



HAL
open science

Analyse typologique et performance productive de la culture du blé dur irrigué en Tunisie

Houda Mazhoud, Fraj Chemak, Roza Chenoune

► **To cite this version:**

Houda Mazhoud, Fraj Chemak, Roza Chenoune. Analyse typologique et performance productive de la culture du blé dur irrigué en Tunisie. Cahiers Agricultures, 2020, 29, pp.24. 10.1051/cagri/2020021 . hal-03692879

HAL Id: hal-03692879

<https://hal.science/hal-03692879>

Submitted on 10 Jun 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Analyse typologique et performance productive de la culture du blé dur irrigué en Tunisie

Houda Mazhoud^{1,2,3,*}, Fraj Chemak^{1,2} et Roza Chenoune⁴

¹ Université de Carthage, Avenue de la République, BP 77, Carthage Amilcar 1054, Tunisie

² Institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie (INRAT), Avenue Hedi Karray, Tunis 2049, Tunisie

³ Institut National Agronomique de Tunisie (INAT), 43, avenue Charles Nicolle, Tunis-Mahrajène 1082, Tunisie

⁴ CIHEAM-IAM, Centre International des Hautes Études Agronomiques Méditerranéennes, 3191, route de Mende, 34093 Montpellier cedex 5, France

Résumé – En Tunisie, la culture de blé dur en irrigué est pratiquée sur une superficie moyenne annuelle de 48 700 ha, soit environ les deux tiers des superficies céréalières conduites en irrigué. Elle produit en moyenne 180 000 t, soit 20 % de la production nationale de blé dur. Cependant, les rendements réalisés restent toujours en dessous des attentes avec une faible productivité, particulièrement celle de la ressource en eau. Dans ce contexte, l'objectif de ce travail est d'élaborer un diagnostic opérationnel de fonctionnement des exploitations céréalières irriguées et de mettre en exergue les principaux leviers d'amélioration des performances de la culture du blé dur. Pour ce faire, des enquêtes de terrain ont été menées auprès d'un échantillon de 698 céréaliculteurs. Les données recueillies ont permis d'élaborer une typologie de fonctionnement et d'analyser les performances de la culture du blé dur. Trois systèmes de production types ont été identifiés : un système monocultural basé sur la culture du blé dur, un système diversifié à orientation céréalière et un système diversifié à orientation maraîchère. L'analyse des performances a révélé une disparité nette entre deux niveaux de performance distincts pour chaque système de production.

Mots clés : système cultural / irrigation / blé dur / typologie / productivité

Abstract – **Typology analysis and productive performance of the irrigated durum wheat crop in Tunisia.** In Tunisia, irrigated durum wheat is grown on an average annual area of 48 700 ha, which represents two-thirds of the irrigated cereal area. It produces an average of 180 000 t, or 20% of national durum wheat production. However, the yields achieved are still below expectations with low productivity, particularly of water resources. In this context, this work aims to draw up an operational diagnosis of the irrigated cereal farms and to highlight the main levers for improving the performance of the durum wheat crop. To this end, field surveys were conducted with a sample of 698 grain farmers. The data collected made it possible to develop a typology of farming systems and to analyze the performance of the durum wheat cultivation activity. Three types of farming systems were identified: A monocultural system based on durum wheat cropping, a diversified cereal-oriented system and a diversified horticulture-oriented system. Performance analysis revealed a clear disparity between two distinct performance levels for each farming system.

Keywords: cropping system / irrigation / durum wheat / typology / productivity

1 Introduction

En Tunisie, la question de la sécurité alimentaire reste principalement tributaire de l'offre céréalière, en raison d'un régime

alimentaire basé sur les produits céréaliers et leurs dérivés (Abis, 2012). Cependant, 94 % des cultures céréalières sont pluviales ; largement impactées par les aléas climatiques, elles offrent une production non seulement fluctuante, mais toujours bien en dessous de la demande (Grami et Ben Rejeb, 2015). Le développement de la céréaliculture irriguée a constitué un choix stratégique pour assurer une production

*Auteur correspondant : houdamazhouud@gmail.com

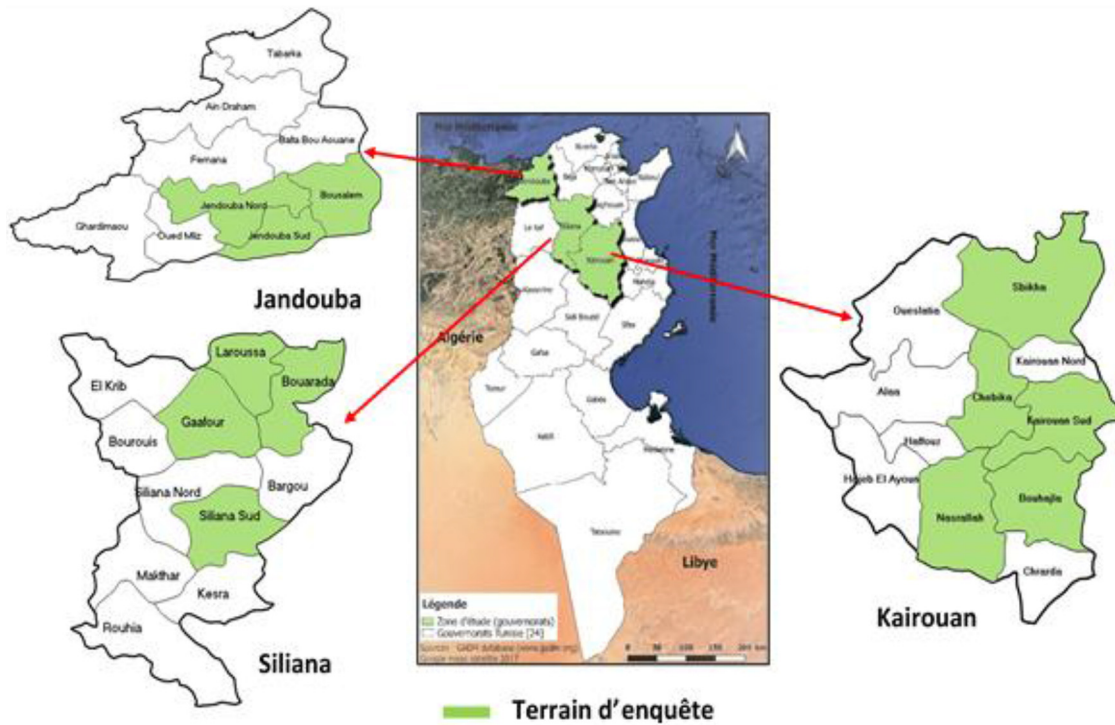


Fig. 1. Localisation de la zone d'étude.
Fig. 1. Location of the study area.

minimale atteignant en moyenne 300 000 t, soit 16 % de la production nationale et pouvant atteindre 43 % en année sèche (DGPA, 2018).

La culture du blé dur reste toujours la principale activité céréalière en irrigué avec une superficie moyenne annuelle de 48 700 ha, soit environ les deux tiers (61 %) des superficies céréalières conduites en irrigué (DGPA, 2018). Elle offre une production moyenne de 180 000 t, soit environ 20 % de la production nationale de blé dur, pouvant aller jusqu'à 42 % en année sèche comme la campagne 2002. En effet, les rendements en irrigué dépassent de loin ceux obtenus en sec, avec une moyenne de 3,8 t/ha contre seulement 1,5 t/ha sur la période 2000–2018. Cependant, ce résultat reste toujours en dessous des attentes avec un rendement recherché de 6 à 7 t/ha (Mailhol *et al.*, 2004 ; Gharbi et El Felah, 2013). Ainsi, la question de la faiblesse des rendements en irrigué est préoccupante et met en cause principalement la maîtrise de la technologie de production, mais aussi la valorisation de l'eau d'irrigation dans un contexte de raréfaction de la ressource (Chemak *et al.*, 2018). Pour remédier à ce problème, les études se sont multipliées en mettant en exergue principalement la relation entre sol, eau et plante. Ainsi, Rezgui (2014) confirme qu'une meilleure adéquation entre le choix variétal et le régime hydrique permet de doubler le rendement et d'augmenter l'efficacité de l'utilisation de l'eau. En revanche, Ben Nouna et Bachtobji (2014) prouvent que l'adoption d'une approche globale qui intègre le besoin hydrique, la réserve utile du sol, la date de semis, le choix variétal et le système d'irrigation permet une augmentation du rendement du blé dur de 17 % à 34 % par rapport à un rendement de référence de 3,3 t/ha. En réalité, ces études sont généralement menées dans des parcelles d'expérimentation sans tenir compte

des conditions intrinsèques de fonctionnement de l'exploitation agricole. Or, la culture du blé dur n'est qu'une composante d'un système de production parfois complexe qui met en relation les moyens (terre, capital, travail) avec les activités végétales et animales, dans une perspective d'atteindre des objectifs (Cochet et Devienne, 2006). Ces objectifs sont exprimés au travers d'un ensemble d'arbitrages et de décisions prises par le chef d'exploitation tout au long de la campagne agricole, mais aussi entre une campagne et une autre (Laurent *et al.*, 2003). Cela implique que la pratique de la culture du blé dur répond à des objectifs multiples dans des conditions pédoclimatiques différentes et en mobilisant des moyens matériels et financiers très variés. La recherche au sein de cette grande diversité permettra d'identifier certains éléments pouvant expliquer la faiblesse des rendements, mais aidera aussi à concevoir d'éventuelles alternatives pour améliorer la production et valoriser au mieux la ressource en eau. Notre recherche a pour objectif d'élaborer un diagnostic opérationnel du fonctionnement des exploitations céréalières en irrigué et de mettre en exergue les principaux leviers d'amélioration des performances de la culture du blé dur.

2 Matériels et méthode

2.1 Terrain de recherche et collecte des données

Notre terrain de recherche est constitué des gouvernorats de Jendouba, Siliana et Kairouan (Fig. 1). Ces trois régions cultivent 56 % des superficies totales du blé dur irrigué et assurent 54 % de la production nationale (DGPA, 2018). La région de Jendouba possède le climat le plus pluvieux du pays, avec des précipitations annuelles moyennes de 496 mm.

La région de Siliana appartient à l'étage bioclimatique semi-aride, avec une pluviométrie moyenne de 408 mm. La région de Kairouan appartient à l'étage aride, avec une pluviométrie moyenne de 294 mm (Kchouk *et al.*, 2015 ; Gharbi *et al.*, 2018). Dans les trois régions, 60 à 80 % des précipitations sont enregistrées durant le cycle de la culture du blé dur en irrigué (novembre–juin).

Afin de cerner la diversité des systèmes de production et d'analyser en profondeur la conduite de la culture du blé dur en irrigué, nous avons opté pour la sélection d'un échantillon représentatif. Nous avons recueilli la liste exhaustive des agriculteurs pratiquant la céréaliculture en irrigué. Le nombre total des céréaliculteurs atteint environ 8 000. Les superficies cultivées varient entre 0,5 et 60 ha et totalisent 46 890 ha. Les superficies dépassant 20 ha sont principalement cultivées par le secteur organisé, comme l'Office des terres domaniales et les sociétés (privées) de mise en valeur. Pour construire notre échantillon, nous avons donc retenu les emblavures de moins de 20 ha, qui couvrent 75 % de la superficie totale des céréales irriguées dans les trois régions. Ensuite, nous avons adopté la méthode de sondage par strate en considérant trois strates ([0–5 ha] ; [5–10 ha] et [10–20 ha]) et en fixant le taux de sondage à 15 % (Savoie-Zajc, 2007). Ainsi, notre échantillon atteint 905 céréaliculteurs, répartis entre 563 (62 %) à Kairouan, 269 (30 %) à Jendouba et 73 (8 %) à Siliana.

Les enquêtes ont été conduites durant le printemps 2016 pour recueillir des données sur le fonctionnement de la campagne agricole 2015. Un questionnaire a été élaboré et testé en listant tous les détails en termes de caractérisation technico-économique du système de production et de pratiques d'irrigation, notamment la consommation en eau par culture. Une attention particulière a été réservée à l'utilisation détaillée des intrants dans la gestion des cultures céréalières (semences, mécanisation, fertilisation, irrigation, travail...). Des questions qualitatives ouvertes ont aussi été formulées en vue de révéler la perception du chef d'exploitation quant aux contraintes et aux perspectives de développement de la céréaliculture en irrigué. Les enquêtes ont été menées par une équipe de trois ingénieurs, avec la collaboration et l'appui des trois commissariats régionaux au développement agricole. 904 enquêtes ont été réalisées. Le dépouillement de ces enquêtes, ainsi que les analyses préliminaires pour repérer les observations aberrantes, ont permis de retenir 698 exploitations cultivant du blé dur irrigué, qui feront l'objet de notre analyse approfondie.

2.2 Analyse des performances et approche typologique

L'analyse du fonctionnement de l'exploitation et des pratiques agricoles est souvent associée à l'analyse des performances. En effet, la notion de performance traduit le niveau d'optimisation d'utilisation des moyens dans l'optique d'atteindre des objectifs stratégiques, à travers la mesure et la comparaison des résultats obtenus (Issor, 2017). Ces résultats sont d'ordre technique et/ou économique à l'échelle d'une activité, d'un système, d'une exploitation ou d'une région (Cochet et Devienne, 2006 ; Hanafi, 2011 ; Zahm *et al.*, 2019). Toutefois, la dotation en moyens et les choix individuels des agriculteurs sont d'une grande diversité, impactant éventuellement les niveaux de performance. L'appréhension de cette

diversité *via* une approche typologique permet donc de mettre en évidence la relation fonctionnement-performance, dans une perspective d'élaborer des stratégies d'intervention appropriées (Hauswirth *et al.*, 2015 ; Chenoune *et al.*, 2016).

Pour atteindre notre objectif, nous avons opté pour une analyse typologique double. La première typologie s'intéresse au fonctionnement de l'exploitation à partir du traitement des données globales sur les exploitations. La seconde distingue au sein de chaque groupe de fonctionnement les niveaux de performance à partir des données recueillies sur les parcelles de blé dur. Dans les deux cas, une analyse en composante principale (ACP) permet de dégager les variables les plus discriminantes, puis une classification ascendante hiérarchisée (CAH) permet de composer des groupes homogènes (Hauswirth *et al.*, 2015 ; Sraïri *et al.*, 2017). La typologie de fonctionnement a permis de distinguer les groupes d'exploitation en fonction de la disponibilité en terre (SAU), l'importance de l'activité céréalière en irrigué (S-CER), la diversification du système cultural (H'), l'importance de l'irrigation des cultures céréalières (E-CER), ainsi que l'orientation technico-économique (OCR et OCM) (Tab. 1). Au sein de chaque groupe type, la seconde typologie a permis de différencier les niveaux de performance en se basant sur les variables discriminantes en termes de productivité de l'eau (PrdE), de productivité de l'azote (PrdN), de l'indice de perfectionnement en irrigation (IPI) et de la productivité économique (PrdEco) (Tab. 1). Cette analyse typologique a été élaborée en utilisant le logiciel TANAGRA.

3 Résultats

3.1 Analyse descriptive

3.1.1 Pratiques d'exploitation et performances

Les exploitations étudiées représentent une surface agricole utile (SAU) de 7345 ha. La superficie moyenne par exploitation s'élève à 11 ha, avec un minimum de 0,5 ha et un maximum de 100 ha. La superficie irriguée s'élève à 6326 ha. Les céréales irriguées occupent 3699 ha, les plantations arboricoles 566 ha et les cultures maraichères 1694 ha. On trouve également des cultures fourragères (219 ha), des cultures légumineuses (114 ha) et même des cultures industrielles (33 ha). 516 agriculteurs (74 %) déclarent pratiquer ces cultures dans le cadre d'un assolement biennal ou triennal. En matière d'irrigation, les exploitations de Kairouan irriguent à partir de puits de surface et de forages privés. Les exploitations de Jendouba et de Siliana sont approvisionnées à partir des eaux de barrages. La consommation moyenne en eau est de 3087 m³/ha, avec une différence significative entre les régions (4227 m³/ha à Kairouan, 1906 m³/ha à Jendouba et 836 m³/ha à Siliana). Cette disparité est expliquée en premier lieu par la différence de précipitations, mais aussi par le régime d'accès à la ressource en eau (privée, publique).

La culture du blé dur en irrigué est la principale culture céréalière et s'étend sur 3183 ha. Cette activité est entièrement mécanisée, depuis la préparation du sol jusqu'à la récolte. Pour la mise en culture d'un hectare de blé dur, les irrigants consacrent en moyenne 6 h au travail du sol. La dose de semis moyenne est de 217 kg/ha. La dose de fertilisation azotée moyenne est de 112 kg/ha (130 kg/ha à Jendouba, 129 kg/ha à Siliana et 98 kg/ha à Kairouan). Les irrigants pratiquent

Tableau 1. Variables discriminantes.**Table 1.** Discriminant variables.

| Variable | Unité | Description |
|------------------------------------|---------------|--|
| Typologie de fonctionnement | | |
| SAU | ha | Superficie agricole utile en hectare |
| S_CER | % | Superficie céréalière irriguée divisée par la superficie totale cultivée |
| H' | % | Cet indice permet de quantifier le degré de diversification du système cultural en tenant compte du nombre des espèces cultivées (Lobry, 2003) |
| E_CER | % | Quantité d'eau consommée par les cultures céréalières, divisée par la quantité d'eau totale consommée sur l'exploitation. |
| OCR | % | Marge brute de l'activité céréalière, divisée par la marge brute globale de l'exploitation |
| OCM | % | Marge brute de l'activité maraîchère, divisée par la marge brute globale de l'exploitation |
| Typologie de performance | | |
| PrdE | kg/ha/mm | Rendement du blé dur divisé par la quantité d'eau apportée par l'irrigation et les précipitations |
| PrdN | kg/unité de N | Rendement du blé dur divisé par la quantité d'unités d'azote apportées par hectare |
| IPI | % | Quantité d'eau d'irrigation apportée à un hectare de blé dur, divisée par la quantité d'eau moyenne consommée par hectare sur l'exploitation |
| PrdEco | TND/TND | Marge brute d'un hectare de blé dur divisée par les charges de production |

Tableau 2. Analyse descriptive.**Table 2.** Descriptive analysis.

| Niveau | Variables | Kairouan | | Jendouba | | Siliana | | Total | |
|------------------|--|-------------------|---------|-------------------|---------|-------------------|---------|---------|---------|
| | | Moyenne | E. Type | Moyenne | E. Type | Moyenne | E. Type | Moyenne | E. Type |
| Exploitation | SAU par exploitation (ha) | 11 ^a | 10 | 10 ^{ab} | 10 | 10 ^b | 13 | 11 | 10 |
| | Consommation en eau (m ³ /ha) | 4227 ^a | 3815 | 1906 ^b | 7785 | 836 ^b | 758 | 3087 | 5568 |
| | Produit brut global (TND/ha) | 4481 ^a | 3722 | 5371 ^b | 3472 | 4217 ^a | 3198 | 4768 | 3611 |
| | Dépenses globales (TND/ha) | 2345 ^a | 1845 | 2554 ^a | 2459 | 1791 ^b | 1420 | 2365 | 2057 |
| | Dépenses d'irrigation (TND/ha) | 1100 ^a | 806 | 255 ^b | 2014 | 55 ^c | 49 | 703 | 1406 |
| | Marge brute globale (TND/ha) | 2137 ^a | 2257 | 2817 ^b | 1838 | 2425 ^a | 2271 | 2403 | 2141 |
| Parcelle blé dur | Rendement (t/ha) | 3,7 ^a | 1,4 | 4,2 ^c | 1,0 | 3,7 ^a | 1,1 | 3,9 | 1,3 |
| | Productivité de l'eau (kg/ha/mm) | 8 ^a | 0,46 | 6 ^b | 0,19 | 6 ^c | 0,26 | 7 | 0,37 |
| | Productivité de l'azote (kg/unité de N) | 45 ^a | 35 | 37 ^{ab} | 25 | 32 ^b | 16 | 41 | 30 |
| | Produit brut (TND/ha) | 3171 ^a | 1008 | 3354 ^b | 805 | 2889 ^a | 850 | 3208 | 936 |
| | Dépenses totales (TND/ha) | 1907 ^a | 875 | 1097 ^b | 222 | 1038 ^b | 218 | 1539 | 782 |
| | Marge brute (TND/ha) | 1264 ^a | 880 | 2257 ^b | 799 | 1851 ^c | 803 | 1669 | 963 |

l'irrigation complémentaire en appliquant 4 irrigations en moyenne. La consommation moyenne en eau s'élève à 2179 m³/ha, avec une importante disparité régionale (3407 m³/ha à Kairouan, 813 m³/ha à Siliana et 618 m³/ha à Jendouba).

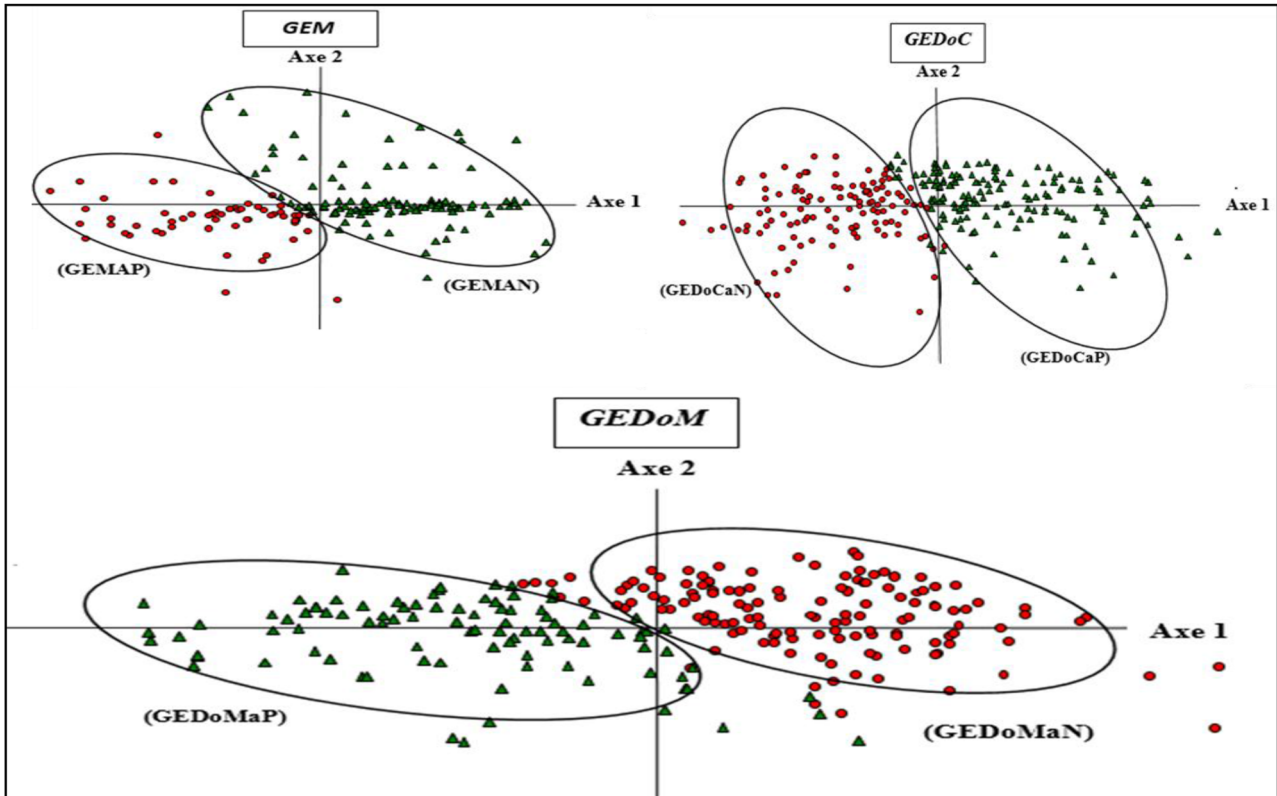
En termes de performance agronomique, la culture du blé dur en irrigué atteint un rendement moyen de 3,9 t/ha (4,2 t/ha à Jendouba, mais seulement 3,7 t/ha à Kairouan et Siliana). La productivité moyenne de l'eau est de 7 kg/ha/mm (8 kg/ha/mm à Kairouan, 6 kg/ha/mm à Jendouba et Siliana). En matière de fertilisation azotée, la productivité moyenne s'élève à 41 kg/unité de N, avec une faible disparité régionale (45 kg/unité de N à Kairouan, 37 kg à Jendouba et 32 kg à Siliana) (Tab. 2).

3.1.2 Analyse économique

Les analyses économiques montrent que lors de la campagne 2015, les exploitations ont réalisé un produit brut

moyen de 4768 TND/ha (1 TND=0,3 €). Les dépenses moyennes s'élèvent à 2365 TND/ha, dont 32 % sont consacrées à l'irrigation. Ces dépenses d'irrigation présentent des disparités régionales significatives : 1100 TND/ha à Kairouan, 255 TND/ha à Jendouba et 55 TND/ha à Siliana (Tab. 2). Cette disparité s'explique d'abord par la différence de consommation en eau, mais aussi par les différences de prix de l'eau (0,33 TND/m³ en moyenne à Kairouan, contre seulement 0,15 TND/m³ à Jendouba et 0,065 TND/m³ à Siliana). Ces exploitations réalisent une marge brute globale (MBG) moyenne de 2403 TND/ha, dont 66 % (1604 TND/ha) est générée par l'activité céréalière.

Les résultats montrent également qu'avec un prix moyen de vente de 690 TND/t, la culture du blé dur en irrigué permet un produit brut moyen de 3208 TND/ha (3354 TND/ha à Jendouba, 3171 TND/ha à Kairouan et 2889 TND/ha à Siliana) (Tab. 2). Les dépenses globales moyennes s'élèvent à 1539 TND/ha,



Source : nos résultats.

Fig. 2. Répartition des groupes types selon les axes factoriels.

Fig. 2. Type groups distribution according to factor axes.

dont 29 % sont consacrées à l'irrigation. Ces dépenses présentent une disparité régionale importante (1907 TND/ha à Kairouan, 1097 TND/ha à Jendouba et 1038 TND/ha à Siliana). Ainsi, la culture du blé dur offre une marge brute (MB) moyenne de 1669 TND/ha, avec une disparité régionale significative (2257 TND/ha à Jendouba, 1851 TND/ha à Siliana et 1264 TND/ha à Kairouan (Tab. 2).

3.2 Analyse typologique

À l'issue de la première ACP, un plan factoriel a été défini par les deux premiers axes expliquant 71 % de la variance totale. Les résultats issus de cette ACP, croisés avec les résultats de la classification hiérarchique, ont permis d'identifier trois groupes types d'exploitations dénommés : (i) Groupe d'exploitations monoculturelles (GEM), (ii) Groupe d'exploitations diversifiées à orientation céréalière (GEDoC) et (iii) Groupe d'exploitations diversifiées à orientation maraîchère (GEDoM). Les résultats issus de la deuxième ACP nous ont permis de retenir un plan factoriel par groupe type d'exploitations. Ces plans représentent respectivement 69 %, 65 % et 68 % de la variance des exploitations types des GEM, GEDoC et GEDoM. Ainsi, au sein de chaque groupe type d'exploitations, nous avons identifié des exploitations plus ou moins performantes eu égard à la pratique de la culture du blé dur en irrigué. Ces deux sous-groupes types sont dénommés « Exploitations avec assise technique positive » (...aP) et « Exploitations avec assise technique négative » (...aN) (Fig. 2).

3.2.1 Le groupe d'exploitations monoculturelles (GEM)

Le groupe GEM est composé de 188 exploitations (27 %). Ces exploitations disposent d'une SAU moyenne de 8,3 ha. Elles pratiquent la jachère sur une superficie moyenne d'environ 22 % de la SAU et se distinguent par le système cultural le moins diversifié ($H^2 = 17\%$). En effet, les cultures céréalières occupent 97 % des emblavures. Ce groupe se caractérise par la consommation en eau la plus faible, avec une moyenne de 1953 m³/ha. Il réalise aussi la MBG la plus faible, évaluée en moyenne à 1691 TND/ha (Fig. 3). L'activité céréalière constitue la principale source de revenu avec une MB moyenne de 1500 TND/ha, soit 83 % de la MBG.

64 exploitations présentent une assise technique positive (GEMaP). Ces exploitations cultivent le blé dur sur une superficie moyenne (SBD) de 5 ha (Tab. 3). L'indice de perfectionnement en irrigation (IPI) est égal à 1 et la consommation en eau s'élève à 1249 m³/ha. Pour ce groupe, la productivité de l'eau (PrdE) et de l'azote (PrdN) atteignent respectivement 10 kg/ha/mm et 58 kg/unité de N. Ce groupe réalise une MB moyenne (2599 TND/ha) bien supérieure à celle des autres groupes, permettant une meilleure productivité économique (PrdEco) de 2,5.

En revanche, 124 exploitations présentent une assise technique négative (GEMaN). Ces exploitations cultivent le blé dur sur une superficie moyenne de 4,5 ha avec un IPI proche de 1. La consommation en eau s'élève en moyenne à 2042 m³/ha. Ce groupe présente un niveau de performance

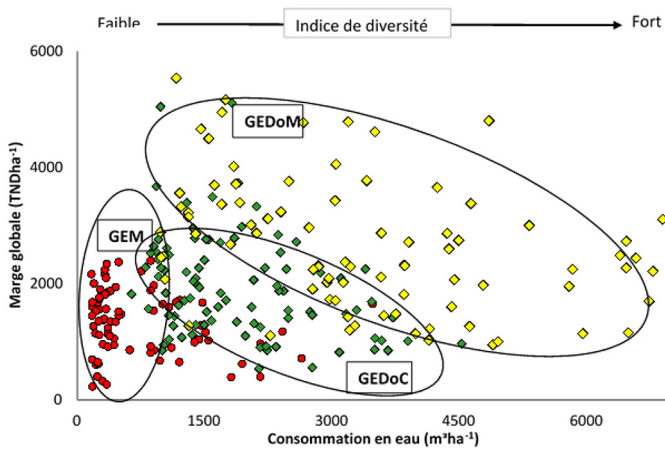


Fig. 3. Caractérisation des groupes types en fonction de l'indice de diversité, de la marge brute globale et de la consommation en eau.

Fig. 3. Characterization of type groups according to diversity index, overall gross margin and water consumption.

technique faible, avec une PrdE de 6 kg/ha/mm et une PrdN égale à 28 kg/unité de N. Ce groupe présente aussi une MB moyenne et une PrdEco faible, qui n'atteignent respectivement que 1240 TND/ha et 0,9.

3.2.2 Le groupe d'exploitations diversifiées à orientation céréalière (GEDoC)

Le groupe GEDoC est composé de 272 exploitations (39%). Il se distingue par un système cultural diversifié ($H' = 35\%$). Cependant, la céréaliculture reste l'activité la plus importante en termes de superficie et de revenu. En effet, elle occupe 56% de la superficie cultivée et assure environ 51% de la MBG. Les cultures maraîchères occupent 21% des emblavures et les autres spéculations environ 23%. La consommation en eau s'élève en moyenne à 2815 m³/ha et la MBG atteint en moyenne 2446 TND/ha (Fig. 3).

157 exploitations (57%) présentent une assise technique positive (GEDoCaP). Ces exploitations cultivent le blé dur sur une superficie moyenne de 4 ha. Elles se distinguent des autres groupes par une faible consommation en eau (1173 m³/ha), avec un IPI égal à 0,6. Cependant, ce groupe présente une PrdE importante, avec une moyenne de 9 kg/ha/mm. La PrdN s'élève à 52 kg/unité de N. Ce groupe présente également un niveau de performance économique important, avec une MB moyenne de 2343 TND/ha et une PrdEco moyenne égale à 2 (Tab. 3).

Le groupe GEDoC avec assise technique négative (GEDoCaN) est composé de 115 exploitations. Ce groupe cultive le blé dur sur une superficie moyenne de 3,5 ha. Il se distingue par l'IPI le plus élevé (1,1) et par une consommation d'eau moyenne importante (2892 m³/ha). Il présente la PrdE la plus faible (5 kg/ha/mm). De même, la PrdN moyenne atteint seulement 29 kg/unité de N. Ce groupe d'exploitations présente également une faible performance économique avec une MB moyenne égale à 1141 TND/ha et une PrdEco de 0,8 (Tab. 3).

3.2.3 Le groupe d'exploitations diversifiées à orientation maraîchère (GEDoM)

Le groupe GEDoM est composé de 238 exploitations (34%), d'une taille moyenne de 14 ha. Il se distingue par le système cultural le plus diversifié ($H' = 43\%$) et la consommation en eau la plus importante (4293 m³/ha). De même, il réalise la MBG la plus élevée (2907 TND/ha). Bien que les cultures maraîchères représentent seulement 39% de la superficie totale cultivée, elles fournissent 56% de la MBG. L'activité céréalière, qui occupe 49% des emblavures, n'assure que 26% de la MBG.

102 exploitations de ce groupe (43%) présentent une assise technique positive (GEDoMaP). Ce groupe cultive le blé dur sur une superficie moyenne de 5,5 ha. La consommation en eau s'élève en moyenne à 1749 m³/ha, avec un IPI égal à 0,8. La PrdN atteint 51 kg/unité de N. Cependant, ce groupe montre une PrdE moyenne (8 kg/ha/mm) nettement inférieure à celle du groupe GEDoCaP. Il réalise une MB moyenne importante de 2286 TND/ha, soit une PrdEco de 1,9.

Le groupe GEDoM avec assise technique négative (GEDoMaN) compte 136 exploitations. La superficie moyenne cultivée en blé dur est de 4 ha. Ce groupe se distingue par la consommation en eau la plus importante (3622 m³/ha), avec un IPI égal à 1. Cependant, il présente la PrdE la plus faible (5 kg/ha/mm) et une PrdN moyenne également faible (33 kg/unité de N). De même, il présente une faible performance économique avec une MB moyenne de 828 TND/ha et une PrdEco de 0,5.

4 Discussion

L'analyse des statistiques descriptives révèle une hétérogénéité au sein des exploitations en termes de structure, de système cultural et d'orientation technico-économique. L'analyse typologique a permis de classer ces exploitations en trois groupes homogènes. Un groupe GEM, pratiquant la monoculture céréalière, réalise une marge brute globale plus faible que celle des autres groupes. Le groupe GEDoC est caractérisé par un système cultural diversifié (à base céréalière) et une marge brute globale supérieure à celle du GEM. Le troisième groupe GEDoM présente le système cultural le plus diversifié (avec du maraîchage), la consommation d'eau la plus élevée et la marge brute globale la plus importante. L'analyse de ces groupes en termes de performances de la culture du blé dur a permis de distinguer les exploitations les plus performantes des moins performantes.

L'analyse d'un éventuel effet région sur la performance de la culture du blé dur en irrigué montre tout d'abord qu'il n'y a pas de différences significatives entre Siliana et Jendouba, quel que soit le groupe type et l'indicateur de performance. En revanche, ces deux régions présentent des différences significatives avec la région de Kairouan pour certains indicateurs (Tab. 4). Des différences significatives sont à signaler principalement pour la consommation en eau, la productivité de l'azote, la productivité de l'eau et la productivité économique. Cela pourrait s'expliquer, en grande partie, par la variabilité des conditions climatiques et de la nature de la ressource en eau (privée/publique). Ainsi, Ben Zekri (2017) a montré que les meilleures productivités de l'eau

Tableau 3. Caractérisation de la typologie de performance.**Table 3.** Characterization of the performance typology.

| | N | SBD (ha) | Rdt (t/ha) | PrdN (kg/kg N) | PrdE (kg/ha/mm) | C-eau (m ³ /ha) | IPI | MB (TND/ha) | PrdEco |
|--------------------|------------|-------------------|------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|------------------|--------------------|-------------------|
| GEMaP | 64 | 5 ^a | 4,9 ^a | 58 ^a | 10 ^a | 1249 ^a | 1,0 ^a | 2599 ^a | 2,4 ^a |
| GEMaN | 124 | 4,5 ^a | 3,3 ^b | 28 ^b | 6 ^b | 2042 ^b | 0,9 ^a | 1240 ^b | 0,9 ^b |
| Total GEM | 188 | 4,7 | 3,9 | 39 | 7 | 1772 | 0,9 | 1703 | 1,5 |
| GEDoCaP | 157 | 4 ^a | 4,4 ^a | 52 ^a | 9 ^a | 1173 ^a | 0,6 ^b | 2343 ^a | 2,0 ^a |
| GEDoCaN | 115 | 3,5 ^{ab} | 3,3 ^b | 29 ^b | 5 ^{bc} | 2892 ^c | 1,1 ^a | 1141 ^{bd} | 0,8 ^{bc} |
| Total GEDoC | 272 | 4 | 4,0 | 43 | 8 | 1900 | 0,8 | 1835 | 1,6 |
| GEDoMaP | 102 | 5,5 ^a | 4,6 ^a | 51 ^a | 8 ^a | 1749 ^{ab} | 0,8 ^b | 2286 ^a | 1,9 ^a |
| GEDoMaN | 136 | 4 ^{ad} | 3,2 ^b | 33 ^b | 5 ^c | 3622 ^{cd} | 1,0 ^a | 828 ^d | 0,5 ^c |
| Total GEDoM | 238 | 5 | 3,9 | 41 | 6 | 2819 | 0,9 | 1453 | 1,1 |
| Total | 698 | 4,5 | 3,9 | 41 | 7 | 2179 | 0,9 | 1669 | 1,4 |

Test statistique de Kruskal-Wallis (méthode de Dunn, correction de Bonferroni) avec un niveau de signification de 5 %.

Pour chaque variable, les groupes types ne comportant pas de lettre identique diffèrent significativement pour cette variable.

Tableau 4. Analyse de l'effet région par groupe type.**Table 4.** Analysis of the region effect by type group.

| Groupe | Régions | Rdt (t/ha) | PrdN (kgN ⁻¹) | PrdE (kgha ⁻¹ mm ⁻¹) | C-eau (m ³ ha ⁻¹) | IPI | MB (TNDha ⁻¹) | PrdEco |
|---------|------------------|-------------------|---------------------------|---|--|-------------------|---------------------------|------------------|
| GEMaP | Kairouan (n=28) | 4,9 ^a | 73 ^a | 14 ^a | 2451 ^a | 1,0 ^a | 2474 ^a | 1,7 ^a |
| | Jendouba (n=24) | 5,3 ^{ab} | 50 ^b | 7 ^b | 568 ^b | 0,8 ^a | 2802 ^a | 3,0 ^b |
| | Siliana (n=12) | 4,1 ^b | 46 ^b | 10 ^{ab} | 435 ^b | 0,9 ^a | 2375 ^a | 2,7 ^b |
| GEMaN | Kairouan (n=63) | 3,4 ^c | 31 ^c | 7 ^c | 3376 ^c | 0,7 ^c | 986 ^c | 0,7 ^c |
| | Jendouba (n=40) | 3,3 ^c | 27 ^{cd} | 5 ^d | 630 ^d | 0,9 ^c | 1569 ^d | 1,0 ^d |
| | Siliana (n=21) | 3,1 ^c | 24 ^d | 7 ^c | 727 ^d | 0,9 ^c | 1371 ^{cd} | 1,2 ^d |
| GEDoCaP | Kairouan (n=79) | 4,3 ^e | 65 ^e | 7 ^e | 2142 ^e | 0,6 ^e | 1974 ^e | 1,6 ^e |
| | Jendouba (n=64) | 4,5 ^e | 45 ^f | 12 ^f | 484 ^f | 0,6 ^e | 2649 ^f | 3,0 ^f |
| | Siliana (n=14) | 4,3 ^e | 40 ^{ef} | 10 ^e | 642 ^f | 0,7 ^e | 2307 ^{ef} | 2,3 ^f |
| GEDoCaN | Kairouan (n=73) | 3,1 ^g | 30 ^g | 5 ^{gh} | 4004 ^g | 1,2 ^h | 824 ^g | 0,5 ^g |
| | Jendouba (n=36) | 3,6 ^g | 28 ^g | 5 ^h | 970 ^h | 1,0 ^h | 1745 ^h | 2,0 ^h |
| | Siliana (n=6) | 3,0 ^g | 26 ^g | 7 ^g | 870 ^h | 1,0 ^h | 1380 ^{gh} | 1,0 ^h |
| GEDoMaP | Kairouan (n=54) | 4,4 ^j | 62 ^j | 10 ^j | 2607 ^j | 0,9 ^{ij} | 1908 ⁱ | 1,0 ⁱ |
| | Jendouba (n=41) | 4,8 ^j | 39 ⁱ | 7 ⁱ | 630 ⁱ | 0,7 ⁱ | 2735 ^j | 3,0 ^j |
| | Siliana (n=7) | 4,8 ^j | 38 ^{ij} | 10 ^{ij} | 1679 ^{ij} | 1,0 ^j | 2576 ^{ij} | 2,0 ^j |
| GEDoMaN | Kairouan (n=108) | 3,2 ^v | 36 ^v | 4 ^v | 4383 ^v | 1,2 ^v | 713 ^k | 0,4 ^k |
| | Jendouba (n=21) | 3,1 ^v | 23 ^{kv} | 5 ^v | 543 ^k | 0,7 ^k | 1312 ^v | 1,0 ^v |
| | Siliana (n=7) | 2,6 ^v | 19 ^k | 5 ^v | 1124 ^k | 0,9 ^{kv} | 1155 ^{kv} | 1,0 ^v |

Test statistique de Kruskal-Wallis (méthode de Dunn, correction de Bonferroni) avec un niveau de signification de 5 %.

L'analyse est faite par groupe type : dans chaque groupe type, les régions ne comportant pas de lettre identique pour une variable diffèrent significativement pour cette variable.

et de l'azote pour le blé dur en Méditerranée varient respectivement de 10 à 16 kg/ha/mm, et de 8 à 48 kg/kg d'azote. Elle lie cette variabilité à l'effet des conditions pédoclimatiques comme l'évapotranspiration du sol et à d'autres facteurs liés à la fertilité du sol. Lasram *et al.* (2015) ont confirmé également que les contraintes pédoclimatiques expliquent jusqu'à 30 % de la variabilité régionale de la productivité de l'eau en Tunisie. En revanche, nous estimons que les indicateurs de rendement et de perfectionnement en irrigation ne sont pas impactés par un effet région.

En terme d'analyse de la relation entre système cultural et performance, la pratique de la monoculture céréalière semble être un facteur de détérioration vraisemblable de la

performance chez les exploitations de type GEMaN (Daaloul *et al.*, 2014). En effet, l'analyse de la PrdE et de la PrdN en fonction de l'indice de diversité (Fig. 4) montre une relation linéaire positive et confirme l'impact positif de la diversité culturale sur l'amélioration de la productivité. Ce résultat est confirmé par d'autres travaux. En analysant les systèmes céréaliers méditerranéens, Ben Zekri (2017) a montré que la diversification du système cultural permet une augmentation simultanée de l'efficacité de l'azote de 63 à 129 kg/kg d'azote et de la productivité de l'eau de 10 à 17 kg/ha/mm. D'autres travaux prouvent que cette pratique est à l'origine d'une diminution des teneurs en matière organique des sols (Martiniello, 2007 ; Meynard *et al.*, 2013). En revanche,

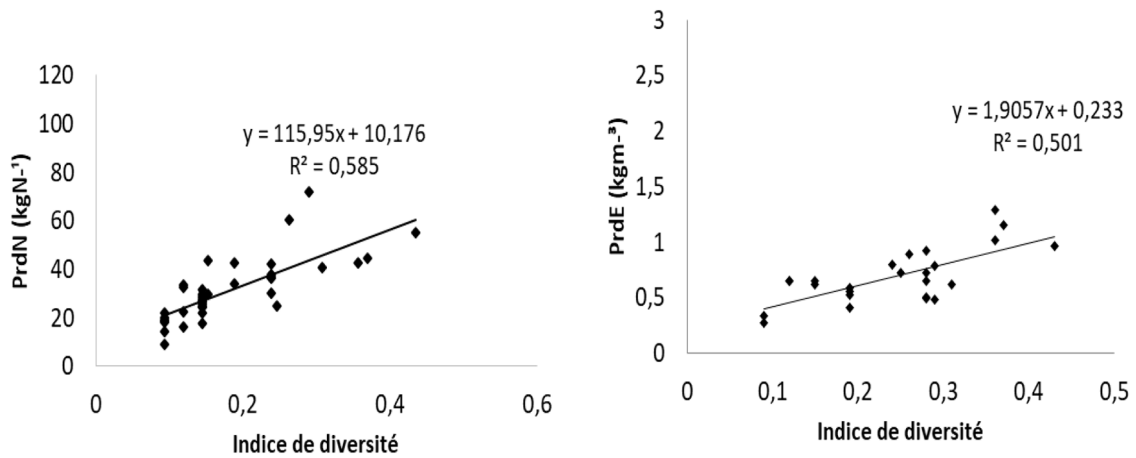


Fig. 4. Variabilité de la productivité de l’azote et de l’eau en fonction de l’indice de diversité.
Fig. 4. Variability of nitrogen and water productivity as a function of the diversity index.

malgré un système monocultural, le groupe GEMaP obtient des performances meilleures qui dépassent même celles des autres groupes. Deux facteurs semblent jouer en faveur de cette performance. Le premier concerne la pratique de la jachère. En effet, [Ben Zekri \(2017\)](#) a montré que la productivité de l’azote pour un blé sur jachère s’élève à 75 kg/kg d’azote, contre seulement 26 kg/kg d’azote pour un blé sur blé. En outre, cette performance pourrait être expliquée par une plus grande maîtrise de la technologie de production et une meilleure veille de la part des céréaliculteurs pour tirer un profit maximal de leur principale activité. Cependant, ces performances restent bien loin d’une PrdN optimale de 129 kg/kg d’azote ([Ben Zekri, 2017](#)) et d’une PrdE potentielle de 20 kg/ha/mm ([Lasram *et al.*, 2015](#)).

Les résultats d’analyse des performances des exploitations du type GEDoC et GEDoM confirment l’impact positif de la diversification culturale sur l’amélioration de la productivité de l’eau et de l’azote. Cependant, ce résultat reste à nuancer par l’existence de groupes types moins performants (GEDoCaN et GEDoMaN) que le groupe GEMaP dans son ensemble. Par conséquent la diversification du système cultural ne peut pas constituer le seul facteur déterminant d’une meilleure performance.

En effet, l’analyse des performances des exploitations de type GEDoCaN montre que la productivité de l’eau décroît lorsque la consommation en eau augmente ([Fig. 5](#)). Cela peut traduire un usage non rationnel de l’eau d’irrigation. Ce résultat peut être mis en évidence par l’IPI qui s’élève à 1,1, contre 0,6 pour le groupe GEDoCaP. Ce résultat est en cohérence avec les travaux de [Sander et Wim \(2004\)](#), qui ont montré que la gestion de l’eau d’irrigation peut faire évoluer la productivité de l’eau pour la culture du blé dur de 6 à 17 kg/ha/mm. En outre, ces exploitations montrent une PrdN moyenne bien inférieure à celle des autres groupes, qui baisse au fur et à mesure que la quantité d’azote augmente ([Fig. 6](#)), traduisant un problème de maîtrise de la fertilisation azotée ([Ali et Talukder, 2008](#)).

À la lumière de ces résultats, nous estimons que l’amélioration des performances dans le groupe GEDoC est possible *via* la mise en œuvre d’une technologie de production adéquate. Cette adéquation comprend d’une part la meilleure

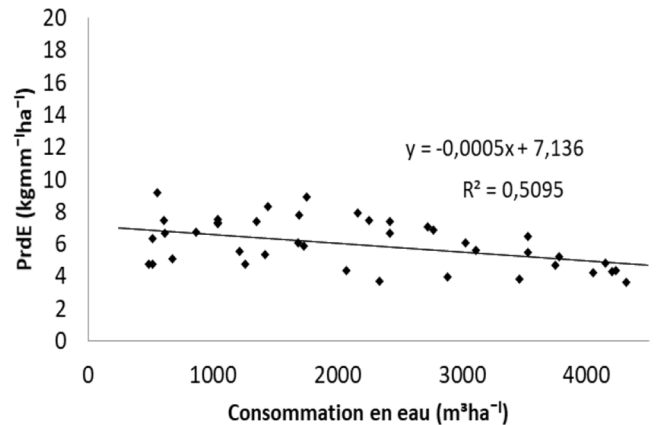


Fig. 5. Productivité de l’eau en fonction de la consommation en eau (GEDoCaN).
Fig. 5. Water productivity as a function of water consumption (GEDoCaN).

maîtrise de l’irrigation et d’autre part la bonne planification de la fertilisation azotée ([El Felah et Gharbi, 2014](#) ; [Lasram *et al.*, 2015](#)).

Malgré la diversification du système cultural, les exploitations du type GEDoMaN se distinguent des autres groupes par la productivité de l’eau la plus faible. Pour comprendre ce résultat, il faut signaler l’importance de la consommation en eau relevée dans la région de Kairouan, qui s’élève à 4 383 m³/ha contre 1 124 m³/ha à Siliana et 543 m³/ha à Jendouba ([Tab. 4](#)). En effet, cette consommation dépasse de loin les besoins d’irrigation de 3 300 m³/ha estimée par [Boughdiri *et al.* \(2014\)](#), impliquant une surconsommation en eau, improductive ([Fig. 7](#)).

De même, ce groupe montre la marge brute la plus faible (828 TND/ha) de tous les groupes, avec la plus faible productivité économique. Cela remet en question la compétitivité de la culture du blé dur en irrigué au sein du système cultural. À la lumière de ces résultats, nous suggérons que l’amélioration de la performance productive pour les exploitations

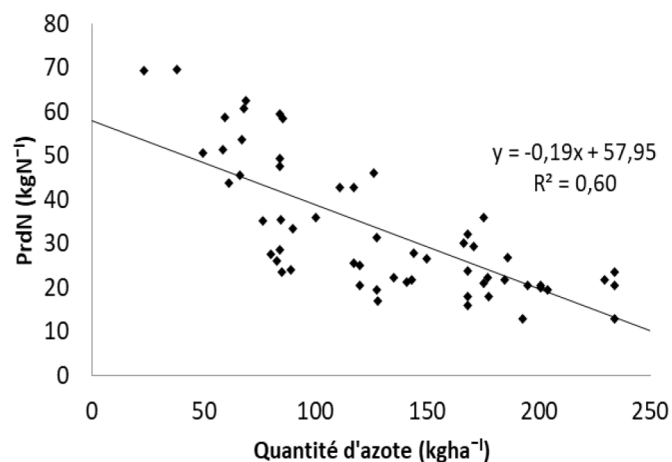


Fig. 6. Productivité de l'azote en fonction de la quantité d'azote (GEDoCaN).

Fig. 6. Nitrogen productivity as a function of amount of nitrogen (GEDoCaN).

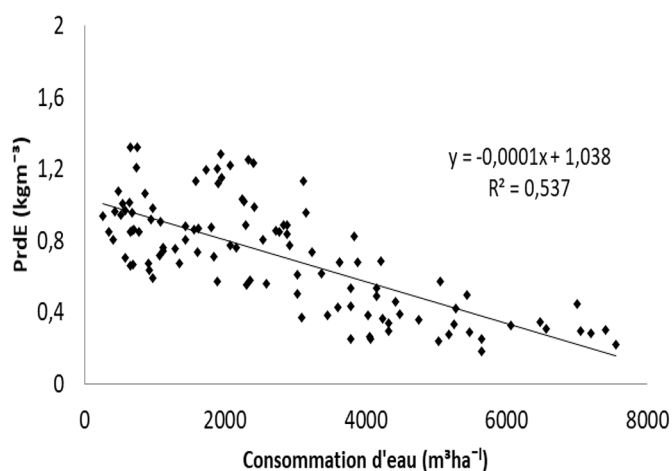


Fig. 7. Productivité de l'eau en fonction de la consommation en eau.

Fig. 7. Water productivity as a fonction of water consumption.

diversifiées à orientation maraîchère (GEDoM) mérite une réflexion approfondie quant à la compétitivité de la culture du blé dur, en relation avec l'économie d'eau et l'amélioration de sa productivité (Bachta, 2008).

5 Conclusion

L'analyse typologique a permis de mettre en évidence la relation entre le système cultural et la performance de la culture du blé dur en irrigué. Bien que cette analyse reste peu informative sur d'autres facteurs techniques (choix variétal, bilan hydrique, calendrier d'irrigation, traitements phytosanitaires, pertes à la récolte) susceptibles d'impacter les performances, les résultats montrent que l'amélioration des rendements et de la productivité de certains facteurs, notamment l'eau et l'azote, est possible *via* certains leviers comme la diversification culturale, la maîtrise de la technologie de production, notamment en terme de pratiques

d'irrigation et de fertilisation azotée, ainsi que l'amélioration de la compétitivité de la culture. Ce résultat mérite d'être confirmé par l'approfondissement des recherches en considérant les trois questions suivantes :

- Jusqu'à où la diversification du système monocultural peut-il améliorer les performances ?
- Quelles sont les pratiques d'irrigation adéquates pour l'amélioration des performances des exploitations diversifiées à orientation céréalière ?
- Quels sont les facteurs déterminants de l'amélioration de la compétitivité de la culture du blé dur dans les exploitations diversifiées à orientations maraîchère ?

Pour répondre à ces questions, nous estimons que l'adoption d'une approche de modélisation bioéconomique permettra d'optimiser les choix techniques et de juger leur performance économique, tout en simulant des mesures de politique appropriées pour accompagner le développement de la culture du blé dur en irrigué.

Remerciements. Cette recherche a été financée par l'Institut de la recherche et de l'enseignement supérieur agricoles (IRESA) et a reçu le soutien du Laboratoire d'économie rurale de l'INRAT. Les auteurs tiennent à remercier le Pr. Mohamed Elloumi, Chef du laboratoire, pour son soutien et ses encouragements. Nos vifs remerciements sont adressés également aux évaluateurs pour leurs commentaires précieux et leurs critiques pertinentes.

Références

- Abis S. 2012. Le blé en méditerranée. Sociétés, commerce et stratégies. *Economie et territoire/relations commerciales* 241–247.
- Ali M, Talukder M. 2008. Increasing water productivity in crop production – A synthesis. *Agricultural Water Management* 95(11): 12–13. DOI: [10.1016/j.agwat.2008.06.008](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.06.008).
- Bachta MS. 2008. L'agriculture, l'agroalimentaire, la pêche et le développement rural en Tunisie. In: Allaya M, ed. *Les agricultures méditerranéennes : analyses par pays*. Montpellier: CIHEAM, pp.75–94. (Options Méditerranéennes: Série B. Etudes et Recherches, n° 61). <http://om.ciheam.org/om/pdf/b61/00800134.pdf>.
- Ben Nouna B, Bachtobji M. 2014. Développement des calendriers d'irrigation pour la conduite du blé dur dans les conditions semi-arides et arides de la Tunisie. In: *Actes de la journée nationale sur la valorisation des résultats de la recherche dans le domaine des grandes cultures, 17 avril 2014*, Tunis, Tunisie, pp. 27–32. http://www.iresa.agrinet.tn/announce/Actes_de_la%20journee_nationale_pdf.
- Ben Zekri Y. 2017. Analyse des compromis entre la production et l'efficacité de l'eau et de l'azote dans les systèmes céréaliers méditerranéens à base de blé dur. Thèse de doctorat en Sciences agricoles, Montpellier SupAgro (France), 168 p. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02008155>.
- Boughdiri A, Ben Nouna B, Hammami M, Daghari H, Saidi A. 2014. Modélisation des besoins en eau du blé et effet de l'irrigation de complément dans les régions semi-arides de la Tunisie. *Annales de l'INGREF* 19: 204–215.
- Chemak F, Mazhoud H, Abdelhafidh H, Albouchi L, Snoussi Y. 2018. Technical performance and water productivity analysis of the

- irrigated durum wheat activity. *Journal of New Sciences, Agriculture and Biotechnology* 50(10): 3106–3116.
- Chenoune R, Belhouchette H, Paloma S, Capillon A. 2016. Assessing the diversity of smallholder rice farms production strategies in Sierra Leone. *NJAS–Wageningen Journal of Life Sciences* 76: 7–19. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1573521415000184>.
- Cochet H, Devienne S. 2006. Fonctionnement et performances économiques des systèmes de production agricole : une démarche à l'échelle régionale. *Cahiers Agricultures* 6: 578–83. DOI: [10.1684/agr.2006.0028](https://doi.org/10.1684/agr.2006.0028).
- Daaloul BO, Nouaigui S, Rezgui S. 2014. Effects of N and K fertilizers on durum wheat quality in different environments. *Journal of Cereal Science* 1: 9–14. DOI: [10.1016/j.jcs.2013.11.003](https://doi.org/10.1016/j.jcs.2013.11.003).
- DGPA (Direction Générale de la Production Agricole). 2018. Annuaire des statistiques agricoles en Tunisie. Tunis, Tunisie.
- El Felah M, Gharbi MS. 2014. Les céréales en Tunisie : Historique et contraintes de développement de la céréaliculture et perspective. In: *Journée nationale sur la valorisation des résultats de la recherche dans le domaine de grande culture Tunis, 17 avril 2014*, Tunis, Institut National de recherche Agronomique de Tunis (INRAT). http://www.iresa.agrinet.tn/announce/Actes_de_la%20journee_nationale_.pdf.
- Gharbi MS, El Felah M. 2013. Les céréales en Tunisie : plus d'un siècle de recherche variétale. *Annales de l'INRAT* 86: 45–68.
- Gharbi I, Elloumi M, Jamin JY, Maayoufi D. 2018. L'attribution de terres domaniales irriguées aux jeunes ruraux en Tunisie : création d'emplois durables ou mise en place d'exploitations non viables ? *Cahiers Agricultures* 27: 45001. DOI: [10.1051/cagri/2018026](https://doi.org/10.1051/cagri/2018026).
- Grami D, Ben Rejeb J. 2015. L'impact des changements climatiques sur le rendement de la céréaliculture dans la Région du Nord-Ouest de la Tunisie (Béja). *New Médit* 4: 38–41.
- Hanafi S. 2011. Approche d'évaluation de la performance des systèmes irrigués à l'échelle des exploitations agricoles. Cas du périmètre irrigué de Borj Toumi (vallée de la Medjerda-Tunisie). Thèse de doctorat, AgroParisTech. <http://tel.archivesouvertes.fr/tel-00920810363>.
- Hauswirth D, Pham TS, Wery J, Tiftonell P, Jourdain D, Affholder F. 2015. Apports des typologies d'exploitations aux démarches de conception en agriculture de conservation : une étude de cas dans le nord du Vietnam. *Cahiers Agricultures* 24: 102–12. DOI: [10.1684/agr.2015.0744](https://doi.org/10.1684/agr.2015.0744).
- Issor Z. 2017. La performance de l'entreprise : un concept complexe aux multiples dimensions. *Revue projectique* 17(2): 93–103. <https://www.cairn.info/revue-projectique-2017-2-page-93.htm>.
- Kchouk S, Braiki H, Habaieb H, Burte J. 2015. Les bas-fonds de la plaine de Kairouan : de terres marginalisées à lieux d'expérimentation agricole. *Cahiers Agricultures* 24: 404–411. DOI: [10.1684/agr.2015.0790](https://doi.org/10.1684/agr.2015.0790).
- Lasram A, Dellagi H, Masmoudi MM, Ben Mechlia N. 2015. Productivité de l'eau du blé dur irrigué face à la variabilité climatique. *New Médit* 14(1): 61–66.
- Laurent C, Maxime F, Mazé A, Tichit M. 2003. Multifonctionnalité de l'agriculture et modèles de l'exploitation agricole. *Économie rurale* 273(1): 134–152. DOI: [10.3406/ecoru.2003.5395](https://doi.org/10.3406/ecoru.2003.5395).
- Lobry J. 2003. La biodiversité spécifique des ressources démersales du plateau continental guinéen : utilisation d'indices classiques pour un diagnostic sur l'évolution de l'écosystème. *Aquatic Living Resources* 16(2): 59–68. DOI: [10.1016/S0990-7440\(03\)00010-X](https://doi.org/10.1016/S0990-7440(03)00010-X).
- Mailhol JC, Zaïri A, Slatni A, Ben Nouma B, El Amani H. 2004. Analysis of irrigation systems and irrigation strategies for durum wheat in Tunisia. *Agricultural Water Management* 70(1): 19–37. DOI: [10.1016/j.agwat.2004.06.001](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2004.06.001).
- Martiniello P. 2007. Biochemical parameters in a Mediterranean soil as affected by wheat-forage rotation and irrigation. *European Journal of Agronomy* 26(3): 198–208. DOI: [10.1016/j.eja.2006.09.009](https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.09.009).
- Meynard JM, Messéan A, Charlier A, Charrier F, Fares M, Le Bail M *et al.* 2013. Freins et leviers à la diversification des cultures : étude au niveau des exploitations agricoles et des filières. *OCL* 20(4): 1–10. DOI: [10.1051/oc/2013007](https://doi.org/10.1051/oc/2013007).
- Rezgui M. 2014. Contribution de la rotation des cultures dans l'amélioration de la fertilité du sol et le rendement des céréales et des légumineuses à graines. In: *Journée Nationale sur la valorisation des résultats de la recherche dans le domaine de grande culture, 17 avril 2014*, Tunis, Tunisie, INRAT, pp. 46–50.
- Sander JZ, Wim GMB. 2004. Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. *Agricultural Water Management* 69(2): 115–133. DOI: [10.1016/j.agwat.2004.04.007](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2004.04.007).
- Savoie-Zajc L. 2007. Comment peut-on construire un échantillonnage scientifiquement valide ? *Recherches qualitatives*, Hors-série 5: 99–111.
- Sraïri MT, Azahra M'ghar F, Benidir M, Bengoumi M. 2017. Analyse typologique de la diversité et des performances de l'élevage oasien. *Cahiers Agricultures* 26: 15005. DOI: [10.1051/cagri/2017002](https://doi.org/10.1051/cagri/2017002).
- Zahm F, Alonso Ugaglia A, Barbier J-M, Boureau H, Del'homme B, Gafsi M, *et al.* 2019. Évaluer la durabilité des exploitations agricoles. La méthode IDEA v4, un cadre conceptuel combinant dimensions et propriétés de la durabilité. *Cahiers Agricultures* 28: 5. DOI: [10.1051/cagri/2019004](https://doi.org/10.1051/cagri/2019004).

Citation de l'article : Mazhoud H, Chemak F, Chenoune R. 2020. Analyse typologique et performance productive de la culture du blé dur irrigué en Tunisie. *Cah. Agric.* 29: 24.