

# **CONCEPTION ET CONDUITE DES VERGERS AGROECOLOGIQUES**

**Messaoud MARS  
ISA Chott-Mariem  
Octobre 2023**

## Agroforesterie - Bénéfices de l'arbre

- Agroforesterie : mode de production agricole associant sur une même parcelle des plantations d'arbres à d'autres cultures, dans la perspective d'effets bénéfiques réciproques, plus d'indépendance des intrants et plus d'efficacité économique.
- « Les bénéfices apportés par les arbres sont nombreux : ombre, stockage du carbone dans le sol, abris pour la faune, etc. Les arbres font partie des systèmes de production et sont cultivés pour leur bois et/ou fruits. »
- L'arbre est intimement lié à la pérennité du système agricole et de son fonctionnement. La présence de l'arbre augmente les surfaces d'échange entre le système et son environnement, favorisant ainsi les régulations biologiques.
- « Agroforesterie : agriculture diversifiée, performante, riche en solutions innovantes, où on peut compter sur la complémentarité de l'arbre avec les autres cultures. L'arbre est un élément essentiel et structurant de la ferme. »

(Lauri *et al.*, 2016; Verzotti, 2017; Lauri, 2023)



## **Système agroforestier à cacaoyer (Cameroun)**

**Cacaoyer associé à des palmiers à huile et cultures vivrières (manioc, igname, arachide)  
(Lauri, 2016)**

# **1- Conception des vergers agroécologiques**

# POURQUOI UN VERGER AGROÉCOLOGIQUE ?

(Verzotti, 2017; Dorion, 2023)

« Système de production **écologiquement équilibré** dans lequel **l'arbre fruitier** joue **un rôle majeur**, entre autres par sa capacité à stocker le carbone et à limiter le réchauffement. »

Un tel système permet de :

- proposer une **offre variée de produits** (fruits + légumes) tout au long de l'année
- assurer une **stabilité économique** en cas d'aléas climatiques et de variation des prix sur le marché.

## Objectifs agronomiques et environnementaux

### ● A l'échelle du système « arbre - cultures légumières »

- Optimisation de **l'énergie solaire** grâce à une **photosynthèse maximisée** par unité de surface de production
- Ombrage et brise-vent : augmentation de **l'humidité de l'air** : réduction de la demande en eau des cultures et **diminution des apports d'irrigation**
- Augmentation du nombre de **pollinisateurs** et d'**auxiliaires** : **gains quantitatifs et qualitatifs** au niveau des récoltes, **contrôle biologique** des ravageurs des cultures : réduction de l'usage de produits phytosanitaires

- Réduction de **l'érosion du sol**, amélioration de la **capacité de rétention de l'eau** dans le sol
- Amélioration de la **fertilité des sols** : plus de matière organique : **stabilité du sol** et apport en **éléments minéraux** via la création d'un humus stable
- Atténuation de la **pollution des eaux par les nitrates** par prélèvement de l'azote du sol non capté par les cultures

- **A l'échelle de la ferme**

- **Optimisation des surfaces utilisées** et des rendements par unité de surface et/ou par unité de main d'œuvre : amélioration de la **productivité globale** des parcelles : jusqu'à **30% de biomasse en plus** par rapport aux cultures séparées
- Intérêt particulier des associations des cultures dans des **zones où l'accès au foncier agricole est difficile**
- Création d'un **microclimat** et **ombrage** : meilleures **conditions de travail**, surtout en périodes chaudes et sèches



## ● A l'échelle de la région

- Parcelles agroforestières = **zones de refuges** empruntées par de nombreuses espèces mobiles : « **corridors** » de conservation de la biodiversité
- **Stockage additionnel de carbone** : plus de matière organique incorporée au sol par les racines
- **Purification des polluants** comme les métaux lourds (Pb, Cd, Mn...)
- Création de paysages **symboliques d'une agriculture respectueuse de l'environnement**, pouvant être un appui pour **promouvoir ses produits** et attirer les consommateurs.

**Oasis** : culture en étages = **refuge** pour les pollinisateurs



## ***Verger agroécologique : vision au-delà du productivisme***

- Aspects **économiques**: production de fruits et légumes et autres produits végétaux et animaux **(services d'approvisionnement)**
- Aspects **agronomiques**: adaptation / adaptabilité des variétés et races locales, durabilité des ressources en sol et en eau ... **(services de soutien)**
- Aspects **environnementaux**: purification de l'air, maintien de la biodiversité, fixation du carbone ... **(services de régulation)**
- Aspects **paysagers et culturels**: savoir-faire, transmission du savoir ... **(services culturels)**
- Aspects **sociaux**: solidarité, partage des ressources, indépendance des marchés de semences et d'intrants ...



## **2- Installation des vergers agroécologiques**

## ● Etapes préliminaires - Facteurs à considérer

- Conditions pédoclimatiques, socioéconomiques et agrotechniques dans la région cible
- Disponibilités en **eau d'irrigation** (continue, d'appoint, techniques particulières de collecte des eaux pluviales ou autres...)
- **Systèmes et modes** de production pratiqués (associations traditionnelles...)
- **Statut** du terrain : nouvelle création ou réhabilitation d'une ancienne plantation
- **Topographie** et **Exposition** du terrain
- **Profondeur** du sol : réussite du verger agroforestier : un sol profond permet l'enracinement des arbres sans concurrencer les cultures légumières associées.  
*« Sur un **sol peu profond**, les racines des arbres et celles des légumes se retrouveront dans le **même horizon** et se feront **concurrence pour l'eau** et les **éléments nutritifs**. Les racines des arbres seront plus exposées aux passages d'**outils de travail** du sol ou de binage, assez réguliers en maraîchage. » (Warlop et al., 2017)*
- **Alcalinité**, richesse en **matière organique**, **biofertilité** du sol (+ possibilités d'amélioration...)
- **Précédents** cultureaux

# CHOIX DES CULTURES

***Verger agroécologique : pas de monoculture***

***Diversification variétale et/ou spécifique***

- Intérêts **agronomiques** : sauvegarde des variétés pollinisatrices de moindre valeur commerciale, adaptabilité aux variations climatiques et aux changements socioéconomiques...
- Intérêts **économiques** : diversification des usages potentiels des produits : diversification des revenus
- Intérêts **environnementaux** : habitats diversifiés pour les pollinisateurs et insectes utiles, paysages diversifiés

- Différentes variétés fruitières
- Différentes espèces fruitières
- Espèces fruitières + espèces légumières « **Vergers maraichers** »
- Espèces fruitières + espèces légumières + autres cultures
- Espèces fruitières + autres cultures + petit élevage

## ● CHOIX des CULTURES FRUITIERES (Pérennes)

- Choix des espèces : considérer les exigences écologiques et les possibilités d'écoulement des produits
- Choix des variétés et porte-greffe(s)
- Choix des proportions des espèces et des variétés (considérer les possibilités d'introductions ultérieures d'autres espèces)
- Choix du modèle de plantation (en lignes simples, en « double-rangs », en quinconce, selon les courbes de niveau ...)
- Choix de l'orientation des lignes : considérer le niveau d'ombrage attendu entre les arbres et entre les lignes d'arbres

## ● CHOIX des CULTURES HERBACEES (Maraichères ou autres)

- Choix des espèces, variétés et porte-greffe(s) : priorités aux variétés locales
- Bioagresseurs associés ??
- Choix du modèle d'organisation des cultures légumières :
  - linéaire : alternance de plusieurs planches ou rangs de légumes et de(s) ligne(s) d'arbres
  - conduite à plat, en buttes, sur ou dans un couvert végétal...

## ● Choix des porte-greffes

Porte-greffe de <b>vigueur moyenne</b>	Porte-greffe de <b>forte vigueur</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Développement moyen des arbres</li> <li>- Volume et ombrage moyens : plus de possibilités d'associations</li> <li>- Entrée en production plus rapide</li> <li>- Concurrence importante des cultures associées et adventices</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vigueur importante <b>à maîtriser (besoins ?)</b></li> <li>- Ombrage important</li> <li>- Mise à fruits plus lente</li> <li>- Bonne concurrence avec les cultures herbacées et les adventices</li> <li>- Vergers plus riches en biodiversité (nidifications)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Plus grande sensibilité aux pathogènes du sol (champignons, nématodes ...)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Installation plus rapide</li> <li>- Meilleure rusticité des arbres</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Arbres parfois plus fragiles : <b>à protéger ...</b></li> <li>- Conduite (taille ...) plus facile</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Port élevé facilitant la conduite des cultures, la circulation dans la parcelle, et l'entretien</li> <li>- Conduite plus difficile</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cueillette des fruits facile</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cueillette des fruits plus difficile</li> </ul>

(Warlop *et al.*, 2017)

## ● Choix des variétés

- Adaptation écologique: besoins en **froid**, en **chaleur**, en **lumière** ...  
(*Priorité aux **variétés locales***)
- Adaptation au **sol** (variétés **non greffées**)
- **Compatibilité** avec le(s) porte-greffe(s) adaptés à la région
- Habitude de **croissance, architecture** ...
- Besoins des **marchés** (surtout marchés **voisins**)
- **Diversification** des fruits (goût, saveur, couleur, forme, calibre...)
- **Etalement** de la production (selon sa destination)
- Tolérance / sensibilité aux **bioagresseurs**
- Besoins de **pollinisation croisée** (**variétés interfertiles**)



## Intérêts des associations variétales

- Amélioration de la **production** pour les variétés autostériles et même celles jugées autofertiles
- Amélioration de la **qualité des fruits**: caractéristiques pomologiques, organoleptiques, nutritionnelles et technologiques
- Maintien des **variétés pollinisatrices** (à faible valeur commerciale) et des **pieds mâles** (espèces dioïques)
- Maintien des insectes **pollinisateurs** (abeilles domestiques et autres)
- Diversité des fruits et des **paysages**
- **Effets indésirables: dureté des graines, éclatement des fruits en cas d'excès de pollinisation**



- **ECARTEMENT** entre **lignes** d'arbres et entre **arbres** sur la ligne :
  - Zone de culture
  - Espèces et variétés, associations variété/porte-greffe
  - Besoins en pollinisation croisée
  - Type de « **système maraîcher** » introduit avec les arbres : fréquence de travail du sol faible, degré de mécanisation des cultures (binage, récolte)
  - Largeur optimale des **planches de culture** de légumes (variable avec les saisons, l'âge des arbres...)
  - Type de **mécanisation** et écartement entre roues des engins utilisés
  - Facilité **d'accès aux arbres** toute l'année (taille, observations...) et d'organisation des **chantiers de récolte** (olives, amandes ...)

## ● **AGENCEMENT des CULTURES dans la parcelle**

- Prendre en considération les **besoins de conduite et de récolte** des différentes espèces / variétés
- Prendre en considération la **hauteur optimale** des différentes cultures à associer :
  - besoins en lumière
  - mode de croissance et type de port
  - résistance au vent et à la chaleur
- Les espèces potagères sont réparties (**par rapport aux arbres**) selon leur **tolérance à l'ombrage et leur enracinement**. Exemples :
  - les salades, radis, céleri supportent bien l'ombre.
  - les légumes feuilles, haricots et pois, légumes racines, la plupart des plantes aromatiques poussent bien à mi-ombre.
  - les légumes-fruits (tomate, poivron, courge et courgette, aubergine) ont besoin d'assez d'ensoleillement (choix variétal).

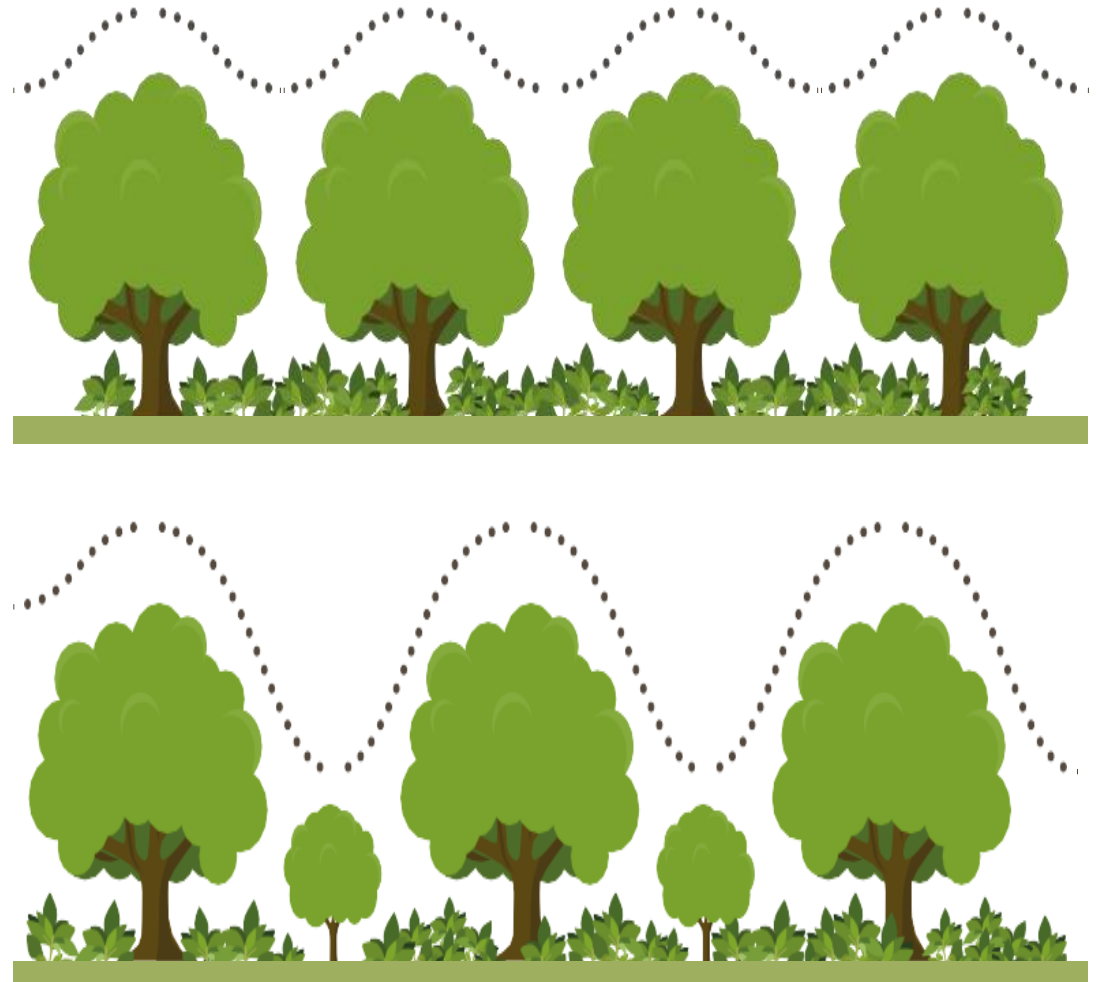
(Warlop *et al.*, 2017)

# Complémentarité spatiale des végétaux en « verger maraîcher »

(Verticale)



(Horizontale)



(Warlop *et al.*, 2017)



## Associations de cultures fruitières au sud-est (*Jessours*)



## Cultures en étages dans les oasis





# Associations traditionnelles « Grenadier + autres fruitiers » à Testour (grenadier + abricotier + olivier + prunier ...)





**Association traditionnelle  
« Figuiers + autres fruitiers + cultures herbacées » à Djebba**



# Association « olivier + pomme de terre + petit pois »

(J. Abid Karray, 2006)

- **Olivier** : culture principale pérenne
  - **Pomme de terre** :
    - **importance** sur le plan national
    - **possibilité de plusieurs cycles** de culture par an : choisir la saison de culture la plus avantageuse au système : époque pendant laquelle l'irrigation peut être la plus bénéfique à l'olivier
  - **Petit pois** : composante d'une **rotation** culturale
    - légumineuse : enrichit le sol en **azote** ou, au moins, **pas de compétition** avec l'olivier pour cet élément
    - **famille différente** de celle de la pomme de terre : **moins de risque** de ravageurs communs pouvant s'installer d'une culture à l'autre
    - **système racinaire plus profond** que celui de la pomme de terre (01m ≠ 0.6m)
- : les deux cultures **n'utilisent pas le sol à la même profondeur.**



# Agroforesterie dans les oliveraies de Tunisie

(Rezgui *et al.*, 2023)

- L'agroforesterie basée sur l'olivier est largement pratiquée en Tunisie avec des modalités diverses. La production d'**huile** est souvent l'**objectif principal**.
- Dans les régions de Beja, Jendouba et Sfax: **5 types de systèmes** agroforestiers à base d'oliviers en fonction des espèces associées :
  - *olivier + cultures maraîchères*
  - *olivier + polyculture*
  - *olivier + arbres fruitiers*
  - *olivier + cheptel*
  - *olivier + céréales*
- La pratique des cultures associées à l'olivier est souvent déterminée par des **contraintes économiques** ou **foncieres**, et non pour des intérêts agronomiques et environnementaux.

- **Raisons (avantages) de l'adoption de l'agroforesterie à base d'olivier**
- Augmentation de la **production** par unité de surface, dans un contexte de diminution des terrains agricoles disponibles
- Meilleure **efficience** d'utilisation des **engrais** et de l'**eau** d'irrigation
- Diversification des **revenus** : faire face aux fluctuations des **prix** et à l'**alternance** de production des oliviers
- Possibilité de **location des oliveraies** pour des agriculteurs non propriétaires de fonciers
- Avantages **environnementaux** (refuges pour oiseaux et insectes)
- **Inconvénients associés aux systèmes agroforestiers à base d'olivier**
- Nécessité d'avoir des **interlignes** assez larges entre les oliviers
- Risque de **transmission de maladies**
- **Compétition** pour les ressources disponibles (eau, lumière)
- Augmentation du **temps de travail** sur les parcelles
- **Avis des agriculteurs concernant les différentes associations**
  - Olivier + cultures maraîchères : performante et rentable (pour 95%)
  - Olivier + amandier : performante (pour 75%)
  - Olivier + céréales : performante (pour 68%)
  - **Olivier + élevage : non performante** (pour 64%)



Olivier + **oignon**  
à Sidi Bouzid



Olivier + **pomme de terre**  
à Kalaa Kebira



# Association « Amandier + Légumineuses »

(Cárceles Rodríguez *et al.*, 2015)

Objectif : **Conservation du sol en pente** des vergers d'amandier conduits en mode **biologique** en **pluviel** (sud-est de l'Espagne, 2016-2021)

Comparaison de :

- Travail **traditionnel** habituel
  - Conduite en **non labour**
  - Association « **amandier + fève** (*Vicia faba*) »
  - Association « **amandier + vesce** (*Vicia sativa*) »
  - Association « **amandier + vesce + orobe** (*Vicia ervilia*) »
- 
- L'association des légumineuses améliore nettement les **propriétés physicochimiques** et la **santé** du **sol**.
  - Le **rendement moyen de l'amandier a baissé**, mais n'a pas été significativement affecté par l'association de légumineuses.
  - L'association de légumineuses a été accompagnée d'une **amélioration** du taux de **polyphénols** et de **l'activité antioxydante** des amandes.
    - *L'association des légumineuses assure une **meilleure durabilité** de la culture pluviale de l'amandier tout **en améliorant la qualité** du produit.*



# Association « Agrumes + Cultures intercalaires »

(Martin-Gorriz *et al.*, 2022)

- La diversification des cultures permet la **préservation des sols** et de l'environnement, la **productivité** et la **durabilité** des cultures.
- **Cultures « herbacées » intercalaires** dans les interlignes d'un verger de **mandarinier** (Espagne) : **fève, petit pois, pourpier, mélange orge-avoine ...**



(Diverfarming -Université de Cordoba, 2023)



(Bernard Okafor, 2020)

- Les cultures intercalaires favorisent les interactions écologiques et offrent des avantages environnementaux et économiques :
  - malgré l'augmentation de la surface cultivée, **il n'y a pas effets négatifs sur les ressources.**
  - malgré les coûts supplémentaires, un bon choix des espèces herbacées (**fève, pourpier**) peut assurer **une bonne compensation et une rentabilité économique.**
- L'étude montre des **impacts environnementaux et économiques positifs de l'intégration des cultures herbacées** dans les vergers d'agrumes en conditions méditerranéennes.



## Association « Grenadier + Citronnelle » (*Punica granatum* L. + *Cymbopogon flexuosus* (Nees ex Steud.))

(Kumar *et al.*, 2021)

- L'agroforesterie « moderne » établit une symbiose entre cultures pérennes, cultures annuelles et élevage.
- L'association « **grenadier-citronnelle** » constitue un des meilleurs écosystèmes en Inde. Elle permet un **meilleur rendement en huiles essentielles de la citronnelle**, un **meilleur rendement en grenades**.



- Les grenades produites dans ces conditions donnent un **jus plus coloré**, avec plus d'anthocyanines et **plus d'arômes** (abondance d'hexanal et limonène) et sont les **plus appréciées** par les consommateurs pour la couleur, l'odeur et le goût.
- **L'humidité importante** dans le **sol** et **l'atmosphère** de l'association est favorable à une **bonne production** de biomasse et d'huiles de citronnelle et de grenades de qualité supérieure.

# Associations « Pommier / Poirier + poules pondeuses »

(Lindhard Pedersen *et al.*, 2014)

- En culture biologique de pommier et poirier : besoin de méthodes alternatives pour le contrôle d'insectes inféodés aux fruits, **Hoplocampe du pommier** (*Hoplocampa testudinea*) et **Cécidomyie des poires** (*Contarinia pyrivora*)

- Association « **pommiers + poules pondeuses** »

- **Attaques d'hoplocompe moins fréquents**, pas d'effets sur la qualité des fruits
- Les **poules sont en bonne santé** et expérimentent un excellent bien-être.

- Association « **poiriers + poules pondeuses** »

- **Attaques de cécidomyie moins fréquents**, pas d'effets sur la production et la qualité des fruits
- Les **poules sont en bonne santé** et expérimentent un excellent bien-être.



# Associations « Pommier + poules pondeuses »

## « *Trees for chickens* »

(Timmermans et Bestman, 2016)

- L'association des poules pondeuses avec les pommiers paraît très utile :
  - bonne **production**
  - **moins de travail du sol** pour contrôle des adventices
  - **moins d'insectes nuisibles**
  - **moins d'attaques de tavelure** (feuilles infestées et chutes consommées par les poules)
- Il faut faire attention à la **taille de formation** des arbres (frondaison élevée) pour éviter des **dégâts sur les branches**.



Pour le bien être animal  
(Le Sillon Belge, 2017)



La poule utile  
contre les ravageurs  
(Fontaine et al., 2019)





**Nouvelles  
tendances**

**Arbres fruitiers  
+ plantes  
ornementales**





# **3- Entretien des vergers agroécologiques**

## ● Irrigation et fertilisation

*« L'arbre structure les parcelles. Mais, en contexte de manque, l'arbre peut être concurrent pour l'eau et les nutriments destinés aux cultures associées ».*

*... Considérer et prioriser les besoins de toutes les cultures*

*... faire usage des ressources de la ferme : minimiser les apports extérieurs*

- **Arbres jeunes** : les apports d'eau et de fertilisants doivent être ajustés pour permettre aux arbres de **bien s'installer**, tout en les incitant à prospecter en profondeur.

- **Arbres âgés** : les apports peuvent être supprimés/réduits sur la ligne, afin de forcer leurs racines à aller prospecter en dessous des planches maraîchères : « complémentarité spatiale d'utilisation des ressources ».

- **Cultures associées** : anticiper une concurrence possible des arbres en prévoyant, dès le début, l'irrigation pour le maraîchage. Les racines des arbres peuvent être attirées par l'eau et les nutriments, « remonter » et devenir compétitives pour les cultures maraîchères. Le travail du sol après chaque culture confinera ces racines à une certaine profondeur.

- Adoption des techniques **d'irrigation localisée** : **réduction des apports d'eau**, mais attention à la **modification de l'ambiance** pour les cultures associées (**humidification du sol et de l'atmosphère**)

# Bilan hydrique de l'association « olivier + pomme de terre + petit pois »

(J. Abid Karray, 2006)

- La présence de **culture intercalaire irriguée** permet à l'olivier de maintenir un flux transpiratoire assez important : il bénéficie d'une augmentation de la **disponibilité en eau**, soit directement à travers l'exploration **d'horizons humides** au niveau de la culture intercalaire ou du sol nu, soit indirectement à travers les **flux latéraux** qui se créent à la suite de la différence de teneur en eau entre les sols sous différentes cultures et nus.
- Une **culture intercalaire automnale est bénéfique** à l'olivier surtout en cas de retard des premières pluies de la saison humide et épuisement des réserves hydriques à la fin de l'été (grossissement du fruit et initiation florale, sensibles au déficit hydrique).
- L'olivier **peut être concurrencé** par une culture à **système racinaire profond** : l'épuisement du stock hydrique de la culture à la fin du printemps peut induire un **stress hydrique chez l'olivier en été**.

- En absence d'irrigation de l'olivier, une **culture associée estivale irriguée à système racinaire peu profond** peut être envisagée (tomate, piment...) en fonction de la quantité disponible.
- La culture intercalaire peut **concurrencer l'olivier au niveau des précipitations**, mais **l'apport qu'elle offre grâce à l'irrigation** peut être plus important.

(J. Abid Karray, 2006)

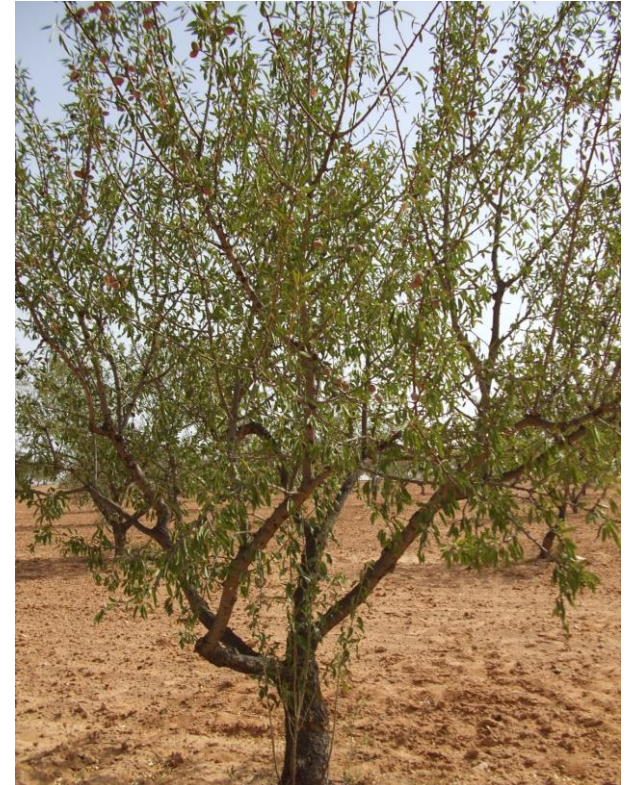
## ● Taille des arbres

### Taille de formation

- Assurer une **bonne formation** des arbres les premières années : **ne pas trop contrarier** la tendance naturelle de l'arbre (formes libres)
- **Dégager le tronc** sur une certaine hauteur pour faciliter le développement et l'aération des cultures associées
- Former une **frondaison aérée** et favoriser la pénétration de la lumière à l'intérieur de l'arbre

#### Forme en **Gobelet** :

- Adaptée à la majorité des espèces
- Aérodynamique
- Bonne interception de la lumière
- Facile à former
- Bonne floraison, beaux fruits bien répartis, contrôle des bioagresseurs



## - Arbres à basse tige ou bien à haute tige ?

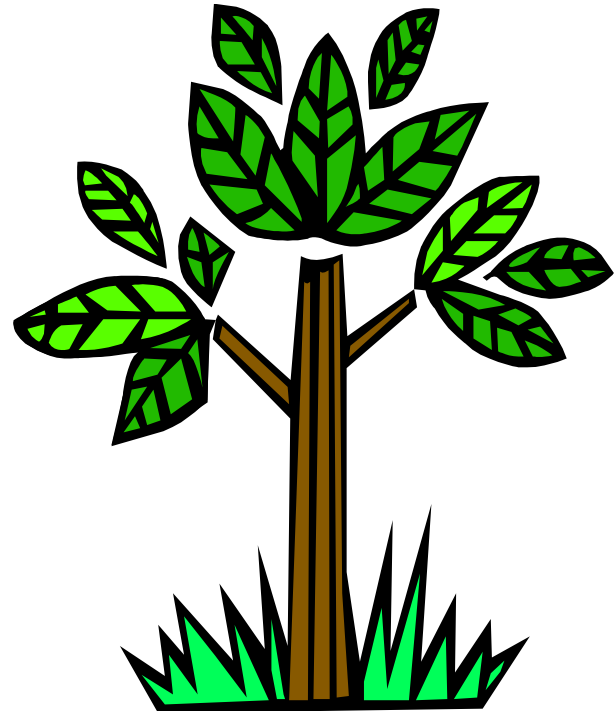
### Basse tige

- Conduite et récolte faciles
- Bonne résistance au vent et au soleil
- Mise à fruits plus rapide



### Haute tige

- Travail du sol et entretien du verger faciles
- Entretien facile des cultures associées
- Peu de dégâts du cheptel



## Taille d'entretien

- Assurer **l'équilibre** continue entre croissance végétative et fructification régulière
- Optimiser **l'interception de la lumière** nécessaire aux cultures légumières (sous les canopées trop denses, le rendement en légumes est très affecté).

- **Excès de vigueur ? Taille en vert ?**

- **Déchets de taille** et feuilles mortes **broyés et incorporés au sol** : dynamisation de la vie du sol (J. Gisser, 2020)

Arbres bien conduits, bien nourris, sur sol équilibré



Arbres performants, sains et tolérants aux stress



Produits performants et sains