

The Hydrological Cycle and Changes of Soil Water Storage in a Thuriferous Juniper (*Juniperus Thurifera* L.) Stand in the Moroccan High Atlas Mountains

Cycle de l'eau et variations du stock d'eau dans le sol dans une station à Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.) dans le Haut Atlas du Maroc

Wadi Badri

DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE, FAC. SCI. SEMLALIA,
UNIV. CADI AYYAD. BP: S. 15 MARRAKECH, MAROC

THIERRY GAUQUELIN

LAB. D'ÉCOLOGIE TERRESTRE, UMR 9964, UNIV. P. SABATIER,
39 ALLÉES JULES GUESDE, 31062 TOULOUSE CEDEX, FRANCE

Summary

As one facet of integrated research on the ecology of thuriferous juniper, we studied the redistribution of rainfall by tree crowns located in the Marrakech High Atlas Mountains. Different parameters were estimated during a period of two years. The average interception for this period was 44 per cent, the monthly values varying between 14.8 to 100 per cent. In spite of significant variability in the annual rainfall of this region (23%), the components of the hydrological cycle varied only slightly. However, the presence of juniper trees induced some important modifications in the distribution of rainfall on the ground. As a consequence, soil moisture at the two open and forested locations differs considerably. A differential evolution of the humidity of soil in the two surroundings, under cover and free from cover, resulted from this presence.

Introduction

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 (1982-1994), 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.

L'écosystème étudié

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 2,200m et 2,600m d'altitude. Ce peuplement est constitué essentiellement de

Juniperus thurifera L. d'une hauteur moyenne de 7.5m, d'un recouvrement moyen de 54 per cent et ayant une densité de 204 individus par hectare. A coté du Genévrier thurifère on trouve un autre Genévrier, *Juniperus oxycedrus*. Cette région présente un quotient pluviothermique, Q_2 égal à 77.2, se situant dans le bioclimat subhumide à hivers froid (Badri et al., 1994).

Méthodologie

Dans une parcelle (1,000m²) mise en défense à 2,450m d'altitude au sein de cette forêt, nous avons installé 34 pluviomètres en plastique, dont huit à l'extérieur du couvert des arbres pour mesurer les précipitations incidentes (P_i) et 26 sous les arbres pour évaluer l'égouttement à travers le feuillage (E_g). Quant à l'eau qui est drainée par le feuillage et les branches et qui s'écoule le long du tronc (écoulement: E_c), 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 quatre troncs. L'interception (I_c) 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:

$$I_c = P_i - (E_g + E_c) \tag{1}$$

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 cinq tubes en aluminium implantés dans la parcelle, trois de ces tubes se trouvant hors de l'influence du couvert (Gauquelin et al. sous presse).

Resultats

Précipitations Incidentes (Tab. 1)

Le volume moyen (1982-1994) des précipitations annuelles est de 536.3mm, se produisant sur 101 jours par an. 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 (18.7mm).

Table 1: Précipitations moyennes, maximales, variabilité pluviométrique (v%) et nombre moyen de jours de précipitations (pluie "pl", neige "ng") à l'Oukaïmeden (Mean and maximum precipitation together with the variability coefficient and average numbers of days of precipitation ("pl" rain and "ng" snow) at Oukaïmeden

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année	
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

La variabilité des précipitations inter-annuelles est importante: le maximum des précipitations annuelles, enregistré durant la période d'étude, est de 744.1mm alors que le minimum est seulement de 379mm. Cependant la moyenne de variabilité annuelle n'est que de 23 per cent, soit une valeur nettement inférieure à celle calculée dans la vallée de N'fis à l'ouest de Marrakech: 34 et 48 per cent (Maselli 1993). Cette variabilité est par contre plus importante si on étudie les régimes pluviométriques mensuels (janvier: 105%; avril: 107%).

Interception, Egouttement et Ecoulement (Tab. 2)

Table 2: Valeurs mensuelles de l'égouttement, de l'écoulement et de l'interception des deux années de mesures (monthly values of throughfall, stem flow, and interception)

Première année	Pi (mm)	Egouttement (mm)	%	Ecoulement (mm)	%	Interception (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)	Egouttement (mm)	%	Ecoulement (mm)	%	Interception (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

Les valeurs d'égouttement varient mensuellement de 0 à 82 per cent de P_i , avec une moyenne générale pour les deux années de 54 per cent. Valeur nettement moins élevée que celle mesurée sur différents peuplements de résineux: 78.5 per cent sur le *Pinus halepensis* (Rapp et al. 1968), 70.5 per cent sur *Pinus pinea* (Ibrahim et al. 1982). Seuls Aussenac et Boulangeat (1980) ont signalé un taux comparable sur *Pseudotsuga menziesii* (53.4%).

Le taux d'écoulement moyen est de l'ordre de 2.2 per cent 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

La variabilité pluviométrique, citée plus haut, 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 (382.1mm pour la 1^o année et 670mm pour la 2^o année). Cependant les différentes fractions (*Eg*, *Ec* et *Ic*) 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). Les

précipitations et la quantité d'eau arrivant au sol. Les équations obtenues sont significatives au seuil 0.001:

$$Eg \text{ (mm)} = 0.650 Pi \text{ (mm)} - 2.530 \quad n = 34 \quad r^2 = 0.944 \quad (2)$$

$$Ec \text{ (mm)} = 0.029 Pi \text{ (mm)} - 0.187 \quad n = 34 \quad r^2 = 0.776 \quad (3)$$

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 (2) :

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

L'interception varie de 14.8 à 100 per cent avec une valeur moyenne de 43.8 per cent. 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).

Variation du stock d'eau dans le sol

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 105cm de profondeur). A l'extérieur du couvert la recharge automnale permet au stock de dépasser la capacité au champ (c.c.), 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.

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. On peut percevoir plus nettement ce phénomène en analysant les différents profils hydriques relevés en phase de dessèchement estival ou de réhumectation automnale (Fig 2 et Fig. 3). 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 Avendano 1988) et sur *Quercus ilex* en Espagne (Joffre et al. 1988).

Conclusions

Dans l'ensemble de ces résultats, on peut conclure que sur une période de deux ans, 43.8 per cent des précipitations ont été interceptées, en moyenne, par le couvert du Thurifère. C'est une valeur relativement élevée par rapport à celles mesurées en Europe, mais qui s'explique par le fort ensoleillement et les valeurs élevées de température de la région étudiée. Ce paramètre semble peu évoluer d'une année à l'autre (43.1 à 44.6%) bien que la moyenne de variabilité pluviométrique annuelle atteint 23 per cent.

Cinquante-quatre per cent des précipitations arrivent au sol librement, mais d'une manière hétérogène, sous le couvert des arbres. L'écoulement, bien que très faible quantitativement (2.2%), est relativement important si on le rapporte

à la zone restreinte qu'il humecte. La présence du Thurifère induit donc des modifications importantes dans les mouvements de l'eau dans le sol. Si le couvert retarde la réhumectation du sol **en interceptant** une partie des précipitations, il permet, par contre, de maintenir **une certaine** humidité dans les horizons supérieurs du sol.

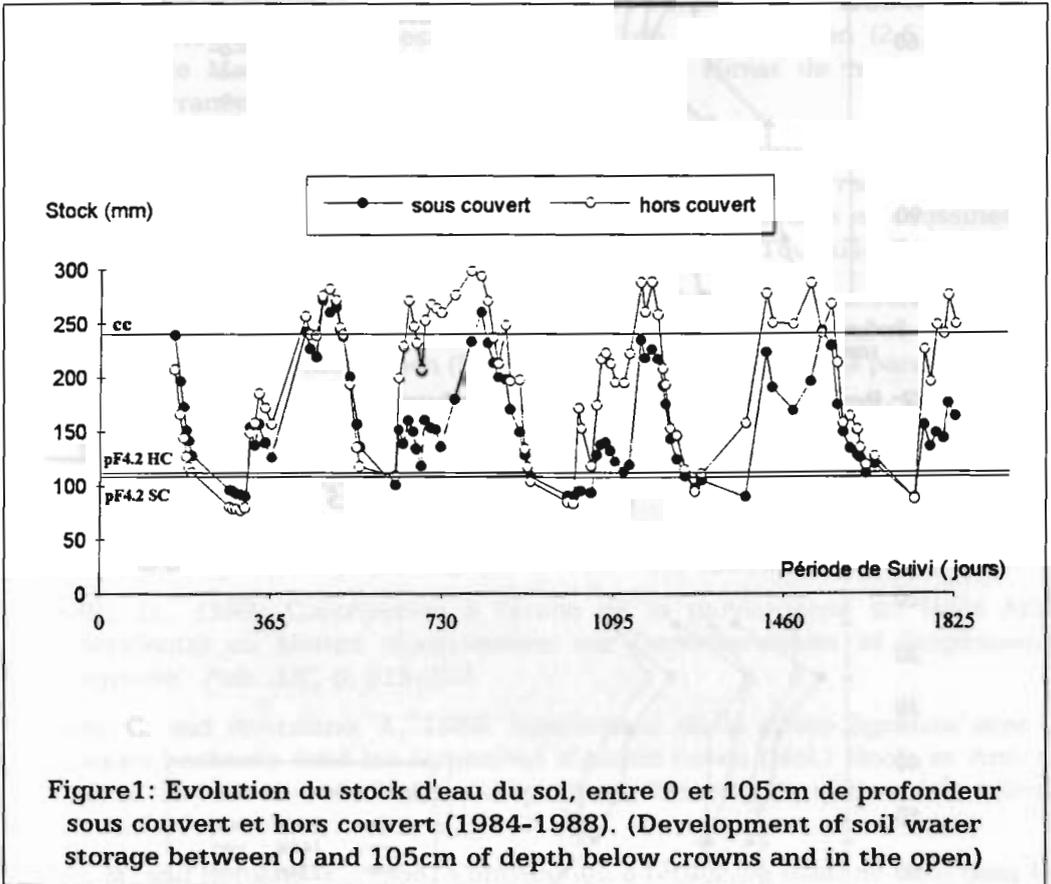
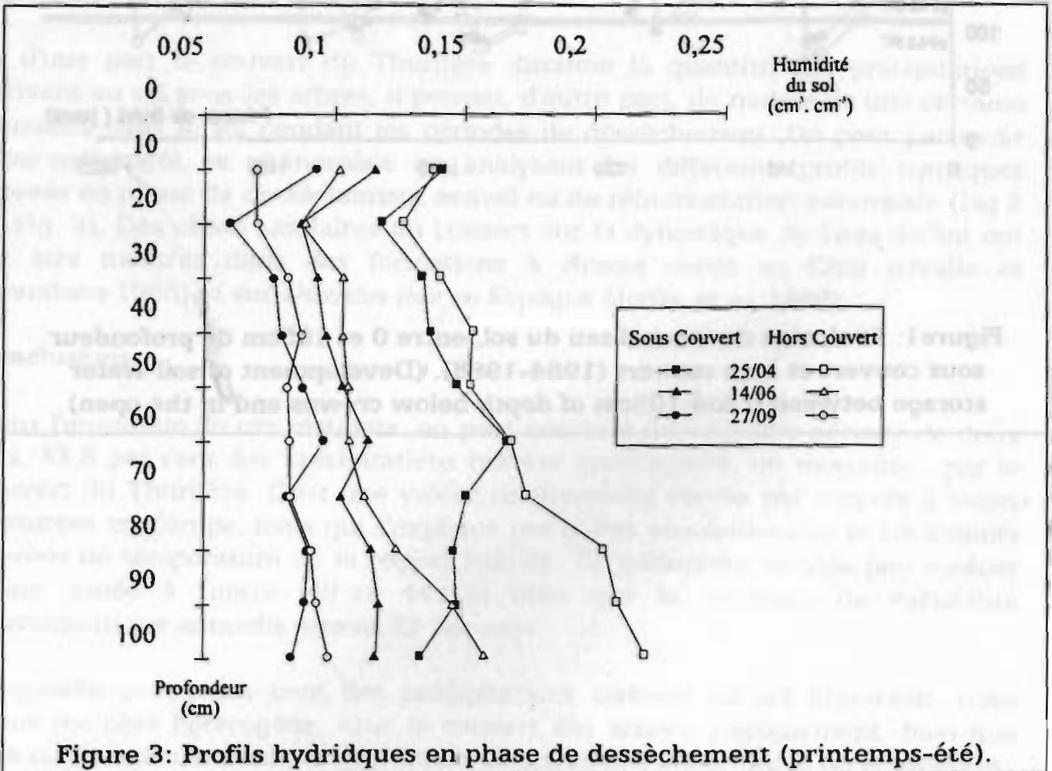
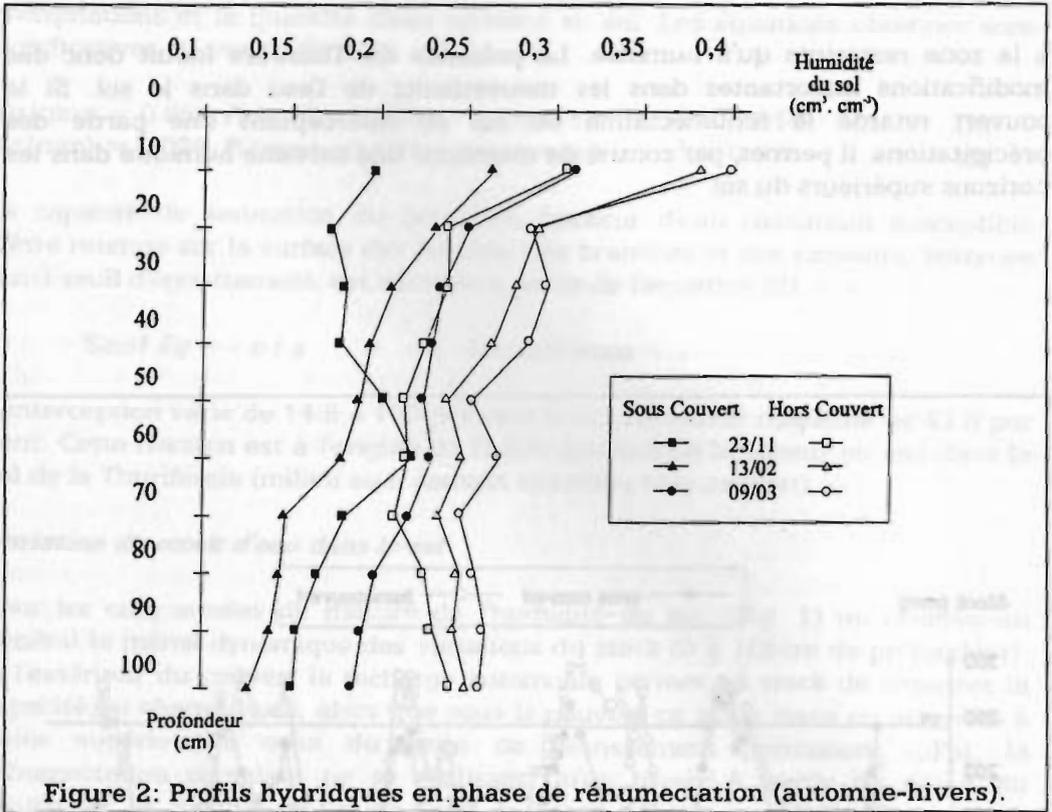


Figure1: Evolution du stock d'eau du sol, entre 0 et 105cm de profondeur sous couvert et hors couvert (1984-1988). (Development of soil water storage between 0 and 105cm of depth below crowns and in the open)



Références bibliographiques

- Aussenac, G. and Boulangeat, C., 1980. 'Interception des précipitations et évapotranspiration réelle dans des peuplements de feuillus (*Fagus silvatica* L.) et résineux (*Pseudotsuga menziesii* Mirb Franco). *Ann. Sci. Forest.*, 37 (2), 91-107.
- 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). 'Evolution 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. 'Economie de l'eau d'un écosystème à Pin pignon (*Pinus pinea* L.) du littoral méditerranéen. *Ann. Sci. Forest.*, 39(3), 289-306.
- Joffre, R. and Rambal, S., 1988. 'Soil Water Improvement by Trees in the Range Lands of Southern Spain'. in *Oecol. Plant.*, 9 (4), 405-422.
- 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, 315-323.
- 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, 113-134.
- Rapp, M. and Romane, F., 1968. 'Contribution à l'étude du bilan de l'eau dans les écosystèmes méditerranéens. I: Egouttement des précipitations sous des peuplements de *Quercus ilex* L. et de *Pinus halepensis* Mill'. *Oecol. Plant.*, 3, 271-284.