

Productivité de l'eau du blé dur irrigué face à la variabilité climatique

ASMA LASRAM¹, HATEM DELLAG²,
MOHAMED MONCEF MASMOUD³, NETIJ BEN MECHLIA³

Jel code: Q010, Q540

1. Introduction

La surface céréalière irriguée en Tunisie s'est stabilisée depuis 2010 à environ 19% de la surface totale irriguée (ONAGRI, 2014). Cependant, malgré les efforts des services de vulgarisation, les rendements ne se sont pas beaucoup améliorés, avec une moyenne nationale très fluctuante frôlant les 4t/ha pendant les campagnes exceptionnelles par rapport à un objectif visé de 6t/ha. De plus, la valorisation des ressources hydriques est aussi au-deça des possibilités réalisables avec une efficacité technique moyenne de l'ordre de 70% (Chebil *et al.*, 2013). Ceci se traduit par une faible productivité de l'eau (WP) face à des ressources hydriques fortement convoitées et menacées du point de vue quantité et qualité. Les contraintes à l'intensification sont principalement liées à la gestion des pratiques culturales telles que le pilotage de l'irrigation (Zaïri *et al.*, 2003), la gestion de la fertilisation azotée (Latiri-Souki *et al.*, 1998), et le morcellement (Chebil *et al.*, 2013).

La variabilité climatique est un facteur important qui affecte WP étant donné que la culture est sujette fréquemment à des événements extrêmes stressants. L'optimisation des pratiques culturales est ainsi dépendante des variables météorologiques et la technicité des agriculteurs reste souvent tributaire de leur perception du risque face aux aléas climatiques

Résumé

L'objectif de ce travail est l'estimation pour le blé dur conduit en irrigué des niveaux de productivité de l'eau (WP) et des marges brutes de rentabilité économique en relation avec la variabilité pédoclimatique des différentes régions. Le support de cette analyse est une base de données recueillie à partir du suivi de parcelles se trouvant dans neuf gouvernorats de Tunisie pendant huit campagnes de culture. Les performances des agriculteurs intra et interrégionales sont évaluées par les scores d'efficacité technique calculés par la méthode DEA (Data Envelopment Analysis). Les résultats obtenus sur un effectif total de 373 cas montrent que les agriculteurs sont mi-éfficients. Les facteurs pédoclimatiques seraient responsables de la chute jusqu'à 30% de WP. Les marges brutes sur coûts variables des agriculteurs augmentent de 360DT/ha pour toute augmentation d'une unité de WP jusqu'à 12kg ha⁻¹mm⁻¹. Le seuil de rentabilité minimum augmente de 0.2t/ha pour toute augmentation de 0.1 unité de l'efficacité intra-régionale.

Mots-clés : blé dur, efficacité technique, productivité de l'eau, marge brute.

Abstract

The objective of this work is the estimation for irrigated durum wheat of water productivity (WP) levels and gross margin of economic return in relation to regional pedoclimatic variability. The analysis is based on data obtained from monitoring production plots located in nine governorates in Tunisia over eight cropping seasons. Farmers' intra and inter-regional performances are evaluated through technical efficiency scores, using DEA (Data Envelopment Analysis) calculation method. The results obtained on a total number of 373 cases show mid-efficiency of farmers. Pedoclimatic factors seem to be responsible for the decrease of WP by up to 30%. The gross margins increase by 360DT/ha for each unit increase of WP till 12kg ha⁻¹mm⁻¹. The breakeven point calculated for variable costs increases by 0.2t/ha when the intra-regional efficiency is increased by 0.1 unit.

Keywords: durum wheat, technical efficiency, water productivity, gross margin.

dont la fréquence semble augmenter avec le réchauffement global (Schilling *et al.*, 2012). Rahman et Hasan (2008) trouvent que l'analyse de l'efficacité de la production est biaisée quand on ne tient pas compte des facteurs environnementaux. Il est alors intéressant d'évaluer la part du gap de (WP) due à la variation climatique par rapport à celle due à la technicité des agriculteurs.

L'estimation de l'efficacité technique à l'échelle de la parcelle a fait l'objet de plusieurs travaux. L'optimisation de la frontière d'efficacité qui enveloppe l'ensemble des données analysées est la méthode la plus utilisée avec la variante paramétrique (Wilson *et al.*, 2001; Rahman et Hasan, 2008; Chebil *et al.*, 2014)

et non paramétrique (Odeck, 2009; Shuzhang *et al.*, 2013; Chebil *et al.*, 2013). La variante paramétrique stochastique tient compte du bruit des données mais elle utilise souvent la fonction Cobb-Douglas qui ne peut pas se passer des deux variables travail et capital. La méthode non paramétrique DEA (Data Envelopment Analysis) ne tient pas compte du bruit de mesures mais elle est plus flexible car elle présente l'avantage de n'être contrainte ni par une fonction spécifique ni par la nature des données utilisées (Thiam *et al.*, 2001).

Dans ce travail, où on entend évaluer les performances des exercices des agriculteurs en fonction des apports hydriques, nous nous proposons alors d'utiliser la méthode d'optimisation DEA qui semble plus adaptée à notre problématique pour estimer le gap de WP du blé dur dans les

¹ ISA Chott Mariem BP 47, 4042, Sousse, TUNISIE.

² FSEGT, Tunis, TUNISIE.

³ INAT, Tunis, TUNISIE.

périmètres irrigués tunisiens en relation avec la technicité de l'agriculteur et la variabilité pédoclimatique régionale. On s'intéresse également à caractériser la relation entre WP et les performances économiques des agriculteurs à travers le calcul des marges sur coûts variables individuels et les seuils régionaux de rentabilité par rapport aux coûts variables.

2. Méthodes et données

L'analyse est basée sur des données historiques obtenues au cours de la période 1988-1995 à travers des enquêtes conduites dans la zone céréalière tunisienne du subhumide jusqu'à l'aride. Bien que l'enquête ait été réalisée vingt ans auparavant, elle est encore valable de nos jours puisque les agriculteurs enquêtés ont fait l'objet d'un suivi exhaustif par les techniciens du ministère de l'agriculture et les pratiques culturales en céréaliculture irriguée ont peu évolué depuis (Mailhol 2004, Chebil *et al.*, 2014).

Les données couvrent les aspects de fertilisation (azotée et phosphatée), les pratiques culturales (travail du sol, date, dose et mode de semis, précédant cultural, date de désherbage...), la variété, l'irrigation (mode, quantité d'eau apportée, dates des irrigations, source d'eau), et les rendements en grains et pailles.

Les données climatiques relatives à ces campagnes agricoles ont été obtenues à partir des bulletins décennaires de l'Institut National de la Météorologie de Tunisie. Pour chaque gouvernorat, une station synoptique a été choisie comme source de données pour l'ensemble des agriculteurs appartenant au même gouvernorat (Tableau 1). Les données climatiques sont les moyennes décennaires des températures maximales et minimales, les durées d'insolation et le cumul décennaire des précipitations. L'évapotranspiration de référence ET₀ est déterminée à partir de l'équation FAO Penman-Montheith (Allen *et al.*, 1998). La productivité de l'eau (WP) est calculée par l'équation (1):

$$WP = \frac{Y}{P + I} \quad (1)$$

Y étant le rendement en grains, (P) et (I) étant les cumuls respectivement des précipitations et des irrigations pendant la période d'octobre à mai.

Tableau 1 - Nombre total d'agriculteurs enquêtés par gouvernorat, coordonnées géographiques des stations climatiques synoptiques et indices d'aridité calculés sur la période 1988-1995.

Gouvernorats	Nombre d'agriculteurs	Station	Coordonnées géographiques	P/ET ₀
Bizerte	33	Bizerte	37,25°N ; 9,80°E	0.77
Ariana	65	Tunis	36,83°N ; 10,23°E	0.52
Béja	20	Béja	36,73°N ; 9,18°E	0.62
Jendouba	49	Jendouba	36,48°N ; 8,80°E	0.43
Le Kef	24	Le Kef	36,13°N ; 8,70°E	0.47
Siliana	55	Siliana	36,07°N ; 9,37°E	0.41
Kairouan	79	Kairouan	35,67°N ; 10,10°E	0.35
Kasserine	27	Thala	35,55°N ; 8,68°E	0.45
Sidi bouzid	21	Sidi Bouzid	35,00°N ; 9,48°E	0.24
Total	373			

La performance de l'agriculteur reflète le résultat d'interaction entre un itinéraire technique et les facteurs pédoclimatiques. L'exercice de chaque exploitant est alors considéré comme une unité de décision évaluée par la méthode DEA avec le logiciel STATA (version 11). Les scores d'efficacité sont estimés dans le sens de maximiser WP ou le rendement en grain Y considérés séparément comme outputs à partir des cumuls des unités d'apport hydrique (P+I) considérés comme inputs (orientation sens output). La méthode d'optimisation se base sur une approche comparative pour identifier les agriculteurs performants à partir de l'ensemble des observations des différentes régions qui définissent la courbe enveloppe et dont l'efficacité technique est égale à 1 (rendement d'échelle variable). Le degré d'inefficacité des points situés en dessous de la courbe enveloppe dépend de leurs distances par rapport à cette frontière ce qui revient à estimer les rapports E_{WP} et E_Y entre respectivement WP et Y observés et les valeurs potentiellement réalisables avec le même input (P+I) (Careberry *et al.*, 2013). Pour chaque région, on a également estimé les rapports E_{WP}^* et E_Y^* en les comparant à la courbe enveloppe régionale établie à partir des observations faites uniquement dans la région en question. E^* et E renseignent sur les performances respectivement intra et inter-régionales. Plus de détails concernant la méthode DEA sont présentés par Cooper *et al.*, (2000).

Les performances économiques des agriculteurs sont estimées par les marges sur coûts variables (MCV) et le seuil de rentabilité (SR). MCV est calculée par la différence entre les recettes et les coûts variables à l'échelle d'une surface d'un hectare:

$$MCV = Y * P_y + B * P_b - \sum_{i=1}^n F_i * C_i \quad (2)$$

Les recettes sont estimées en multipliant les rendements en grains (Y) et le nombre de balles de paille (B) par leurs prix de vente unitaire respectifs P_y (600DT/ha) et P_b (2DT/balle). Les coûts variables sont estimés en multipliant les quantités des facteurs de production (F) par leurs coûts unitaires (C). Les coûts unitaires sont fixés à des valeurs arbitraires proches des valeurs moyennes relatives à l'année 2013 (Tableau 2). Cette approche permet d'actualiser l'analyse économique et de mieux valoriser la masse d'information que présente notre base de données exhaustive dans toutes les régions tunisiennes. Il faut noter que dans les périmètres céréalières une partie de l'eau d'irrigation est subventionnée, toutefois cette considération n'est pas prise en compte dans notre analyse.

Le seuil de rentabilité minimal des agriculteurs de chaque région est le rendement minimal qui assure la couverture des frais variables. Il représente l'abscisse à l'origine de la droite de régression des marges brutes en fonction des rendements.

Facteurs de production		coûts unitaires
Travail du sol	(h/ha)	20 (DT/h)
Semoir	(h/ha)	25(DT/ h)
Semence	(t/ha)	750(DT/t)
Azote,(ammonit.)	(t/ha)	350(DT/t)
Phosphate, super 45	(t/ha)	400(DT/t)
Désherbage	date	26(DT/ ha)
Epannage d'engrais	(h/ha)	20(DT/ ha)
Eau d'irrigation	(m ³ /ha)	0,1(DT/m ³)
Main d'œuvre /irrigation	(jour/irrigation)	20(DT/jour)
Moisson	(h/ha)	80(DT/h)
Transport grains	(t/ha)	10(DT/t)
Ficelage des balles	(balle/ha)	1(DT/balle)

*1DT(Dinar Tunisien)=0,63\$,=0,46€ (Banque centrale de Tunisie, 11 Février 2014).

3. Résultats et discussion

3.1. WP et pratiques culturales

Des rendements de 6t/ha et une WP de l'ordre de 16kg ha⁻¹mm⁻¹ ont été obtenus avec 380 mm (Figure 1). Néanmoins, la moyenne de WP est de l'ordre de 10 kg ha⁻¹mm⁻¹, elle représente la moitié de la valeur potentielle des régions méditerranéennes estimée par French et Schultz (1984). En effet, les différentes pratiques culturales de l'agriculteur valorisent diversement l'utilisation de l'eau. Les productivités de l'eau qui dépassant 12kg ha⁻¹mm⁻¹ sont les résultats d'exercices majoritairement relatifs à l'année 93/94 dans les gouvernorats Jendouba, Kasserine et Siliana, avec un niveau de fertilisation azoté élevé (≥100kg N/ha). Pendant cette année, la précipitation était déficitaire se situant autour de

220mm. Cependant, le groupe d'agriculteurs performants a comblé le déficit avec des irrigations bien réparties dans le temps (nombre d'irrigations>4) et appliquées particulièrement pendant le mois de mars et avril, période de remplissage des grains. Les rendements en grains de ce groupe étaient relativement élevés (≥5t/ha) mais le nombre de balles de paille récoltées était relativement faible (<200balles/ha).

En optimisant les pratiques culturales, WP est de l'ordre de 12 à 13 kg ha⁻¹mm⁻¹ pour un large éventail de rendements allant de 2 à 7t/ha (Figure 2). Quand le niveau de fertilisation azotée est faible (<66 kg N/ha) WP est inférieure à 12kg ha⁻¹mm⁻¹, les rendements en grains observés ne dépassent pas 4t/ha et le nombre de balles de paille récoltées par hectare est inférieur à 200.

Figure 1 - Rendements et productivités de l'eau du blé dur en fonction du cumul des apports hydriques sous forme de précipitation et d'irrigation entre octobre et mai.

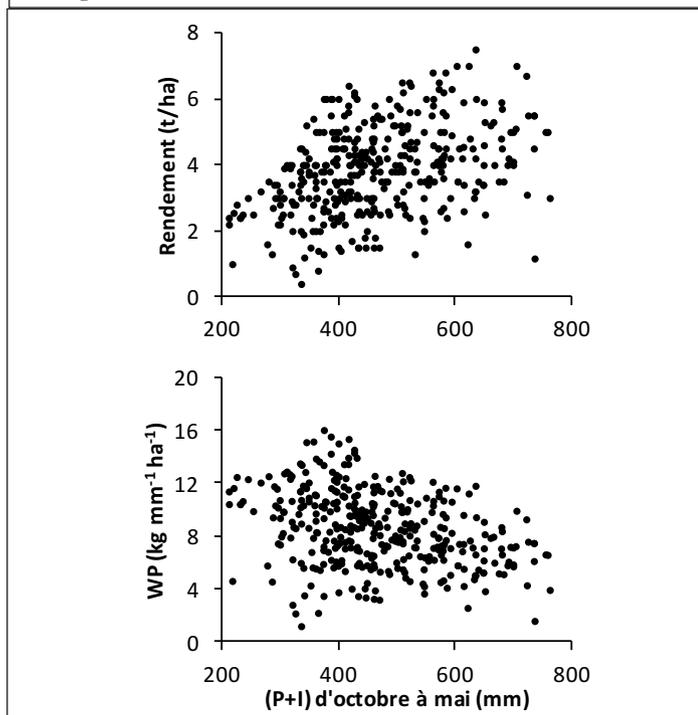
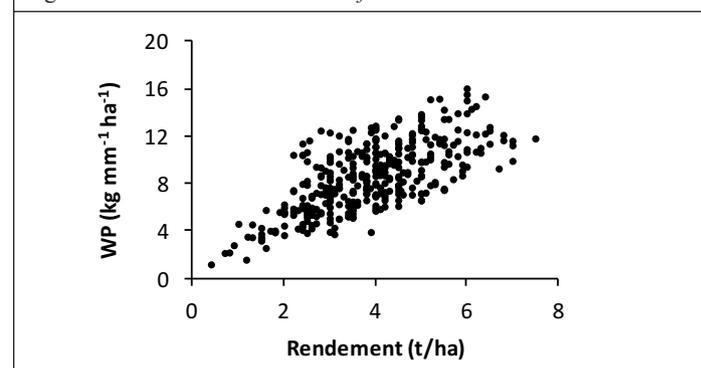


Figure 2 - Productivité de l'eau en fonction des rendements du blé dur.



3.2. WP et climat régional

Dans ce cadre, les scores d'efficacité technique (E) estimés par la méthode DEA permettent de faire une expertise sur les performances des agriculteurs dans le contexte pédo-climatique tunisien. L'augmentation de l'efficacité E_{WP} de 0.1 unité permet d'améliorer WP de 2 kg mm⁻¹ ha⁻¹.

Les différentes régions étudiées présentent des scores d'efficacité internes E_{WP}^* et E_Y^* comparables avec des intervalles de variation étroits, respectivement entre [0.6;0.7] et [0.7;0.88] (Tableau 3). Les régions arides sont aussi performantes que celles humides si les agriculteurs sont comparés entre eux dans le même contexte pédo-climatique. Toutefois, l'amplitude de la variation est triplée ([0.42;0.69] et [0.52;0.78]) dans le cas où les scores sont calculés par rapport à la frontière d'efficacité de toutes les régions confondues, autrement dit les conditions les plus favorables dans le cadre tunisien et pendant la période d'étude. Les gouvernorats qui présentent les moyennes (E^*) les plus élevées sont Jendouba, Béja, Kasserine et Sidi Bouzid. Les deux premiers gouvernorats sont connus pour leur tradition céréalière et assurent 40% de la production nationale de blé dur. Kasserine n'en assure que 1% seulement, mais en contrepartie, ce gouvernorat représente 40% des emblavures céréalières du centre du pays (ONAGRI, 2014). Ces régions de production situées respectivement dans les limites supérieures et inférieures des étages bioclimatiques

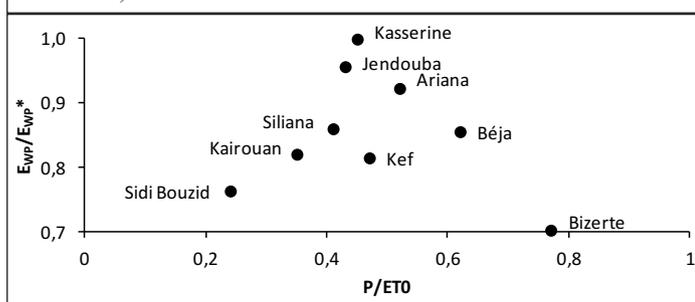
de la zone céréalière de Tunisie se rivalisent du point de vue d'efficacité. Une des explications est donnée par le fait qu'elles sont caractérisées par un climat relativement stable aussi bien dans le sub-humide (Jendouba et Béja) que dans l'aride (Sidi Bouzid et Kasserine). Le risque climatique perçu par les agriculteurs dans ces régions serait alors plus faible et leurs techniques sont, par conséquent, relativement performantes.

Tableau 3 - Moyennes des scores d'efficacité technique intra-régionales (E^*) et inter-régionales (E) de la productivité de l'eau (WP) et de la production des grains (Y).

Gouvernorats	E^*_{WP}	E_{WP}	E^*_Y	E_Y
Bizerte	0.59	0.42	0.70	0.58
Ariana	0.58	0.54	0.73	0.63
Béja	0.70	0.60	0.86	0.75
Jendouba	0.73	0.69	0.82	0.78
Le Kef	0.53	0.43	0.70	0.52
Siliana	0.64	0.55	0.78	0.67
Kairouan	0.60	0.50	0.72	0.67
Kasserine	0.68	0.67	0.83	0.74
Sidi Bouzid	0.70	0.54	0.88	0.70
Moyenne	0.62	0.53	0.76	0.66

La différence entre les valeurs de E et E^* dépend essentiellement du facteur pédoclimatique de la région. La technicité des agriculteurs est souvent subséquente aux contraintes liées au climat et au sol à cause des limitations des ressources disponibles (Carberry *et al.*, 2013). Les rapports E_{WP}/E^*_{WP} sont relativement réduits pour les gouvernorats les plus arides (Kairouan et Sidi Bouzid) ainsi que pour le gouvernorat le plus humide (Bizerte) (Figure 3). Le rapport relatif aux rendements présente aussi la même tendance. La réduction dans les gouvernorats du Sud serait attribuable aux températures maximales qui sont souvent excessives dans les régions arides tunisiennes engendrant une limitation des rendements par l'effet du stress thermique. Par ailleurs, il faut signaler que la région du Kef, présentant la performance la plus faible, est caractérisée par un paysage à reliefs d'altitude relativement accidentés avec des sols érodés et peu fertiles (CNEA, 2007). Le faible rapport E_{WP}/E^*_{WP} observé dans ce gouvernorat (0,7) nous laisse supposer que le facteur pédoclimatique pourrait expliquer

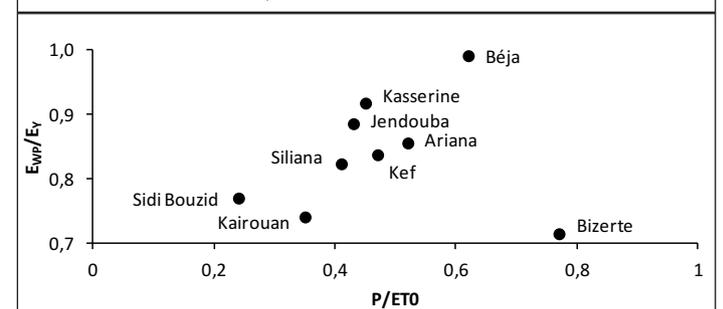
Figure 3 - Rapport entre les moyennes des performances inter (E) et intra (E^*) régionales de la productivité de l'eau en fonction de l'indice d'aridité climatique calculé durant octobre-mai (période d'étude 1988-1995).



30% de la fluctuation de WP sous les conditions du semi-aride ($P/ET_0 \leq 0.5$). Dans un contexte de changement climatique, ce pourcentage est à revoir à la hausse en considérant les risques d'augmentation de la fréquence des événements extrêmes.

Le rapport des efficacités de productivité et de production (E_{WP}/E_Y) dépend également du degré d'aridité de la région (Figure 4). Dans les régions arides telles que Sidi Bouzid et Kairouan où les apports d'irrigation représentent 50% des apports totaux ($P+I$), les sources d'eau d'irrigation sont fréquemment les puits, contrairement à la région de Kasserine où l'on utilise l'eau du périmètre irrigué. La qualité de l'eau d'irrigation (plus saline à Kairouan et Sidi Bouzid) serait à l'origine du déphasage entre les performances de la production et de la productivité. En effet, les régions à performances égales sont celles dont les précipitations combinent 60% de la demande climatique. Ces apports sont très proches du besoin en eau du blé dur le long de son cycle cultural.

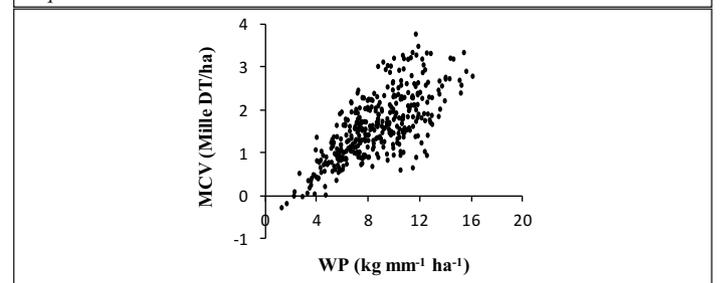
Figure 4 - Rapport entre les moyennes des performances inter-régionales de la productivité de l'eau (E_{WP}) et du rendement (E_Y) en fonction de l'indice d'aridité climatique calculé durant octobre-mai (période d'étude 1988-1995).



3.3. WP et évaluation économique

L'exercice de chaque agriculteur est évalué économiquement par le calcul de la marge sur coût variable (MCV). La valeur moyenne des MCV est de l'ordre de 1650DT/ha (coefficient de variation=42%) représentant à peu près la moitié de la valeur maximale obtenue pour tout l'échantillon analysé. Les marges élevées sont associées aux meilleures WP (Figure 5). Néanmoins, une valeur élevée de WP n'assure pas obligatoirement les meilleures marges si le cumul des irrigations et des précipitations bien réparties ne

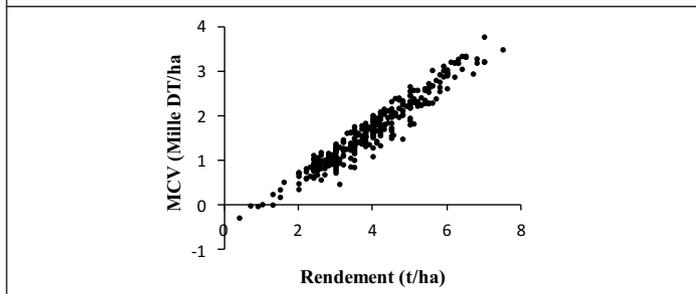
Figure 5 - Marge sur coûts variables des agriculteurs en fonction de la productivité de l'eau.



comble pas au moins 60% de la demande climatique (ET_0) sur la période octobre-mai.

Les marges ont tendance à augmenter potentiellement de l'ordre de 360DT/ha pour toute amélioration unitaire de la productivité de l'eau jusqu'à $12 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ (Figure 5). Au delà de cette valeur, on assiste à une légère chute des profits. Cette chute est relative à des années déficitaires dont l'irrigation a permis d'améliorer les rendements en grains et non la production de la biomasse totale (faible production de paille). Le prix de vente des balles de paille couvre en moyenne 15% des charges variables et peut aller jusqu'à 47%. Dans ce dernier cas, WP est particulièrement élevée (entre 10 et $13 \text{ kg mm}^{-1} \text{ ha}^{-1}$) et MCV est à sa valeur maximale. Une bonne gestion de l'eau et des pratiques culturales permet à la fois une meilleure production de la biomasse totale et du rendement en grains. Le seuil de rentabilité des agriculteurs en termes de WP sans comptabiliser les charges fixes est de l'ordre de $4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ (Figure 5) et en terme de production en grains de l'ordre de 1t/ha (Figure 6).

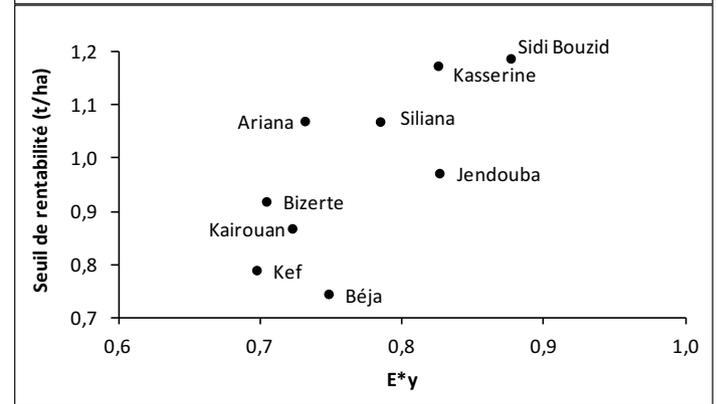
Figure 6 - Seuils de rentabilité minimums en fonction du rendement en grains.



Le seuil de rentabilité par rapport aux charges variables augmente essentiellement avec le degré d'efficacité de production de la région (Figure 7) à cause des frais supplémentaires liés à l'intensification (plus d'irrigation, plus de fertilisation...). L'efficacité de production de la région augmente singulièrement avec la bonne distribution de l'eau qui est mieux contrôlée dans les régions arides (Sidi Bouzid et Kasserine) où le recours à l'irrigation à cause de la rareté des apports naturels est géré avec plus de maîtrise. A l'opposé, l'échantillon relatif à la région semi-aride du Kef présente un seuil réduit à cause de la faible intensification des agriculteurs liée essentiellement aux caractéristiques des sols. Les régions plus humides (Jendouba, Béja et Bizerte) présentent des seuils de rentabilité faibles car les dépenses des agriculteurs relatives à l'irrigation sont moindres mais leur degré d'efficacité de production et de productivité reste dépendant de la distribution des précipitations qui peuvent être excédentaires certaines années (en exemple, la région de Bizerte). L'augmentation de 0.1 unité de l'efficacité de production intra-régionale entraîne une augmentation du seuil de rentabilité de l'ordre de 0.2t/ha (Figure 7). En contrepartie, cette augmentation de E^*_y est aussi à l'origine d'une amélioration de la MCV de l'ordre

de 600 DT/ha (équivalent à 1t/ha) si les deux stations, la plus humide (Bizerte) et la plus aride (Sidi Bouzid), ne sont pas prises en considération. Pour ces deux stations, la relation (E^*_y , MCV) est légèrement altérée par le caractère extrême du climat régional.

Figure 7 - Seuils de rentabilité minimums en fonction de l'efficacité intra-régionale de la production en grains.



4. Conclusion

Les marges sur coûts variables du blé dur irrigué augmentent en parallèle avec l'amélioration des performances de la productivité de l'eau et se stabilisent à partir du moment où l'irrigation en plus des précipitations comblent au moins 60% de la demande climatique de la période octobre-mai. L'irrigation associée à une bonne gestion des pratiques culturales assure un niveau de WP autour de $12-13 \text{ kg mm}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ et une rentabilité par rapport aux coûts variables appréciable de l'ordre de 3000DT/ha. Toutefois, les performances des agriculteurs en terme de WP ne sont pas uniquement liées à leur technicité mais aussi aux contraintes pédoclimatiques qui expliqueraient jusqu'à 30% de la variabilité de WP et augmentent le seuil de rentabilité. La subvention par l'état d'une partie de l'eau d'irrigation permet d'atténuer les différences régionales mais peut également inciter à une mauvaise valorisation des ressources hydriques. Avec les mêmes variétés de blé dur utilisées actuellement, ces gaps pourraient s'accroître à cause du réchauffement climatique. La maximisation de la WP dans ces périmètres, avec une bonne gestion des pratiques culturales, est impérative pour relever les futurs challenges climatiques.

Références bibliographiques

- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M., 1998. *Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements*. Rome: FAO. FAO irrigation and drainage papers, 56.
- Carberry P.S., Liang W., Twomlow S., Holzworth D.P., Dimes J.P., McClelland T., Huth N.I., Chen F., Hochman Z., Keating B.A., 2013. Scope for improved eco-efficiency varies among diverse cropping systems, *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 110: 8381-8386.

- CNEA, 2007. *Etude stratégique sur « le développement durable et agriculture dans les cinq gouvernorats de Gabès, Sidi Bouzid, Nabeul, Le Kef et Bizerte »*. Rapport final de la 1^{ère} Phase. Tunis, Tunisie: Centre National Des Etudes Agricoles.
- Chebil A., Bahri W., Frija A., 2013. Mesure et déterminants de l'efficacité d'usage de l'eau d'irrigation dans la production du blé dur: cas de Chabika (Tunisie). *New Medit*, 1: 49-55.
- Chebil A., Abbas K., Frija A., 2014. Water use efficiency in irrigated wheat production systems in central Tunisia: a stochastic data envelopment approach. *Journal of Agricultural Science*, 6: 63-71.
- Cooper W.W., Seiford L.M., Tone K., 2000. *Data envelopment analysis: a comprehensive text with models, applications, References and DEA-Solver Software*. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- French R.J., Schultz J.E., 1984. Water use efficiency of wheat in a Mediterranean-type environment. I. The relation between yield, water use and climate. *Australian Journal of Agricultural Research*, 35: 743-764.
- Latiri-Souki K., Nortcliff S., Lawlor D.W., 1998. Nitrogen fertilizer can increase dry matter, grain production and radiation and water use efficiencies for durum wheat under semi-arid conditions. *European Journal of Agronomy*, 9: 21-34.
- Mailhol J.C., Zaïri A., Slatni A., Ben Nouma B., El Amami H. 2004. Analysis of irrigation systems and irrigation strategies for durum wheat in Tunisia. *Agricultural Water Management*, 70:19-37.
- Odecka J., 2009. Statistical precision of DEA and Malmquist indices: A bootstrap application to Norwegian grain producers. *Omega*, 37:1007-1017.
- ONAGRI, 2014. *Annuaire statistique du Ministère de l'agriculture et des ressources hydrauliques*. http://www.onagri.nat.tn/Act_pro/annuaire/Annu-Stat.htm
- Rahman S., Hasan M. K., 2008. Impact of environmental production conditions on productivity and efficiency: A case study of wheat farmers in Bangladesh. *Journal of Environmental Management*, 88: 1495-1504.
- Schilling J, Freier K P., Hertig E, Scheffran J., 2012. Climate change, vulnerability and adaptation in North Africa with focus on Morocco. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 156: 12-26.
- Shuzhang C., Les O., Zheng X., Yanqing W., Hengyun M., 2013. The dynamic adjustment of factor inputs and its policy implications for major wheat producing areas in China. *Economic Modelling*, 33: 450-457.
- Thiam A., Bravo-Ureta B. E., Rivas T. E., 2001. Technical efficiency in developing country agriculture: a meta-analysis. *Agricultural Economics*, 25: 235-243.
- Wilson P., Hadley D., Asby C., 2001. The influence of management characteristics on the technical efficiency of wheat farmers in eastern England. *Agricultural Economics*, 24: 329-338.
- Zaïri A., Slatni A., Mailhol J.-C., Ruelle P., El Amami H., 2003. L'irrigation de surface dans le contexte tunisien, perspectives d'amélioration sous différentes conditions de disponibilités en eau. In: *Actes du Séminaire international Technologies et méthodes modernes d'irrigation: recherche, développement et essais, 14-19 Septembre 2003, Montpellier, AFEID*.