

Productivité et efficacité des systèmes agroforestiers à base d'oliviers au Maroc : cas de Moulay Driss Zerhoun

Asmae Amassaghrou^{1,*}, Ahmed Bouaziz¹, Khalid Daoui², Hatem Belhouchette^{3,5}, Abdelaziz Ezzahouani¹ et Karim Barkaoui^{4,5}

¹ Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc

² Institut national de la recherche agronomique, Centre Régional de la Recherche Agronomique, Meknès, Maroc

³ CIHEAM-IAMM, UMR ABSys, F-34090 Montpellier, France

⁴ CIRAD, UMR ABSys, F-34398 Montpellier, France

⁵ ABSys, Univ Montpellier, CIHEAM-IAMM, CIRAD, INRAE, Institut Agro, Montpellier, France

Résumé – Au Maroc, les systèmes agroforestiers à base d'olivier sont très répandus et diversifiés. Ce travail vise à caractériser leur diversité et leurs performances dans la région de Moulay Driss Zerhoun, au Nord du Maroc. Pour ce faire, 72 enquêtes ont été réalisées auprès des agriculteurs. Pour chaque exploitation, les systèmes agroforestiers ont été comparés à des systèmes de culture pure et à des vergers d'oliviers purs. En condition pluviale, l'insertion des légumineuses et des céréales dans les oliveraies constitue la pratique dominante. Il y a des différences très significatives de rendements pour les cultures annuelles et pour les oliviers entre systèmes associés d'agroforesterie, témoins en cultures annuelles pures et témoins en verger d'olivier. Le *Land Equivalent Ratio* (surface équivalente assolée) des rendements et celui des marges brutes sont toujours supérieurs à 1 avec les céréales et les légumineuses en agroforesterie. Nos résultats suggèrent que les systèmes agroforestiers sont plus productifs, rentables et efficaces que les cultures pures. L'agroforesterie constituerait donc une stratégie pour une production durable, mais il faudrait d'autres expérimentations pour mieux appréhender la productivité de ces systèmes et préciser leurs atouts et leurs limites.

Mots clés : Agroforesterie / céréales / légumineuses / cultures associées / LER

Abstract – **Productivity and efficiency of olive-based agroforestry systems in Morocco: case of Moulay Driss Zerhoun.** In Morocco, agroforestry systems based on olive trees are widespread and diverse. This work aims at characterizing their diversity and performance. To this end, 72 farmers surveys were conducted in the Moulay Driss Zerhoun region (Morocco). For each farm, agroforestry plots were compared to corresponding monocrops and pure olive orchards. Under rainfed conditions, the insertion of legumes and cereals in olive orchards is the dominant association. There are very significant differences in yields of annual crops and olive between agroforestry systems, and monocrops and pure orchards. The *Land Equivalent Ratio* of yields and gross margins is always greater than 1 with cereals and legumes in agroforestry. Our results suggest that agroforestry systems are more productive, profitable and land-efficient than monocrops. Therefore, agroforestry may constitute a relevant strategy for a sustainable production. Nevertheless, additional experiments are needed to better understand the productivity of these systems and their advantages and limits.

Keywords: Agroforestry / cereals / pulses / intercropping / LER

1 Introduction

L'agroforesterie désigne l'ensemble des agrosystèmes où arbres, cultures, et parfois animaux, sont associés de façon

simultanée sur une même parcelle et interagissent entre eux (Nair *et al.*, 2008). Cette pratique est considérée comme prometteuse pour atténuer le changement climatique et s'y adapter, tout en améliorant la productivité agricole (Feliciano *et al.*, 2018), la sécurité alimentaire et la diversification des revenus des ménages. L'agroforesterie rend aussi des services

*Auteur de correspondance : amassaghrou.asmae@gmail.com

écosystémiques comme la conservation et l'amélioration de la biodiversité, la santé des sols, l'utilisation efficace des ressources (Zhang *et al.*, 2018) et la séquestration du carbone. Les systèmes agroforestiers sont répandus dans le monde entier, en zone tropicale humide (ex. agro-forêts à base de cacaoyers, de caféiers...), en zones tempérées (ex. prés-vergers, systèmes sylvo-arables à base de culture annuelle...) et en zone méditerranéenne (ex. cultures intercalaires en oliveraies, parcours arborés...). Dans cette dernière zone, l'olivier (*Olea europaea* L.) est l'une des espèces agroforestières les plus communes (Wolpert *et al.*, 2020). Dans les oliveraies traditionnelles, les cultures intercalaires sont des céréales, des légumineuses alimentaires ou des cultures fourragères en conditions pluviales, ou des cultures maraîchères en conditions irriguées (Razouk *et al.*, 2016).

Au Maroc, l'agroforesterie fait partie des paysages ruraux traditionnels. Elle est dominante dans les zones oasiennes, accidentées et arides où les agriculteurs cherchent à maximiser la rentabilité des terres agricoles et à augmenter l'efficacité d'utilisation des ressources (Daoui et Fatemi, 2014). Les systèmes agroforestiers oléicoles se caractérisent généralement par de faibles densités de plantation d'arbres (12 × 12 m à 10 × 10 m) et des faibles rendements. La nature, la structure et les performances de ces systèmes sont cependant très diverses. Elles dépendent des conditions pédoclimatiques et de l'histoire de l'occupation des sols (Kmoch *et al.*, 2018), mais aussi des pratiques des agriculteurs.

Malgré l'importance et la dominance de l'agroforesterie dans les régions de montagnes et les oasis du Maroc, et plus généralement en Afrique du Nord, très peu de recherches ont été entreprises sur ces associations. Quelques études ont été réalisées pendant les années 1990 sur les systèmes agroforestiers du Rif central marocain (Sabir *et al.*, 1999). Ces dernières années, des études ont porté sur les arganeraies (Chaussod *et al.*, 2005), la dynamique des paysages agroforestiers dans le Haut-Atlas (Bouzekraoui *et al.*, 2016), la diversité des systèmes agroforestiers de Moulay Driss Zerhoun (Kmoch *et al.*, 2018) et le fonctionnement des systèmes agroforestiers à base d'oliviers dans la plaine du Saïs (Daoui et Fatemi, 2014; Razouk *et al.*, 2016). Afin de développer l'agroforesterie au Maroc et d'adapter les systèmes traditionnels à des contextes climatiques et économiques nouveaux, une meilleure compréhension de la diversité et du fonctionnement des systèmes existants est nécessaire. Dans la continuité des travaux descriptifs initiés à Moulay Driss Zerhoun par Kmoch *et al.* (2018), nous proposons ici une étape de caractérisation et d'évaluation des performances des systèmes agroforestiers focalisée sur les systèmes olivier-cultures annuelles, dans le but de mieux comprendre leur fonctionnement. Ce travail *in situ* est aussi un préalable à des expérimentations en situation contrôlée sur les associations les plus courantes. Notre but est de caractériser la diversité de ces systèmes et d'en faire un diagnostic agronomique en utilisant des données quantitatives et qualitatives collectées à travers des enquêtes auprès des agriculteurs. Les objectifs spécifiques de cette étude sont : (i) de décrire et caractériser la structure et les pratiques des systèmes agroforestiers à base d'oliviers de la région de Moulay Driss Zerhoun ; (ii) d'évaluer la productivité des principales cultures de céréales, de légumineuses et des oliviers en agroforesterie ; et (iii) d'évaluer les performances agronomiques et économiques (marges brutes) des systèmes agroforestiers, des systèmes de cultures pures et des vergers.

2 Matériel et méthodes

2.1 Région d'étude

La région de Moulay Driss Zerhoun (MDZ) est située au nord de la plaine du Saïss, dans le nord du Maroc (Fig. 1), et constitue l'une des régions les plus favorables à la culture pluviale des céréales, des légumineuses et des arbres fruitiers méditerranéens, dont l'olivier. Le climat est méditerranéen, caractérisé par des hivers doux et humides, et des étés très chauds et secs. Les précipitations annuelles moyennes sont de 580 mm avec une forte variabilité interannuelle (Centre de conseil agricole, 2018). Les températures minimales et maximales annuelles moyennes sont de 11 °C et 28 °C. Les précipitations annuelles correspondant aux campagnes agricoles discutées dans les enquêtes étaient de 493 mm, 1060 mm et 643 mm pour, respectivement, 2011/2012, 2012/2013 et 2013/2014. Les céréales, blé tendre (*Triticum aestivum*), blé dur (*Triticum durum*) et orge (*Hordeum vulgare*), dominent la production agricole ; les légumineuses alimentaires, fève (*Vicia faba*), pois chiche (*Cicer arietinum*) et lentille (*Lens culinaris*), les cultures fourragères et les arbres fruitiers sont aussi cultivés à grande échelle (Centre de conseil agricole, 2018). Cette région, compte 3772 exploitations agricoles avec une SAU totale de 33 400 ha. Les exploitations agricoles sont souvent familiales. La configuration typique est une ferme mixte associant élevage bovin et/ou ovin, cultures annuelles et arboriculture (Centre de conseil agricole, 2018).

2.2 Méthode d'échantillonnage et enquêtes

Les enquêtes ont concerné toutes les communes territoriales de MDZ (Karmet Ben Salem, N'Zalat Bni Amar, Mrhassiyine, Sidi Abdelah Al Khayat et Charqaoua). Le travail d'échantillonnage a été difficile à cause de l'absence de données descriptives relatives aux systèmes de culture des exploitations agricoles du territoire. Une pré-enquête a donc été effectuée pour décrire la distribution générale des principales espèces cultivées, les systèmes de culture et la place des systèmes agroforestiers à base d'olivier dans la région.

Les enquêtes ont été réalisées auprès de 72 agriculteurs (Tab. 1) de mai à juin 2015, puis de septembre 2015 à janvier 2016. Les entretiens individuels ont duré de 30 à 45 minutes. Pour chaque exploitation, trois parcelles ont été choisies et décrites : une parcelle associant oliviers et cultures annuelles (AF : agroforesterie), une parcelle de cultures annuelles sans arbre (TA : témoin agricole) et une parcelle d'oliviers sans culture intercalaire (TV : témoin verger) (Tab. 2). Nous avons demandé l'historique des trois campagnes précédentes : 2011/2012, 2012/2013 et 2013/2014. Avant ces entretiens, une étape de pré-enquête a été réalisée afin de décrire la distribution générale des principales espèces cultivées, des systèmes de culture en place, et d'appréhender la réalité des systèmes agroforestiers à base d'oliviers dans la région d'étude.

2.3 Description du questionnaire

Nous avons réalisé des enquêtes de type semi-directif. Notre guide d'entretien comportait les éléments suivants :

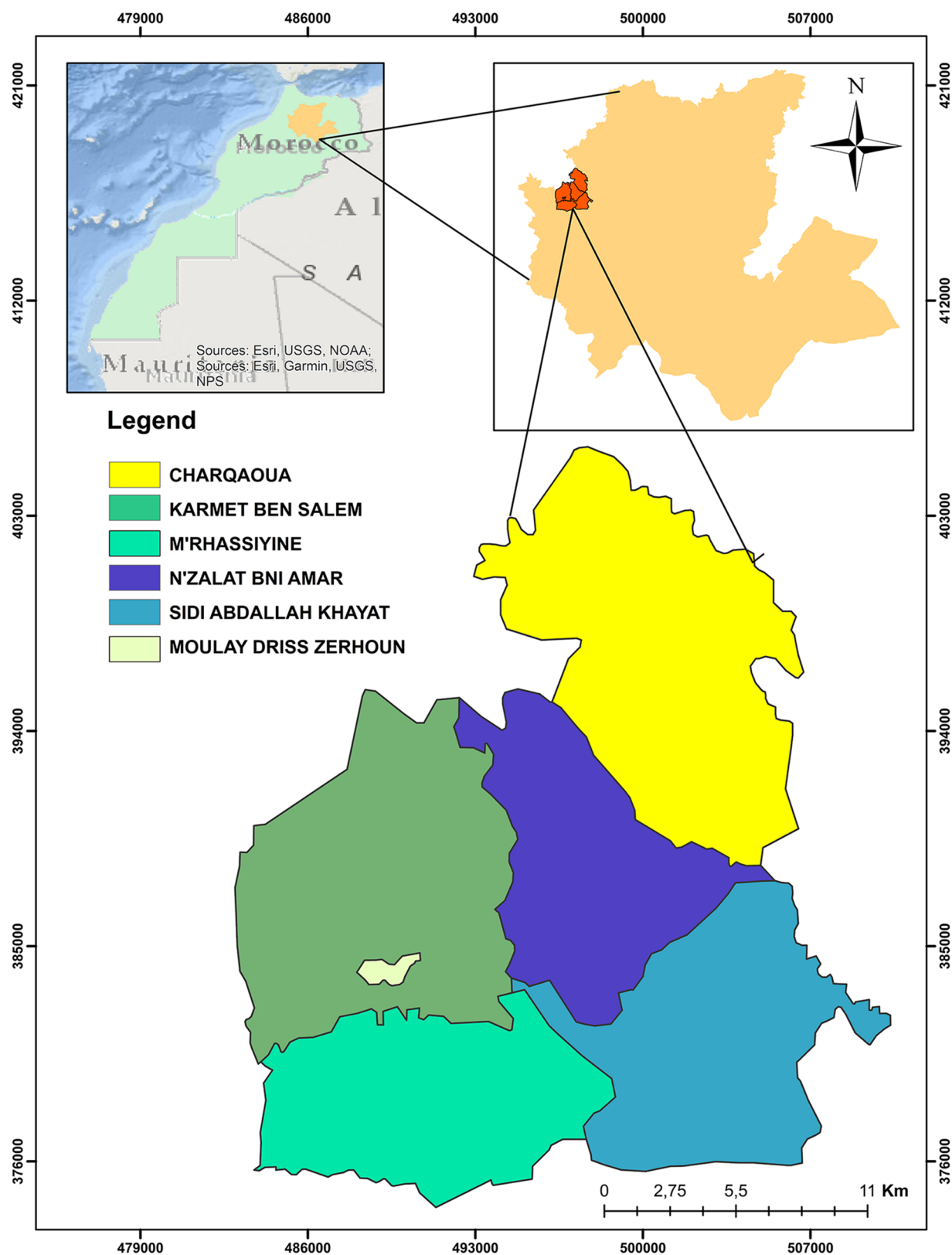


Fig. 1. Carte de la région de Moulay Driss Zerhoun et du territoire des cinq communes étudiées.

Fig. 1. Map showing the location of the Moulay Driss Zerhoun region and the five surveyed rural areas.

Tableau 1. Structure des exploitations étudiées : superficie moyenne (min-max) des exploitations, des parcelles AF, TA, TV dans les communes de Moulay Driss Zerhoun.
Table 1. Structure of surveyed farms: Average area (min-max) of farms, of plots AF, TA, TV in the communes of Moulay Driss Zerhoun.

Commune/exploitation	Taille des exploitations	Nombre d'exploitations	SAU ha	Surface Olivier (TV) ha	Surface Cultures annuelles (TA) ha	Surface Agroforesterie (AF) ha	Densité des oliviers (AF)	Age des oliviers (AF)	Nombre d'ovins	Nombre de bovins
Karnet ben salem ($n=21$)	0–5 ha	44	3 (0,5–5)	2 (0,5–4)	1 (0–3,5)	1,3 (0,5–4)	97 (60–110)	40 (15–52)	24 (0–72)	2 (0–6)
Mghassyne ($n=22$)										
Sidi abdelah Ikhayate ($n=12$)	5–10 ha	22	8 (5,5–10)	3 (1,75–4,25)	5 (2–6)	1,1 (0,5–4)	101 (80–125)	38 (22–54)	22 (0–60)	2 (0–6)
Charqaoua ($n=9$)										
N'zala bni amar ($n=8$)	> 10 ha	6	15,3 (11–20)	8 (3–11,5)	7 (1–11)	1,6 (1–2,5)	95 (78–120)	40 (20–60)	25 (0–50)	2 (0–5)

Tableau 2. Pluviométrie annuelle en mm, surface cultivée (ha) et rendements moyens (min-max) en t/ha de l'olivier et des cultures annuelles (blé, orge, fève, pois chiche) en agroforesterie, en témoin verger (olivier), et en témoin agricole (cultures) des exploitations étudiées pendant les années 2012, 2013, 2014 à Moulay Driss Zerhoun.

Table 2. Annual rainfall in mm, cultivated area (ha) and average yield (min-max) in t/ha of olive trees and annual crops (wheat, barley, faba bean, chickpea) in agroforestry, pure orchard (olive) and monocrops (annual crops) of surveyed farms during the years 2012, 2013, 2014 in Moulay Driss Zerhoun.

Système	Pluviométrie	Année	Céréales		Légumineuses	
			Blé	Orge	Fève	Pois chiche
AF (Surface ha)	493	2012	22,65	12,75	21,5	8,25
	1061	2013	6,5	10	36,85	5,5
	625	2014	7,5	17,5	20	3
TA (Surface ha)	493	2012	26	12	17	7
	1061	2013	13	10	28	6
	625	2014	22	16	17	3
AF (Rendement t/ha)	493	2012	1,7 (1,4–2,1)	1,9 (1,6–2,2)	1,3 (0,9–1,6)	0,5 (0,5–0,6)
	1061	2013	1,7 (1,4–2,2)	1,9 (1,5–2,3)	1,3 (0,9–1,6)	0,5 (0,5–0,5)
	625	2014	1,5 (1,2–2)	1,8 (1,4–2,3)	1,2 (0,9–1,6)	0,6 (0,5–0,7)
TA (Rendement t/ha)	493	2012	3,3 (2,6–3,8)	2,5 (2,2–3)	1,6 (1,4–2,1)	0,9 (0,9–1)
	1061	2013	3,5 (2,2–4,2)	2,8 (2,4–3,2)	1,5 (1,3–1,8)	1 (1–1,2)
	625	2014	3,3 (2,5–3,6)	2,7 (2,1–3,8)	1,6 (1,2–1,8)	1 (1–1)

- Identification de l'exploitation ;
- Caractéristiques de la parcelle agroforestière (AF) : superficie (ha) ; densité des oliviers (arbres/ha) ; cultures intercalaires ; rotation des cultures intercalaires ; itinéraires techniques ; coûts d'entretien et de récolte de l'olivier (dirham marocain dh/ha) ; rendement en olive (kg/ha) ; rendements des cultures intercalaires (kg/ha) ; prix de vente de la récolte (dh/ha) ;
- Caractéristiques de la parcelle témoin agricole (TA) : superficie (ha) ; cultures annuelles ; rotation des cultures ; itinéraires techniques ; coûts d'installation, d'entretien et de récolte des cultures annuelles (dh/ha) ; rendement grain (kg/ha) ; prix de vente de la récolte (dh/ha) ;
- Caractéristiques de la parcelle témoin verger (TV) : superficie (ha) ; densité des oliviers (arbres/ha) ; coûts d'entretien et de récolte (dh/ha) ; prix de vente de la récolte (dh/ha).

2.4 Performances économiques des systèmes de culture

Nous avons calculé la marge brute (dh/ha) des parcelles TA (Éq. (1)), des parcelles TV (Éq. (2)) et des parcelles AF (Éq. (3)) à partir des rendements (grains et olives, respectivement), des prix de vente et des charges déclarés par les agriculteurs.

$$\text{Marge brute (TA)} = [\text{prix de vente} * \text{rendement grain}] - \text{charges(culture)}. \quad (1)$$

$$\text{Marge brute(TV)} = [\text{prix de vente} * \text{rendement fruit}] - \text{charges (olivier)}. \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{Marge brute(AF)} &= [\text{prix de vente} * \text{rendement grain}] \\ &\quad - \text{charges(culture)} \\ &\quad + [\text{prix de vente} * \text{rendement fruit}] \\ &\quad - \text{charges(olivier)}. \end{aligned} \quad (3)$$

2.5 Calculs des indicateurs de performances (LER)

Pour évaluer la productivité globale des cultures associées, nous avons calculé la surface équivalente assolée ou *Land Equivalent Ratio (LER)* – (Mead et Willey, 1980). Le LER est défini comme la somme des rendements relatifs des espèces associées ; dans le cas d'un système agroforestier, il se calcule comme suit :

$$\begin{aligned} LER_R &= \frac{Rdt \text{ culture}_{AF}}{Rdt \text{ culture}_{TA}} + \frac{Rdt \text{ olivier}_{AF}}{Rdt \text{ olivier}_{TV}} \\ &= LER_r \text{ culture} + LER_r \text{ olivier}, \end{aligned} \quad (4)$$

où $Rdt \text{ culture}_{AF}$ et $Rdt \text{ culture}_{TA}$ sont les rendements de la culture de la parcelle agroforestière (AF) et du témoin agricole (TA), et $Rdt \text{ olivier}_{AF}$ et $Rdt \text{ olivier}_{TV}$ sont les rendements des arbres de la parcelle agroforestière (AF) et du témoin verger (TV).

Le LER est un indice qui mesure l'efficacité d'utilisation de l'espace. Il s'interprète comme la surface qu'il faudrait cultiver avec des cultures pures (TA et TV) pour produire autant (et dans les mêmes proportions) qu'un hectare en agroforesterie. Une association est donc considérée intéressante d'un point de vue productif si son LER est supérieur à 1.

Par analogie, pour évaluer les niveaux de performance économique des systèmes agroforestiers par rapport aux cultures pures, nous avons calculé le LER à partir des marges

Tableau 3. AIC des différents modèles explicatifs des rendements des cultures annuelles et de l'olivier. Les modèles testés diffèrent au niveau des effets fixes, mais comportent tous les mêmes effets aléatoires (parcelle) non reportés ici. Les lignes en gras indiquent les modèles retenus suite à la sélection par l'AIC.

Table 3. AIC of the different models explaining yields of annual crops and olive trees. The tested models had different fixed effects but all had the same random effects (plots) not shown here. Bold lines indicate the best models selected with the AIC approach.

	Modèles	df	AIC	ΔAIC
Cultures annuelles				
1	~ espèces × système × rotation × année	70	4376	58
2	~ espèces × système × année	26	4335	17
3	~ espèces × système	10	4318*	0
4	~ espèces × année	14	4695	377
5	~ espèces	6	4695	382
6	~ parcelle	3	5017	699
Olivier				
1	~ système × année	8	4962*	0
2	~ année	5	4967	5
3	~ Parcelle	3	5002	40

brutes (Éq. (5)).

$$LER_M = \frac{\text{Marge culture}_{AF}}{\text{Marge culture}_{TA}} + \frac{\text{Marge olivier}_{AF}}{\text{Marge olivier}_{TV}} = LER_m \text{ culture} + LER_m \text{ olivier.} \quad (5)$$

2.6 Analyses statistiques

Les données issues des enquêtes ont été analysées avec des modèles linéaires à effet mixtes, afin de tester l'effet des espèces cultivées, de la succession culturale et de l'année climatique (effets fixes) sur les rendements des cultures et des oliviers. Les modèles mixtes sont particulièrement adaptés pour analyser des dispositifs non-équilibrés et pour pouvoir quantifier la variabilité entre parcelles (effets aléatoires). La démarche a consisté à construire un modèle « complet », comportant l'ensemble des variables à tester, puis à le comparer à une série de modèles « réduits », plus simples (avec moins de variables), afin de retenir le modèle le plus explicatif et le plus parcimonieux (Tab. 3). La comparaison entre modèles a été effectuée à l'aide du critère d'information d'Akaike (1973) ou Akaike Information Criterion (AIC) ; deux modèles ont été considérés comme significativement différents l'un de l'autre lorsque la différence entre leurs AIC était supérieure à 2. Les modèles retenus ont été ceux avec la valeur d'AIC la plus faible. En cas de différence non significative, les modèles les plus simples ont été privilégiés. Les variables des modèles retenus ont ensuite été testées grâce à une ANOVA de type II. Enfin, les effets des espèces cultivées et de l'année climatique sur les LER_R et LER_M ont été testés avec des ANOVA simples et les moyennes par un test *post hoc* de Tukey. Les analyses ont été effectuées avec le logiciel R Core Team (2020) en utilisant les packages lme4 (modèles mixtes) pour l'analyse des AIC par ANOVA de type II.

3 Résultats

3.1 Diversité des systèmes agroforestiers à Moulay Driss Zerhoun

Plusieurs associations à base d'oliviers coexistent : oliviers + cultures annuelles (85 %), oliviers + fourrages

(10 %), oliviers + maraîchage (5 %). Des associations avec d'autres arbres fruitiers sont également répandues comme les associations oliviers + amandiers (15 %), oliviers + caroubiers (13 %) et oliviers + figuiers (5 %), en particulier dans les parcelles d'oliviers à faible densité, et sur les terrains à forte pente. Les espèces annuelles cultivées en association avec les oliviers sont principalement les légumineuses alimentaires, qui représentaient (respectivement pour 2012, 2013 et 2014), 40 %, 59 % et 35 % des parcelles et les céréales qui représentaient 47 %, 20 % et 30 % des parcelles (Tab. 2). Les cultures annuelles des parcelles agroforestières sont souvent en rotations biennales céréale-légumineuse (77 %) ou triennales céréale-céréale-légumineuse (11 %). On trouve aussi des rotations céréale/légumineuse/maraîchage (5 %) et légumineuse/céréale/jachère (7 %). Les agriculteurs utilisent du fumier pour fertiliser les oliviers. La taille d'entretien des arbres se fait chaque année. La densité des oliviers dans les parcelles AF varie de 60 à 110 arbres/ha avec une moyenne de 92 arbres/ha. En montagne, les oliviers sont majoritairement disposés de façon aléatoire et les cultures annuelles sont généralement semées à la volée. Par contre dans la plaine, les oliviers sont plantés en rangs et les cultures annuelles sont semées mécaniquement dans les inter-rangs, en laissant environ 2 mètres non semés entre le tronc des arbres et la première ligne de semis. Le désherbage est manuel et les pesticides sont rarement appliqués dans les parcelles agroforestières (15 %) (Tab. 4).

3.2 Performances de l'olivier, des céréales et des légumineuses

Pendant la période étudiée, les rendements de l'olivier ont varié entre 200 et 5500 kg/ha, avec une moyenne de 1700 kg/ha (Fig. 2A). Ils présentent de différences très significatives selon le système de production ($p=0,0014$) et l'année climatique ($p<0,0001$) ; en revanche, l'interaction entre système de production et année climatique n'est pas significative. Le meilleur rendement en olive a été obtenu en 2013 avec une moyenne de 2271 kg/ha en TV et 2365 kg/ha en AF avec la fève. En 2014, le meilleur rendement en olive a été obtenu en AF avec le pois chiche d'hiver avec une moyenne de 2150 kg/

Tableau 4. Conduite technique et coût en dh/ha d'installation des principales espèces annuelles en agroforesterie et en témoin agricole des exploitations étudiées dans le Moulay Driss Zerhoun.**Table 4.** Technical conduct and cost in dh/ha of the main annual species in agroforestry and agricultural control of the surveyed farms in the Moulay Driss Zerhoun.

	Blé TA	Blé AF	Orge TA	Orge AF	Fève TA	Fève AF	Lentille TA	Lentille AF	Pois chiche TA	Pois chiche AF
Travail du sol et de reprise	Mécanique (200–400)	Mécanique-traction animale (200–650)	Mécanique (200–400)	Mécanique-traction animale (200–300)	Mécanique (200–300)	Mécanique (200–300)	Mécanique (200–400)	Traction animale 500	Mécanique (200–400)	Mécanique-traction animale (150–500)
Coût (min, max)										
Semis	Manuel	Manuel	Manuel	Manuel	Manuel	Manuel	Manuel	Manuel	Manuel	Manuel (260–330)
Coût semences et main d'œuvre (min, max)	(625–860)	(380–530)	(300–505)		(580–1280)	(360–980)	(395–465)	(240–280)	(480–580)	
Fertilisation de fond et de couverture	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Coût engrais et main d'œuvre (min, max)	(640–1190)	(230–860)	(535–1190)	(200–500)	(180–360)	(0–360)	(180–360)	(0–300)	(180–360)	(0–360)
Binage/butage	–	–	–	–	Manuel (400–900)	Manuel (400–600)	Manuel (200–300)	Manuel (200–300)	Manuel (200–400)	Manuel (160–240)
Coût (min, max)										
Désherbage	Mécanique (100–220)	Manuel (0–160)	Mécanique (0–220)	Manuel (0–160)	–	–	–	–	Oui (0–160)	–
Coût produit et main d'œuvre (min, max)										
Traitement phytosanitaire	(Fongicide-pesticide)	Fongicide (0–620)	Fongicide (310–620)	Non	(Insecticide-pesticide) (495–575)	Insecticide (120–495)	Fongicide (0–180)	Non	Fongicide (180–280)	Non
Coût produits et main d'œuvre (min, max)	(310–620)									
Récolte/battage	Mécanique 550	Manuelle-mécanique (550–950)	Mécanique 550	Manuelle (500–550)	Manuelle (700–900)	Manuelle 500	Manuelle (700–900)	Manuelle (500–680)	Manuelle (700–900)	Manuelle (660–760)
Coût (min, max)										

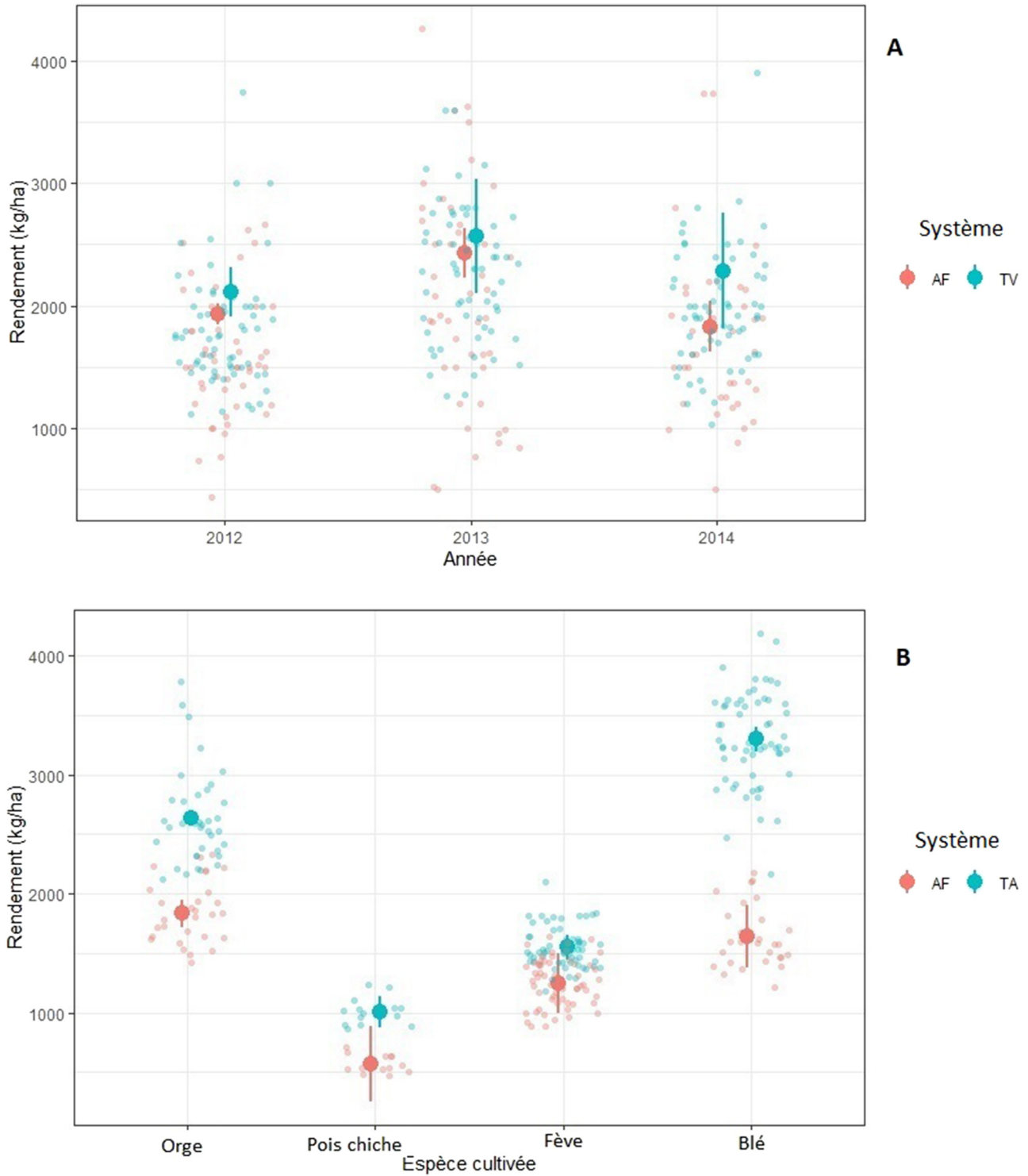


Fig. 2. (A) Variations des rendements (kg/ha) de l'olivier entre agroforesterie (AF) et témoins verger (TV). (B) Variations des rendements grain (kg/ha) des cultures annuelles blé, orge, fève et pois chiche entre agroforesterie et témoin agricole (TA). Les points de couleur représentent les observations (enquêtes), tandis que les boîtes à moustaches représentent les prédictions du modèle mixte sélectionné (Tab. 3).

Fig. 2. (A) Variations in olive yields (kg/ha) between agroforestry plots (AF) and olive tree in control plots (TV). (B) Variations in crop yields (kg/ha) of wheat, barley, faba bean and chickpea between, agroforestry (AF) and monocrops (TA). Color dots represent observations (survey) while boxplots represent the predictions of the selected model (Tab. 3).

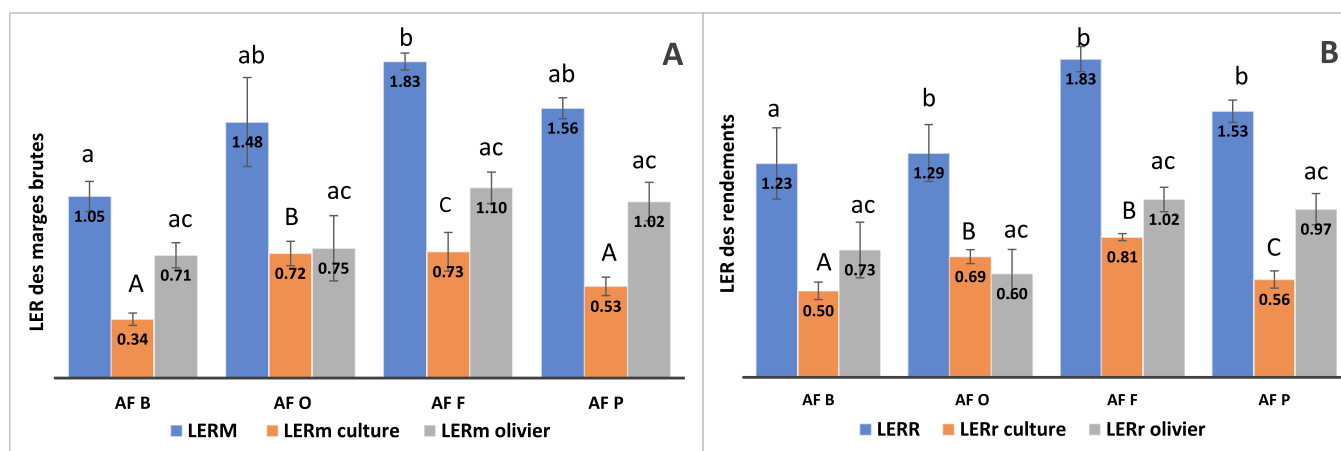


Fig. 3. (A) Land Equivalent Ratio des marges brutes (LER_M) des parcelles agroforestières et Land Equivalent Ratio partiel des marges brutes (LER_m) des cultures et de l'olivier intercalaires, olivier + blé (AF B), olivier + orge (AF O), olivier + fève (AF F), olivier + pois chiche (AF P) obtenus en 2012–2013–2014. Les lettres a, b et c indiquent les différences significatives entre les types d'association selon le test *post hoc* de Tukey. (B) Land Equivalent Ratio des rendements (LER_R) des parcelles agroforestières et Land Equivalent Ratio partiel des rendements (LER_r) des cultures et de l'olivier intercalaires, olivier + blé (AF B), olivier + orge (AF O), olivier + fève (AF F), olivier + pois chiche (AF P) obtenus en 2012–2013–2014. Les lettres indiquent les différences significatives entre les types d'association selon le test *post hoc* de Tukey.

Fig. 3. (A) Land Equivalent Ratio of gross margin (LER_M) of agroforestry and partial Land Equivalent Ratio of gross margin (LER_m) of intercropping crop and olive, olive + wheat (AF B), olive + barley (AF O), olive + fava bean (AF F), olive + chickpea (AF P) over three years (2012, 2013, 2014). Letters a, b and c indicate significant differences between types of association. (B) Land Equivalent Ratio of yield (LER_R) of agroforestry and partial Land Equivalent Ratio (LER_r) of yield of intercropping crops and olive, olive + wheat (AF B), olive + barley (AF O), olive + fava bean (AF F), olive + chickpea (AF P) over three years (2012, 2013, 2014). The letters indicate the significant differences between the types of association.

ha contre 1986 kg/ha en TV. Le rendement moyen en olive a été le plus faible en 2012, avec une moyenne de 1813 kg/ha en TV (Tab. 2).

Les rendements des cultures annuelles présentent des différences significatives selon les espèces ($p < 0,0001$): les rendements des céréales étaient en moyenne de 1930 (± 735) kg/ha pour le blé et 1927 (± 730) kg/ha pour l'orge; les rendements des légumineuses alimentaires étaient de 1400 (± 731) kg/ha pour la fève et de 790 (± 746) kg/ha pour le pois chiche d'hiver (Fig. 2B). Les différences de rendement sont aussi significatives entre systèmes de culture ($p < 0,0001$): les rendements moyens du blé et de l'orge étaient respectivement de 3298 kg/ha et 2638 kg/ha en TA et de 1641 kg/ha et 1831 kg/ha en AF; les rendements de la fève et du pois chiche d'hiver étaient respectivement de 1548 kg/ha et 1007 kg/ha en TA et de 1249 kg/ha et 566 kg/ha en AF (Tab. 2). Les différences de rendement entre années ne sont pas significatives. L'effet du type de succession culturale n'est pas significatif et n'a donc pas été retenu lors de la sélection des modèles (Tab. 3).

4 Efficience des systèmes agroforestiers à base d'oliviers

4.1 Productivité agronomique (LER_R)

De façon générale, les LER_R (Land Equivalent Ratio pour les rendements) étaient supérieurs à 1 pour l'ensemble des parcelles AF étudiées ($1,47 \pm 0,27$). Les LER_R diffèrent significativement selon les associations ($p = 0,005$), mais pas selon les années ($p = 0,66$; $F = 0,63$). En moyenne, sur les trois

années confondues, les LER_R des associations avec l'olivier étaient respectivement de 1,23, 1,29, 1,53 et 1,83 pour le blé, l'orge, le pois chiche d'hiver et la fève (Fig. 3A). Les LER_R des associations olivier + fève sont significativement plus élevés que les autres. Les LER_r partiels des cultures sont significativement différents ($p < 0,0001$) et étaient en moyenne de 0,50 et 0,69 pour le blé et l'orge, et de 0,81 et 0,56 pour la fève et le pois chiche d'hiver. Les LER_r partiels de l'olivier ne varient pas significativement selon les associations ($p = 0,051$) et étaient en moyenne respectivement de 0,73 et 0,60 dans les associations avec le blé et l'orge, et 1,02 et 0,97 avec la fève et le pois chiche d'hiver.

4.2 Performances économiques (LER_M)

Comme pour les LER_R, les LER_M (Land Equivalent Ratio pour les marges brutes) étaient supérieurs à 1 pour l'ensemble des parcelles AF étudiées ($1,48 \pm 0,32$). Les LER_M sont significativement différents selon les associations ($p = 0,001$). En moyenne, sur les trois années confondues, les LER_M des associations avec l'olivier étaient respectivement de 1,05, 1,48, 1,83, 1,56 pour le blé, l'orge, la fève et le pois chiche d'hiver (Fig. 3B). Les LER_M des associations olivier + blé sont significativement plus faibles que les autres. Les LER_m partiels des cultures sont significativement différents ($p < 0,0001$), et étaient en moyenne de 0,34 et 0,72 pour le blé et l'orge, et de 0,73 et 0,53 pour la fève et le pois chiche d'hiver. Les LER_r partiels de l'olivier varient significativement selon les associations ($p = 0,039$) et étaient en moyenne de 0,71 et 0,75 dans les associations avec le blé et l'orge, et de 1,1 et 1,02

dans les associations avec la fève et le pois chiche d'hiver, respectivement.

5 Discussion

5.1 L'olivier au cœur des systèmes de production des petits agriculteurs

Dans la région de MDZ, à l'image de ce que l'on peut trouver de façon plus générale dans le Pré-Rif et le Rif marocain, les oliviers sont cultivés sous forme de vergers purs, ou associés à d'autres cultures ou d'autres espèces fruitières (amandier, caroubier, figuier, figuier de Barbarie) dans des systèmes agroforestiers. Ces systèmes intégrés reposent sur l'association intentionnelle d'arbres ou d'arbustes avec des cultures et/ou de l'élevage, dont l'interaction permet de générer des bénéfices économiques, environnementaux et sociaux (Sabir *et al.*, 1999). Les oliviers sont généralement conduits sans taille particulière, ni traitement phytosanitaire. Ils sont plantés à des densités variant de 70 à 800 arbres/ha, selon des schémas en rangs de 3 × 4 m à 12 × 12 m ou bien distribués aléatoirement. Comme dans d'autres régions méditerranéennes, les oliviers jouent un rôle important dans l'économie de l'exploitation agricole (Moriondo *et al.*, 2019) et structurent fortement la diversité des systèmes de culture. En forte densité, l'arbre est considéré comme un moyen de production et d'occupation du territoire. Les cultures intercalaires sont donc soumises à une forte concurrence pour la lumière, l'eau et les nutriments. Néanmoins, les associations agroforestières constituent une stratégie de production que les agriculteurs adoptent pour diversifier les productions et leurs sources de revenus tout au long de l'année et faire face aux aléas climatiques importants (ex. sécheresse) de la région. Dans leurs enquêtes dans la région de MDZ, Kmoch *et al.* (2018) montrent à quel point les pratiques agroforestières et le choix des espèces cultivées en association dépendent fortement de la topographie des parcelles et de l'accès à l'eau d'irrigation.

5.2 Sous les oliviers, les cultures annuelles produisent moins

De façon générale, la productivité des cultures annuelles, céréales ou légumineuses, a été plus faible en agroforesterie qu'en culture pure. Pour les céréales, la diminution des rendements en AF peut être le résultat de plusieurs facteurs combinés comme l'ombrage et la compétition pour l'eau et les minéraux. Dans la région de MDZ, les céréales sont installées en octobre-novembre et récoltées fin juin. La floraison des oliviers a lieu en avril puis la croissance des rameaux en mai ; durant ces périodes, cultures annuelles et oliviers sont en forte concurrence pour les ressources, d'autant que les précipitations de fin de printemps sont rares. Dans les systèmes agroforestiers méditerranéens, la faible disponibilité en eau et le stress hydrique sont les principales contraintes de production pour les céréales, en particulier le blé (Livesley *et al.*, 2002).

Pour les légumineuses, en particulier la fève, la diminution des rendements a été plus modérée que pour les céréales. La fève est sensible à la sécheresse et à la compétition pour l'eau mais elle a montré une meilleure adaptation à la présence de

l'arbre que le pois chiche d'hiver et que les céréales. Dans des conditions climatiques méditerranéennes, López-Bellido *et al.* (2005) ont suggéré que le rendement de la fève n'est pas lié à une concurrence pour la lumière ou les nutriments mais à la compétition entre les plantes pour l'eau disponible dans le sol à la fin de la saison de croissance. Bien qu'il soit sensible au stress hydrique pendant la floraison et à la température élevée pendant la reproduction (Dahan *et al.*, 2016), le pois chiche d'hiver a un enracinement suffisamment profond pour lui permettre de puiser l'eau des couches profondes, lui conférant une bonne adaptation à la compétition pour l'eau. En revanche, contrairement à la fève, des travaux ont montré que la réduction de l'intensité de la lumière peut à elle seule accroître l'avortement des structures de reproduction chez le pois chiche d'hiver (Verghis *et al.*, 1999).

5.3 Contrairement aux céréales, les légumineuses ont un impact positif sur les oliviers

Cultivés en agroforesterie avec des céréales, les oliviers ont une productivité plus faible qu'en vergers purs. L'effet dépressif exercé par le blé et l'orge sur le rendement de l'olivier est probablement lié à la concurrence pour l'eau et les nutriments lors de la fécondation, la nouaison et la croissance précoce des olives (avril à juin). En effet, les précipitations hivernales, typiques du climat méditerranéen de la région, stimulent généralement la croissance des céréales qui s'étale jusqu'en juin ; cela entraînerait une réduction de la longueur des pousses et de la surface foliaire de l'olivier (Razouk *et al.*, 2016), avec par la suite des effets négatifs sur le rendement.

Au contraire, en agroforesterie avec les légumineuses, les oliviers ont une productivité au moins égale à celle des vergers purs. Dans notre étude, la fève et le pois chiche d'hiver n'ont pas impacté significativement les rendements des oliviers, ce qui suggère que ces espèces, et plus généralement les légumineuses, sont moins compétitives vis-à-vis de l'olivier que les céréales. Cela peut s'expliquer par la précocité de leur cycle de croissance, et donc de leurs besoins en ressources, qui se déroule majoritairement durant la phase de repos hivernal de l'olivier. Les légumineuses arrivent à maturité plus tôt que les céréales, au moment où l'olivier démarre ses phases critiques pour le rendement (fécondation, nouaison). Dans leurs études, Chehab *et al.* (2019) ont même montré que l'association avec la fève peut induire une augmentation significative du rendement en olive et en huile par rapport au témoin en verger pur.

5.4 Les systèmes agroforestiers ont de meilleures performances agronomiques et économiques

Quelle que soit l'espèce cultivée associée, la production agricole et les marges brutes dégagées par les systèmes agroforestiers sont supérieures à celles des cultures pures correspondantes. Malgré des effets parfois négatifs sur les rendements, les valeurs de $LER_R > 1$ et $LER_M > 1$ confirment l'hypothèse que les systèmes agroforestiers sont plus productifs et efficaces que les systèmes de culture pure. Le gain de productivité est de 23 % en rendement et de 5 % en marge brute, ce qui témoigne de la complémentarité écologique (utilisation des ressources) et agronomique (temps

de travail, coûts de production) entre les deux strates. Parmi les différentes modalités d'association rencontrées, la productivité très élevée observée dans les associations avec les légumineuses résulte de la conjonction de facteurs très favorables, comme la répartition des pluies, le cycle court des légumineuses et leur capacité de fixation de l'azote. En plus des potentiels de rendement plus élevés de l'agroforesterie, la diversification des produits peut augmenter le potentiel de rendement financier, en fournissant des revenus annuels et périodiques provenant de multiples productions tout au long de la rotation et en réduisant les risques associés à la culture pure (Benjamin *et al.*, 2000).

6 Conclusion

Notre étude a montré que les systèmes agroforestiers à base d'oliviers sont pratiqués par la quasi-totalité des agriculteurs. Les résultats d'enquêtes ont montré que les associations olivier + céréales et olivier + légumineuses ont une meilleure productivité agronomique ($LER_R > 1$) et de meilleurs résultats économiques ($LER_M > 1$) que les cultures annuelles pures ou les vergers purs. En agroforesterie, l'olivier a réagi positivement à la présence des légumineuses, mais négativement à la présence des céréales. La fève cultivée en intercalaire a entraîné une augmentation des rendements en olives alors qu'au contraire le blé et l'orge ont entraîné une diminution des rendements par rapport à l'olivier en verger pur. À l'inverse, l'olivier a exercé un effet négatif sur les rendements en grain des céréales et dans une moindre mesure des légumineuses associées. Dans un premier temps, nous suggérons de privilégier les légumineuses alimentaires en rotation dans les systèmes agroforestiers à base d'oliviers. Mais il faut aussi travailler sur l'optimisation de l'association olivier-céréales pour assurer des rotations culturales légumineuses-céréales efficaces.

Matériel supplémentaire

Annexe 1. Analyse de variance des rendements de l'olivier et des cultures annuelles et résultats de l'effet système, de l'année et de l'interaction système*année sur le rendement de l'olivier, et effet des espèces, du système et de l'interaction Espèces*système sur le rendement des cultures annuelles.

Annexe 2. Analyse de variance des LER_R et LER_M des parcelles agroforestières olivier + blé (AF_b), olivier + orge (AF_o), olivier + fève (AF_f), olivier + pois chiche (AF_p).

Annexe 3. Comparaisons multiples des moyennes : tukey post ANOVA des LERR et LERM des parcelles agroforestières olivier + blé (AF_b), olivier + orge (AF_o), olivier + fève (AF_f), olivier + pois chiche (AF_p), Lwr représente la limite inférieure de la combinaison des associations à un intervalle de confiance de 5 % et Upr représente la limite supérieure de la combinaison des associations à un intervalle de confiance de 5 %.

Annexe 4. Analyse de variance des LER_R et LER_M partiel des cultures annuelles et de l'olivier des parcelles agroforestières olivier + blé (AF_b), olivier + orge (AF_o), olivier + fève (AF_f), olivier + pois chiche (AF_p).

Le matériel supplémentaire est disponible sur <http://www.cahiersagricultures.fr/10.1051/cagri/2020041/olm>.

Références

- Akaike H. 1973. *Information theory and an extension of the maximum likelihood principle*. In: Petrov BN, Cszaki F, eds. *Proceedings of the Second International Symposium on Information Theory*, Budapest, Akademiai Kiado, pp. 267–28.
- Benjamin TJ, Hoover WL, Seifert JR, Gillespie AR. 2000. Defining competition vectors in a temperate alley cropping system in the midwestern USA. 4. The economic return of ecological knowledge. *Agroforestry Systems* 48: 79–93. DOI: [10.1023/A:1006367303800](https://doi.org/10.1023/A:1006367303800).
- Bouzekraoui H, El Khalki Y, Mouaddine A, Lhissou R, El Youssi M, Brakat A. 2016. Characterization and dynamics of agroforestry landscape using geospatial techniques and field survey: a case study in central High-Atlas (Morocco). *Agroforestry Systems* 90: 965–978. DOI: [10.1007/s10457-015-9877-8](https://doi.org/10.1007/s10457-015-9877-8).
- Centre de conseil agricole. 2018. Monographie agricole du centre de conseil agricole de Béni Amar. Meknes, Maroc.
- Chaussod R, Adlouni A, Christon R. 2005. L'arganier et l'huile d'argane au Maroc : vers la mutation d'un système agroforestier traditionnel? Enjeux et contribution de la recherche. *Cahiers Agricultures* 14(4): 351–356.
- Chehab H, Tekaya M, Ouhibi M, Gouiaa M, Zakhama H, Mahjoub Z, *et al.* 2019. Effects of compost, olive mill wastewater and legume cover crop on soil characteristics, tree performance and oil quality of olive trees cv. Chemlali grown under organic farming system. *Scientia Horticulturae* 253: 163–17. DOI: [10.1016/j.scienta.2019.04.039](https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.04.039).
- Dahan R, Kradi C, Mentag R, Bamouh A, El Asri M, Mouaad A. 2016. Guide Pratique pour le conseil agricole, lentille, pois chiche, fève. Rabat, Maroc : INRA, 28 p. <https://www.inra.org.ma/sites/default/files/publications/ouvrages/leguminkafacifr15.pdf>.
- Daoui K, Fatemi ZEA. 2014. Agroforestry systems in Morocco: the case of olive tree and annual crops association in Saïs region. Science, Policy and Politics of Modern Agricultural System. Global Context to Local Dynamics of Sustainable Agriculture. Agadir, Maroc: NRCS Eds, pp. 281–289. DOI: [10.1007/978-94-007-7957-0_19](https://doi.org/10.1007/978-94-007-7957-0_19).
- Feliciano D, Ledo A, Hillier J, Nayak DR. 2018. Which agroforestry options give the greatest soil and above ground carbon benefits in different world regions? *Agriculture, Ecosystems and Environment* 254: 117–129. DOI: [10.1016/j.agee.2017.11.032](https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.11.032).
- Knoch L, Pagella T, Palm M, Sinclair F. 2018. Using Local Agroecological Knowledge in Climate Change Adaptation: A Study of Tree-Based Options in Northern Morocco. *Sustainability* 10(10): 3719. DOI: [10.3390/su10103719](https://doi.org/10.3390/su10103719).
- Livesley SJ, Gregory PJ, Buresh RJ. 2002. Competition in tree row agroforestry systems. 2. Distribution, dynamics and uptake of soil inorganic N. *Plant and Soil* 247: 177–187. DOI: [10.1023/A:1021494927140](https://doi.org/10.1023/A:1021494927140).
- López-Bellido FJ, López-Bellido L, López-Bellido RJ. 2005. Competition, growth and yield of faba bean (*Vicia faba* L.). *European Journal of Agronomy* 23(4): 359–378. DOI: [10.1016/j.eja.2005.02.002](https://doi.org/10.1016/j.eja.2005.02.002).
- Mead R, Willey RW. 1980. The Concept of a “Land Equivalent Ratio” and Advantages in Yields from Intercropping. *Experimental Agriculture* 16: 217–228. DOI: [10.1017/S0014479700010978](https://doi.org/10.1017/S0014479700010978).
- Moriendo M, Leolini L, Brilli L, Dibari C, Toognetti R, Giovannelli A, *et al.* 2019. A model simulating development simple and growth of an olive grove. *European Journal of Agronomy* 105: 129–145. DOI: [10.1016/j.eja.2019.02.002](https://doi.org/10.1016/j.eja.2019.02.002).

- Nair PKR, Gordon AM, Rosa Mosquera-Losada M. 2008. Agroforestry. *Encyclopedia of Ecology* 101–110. DOI: [10.1016/B978-008045405-4.00038-0](https://doi.org/10.1016/B978-008045405-4.00038-0).
- R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>.
- Razouk R, Daoui K, Ramdani A, Chergaoui A. 2016. Optimal distance between olive trees and annual crops in rainfed intercropping system in northern Morocco. *Journal of Crop Science Research* 1(1): 23–32.
- Sabir M, Roose E, Merzouk A, Nouri A. 1999. Techniques traditionnelles de gestion de l'eau et de lutte antiérosive dans deux terroirs du Rif Occidental (Maroc). L'influence de l'homme sur l'érosion: 1 A l'échelle du versant. *Bulletin – Réseau Erosion* (19): 456–471.
- Verghis TI, McKenzie BA, Hill GD. 1999. Effect of light and soil moisture on yield, yield components, and abortion of reproductive structures of chickpea (*Cicer arietinum*), in Canterbury, New Zealand. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 27: 153–161. DOI: [10.1080/01140671.1999.9514091](https://doi.org/10.1080/01140671.1999.9514091).
- Wolpert F, Quintas-Soriano C, Plieninger T. 2020. Exploring land-use histories of tree-crop landscapes: a cross-site comparison in the Mediterranean Basin. *Sustainability Science* 15: 1267–1283. DOI: [10.1007/s11625-020-00806-w](https://doi.org/10.1007/s11625-020-00806-w).
- Zhang D, Du G, Sun Z, Bai W, Wang Q, Zheng J, *et al.* 2018. Agroforestry enables high efficiency of light capture, photosynthesis and dry matter production in a semi-arid climate. *European Journal of Agronomy*. DOI: [10.1016/j.eja.2018.01.001](https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.01.001).

Citation de l'article : Amassaghrou A, Bouaziz A, Daoui K, Belhouchette H, Ezzahouani A, Barkaoui K. 2021. Productivité et efficience des systèmes agroforestiers à base d'oliviers au Maroc : cas de Moulay Driss Zerhoun. *Cah. Agric.* 30: 2.