

IMPACTS DES AMÉNAGEMENTS HYDRO-AGRICILES EN JESSOUR SUR LE BILAN HYDRIQUE DANS LE SUD-EST TUNISIEN

FALLOT J.M. (1), BEN FRAJ T. (2,3), CALIANNI M. (1), ABBASSI M. (2), BEN OUEZDOU H. (2), ABDERRAHMEN A. (3), MILANO M. (1) et REYNARD E. (1)

(1) Institut de géographie et durabilité, Université de Lausanne, Suisse, jean-michel.fallot@unil.ch, martin.calianno@unil.ch, marianne.milano@unil.ch, emmanuel.reynard@unil.ch

(2) Université de Tunis, Faculté des Sciences Humaines et Sociales de Tunis et Laboratoire CGMED, Tunisie, tarek.b.fraj@gmail.com, hbenouezdou@gmail.com, abassi.med84@gmail.com

(3) Faculté de Lettres et des Sciences Humaines de Sousse, Université de Sousse, Tunisie, abdelkhabderrahmen@yahoo.fr, tarek.b.fraj@gmail.com

Résumé : Des mesures météorologiques et de la teneur en eau dans le sol à 8 profondeurs différentes ont été réalisées pendant une année dans 2 parcelles situées au fond de 2 ravins à 130 m de distance, l'un est aménagé en Jessour et l'autre est sans Jessour, en vue de quantifier les impacts de ces aménagements hydro-agricoles sur le bilan hydrique. Ces mesures ont montré que seuls 3 épisodes pluvieux majeurs (> 20 mm) ont entraîné une hausse significative de la teneur en eau dans le sol jusqu'à au moins 125 cm de profondeur. Pour ces 3 épisodes, cette hausse a été rapide et importante jusqu'à 125 cm dans la parcelle aménagée en Jessour, alors qu'une hausse semblable n'a été mesurée que pour un bref épisode pluvieux en août 2018 dans la parcelle sans Jessour. Pour les deux autres épisodes pluvieux plus longs survenus en novembre et décembre 2017, la hausse de la teneur en eau dans le sol a été nettement plus lente et modeste dans la parcelle sans Jessour au-delà d'une profondeur de 35 cm. Les Jessour semblent avoir des effets différents sur le bilan hydrique dans les sols selon les saisons.

Mots clés: Jessour, teneur en eau dans le sol, épisodes pluvieux, Sud-est tunisien

Summary: Meteorological parameters and water content in the soil at 8 different depths were measured during one year in two plots of land located at the bottom of two gullies at a distance of 130 m, one is fitted out of Jessour (singular Jesr) and the other one is without Jessour, in order to quantify the impacts of these hydro-agricultural constructions on the water balance. These field measurements show that only 3 major rainy events (> 20 mm) lead to a significant increase of water content in the soil up to a depth of at least 125 cm. For these 3 events, this increase was fast and pronounced up to 125 cm in the plot of land with a Jessour, while a similar increase was only measured for one short rainy event in August 2018 in the plot without Jessour. For the two other longer rainy events in November and December 2017, the increase of water content in the soil was much slower and smaller in the plot without Jessour beyond a depth of 35 cm. Jessour appear to have different impacts on the water balance in the soils according to seasons.

Key words: Jessour, soil moisture content, rainy events, Southeast Tunisia.

Introduction

Les Jessour (Jesr au singulier) sont des aménagements hydro-agricoles traditionnels caractéristiques du Sud-est tunisien (décrits dans Ben Fraj et al., 2016) qui visent à retenir partiellement les eaux de ruissellement et les sédiments, et permettent des cultures dans des régions arides où la pluviométrie serait en temps normal insuffisante. Ces ouvrages ont fait l'objet d'études (Ben Fraj et al., 2016) qui ont permis de reconnaître leurs différentes valeurs au niveau agronomique, patrimonial et hydrologique. Mais ces études n'ont pas quantifié le bilan hydrique des Jessour à l'échelle de la parcelle. En vue de quantifier l'apport des Jessour au niveau de l'humidité du sol par rapport aux précipitations tombées, deux stations de mesures hydrométéorologiques ont été installées de fin septembre 2017 à fin septembre 2018 dans un bassin versant à Zammour près de Beni Khedache dans le Sud-est tunisien, l'une dans un ravin aménagé en Jessour et l'autre dans un ravin non aménagé à 130 m de distance. Ce résumé étendu présente les premiers résultats de ces mesures.

1. Données et méthodes

Deux stations météorologiques et de mesures de l'humidité dans le sol de marque HOBO ont été installées dans la région de Zammour sur le plateau du Dahar (Figure 1). Chaque station mesure la température et l'humidité de l'air, les précipitations et le rayonnement solaire à 2 m/sol, ainsi que la teneur en eau du sol (humidité volumique) à 8 profondeurs différentes (20, 35, 50, 65, 80, 95, 110 et 125 cm). Les paramètres météorologiques mesurés ont été enregistrés à un pas de temps de 2 heures et la teneur en eau dans le sol a été relevée toutes les 6 heures par des capteurs ECH2O selon une méthode indirecte de mesures de la constante diélectrique du sol. Ces deux stations ont fonctionné du 28 septembre 2017 au 21 septembre 2018. La première station a été installée dans un ravin aménagé en Jessour (33°15'N, 10°11'E, 540 m/mer) faisant partie du sous-bassin versant de Chaabet el Fougania, affluent de l'oued Zammour. La deuxième station a été placée à environ 130 m à l'est de la première dans un ravin non aménagé du même sous-bassin. Les deux ravins dissèquent des dépôts de limons éoliens à concrétions calcaires déposés sur le plateau du Dahar durant le Quaternaire (Ben Fraj, 2012).

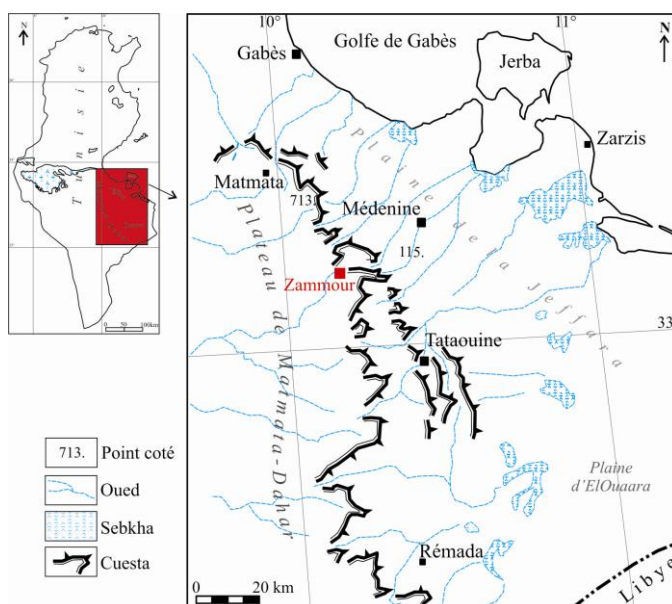


Figure 1. Localisation des stations de mesures à Zammour en Tunisie (Source : Ben Fraj et al., 2016, modifiée).

La teneur en eau mesurée par les capteurs (en m³ d'eau par m³ de sol) a été ramenée en litres par m² en prenant en compte une parcelle théorique de 1 m² de superficie. Ces calculs ont été faits par tranche de sol de 15 cm d'épaisseur jusqu'à 125 cm de profondeur à partir de la teneur en eau mesurée au sommet et à la base de chaque tranche de 15 cm. Pour la tranche supérieure entre 0 et 20 cm de profondeur, la quantité d'eau dans le sol a été estimée uniquement à partir des mesures effectuées par le capteur à 20 cm, ce qui peut conduire à des approximations, notamment lorsque le sol est desséché en surface.

2. Résultats

2.1 Précipitations mesurées et situations météorologiques correspondantes

Les hauteurs d'eau mesurées du 28 septembre 2017 au 21 septembre 2018 ont atteint respectivement 291.5 mm et 279.3 mm pour les 2 stations situées dans les parcelles avec et sans Jessour, soit plus que la normale de 200 à 220 mm par an sur le Plateau du Dahar (Abdelli et al., 2014 ; Ben Fraj et al., 2016). Les 2 stations ont enregistré 30 jours de pluie avec des hauteurs d'eau supérieures à 1 mm en 24 heures durant cette période de mesures.

Seuls 3 épisodes pluvieux majeurs ont entraîné une hausse significative de la teneur en eau du sol dans les 2 parcelles étudiées (Figures 2 et 3). Il s'agit des épisodes du 10 au 12 novembre 2017 avec 123.2 mm en 38 heures (dont 94.5 mm en 24 heures le 11 novembre), du 20-21 décembre 2017 avec 45.0 mm en 32 heures (dont 32.3 mm en 24 heures le 20 décembre) et du 19 août 2018 avec 26.7 mm en 6 heures.

L'épisode très pluvieux du soir du 10 novembre au matin du 12 novembre 2017 s'est produit consécutivement à une descente d'air froid du Nord qui a favorisé le creusement d'une dépression et d'un front actif sur le Sud-est tunisien au contact de l'air chaud sur le Sahara. Cette dépression a aspiré de l'air humide depuis la Méditerranée et occasionné des pluies orageuses abondantes sur le Sud-est tunisien avec 123 mm à Zammour et 167 à 195 mm en 48 heures à Jerba, Médenine et Zarzis. Le temps de retour d'un tel épisode est estimé à au moins 20 ans et il est décrit en détail dans Ben Oueddou et al. (2018).

Le 2^{ème} épisode pluvieux significatif du 20 au 21 décembre 2017 s'est produit consécutivement à un afflux d'air humide d'Est à partir de la Méditerranée engendré par un puissant anticyclone recouvrant l'Europe occidentale et centrale. Un front chaud stationnait sur l'extrême Sud de la Tunisie.

Le 3^{ème} épisode pluvieux du 19 août 2018 est survenu avec une situation assez semblable à celle du 2^{ème} épisode, mais avec un anticyclone moins puissant sur l'Europe occidentale et centrale. Il a entraîné un afflux d'air humide du Nord à Est de la Méditerranée vers la Tunisie. Un front en altitude est descendu ce jour-là vers le Sud et a provoqué de violents orages avec de la grêle dans le Nord de la Tunisie, notamment à Tunis, avant de gagner le Sud du pays. Il a généré deux averses de 10 à 15 mm chacune entre 16 et 22 heures le 19 août à Zammour. Ces 2 derniers épisodes s'apparentent à des circulations de retour d'Est qui sont souvent à l'origine des épisodes très pluvieux dans le Sud de la Tunisie (Henia et El Melki, 2000).

2.2 Humidité du sol dans les deux parcelles étudiées

Les Figures 2 et 3 présentent les teneurs en eau moyennes journalières mesurées à 4 profondeurs dans le sol (20, 50, 80 et 110 cm) dans les 2 parcelles avec et sans Jesr pour 2 périodes de 2 mois incluant les 3 épisodes pluvieux significatifs. Les relevés de la teneur en eau dans le sol 4 fois par jour montrent que celle-ci varie très peu d'une mesure à l'autre, sauf lors des 3 épisodes significatifs où elle a grimpé rapidement entre 2 relevés de 6 heures. Dans ce cas, les moyennes journalières peuvent lisser les valeurs durant une journée et conduire à un certain décalage par rapport aux précipitations tombées. Le Tableau 1 présente l'augmentation de l'humidité (m^3 d'eau/ m^3 de sol) et de la quantité d'eau correspondante dans le sol en litres mesurée et calculée par tranche de 15 cm de 0 à 125 cm de profondeur sur une surface de $1 m^2$ pour les 2 parcelles étudiées (avec et sans Jesr) et ces 3 épisodes pluvieux.

Tableau 1. Variations de la teneur (m^3 eau/ m^3 sol) et de la quantité d'eau (litres par m^2) mesurées dans le sol entre 0 et 125 cm de profondeur pour les parcelles avec et sans Jesr lors de trois épisodes pluvieux importants.

Profondeur dans le sol	10-12.11.2017				20-21.12.2017				19.08.2018			
	m^3 eau / m^3 sol		litres par m^2		m^3 eau / m^3 sol		litres par m^2		m^3 eau / m^3 sol		litres par m^2	
	avec Jesr	sans Jesr	avec Jesr	sans Jesr	avec Jesr	sans Jesr	avec Jesr	sans Jesr	avec Jesr	sans Jesr	avec Jesr	sans Jesr
0 à 20 cm	0.261	0.295	52.2	59.0	0.052	0.079	10.3	15.8	0.190	0.296	38.1	59.1
20 à 35 cm	0.271	0.253	40.6	38.0	0.051	0.059	7.7	8.9	0.166	0.244	24.9	36.5
35 à 50 cm	0.281	0.178	42.1	26.7	0.092	0.031	13.7	4.6	0.155	0.210	23.2	31.6
50 à 65 cm	0.263	0.128	39.5	19.2	0.134	0.018	20.1	2.7	0.154	0.248	23.1	37.2
65 à 80 cm	0.250	0.115	37.5	17.3	0.113	0.015	16.9	2.3	0.143	0.242	21.4	36.3
80 à 95 cm	0.253	0.092	38.0	13.8	0.090	0.013	13.4	2.0	0.142	0.218	21.2	32.7
95 à 110 cm	0.252	0.062	37.9	9.4	0.085	0.010	12.8	1.5	0.144	0.196	21.6	29.4
110 à 125 cm	0.256	0.053	38.5	8.0	0.071	0.011	10.7	1.7	0.128	0.199	19.2	29.9
Total			326.2	191.3			105.6	39.5			192.7	292.7
Précipitations			123.2	119.7			45.0	41.2			26.7	23.1

Au début du premier épisode très pluvieux du 10 au 12 novembre 2017 (Figure 2), les sols étaient secs. Considérant une surface de $1 m^2$ jusqu'à 125 cm de profondeur, soit un volume de $1.25 m^3$, il y avait respectivement 74.8 et 74.6 litres d'eau dans les parcelles avec et sans Jesr.

La teneur en eau a rapidement augmenté de 0.05 à 0.3 ou 0.35 m³ d'eau par m³ de sol jusqu'à au moins 125 cm de profondeur en moins de 6 heures (entre 2 relevés le 11 novembre 2017 à 15h30 et 21h30) dans la parcelle avec un Jesr lorsque les précipitations étaient les plus intenses, ce qui équivaut à une hausse de 326 litres d'eau dans un volume de 1.25 m³. Une telle hausse résulte du drainage des eaux de ruissellement par l'oued au fond du ravin lorsque les précipitations tombées ont atteint une certaine hauteur. Ces eaux ont ensuite inondé la parcelle aménagée en Jesr grâce à cet ouvrage tout en gorgeant d'eau les limons éoliens jusqu'à au moins 125 cm de profondeur. Plusieurs photos (non montrées ici) révèlent que les parcelles aménagées en Jessour sont remplies d'eau pendant plusieurs heures ou jours après un épisode pluvieux important.

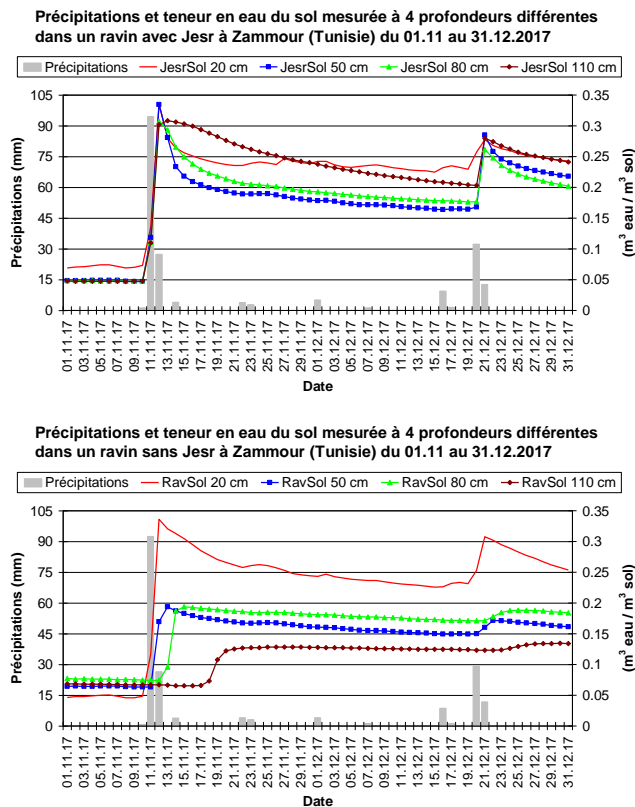


Figure 2. Précipitations (mm) et teneur en eau dans le sol (m³ eau / m³ sol) mesurées à 4 profondeurs différentes dans un ravin avec un Jesr (en haut) et sans Jesr (en bas) du 1^{er} novembre au 31 décembre 2017.

Dans le ravin sans Jesr, cet épisode très pluvieux n'a entraîné une hausse semblable de la teneur en eau du sol que près de la surface jusqu'à 35 cm de profondeur. Cette hausse a été 2 fois plus faible dans le sol à des profondeurs de 50 à 80 cm et 4 fois plus faible à des profondeurs de 110 et 125 cm. Cette augmentation de la teneur en eau s'est étendue lentement dans les couches plus profondes du sol, ne survenant que 7 jours plus tard à 110 et 125 cm de profondeur. La quantité d'eau dans le sol a augmenté de respectivement 134 et 191 litres (dans un volume de 1.25 m³) 24 heures et 10 jours après le début de la hausse près de la surface le 11 novembre, alors qu'aucune pluie n'était tombée pendant ces 10 jours. Les eaux de pluie ne se sont infiltrées que très lentement dans le sol pour cette parcelle sans Jesr, malgré une lithologie semblable pour les 2 parcelles. Après cet épisode très pluvieux, les sols de la parcelle avec un Jesr contenaient près de 2 fois plus d'eau que la parcelle sans Jesr jusqu'à 125 cm de profondeur, avec des maxima de 401 et 224 litres d'eau dans un volume de 1.25 m³.

Le 2^{ème} épisode pluvieux significatif, les 20 et 21 décembre 2017, a entraîné une hausse plus modeste de la teneur en eau dans les 2 parcelles, car les sols étaient encore assez humides après le premier événement (246 litres d'eau pour la parcelle avec un Jesr et 202 litres pour la parcelle sans Jesr dans un volume de 1.25 m³) et les précipitations moins abondantes (45 mm en 32 heures au lieu de 123 mm en 38 heures). Une hausse de la teneur en eau de la parcelle aménagée en Jesr s'est à nouveau produite à toutes les profondeurs jusqu'à au moins 125 cm en moins de 12 heures, alors qu'elle a été plus progressive et plus faible en allant de la surface du sol jusqu'à une profondeur de 125 cm dans le ravin sans Jesr. La quantité d'eau a augmenté de 106 litres en 12 heures pour la parcelle avec un Jesr et de 39 litres en 11 jours pour la parcelle sans Jesr.

Après ce 2^{ème} épisode pluvieux, les sols de la parcelle avec un Jesr contenaient 1.5 fois plus d'eau que la parcelle sans Jesr jusqu'à 125 cm de profondeur, avec des maxima de 352 et 241 litres d'eau dans un volume de 1.25 m³. La teneur en eau du sol a ensuite progressivement diminué à toutes les profondeurs dans la parcelle avec un Jesr jusqu'au 3^{ème} épisode pluvieux significatif le 19 août 2018. Le sol s'est toutefois sensiblement asséché jusqu'à 50 cm de profondeur en mars 2018 et la teneur en eau du sol est devenue la plus basse près de la surface à 20 cm de profondeur pendant l'été en l'absence de pluies, alors qu'elle est restée la plus élevée pour le capteur le plus profond à 125 cm.

Dans le ravin sans Jesr, la teneur en eau a également progressivement diminué après le 2^{ème} épisode pluvieux des 20-21 décembre 2017, surtout près de la surface (20 cm) où la quantité d'eau dans le sol était nettement plus élevée et proche de celle mesurée pour la parcelle avec un Jesr. Une diminution sensible de l'humidité du sol s'est aussi produite en mars 2018 dans le ravin sans Jesr, mais à toutes les profondeurs et pas seulement près de la

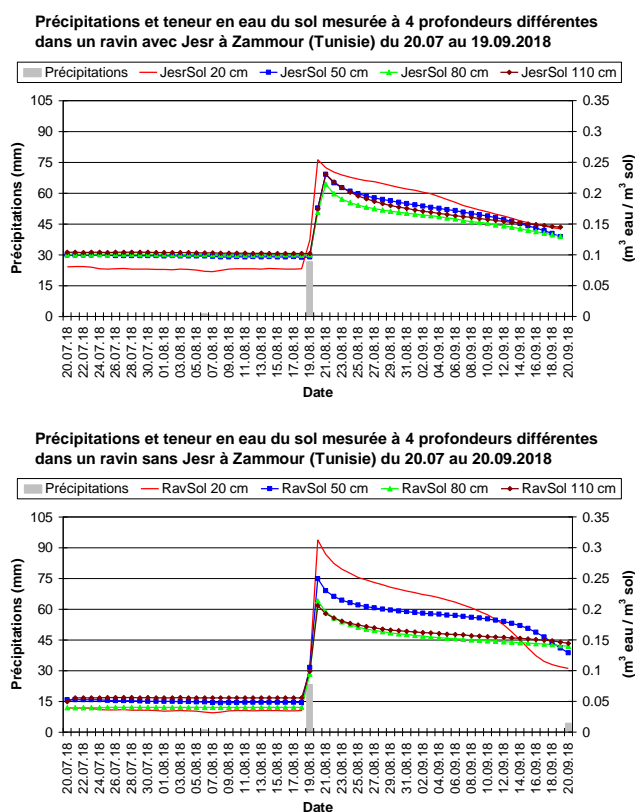


Figure 3. Précipitations (mm) et teneur en eau dans le sol (m³ eau / m³ sol) mesurées à 4 profondeurs différentes dans un ravin avec un Jesr (en haut) et sans Jesr (en bas) du 20 juillet au 20 septembre 2018.

et rapide dans le ravin sans Jesr, malgré un cumul des précipitations (23 à 27 mm en 6 heures) plus réduit que pour les 2 épisodes précédents. Les quantités d'eau dans le sol ont ainsi augmenté de respectivement 193 et 293 litres sur un volume de 1.25 m³ pour les parcelles avec et sans Jesr. Cet épisode s'est caractérisé par 2 averses de 10 à 15 mm en 2 heures séparées d'un intervalle sec de 2 heures. Vu leur caractère orageux, elles ont peut-être été plus intenses sur le bassin versant en amont des 2 stations météorologiques et les eaux de pluie auraient ruisselé sur des sols secs et amené beaucoup d'eau dans l'oued au fond du ravin qui aurait inondé les 2 parcelles étudiées tout en gorgeant d'eau les limons éoliens. Après ce bref épisode pluvieux, les

surface. Les sols étaient ainsi bien plus secs au début avril 2018 dans le ravin sans Jesr que dans la parcelle avec un Jesr à toutes les profondeurs et cette différence s'est maintenue jusqu'au 3^{ème} épisode pluvieux du 19 août 2018. Juste avant cet épisode, les sols dans la parcelle avec un Jesr contenaient presque 3 fois plus d'eau que la parcelle sans Jesr jusqu'à 125 cm de profondeur, avec respectivement 126 et 46 litres d'eau dans un volume de 1.25 m³. L'effet du Jesr sur l'humidité des sols apparaît non seulement lors d'épisodes très pluvieux, mais aussi pendant les mois secs qui les ont suivis. Les Jessour permettent ainsi de constituer une réserve hydrique très importante pour la pratique de l'arboriculture.

Le 3^{ème} épisode pluvieux plus bref du 19 août 2018 (Figure 3) s'est distingué des 2 épisodes précédents par le fait qu'il a généré une hausse rapide (moins de 6 heures) et simultanée de la teneur en eau à toutes les profondeurs du sol dans les 2 parcelles étudiées. Cette hausse était même plus marquée

sols de la parcelle sans Jesr contenaient légèrement plus d'eau (339 contre 319 litres d'eau dans un volume de 1.25 m³) que la parcelle avec un Jesr, contrairement aux 2 autres épisodes pluvieux.

Les autres journées avec des précipitations enregistrées durant l'année de mesures se sont signalées par des hauteurs d'eau inférieures à 12 mm en 24 ou 48 heures. Elles n'ont eu aucun impact sur la teneur en eau dans les sols des 2 parcelles, même lorsqu'ils étaient bien secs en octobre 2017 ou en mai 2018 : une légère hausse de la teneur en eau du sol est tout de même apparue pour le capteur le plus proche de la surface (20 cm) lors de ces journées (cf. Figure 2) et quelquefois aussi pour le 2^{ème} capteur situé à 35 cm de profondeur. L'oued au fond du ravin est probablement resté sec et la teneur en eau dans le sol n'a pas varié au-delà de 35 cm de profondeur pour ces journées-là dans les 2 parcelles.

Conclusion

Les mesures réalisées au moyen de 2 stations situées à 130 m de distance au fond de deux ravins pendant une année ont révélé que seuls 3 épisodes pluvieux avec des hauteurs d'eau supérieures à 20 mm ont entraîné une hausse importante de la teneur en eau dans le sol pour les parcelles avec et sans Jesr. Pour ces 3 épisodes, la teneur en eau dans le sol a brutalement augmenté (en moins de 6 heures) jusqu'à au moins 125 cm de profondeur pour la parcelle aménagée en Jesr lorsque les précipitations tombées atteignaient une hauteur de 20 ou 30 mm. A partir de ce seuil, l'eau coulait dans l'oued et inondait cette parcelle grâce au Jesr.

Pour la parcelle sans Jesr, seul le 3^{ème} épisode pluvieux, plus bref, d'août 2018 a entraîné une hausse rapide et semblable (ou même plus grande) de la teneur en eau dans le sol jusqu'à 125 cm de profondeur. Les 2 autres épisodes pluvieux, pourtant plus généreux, en novembre et décembre 2017 n'ont engendré qu'une hausse progressive et modeste de la teneur en eau dans le sol au-delà de 35 cm de profondeur dans cette parcelle.

Les Jessour semblent donc avoir des effets différents sur l'humidité dans le sol suivant les saisons et la structure des précipitations. Il conviendrait toutefois de refaire des mesures à ces 2 endroits pendant une ou plusieurs années afin de confirmer ces premiers résultats : les épisodes pluvieux avec plus de 20 mm sont rares dans cette région aride, surtout en été. Pour le moment, les 2 stations ont été déplacées sur un autre site (Zmertène) pendant une année pour étudier l'influence de la lithologie des sols sur le bilan hydrique des Jessour.

Références

- Abdelli F., Ouessar M., Bruggeman A., Khatteli H., Ghoudi R., Guied M., 2014. Mise en place d'un modèle agro-environnemental SWAT sur le bassin versant d'Oued Jir (sud-est tunisien). *Revue des Régions Arides*, **33**, 109-113.
- Ben Fraj T., Abderrahmen A., Ben Ouezdou H., Reynard E., Milano M., Calianno M., Fallot J.-M., 2016. Les Jessour dans le Sud-est tunisien : un système hydro-agricole ancestral dans un milieu aride. *Actes du 29^{ème} colloque de l'Association Internationale de Climatologie (AIC)*, Lausanne-Besançon, 6-9.09.2016, p.193-198.
- Ben Fraj T., 2012. *La Jeffara septentrionale : étude de l'évolution géomorphologique au cours du Quaternaire*. Thèse de doctorat, Faculté des Sciences Humaines et Sociales de Tunis, 333 p.
- Ben Ouezdou H., Abderrahmen A., Abbassi M., Ben Fraj T., Calianno M., Fallot J.-M., Milano M., Reynard E., 2018. Analyse de l'événement pluviométrique intense du 11 novembre 2017 et ses effets sur le système hydraulique des Jessour (sud-est tunisien). *Actes du 31^{ème} colloque de l'Association Internationale de Climatologie (AIC)*, Nice, 4-7.07.2018, p. 251-256.
- Henia L. et El Melki T., 2000. Circulation de « retour d'Est » et pluies diluviennes sur la Tunisie orientale. *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, vol. **13**, p. 120-127.