

WATER CYCLE AND VARIATIONS IN SOIL-WATER CONTENT IN A JUNIPERUS THURIFERA STAND IN THE HIGH ATLAS MOUNTAINS OF MOROCCO

WADI BADRI

Département de Biologie, Fac. Sci. Semlalia, Univ. Cadi Ayyad. BP: S. 15 Marrakech, Maroc

THIERRY GAUQUELIN

Lab. d'Ecologie Terrestre, UMR 9964, Univ. P. Sabatier, 39 Allées Jules Guesde, 31062 Toulouse cedex, France

La variabilité du régime hydrique, une des caractéristiques du climat de haute montagne marocaine, rend difficile la caractérisation du cycle hydrique dans ces régions difficilement accessibles (Gauquelin, 1988). S'intéressant aux recherches concernant les écosystèmes à Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L., arbre de haute montagne par excellence au Maroc) les auteurs ont étudié dans une Thuriféraie du Haut Atlas occidental, entre autres, la variabilité pluviométrique, inter-annuelle et intra-annuelle (1982-94), la redistribution des précipitations incidentes, par le couvert de l'arbre, et la quantification des différentes fractions qui en résulte (écoulement, égouttement et interception) et enfin l'évolution du stock d'eau dans le sol.

La formation étudiée occupe 398 ha sur le versant sud-ouest du Jbel Tizrag dans le massif de l'Oukaimeden (grès rouge) dans le Haut Atlas de Marrakech, entre 2200m et 2600m d'altitude. Ce peuplement est constitué essentiellement de *Juniperus thurifera* L. d'une hauteur moyenne de 7.5 m, d'un recouvrement moyen de 54% et ayant une densité de 204 individus par hectare. Cette région présente un quotient pluviothermique Q2 égal à 77.2, se situant dans le bioclimat subhumide à hivers froid (Badri et al., 1994).

Dans une parcelle (1000 m²) mise en défens à 2450m d'altitude au sein de cette forêt, nous avons installé 34 pluviomètres en plastique, dont 8 à l'extérieur du couvert des arbres, pour mesurer les précipitations incidentes

(Pi) et 26 sous les arbres pour évaluer l'égouttement à travers le feuillage (Eg). Quant à l'eau qui est drainée par le feuillage et les branches et qui s'écoule le long du tronc (écoulement: Ec), elle a été collectée à l'aide de gouttières mises en place difficilement (en raison de la forme tourmentée des troncs du Thurifère) autour de 4 troncs. L'interception (I) du peuplement, qui correspond à la fraction des précipitations incidentes qui n'atteint pas le sol soit évaporée ou absorbée (...) au niveau des cuticules des feuilles, est calculée par la relation suivante: $I = Pi - (Eg + Ec)$

Le suivi de la teneur en eau du sol a été fait par la méthode neutronique (Badri, 1990), à l'aide d'un humidimètre à neutrons. Les mesures ont été effectuées dans 5 tubes en aluminium implantés dans la parcelle, trois de ces tubes se trouvant hors de l'influence du couvert (Gauquelin et al., sous presse).

Le volume moyen (1982 -94) des précipitations annuelles est de 536.3 mm, se produisant sur 101 jours par an (Tab I). Les chutes de neiges se répartissent sur 48 jours essentiellement en Hivers. D'une manière relativement contradictoire sous climat de type méditerranéen, c'est au mois d'Août que les chutes de pluies *sensu stricto* sont les plus fréquentes (10.5 jours de pluie), mais la moyenne des précipitations de ce mois reste cependant la plus faible de l'année (18.7).

La variabilité des précipitations inter-annuelles est importante : le maximum des précipitations annuels, enregistré durant la période d'étude, est de 744.1 mm alors que le minimum est seulement de 379 mm. Cependant cette valeur, égale à 23%, est nettement inférieure à celle mesurée dans la vallée de N'fis à l'ouest de Marrakech: 34% et 48% (Maselli, 1993). Cette variabilité est par contre plus importante si on étudie les régimes pluviométriques mensuels (Janvier: 105 %, Tab I).

Cette variabilité se répercute sur le cycle hydrologique. Ainsi au cours du suivi des deux années le régime hydrique a presque doublé d'une année à l'autre (382.1 mm pour la 1^o année et 670 mm pour la 2^o année). Cependant les différentes fractions (Eg, Ec et I) exprimées en pourcentage moyen des précipitations incidentes ne varient pas significativement d'une année à l'autre (Eg: 54.7% la 1^o année et 53.3% la 2^o année, Tab II). Les valeurs d'égouttement varient mensuellement de 0% à 82% de Pi, avec une moyenne générale pour les deux années de 54%. Valeur nettement moins élevée que celle mesuré sur différents peuplement de résineux: 78.5% sur le *Pinus halepensis* (Rapp et al., 1968), 70.5% sur *Pinus pinea* (Ibrahim et al.,

1982). Seuls Aussenac et al. (1980) ont signalé un taux comparable sur *Pseudotsuga menziesii* (53.4%).

Le taux d'écoulement moyen est de l'ordre de 2.2 % soit une valeur proche de celle signalée par Ibrahim et al. (1982) sur *Pinus pinea*.

Au delà des résultats mensuels et en étudiant les différents événements pluvieux, nous avons mis en évidence une forte corrélation entre l'intensité des précipitations et la quantité d'eau arrivant au sol. Les équations obtenues sont significatives au seuil 0.001:

I	$E_g \text{ (mm)} = 0.650 P_i \text{ (mm)} - 2.530$	$n = 34$	$r^2 = 0.944$
II	$E_c \text{ (mm)} = 0.029 P_i \text{ (mm)} - 0.187$	$n = 34$	$r^2 = 0.776$

La capacité de saturation du houppier, hauteur d'eau maximum susceptible d'être retenue sur la surface des feuilles, des branches et des rameaux, nommée aussi seuil d'égouttement, est calculée à partir de l'équation I :

$$\text{Seuil } E_g = -b/a \quad \text{soit } 3.89 \text{ mm}$$

L'interception varie de 14.8 à 100% avec une valeur moyenne de 43.8%. Cette fraction est à l'origine de l'hétérogénéité de la teneur en eau dans le sol de la Thuriféraie (milieu sous couvert et milieu hors couvert).

Pour les cinq années de mesure de l'humidité du sol (Fig 1), on observe en général la même dynamique des variations du stock (0 à 105 cm de profondeur). A l'extérieur du couvert la recharge automnale permet au stock de dépasser la capacité au champ, alors que sous le couvert ce stock reste en automne à peine supérieur à celui du point de flétrissement permanent (pfp), la réhumectation complète ne se réalisant qu'en hiver. A partir du début du printemps et jusqu'à la fin de l'été, le stock décroît et atteint des valeurs inférieures au pfp hors couvert.

Donc, si d'une part le couvert du Thurifère diminue la quantité des précipitations arrivant au sol sous les arbres, il permet, d'autre part, de maintenir une certaine humidité dans le sol pendant les périodes de dessèchement. Des effets similaires du couvert sur la dynamique de l'eau du sol ont pu être montrés dans des formations à *Acacia caven* au Chili (Ovalle et al., 1988 et sur *Quercus ilex* en Espagne (Joffre et al., 1988).

BIBLIOGRAPHIE

Aussenac, G. and Boulangeat, C., 1980. Interception des précipitations et évapotranspiration réelle dans des peuplements de feuillus (*Fagus sylvatica* L.) et résineux (*Pseudotsuga menziesii* Mirb Franco). *Ann. Sci. Forest.*, 37 (2) (pp91-107).

Badri, W., 1990. Cycle hydrologique et biogéochimique et influence du couvert sur la strate herbacée dans un peuplement à Genévrier thurifère du Haut Atlas de Marrakech (Maroc). *Thèse III^e cycle*, Univ. Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc.

Badri, W.; Gauquelin, T.; Minet, J.; and Savoie, J.M., 1994. Données météorologiques nouvelles sur le massif de l'Oukaimeden (2,570m, Haut Atlas de Marrakech, Maroc): un exemple de climat de haute montagne méditerranéenne. *Pub AIC*, 7, à paraître.

Gauquelin, T., 1988. Dynamique de la végétation et des formations superficielles dans les montagnes du bassin occidental de la Méditerranée: étude des formations à Genévrier thurifère et à xérophytes épineuses en coussinet des Atlas marocains. *Thèse Doct. État*, Univ. P. Sabatier, Toulouse, France.

Gauquelin, T. and Savoie, J.M. (sous presse). Évolution de l'humidité du sol en relation avec le couvert arboré dans un écosystème à *Juniperus thurifera* L. du Haut Atlas de Marrakech (Maroc). *Rev. Valdôtaine Hist.* à paraître.

Ibrahim, M.; Rapp, M.; and Lossaint, P., 1982. Économie de l'eau d'un écosystème à Pin pignon (*Pinus pinea* L.) du littoral méditerranéen. *Ann. Sci. Forest.*, 39(3) (pp289-306).

Joffre, R. and Rambal, S., 1988. Soil water improvement by trees in the range lands of Southern Spain. *Oecol. Plant.*, 9 (4) (pp405-422).

Maselli, D. (1993) Contribution à l'étude de la pluviométrie du Haut Atlas occidental au Maroc: répercussions sur l'environnement et l'exploitation agricole. *Pub. AIC*, 6 (pp315-323).

Ovalle, C. and Avendano, J., 1988. Interactions de la strate ligneuse avec la strate herbacée dans les formations d'*Acacia caven* (Mol.) Hook. et Arn. au

Chili. II: Influence de l'arbre sur quelques éléments du milieu: microclimat et sol. *Oecol. Plant.*, vol 9, n°2 (pp113-134).

Rapp, M and Romane, F., 1968. Contribution à l'étude du bilan de l'eau dans les écosystèmes méditerranéens. I: Égouttement des précipitations sous des peuplements de *Quercus ilex* L. et de *Pinus halepensis* Mill. *Oecol. Plant.*, 3 (pp271-284).

Mar-89	10.2	1.8	8.4	0.4	0.4	10.2	14.8
Avr-89	20.1	0.8	19.3	0.8	0.4	20.1	20.2
Mai-89	10.2	0.7	9.5	0.7	0.4	10.2	22.2
Jui-89	20.1	1.8	18.3	0.9	0.4	20.1	63.0
Ju-89	70.5	2.8	67.7	2.8	0.4	70.5	64.0
AOÛ-89	41.1	1.8	39.3	1.8	0.4	41.1	70.0
Total	670.0	27.0	643.0	14.0	2.1	670.0	244.0

Table I. Mean and Maximum Precipitation, Pluviometric Variability (v %) and Mean Number of Precipitation (rain "pl", snow "ng") Days at Oukaimeden (Meden Usually Means Middle or Central)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annéc
P moy	55.4	78.4	75.8	56.9	47.1	23.0	26.9	18.7	25.7	39.2	50.0	39.2	536.3
en max	221	212	165	140	100	50	86	50	72	104	110	90	744.1
mm v%	105	64	57	99	64	86	99	107	85	93	70	74	23
j. de pl	0	2.1	2.9	5.3	7.5	5.0	8.5	10.5	6.0	3.1	2.0	1.0	53.9
prc ng	9.0	10.0	10.0	3.8	2.0	1.0	0	0	0	1.2	6.0	4.5	47.5

Table II. Monthly Values for Drainage, Flow, and Interception over a Two-year Period

Première année	Pi (mm)	Égouttement		Écoulement		Interception	
		(mm)	%	(mm)	%	(mm)	%
Sep-87	19.0	9.1	47.9	0.40	2.1	9.50	50.0
Oct-87	95.0	50.5	53.2	2.60	2.8	41.90	44.0
Nov-87	44.0	26.5	60.2	1.50	3.4	16.00	36.4
Déc-87	9.5	3.0	31.6	0.10	1.1	6.40	67.3
Jan-88	58.5	35.1	60.0	1.05	1.8	22.35	38.2
Fév-88	28.0	14.0	50.0	0.25	0.9	13.75	49.1
Mar-88	86.1	55.8	64.8	2.10	2.4	28.20	32.8
Avr-88	4.1	1.6	40.0	0.04	1.0	2.36	59.0
Mai-88	20.5	11.5	56.1	0.20	1.0	8.80	42.9
Jui-88	3.5	0.0	0.0	0.00	0.0	3.50	100.0
Jlt-88	14.5	2.0	14.3	0.00	0.0	12.00	85.7
Aoû-88	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0
Total	382.1	209.1	54.7	8.30	2.2	164.70	43.1

Deuxième année	Pi (mm)	Égouttement		Écoulement		Interception	
		(mm)	%	(mm)	%	(mm)	%
Sep-88	16.0	5.1	31.9	0.20	1.2	10.70	66.9
Oct-88	92.5	48.7	52.6	1.60	1.7	42.20	45.7
Nov-88	127.7	69.0	54.0	2.02	1.6	56.68	44.4
Déc-88	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0
Jan-89	34.3	18.0	52.5	1.20	3.5	15.10	44.0
Fév-89	83.6	47.8	57.2	3.40	4.1	32.40	38.7
Mar-89	68.9	56.8	82.4	1.90	2.8	10.20	14.8
Avr-89	92.0	62.0	67.4	2.21	2.4	27.79	30.2
Mai-89	6.7	1.7	25.4	0.16	2.4	4.84	72.2
Jui-89	36.7	11.8	32.2	1.01	2.8	23.90	65.0
Jlt-89	70.5	24.3	34.5	0.40	0.6	45.80	64.9
Aoû-89	41.1	11.8	28.7	0.15	0.4	29.15	70.9
Total	670.0	357.0	53.3	14.30	2.1	298.70	44.6

Figure 1. Changes in soil-water content from depth of 0 to 105 cm, under the shade and without shade

