralement tolérables et ne nécessitent pas d'interventions dans la majorité des pays oléicoles.

Cependant, en conditions particulièrement favorables, où le seuil risquerait d'être atteint, certaines mesures préventives et curatives peuvent être envisagées:

– Moyens cultureux

- Application d'une taille appropriée visant l'aération de l'arbre et notamment des bouquets floraux ;
- Élimination des rejets et des gourmands en été et en automne-hiver.

– Lutte chimique

En cas de nécessité, la lutte chimique peut être envisagée contre les stades larvaires jeunes de la première ou de la seconde génération printanière, à l'aide de produits organophosphorés ou de la deltaméthrine. Cette intervention coïncide généralement avec celle dirigée contre la première génération de *P. oleae*.



Ordre des Coléoptères

HYLÉSINE *HYLESINUS OLEIPERDA* FABR. (COLEOPTERA, F. SCOLYTIDAE)

Noms communs

Hylésine de l'olivier (en français) ; Olive Borer (en anglais) ; Barrenillo negro del olivo (en espagnol) ; Punteruolo nero dell'olivo (en italien) ; caruncho da oliveira (en portugais) ; Hilzinus azzaitoun (en arabe).

Répartition géographique

Toute la zone méditerranéenne jusqu'au Proche et Moyen-Orient, Belgique, Angleterre, Danemark, Chili et probablement Argentine.

En Méditerranée, l'espèce revêt une importance, notamment en Afrique du Nord : Tunisie, Maroc et Algérie.

Description

- *Adulte* : forme trapue (2,5 à 3 mm de long chez le mâle et 3,5 à 3,7 chez la femelle), couleur noirâtre, facilement distinguable du neiroun par la taille légèrement plus grande et surtout par les antennes qui sont terminées en massue (Figure 1).
- *Œuf* : forme sphéroïde, couleur blanche, déposé dans une encoche de la galerie maternelle (Figure 2).
- *Larve* : cinq stades larvaires de forme arquée, apodes et de couleur blanchâtre. Les galeries larvaires partent perpendiculairement à la galerie maternelle, mais peuvent se croiser et s'enchevêtrer contrairement à celles du neiroun qui restent parallèles entre elles (Figure 3).
- *Nymphe* : un stade pronymphe (forme globuleuse, couleur claire) suivi du stade nymphe avec une forme plus allongée, de couleur initialement blanchâtre puis marron clair.



Figure 1. Adulte d' *H. oleiperda*.

Cycle biologique

Il présente une à deux générations selon qu'il s'agit du Maroc ou de la Tunisie.

- Hivernation sous forme de larves âgées (L_4 , L_5).
- Envol des adultes :

1^{re} génération

Variable selon les régions et l'année : de fin mars – début avril à début mai. Maximum d'envol : 2^e quinzaine de mai (en Tunisie).



Figure 2. Œuf d'*H. oleiperda*.



Figure 3. Galeries larvaires.

2^e génération (partielle)

Les pontes précoces de la 1^{re} génération évoluent rapidement et les larves qui en sont issues parviennent à se nymphoser et à donner des adultes en septembre dont les effectifs sont faibles mais arrivent à se reproduire pour donner naissance à une population larvaire qui vient s'ajouter à celle de la première génération. Après l'hivernation, les deux populations larvaires vont se nymphoser et donner les adultes de la première génération.

Dans le cas d'un cycle univoltin, il se limite à la génération printanière.

– Ponte et développement préimaginal :

Après l'émergence, les adultes passent par une phase nutritionnelle de trois semaines, puis entament leur activité de ponte en forant un trou de pénétration dans l'écorce du tronc ou des branches charpentières (de 2 à 10 cm de diamètre) qui se prolonge de part et d'autre par un vestibule ou galerie maternelle en forme d'accolade.

Les œufs, au nombre de 5 à 6 par galerie maternelle, sont déposés dans des encoches aménagées à cet effet. Les larves qui en sont issues vont creuser des galeries qui ont tendance à s'entrecroiser, contrairement à celles observées chez le neiroun qui demeurent parallèles.

L'écorce située au dessus des galeries maternelles et larvaires ne tarde pas à prendre une teinte rougeâtre délimitant une plaque (Figure 4) qui finit par se fendre et se craqueler après l'achèvement du développement préimaginal et l'émergence des adultes (Figures 5 et 7).

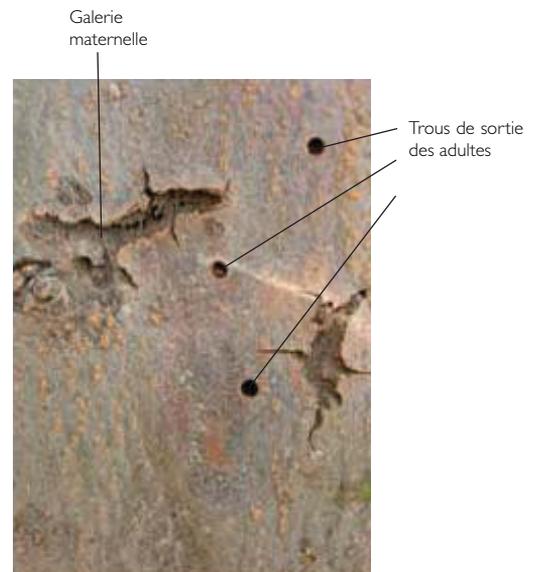


Figure 4. Plaque de ponte et de développement larvaire avec trous d'émergence des adultes.



Figure 5. Craquelure de l'écorce après la sortie des adultes.

Symptômes et dégâts

S'agissant d'un ravageur primaire s'attaquant aux arbres jeunes et vigoureux, l'installation de l'insecte et le creusage des galeries maternelles et larvaires sur le tronc et les branches, entravent la circulation de la sève et affaiblissent la partie située à l'aval des plaques, qui finit par perdre ses feuilles et se dessécher (Figure 6).

Seuil de tolérance économique

Les travaux entrepris en Tunisie ont permis d'établir le seuil de tolérance qui se situe aux alentours de 5 plaques par arbre âgé d'une dizaine d'années.

Facteurs de régulation

– Plante hôte

- L'âge des arbres et la variété influencent le comportement de l'hylésine. Sur arbres jeunes (moins de 6 ans), l'insecte se localise principalement sur le tronc, mais tend à gagner les charpentières sur les oliviers plus âgés, de préférence sur le bois dont la section varie de 5 à 8 cm.



Figure 6. Arbre fortement attaqué par *H. oleiperda*.

- Effet variétal : La variété tunisienne *Chetoui* semble être la plus sensible à l'hylésine, suivie par la *Manzanielle*, la *Meski* et la *Picholine du Languedoc*, alors que la variété *Chemlali* apparaît comme la plus résistante.

– Climat et mode de conduite

Les températures estivales très élevées associées à un stress hydrique s'accompagnent d'une mortalité naturelle pouvant atteindre 90 %. Celle-ci n'est que de 50 % en conditions irriguées.

– Ennemis naturels

La faune auxiliaire est composée de 4 parasitoïdes (*Dendrosoter protuberans*, *Coeloides filiformis*, *Eurytoma morio* et *Cheiropachus quadrum*) dont le rôle est loin d'être négligeable, atteignant en moyenne près de 70 % de parasitisme et affectant plus la génération automno-hivernale que la génération printanière.



Figure 7. Tronc fortement attaqué par *H. oleiperda* (noter la présence de craquelures).

Moyens de surveillance

La surveillance consiste essentiellement à suivre l'envol des adultes de la génération printanière à partir du mois de mars en ayant recours à l'emploi des manchons en mousseline (Figure 8), ou au marquage des plaques de ponte et au relevé des trous de sortie des adultes (Figure 9). Le grattage de l'écorce peut renseigner sur l'état d'évolution des stades préimaginaux et l'approche de l'envol des adultes (Figure 10).



Figure 8. Manchons en mousseline pour le suivi de l'envol.



Figure 9. Marquage des plaques pour le suivi de l'émergence des adultes et des parasitoïdes.



Figure 10. Grattage de l'écorce pour le suivi des stades préimaginaux.

Moyens de lutte

– Mesures culturales

- Choix de variétés résistantes à l'insecte.
- Bon entretien (travail du sol, taille) et irrigation adéquate (en intensif) pour induire une bonne croissance du végétal qui limite le développement de l'hylésine.
- Le comportement sédentaire de l'insecte et le caractère agrégatif de l'infestation implique un suivi rigoureux de sa présence dès l'installation du verger et la nécessité d'éradiquer systématiquement les foyers, même par voie mécanique (grattage de l'écorce).

– Lutte chimique

Étant donné le rôle important des ennemis naturels, la lutte chimique serait de dernier recours au cas où l'insecte est bien installé dans le verger et le seuil dépassé. Dans ces conditions, un seul traitement peut être envisagé contre les adultes avant la ponte, 2 à 3 semaines après le début d'envol, à l'aide de Deltaméthrine ou d'un mélange Deltaméthrine-Diméthoate. L'application doit être localisée sur le tronc et les branches infestés.



NEIROUN, *PHLOEOTRIBUS SCARABEOÏDES* BERN. (COLEOPTERA, SCOLYTIDAE)

Noms communs

Neiroun (en français) ; Olive beetle (en anglais) ; Barrenillo del olivo (en espagnol) ; Punteruolo dell'olivo (en italien) ; Arejo da oliveira (en portugais) ; Sous hatab azzaitoun (en arabe).

Répartition géographique

Tout le bassin Méditerranéen, Proche et Moyen-Orient jusqu'en Iran.

L'espèce revêt une grande importance économique, notamment dans les régions chaudes de la rive Sud de la Méditerranée (Tunisie, Maroc en particulier).



Figure 1. Adulte de *P. scarabaeoides*.

Description

- *Adulte* : taille plus petite que celle de l'hylésine (2 à 2,4 mm de long), forme arrondie et trapue, couleur noirâtre, antennes trilamellées (Figure 1).
- *Œuf* : forme ovoïde, couleur blanc luisant et jaunâtre à l'état frais.
- *Larve* : cinq stades larvaires : larves apodes, de forme arquée et de couleur blanchâtre (Figure 2).
- *Nymphe* : comme pour l'hylésine, le stade nymphe est précédé par celui de la prénymphe qui est de forme globuleuse et ramassée.

Cycle biologique

À l'opposé de l'hylésine, le neiroun ne peut se développer que sur du bois coupé ou sur des arbres affaiblis en voie de dépérissement et de ce fait, il est considéré comme un ravageur secondaire.

Il peut développer plusieurs générations annuelles dont le nombre varie selon les conditions agroécologiques.



Figure 2. Larve âgée de *P. scarabaeoides*.

Aussi bien sur bois coupé que sur arbres affaiblis, le cycle vital passe par trois phases : la phase d'hivernation sur les arbres, la phase de multiplication sur bois coupé ou sur arbres dépérissants, et enfin la phase de nutrition où l'insecte quitte le site de reproduction et se dirige vers les arbres avoisinants en creusant des morsures nutritionnelles à la base des grappes fructifères ou sur la partie subterminale du rameau (Figure 3).

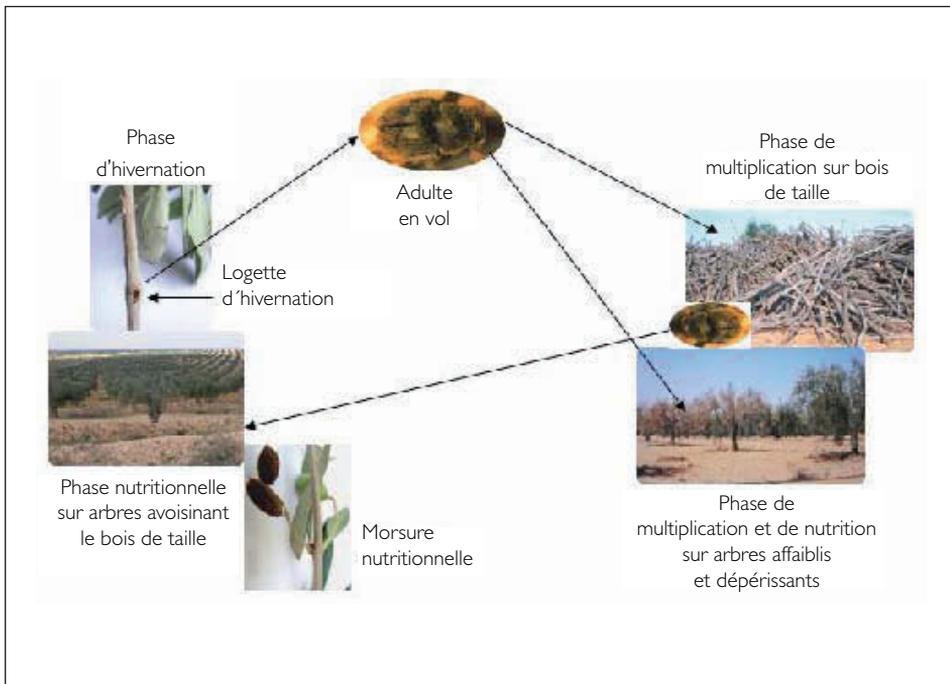


Figure 3 : Schéma des différentes phases de développement du neiroun

– Sur bois coupé

C'est la situation la plus habituelle pour la multiplication de l'espèce. Après la phase d'hivernation sur les arbres situés à proximité du bois de taille (Figure 4), les adultes se dirigent à la fin de l'hiver vers le bois de taille qui vient d'être coupé (Figure 5) pour s'y reproduire (Figure 6).



Figure 4. Logette d'hivernation surmontée de sciure.

La femelle, après accouplement, va creuser une galerie maternelle le long de laquelle les œufs sont déposés dans des encoches aménagées à cet effet. Les larves qui en sont issues creusent des galeries perpendiculaires à la galerie maternelle et parallèles entre elles (Figure 7).

La durée d'attractivité du bois est de l'ordre de 4 à 5 semaines et dépend des températures ambiantes.

Le nombre de générations susceptibles d'être développées varie selon la disponibilité du bois de taille réceptif (périodes de taille) et des conditions climatiques (2 à 4 générations).

La durée du cycle varie de 45 jours à des températures élevées de 25°C (avril-mai) à plusieurs mois (hiver-début du printemps).



Dès leur émergence du bois de taille, les adultes se dirigent vers les arbres avoisinants pour s'alimenter en y creusant des logettes nutritionnelles à la base des grappes florifères ou fructifères à l'aiselle d'une feuille ou sur la partie subterminale du rameau (Figures 8 et 10). Ces logettes entraînent le flétrissement des grappes et leur chute à plus ou moins brève échéance (Figure 9).



Figure 5. Bois de taille à proximité du verger.

– Sur oliviers affaiblis

En conditions de déficit hydrique (sécheresse accentuée) comme c'est le cas des zones semi arides et arides d'Afrique du Nord (Tunisie, Maroc), les oliviers dépérissants deviennent attractifs pour le neiroun et jouent dans ce cas le rôle de bois de taille (Figure 9). Alors que les ar-

bres affaiblis ou encore verts serviront pour la phase nutritionnelle.

Dans ces conditions, le scolyte devient un ravageur primaire puisqu'il peut entraîner la mort des arbres.

En effet, plusieurs générations peuvent se succéder (3 à 4 en Tunisie) à partir du début de l'année et dont le nombre dépend de la progression du dépérissement au sein de la zone oléicole affectée.



Figure 6. Trous de pénétration des adultes dans le bois de taille (noter la présence de sciure).



Figure 7. Système de galeries maternelle et larvaires.

Symptômes et dégâts



Figure 8. Logette nutritionnelle surmontée de sciure à l'aiselle d'une feuille.

Les dégâts peuvent être de 2 ordres :

– Sur arbres affaiblis, les dégâts du scolyte sont beaucoup plus graves puisqu'ils peuvent se traduire par la mort du sujet attaqué suite au développement des galeries larvaires et à l'émergence des adultes, surtout lorsqu'il s'agit d'arbres jeunes subissant le développement successif de plusieurs générations.

– En cas de stockage du bois à proximité des plantations, ce sont les adultes sortis du bois de taille et se dirigeant vers les arbres avoisinants qui sont responsables des dégâts directs occasionnés



Figure 9. Arbres dépérissants dans des conditions de sécheresse accentuée.

aux grappes florifères et fructifères durant la phase nutritionnelle (Figure 9).

Les pertes peuvent atteindre une dizaine de kg/arbre en Tunisie.

Les dégâts indirects sont également causés par les logettes de nutrition au niveau des jeunes rameaux à travers l'arrêt de circulation de la sève, causant leur dessèchement et leur chute, surtout au moment de la cueillette.

Facteurs de régulation

- Climat

C'est le facteur le plus important qui est responsable du problème posé par le scolyte, aggravé par le stockage du bois à proximité des vergers et un entretien insuffisant.

La mortalité naturelle est en rapport avec la hausse des températures et la section du bois où nidifie le scolyte. Elle est d'autant plus importante que la température est élevée et le diamètre du bois est faible.

- Ennemis naturels

Malgré la richesse et la diversité de la faune auxiliaire, le rôle de cette dernière est relativement limité dans la réduction des populations étant donné le grand pouvoir de multiplication de l'espèce.



Figure 10. Dégâts sur grappes fructifères (noter le flétrissement de la grappe).

Moyens de surveillance

En conditions normales :

- Estimation de la densité de logettes d'hivernation par mètre linéaire de rameau en hiver ;
- Installation de morceaux de bois de taille pour suivre les trous de pénétration des adultes et estimer leur importance.

En conditions de sécheresse accentuée :

- Suivi de la présence d'arbres en voie de dépérissement ;
- Surveillance du début d'apparition des trous de pénétration sur les arbres dépérissants.

Stratégie de lutte

En conditions normales :

- Assurer une bonne vigueur des arbres par un bon entretien du verger (labour, taille, fertilisation...);



- Laisser des fagots piège au sein des arbres durant un mois puis procéder à leur éloignement ou leur incinération ;
- Assurer l'éloignement du stock de bois de taille et dans l'impossibilité, procéder à son traitement en début de pénétration ou à la sortie des adultes à l'aide d'insecticides rémanents (Deltaméthrine, Oléoparathion...).

En conditions de sécheresse :

- Procéder à une taille des parties desséchées en hiver, installer immédiatement les fagots piège et les incinérer après un mois ; renouveler l'opération en cas de nécessité (Figure 11) ;
- Procéder parallèlement à une irrigation de sauvegarde des arbres affaiblis et renouveler l'opération dès que nécessaire (Figure 12) ;
- Appliquer en dernier recours un traitement chimique à l'aide du Décis-diméthoate, de préférence dès l'apparition des trous de pénétration des adultes (présence de sciure) ou, le cas échéant, à leur émergence.



Figure 11. Installation de fagots piège dans le verger.



Figure 12. Irrigation de sauvegarde des arbres dépérissants.

OTIORRHYNCHÉ OTIORRHYNCHUS CRIBRICOLLIS GYLL. (COLEOPTERA, CURCULIONIDAE)

Noms communs

Otiorrhynche de l'olivier ou Charançon (en français) ; Weevil (en anglais) ; Escarabajuelo picudo (en espagnol) ; Oziorrinco dell'olivo (en italien) ; Gorgulho (en portugais) ; Soussat aourak azzaitoun (en arabe).

Répartition géographique

Tout le bassin Méditerranéen. Espèce introduite en Californie, en Australie et en Nouvelle-Zélande.

Connu comme étant très secondaire, ce ravageur tend à prendre de l'importance dans les plantations intensives irriguées.

Plante hôte

Bien qu'étant inféodée à l'olivier, l'espèce est polyphage et s'attaque à diverses espèces végétales : arbres fruitiers (pommier, pêcher, amandier, agrumes) ; plantes ornementales (jasmin, ligustrum, lila...), cultures diverses (cotonnier, artichaut, luzerne...).

Figure 1. Adulte d'*O. cribricollis*.Figure 2. Larve terricole d'*O. cribricollis* (d'après Civantos, 1999).

Description

- *Adulte* : 6 à 9 mm de long, oblong, couleur brun foncé brillant, rostre court et épais, espèce parthénogénétique thélytoque à activité nocturne (Figure 1).
- *Œuf* : forme ovale, chorion lisse, couleur crème à l'état frais puis plus foncé et noirâtre en cours d'incubation.
- *Larve* :
 - Jeune larve : 1,5 mm de long, couleur très claire, forme arquée.
 - Larve âgée : 8 à 9 mm de long, couleur gris jaunâtre clair; à tête ferrugineuse munie de mandibules brun rougeâtre généralement repliée en arc (Figure 2).
- *Nymphe* : 6 à 7 mm de long, enfermée dans un cocon terreux.

Figure 3. Échancrures sur feuilles caractéristiques de l'attaque par *O. cribricollis*

Cycle biologique

- Une seule génération annuelle.
- Hivernation à l'état larvaire dans le sol.
- L'apparition des adultes a lieu en fin de printemps (mai) et se poursuit jusqu'en juin. Ils ont une intense activité nocturne en remontant le tronc des arbres et en se nourrissant des feuilles, provoquant des échancrures caractéristiques (Figure 3), puis ils se laissent tomber sur le sol pour passer le jour cachés dans les abris les plus divers (mottes, mauvaises herbes à la base du tronc...) à une profondeur de 20 à 30 cm.
- Activité de ponte :

Elle démarre en septembre et se poursuit jusqu'à l'approche de l'hiver.



Symptômes et dégâts

Les seuls dégâts sont ceux occasionnés par les adultes à la frondaison et notamment aux jeunes pousses des plantations jeunes. Sur arbres adultes, les dégâts passent généralement inaperçus.

Facteurs de régulation

Les conditions climatiques (humidité relative élevée, températures clémentes) associées au



Figure 4. Plantation intensive mal entretenue (noter le développement des mauvaises herbes sous la frondaison.)

manque d'entretien sous les arbres, en particulier dans les plantations intensives et irriguées, favorisent la multiplication de l'otiorrhynche (Figure 4)



Figure 5. Installation de bandes pièges autour du tronc.

Stratégie de lutte

En général, aucune lutte n'est envisagée sauf en cas de fortes attaques où l'on peut recommander :

- Le travail du sol ou le binage à la base du tronc des arbres afin de remuer le sol et de détruire les mauvaises herbes et une partie des larves et nymphes s'y trouvant.
- L'installation de bandes pièges (engluées ou non) autour du tronc des arbres pour capturer les adultes et les empêcher d'atteindre le feuillage (Figure 5).

Ordre des Acarina

ACARIENS ÉRIOPHYIDES (ACARINA, F. ERIOPHYIDAE)

L'olivieraie méditerranéenne héberge plusieurs espèces d'acariens phytophages appartenant à différentes familles dont la plus importante sur le plan économique est la famille des *Eriophyidae*.

Pendant longtemps, ces phytophages étaient considérés comme des ravageurs secondaires mais depuis une vingtaine d'années, la manifestation de dégâts importants dans certaines zones oléicoles, a attiré l'attention des scientifiques qui ont pu recenser 13 espèces inféodées à l'olivier dont 9 espèces d'ériophyides connues jusqu'à présent : *Aceria oleae* (Nalepa, 1900), *Oxycenus maxwelli* (Keifer, 1939), *Aculus olearius* (Castagnoli, 1977), *Aceria olivi* (Zaher et Abou-Awad, 1980), *Aculops Benakii* (Hatzinikolis, 1968), *Tegonotus oleae* (Natcheff, 1966), *Oxycenus niloticus* (Zaher et Abou-Awad, 1980), *Tegolophus Hassani* (Keifer, 1959) et *Ditrymacus athiasellus* (Keifer, 1960).

Répartition géographique des ériophyides



Figure 1. *Aceria oleae* sur la face inférieure de la feuille (d'après Chatti, 2006).

Aculus olearius

Elle a été signalée uniquement en Toscane et dans les Pouilles (Italie).

Aculops benakii

Signalée seulement en Grèce.

Tegolophus hassani

Espèce signalée en Égypte, en Grèce, à Chypre, en Italie et au Portugal.

Aceria oleae (Figure 1)

Espèce très répandue dans la plupart des pays oléicoles : Jordanie, Palestine, Israël, Chypre, Grèce, Espagne, Italie, Afrique du Nord (Tunisie, Libye...), Afrique du Sud...

Oxycenus maxwelli (Figure 2)

Espèce également très répandue : Afrique du Nord (Algérie, Tunisie...), Égypte, Italie, Grèce, Portugal, Californie.

Oxycenus niloticus et *Aceria olivi*

Les deux espèces ont été signalées uniquement en Égypte (Fayoum) où elles vivent en association.

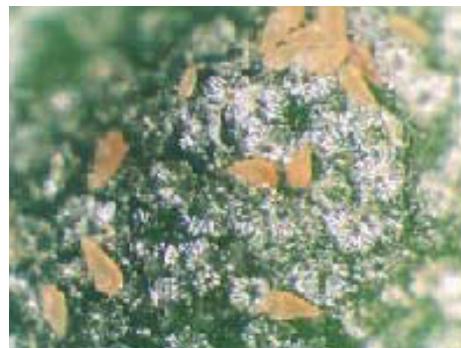


Figure 2. *Oxycenus maxwelli* sur la face supérieure de la feuille (d'après Chatti, 2006).



Dityrmacus athiasellus

Signalée en Italie, en Grèce, en Algérie et au Portugal.

Tegonotus oleae

Espèce trouvée sur les feuilles en Bulgarie et sur les inflorescences en Grèce.

Quelques caractéristiques morphologiques et biologiques des ériophyides

Taille microscopique (100 à 350 μ), corps annelé et vermiforme formé de deux parties et doté de deux paires de pattes.

La fécondation est externe : les mâles déposent les spermatozoaires sur le support végétal. Les femelles sont ovipares.

Le développement de l'œuf à l'adulte passe par deux stades nymphaux (protonympe et deutonympe).

Les ériophyides sont tous phytophages, avec une haute spécificité. Certaines espèces peuvent transmettre des viroses.

On dispose de quelques connaissances sur la biologie et les dégâts de quelques espèces seulement, en particulier *Aceria oleae*, *Oxyacarus maxwelli*, *Aculops benakii*, *Aculus olearius*, *Tegolophus hassani* et *Dityrmacus athiasellus*.

Généralement, dans la plupart des pays, on trouve rarement une espèce toute seule mais plutôt deux ou trois en association sur le même feuillage. Il s'ensuit qu'il est difficile d'estimer la part des dégâts attribuables à chaque espèce.

Cependant, trois à quatre espèces paraissent les plus largement répandues : *Aceria oleae*, *Oxyacarus maxwelli* et à moindre degré *Tegolophus hassani* et *Dityrmacus athiasellus*. Avec quelques approximations, on peut décrire un comportement commun pour la plupart des ériophyides selon lequel ils évoluent en étroite relation avec la phénologie du végétal en attaquant successivement les organes les plus tendres, d'abord les bourgeons et les folioles puis les grappes florales et enfin les jeunes fruits.

Pour la majorité des espèces, l'hivernation a lieu sous forme d'adultes femelles qui restent cachées au niveau des bourgeons et sous les trichômes de la face inférieure des feuilles.

Dès le réveil végétatif de l'olivier (début du printemps), variable selon les régions, les ériophyides ne tardent pas à délaisser les feuilles un peu âgées et à envahir les pousses et les jeunes folioles nouvellement formées au fur et à mesure de l'avancement de la saison printanière.

Dès l'avènement de la floraison, les ériophyides se localisent d'abord sur les grappes florales, puis sur les jeunes fruits noués, sans quitter totalement les feuilles.

Après la nouaison, certains individus se maintiennent sur les fruits alors que d'autres poursuivent leur développement sur les structures tendres (jeunes pousses, rejets, gourmands...).

Ainsi, plusieurs générations (jusqu'à 4) peuvent se succéder du printemps jusqu'à l'approche de l'hiver.

Symptômes et dégâts

Les ériophyides peuvent engendrer d'importants dégâts pouvant affecter aussi bien la croissance du végétal que la quantité et la qualité des olives et de l'huile. Ils sont encore plus graves lorsqu'il s'agit de jeunes plants en pépinière, du fait qu'ils compromettent leur croissance et contribuent en même temps à la propagation des ériophyides dans les nouvelles plantations. Ces dégâts revêtent plusieurs formes :

- Malformations et altérations des tissus à la suite des piqûres des acariens au niveau des feuilles, des bourgeons et des rameaux, qui se concrétisent par des symptômes caractéristiques :
- apparition d'enfoncements au niveau de la face inférieure des feuilles, de couleur vert clair ou jaune verdâtre, et des saillies correspondantes sur la face supérieure pour *Aceria oleae* et inversement chez *Oxycenus maxwelli* (Figure 3) ;



Figure 3. Feuilles infestées par *Aceria oleae* (noter les enfoncements sur la face inférieure des feuilles et les saillies sur la face supérieure).



Figure 4. Dégâts des ériophyides sur bourgeons et jeunes pousses.

- déformation des feuilles dont les marges deviennent irrégulières (Figure 3) ;
- avortement des bourgeons et mauvaise croissance des rameaux qui présentent des pousses grêles à entre-nœuds courts (Figure 4).

- Dessèchement des feuilles, bourgeons et rameaux en cas de fortes infestations (Figure 5).
- Brunissement et chute des grappes florales.
- Déformation des jeunes fruits noués, voire du noyau, pouvant donner naissance à des fruits malformés (Figure 6), ce qui affecte la qualité marchande dans le cas des olives de table.
- Dépréciation de la qualité des olives qui deviennent ridées à la suite des attaques d'automne sur pédoncule (Figure 7).
- Enfin, les attaques d'ériophyides se traduisent par une diminution du rendement en huile (pouvant atteindre 46 %) et une dépréciation de la qualité de l'huile : baisse des teneurs en chlorophylles et en polyphénols, du temps de résistance de l'huile à l'oxydation et augmentation de l'acidité.



Figure 5. Dessèchement des rameaux sur arbre fortement infesté par *Aceria oleae* et *Oxycenus maxwelli*.



Moyens de surveillance

- Apparition des premiers symptômes sur feuilles, visibles à l'œil nu.
- Échantillonnage des jeunes rameaux dès le début du printemps pour suivre l'activité de ponte des femelles et estimer la densité d'ériophyides par unité de surface sur feuilles.

Stratégie de lutte

Peu d'attention a été accordée aux méthodes de lutte du fait de la place considérée comme secondaire qu'occupe l'acarofaune dans la biocénose de l'olivier.

Cependant, on assiste depuis quelques années à une recrudescence des acariens ériophyides suite aux efforts d'intensification des plantations et à l'insuffisance du contrôle sanitaire des plants de pépinière.

Compte tenu de l'importance des dégâts en cas de populations élevées, la lutte peut s'avérer nécessaire :

- Mesures préventives

Emploi de plants sains lors de l'installation d'une nouvelle plantation.

- Moyens curatifs

Ils se limitent à l'heure actuelle à l'application des traitements chimiques, aussi bien en pépinière qu'en plein champ.

- Époque d'intervention : milieu du printemps en général.



Figure 7. Olives ridées à la suite à l'attaque d'ériophyides sur pédoncule (d'après Chatti, 2006).



Figure 6. Déformations des fruits (d'après Chatti, 2006).

- Produits : le soufre sous diverses formulations et notamment le sulfure de calcium (autorisé en culture biologique), divers produits organiques de synthèse (Carbofenthion, Vamidothion, Carbaryl, Keltane, Diméthoate...), acaricides spécifiques et sélectifs (Acrinathrine, sulforganiques, stannorganiques...) dont l'action est limitée sur la faune auxiliaire, produits fongicides-ériophycides (en cas de traitement mixte dirigé contre l'œcil de paon et les ériophyides).

En cas d'interventions répétées, il faut veiller à l'emploi alterné des produits pour éviter le phénomène de résistance.

7.4.3.2. Maladies

MALADIE DE L'ŒIL DE PAON : *SPILOCAEA OLEAGINA* (= *CYCLOCONIUM OLEAGINUM* CAST.)

Noms communs

Œil de paon, Tavelure de l'olivier (en français) ; Olive leaf spot, Bird's-eye spot ; Peacock spot (en anglais) ; Repilo (en espagnol) ; Occhio di pavone (en italien) ; Olho de pavao (en portugais) ; Ain Taous (en arabe).

L'agent pathogène

L'agent causal est le champignon *Spilocaea oleagina* qui se développe et forme des colonies sous la cuticule supérieure des feuilles. Ces colonies évoluent à la surface foliaire par des hyphes très fines d'où sortent des conidies généralement bicellulaires (Figure 1).

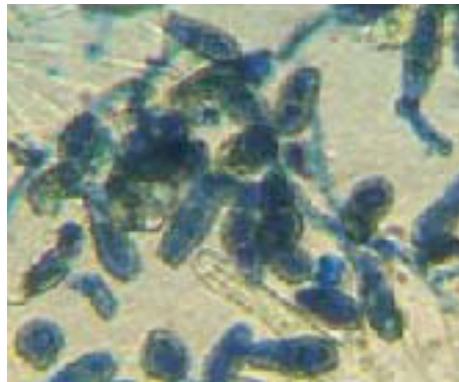


Figure 1. Conidies de *Spilocaea oleagina*.

Symptômes et dégâts

La maladie se manifeste généralement par des lésions sur le limbe foliaire, le pétiole, le pédoncule du fruit et sur le fruit. Ces symptômes se présentent sur la face supérieure des feuilles sous forme de petites taches arrondies avec un centre gris ou brunâtre, de 6 à 10 mm de diamètre, rappelant l'œil de paon (Figure 2).

Les dégâts sont surtout apparents et caractéristiques sur les feuilles, entraînant leur chute presque totale. Les rameaux deviennent presque entièrement dénudés, provoquant un affaiblissement prononcé des arbres (Figure 3). Dans la majorité des cas, le rendement est affecté par l'apparition d'une faible proportion de bourgeons à fleurs.



Figure 2. Taches foliaires typiques de *S. oleagina*.

Surveillance et prévision du risque

Échantillonnage

Dans les zones affectées par la maladie de l'œil de paon, des échantillons de feuilles doivent être prélevés hebdomadairement toute l'année. La méthode d'échantillonnage consiste à choisir au hasard 4 arbres voisins dans chaque parcelle type et sur chacun d'eux, 5 branches sur lesquelles on prend 2 feuilles. On aura donc 40 feuilles par parcelle type, soit 200 feuilles pour les 5 parcelles qui composent le champ d'observation.



I_p = pourcentage de feuilles présentant des taches typiques de la maladie après submersion pendant 25 à 35 min dans une solution d'hydroxyde de soude.

- Dans les zones à haut risque d'infection :
 - Si $I_p \geq 5\%$ en été \Rightarrow traitements préventifs avant les pluies de l'automne et au printemps suivant.
 - Si $I_p < 5\%$ en été \Rightarrow ne pas traiter jusqu'à apparition de nouvelles taches.
- Dans les zones à risque moyen d'infection :
 - Si $I_p \geq 5\%$ en été \Rightarrow un seul traitement à la fin de l'été ou au début de l'automne.
- Dans les zones à risque limité d'infection :



Figure 3. Défoliation importante sur la variété tunisienne 'Meski' très sensible à la maladie.

Si les conditions climatiques sont optimales pour le développement de la maladie (humidité saturante et température de 18-21°C), des traitements sont alors nécessaires.

Lutte

La lutte contre cette maladie cryptogame consiste à l'application de moyens cultureux et de la lutte chimique.

Mesures culturelles

Parmi les principaux moyens cultureux préventifs, il est conseillé de :

- éviter de planter dans les bas fonds humides et maintenir un bon écartement entre les arbres,
- aérer les arbres par une taille adéquate,
- effectuer le bouturage à partir d'arbres sains,
- produire et placer les plants dans un substrat sain et désinfecté (ne contenant pas de feuilles malades),
- éviter d'employer les engrais azotés qui tendent à rendre les tissus plus minces et moins résistants à la maladie,
- éliminer si possible, dans les parcelles affectées, les feuilles chutées par leur ramassage et leur incinération,
- améliorer la résistance des oliviers par une fertilisation équilibrée,
- employer les variétés qui se montrent plus résistantes à la maladie, notamment celles à cuticules épaisses,
- éviter les carences potassiques qui favorisent le développement de la maladie.

Lutte chimique (autorisée en production biologique)

- À titre préventif (au début du printemps et à l'automne), procéder à 1 ou 2 traitements de toute la frondaison moyennant l'emploi d'un produit cuprique ou de bouillie bordelaise (sulfate de cuivre + chaux hydratée).

- En cas de pluie dépassant les 20 à 25 mm (unique ou cumulée), il est nécessaire de renouveler le traitement.

VERTICILLIOSE : *VERTICILLIUM DAHLIAE* KLEB

Noms communs

Verticilliose de l'olivier (en français) ; *Verticillium wilt* (en anglais) ; Verticilosis del olivo (en espagnol) ; Tracheovorticiliosi (en italien) ; Maradth dhouboul Azzaitoun (en arabe).

Agent pathogène

Verticillium dahliae Kleb. (*V. dahliae*) est un champignon très polyphage ; il se conserve longtemps dans le sol sous forme de microsclérotés (jusqu'à 14 ans).

Au microscope photonique, les thalles montrent des conidiophores verticillés avec des phialides insérées par groupe de trois ou quatre ; ces phialides portent à leur extrémité une masse mucilagineuse qui éclate au moindre contact, libérant des conidies hyalines, unicellulaires et ellipsoïdales (Figure 1). La pigmentation noire est due à la présence d'une quantité importante de microsclérotés typiques.

Symptômes et dégâts

Au contact d'une racine, le champignon émet un filament qui pénètre dans le système vasculaire de l'arbre. Il s'y développe en se ramifiant vers les parties aériennes où il entrave la circulation de la sève, provoquant le dessèchement de la ramification atteinte. Les symptômes se manifestent de façon sectorielle, soit sur branche, soit sur charpentière ou simplement sur quelques rameaux (Figure 2). La verticilliose induit sur les parties attaquées un flétrissement unilatéral puis les symptômes se généralisent. Les jeunes arbres vigoureux sont particulièrement vulnérables.

Les rameaux attaqués portent des feuilles qui s'enroulent en forme de gouttière vers leur face inférieure et perdent leur coloration verdâtre pour virer au brun clair, ce qui induit leur dessèchement complet. Ces feuilles deviennent cassantes et peuvent chuter. Les olives sont fortement momifiées et restent suspendues aux rameaux malades (Figure 3).

L'écorce des rameaux atteints présente souvent une couleur brun-violacé progressant de l'extré-

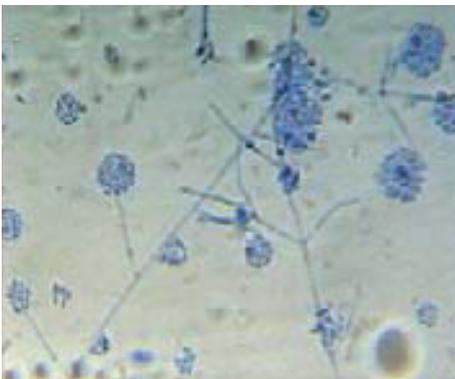


Figure 1. Phialides et conidies de *V. dahliae*.



Figure 2. Symptômes de *V. dahliae* sur olivier.



mité vers la base du rameau (Figure 4).

Des coupes transversales ou longitudinales au niveau des tissus malades montrent souvent un brunissement du bois (Figure 5).

Surveillance et prévision du risque

- Effectuer un échantillonnage à partir des oliviers présentant un symptôme de dépérissement.
- Prélever des échantillons de bois d'oliviers malades à partir de la partie vivante au-dessous de la zone nécrosée des rameaux afin d'isoler d'éventuels agents pathogènes.
- Prélever encore un échantillon de racines si nécessaire.
- Désinfecter et isoler soigneusement au laboratoire à partir de ces organes malades.



Figure 3. Enroulement de feuilles sur rameau attaqué

Lutte

Mesures culturales

- Éviter les cultures maraîchères en intercalaire sensibles à la verticilliose (Solanacées, Cucurbitacées,...).
- Éviter les sols avec précédents culturaux favorables à cette maladie.
- Réduire les façons culturales et les effectuer superficiellement pour éviter de blesser les racines.
- Équilibrer la fertilisation et l'irrigation.
- Au cours de la taille d'hiver, éliminer et brûler tous les rameaux et les branches desséchés.



Figure 4. Écorce de couleur brun violacé d'un rameau attaqué.



Figure 5. Brunissement du bois interne

Il faut veiller à protéger aussitôt les plaies de taille avec un produit fongicide systémique.

- Désinfecter soigneusement les outils de taille lors du passage d'un arbre à un autre.
- Solariser les parcelles infestées pendant la période chaude de l'été pour réduire le degré d'inoculum de *Verticillium dahliae* Kleb. dans le sol.

Lutte directe (curative)

L'injection de carbendazime (fongicide) dans le tronc semble arrêter l'attaque pendant cinq mois.

CERCOSPORIOSE DE L'OLIVIER : CERCOSPORA CLADOSPORIOIDES SACC.

Noms communs

Cercosporiose (en français) ; Emplomado (en espagnol) ; Piombatura (en italien).

Agent pathogène

L'agent causal est le champignon *Cercospora cladosporioides* Sacc. Les conidies sont étroites, allongées, avec un nombre variable de cloisons (Figure 1).



Figure 1. Conidies de *Cercospora cladosporioides*.



Figure 2. Taches foliaires typiques de *C. cladosporioides*.

Symptômes et dégâts

Les dégâts, surtout apparents et caractéristiques sur les feuilles, se manifestant par une coloration brune sur la face supérieure (Figure 2). Sur la face inférieure, on observe des taches irrégulières à différents endroits, de couleur gris plomb (Figure 3). Les feuilles attaquées finissent par tomber.

Les feuilles chutées prématurément acquièrent sur la face supérieure une couleur brune et sur la face inférieure une teinte grise montrant des zones plus obscures où sont situées les fructifications du champignon. La maladie a également été observée sur les fruits, quoique moins fréquemment, avec des taches marron rouge, circulaires, de 3 à 15 mm.

Le principal dégât est la chute abondante des feuilles, qui entraîne un fort affaiblissement de l'arbre. La partie aérienne de l'arbre peut être endommagée sérieusement, ce qui entraîne une réduction de la production.



Surveillance et prévision du risque

Normalement, cette attaque s'associe souvent à celle produite par *Spilotea oleagina*. Ainsi, les mêmes mesures préventives et curatives de lutte peuvent être préconisées.

Lutte

Lutte chimique

Il a été constaté que sur une parcelle attaquée, en pulvérisant avec la bouillie bordelaise à 2 % au début du printemps et à la fin de l'été, cette maladie pouvait être bien contrôlée.



Figure 3. Taches irrégulières de couleur gris plomb sur la face inférieure.

MOMIFICATION DE L'OLIVE : *GLOEOSPORIUM OLIVARUM* ALM ; *COLLETOTRICHUM GLOEOSPORIOÏDES*, (FORME TÉLOMORPHE : *GLOMERELLA CINGULATA* (STONEMAN) SPAULDING & SCHRENK)

Noms communs

Anthracoze des olives (en français), Aceituna jabonosa (en espagnol), Gaffa (en portugais) et Lebbra delle olivo (en italien), et Olive anthracnose (en anglais).

Agent pathogène

Gloeosporium olivarum ALM. est un champignon mitosporé du groupe des Coelomycètes. Il forme des acervules et des conidies unicellulaires, hyalines, elliptiques, légèrement courbées et mesurant 15-24 x 4-6 µm. Les conidies restent viables durant une année dans les fruits momifiés et conservés à basse température et qui agissent probablement comme agent inoculant primaire. La dissémination se fait par la pluie qui facilite la séparation des conidies de la masse mucilagineuse des acervules et leur dispersion par les gouttelettes d'eau. La germination des conidies se produit seulement s'il y a de l'eau et la pénétration du fruit s'effectue à travers l'épiderme intact, mais ce sont surtout les blessures qui favorisent considérablement l'infection. Dans les conditions naturelles, les infections se produisent entre 15 et 25°C, bien que leur optimum thermique semble être 23°C, température à laquelle les symptômes et les acervules se développent respectivement 2-3 jours et 5-6 jours après l'inoculation.

Symptômes et dégâts

Cette maladie affecte généralement les fruits dont elle provoque une perte de poids de 40 à 50 %, leur chute prématurée de même que l'acidification de l'huile qui en est extraite.

À maturité, les olives portent des taches brunes, plus ou moins circulaires ou irrégulières, qui grandissent et peuvent même se rejoindre. Les attaques commencent fréquemment par l'apex du fruit, qui est la zone où s'accumulent et restent les gouttelettes de pluie et de rosée. La progression de la nécrose

provoque la pourriture partielle ou totale de l'olive qui se déshydrate, se ride et se momifie, son mésocarpe devient dur et coriace et ne tarde pas à tomber (Figure 1).

Le champignon peut passer par le pédoncule du fruit et causer des nécroses sur les jeunes rameaux (2 - 3 ans) donnant naissance à des chancres dans lesquels le champignon forme ses structures de conservation.

Dans les zones nécrosées du fruit et avec une humidité ambiante élevée, se développent de nombreuses acervules sur lesquelles se forme une substance mucilagineuse rosée contenant un grand nombre de conidies. L'olive prend ainsi un aspect savonneux, d'où l'appellation : olive savonneuse.



Figure 1: Symptômes sur olives.

Surveillance et prévision du risque

Échantillonnage à partir des olives présentant les taches nécrotiques.

- Prélever des échantillons d'olives présentant des lésions.
- Désinfecter et isoler soigneusement au laboratoire à partir de la partie affectée.

Lutte

- Ramasser et incinérer les feuilles et les fruits chutés sur le sol.
- Tailler les rameaux atteints avant les premières pluies.
- Dans les zones endémiques, traiter préventivement à la fin de l'été avec des fongicides cupriques ou avec des mélanges d'oxychlorure de cuivre, de Zinèbe à 0,4 % et de la bouillie bordelaise à 2 %.
- Lutter contre *Bactrocera oleae* pour réduire au maximum le développement de cette maladie.

LÈPRE DE L'OLIVE : *SPHAEROPSIS DALMATICA* (THÜM., BERL. MORETTINI) = *MACROPHOMA* *DALMATICA* (THÜM.) BERL. & VOGL.

Noms communs

Lèpre de l'olive (en français) ; Escudete (en espagnol et en portugais) et Marciume delle drupe (en italien).

Agent pathogène

Sphaeropsis dalmatica THÜM. est un champignon mitosporé du groupe des Coelomycètes, au mycélium brun foncé, qui forme des pycnides unicellulaires, ostiolés, noirs, globuleux ou légèrement piriformes, de 125-270 µm de diamètre, à l'intérieur desquels se développent des conidies



unicellulaires, ellipsoïdales de $5-7 \times 16-27 \mu\text{m}$, hyalines au début et brun foncé plus tard. Dans les conditions de forte humidité, la maturité des pycnides est suivie de la libération des conidies en cires. La dispersion de conidies sur les fruits se fait par l'eau de pluie, le vent et les insectes qui affectent les fruits.



Figure 1. Fruits sur rameau présentant les symptômes caractéristiques de la maladie.

Symptômes et dégâts

La maladie affecte exclusivement les fruits encore verts (Figure 1) où se développent des lésions nécrosantes ocreuses plus ou moins circulaires, de 3 à 6 mm de diamètre, et dont le centre est entouré d'un bord bien délimité et surélevé qui se distingue de l'épiderme du fruit (Figure 2 A). Sur les tissus nécrosés, se développent les pycnides. La pourriture s'étend parfois sur le fruit qui se momifie par la suite (Figure 2 B) rappelant ainsi les symptômes de *Gloesporium olivarum* Alm.

L'évolution de cette maladie est en étroite corrélation avec les attaques de *Bactrocera oleae* et de *Prolasioptera berlesiana*. En effet, les conidies libérées par les pycnides pénètrent surtout par les orifices d'entrée et de sortie de ces insectes.

Cette maladie est de faible importance mais elle peut affecter la qualité de l'huile et celle des olives de table.

Surveillance et prévision du risque

Échantillonnage à partir des olives présentant les taches nécrotiques.

- Prélever des échantillons d'olives présentant des lésions.
- Désinfecter et isoler soigneusement au laboratoire à partir de la partie affectée.

Lutte

- Étant donné que cette maladie est de faible importance, les phytopathologistes ont prêté peu d'attention à la recherche de moyens de lutte.
- Les traitements cupriques contre la maladie de l'œil de paon ne sont pas efficaces contre *Sphaeropsis dalmatica* THÜM. Pour éviter les attaques de ce champignon, il faut donc lutter contre *Bactrocera oleae* et *Prolasioptera berlesiana*, car les orifices d'entrée et de sortie qu'ils provoquent ont une incidence certaine sur le développement de cette maladie.
- Afin de diminuer le taux d'inoculum primaire, il est fortement conseillé de ramasser et d'incinérer les olives chutées sur le sol.

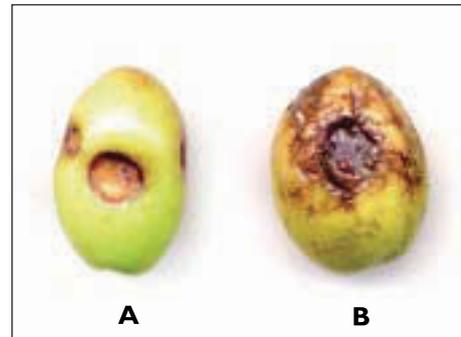


Figure 2. Symptômes sur olive : (A) lésion sur olive, (B) fruit momifié.

**CHAMPIGNONS RESPONSABLES DE LA
POURRITURE DES RACINES : *ARMILLARIA MELLEA* ;
MACROPHOMINA PHASEOLI (= *RHIZOCTONIA BATATICOLA*) ;
FUSARIUM OXYSPORUM ; *FUSARIUM SOLANI* ;
PHYTOPHTORA SP. *SCLEROTIUM ROLFSII* ; *CORTICIUM
SOLANI* ; *ROSELLINEA NECATRIX***

Noms communs

Pourriture des racines (en français) ; Root rot (en anglais) ; Decaimiento del olivo ou Podredumbre de las raíces (en espagnol) ; Putrefazione delle radici ou Deperimento dell'olivo (en italien).

Agent pathogène

Plusieurs champignons telluriques sont à l'origine de la pourriture des racines. Ces champignons se conservent dans le sol sous plusieurs formes (chlamydospores, oospores, sclérotés,...) pendant plusieurs années.

Symphômes et dégâts

Ces champignons infectent l'olivier au niveau des racines suite à la pénétration des mycéliums, soit directement soit par les blessures. Une fois imprégné dans la racine, le mycélium atteint les vaisseaux du xylème causant leurs obstructions. Des coupes transversales à ce niveau montrent un brunissement des vaisseaux conducteurs de sève souvent causé par *Rhizoctonia bataticola* et *Fusarium solani* (Figures 1 et 2). Cette attaque provoque soit le déclin général de l'arbre, soit le dessèchement de quelques pousses seulement. Les jeunes arbres sont généralement vulnérables.

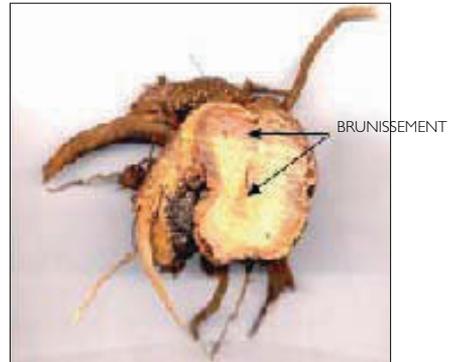


Figure 1. Brunissement des tissus internes d'une racine d'un jeune plant d'olivier suite à une attaque mixte par *Rhizoctonia bataticola* et *Fusarium solani*.

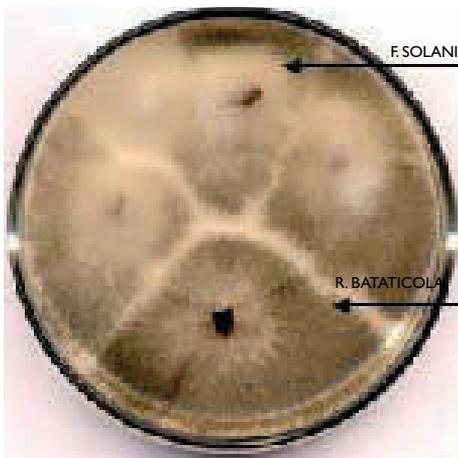


Figure 2. Isolement mixte de *Rhizoctonia bataticola* et *Fusarium solani* à partir d'une racine pourrie.



Figure 3. Dessèchement d'une nouvelle pousse d'un jeune plant d'olivier par *Fusarium oxysporum*.



Sur les jeunes plants de pépinières, certains champignons tels que *Fusarium oxysporum* et *Rhizoctonia bataticola* entraînent le dessèchement des nouvelles pousses (Figure 3). Les plants atteints montrent des pourritures et des nécroses à proximité de la base du tronc et au niveau de l'écorce des racines secondaires (Figure 4).



Figure 4. Pourriture des racines par *Fusarium oxysporum* et/ou *Rhizoctonia bataticola*.

Surveillance et prévision du risque

Échantillonnage à partir des oliviers présentant un symptôme de dépérissement.

- Prélever un échantillon de racine afin d'isoler d'éventuels agents pathogènes.
- Prélever encore des échantillons de bois d'oliviers malades à partir de la partie vivante au-dessous de la zone nécrosée des rameaux.
- Désinfecter et isoler soigneusement au laboratoire à partir de ces organes malades.

Lutte

Mesures culturales

- Éviter les cultures maraîchères en intercalaires sensibles aux attaques par les champignons telluriques (Solanacées, Cucurbitacées,...).
- Éviter les sols avec précédents culturaux favorables aux attaques par les champignons telluriques.
- Réduire les façons culturales et les effectuer superficiellement pour éviter de blesser les racines.
- Équilibrer la fertilisation et l'irrigation.
- Pratiquer la double cuvette pour éviter la stagnation de l'eau autour du tronc de l'arbre (cas d'irrigation par rigole).
- Au cours de la taille d'hiver, éliminer et brûler tous les rameaux et les branches desséchés. Il faut veiller à protéger aussitôt les plaies de taille avec un produit fongicide systémique.
- Désinfecter soigneusement les outils de taille lors du passage d'un arbre à un autre.

Lutte directe (curative)

- Arracher et incinérer les plants totalement dépéris.
- Renouveler le sol dans les trous avant une deuxième plantation.
- Traiter par irrigation les pieds en début d'attaque (début de jaunissement) avec un fongicide systémique (dont la matière active est : bénomyl, métalaxyl, méthyl-thiophanate,...).

TUBERCULOSE DE L'OLIVIER : *PSEUDOMONAS SAVASTANOI* *PV. SAVASTANOI* (SMITH) (= *P. SYRINGAE PV. SAVASTANOI*)

Noms communs

Olive Knot disease (en anglais) ; Rogna dell olivo (en italien) ; Tuberculosis (en espagnol) ; Tuberculose da oliveira (en portugais) ; Maradh essoul (en arabe).

P. syringae pv. Savastanoi a été renommé par Garden et al. (1992) comme *P. savastanoi pv. savastanoi*. Cette nouvelle nomenclature a été récemment validée par Braun-Kiewnick et Sands (2001).

Description de la bactérie

Il s'agit d'une bactérie gram négatif (0,4 – 0,8 × 1,2 – 2,3 µm) mobile à l'aide de 1 à 4 flagelles polaires. Une caractéristique de cette bactérie est qu'elle produit des pigments fluorescents sur un milieu déficient en fer comme le milieu King B (Figure 1). La bactérie produit une auxine (acide indol-3-acétique : AIA) codé par un gène qui peut être porté par un plasmide chez certaines souches ou par le chromosome chez d'autres souches.



Figure 1. Aspect des colonies de *Pseudomonas savastanoi*.

Répartition géographique

La tuberculose de l'olivier est répandue dans tous les pays oléicoles et s'attaque également à d'autres plantes comme le laurier rose (*Nerium oleander*), le frêne (*Fraxinus excelsior*), le troène (*Ligustrum japonicum thunbi*), le jasmin (*Jasminum spp.*), le forsythia (*Forsythia intermedia zab*) et *Phyllera* sp. (Bradburry, 1986). Les régions exposées aux chutes de grêle et aux gelées sont particulièrement favorables à la prolifération de la bactérie.

Symptomatologie

Les symptômes de la maladie se manifestent par la présence de tumeurs parenchymateuses de forme irrégulière. Au début de leur apparition, elles sont molles, de couleur verte et de surface lisse. Elles augmentent de volume en fonction du temps, se lignifient, brunissent et durcissent. Ces tumeurs s'observent généralement sur les rameaux, les brindilles et les branches charpentières (Figure 2), mais il est possible de les trouver sur le tronc des jeunes arbres (Figure 3).

L'intensité des dégâts provoqués est fortement liée au nombre de tumeurs par arbre. En cas de forte attaque, les rameaux infestés perdent leur feuillage et se dessèchent.

Épidémiologie

La bactérie survit dans les tumeurs qui constituent un réservoir important de conservation et de dissémination. Lors des précipitations, les bactéries sont exsudées à la surface et disséminées par les gouttelettes d'eau et les éclaboussures de pluies. L'infection des tissus est réalisée à la suite des plaies et les cicatrices



Figure 2. Symptômes sur un olivier en production. A : branches charpentières, B : rameau fructifère.

causées par la grêle, la taille et la chute des feuilles. Au sein des tissus de son hôte, la bactérie synthétise l'AIA (acide indol acétique) responsable de la prolifération cellulaire et de la formation des tumeurs.

Lutte

Le moyen le plus efficace de lutte est la sélection de variétés résistantes ou tolérantes à la maladie.

Cependant, les mesures prophylactiques, appliquées depuis la plantation jusqu'à la taille des arbres, contribuent efficacement à la lutte contre la maladie en agissant sur l'inoculum bactérien initial. Ainsi, il est impératif de :

- Choisir un matériel végétal indemne de l'agent pathogène ;
- Éviter le transport de plants et de boutures provenant d'un verger malade ;



Figure 3. Symptômes sur jeunes plants d'olivier (A et B).

- Ne pas cueillir et tailler par temps humide (pluie, rosée) ;
- Commencer la récolte par les arbres sains tout en veillant à éviter au maximum les blessures. La cueillette par gaulage crée des blessures et favorise l'installation et la dissémination de la maladie ;
- Commencer la taille par les pieds sains et poursuivre sur les arbres malades afin d'éviter la dissémination de la maladie. Le bois de taille issu des arbres malades doit être impérativement incinéré sur place ;
- Éliminer le plus grand nombre de tumeurs ;
- Traiter avec des produits cupriques les plaies de taille et les cicatrices foliaires, car cela permet de réduire considérablement la population bactérienne.

GALLE DU COLLET : *AGROBACTERIUM TUMEFACIENS* (SMITH ET TOWNSEND)

Noms communs

Tumeur du collet (en français) ; Agalla del cuello (en espagnol) ; Crown gall (en anglais) ; Galla del colletto (en italien).

Description de la bactérie

Agrobacterium est une bactérie GRAM - en forme de bâtonnet avec des extrémités arrondies mesurant $0,6-1 \times 1,5-3 \mu\text{m}$. La bactérie ne forme pas de spores et est mobile grâce à un à six flagelles péritriches (Jordan, 1984). Elle produit d'importantes quantités de polysaccharides sur des milieux contenant des sucres (Moore et al., 2001). Les colonies apparaissent blanchâtres, circulaires, convexes et translucides (Figure 1).



Figure 1. Aspect des colonies d'*Agrobacterium tumefaciens*.

Répartition géographique

La galle du collet s'attaque essentiellement aux arbres fruitiers. Sur l'olivier, ce n'est que récemment que des travaux en Jordanie et en Australie ont indiqué la présence d'*A. tumefaciens* dans des tumeurs formées sur les racines et le collet de jeunes plants d'olivier (Barbara, 2001 ; Khlaif, 2001). En Tunisie, la maladie est observée pour la première fois au niveau des racines de la variété 'Chemlali' dans la région de Kairouan.

Symptomatologie

Les symptômes se traduisent par la présence d'excroissances plus ou moins sphériques, blanchâtres, spongieuses à ferme et dont la surface est irrégulière rappelant l'inflorescence d'un chou-fleur. En vieillissant, les tumeurs augmentent rapidement de taille, leur surface se mamelonne, puis elles durcissent et se fendillent à la périphérie, tandis que leur couleur s'assombrit de plus en plus (Figure 2).

Épidémiologie

La bactérie peut se conserver dans le sol pendant des années. Quand des plantes hôtes sont cultivées dans des sols infestés, la bactérie pénètre dans les racines et/ou à la base de la tige (ou du tronc)

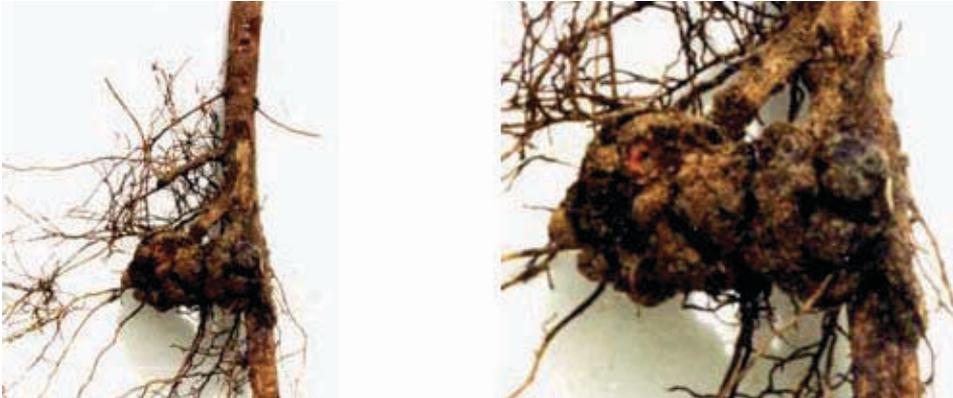


Figure 2. Tumeurs observées sur racines de l'olivier.

par l'intermédiaire des blessures dues aux pratiques culturales ou aux insectes. Lorsque la bactérie est à l'intérieur du tissu, elle se développe intercellulairement puis induit la formation des tumeurs par l'intermédiaire de son plasmide Ti. Plus tard, quand les couches cellulaires périphériques des tumeurs meurent et se décomposent, les débris infectés contenant les bactéries, sont emportés par l'eau plus loin où ils peuvent infecter de nouvelles plantes hôtes saines.

Lutte culturale et biologique

Toute la lutte doit se faire préventivement au niveau des pépinières, car dans le verger, il est trop tard pour intervenir contre la maladie. Pour les pépinières, il faut d'abord les installer dans des sols non infectés par la bactérie et en cas d'attaque, éliminer et brûler toutes les plantes infectées. Au moment de la plantation dans le verger, il est souhaitable de plonger les racines du plant dans une suspension de la souche bactérienne K1026 d'*Agrobacterium radiobacter* antagoniste des souches phytopathogènes.

7.4.3. Synthèse des bonnes pratiques de lutte contre les principaux nuisibles de l'olivier

Ravageur/ maladie	Méthode de surveillance et de prévision	Critères d'intervention	Méthodes de lutte recommandées		
			Culturales	Biotechnique et biologique	Chimiques
Mouche de l'olive <i>Bactrocera oleae</i>	1. Piégeage - Piège Mac Phail appâté avec du phosphate diammonique à 3 % (DAP). - Piège sexuel à phéromone. - Piège jaune. - Densité 2-3 pièges/ha (50-70 mètres entre pièges).	Oliviers à huile 1 ^{re} application : captures : 5 adultes/piège/jour (à titre indicatif, variable selon régions). Présence de femelles fertiles (% variable selon régions). Températures maximales favorables (< ou proches de 30°C).	- Installation d'arbres pièges avec variétés sensibles à la mouche. - Travail du sol à 15-20 cm de profondeur sous frondaison en automne-hiver pour enfouir les pupes. - Activer la cueillette en cas d'infestations automnales.	- Capture de masse des adultes en début de saison (1 ^{re} génération estivale) : 1 piège/arbre ou tous les 2 arbres. - Lâchers d' <i>Opius concolor</i> en début de saison : 500 à 1 000 parasites/arbre (en cas de faible à moyenne population).	- Traitement préventif contre adultes : localisé avec insecticide (decis) + attractif alimentaire ou phéromonal ou avec produits autorisés en production biologique (Spinosade ; kaolin, bouillie bordelaise) + attractif alimentaire. - Traitement curatif contre larves et adultes (Diméthoate). - Traitement des arbres pièges. - Traitements d'automne : date limite : fin septembre - début octobre (un mois au minimum avant la récolte).
	2. Dissection des femelles (fertilité) 50 femelles / semaine 3. Échantillonnage des fruits : 10 fruits/arbre sur un minimum de 20 arbres. 4. Relevé des données climatiques (températures maximales).	Applications suivantes - Captures > 1 adulte/piège/jour (à titre indicatif, variable selon les régions). - Femelles fertiles > 60 % (à titre indicatif). - Infestation des fruits > 5 %. Oliviers de table - Présence de femelles fertiles. - 1 ^{re} piqûre sur fruits.			



7.4.3.3. Synthèse des bonnes pratiques de lutte contre les principaux nuisibles de l'olivier (suite)

Ravageur/ maladie	Méthode de surveillance et de prévision	Critères d'intervention	Méthodes de lutte recommandées		
			Culturales	Biotechnique et biologique	Chimiques
Teigne de l'olivier <i>Prays oleae</i>	<p>1. Piège sexuel : 2 à 3 pièges/ha (50-70 mètres entre pièges). Installation : 1^{re} génération : région chaude (fin février) ; région froide (fin mars) 2^e génération : fin avril (région chaude) à fin mai (région froide) 3^e génération : début septembre. Changement capsule à phéromone à chaque génération.</p> <p>2. Échantillonnage : - Grappes florales : 50 à 100/arbre sur 10 à 20 arbres - Fruits : 10 à 30/arbre sur 10 arbres.</p>	<p>Seuil économique : 1^{re} génération : 4 à 5 % de grappes infestées 2^e génération : 20 à 30 % de fruits infestés (olives à huile de petite taille). Seuil inférieur pour l'olive de table. Captures : > 100/piège/semaine Capture totale/piège > 300 (variable selon régions). Taux d'éclosion des œufs : > 50 % Période d'intervention : 1^{re} génération : 1^{res} fleurs ouvertes (début traitement).</p>	<p>- Taille en décembre - janvier pour réduire les populations larvaires phyllophages. - Travail du sol à 15 - 20 cm de profondeur en automne sous frondaison pour réduire l'émergence des adultes issus de la 2^e génération.</p>	<p>- <i>Bacillus thuringiensis</i> ou <i>Saccharopolyspora spinosa</i> (Spinosade-Traicer) contre 1^{re} génération par voie terrestre (avec bon mouillage) dès l'ouverture des 1^{res} fleurs. Exceptionnellement contre la 3^e génération (stade L₄) en cas de fortes infestations.</p>	<p>Contre 1^{re} génération en cas de très forte infestation : Deltaméthrine - Diméthoate, Trichlorfon... Contre 2^e génération : produit systémique (Diméthoate).</p>

7.4.3.3. Synthèse des bonnes pratiques de lutte contre les principaux nuisibles de l'olivier (suite)

Ravageur/ maladie	Méthode de surveillance et de prévision	Critères d'intervention	Méthodes de lutte recommandées		
			Culturales	Biotechnique et biologique	Chimiques
Zeuzère <i>Zeuzera pyrina</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Piégeage Piège lumineux : 2 à 3 pièges/ha (150 à 200 watts) pour le suivi de l'envol des adultes. - Piège sexuel Échantillonnage : - Fin été début automne : relevé des jeunes rameaux infestés sur une vingtaine d'arbres. - Fin hiver - début printemps : relevé des traces de présence des larves âgées sur tronc et charpentières. 	<ul style="list-style-type: none"> Seuil économique : 5 larves/arbre âgé de 8 ans 5 -15 larves/arbre âgé de 20 ans 20-30 larves/arbre âgé de plus de 20 ans. 	<ul style="list-style-type: none"> - Destruction mécanique des chenilles dans leur galerie avec fil de fer (mars - avril). - Bouchage des trous de galeries avec pâte à modeler (fin août-septembre). - Couper et incinérer les rameaux infestés. - Abattage des branches fortement infestées. - Laisser les rejets entre septembre et fin décembre puis les couper et les incinérer. 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Bacillus thuringiensis</i> ou Spinosade contre jeunes larves en début de pénétration ou injection dans les galeries après la dernière migration dans les branches et le tronc. - Piégeage de masse des adultes : 10 à 20 pièges lumineux ou sexuels/ha. 	<ul style="list-style-type: none"> Traitement contre jeunes larves en automne : Deltaméthrine + diméthoate en cas de nécessité.
Pyrale du jasmin <i>Margarona unionalis</i>	<ul style="list-style-type: none"> Piège à phéromone sexuelle (en cours d'essai) - Échantillonnage : % de pousses attaquées ; densité d'œufs et larves / ml de pousses 	<ul style="list-style-type: none"> Arbres jeunes : 5 à 10 % de pousses attaquées. Arbres adultes : début d'attaque sur fruits. 	<ul style="list-style-type: none"> Élimination des rejets sur arbres adultes. 	<ul style="list-style-type: none"> <i>Bacillus thuringiensis</i> ou Spinosade dès les premières infestations. 	<ul style="list-style-type: none"> Deltaméthrine dès les premières infestations en cas de nécessité.



7.4.3. Synthèse des bonnes pratiques de lutte contre les principaux nuisibles de l'olivier (suite)

Ravageur/ maladie	Méthode de surveillance et de prévision	Critères d'intervention	Méthodes de lutte recommandées		
			Culturales	Biotechnique et biologique	Chimiques
Pyrale de l'olivier <i>Euzophera pinguis</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Suivi de l'envol par piégeage lumineux, sexuel ou alimentaire. - Grattage de l'écorce pour le suivi des stades préimaginaux. 	<ul style="list-style-type: none"> - Importance de l'envol des adultes. - Densité de galeries larvaires /arbre. 	<ul style="list-style-type: none"> - Masticage des plaies de taille. - Bon entretien des arbres. 	<ul style="list-style-type: none"> - Produits microbiologiques (spinosade, bacillus) contre les jeunes larves avant leur pénétration dans l'écorce. 	<ul style="list-style-type: none"> - Traitement localisé sur le tronc et les branches dirigé contre les adultes et les jeunes larves avant leur pénétration dans l'écorce, à l'aide d'un mélange de produits organophosphorés-d'huile minérale ou de décis-diméthoate.
Cochenille noire <i>Saissetia oleae</i>	<p>Échantillonnage :</p> <ul style="list-style-type: none"> 10 rameaux/arbre sur une dizaine d'arbres => densité de larves et de femelles /ml de rameau ou par feuille, => stades préimaginaux de l'insecte, => fréquence : tous les 15 jours de mai à octobre ; tous les mois de novembre à avril. 	<p>Seuil :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 3 à 5 larves par feuille. - 10 femelles/ml de rameau. <p>Stades larvaires jeunes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Taille appropriée pour une bonne aération de l'arbre, élimination des branchettes et rameaux fortement infestés. - Fertilisation équilibrée en évitant l'excès d'azote. 	<ul style="list-style-type: none"> - Renforcer l'action des entomophages en évitant les traitements chimiques. - Lâchers d'entomophages : <p>Parasitoïdes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Metaphycus helvolus</i> - <i>Metaphycus bartletti</i> - <i>Metaphycus lounsbury</i> - <i>Diversinervus elegans</i> <p>Coccinelles :</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Exochomus quadripustulatus</i> - <i>Rhizobius forestieri</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - Huiles minérales, deltaméthrine, méthidathion (ultracide) en cas de nécessité.

7.4.3.3. Synthèse des bonnes pratiques de lutte contre les principaux nuisibles de l'olivier (suite)

Ravageur/ maladie	Méthodes de lutte recommandées	
	Méthode de surveillance et de prévision	Critères d'intervention
Cochenille blanche <i>Aspidiotus nerii</i>	<p>Échantillonnage : 10 rameaux/arbre sur une dizaine d'arbres : => densité de cochenilles/fruit.</p>	<p>Seuil : 10 cochenilles/fruit : Stades : larves jeunes.</p>
	Culturales	Biotechnique et biologique
	Élimination des brindilles fortement infestées.	<ul style="list-style-type: none"> - Renforcer le rôle des entomophages en évitant la lutte chimique - Lâchers d'entomophages : <i>Aphytis chilensis</i>, <i>A. melinus</i>, coccinelles.
Cochenille <i>Parlatoria oleae</i>	<p>Échantillonnage : 10 rameaux/arbre sur une dizaine d'arbres. - Observations visuelles des cochenilles sur fruits.</p>	<p>Olives de table : apparition des 1^{res} cochenilles sur fruits.</p>
		Traitement aux huiles minérales, deltaméthrine.
Psylle de l'olivier <i>Euphyllura olivina</i>	<p>Échantillonnage : 10 rameaux/arbre sur une dizaine d'arbres : => Taux d'infestation des grappes, => densité des stades préimaginaux /grappe florale.</p>	<p>Seuil : 50 à 60 % de grappes infestées ou 2 à 3 larves/grappe florale. - Apparition des premiers symptômes d'amas cotonneux.</p>
	<ul style="list-style-type: none"> - Taille appropriée pour une bonne aération de l'arbre. - Élimination des rejets et gourmands en été et en automne - hiver. 	<ul style="list-style-type: none"> - Traitement contre jeunes stades au printemps (1^{re} ou 2^e génération) : diméthoate, deltaméthrine.



7.4.3.3. Synthèse des bonnes pratiques de lutte contre les principaux nuisibles de l'olivier (suite)

Ravageur/ maladie	Méthode de surveillance et de prévision	Critères d'intervention	Méthodes de lutte recommandées		
			Culturales	Biotechnique et biologique	Chimiques
Hylésine <i>Hylesinus</i> <i>oleiperda</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Envol des adultes : • Emploi de mouchons en mousseline • Marquage des plaques de ponte - Grattage de l'écorce : stades de l'insecte. 	<ul style="list-style-type: none"> Seuil de tolérance économique : - 5 plaques de ponte/arbre âgé de 10 ans. - Apparition des 1^{res} plaques de ponte pour les arbres jeunes. - Période : 15 à 20 jours après le début d'envol des adultes au printemps. 	<ul style="list-style-type: none"> - Choix de variétés résistantes à l'hylésine (nouvelle plantation). - Bon entretien des plantations. - Taille appropriée. - Éradication par voie mécanique des premiers foyers. 	<ul style="list-style-type: none"> - Rôle important de la faune auxiliaire à renforcer en évitant la lutte chimique. 	<ul style="list-style-type: none"> Traitement contre adultes au printemps (15 à 20 jours après le début de l'envol). Produit : décis, décis-diméthoate.
Neiroun <i>Phloeotribus</i> <i>scarabaeoides</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Mise en place de morceaux de bois de taille dans le verger (fagôts piège). - Échantillonnage : densité de logettes d'hivernation/ml de rameau. - Premières attaques du neiroun sur arbres déperissants - Données climatiques si possible (zones méridionales). 	<ul style="list-style-type: none"> - Trous de pénétration des adultes dans le bois de taille ou dans les fagôts piège. - Premiers trous de pénétration du neiroun sur arbres déperissants. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mise en place de fagôts piège au moment de la taille durant un mois. - Ramassage et éloignement du bois de taille et des fagôts piège. - Taille appropriée (arbres chétifs). - Irrigation de sauvegarde des arbres en cas de déficit hydrique accentué. 	<ul style="list-style-type: none"> - Traitement des tas de bois de taille ou des arbres déperissants dès le début de pénétration ou de sortie des adultes. Produit : Méthidathion (ultracide), décis, décis-diméthoate. 	

7.4.3.3. Synthèse des bonnes pratiques de lutte contre les principaux nuisibles de l'olivier (suite)

Ravageur/ maladie	Méthode de surveillance et de prévision	Critères d'intervention	Méthodes de lutte recommandées		
			Culturales	Biotechnique et biologique	Chimiques
Otiorrhynchus cribricollis	Observations des premiers symptômes d'attaques sur feuilles.	Observation des premiers symptômes sur feuilles.	- Travail du sol et binage à la base du tronc des arbres. - Installation de bandes piège engluées ou non autour du tronc.	- Traitement du sol à la base du tronc. - Traitement des arbres en fin de journée. Produit : déltaméthrine (décis) en cas de nécessité.	
Acariens ériophyides	- Observations visuelles des premiers symptômes sur feuilles et jeunes pousses. - Échantillonnage et observations au laboratoire.	Estimation de la densité d'ériophyides par unité de surface foliaire.	Emploi de plants sains lors de l'installation d'une nouvelle plantation.	Traitement à l'aide de produits acaricides (soufre, acrinathrine...) avec alternance des produits en cas de nécessité.	
Ceïl de paon Spilocaea oleagina	- Échantillonnage de feuilles : 10 feuilles / arbre sur une vingtaine d'arbres (5 parcelles). - Diagnostic précoce au laboratoire par trempage dans une solution de soude.	5 % de feuilles infestées.	- Choix de variétés résistantes. - Taille appropriée pour une bonne aération de l'arbre. - Densité d'arbres/ha pas trop élevée. - Éviter l'excès d'HR (bas fonds...) - Réduire la fertilisation azotée et éviter les carences en potassium.	- Traitement de printemps avant les 1 ^{res} pluies. - Traitement d'automne avant les 1 ^{res} pluies. Produits cupriques/bouillie bordelaise.	



7.4.3.3. Synthèse des bonnes pratiques de lutte contre les principaux nuisibles de l'olivier (suite)

Ravageur/ maladie	Méthodes de lutte recommandées	
	Méthode de surveillance et de prévision	Critères d'intervention
Tuberculose <i>Pseudomonas savastanoi</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Chute de grêle. - Apparition des premiers symptômes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Éviter les blessures (taille, cueillette) par temps humide (pluies, rosée...). - Couper les rameaux attaqués et les incinérer. - Désinfecter le matériel de taille. - Employer des variétés résistantes.
Verticilliose <i>Verticillium dahliae</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Observation visuelle. - Examen au laboratoire d'échantillons de bois malades et de racines (si nécessaire). 	<ul style="list-style-type: none"> - Dès l'apparition des premiers symptômes de flétrissement sur les arbres.
		<p>Culturales</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sol indenne de la maladie. - Employer des variétés résistantes à la maladie. - Éviter de planter sur des sols avec des précédents culturaux sensibles au verticillium (coton, tournesol, tomate, pomme de terre...). - Éviter les cultures maraichères en intercalaire. - Éviter l'excès de fertilisation (notamment azotée). - Arracher et incinérer les arbres attaqués. - Réduire l'irrigation et le travail du sol en cas d'apparition de la maladie. <p>Biotechnique et biologique</p> <ul style="list-style-type: none"> - Solarisation des arbres infestés pendant la saison chaude. <p>Chimiques</p> <ul style="list-style-type: none"> - Injection dans le tronc de carbendazime (essayé avec succès en Syrie).

7.4.3.3. Synthèse des bonnes pratiques de lutte contre les principaux nuisibles de l'olivier (suite)

Ravageur/ maladie	Méthode de surveillance et de prévision	Critères d'intervention	Méthodes de lutte recommandées		
			Culturales	Biotechnique et biologique	Chimiques
Cercosporiose <i>Cercospora</i> <i>cladosporioides</i>	Apparition des symptômes de la maladie.	Symptômes sur feuilles.	- Assurer un bon entretien des arbres et une bonne aération de la frondaison. - Eviter l'excès d'eau d'irrigation.		Bouillie bordelaise à 2 % au début du printemps et à la fin de l'été.
Momification de l'olive <i>Gleosporium</i> <i>olivarum</i>	- Échantillonnage d'olives avec taches nécrotiques. - Désinfection et isolement du pathogène au laboratoire.	Apparition des premiers symptômes.	- Ramasser et incinérer les feuilles et fruits chutés. - Tailler les rameaux atteints avant les premières pluies.		- Traitement préventif à la fin de l'été dans zones endémiques avec fongicides cupriques : mélange oxychlorure de cuivre (37,6 %) + Zinèbe (0,4 %) (15 %) ou bouillie bordelaise à 2 %.
Lèpre de l'olive <i>Sphaeroopsis</i> <i>dalmatica</i>	- Échantillonnage d'olives avec lésions. - Désinfection et isolement du pathogène au laboratoire.	Apparition des premiers symptômes.	- Ramasser et incinérer les olives chutées.		- La lutte contre <i>Bactrocera oleae</i> et <i>Prolasioptera berlesiana</i> permet de limiter la maladie.
Pourriture des racines	Apparition des premiers symptômes de flétrissement. Examen d'échantillons de racines.	Dès l'apparition des premiers signes de flétrissement.	- Arracher et incinérer les plants dépéris. - Renouveler le sol dans les trous de plantation avant le rempla- cement des pieds dépéris.		Traitement par irrigation des pieds en début d'attaque avec un fongicide systémique.
Fumagine	- Contrôle de la présence d'insectes suceurs de sève (cochenilles, psylle). - Observations visuelles.	Apparition des symptômes sur feuilles.	- Assurer une bonne aération des arbres. - Éviter de planter dans les bas fonds trop humides. - Éviter les hautes densités/ha.		- Élimination des insectes sécré- teurs de miellat. - Traitement par produits cupriques au printemps et/ou en automne.



BIBLIOGRAPHIE

- Afidol, 2001. Agriculture raisonnée : l'oléiculture française tournée vers la protection sanitaire raisonnée. *Olivæ* n° 86 - avril 2001.
- Al Ahmed M., Al Hamidi M., 1984. Le dépérissement de l'olivier dans le Sud Syrien (en arabe). *Revue de la protection des végétaux* 2 : 70.
- Alvarado M., 1999. ¿Es el olivar un cultivo desequilibrado? Potenciación de otiorrinco (*Otionrhynchus cribricollis*), gusanos blancos (*Melolontha papposa*), abichado (*Euzophera pinguis*), Cochinilla (*Saissetia oleae*) y acaros (*Aceria oleae*) en las nuevas plantaciones. In *Symposium phytoma* 98.
- Alvarado M., Serrano A., Duran J.M., De La Rosa, 1996. Problemática de los gusanos blancos (*Coleoptera, Scarabaeidae*) en el olivar de la Provincia de Sevilla. *Bol. San.Veg. Plagas*, 22 : 319 – 328, 1996.
- Ammar M., 1986. Les cochenilles de l'olivier et leur impact sur la production oléicole dans la région de Sfax. Cas particulier d'*Aspidiotus nerii* Bouche (*Homoptera, Diaspididae*). Mémoire de fin d'études du cycle de spécialisation en oléiculture-oléotechnie. INAT. 94 pages.
- Arambourg Y., 1986. Entomologie oléicole. Ed. COI. 360 p.
- Avidoz Z., Harpaz I., 1969. Plant pests of Israël. Israël Universities Press, Jerusalem, 549 p.
- Barbara H., 2001. Olive diseases in South Australia. Australian Olive Association LTD, the olive press, winter 2001.
- Bellahcene M., Fortas Z., Geiger J.P., Matallah A., Henni D., 2000. La verticilliose de l'olivier en Algérie : répartition géographique et importance de la maladie. *Olivæ* n° 82 - Juin 2000.
- Benjama A., 1988. Les maladies parasitaires de l'olivier au Maroc. *Olivæ* n° 20, 1988.
- Bertolini E., Fadda Z., García F., Calada B., Olmos A., Goris M.T., Del Rio C., Caballero J., Duran-Vila N., CAMBRA M., 1998. Virosis de olivo detectadas en Espana. Nuevos métodos de diagnóstico. *Phytoma* 102 : 191 – 193.
- Blanco M.A., Rodríguez D., Jiménez Díaz R., 1994. La verticilosis del olivo. *Agricultura* 746 : 53 - 56.
- Boulila M., 2001. Maladies de l'olivier en Tunisie. *Connaissances actuelles. Olivæ* n° 85, 2001.
- Boulila M., Mahjoub M., Chaïb M., 1995. Synthèse de quatre années de recherche sur le dépérissement de l'olivier en Tunisie. *Olea* 23 : 112.
- Campos M., Civantos M., 2000. Influence des techniques de culture sur les parasites de l'olivier. *Olivæ* n° 84 – décembre 2000.
- Castagnoli M., Pegazzano F., 1986. Acariens. In *Traité d'entomologie oléicole*. p. 303 – 336.
- Cavalloro R., 1983. Fruits flies of economic importance. *Proceedings of the CEC/IOBC international symposium. Athens/Greece. 16-19 November 1982.* 642 p.
- Chatti Kolsi A., 2006. Contribution à l'étude des acariens nuisibles à l'olivier. Mémoire de Master en protection et environnement. École Supérieure d'horticulture et d'élevage de Chott Mariem. 58 p + Annexes.
- Chermi B., 1992. Approche d'évaluation de la nocivité du psylle de l'olivier *Euphyllura olivina* (Costa) (*Homoptera, Aphalaridae*). *Olivæ* n° 43 – 1992.
- Clara M.I.H., 1994. Virus diseases of olive : an overlook. *Acta Horticulturae* 346 : 379 – 385.
- Clara M.I.E., Rel F.T., Felix M.R., Leitao F.A., Serrano J.F., Potes M.F., 1997. Les viroses qui affectent *Olea europaea* L. et les techniques de diagnostic. *Olivæ* n° 66 - avril 1997.
- Cirio U., 1992. Integrated pest management for olive groves in Italy. BCPC MONO. N°52 Research collaboration in european IPM systems.
- Cirio U., 1997. Les produits agrochimiques en oléiculture et leur impact sur l'environnement. *Olivæ* 65 : 32-39.
- Civantos M., 1995. Développement de la lutte intégrée dans les oliveraies espagnoles. *Olivæ* n°59 - décembre 1995.

- Civantos M., 1999. Contrôle des parasites et des maladies de l'olivier. Ed. COI - 1999. 207 pages.
- Crovetti A., 1997. La défense phytosanitaire. In Encyclopédie Mondiale de l'Olivier, Ed. COI p. 225 – 250.
- Civantos M., Caballero J.M., 1993. Integrated pest management in olive in the mediterranean area. Bulletin OEPP/EPPO 23, 367-375 (1993).
- Duran J.M., Alvarado M., Serrano Y., De La Rosa A., 1996. Contribución al conocimiento de *Melolontha papposa* Ill. (Coleoptera : Melolonthinae). Plaga de los olivares de la provincia de Sevilla. Bol. San.Veg. 22 : 309 – 318, 1996.
- Final Report Project Inco «Triphelio», 2005. Sustainable control of Lepidopterous pests in olive groves. Integration of egg parasitoids and pheromones. 123 p.
- Guario A., La Notte F., 1997. La mouche de l'olive en zone méditerranéenne connaissances actuelles et stratégies de lutte. Phytoma - la défense des végétaux - N°493 - avril 1997.
- Guario A., Laccone G., La Notte F., Murolo O., Percaro A., 2002. Le principali avversità parassitarie dell'olivo. Assessorato Agricoltura, Alimentazione, Foreste, Caccia e Pesca, Riforma Fondiaria. 134 p.
- Guzman Alvarez J.R., 1999. Olivier et écologie : l'état de la question en Espagne. *Olivæ* n° 78 - octobre 1999.
- Hussein S., Katlabi Y., 1992. La période de vol des adultes de la Zeuzère (*Z. pyrina* L.) dans les oliveraies syriennes. *Olivæ* n° 41. avril 1992.
- Jardak T., Ksantini M., 1996. L'aménagement de la protection phytosanitaire de l'olivier : éléments de base et nécessité économique et écologique. *Olivæ* n° 61, 1996.
- Jardak T., Jarraya A., Mahjoub M., 2004. La protection intégrée de l'oléiculture dans les pays de l'Afrique du Nord. Edition FAO. SNEA Tunis – 120 pages.
- Jardak T., Moalla M., Smiri H., Khalfallah H., 1984. Tests to assess the damage caused by the olive psyllid *Euphyllura olivina* costa (Homoptera, Psyllidae) : preliminary data in the harmfulness threshold. Proceed of the CEC / FAO / IOBC int. Joint meeting. Pise 3 – 6 April 1984. p. 270 – 284.
- Jardak T., Jarraya A., Ktari M., Ksantini M., 2000. Essais de modélisation sur la teigne de l'olivier; Prays oleae (Lepidoptera, Hyponomeutidae). Revue *Olivæ* n° 83, 22-26, 2000.
- Jarraya A., 2003. Principaux nuisibles des plantes cultivées et des denrées stockées en Afrique du Nord : leur biologie, leurs ennemis naturels, leurs dégâts et leur contrôle. 415 pages.
- Jiménez Díaz R.M., 1985. Les maladies de l'olivier : la verticilliose (1^{re} partie). *Olivæ* n° 6, 1985.
- Jiménez Díaz R.M., 1985. Les maladies de l'olivier (suite). *Olivæ* n° 7, 1985.
- Jiménez Díaz R.M., 1985. Les maladies de l'olivier (suite et fin). *Olivæ* n° 8, 1985.
- Kabourakis E., 1999. Code de pratiques sur les systèmes de production oléicole écologique en Crète. *Olivæ* n° 77 - juin 1999.
- Katsoyannos P., 1992. Olive pests and their control in the Near East. Document FAO, 1992 – 178 p.
- Khlaif H., 2001. Rapport final du projet INCO-DC integrated control of crown gall in Mediterranean countries ». ERBIC 18 CT 970 198, pp.77-89.
- Ksantini M., 2003. Contribution à l'étude de la dynamique des populations du psylle de l'olivier *Euphyllura olivina* Costa (Homoptera, Aphalaridae) et de sa nuisibilité dans la région de Sfax. Thèse de Doctorat en Sciences biologiques Fac. Sc. Sfax – 249 p.
- Ksantini M., Jardak T., 1994. Estimation des pertes causées par le psylle de l'olivier *Euphyllura olivina* Costa (Homoptera, Aphalaridae) : Notion de seuil de nuisibilité. Com (Poster), Journées nationales sur les acquis récents de la recherche agronomique, 2-4/12/94 Hammamet (Tunisie). p. 158 – 163.
- Ksantini M., Jardak T., 1997. Essais d'évaluation des dégâts du psylle de l'olivier *Euphyllura olivina* Costa (Homoptera, Aphalaridae) sur la variété *Chemlali*. Actes des 4^{es} Journées nationales sur les acquis de la recherche agronomique 28-29/11/1997, p. 245 – 253.



- Ksantini M., Jardak T., Bouaïn A., 2000. Contribution to the study of the biology of olive psylla : insect-host relationship. 4th International symposium on olive growing. Sept. 2000, Bari (Italie).
- Martelli G.P., 1998. Enfermedades, infecciones y certificación del olivo. Panorama general – phytoma 102 : 180 – 186.
- Moalla M., Jardak T., Ghorbel M., 1992. Observations préliminaires sur un nouveau ravageur de l'olivier en Tunisie : la cigale, *Psalmocharias Plagifera* Schm. (Homoptera, Cicadidae).
- Montiel A.Y., Madueno C., 1995. Determinación del umbral de tratamientos para la mosca del olivo (*Bactrocera oleae* Gmel, Diptera, Tephritidae) en olivar destinado a la producción de aceite. Bol. Sanid.Vegetal Plagas Vol. 21 n° 4, 1995. P.577 – 588.
- Montiel A.Y., Madueno C., 1995. Cálculo práctico del umbral de tratamientos para la mosca del olivo (*Bactrocera oleae* Gmel, Diptera, Tephritidae) en olivar de producción de aceite. Bol. Sanid.Vegetal Plagas Vol. 21 n°4, 1995. P.589 – 596.
- Nasraoui B., 2000. Introduction à la phytomycologie. Edition Centre de Publication Universitaire, 185 p., 2000.
- Nico A.I., Castillo P., Rapoport P., Vovlas H., Jiménez Díaz R., 1998. Incidencia, patogenicidad e histopatología de infecciones por nematodos fitoparasitos en plantones de olivo (*Olea europaea*) en viveros de olivo en Andalucía. Phytoma, 102 : 206 – 209.
- OILB, 1977. Vers la production agricole intégrée par la lutte intégrée, Bulletin IOBC/WPRS. 1977 / 4.
- OILB, 1993. Integrated production. Principles and technical guidelines. Bulletin OILB/SROP 16 (1) 1993.
- OILB, 1998. Integrated production in Europe. Bulletin IOBC / SROP Vol. 21 (1), 1998.
- OILB, 1999. Integrated production. Bulletin OILB / SROP volume 22 (4), 1999.
- OILB, 2002. Guidelines for integrated production of olives. Bulletin OILB / SROP Vol 25, 2002.
- OILB, 2003. 1st European Meeting of the IOBC/WPRS. Chania (Greece) May 29-31, 2003.
- OILB, 2005. 2nd European Meeting of the IOBC/WPRS Study Group "Integrated production of olives crops". Abstract book. Florence – Italy, October 26-28, 2005
- Pala Y., Zumreoglu A., Fidan U., Altın M., 1997. Conclusions d'études récentes sur la lutte intégrée contre les ravageurs et les maladies qui frappent les oliviers turcs. Olivæ n° 68 - octobre 1997.
- Proceedings of CEC / FAO / IOBC Joint Meeting Pise 3 – 6 April, 1984, 512 p.
- Proceedings of the fourth international symposium on olive growing Bari, 25-30 september 2000. Acta Horticulturae n° 586-2002.
- Sánchez Hernández M.E., Ruiz Davila A.Y., Trapero Casas A., 1998. La "seca" de olivos jóvenes. Identificación y patogenicidad de los hongos asociados con podredumbres radicales. Bol. San. Veg., plagas, 24 n°3 : 581 - 602, 1998.
- Sánchez Hernández M.E., Pérez de Algaba A., Blanco López M.A. et Trapero Casas A., 1998. La "seca" de olivos jóvenes. I. Sintomatología e incidencia de los agentes asociados. Bol. Sanid.Veg. Plagas vol 24 n°3, 1998 – p. 551 – 572.
- Sánchez Hernández M.E., Ruiz Davila A., Trapero Casas A., Pérez de Algaba A.Y. et Blanco López M.A., 1996. Etiología de la "seca" de olivos jóvenes en nuevas plantaciones de olivar en Andalucía. Resúmenes del VIII Congreso Nacional de la SEF Cordolea.
- Serrano A., Alvarado M., Duran J.M., De La Rosa A., 1996. Contribución al conocimiento de *Ceramida* (*Ecapnocera*) spp. (Coleoptera, Scarabaeidae) plaga de los olivares de la provincia de Sevilla, Bol. San.Veg. Plagas, 22 : 23 – 24, 1996.
- Serrhini M.N., Zaroual A., 1995. La verticilliose de l'olivier au Maroc, Olivæ n° 58, 1995.
- Tawil M.Z., Halak H.A., Abdin M.M., 1991. Introduction à la lutte contre *Verticillium dahliae* de l'olivier. Olivæ n° 39 décembre 1991.
- Torres M., Ruiz Y., Montiel Bueno A., 2000. Introducción al conocimiento de la entomofauna del olivar en la provincia de Jaén. Aspectos cualitativos. (I). Bol. San Veg. Plagas, 26 : 129-147, 2000.

- Tosi L., Zazzerini A., 1998. Etude de la verticilliose de l'olivier en Italie centrale. *Olivæ* n° 71 - avril 1998.
- Triolo E., Materzzi A., Tom S., 1996. An isolate of tobacco mosaic tobamavirus from *Olea europaea* L. *Advances in Horticultural Science* 10 : 39 – 45.
- Tsopelas P., Tjamos E.C., 1999. Inoculation studies of olive trees with *Armillaria* species from Greece. *Phytopathol. Mediterr.*, 38, 132-136, 1999.
- Variedades de olivo en España, 2005. Ediciones Mundi Prensa. 478 pages.





Récolte mécanisée 
des olives

Agostino Tombesi
Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali
Università degli Studi
Borgo 20 Giugno, 74
06121 Perugia (Italie)

SOMMAIRE

- 8.1. INTRODUCTION
 - 8.2. LA MÉCANISATION COMME OUTIL DE DÉVELOPPEMENT DE L'OLIVERAIE
 - 8.3. PÉRIODE OPTIMALE DE RÉCOLTE
 - 8.3.1. Définition en temps réel du début de la récolte
 - 8.4. MÉCANISATION DE LA RÉCOLTE
 - 8.4.1. Détachement des fruits
 - 8.4.2. Types de machines par catégorie
 - 8.4.2.1. Aides mécaniques
 - 8.4.2.2. Gaules mécaniques
 - 8.4.2.3. Vibreurs de tronc
 - 8.4.2.4. Récolteuses
 - 8.5. RÉCEPTION DU PRODUIT ET EFFICACITÉ DE LA RÉCOLTE
 - 8.5.1. Aides mécaniques et filets
 - 8.5.2. Gaules mécaniques et filets
 - 8.5.3. Vibreurs de tronc et réception du produit
 - 8.5.4. Récolteuses
 - 8.6. FACTEURS AGRONOMIQUES
 - 8.6.1. Productivité
 - 8.6.2. Point d'attache
 - 8.6.3. Volume de frondaison
 - 8.6.4. Densité de plantation
 - 8.6.5. Formes de conduite
 - 8.6.6. Taille du fruit
 - 8.6.7. Résistance au détachement
 - 8.6.8. Variété
 - 8.6.9. Âge de l'arbre
 - 8.6.10. Terrain
 - 8.7. DÉGATS PROVOQUÉS PAR LES MACHINES
 - 8.8. TRANSMISSION DE LA VIBRATION À L'ARBRE
 - 8.9. OPTIONS CHOISIES PAR LES AGRICULTEURS
 - 8.10. RÉCOLTE AU SOL
 - 8.11. EMPLOI DE PRODUITS FAVORISANT L'ABSCISSION
 - 8.12. RÉCOLTE DES OLIVES DE TABLE
 - 8.13. CONCLUSIONS
 - 8.14. POINTS FONDAMENTAUX DE LA RÉCOLTE MÉCANISÉE DES OLIVES
- BIBLIOGRAPHIE

Recolección y mecanización

8. Récolte mécanisée des olives



8.1. INTRODUCTION

La production d'huile d'olive a connu une augmentation notable au cours des dernières décennies du vingtième siècle et cette évolution s'est poursuivie de manière accentuée au début des années 2000 (Tableau 1). L'augmentation de la production a été accompagnée d'un accroissement de la consommation dans tous les pays. La consommation d'huile d'olive s'est renforcée dans les pays caractérisés par une tradition consolidée (pays producteurs) et a augmenté de manière significative dans ceux où la production est réduite voire inexistante en raison des caractéristiques de leur système agricole ou pour des limitations de caractère climatique (Tableau 2).

La diffusion accrue de l'huile d'olive a été favorisée par la reconnaissance scientifique des propriétés sanitaires, thérapeutiques et gustatives de ce produit, qui s'est traduite par une demande croissante de cette matière grasse alimentaire dans tous les pays du monde. Toutefois, les vertus fondamentales de l'huile d'olive sont surtout liées à sa qualité élevée, en particulier lorsqu'elle correspond à la catégorie des huiles vierges extra, à sa teneur importante en antioxydants et à la présence de composés appréciés dans les tests organoleptiques.

La production d'une huile de qualité constitue par conséquent l'objectif de base vers lequel toutes les techniques de culture doivent tendre.

L'augmentation de la production et de la consommation a donné lieu à l'intensification d'un commerce international où les quantités d'huile disponibles, la qualité, le coût de production, le prix du marché en gros, le prix de vente au consommateur sont des facteurs fondamentaux. Ces derniers, dans leur ensemble, contribuent à la compétitivité de l'oléiculture de chaque pays.

Le défi de l'oléiculture consiste essentiellement à trouver un équilibre entre les coûts élevés de la production et les prix bas du marché. Le marché mondial est de plus en plus caractérisé par l'élimination des barrières douanières entre les États et il faudra garantir des prix non élevés au fur et à mesure que la globalisation tendra à augmenter et à favoriser la concurrence. Le marché sera donc favorable aux huiles dont les coûts de production sont faibles, à condition de trouver un équilibre régulier entre la production et la consommation. Toutefois, une autre condition joue un rôle essentiel dans la détermination du niveau des prix des huiles : il s'agit de la qualité. En effet, les huiles présentant des caractéristiques particulières pourront se permettre un différentiel de prix en fonction de leurs caractéristiques et de l'indice d'appréciation et des disponibilités financières du consommateur.

Le développement de l'oléiculture doit passer nécessairement par l'obtention de plus grandes quantités d'huile, la garantie d'une qualité supérieure et la recherche de coûts maîtrisés. La globali-



TABLEAU 1.

Production et consommation d'huile d'olive dans les pays traditionnels au cours des années 1997-2006 (1 000 t)

Pays	Production			Consommation		
	Moyenne 1997-2000	Moyenne 2003-2006	Augmentation annuelle % 97-06	Moyenne 1997-2000	Moyenne 2003-2006	Augmentation annuelle % 97-06
Algérie	38	41	1,3	41	40	-0,2
Argentine	9	14	5,3	7	5	-4,5
France	3	5	4,9	73	96	2
Grèce	414	395	-1,4	255	269	0,5
Italie	532	699	2,9	698	807	1,2
Libye	5	9	6,6	8	10	2,8
Maroc	71	67	2,5	53	60	1,7
Portugal	43	34	-0,9	66	66	0
Syrie	97	137	2,9	89	127	3,4
Espagne	871	1 033	3,6	512	591	1,5
Tunisie	197	170	-2,8	57	44	-4,2
Turquie	120	119	-0,7	76	51	-4,4
Monde	2 459	2 813	2	2 369	2 803	1,5

TABLEAU 2.

Consommation d'huile d'olive dans les nouveaux pays consommateurs au cours des années 1997-2006 (1 000 t)

Pays	Consommation moyenne 1997-2000	Consommation moyenne 2003-2006	Augmentation annuelle % 97-06
France	73	96	2
Royaume-Uni	30	65	6,6
Allemagne	25	40	3,4
USA	148	209	2,6
Canada	19	25	2,6
Australie	21	32	3,1
Japon	28	31	0,6
Brésil	25	24	-1,4
Monde	2369	2803	1,5

sation du marché de l'huile d'olive et la concurrence entre les différents acteurs de la filière oléicole assureront le succès et l'expansion des entreprises les mieux organisées, qui auront su interpréter et résoudre au mieux l'évolution du secteur.

8.2. LA MÉCANISATION COMME OUTIL DE DÉVELOPPEMENT DE L'OLÉICULTURE

Dans ce contexte économique international de développement de l'oléiculture, la mécanisation joue un rôle stratégique, en particulier dans la mesure où elle permet de réduire les coûts de production, d'améliorer les conditions de travail et de résoudre certains aspects sociaux fondamentaux en atténuant le manque de main-d'œuvre et en réduisant la nature pénible de certaines opérations culturales.

Il est en effet de plus en plus difficile de trouver de la main-d'œuvre disponible dans le secteur de l'oléiculture et cette situation, qui affecte tous les pays, peut s'améliorer avec le temps. Il est clair que le nombre de personnes qui se consacreront à ce secteur d'activité est appelé à diminuer. Il convient également de tenir compte de l'effort déployé par les opérateurs dans l'exécution des opérations culturales qui devra être réduit de manière à ce que les différents travaux agricoles soient exécutés dans le respect total des opérations et des conditions de sécurité. La mécanisation en général devrait toucher toutes les opérations culturales, mais surtout celles qui influencent majoritairement les coûts de production et qui exigent un emploi important de main-d'œuvre.

En oléiculture, la récolte est l'opération qui, si elle est réalisée de manière traditionnelle, influence le plus le coût de production, puisqu'elle intervient à hauteur d'environ 50 à 80 % du coût du produit. C'est l'opération qui pose le plus de problèmes en termes de main-d'œuvre dans la mesure où elle exige un grand nombre d'ouvriers durant une période limitée de l'année. En effet, en raison du caractère saisonnier du travail, les ouvriers travaillant à durée déterminée sont de moins en moins disponibles et il est de plus en plus fréquent de voir des récoltes se perdre dans des plantations caractérisées par une faible production et par des conditions difficiles dues aux caractéristiques des arbres et du terrain. Il est donc nécessaire de connaître les possibilités qu'offre la mécanisation de la récolte et les conditions dans lesquelles les machines peuvent opérer correctement, dans le respect des objectifs de qualité du produit, de la sécurité du travail, de la réduction de la main-d'œuvre et enfin du coût de la récolte.

8.3. PÉRIODE OPTIMALE DE RÉCOLTE

Les olives doivent être récoltées au moment où elles contiennent la plus grande quantité d'huile, de la meilleure qualité possible et lorsque les machines sont les plus efficaces. À cet effet, il est nécessaire de faire référence à l'évolution des paramètres qui caractérisent la maturation des olives. Les fruits reçoivent en effet à travers le pédoncule, les substances nutritives élaborées par les feuilles et les utilisent pour leur croissance et pour la synthèse de l'huile et des substances qui contribuent à en renforcer la qualité. Ce processus fonctionne de manière à ce que les substances nutritives disponibles dans la plante soient attirées par les fruits.

Les olives sont en effet caractérisées par une croissance importante en volume dans la phase initiale, c'est-à-dire dans les 45 à 50 jours qui suivent la nouaison. Ils se développent ensuite à un rythme modéré et constant jusqu'à 130-140 jours environ après la nouaison. En revanche, le poids sec augmente à un rythme constant pendant les 140 premiers

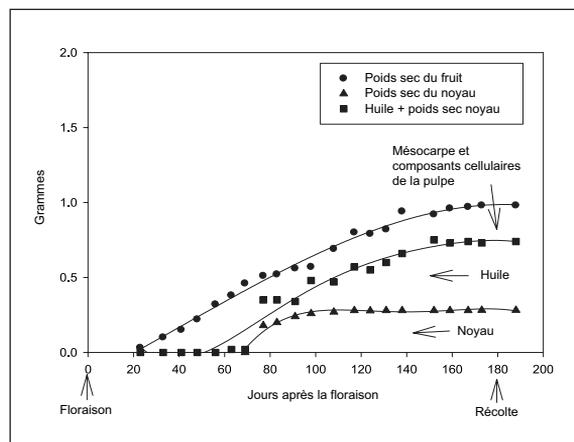


Figure 1. Évolution des principaux constituants de l'olive.

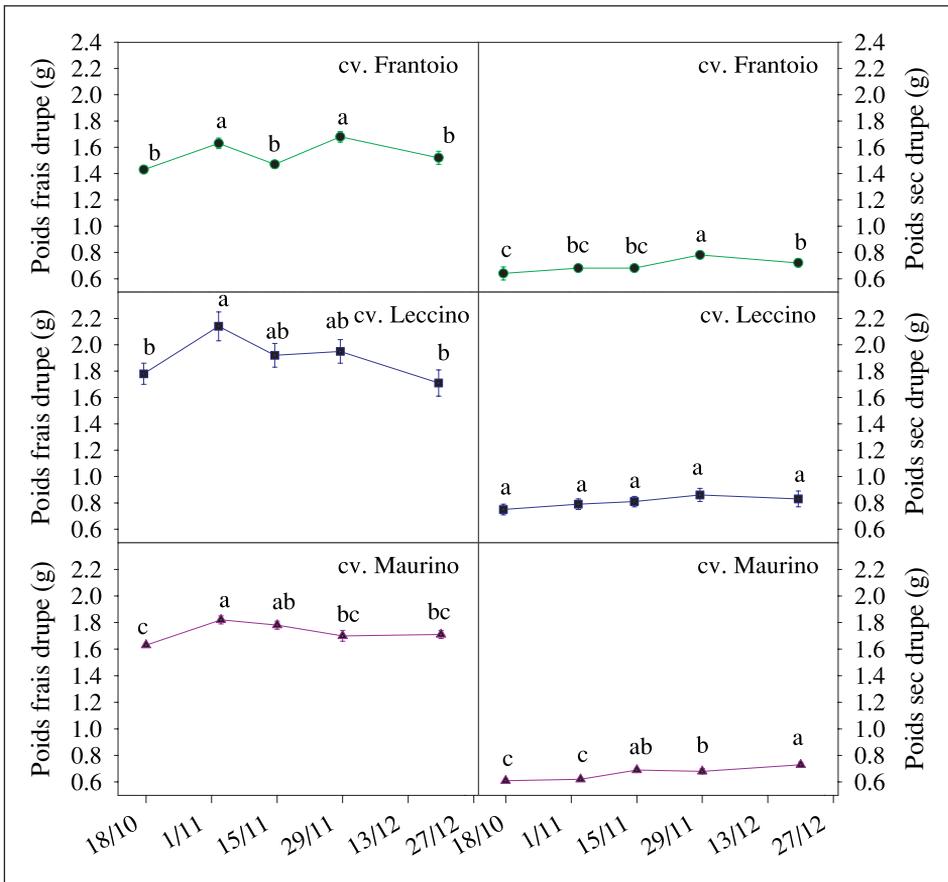


Figure 2. Évolution du poids frais et sec des olives durant la phase finale de maturation.

jours, puis ralentit notablement (Figure 1). L'huile ne commence à se former qu'à partir de 40 jours après la nouaison : l'accumulation est lente jusqu'au soixantième jour, intense entre le soixantième et le cent-vingtième jour puis de nouveau limitée. Au-delà des 120 jours à partir de la pleine floraison, le métabolisme des olives ralentit et, selon les variétés, le processus de vieillissement s'initie. Au cours de cette période, l'influence des facteurs de croissance diminue. L'acide abscissique et l'éthylène apparaissent. Dans certaines zones du pédoncule, les couches qui composent la nervure médiane s'affaiblissent et certaines cellules subissent une dégradation de leur paroi cellulaire qui donne lieu à la formation d'une strate de séparation qui s'étend jusqu'à atteindre les vaisseaux ligneux et les faisceaux fibro-vasculaires du rameau et entraîner la chute successive des fruits.

Durant la phase finale de maturation des fruits, d'importants paramètres qui influencent la quantité et la qualité de l'huile, subissent des variations parfois importantes. Ces paramètres doivent être bien évalués car le suivi de leur évolution peut permettre de déterminer la période optimale de récolte.

Pour connaître la quantité d'huile qui s'est accumulée dans les fruits, il est nécessaire de tenir compte de :

1. l'augmentation du poids des fruits,
2. l'évolution de la teneur en huile des fruits,
3. le nombre de fruits restés pendant sur l'arbre et de fruits chutés par la coulure.

Pour déterminer la qualité de l'huile, outre les principaux paramètres prévus pour les huiles vierges extra, tels que la composition en acides gras, l'acidité et l'indice de peroxydes, la teneur en polyphénols, l'analyse organoleptique, la résistance à l'oxydation et la couleur sont également des critères importants à prendre en considération. Ces facteurs sont analysés directement ou grâce à l'examen des indices de maturation qui, de manière simple et rapide, indiquent l'état de maturation des fruits et sont utiles pour déterminer la période optimale de récolte. L'attention doit surtout être portée à l'évolution des fruits à la fin de la période de la maturation, celle-ci durant environ deux mois. Au cours de cette période, les paramètres qui influencent le plus la quantité d'huile sont le poids frais et le poids sec des fruits, qui sont des facteurs difficiles à observer. En général, on observe une légère augmentation du poids sec des fruits (Figure 2). Ce qui varie de manière significative, c'est la teneur en huile. Cette période correspond en effet encore à la phase de croissance intense de l'huile qui précède la période de plafonnement de l'oléogénèse (Figure 3).

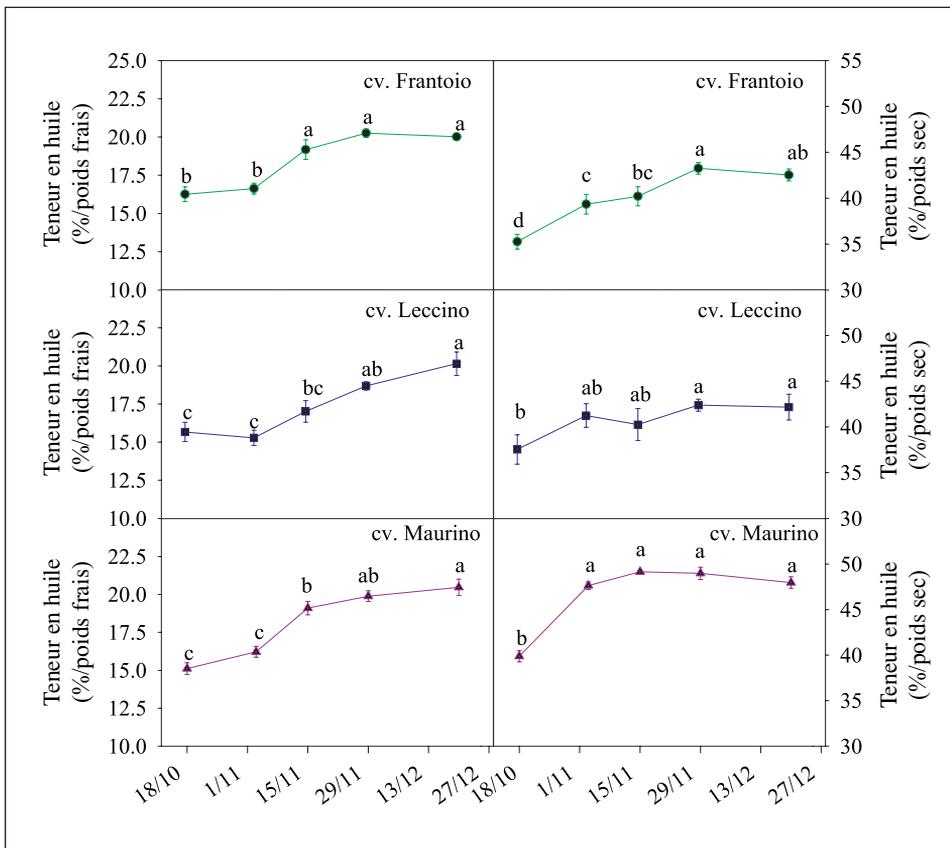


Figure 3. Évolution de la teneur en huile par rapport au poids frais et sec durant la phase finale de maturation.

Ce point de passage entre une forte augmentation et une augmentation limitée est une caractéristique qui varie fortement en fonction des variétés : cette étape est précoce dans le cas de la 'Maurino', début novembre, et intermédiaire dans le cas de la 'Frantoio' et de la 'Leccino', à la fin du mois de novembre.

Pour déterminer l'aptitude des fruits à la récolte on cherchera à connaître leur force de détachement, c'est-à-dire leur force d'attache aux rameaux de la plante. Mesurée au moyen d'un simple



Figure 4. Sac à grande maille pour déterminer la chute naturelle des olives.

dynamomètre, elle représente la force de liaison des cellules et leur niveau d'évolution. Lorsque les fruits s'approchent de la maturité, leur force de détachement diminue à des valeurs telles qu'il suffit d'un vent léger pour les faire tomber. La couleur et la force de détachement sont donc deux indicateurs importants pour la définition de la période optimale de récolte. Pour les déterminer, les méthodes expérimentales utilisées consistent à accrocher sur quelques branches fructifères de la plante des petits sacs à grandes mailles et à compter périodiquement les fruits qui y sont tombés (Figure 4). La force de détachement est généralement mesurée sur des plantes-échantillons à des intervalles de 10-15 jours, au moyen d'un dynamomètre type détecteur à fourche fixé au point d'attache du pédoncule (Figure 5).

L'évolution de la force de détachement est caractéristique de la variété. Elle se situe à des valeurs proches de 6 N avant le début du processus de formation de la strate de séparation du fruit ; elle est d'environ 4-4,5 N dans la phase intermédiaire, et diminue en dessous de 3 N au cours de la phase avancée de maturation. La coulure commence à des valeurs moyennes ou basses de la force de détachement. Elle se produit lorsque les fruits qui présentent une force limitée de détachement commencent à tomber dans des situations de vents forts ou de tempêtes (Figure 6). Normalement, les forces de détachement inférieures à 3 N sont le signe d'une coulure imminente et lorsque la chute des fruits est supérieure à 5-10 % des fruits pendants, cela a un effet important sur la quantité de l'huile que l'on peut recueillir.

Si les fruits sont sains, le degré d'acidité et l'indice de peroxydes de l'huile ne changent pas durant la maturation. En revanche, la teneur en polyphénols, les caractéristiques organoleptiques de l'huile et la couleur peuvent varier.

La teneur en polyphénols est caractéristique de la variété. En général, elle augmente durant la phase initiale de maturation puis diminue (Figure 7). La plus grande quantité correspond au début de la phase d'atténuation de la force de détachement. Les valeurs optimales devraient être supérieures à 100 ppm exprimés en acide gallique.

Les caractéristiques de l'huile s'expriment principalement par des sensations de fruité, d'amer et de piquant (Figure 8).

Le fruité suit l'évolution de la période de forte accumulation de l'huile dans le fruit et commence à diminuer

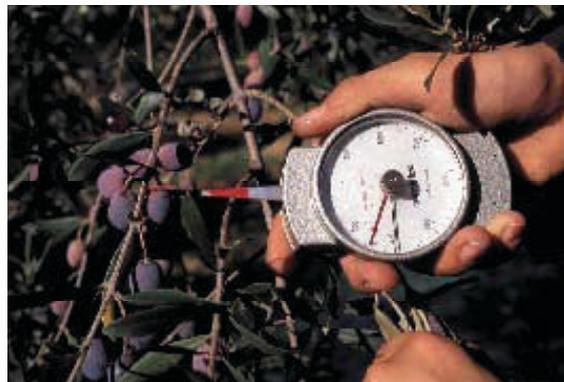


Figure 5. Dynamomètre avec détecteur à fourche pour déterminer la résistance au détachement.

lorsque la force de détachement des fruits atteint des valeurs moyennes. L'amertume et le piquant sont des caractéristiques d'huiles issues de récoltes précoces. En général, les huiles équilibrées de très bonne qualité ont un niveau élevé de fruité et un équilibre entre amer et piquant qui sont présents avec des valeurs d'intensité moyenne. Les tocophérols et les stérols tendent à diminuer durant les phases avancées de maturation. L'acide palmitique et l'acide linoléique diminuent alors que l'acide oléique augmente ou reste stable, ce qui atténue le rapport entre les acides monoinsaturés et les polyinsaturés. La stabilité à l'oxydation de l'huile dépend essentiellement des polyphénols présents et suit leur évolution.

En combinant les paramètres relatifs à la quantité d'huile que l'on peut recueillir dans les fruits et ceux correspondant à sa qualité, il est possible de déterminer pour chaque variété la période optimale de récolte (Figure 9). Sachant qu'il convient de disposer d'une période d'au moins 10-15 jours pour programmer les modalités de récolte, on mesurera régulièrement la force de détachement des fruits. Quand un certain pourcentage de fruits, environ 10-20 %, enregistre des valeurs inférieures à 3-3,5 N, cela signifie qu'ils se trouvent dans un état avancé du processus d'abscission et qu'ils pourraient commencer à tomber dans les 10 à 15 jours.

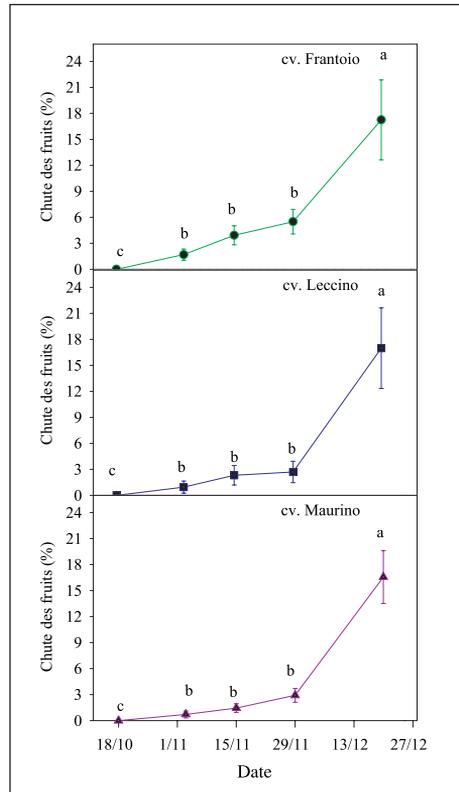


Figure 6. Évolution de la chute naturelle des fruits.

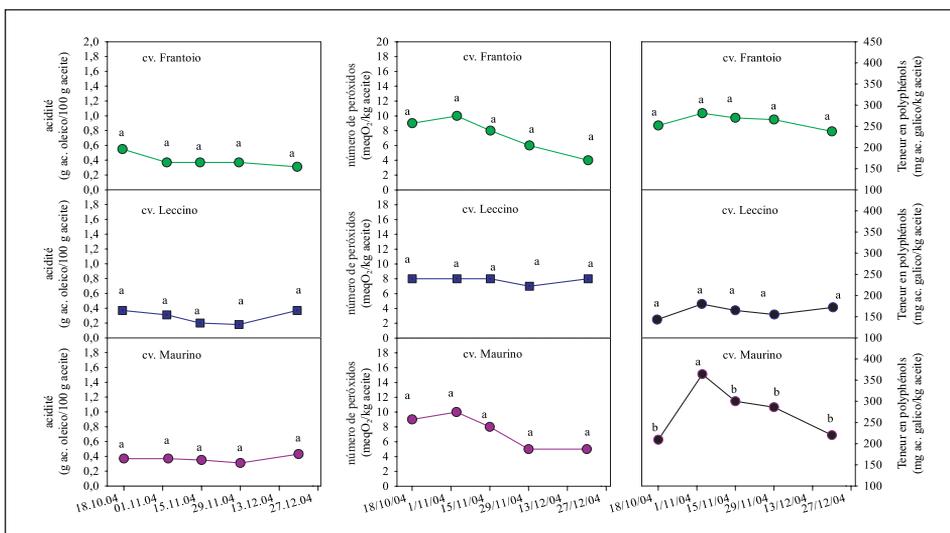


Figure 7. Variation de l'acidité, de l'indice de peroxydes et de la teneur en polyphénols de l'huile durant la maturation.

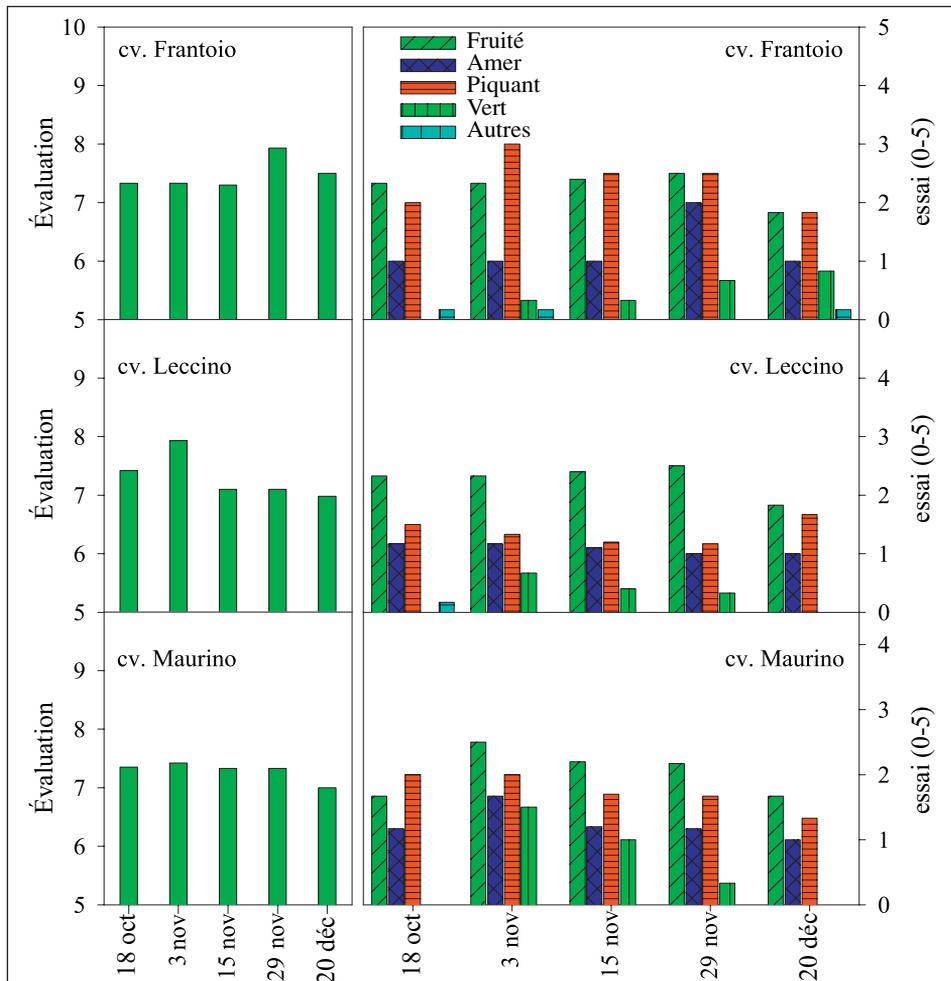


Figure 8. Variation de l'évaluation organoleptique de l'huile et de certains attributs durant la maturation des olives.

Une fois que ces conditions seront réunies, on commencera la récolte en vue de la terminer avant que la coulure ne soit supérieure à 5-10 %, de manière à ce que celle-ci ne réduise pas de façon significative la quantité d'huile disponible. Dans ces conditions, les caractéristiques organoleptiques de l'huile, qui contribuent à définir la période idéale de récolte, sont également optimales.

Le rapport entre la force de détachement et le poids du fruit représente un paramètre important qui indique le pourcentage de fruits pendants pouvant être récoltés au moyen d'équipements conçus pour la récolte. Ainsi, la période optimale de récolte peut être ultérieurement définie comme celle correspondant à la présence d'une quantité élevée de fruits pendants sur l'arbre en mesure d'être détachés par les machines dans des proportions importantes et avec des teneurs élevées en huile de bonne qualité.

Les autres caractéristiques des fruits qui peuvent changer sont la véraison, la fermeté de la pulpe et la teneur en eau. La véraison est caractéristique de chaque variété. Dans le cas de certaines variétés, les fruits passent très tôt du vert à des couleurs violacées. Pour d'autres, ils restent majoritairement

verts, même si la maturité est avancée. Cette caractéristique dépend de la charge de la production et de l'irrigation (Figure 10). La couleur des fruits influence la couleur de l'huile, car la chlorophylle reste en partie dans l'huile. En revanche, dans l'huile des olives en véraison, ce sont les pigments jaunes et orange qui prévalent.

La couleur des olives est donnée par un indice de maturation qui exprime la couleur moyenne des olives à un moment donné. L'indice le plus diffusé est l'indice de maturation de Jaén (Ferreira, 1979). Il est obtenu en prélevant autour de l'arbre, à hauteur d'homme, environ 1 kg d'olives. De celles-ci, on prélève un échantillon de 100 olives que l'on classe dans les groupes suivants :

- Catégorie 0 : peau vert intense.
- Catégorie 1 : peau vert jaunâtre.
- Catégorie 2 : peau verte avec des zones rosâtres au moins sur la moitié du fruit. Début de la véraison.
- Catégorie 3 : peau rosâtre ou en véraison sur plus de la moitié du fruit. Fin de la véraison.
- Catégorie 4 : peau noire et pulpe blanche.
- Catégorie 5 : peau noire et pulpe en véraison sur moins de la moitié.
- Catégorie 6 : peau noire et pulpe en véraison sans arriver au noyau.
- Catégorie 7 : peau noire et pulpe en véraison totalement jusqu'au noyau.

On compte les olives A, B, C, D, E, F, G, H appartenant aux catégories 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7. L'indice de maturation est le résultat de la moyenne pondérée des valeurs relevées.

$$I.M. = (Ax0 + Bx1 + Cx2 + Dx3 + Ex4 + Fx5 + Gx6 + Hx7)/100$$

La fermeté de la pulpe dépend de l'état de polymérisation des pectines. Celles-ci tendent donc à se transformer en passant de complexes à simples. Avec la maturation, la pulpe devient moins consistante (Figure 10).

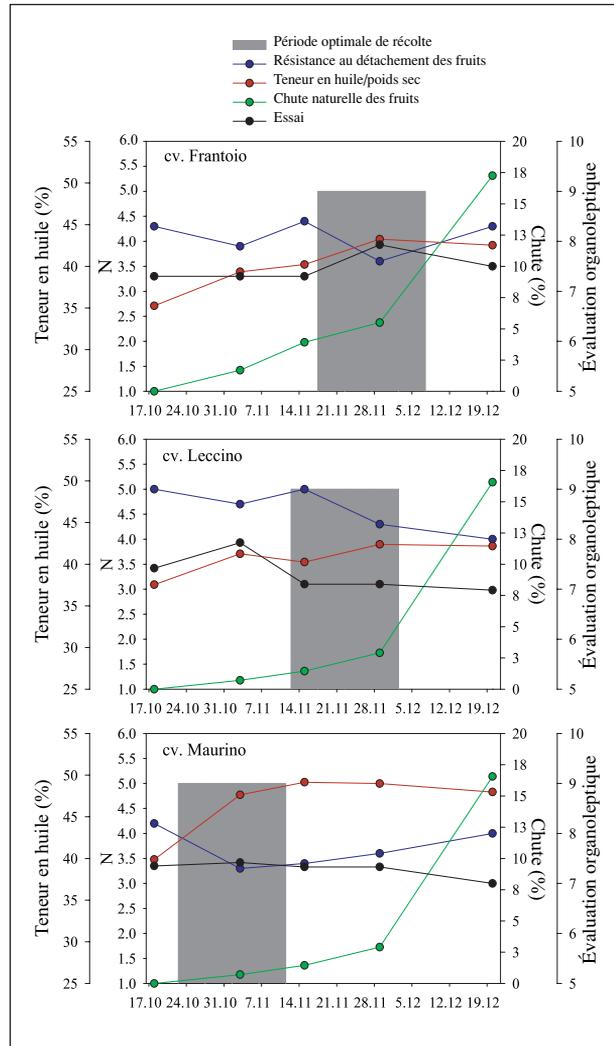


Figure 9. Période optimale de récolte en fonction des principaux indices de maturité.



Dans ces conditions, les fruits sont plus sensibles aux dégâts provoqués par les manipulations du produit durant et après la récolte. Pour les variétés à pulpe peu consistante, il convient d'éviter les blessures et de procéder immédiatement à l'extraction de l'huile pour éviter d'éventuelles altérations. Le contenu élevé en eau des fruits rend la pulpe moins résistante et peut avoir une influence sur les processus de traitement pour l'extraction de l'huile. La teneur en eau dépend des variétés, des conditions climatiques et des techniques de culture. Une teneur élevée en eau tend à retarder la maturation des fruits.

La récolte des olives à huile doit donc être réalisée dans une période optimale qui correspond à celle où les fruits sont encore sur la plante et ont une teneur élevée en huile de bonne qualité.

Pour les olives de table, les indices de maturation les plus importants sont la teneur en sucres, les substances pectiniques, la résistance au détachement, la couleur et le détachement de la pulpe du noyau.

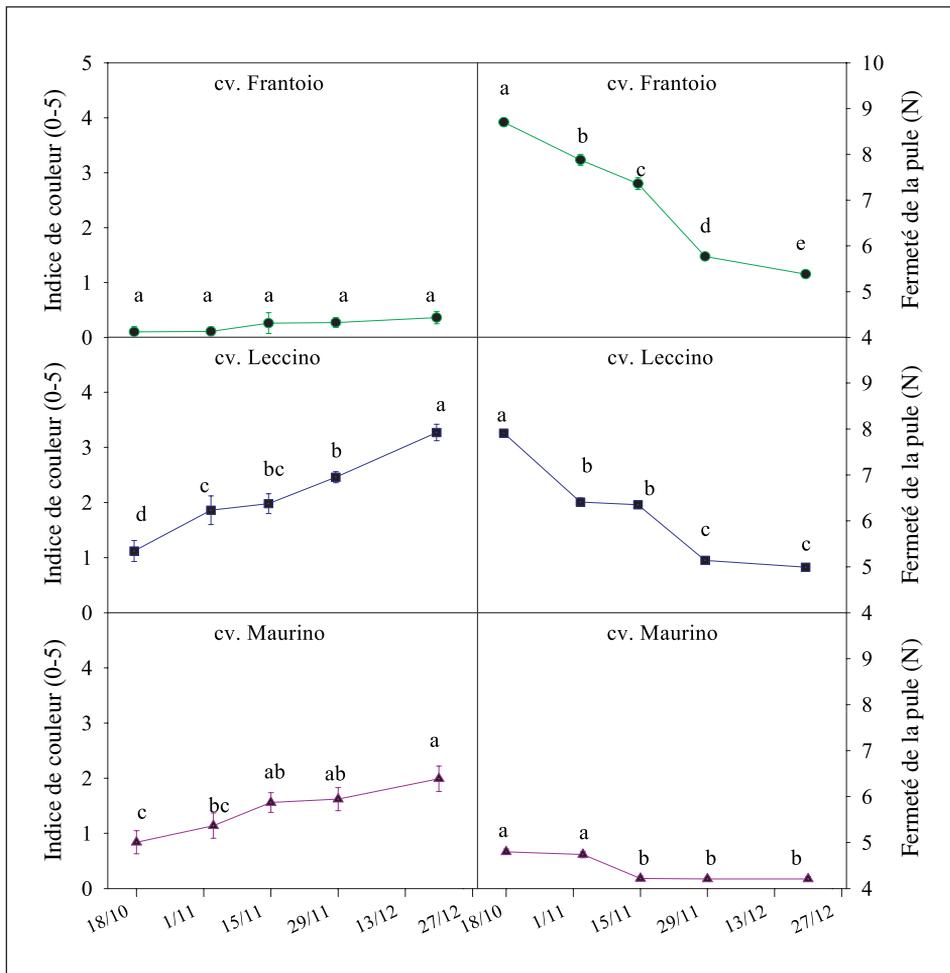


Figure 10. Variation de la couleur et de la fermeté de la pulpe durant la maturation des olives.

La couleur pour le traitement en vert doit aller du vert jaunâtre (Catégorie 0-1) et aucun fruit ne doit avoir commencé la véraison. Le noyau doit se détacher de la pulpe. Si le traitement est en noir, la couleur violacée doit être profonde et s'étendre jusqu'à 2 mm du noyau, ce qui équivaut à un indice de 5 ou 6.

8.3.1. Définition en temps réel du début de la récolte

Le suivi de l'évolution des indices de maturation devrait permettre de définir le moment du début de la récolte en temps réel ou avec quelques jours d'avance pour permettre à l'exploitation de s'organiser et d'intervenir en temps utile. Parmi les paramètres qui peuvent être utilisés à cet effet, on vérifiera la force de détachement et l'évolution de la chute. Ce sont des indices faciles à déterminer qui permettent de prévoir avec une fiabilité suffisante le moment où l'opération de récolte peut commencer et la durée de celle-ci, avant que la chute ou la qualité des olives ne porte d'altérations au produit obtenu.

La période utile pour la récolte dépend des capacités du chantier ou de l'exploitation. La mécanisation permet d'écourter la durée de l'opération et de la concentrer dans la période la plus indiquée. Il faut également tenir compte de la possibilité de conditions climatiques adverses qui peuvent retarder la récolte ainsi que des risques de basses températures qui pourraient endommager l'intégrité de la pulpe et affecter la qualité de l'huile. Lorsque l'on prévoit que la récolte sera longue, il est préférable de l'anticiper de quelques jours, pour garantir la qualité du produit.

8.4. MÉCANISATION DE LA RÉCOLTE

La mécanisation de la récolte s'est avérée la seule alternative capable de réduire les coûts de production, de pallier le manque de main-d'œuvre et de réduire les désagréments causés par des conditions climatiques adverses. Toutefois, il convient d'examiner les acquis scientifiques sur les mécanismes d'action des machines et sur les réponses des oliviers aux exigences de celles-ci pour renforcer l'efficacité de la récolte par rapport aux aspects agronomiques de la culture et pour conférer le maximum de fonctionnalité et de productivité au modèle de culture que l'on a l'intention d'appliquer.

8.4.1. Détachement des fruits

Le détachement des fruits met en jeu des forces de traction, de flexion et de rotation qui agissent sur le système fruit-pédoncule-branche.

La méthode traditionnelle de récolte emploie principalement la traction ; le gaulage implique des forces de traction et de flexion et les courants d'air exercent des forces de traction et de flexion.

La torsion est réalisée en même temps que la traction et la flexion est assurée par des machines qui produisent des vibrations.

Parmi les nombreuses tentatives effectuées au cours des dernières décennies, la méthode de la vibration s'est avérée la plus efficace pour détacher les fruits. Dans les premières expériences, la vibration était obtenue avec des secoueurs à câbles, à barre et à impact, avant l'apparition des vibreurs à inertie qui sont aujourd'hui largement employés. Ceux-ci, à travers la rotation de masses excentriques,



gènèrent des vibrations dont la fréquence peut atteindre 30-40 Hz, avec une oscillation de quelques millimètres (Figure 11). L'oscillation dépend de la masse et du poids des masses excentriques et de la masse du vibreur et de la plante soumise aux vibrations. Des essais expérimentaux ont permis d'observer que $S = 2mr/(Mv + Ma)$ où S est l'oscillation en m, m est la masse excentrique en kg, r est l'excentricité de la masse en m, Mv est la masse de la tête vibrante et Ma est la masse de l'arbre à vibrer en kg. On obtient la chute des fruits lorsque les combinaisons entre fréquence et oscillation gènèrent des accélérations suffisantes pour le détachement, ce qui est plus facile à des fréquences

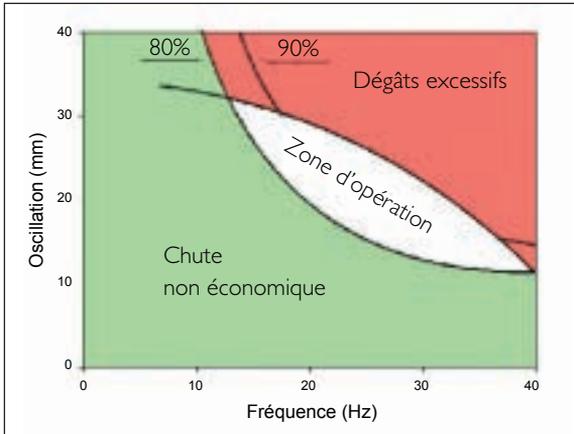


Figure 11. La zone d'opération des vibreurs à inertie correspond à des combinaisons efficaces entre fréquence et oscillation pour obtenir une chute satisfaisante du fruit et éviter d'abimer l'arbre.

de résonance du système ou à des multiples de celles-ci. Les forces qui gènèrent des torsions détachent les fruits plus facilement que celles qui ne provoquent qu'une traction ou une flexion. Les vibrations portées au point d'application du vibreur devraient donc se transmettre dans les zones de fructification de manière à amplifier l'oscillation et à entraîner des forces dans les directions horizontales et verticales.

Les vibreurs les plus diffusés aujourd'hui sont principalement constitués de deux masses excentriques qui tournent en sens opposé ou d'une seule masse excentrique qui tourne autour d'un axe.

8.4.2. Types de machines par catégorie

8.4.2.1. Outils mécaniques d'aide à la récolte

Il s'agit de petites machines, portées par l'opérateur et appliquées directement sur la frondaison ou sur des parties plus éloignées, au moyen de manches de 2 à 2-3 m. Elles fonctionnent avec des moteurs électriques à 12-24 V, ou à air comprimé ou au moyen de petits moteurs endothermiques. Elles peuvent être classées dans les catégories suivantes :

1. Gaules mécaniques

- Fourches rotatives dotées de 4-6 doigts vibrants droits ou courbés, fonctionnant au moyen d'une unité d'alimentation ou tournant autour de leur propre axe. Poids à peine supérieur à 2 kg (Figures 12 et 13).
- Peignes dotés de 10-20 axes sinusoïdaux de 17-30 cm qui tournent en même temps et de haut en bas sur la frondaison. Poids de 1,2 à 2 kg (Figure 14).
- Peignes dotés de 8 axes métalliques fonctionnant au moyen d'une unité d'alimentation et montés sur des manches télescopiques (Figure 15).



Figure 12. Fourche avec doigts droits.



Figure 13. Fourche avec doigts courbés.

2. Gaules pneumatiques

Ce sont des peignes vibrants constitués de râteaux opposés avec 3-6 doigts de plastique qui oscillent à demi fréquence à travers des cylindres à air comprimé (Figure 16). Ils agissent directement sur les fruits ou sur les branches fructifères.

Ils sont munis de manches extensibles pour explorer les parties de la frondaison plus éloignées. Ils sont reliés à des compresseurs d'air et peuvent être actionnés au moyen d'une batterie ou avec des moteurs autonomes.

3. Petits secoueurs

Ils sont constitués d'un crochet vibrant que l'on applique aux petites branches (Figure 17). La vibration est produite par un dispositif bielle-manivelle relié à un moteur endothermique. Les oscillations sont d'environ 50 mm et sont produites à une fréquence de 1 000-1 500 par minute.

8.4.2.2. Gaules mécaniques

- a) Elles sont composées de doigts flexibles d'une longueur comprise entre 1 et 1,5 m et sont fixées sur des plaques oscillantes (Figure 18). Elles permettent d'explorer les parties fructifères à l'intérieur de la frondaison et de faire tomber les fruits sur des filets disposés sur le sol.



Figure 14. Peignes dotés d'axes sinusoïdaux.



Figure 15. Peigne à axes métalliques.



Figure 16. Peigne pneumatique.

- b) Elles sont composées d'une tête oscillante constituée d'un axe sur lequel sont fixés des doigts semi-rigides qui tournent à un angle donné et à une fréquence de 700 oscillations par minute. Elles peuvent mesurer jusqu'à 8-9 m de haut et tourner à 360° (Figure 19).
- c) Le secoueur vibrant : il est constitué d'un axe muni de doigts radiaux rigides (Figure 20) et est pourvu de masses excentriques qui tournent en générant des vibrations de haute fréquence. Le secoueur passe sous la frondaison qu'il soumet à des vibrations sur les branches fructifères.

8.4.2.3. Vibreurs de tronc

Ils sont divisés en :

- a) Vibreurs à 2 masses vibrantes qui tournent en sens contraire et qui sont actionnées au moyen de deux moteurs hydrauliques indépendants disposés en ligne ou sur la partie supérieure ou inférieure du support (Figure 21). Ils provoquent des vibrations multidirectionnelles et utilisent des puissances de 30-50 kW ; les vibrations sont de 15-30 Hz et les oscillations vont jusqu'à 20-30 mm. Le poids total de la tête vibrante est de 400-600 kg.
- b) Vibreurs à 2 masses vibrantes actionnées par un seul moteur hydraulique (Figure 22) au moyen d'une poulie de renvoi du



Figure 17. Secoueur mécanique.



Figure 18. Gaule à plaque oscillante.



Figure 19. Secoueur à doigts radiaux.



Figure 20. Tête vibrante.



Figure 21. Vibreurs à deux masses et deux moteurs indépendants.

l'espace de vibration a également été adaptée ; elle est normalement de 0,8 m de large par 2,00-2,50 m de haut. Sur certains modèles, la hauteur a été augmentée jusqu'à un maximum de 3,5 m (Figure 25). Sur d'autres, le système de vibration a été amélioré pour que la vibration s'exerce à une fréquence de 400-500 cycles par minute. Le système a été transformé pour modifier la courbure des organes de battement afin de faire tomber le fruit au moyen d'une vi-

mouvement. Les deux masses peuvent avoir un poids différent et tourner à une vitesse différente. Les caractéristiques techniques sont similaires à celles du vibreur décrit au point a).

- c) Vibreurs à masse vibrante actionnée par un moteur hydraulique. Ils agissent à des fréquences élevées, supérieures à 20 Hz, et génèrent un mouvement orbital. Ils pèsent entre 100 et 300 kg et nécessitent des puissances de 30-50 kW. Ils sont faciles à manœuvrer (Figure 23).

8.4.2.4. Récolteuses

- a) Dérivées des vendangeuses

Ce type de machines avec vibration latérale, très diffusé en viticulture, a été adapté à la récolte des olives en augmentant le nombre de barres vibrantes de 4 à 10-12 (Figure 24). La taille de



Figure 22. Vibreur avec deux masses excentriques et un moteur hydraulique.



Figure 23. Vibreur avec une seule masse excentrique.

bration contrôlée, exercée de manière cyclique et alternée. Les dispositifs d'interception du fruit ont été rationalisés grâce à l'adoption de roues et de récepteurs de différentes formes afin de réduire les pertes de produit.

Les appareils sont munis de systèmes de nivellement et d'antidérapage pour garantir leur stabilité même sur des sols en pente. Il est possible de recueillir le produit à plus de 15 cm au-dessus du sol. Deux aspirateurs le nettoient avant qu'il ne soit déposé dans deux conteneurs de 1 600 litres chacun.

- b) Dérivées des récolteuses à café. Ce groupe de machines est composé de deux axes verticaux munis de doigts en plastique placés sur les rayons que l'on passe à l'intérieur de la frondaison (Figure 26). Les axes sont soumis à une vibration qui est transmise aux branches fructifères et provoque la chute des fruits.
- c) Récolteuses de grande dimension. Pour résoudre les difficultés qui se posent lorsque la frondaison des oliviers a une taille supérieure à celle adaptée aux récolteuses, la hauteur et la largeur des machines ont été augmentées. Dans les années 90, le premier prototype apparut en Italie n'a pas eu beaucoup de succès en raison des difficultés pour le déplacer d'une oliveraie à une autre et des problèmes liés à la réception du produit et à la fiabilité de la machine. À titre d'exemple, on peut citer la Colossus, machine utilisée en Australie et en Argentine (Figure 27). Elle a une structure de 4 x 4 m. Les vibreurs sont posés sur les côtés et agissent sur la frondaison de l'arbre.

8.5. RÉCEPTION DU PRODUIT ET EFFICACITÉ DE LA RÉCOLTE

Une fois que les fruits sont récoltés, ils doivent être ramassés et envoyés dans des hangars ou dans des unités d'élaboration. Pour la réception du produit, on utilise habituellement des filets en plastique de différentes tailles et grosseurs. Ces filets sont déplacés à la main ou au moyen de dispositifs semi-mécanisés ou totalement mécanisés.



Figure 24. Récolteuse dérivée des vendangeuses.



Figure 25. Récolteuse avec espace de vibration augmenté.



Figure 26. Récolteuse dérivée des récolteuses à café.



Figure 27. Récolteuse de grande dimension.

8.5.1. Outils mécaniques d'aide à la récolte et filets

Lorsque l'on prévoit l'emploi d'aides mécaniques, les filets sont posés généralement à la main sur une surface supérieure à celle occupée par l'arbre, pour réceptionner les fruits qui tombent hors de la zone de projection de la frondaison (Figure 28). Ils sont ensuite transportés à la main. La productivité du travail est alors d'environ 100 kg d'olives par heure et par ouvrier.

Les gaules facilitent la récolte car elles permettent de réaliser des opérations spécifiques comme la chute des fruits, avec des moyens mécaniques utilisant des sources d'énergie externes à l'opérateur. Elles supposent une première tentative de mécanisation de la récolte et ont un rendement de 80-95 % selon l'époque d'exécution et la résistance des fruits à la chute. Les gaules agissent assez bien dans des zones de la frondaison proches de l'opérateur ; en revanche, lorsqu'elles sont dirigées au moyen de rallonges dans les zones élevées ou éloignées de la frondaison, le rendement diminue car il s'agit d'un travail plus pénible pour l'ouvrier. En général, les outils mécaniques d'aide à la récolte permettent de doubler l'efficacité de la récolte par rapport à celle effectuée à la main avec des râtaux en plastique : on passe en effet de 10-15 kg/heure par ouvrier à 20-30 kg/heure, ce qui permet de réduire partiellement l'emploi de main-d'œuvre. Le côté pénible de ces opérations limite l'emploi de ces outils mécaniques à de petites surfaces ou pour des travaux qui ne sont pas réalisés en continu.



Figure 28. Récolte au moyen d'outils mécaniques et de filets.

8.5.2. Gaules mécaniques et filets

Les gaules mécaniques peuvent être utilisées pour différents types d'arbres (Figure 29). Elles sont actionnées par un seul ouvrier. Tous les mouvements sont effectués de manière mécanique. Il est nécessaire d'utiliser des filets pour réceptionner et recueillir le produit. Les gaules mécaniques agissent sur des parties de la frondaison. La machine doit donc être déplacée pour pouvoir explorer toutes les



Figure 29. Gaules mécaniques et filets.

parties chargées en fruits. Les temps d'exécution de l'opération par arbre sont donc assez longs. La chute des fruits est moyenne à élevée, selon la période de récolte, la taille des fruits et leur résistance au détachement.

Le rendement est de 40-50 kg/heure par ouvrier. Ces machines sont diffusées dans les zones où prédominent les oliviers dont les caractéristiques ne permettent pas d'avoir recours à d'autres types de mécanisation. La récolte et la

réception des fruits ont lieu au moyen de filets ; pour les étendre et les déplacer, il suffit d'une mécanisation limitée, l'opération étant essentiellement manuelle.

8.5.3. Vibreurs de tronc et réception du produit

a) Vibreurs de tronc et filets

Deux filets de 10 x 6 m chacun sont placés des deux côtés de l'arbre. Cette opération exige l'intervention de 4 + 4 ouvriers qui se déplacent d'un olivier à un autre (Figure 30) et qui voient le produit directement dans des remorques ou des conteneurs. Ce qui pose des difficultés, c'est d'harmoniser le travail des vibreurs et la réception dans les filets. C'est un travail pénible lorsque l'on se trouve sur des terrains en pente ou sur des sols humides. Le rendement est d'environ 60-80 kg de produit par heure et par ouvrier.



Figure 30. Vibreur de tronc et filets.

b) Vibreurs de tronc avec récepteurs semi-mécanisés

Afin de réduire la main-d'œuvre pour le déplacement des filets, on a introduit un récepteur constitué d'une remorque sur

laquelle sont fixés deux rouleaux latéraux dans lesquels sont enroulés les filets en plastique (Figure 31). Les filets sont dépliés à la main et sont posés sous la frondaison des arbres, à proximité de la remorque. Une fois que les vibreurs ont fait tomber les fruits, on verse le contenu des filets en les soulevant par les bords dans des caisses placées dans la remorque (Figures 32 et 33). Ce système est plus efficace que le précédent et son rendement est de 100-120 kg d'olives par heure et par ouvrier.



Figure 31. Vibreur de tronc et récepteur semi-mécanisé.

c) Vibreurs de tronc avec récepteur type parapluie

Le réceptacle en forme de parapluie renversé est connecté à un conteneur placé sous

le vibreur presque en contact avec le sol. La vibration de l'arbre et la collecte des olives ont lieu simultanément. Lorsque la caisse est remplie (capacité d'environ 150-200 kg), les olives sont versées dans un conteneur ou dans une remorque (Figure 34). Cette solution associe de manière efficace la vibration et la réception et donne un rendement de 200-400 kg par heure et par ouvrier. Toutefois, il est nécessaire que les plantations soient adaptées à ces systèmes, c'est-à-dire que la taille de la frondaison des arbres ne soit pas excessive.

d) Vibreurs de tronc et récepteurs placés parallèlement à la rangée

Ce système est composé de deux équipements qui sont placés parallèlement à la rangée. D'un côté se trouve le vibreur de troncs et de l'autre le récepteur (Figure 35). Ce sont des machines flexibles, capables de s'adapter à des arbres de différentes tailles et qui donnent une bonne vitesse de fonctionnement. En outre, elles sont faciles à transporter.



Figure 33. Récepteur semi-mécanisé et stockage des olives dans des caisses.



Figure 32. Récepteur soulevé à la main par les bords.

Les vibreurs de tronc sont des appareils importants pour la récolte mécanisée car ils permettent, en quelques secondes par arbre, de faire tomber un pourcentage élevé de fruits. Ils ont fait l'objet de nombreuses améliorations dans le but d'augmenter leur efficacité, leur fiabilité, leur manœuvrabilité et leur capacité d'adaptation aux différents types d'oliveraies.

Leur efficacité a été améliorée grâce à l'adoption de combinaisons optimales entre fréquence et oscillation, l'emploi de puissances élevées, de 50-80 kW, et la réduction de la masse de la tête vibrante. La simplification de la construction et l'adoption de matériaux plus résistants, ont permis d'améliorer



Figure 34. Vibreur avec récepteur en parapluie renversé.



Figure 35. Vibreur avec récepteur parallèlement à la rangée.



la fiabilité de la machine. La fixation des têtes vibrantes au tronc a également été améliorée au moyen de pinces adaptées au tronc qui réduisent les possibilités de dégâts sur l'écorce grâce à la présence de coussins protecteurs plus souples et de dimension supérieure.

La manœuvrabilité des vibreurs a été nettement améliorée avec l'emploi de têtes vibrantes légères, ce qui a permis de les monter sur des tracteurs de taille moyenne et d'augmenter les possibilités d'utilisation de la machine. Les têtes légères ont permis de diversifier la fixation sur le tronc et sur les branches principales et de faciliter leur emploi sur les arbres de grande taille ou de forme irrégulière. Les rendements de ces machines oscillent entre 70 et 95 %, selon la gestion agronomique des arbres et l'importance de la récolte.

Le succès des vibreurs de troncs s'est renforcé grâce à l'évolution des récepteurs de produit. Étendre et ramasser les filets ralentissait l'opération, demandait un grand nombre d'ouvriers et s'avérait un travail pénible. Le rendement de ce système était de 80-100 kg/heure/ouvrier. Une première amélioration a été apportée grâce à l'introduction de récepteurs semi-mécanisés qui ont permis de réduire de moitié le nombre de personnes employées et de rendre cette opération moins pénible, tout en doublant le rendement, celui-ci étant passé à 150-180 kg/heure/ouvrier. Toutefois, le progrès le plus important a été obtenu avec l'adoption des récepteurs de type parapluie, qui ont permis de mécaniser dans leur totalité les opérations de récolte. Cette amélioration a donné lieu à un emploi minimum de main-d'œuvre (deux personnes par opération) et à un rendement de 200 à 400 kg ou plus par personne et par heure, selon la production de l'olivieraie. Toutefois, ces résultats ne peuvent être obtenus que dans des plantations adaptées à ce type de mécanisation qui représente actuellement une référence importante dans la récolte des olives.

8.5.4. Récolteuses

Les récolteuses présentent le grand avantage d'opérer en continu, à une vitesse de 0,3-1 km/heure. Les vibrations de ces machines dérivées des vendangeuses s'avèrent très efficaces puisque 90-95 % des olives se détachent, même dans le cas de variétés à petits fruits et à résistance élevée au détachement, mais elles agissent sur des frondaisons de taille réduite, non supérieure à 2,00-3,50 m de haut et 0,80-1,20 m de large. C'est le grand problème des vendangeuses car il est difficile que toutes les variétés parviennent à se maintenir à ces dimensions. Jusqu'à présent, de bons résultats ont été obtenus avec les variétés 'Arbequina', 'Arbosana' et 'Koroneiki', dont le développement est inférieur à la moyenne et dont la capacité de fructification est forte. Outre le problème du contrôle de la vigueur, ce système pose des difficultés en ce qui concerne le contrôle phytosanitaire et exige que la production soit constante. Les plantations doivent réunir cette série de conditions, ce qui exige une expérimentation minutieuse. Le rendement des récolteuses est étroitement lié au volume de production puisque les temps de récolte par hectare sont d'environ 3 heures.

Les récolteuses de grande taille n'ont pas eu de succès en Europe. En Argentine et en Australie, elles sont très diffusées et permettent d'effectuer la récolte sur des arbres plus grands, ce qui n'est pas possible avec les machines de taille standard. Les résultats sont prometteurs mais en raison de leur taille et de leur coût, elles ne peuvent être utilisées que dans de très grandes exploitations. Il existe d'autres prototypes qui s'adaptent à des arbres de grande dimension, mais ils sont encore en cours de perfectionnement, l'objectif étant d'atteindre des pourcentages de chute intéressants dans des laps de temps d'exécution acceptables.

8.6. FACTEURS AGRONOMIQUES

Les facteurs qui conditionnent le plus la diffusion de la mécanisation sont ceux liés aux caractéristiques agronomiques de la plantation. Les deux types de machines qui existent actuellement sont les vibreurs de troncs et les récolteuses.

Les vibreurs de tronc exigent les conditions spécifiques suivantes :

8.6.1. Productivité

La productivité des plantations est un facteur primordial, puisque les machines agissent dans des temps donnés par rapport au nombre d'arbres ou à la surface. Plus la production est importante, plus la rentabilité du travail des machines peut être exprimée. Ainsi, dans une oliveraie mécanisée, l'efficacité de production de la plantation est essentielle pour obtenir de bonnes prestations et des résultats économiques satisfaisants. Il convient donc d'appliquer toutes les options et techniques qui favorisent une production élevée. La productivité de l'oliveraie influence directement les coûts de production ; en partant des conditions existantes dans chaque zone, des niveaux minimum ont été établis, de 45 kg d'olives en Espagne (Herruzo Sotomayor, 1986), 30 kg en Italie (dans les îles) (Paschino *et al.*, 1976) et 15 kg dans le centre de l'Italie, en dessous desquels la récolte mécanisée n'est pas opportune.

Parmi les facteurs qui conditionnent la productivité, on citera le facteur variétal et les conditions pédoclimatiques. Pour cela, l'emploi de variétés plus adaptées dans les zones à vocation oléicole est l'une des premières conditions pour obtenir de plus grandes productions.

Les soins culturaux doivent permettre aux caractéristiques génétiques et environnementales d'exprimer leur potentiel maximal de production.

8.6.2. Point d'attache

Les vibreurs peuvent se fixer aux troncs ou aux branches des oliviers (Figure 36). Sur les troncs, les vibreurs, plus grands, sont utilisés pour réaliser les opérations en un temps réduit ; lorsqu'ils sont employés sur les branches principales, la durée du travail est plus longue et la mécanisation de la réception du produit devient plus compliquée.

S'il est vrai que la vibration des branches sur des arbres de grande taille est possible, les coûts sont plus élevés que lorsque la prise s'effectue sur le tronc.

8.6.3. Volume de frondaison

Les vibreurs de tronc ont montré de bonnes prestations avec des volumes de frondaison allant jusqu'à 40-



Figure 36. Fixation d'un vibreur sur une branche.



50 m³ (alors qu'avec des volumes supérieurs, le rendement est moindre). Ces volumes sont faciles à obtenir avec toutes les variétés. Il s'agit donc d'une condition réalisable qui s'obtient dans un contexte d'équilibre de l'arbre, ne limite pas l'application des pratiques d'irrigation et de fertilisation et permet une plantation de longue durée.

8.6.4. Densité de plantation

Le schéma de plantation de 6 x 6 m est une bonne référence pour une utilisation efficace des vibreurs. Avec des distances plus grandes entre les arbres, la circulation des machines est certes favorisée mais il faut concilier l'action de la machine avec le volume de frondaison et le potentiel de production.

8.6.5. Formes de conduite

Les vibreurs exigent des arbres à un seul tronc d'une hauteur comprise entre 1 et 1,2 m, en particulier lorsque l'on prévoit l'emploi de récepteurs mécanisés. Les frondaisons doivent être ouvertes, bien exposées à la lumière et composées de 3-4 branches obliques sans écart d'orientation et de branches secondaires et tertiaires rigides et bien pourvues de branches fructifères. Les fruits doivent être situés dans la zone intermédiaire à élevée de la frondaison. Les gaules mécaniques n'ont pas besoin de conditions particulières, bien qu'il soit préférable que les fruits soient disposés sur des plans réguliers, verticaux ou légèrement inclinés. Les récolteuses dérivées des vendangeuses exigent des haies continues et des frondaisons de hauteur et de largeur bien déterminées. La surface de fructification doit être au minimum à 50 cm du sol pour faciliter la réception des fruits. Il ne doit pas y avoir de branches latérales rigides.

8.6.6. Taille du fruit

Les vibreurs de tronc répondent mieux avec des olives de grandes dimensions. Avec des fruits de moins de 1-1,5 g, le rendement baisse considérablement. En général, avec des fruits de 2-4 g, on obtient de bons résultats. Les récolteuses dérivées des vendangeuses permettent d'obtenir de bons résultats, même avec des variétés à petits fruits, comme 'Arbequina' et 'Koroneiki'.

8.6.7. Résistance au détachement

C'est l'un des facteurs les plus importants. La résistance dépend de la variété et de la période de récolte. On considère qu'elle est élevée lorsqu'elle est supérieure à 6 N, et apte pour l'obtention d'un bon rendement autour de 4 N. Toutefois, le rapport entre résistance au détachement et poids des fruits (N/g) est également important ; si ce rapport est d'environ 2, le rendement des machines est bon, ce qui n'est pas le cas avec des valeurs supérieures à 3 (voir période optimale de récolte au point 3).

8.6.8. Variété

Le rendement de la récolte mécanisée n'est pas seulement influencé par le poids des fruits et leur résistance au détachement, mais également pour la longueur du pédoncule, la présence de fruits individuels ou regroupés par inflorescence et par d'autres caractéristiques comme la forme et l'élasticité des branches, le port (érigé ou retombant) et la maturation (simultanée ou échelonnée). Globalement, les variétés qui répondent bien aux vibreurs sont 'Leccino', 'Frantoio', 'Carolea', 'Coratina' et 'Picual'.

8.6.9. Âge de l'arbre

Les vibreurs de tronc peuvent être employés très tôt, sur des arbres de 6 à 8 ans, lorsque les troncs ont un diamètre de 8 à 10 cm. Leur emploi est possible sur des arbres âgés de 60-70 ans, à condition que les troncs soient sains et de forme régulière car le bois affecté amortit la transmission de la vibration et ne garantit pas la résistance mécanique suffisante au point de fixation des vibreurs.

8.6.10. Terrain

Les terrains plats sont ceux qui répondent le mieux, bien que la mécanisation soit également possible sur des sols caractérisés par des dénivelés de 25-30 % si l'on utilise des tracteurs et des têtes vibrantes légères.

8.7. DÉGÂTS PROVOQUÉS PAR LES MACHINES

La chute de l'olive des branches fructifères est obtenue au moyen d'une combinaison efficace entre oscillation et fréquence. La limite de l'utilisation de la série d'oscillations et de fréquences est celle marquée par les dégâts possibles provoqués par celles-ci (Figure 11). Les organes les plus fréquemment affectés sont l'écorce, qui se caractérise par une résistance aux efforts radiaux de 34-41 kg cm⁻² et aux efforts tangentiels de 10-11 kg cm⁻² (Adrian *et al.*, 1964). Bien sûr, tout dépend de l'état dans lequel se trouve l'arbre, car il est plus sensible avec un métabolisme actif. La rupture de l'écorce ou son détachement au niveau du cambium n'empêche pas seulement la circulation des substances élaborées mais favorisent le développement d'infections par la tuberculose (*Bacterium savastanoi*).

La rupture des branches est favorisée par des oscillations amples à n'importe quelle fréquence. Le fait de prolonger les vibrations est donc susceptible d'engendrer des dégâts. Les zones les plus vulnérables sont le point de greffe des plantes adultes et le point d'insertion des pousses sur la structure des arbres rajeunis ainsi que les branches faibles et partiellement dévitalisées.

Les vibrations de haute fréquence provoquent la chute des feuilles, en particulier au-dessus de 40 Hz et avec des vibrations de longue durée. Cette situation affecte habituellement les cimes dépourvues de végétation.

Les racines ne semblent pas souffrir de dégâts spécifiques ; dans certains cas, certaines petites racines peuvent sortir de terre dans la partie la plus proche du tronc.

Les équipements lourds peuvent provoquer le compactage du sol s'ils sont utilisés sur un terrain humide. L'importance des dégâts sur les fruits dépend de la variété, de la destination du produit et de la période de récolte. Lorsque l'on emploie des vibreurs, il convient donc d'essayer d'obtenir une combinaison adéquate entre oscillation et fréquence, qui permet de faire tomber les fruits de manière satisfaisante sans provoquer de dégâts sur l'arbre et en veillant à ce que les branches gardent suffisamment de végétation.

Les systèmes de récolte basés sur le gaulage peuvent provoquer des blessures sur les fruits et des égratignures sur les rameaux et les branches fructifères. S'ils ne représentent pas plus de 3-5 %, ces dégâts ne causent pas de problèmes, mais dans le cas de variétés sensibles et dans des conditions d'humidité élevée, ils peuvent contribuer au développement de la tuberculose. Avec les récolteuses, le fait d'agir sur des arbres plus grands que l'espace de vibration, peut donner lieu à la rupture des branches. Ce problème pourra être résolu par une opération de taille s'il s'agit de cas ponctuels.



Pour éviter le développement des parasites en cas de blessures sur les branches de l'arbre, on appliquera un traitement à base de produits cupriques.

8.8. TRANSMISSION DE LA VIBRATION À L'ARBRE

La transmission de la vibration peut varier à l'intérieur de marges importantes. Elle est transmise de manière efficace du tronc aux branches, mais elle arrive amortie aux branches tertiaires et aux feuilles, ce qui introduit un facteur très variable et inconstant qui dépend de l'élasticité ou de la rigidité du pédoncule, de la longueur et de la flexibilité des branches fructifères et de la position de celles-ci. La fréquence naturelle d'oscillation du seul tronc est moyenne, de 26 tours par seconde ; celle du système tronc-branches principales est d'environ 16 tours par seconde, alors qu'avec les branches et les feuilles, l'amortissement est notable, ce qui rend donc peu probable l'existence de fréquences critiques en résonance sur la totalité de l'arbre. Ce phénomène peut avoir lieu seulement sur certaines parties de la frondaison, selon le type de taille, et est d'autant plus accusé que la distance de l'axe central est grande et en présence de ramifications déviées et de branches fructifères longues et retombantes.

La vibration est une bonne alternative sur les arbres peu ouverts, ayant des ramifications peu nombreuses et pas trop longues, en particulier les branches érigées, et avec une frondaison formée en cône inversé. Une forme correcte de la frondaison peut pallier l'inconvénient que suppose un rapport élevé entre résistance au détachement et poids des fruits. En revanche, la vibration ne donne pas d'aussi bons résultats sur des arbres caractérisés par une densité de frondaison excessive et n'ayant pas fait l'objet d'opérations de taille ou d'une taille d'éclaircissage. L'élimination des branches retombantes par des interventions de taille et le durcissement des branches en général augmentent le rendement de la récolte mécanique.

Les oliviers à plusieurs troncs posent des difficultés dans les opérations de fixation. Le travail de récolte est plus long et le rendement est donc inférieur. Les arbres âgés ne répondent pas de manière uniforme aux vibrations, ce qui contribue également à réduire le rendement global de la récolte.

8.9. OPTIONS CHOISIES PAR LES AGRICULTEURS

La méthode la plus diffusée est la récolte au moyen des filets. Les essais de mécanisation de la récolte des olives ont des objectifs différents. Dans les régions où le prix de l'huile est élevé, les producteurs ont tendance à récolter à la main les olives restées sur l'arbre après l'application des vibreurs.

Dans ce cas, le rendement double et la main-d'œuvre diminue, ce qui amortit le coût des machines. Dans les zones où le prix de l'huile est bas, on ne ramasse que les olives chutées par les vibreurs.

En un mois de travail, un vibreur de tronc peut faire tomber les fruits de 20-25 ha, mais il convient également pour des exploitations de 10-15 ha.

Le recours à des outils mécaniques d'aide à la récolte, comme les peignes pneumatiques, dépend du type d'arbres et de la variété. On peut les utiliser sur des oliviers dont la frondaison est basse, sur des variétés adaptées et dans de petites exploitations de 2-3 ha (Tableau 3). Même ainsi, l'opération reste pénible.

Les gaules sont employées sur des arbres et sur des variétés qui ne peuvent pas s'adapter à d'autres méthodes de récolte. Comme leur capacité de travail est faible, ils peuvent être utilisés dans

TABLEAU 3.
Capacité des systèmes de récolte

Type de machine	% de produit récolte	Rendement kg/heure et ouvrier	Effort physique nécessaire	Chute des feuilles (%)
Manuel, avec peignes en plastique	96	14	*	7,7
Peignes pneumatiques	93	26	***	5
Gaules électriques	92	28	**	6
Secoueurs portés sur le dos	65	16	****	0,2
Gaules mécaniques	90	40		4

* = léger ** = moyen *** = élevé **** = très élevé

des oliveraies dont la superficie est au maximum de 6-7 ha. Enfin, la mécanisation intégrale, très efficace, peut être utilisée dans des plantations de 6-8 à 60 ans, de densité moyenne (300 arbres/ha), sur des arbres de variétés adaptées à la mécanisation, à gros fruits, qui sont caractérisés par des troncs d'au moins 120 cm et une forme de conduite en gobelet et qui ont fait l'objet d'une taille adaptée à l'emploi des vibreurs et des récepteurs (Tableau 4).

Ce système permet d'obtenir un rendement de 80-90 % et de réaliser une bonne économie de main-d'œuvre (Figure 37). La taille de l'exploitation ne s'avère pas être un problème puisque les entreprises de services agricoles, sachant qu'il s'agit d'un service stratégique qui leur permet d'augmenter leur clientèle, incluent volontiers la récolte mécanisée dans leurs offres.

Les producteurs sont également très intéressés par la mécanisation de la récolte des olives même si, avant de prendre une décision définitive, ils doivent évaluer l'efficacité et la durée de vie des machines

TABLEAU 4.
Résultats obtenus avec les vibreurs de tronc sur les variétés 'Frantoio' et 'Leccino'

Type de machine	Puissance traction kW	Nbre ouvriers	% de fruits tombés	Arbres/heure	Productivité du travail kg/h. ouvrier
Vibreux de troncs remorqué + filets	60	5	90	31	81
Vibreux de troncs autoporté + filets	60	5	88	45	100
Vibreux de tronc automatisé + filets	77	5	89	55	172
Vibreux + récepteur	60	2	92	50	266



ainsi que leur coût d'utilisation, mais également l'aptitude des plantations, pour déterminer les avantages que peut leur apporter la modernisation des systèmes de récolte. Au cours des dernières années, les machines se sont beaucoup perfectionnées, leur construction a été simplifiée et leurs fiabilité et efficacité ont été améliorées. Quant à l'aptitude des plantations à la mécanisation, il existe des indications assez précises à ce sujet, liées à la taille de l'arbre, à la forme de conduite, à la variété, à la période de récolte, à la taille du fruit et à l'âge de l'arbre. En particulier, en ce qui concerne le volume de la frondaison, il convient de concevoir des plantations avec des arbres dont la frondaison s'adapte à ce que peuvent exercer les vibreurs les plus puissants ; si ce n'est pas le cas, on peut avoir recours à une taille énergique de la frondaison ou transférer le point d'attache des vibreurs du tronc aux branches principales. Cette possibilité doit être prévue au moment de définir le mode de conduite et de réaliser les interventions de taille.



Figure 37. Véhicule automatisé avec parapluie renversé.

Dans le secteur agronomique, l'attention est centrée sur les variétés à fruits moyens ou gros et sur les arbres de vigueur moyenne. Dans le cas des variétés à petits fruits, intéressantes pour la qualité de leur huile ou pour leur capacité d'adaptation à l'environnement, les machines seront employées lorsque les fruits présentent une résistance très faible au détachement. Le mode de conduite en gobelet est le plus adapté pour l'utilisation des machines : il permet non seulement d'obtenir un bon rendement, mais il est également facile à entretenir. Pour maintenir la productivité, il convient d'effectuer les soins culturaux pertinents : interventions périodiques de taille, fertilisation, travail du sol, contrôle phytosanitaire. Pour une mécanisation efficace, le rapport entre les machines et l'aptitude des arbres devra être constamment perfectionné afin de créer des synergies qui permettront des progrès ultérieurs.

L'efficacité des vibreurs pourrait également être améliorée si l'on parvenait à conserver leur puissance tout en allégeant le poids des pinces vibrantes et en mécanisant la réception des fruits.

Les récolteuses dérivées des vendangeuses donnent d'excellents résultats sur des arbres non supérieurs à 3 m de haut et à 1,0-1,5 m de large, qui tiennent dans l'espace de vibration sans subir de dégâts significatifs. Elles sont donc particulièrement adaptées aux plantations superintensives, de plus de 1 000-2 000 arbres/ha, qui forment rapidement une haie continue. La récolte est ensuite réalisée en continu, avec seulement 2 personnes. La capacité de travail est d'environ 3 heures/ha. Toutefois, pour ce type de mécanisation, certains paramètres agronomiques doivent être encore résolus : on ne sait toujours pas exactement comment maintenir l'arbre dans des limites de forme adéquates, comment faire pour que certaines parties de l'arbre ne perdent pas leur flexibilité ou comment obtenir une production élevée et constante. En plus, il faut connaître la vie utile de la plantation. De même, dans la mesure du possible, il faut pouvoir procéder au contrôle phytosanitaire sans recourir à des doses massives de pesticides. Certaines données disponibles sur les variétés 'Arbequina' et 'Arbosana' sont prometteuses.

8.10. RÉCOLTE AU SOL

Les olives sont récoltées au sol dans les plantations caractérisées par des arbres de grande taille et dont les fruits ont une maturation échelonnée. Des filets sont placés sous la frondaison pour re-

cueillir les olives tombées naturellement ou grâce aux vibreurs de grande puissance. Les fruits sont alors disposés en tas à proximité du tronc à l'aide de balais ou de balayuses mécaniques qui réalisent des parcours concentriques (Figure 38).



Figure 38. Balayuse mécanique.

Les olives sont ensuite aspirées par des machines puis dirigées dans des conteneurs jusqu'aux machines nettoyeuses situées dans l'exploitation (Figure 39).



Figure 39. Nettoyeuse d'olives.

La mécanisation s'avère très avantageuse, car elle permet de récolter jusqu'à 100 kg de fruits par personne et par heure. Une alternative peut consister à placer des filets sous la frondaison depuis le début de la chute naturelle des fruits. L'inconvénient est que les fruits récoltés sont souvent trop mûrs. À cela s'ajoute le coût des filets et de l'emploi continu de main-d'œuvre. Bien qu'il soit encore très diffusé, ce système devrait être remplacé au moyen d'interventions à long terme visant à modifier la structure et la taille des arbres pour permettre de récolter directement sur l'arbre à un coût plus économique.

8.1.1. EMPLOI DE PRODUITS FAVORISANT L'ABSCISSION

Il s'agit de substances qui accélèrent les processus de maturation des olives et réduisent leur résistance au détachement, ce qui facilite la récolte. Leur application a toutefois montré qu'ils n'agissaient pas de manière uniforme sur la totalité des fruits et que leur effet était supérieur sur les fruits ayant déjà entamé leur processus de maturation. Outre une réduction globale de la résistance au détachement, on obtient une augmentation de l'abscission, ce qui donne lieu à un accroissement d'environ 15-20 % de l'efficacité de la récolte manuelle ou mécanisée au moyen des vibreurs. Les inconvénients seraient ceux liés à l'augmentation de la chute naturelle, l'inefficacité des produits en raison des basses températures et le coût du produit, problèmes qui peuvent être palliés partiellement au moyen du CGA 15281 qui présente une plus grande rapidité d'action. Lorsqu'on a recours à la récolte au sol, les produits qui favorisent l'abscission peuvent être utiles car ils augmentent la chute naturelle, abrégant ainsi la période de récolte, surtout dans les régions méridionales, où les températures sont très élevées, même au moment de la maturité des fruits.

8.1.2. RÉCOLTE DES OLIVES DE TABLE

Les olives de table sont récoltées lorsque leur couleur passe du vert au vert clair ou au moment de leur pleine maturité. En général, elles sont caractérisées par un poids élevé et donnent de bons résultats en pleine maturité ; en outre, les éventuels dégâts que peut subir la pulpe se résolvent facilement avec les processus de transformation industrielle.



Les olives récoltées en vert posent davantage de problèmes en raison de leur résistance élevée au détachement et au fait que la pulpe soit très sensible aux dégâts provoqués par le contact des olives avec les organes structurels de l'arbre ou ceux du récepteur ou bien lorsqu'ils tombent au sol en cas d'emploi de filets.

Avec la variété 'Manzanilla', en optimisant le fonctionnement d'un vibreur de troncs, on a obtenu des pourcentages de récolte de 35 à 74 % et un taux d'olives abîmées de 58 %, contre 6 % dans le cas de la récolte manuelle, bien que les différences se réduisent à moins de 5 % après la fermentation. Toutefois, pour obtenir ces résultats, le produit a été soumis au processus d'élaboration dans les quelques heures suivant la récolte (Humanes *et al.*, 1984). Le rendement étant bas, il s'est avéré nécessaire d'utiliser des produits favorisant l'abscission, qui ont entraîné des problèmes supplémentaires et limité l'application de la récolte mécanisée.

En Italie, les rendements obtenus ont été de 80 %, avec des dégâts sur 3 à 60 % des fruits, contre 9 à 25 % de dégâts dans le cas de la récolte manuelle (Lombardo, 1978). Les olives les plus sensibles sont, dans l'ordre décroissant : 'Nocellara Messinese', 'Nocellara Etnea' et 'Sant'Agostino'. Des résultats meilleurs ont été obtenus en utilisant des récepteurs pourvus de ralentisseurs. Avec 'Ascolana', dont la fermeté de la pulpe est d'environ 214 g/cm², on a obtenu 15 % d'olives intactes, contre 30 % avec une récolte manuelle. Dans le cas des variétés 'Santa Caterina' et 'Itrana', dont les pulpes ont une fermeté de 340 et de 372 g/cm² respectivement, le pourcentage a été de 75 %, contre 85 % avec la récolte manuelle. Les légers dégâts sur les olives peuvent être résolus au cours de la transformation ; on peut mécaniser la récolte des fruits de 'Santa Caterina' et 'Itrana' si les filets sont soulevés à la main, puisque le rendement de la récolte atteint 90 %, sans que les dégâts sur les fruits soient préoccupants (Antognozzi *et al.*, 1984).

8.13. CONCLUSIONS

Dans tous les pays producteurs d'olives à huile ou d'olives de table, on attribue un rôle fondamental à la réduction des coûts de la récolte pour résoudre les difficultés économiques et permettre à l'oléiculture d'être compétitive et capable de satisfaire la demande des prochaines décennies.

L'évolution de la culture pour atteindre un haut niveau de mécanisation ne suppose pas seulement d'utiliser les équipements adéquats, mais également de réviser les schémas de plantation, en adaptant l'arbre à l'emploi des machines et en optimisant les équipements utilisés pour la récolte.

Dans cette optique, l'étude des processus de maturation a permis de définir la période optimale pour la récolte, qui correspond à celle où la teneur en huile des fruits est la plus élevée, la chute naturelle n'a pas encore commencé, la résistance au détachement commence à diminuer et les qualités de l'huile sont maximales.

La vibration la plus efficace pour le détachement du fruit doit être régie par un rapport précis entre oscillation et fréquence pour éviter les dégâts sur les branches et les feuilles et à moindre degré, sur les racines.

Les vibrations multidirectionnelles augmentent l'efficacité de la transmission et l'emploi de modèles de vibration différents fournit une efficacité encore plus grande. Des améliorations significatives ont été apportées aux vibreurs : en les rendant moins lourds, pour une efficacité équivalente, la puissance nécessaire est inférieure.

Une fois résolue la chute des fruits, l'important est la réception des olives, qui devrait être mécanisée afin de baisser les coûts et de réduire notablement l'emploi de main-d'œuvre (Figure 40).

Pour permettre la mécanisation, il convient d'agir sur les facteurs agronomiques, en renforçant la productivité, en diffusant les variétés aptes à la récolte mécanisée et en optant pour des formes de conduite qui répondent à la transmission des vibrations et aux spécificités des machines.

La récolte au sol peut également être mécanisée de manière efficace bien qu'il soit nécessaire de réaliser des interventions profondes pour restructurer les oliveraies, avec des résultats à moyen et à long termes.

Les produits qui favorisent l'abscission posent des problèmes car leur action varie en fonction des facteurs climatiques et leur utilité ne s'avère pas toujours évidente.

Si l'on choisit les variétés adéquates et si l'on prend les précautions opportunes durant la récolte et l'élaboration, la récolte des olives de table peut être considérée comme mécanisable.

Le développement de la mécanisation de la récolte dépend des solutions mécaniques les plus efficaces, comme le sont actuellement les vibreurs de tronc avec récepteur type parapluie et les récolteuses inspirées des vendangeuses.

Leur emploi suppose l'aménagement des oliveraies, c'est-à-dire l'établissement d'un programme de création à long terme de nouvelles plantations. On pourra opter pour un système intensif, avec des densités de 250-300 arbres par hectare, ou pour des systèmes déjà mis à l'épreuve et adaptables à presque toutes les variétés et à de nombreuses zones à vocation oléicole.

On pourra également opter pour de nouvelles plantations superintensives après avoir résolu les problèmes liés au contrôle de la taille de l'arbre et de la gestion agronomique de l'oliveraie.



Figure 40. Vibreur de tronc et parapluie inversé : une combinaison très efficace.

8.14. POINTS FONDAMENTAUX DE LA RÉCOLTE MÉCANISÉE DES OLIVES

- La mécanisation joue un rôle stratégique dans le développement de l'oléiculture, car elle réduit les coûts de production, limite l'emploi de main d'œuvre et facilite le travail.
- Chaque variété a une période optimale de récolte particulière qui correspond au moment où l'on obtient la plus grande quantité d'huile et de la meilleure qualité et qui permet une efficacité élevée des machines.
- Les paramètres les plus efficaces pour déterminer la période optimale de récolte sont la résistance au détachement des fruits, la chute naturelle des olives et l'évaluation organoleptique.
- La récolte est la pratique de culture qui a le plus besoin d'être mécanisée car si elle est effectuée selon des méthodes traditionnelles, elle représente 50-80 % du coût de production.



- La chute des fruits se produit grâce à l'action combinée de forces de traction, de flexion et de torsion.
- La vibration a démontré qu'elle est efficace pour faire tomber le fruit lorsque le rapport entre oscillation et fréquence est adéquat et lorsque l'on atteint des niveaux d'accélération suffisants.
- Les types de machines sont les suivants : outils mécaniques d'aide à la récolte, gaules mécaniques, vibreurs de tronc, récolteuses, machines pour la récolte au sol.
- Les outils mécaniques d'aide à la récolte et les filets multiplient par deux la productivité du travail par rapport à la récolte manuelle mais la tâche reste pénible. On les utilise pour de petites superficies ou sur des frondaisons pas trop élevées par rapport au sol.
- Les gaules mécaniques permettent d'obtenir un bon rendement mais l'opération de récolte s'avère lente. Elles sont utilisées sur des arbres qui ne s'adaptent pas aux autres systèmes de mécanisation.
- Les vibreurs de tronc sont efficaces et leur rendement est élevé lorsqu'ils sont associés à des filets. Ils atteignent leur efficacité maximum avec des récepteurs mécanisés de type parapluie.
- Les plantations doivent être adaptées à ce type de mécanisation. Les arbres doivent avoir un tronc d'au moins 1,00-1,20 m et un volume de frondaison moyen de 30-50 m³. Il convient de planter des variétés à fruits moyens-gros et d'opter pour des schémas de plantation d'au moins 6 x 6 m.
- Les récolteuses dérivées des vendangeuses réalisent un travail optimal sur des arbres de petite taille, de 2-3 m de haut et de 0,8-1,2 m de large. L'emploi et la diffusion de ces machines sont conditionnés par la possibilité de maintenir la taille et l'élasticité de l'arbre, de garantir une production élevée, de contrôler efficacement les parasites et de permettre une vie utile de la plantation économique.

BIBLIOGRAPHIE

- Adrian P.A., Fridley R.B. – Shaker clamp design in relation to allowable stresses of tree bark. *Transaction of ASAE* 7 (3), 232-234, 1964.
- Antognozzi E., Cartechini A., Preziosi P. – La raccolta meccanica delle olive da tavola. *Giornate dell'olio umbro*, Foligno 3-4 dicembre, 72-80, 1984.
- Barranco D., Fernández-Escobar D., Rallo L. – *El cultivo del olivo*. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, 1997.
- Ferreira J. – *Explotaciones olivereras colaboradoras*, n. 5- Ministerio de Agricultura, Madrid, 1979.
- Herruzo Sotomayor B., Porrás Piedra A. – Recolección mecanizada de aceituna. *Olea*, 17, 235-239, 1986.
- Giametta G. – La raccolta delle olive in "Olea trattato di olivicoltura". Ed agricole, Bologna, 2003, 235-260.
- Humanes G., Herruzo Sotomayor B., Pastor Muñoz-Cobo M. – Recolección mecánica de aceituna de mesa con posterior aderezo al estilo sevillano. *Olea*, June, 72-88, 1984.
- Lombardo N. – Prove di raccolta meccanica delle olive da tavola verdi. *PF. Meccanizzazione agricola C.N.R.* n. 2, 81-84, 1978.
- Paschino F., Puzzone A. – Periodo utile per la raccolta meccanica delle olive in Sardegna, con e senza cascolanti. *Studi Saresesi* 24, 331-346, 1976.
- Ravetti L. M. – Evaluation of New Olive Mechanical Technologies in Australia. 5th International Symposium on Olive Growing, Izmir, 27 Sept.-2 Oct. 2004.
- Tombesi A., Capoccia L., Boco M., Farinelli D. – Studio dell'evoluzione degli indici di maturazione per ottimizzare l'epoca di raccolta delle olive. *Rivista di Frutticoltura*, 3, 2006, 12-19.
- Tombesi A., Guelfi P., Nottiani G., Boco M., Pilli M. – Efficienza e prospettive della raccolta meccanica delle olive. *Informatore Agrario*, 25, 2004, 49-52.
- Tombesi A. – Physiological and mechanical advances in olive harvesting. *Int. Symp. on Olive Growing*. Cordoba, 1989, in *Hacta Horticulturae*, 286, 399-412.
- Tsatsarelis C.A. – Détachement des fruits. *Riv. di Ing. Agraria*, 3, 139-148, 1984.



CONSEIL OLÉICOLE INTERNATIONAL
Príncipe de Vergara, 154 - 28002 Madrid, España
Tel.: 34 91 590 36 38 - Fax: 34 91 563 12 63
E-mail: iooc@internationaloliveoil.org
<http://www.internationaloliveoil.org>