

## **DETERMINATION DU REGIME HYDRIQUE DES SOLS D'APRES NEWHALL**

par R. TAVERNIER et A. VAN WAMBEKE

Le régime hydrique constitue une des propriétés les plus importantes du sol. En fait il est utilisé comme un critère diagnostique dans la majorité des systèmes de classification. Des concepts comme sols hydromorphes, sols désertiques, etc. ont été introduits depuis longtemps.

Dans Soil Taxonomy, le nouveau système de classification actuellement utilisé par le USDA Soil Conservation Service, le régime hydrique des sols est utilisé comme un critère majeur qui intervient pratiquement à tous les niveaux. On distingue, outre les sols hydromorphes (régime aquique), plusieurs régimes hydriques, notamment les régimes udique, xérique, ustique et aridique (torrique). La définition exacte de ces régimes est donnée en détail dans le système de classification du USDA Soil Conservation Service.

Toutefois si l'importance du régime hydrique des sols comme critère de classification est généralement admise, on peut objecter que la détermination exacte du régime hydrique est difficile et exige de nombreuses déterminations de l'humidité du profil pédologique pendant une période d'une dizaine d'années. Pour pallier à cette difficulté un programme de recherches a été entrepris par la division du « Soil Survey Investigations » du USDA-SCS, ayant pour but de trouver une méthode permettant d'évaluer le régime hydrique en se basant sur les données climatologiques.

C'est le grand mérite du Dr. FRANKLIN NEWHALL d'avoir conçu un modèle mathématique qui permet d'estimer le régime hydrique du sol à partir de données mensuelles de pluviosité et de température. Nous avons élaboré, à partir du modèle de NEWHALL, un programme d'instructions FORTRAN qui, en partant du modèle mathématique de NEWHALL, permet le traitement des observations climatologiques par ordinateur et de cette façon fournit les renseignements requises pour la classification des sols dans un des régimes climatiques reconnus par « Soil Taxonomy ». Le modèle opère sous un ensemble de conditions préalables dont il est utile de connaître les modalités, si l'on veut interpréter correctement les résultats. Le but de cette note est d'une part de résumer les principes de la méthode de NEWHALL

(qui fait l'objet d'une publication USDA actuellement sous presse<sup>(\*)</sup>) et d'autre part d'illustrer son application aux sols du Maghreb.

La méthode de NEWHALL est divisée en plusieurs étapes qui sont discutées dans les rubriques suivantes.

a) *Traitement des données pluviométriques et d'évapotranspiration potentielle avant leur application au sol.*

La méthode de calcul prend successivement les données pluviométriques de chacun des mois de l'année. Le total des précipitations (PM) mensuelles est divisé en deux parties égales: (1) la pluie intense (PI) qui tombe en une seule averse au milieu du mois et est appliquée complètement au sol ( $PI = PM/2$ ); (2) les pluies faibles (PF) qui sont distribuées uniformément en deux périodes de quinze jours. Pendant la première moitié du mois les pluies s'élèvent à  $PF/2$  ou  $PM/4$ , dont seul la partie excédant l'évapotranspiration potentielle disponible pendant la même période pénètre dans le sol.

Dans le cas où les pluies faibles sont inférieures à l'évapotranspiration, l'excédent d'énergie est utilisé pour retirer du sol les réserves en eau disponible.

L'année entière est traitée en une série de périodes, chacune d'une durée de quinze jours, qui chaque mois commence par la pluviosité faible (première quinzaine), suivie d'une forte averse (au milieu du mois) qui à son tour précède une seconde quinzaine de pluies faibles.

b) *Le profil hydrique et la section de contrôle.*

Le profil hydrique considéré par le modèle est un profil bien drainé, sans nappe phréatique, dont la profondeur est celle nécessaire à la rétention de 200 mm de pluies entre le point de flétrissement et de la capacité au champ.

Ce profil est divisé en huit couches pouvant chacune retenir 25 mm de pluies entre les limites précitées (figure 1). La deuxième et la troisième couche forment la section de contrôle auquel le programme de calcul attache une attention particulière, parce qu'elle se situe dans la zone d'enracinement principal de la plupart des cultures.

La profondeur du profil hydrique et l'épaisseur des couches dépendent de la capacité de rétention d'eau et varient surtout d'après la texture et la structure.

Chaque couche est subdivisée en huit compartiments égaux qui peuvent renfermer 200/64 mm de pluie. Quand les huit compartiments d'une même couche sont remplis, la couche se trouve à la capacité au champ. Quand ils

---

(\*) NEWHALL, F. - Calculation of soil moisture regimes from the climatic record. Soil Survey Investigations Report, Soil Conservation Service, USDA, Washington D.C. (sous presse).

sont tous vides, la couche a atteint le point de flétrissement. Les tensions intermédiaires sont représentées par des remplissages partiels d'un ou de plusieurs compartiments d'une seule couche.

		SURFACE													
		1	2	3	4	5	6	7	8						
Point de flétrissement		9	10	11	12	13	14	15	16	Capacité au champ	}	section de contrôle			
		17	18	19	20	21	22	23	24						
		25	26	27	28	29	30	31	32						
		33	34	35	36	37	38	39	40						
		41	42	43	44	45	46	47	48						
		49	50	51	52	53	54	55	56						
		57	58	59	60	61	62	63	64						
			FOND												

Figure 1 — Représentation du profil hydrique utilisé dans le modèle de Newhall.

### c) Apport d'eau de pluie

L'eau de pluie pénètre dans le profil couche par couche, descendant comme un front d'humectation. Le modèle de NEWHALL imite ce mécanisme en remplissant successivement les compartiments de chaque couche dans l'ordre numérique indiqué sur la figure 1. Il faut donc que les couches supérieures soient arrivées à la capacité au champ avant que l'eau puisse descendre dans les parties situées à une profondeur plus grande.

Les pluies en excès, après l'humectation complète du profil hydrique, sont considérées perdues soit par ruissellement ou par percolation.

### d) Le mécanisme d'évapotranspiration.

Dans le cas où l'évapotranspiration potentielle pour une période donnée est supérieure aux précipitations, l'eau disponible du sol est retirée du profil d'après un mécanisme qui simule l'extraction d'eau par les racines des plantes. deux aspects de la dessiccation des sols sont considérés dans le modèle de NEWHALL:

1) au cours du dessèchement les couches de profondeur sont mises progressivement à contribution, en retirant l'eau des compartiments selon la séquence indiquée dans la figure 2.

SURFACE							
29	22	16	11	7	4	2	1
37	30	23	17	12	8	5	3
44	38	31	24	18	13	9	6
50	45	39	32	25	19	14	10
55	51	46	40	33	26	20	15
59	56	52	47	41	34	27	21
62	60	57	53	48	42	35	28
64	63	61	58	54	49	43	36

## FOND

Figure 2 — Séquence d'extraction de l'eau lors du dessèchement du profil.

2) l'énergie nécessaire pour extraire l'eau du sol augmente au fur et à mesure que la tension se rapproche du point de flétrissement, et que l'on s'éloigne de la surface du sol.

Les facteurs multiplicateurs de l'énergie d'évapotranspiration sont inscrits dans la figure 3; on remarque qu'ils augmentent de droite à gauche, et du haut vers le bas, traduisant ainsi les principes énoncés du début de ce paragraphe.

1.65	1.40	1.23	1.13	1.05	1.0	1.0	1.0
2.07	1.69	1.43	1.26	1.15	1.07	1.02	1.0
2.68	2.14	1.74	1.46	1.28	1.17	1.09	1.03
3.58	2.80	2.22	1.78	1.49	1.31	1.19	1.11
4.98	3.80	2.93	2.30	1.84	1.53	1.34	1.21
5.0	5.0	4.03	3.07	2.38	1.89	1.57	1.37
5.0	5.0	5.0	4.31	3.22	2.47	1.95	1.61
5.0	5.0	5.0	5.0	4.62	3.39	2.57	2.01

Figure 3

e) *La définition des trois états d'humidité du sol.*

Le modèle de NEWHALL reconnaît trois états particuliers du sol. Ils sont définis de la manière suivante:

1) La section de contrôle est complètement sèche quand les trois compartiments numérotés 9, 17 et 25 sont vides (figure 1).

2) La section de contrôle est complètement humide quand aucun des trois compartiments précités est vide.

3) La section de contrôle est partiellement humide ou partiellement sèche dans tous les autres cas.

Le passage d'un «tat d'humidité à l'autre est illustré dans la figure 4 qui part d'un profil hydrique complètement sec et passe par différents stades suite à l'application d'eau en période de pluies ou de l'évaporation en saison sèche.

f) *Etablissement d'un calendrier indiquant l'état d'humidité de la section de contrôle pendant l'année.*

Le programme traite les données de pluviosité et d'évaporation potentielle mois par mois en les scindant dans les trois étapes décrites sous la rubrique (a). Après chacune de ces périodes l'état hydrique est défini; le moment du passage d'un état à l'autre est déterminé par le rapport qui existe entre la quantité d'eau ou d'énergie nécessaire pour provoquer le changement et la quantité disponible: par exemple si 20 mm de pluie ont amené la section de contrôle de l'état complètement sec à l'état partiellement humide, et que l'on disposait de 100 mm de pluies pendant la période de quinze jours, la

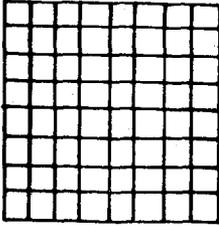
durée de l'état sec est calculée à trois jours ( $\frac{20}{100} \times 15 = 3$ ).

Lors du traitement des données le calendrier est rempli jour par jour d'indices (1, 2 ou 3) correspondant à l'état d'humidité pour tous les mois de l'année, qui dans le modèle considéré ne comprend que 360 jours.

g) *Traitement des données de température mensuelle.*

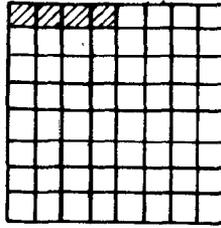
La température moyenne annuelle du sol à 50 cm de profondeur est estimée en ajoutant 1.5°C à la même température de l'air; les températures d'hiver et d'été du sol (qui sont les moyennes des températures des trois mois qui suivent les solstices) sont évaluées en ajoutant d'abord la même constante aux températures de l'air, et réduisant ensuite la différence d'un tiers.

1) Profil hydrique sec.



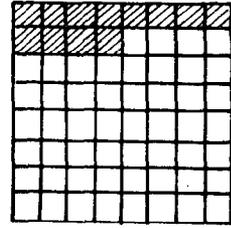
Section de contrôle complètement sèche.

2) Apport de 12,5 mm d'eau



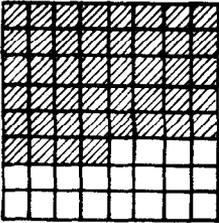
Section de contrôle complètement sèche.

3) Apport supplémentaire de 25 mm d'eau



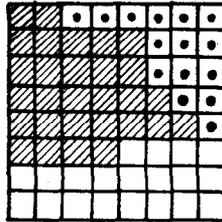
Section de contrôle partiellement humide.

4) Apport additionnel de 100 mm d'eau



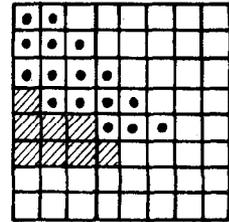
Section de contrôle complètement humide.

5) Evaporation de 50 mm d'eau



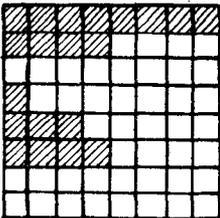
Section de contrôle complètement humide.

6) Evaporation de 50 mm d'eau



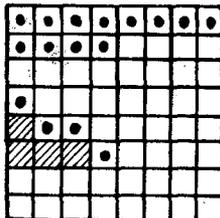
Section de contrôle partiellement humide.

7) Apport de 37,5 mm d'eau



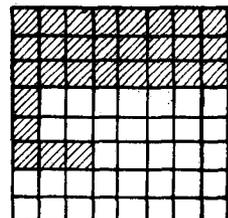
SC partiellement humide.

8) Evaporation de 50 mm d'eau



SC complètement sèche.

9) Apport de 77 mm d'eau



SC complètement humide.

Figure 4

Le début des saisons où la température du sol ( $>5^{\circ}\text{C}$  ou  $>8^{\circ}\text{C}$ ) à 50 cm est déterminante est obtenu par interpolation des températures mensuelles de l'air, situées au 15 de chaque mois, et admettant un retard de 21 jours lors de l'accroissement de la température, et 10 jours lors du refroidissement.

h) *Détermination des régimes climatiques.*

Le calendrier complet est examiné pour calculer le nombre de jours consécutifs ou cumulatifs pendant lesquels la section de contrôle est restée sous un des états d'humidité reconnus. A partir de ces critères le programme détermine les types de régimes climatiques en vérifiant une série de constante logique. Les résultats finals, ainsi que les observations originales utilisées, sont imprimés station par station. Dans le cas où les observations de plusieurs années sont utilisées, on peut se rendre compte de la variabilité des régimes hydriques d'une année à l'autre. Dans le cas où le « imput » était constitué de moyennes calculées sur plusieurs années, la détermination du type de régime présuppose que le régime moyen est dominant et répond aux normes exigées par la classification.

L'application de cette méthode à un certain nombre de stations du Maghreb (voir tableaux 1, 2 et 3) montre, comme on pouvait d'ailleurs s'y attendre, que la majorité des sols dans la partie septentrionale de ces pays sont caractérisés par un régime xérique et que dans la partie méridionale le régime aridique prédomine. Toutefois, certaines stations comme Marrakech (Maroc) et Mecheria (Algérie) auraient un régime ustique. Ces stations sont exclues du régime xérique parce que la section de contrôle n'est pas humide pendant l'hiver, et elles ne sont pas aridiques parce que la section de contrôle est partiellement humide pendant plus de 90 jours consécutifs quand la température du sol est supérieure à  $8^{\circ}$ .

Une densité plus grande des stations avec une répartition géographique assez uniforme permettrait de dessiner des cartes des régimes hydriques. En plus il serait utile de comparer les régimes hydriques calculés avec les valeurs obtenues par des mesures de l'humidité des sols.

Centre de Cartographie des Sols,  
Université de Gand, 1975.

TABLEAU 1 - *Determination of soil moisture regime according to Franklin Newhall system of computation.*

## MAROC

Name of station	Mean soil temperature		Temperature regime	Cumulative in one year is			Days mcs when soil temp >5			Max. consecutive moist in some parts in one year when soil temp >8		Days that mcs is dry after summer solst. moist after winter solst.		Moisture regime
	annual	summer		dry	M/D	moi	dry	M/D	moi	year	when soil temp >8	solst.	solst.	
Azrou	16.5	22.1	Thermic	65	56	239	65	56	239	295	176	65	120	Xeric
Casablanca	19.0	22.0	Thermic	134	79	147	134	79	147	226	226	109	95	Xeric
El Hajeb	16.7	21.9	Thermic	69	64	227	69	64	227	291	175	69	120	Xeric
Fedala	19.1	22.0	Thermic	137	110	113	137	110	113	223	223	112	65	Xeric
Fes	19.4	24.6	Thermic	111	51	198	111	51	198	249	249	86	120	Xeric
Marchand	19.1	24.1	Thermic	121	50	189	121	50	189	239	239	96	120	Xeric
Marrakech	21.3	26.4	Thermic	217	143	0	217	143	0	143	143	120	0	Ustic
Melilla	19.8	23.7	Thermic	139	79	142	139	79	142	221	221	114	95	Xeric
Midelt	16.1	22.1	Thermic	360	0	0	360	0	0	0	0	120	0	Aridic
Moulay b azz	16.9	22.7	Thermic	110	35	215	110	35	215	250	160	85	120	Xeric
Rabat	18.9	21.7	Thermic	108	58	194	108	58	194	252	252	83	120	Xeric
Tangier	18.4	21.6	Thermic	70	57	233	70	57	233	290	290	70	120	Xeric
Tiflet	19.8	24.3	Thermic	87	82	191	87	82	191	273	273	87	120	Xeric

Computed by fortran program VW08, April 1975  
Not for publication

Fortran - Stop  
Run time: 64 sec - Cpu time used: 20.4 sec

TABLEAU 2 - Determination of soil moisture regime according to Franklin Newhall system of computation.

## ALGERIE

Name of station	Mean soil temperature		Temperature regime	Cumulative in one year is			Days mcs when soil temp >5			Max. consecutive moist in some parts in one year when soil temp >8		Days that mcs is dry after summer solst. moist after winter solst.		Moisture regime
	annual	summer		dry	M/D	moi	dry	M/D	moi	year	temp >8	solst.	solst.	
Miskra	22.7	29.4	Hyperth.	360	0	0	360	0	0	0	0	120	0	Aridic
Eoghari	16.5	23.0	Thermic	146	50	164	146	50	164	214	125	98	98	Xeric
Constantine	16.9	22.7	Thermic	134	46	180	134	46	180	226	146	82	105	Xeric
Fjelfa	15.0	21.5	Mesic	174	106	80	174	52	80	186	86	119	35	Aridic
El Golea	23.4	30.6	Hyperth.	360	0	0	360	0	0	0	0	120	0	Aridic
Et. Laperrine	22.7	27.0	Hyperth.	360	0	0	360	0	0	0	0	120	0	Aridic
Et. National	15.6	21.6	Thermic	72	52	236	72	52	236	288	136	72	120	Xeric
Chardaia	22.9	30.3	Hyperth.	360	0	0	360	0	0	0	0	120	0	Aridic
La Calle	19.7	23.6	Thermic	81	52	227	81	52	227	279	279	81	120	Xeric
Laghouat	19.2	26.0	Thermic	360	0	0	360	0	0	0	0	120	0	Aridic
Becheria	17.4	24.3	Thermic	192	168	0	192	168	0	168	93	120	0	Ustic
Benours	18.6	22.4	Thermic	132	79	149	132	79	149	228	228	107	95	Xeric
Eran	19.2	23.1	Thermic	142	78	140	142	78	140	218	218	117	95	Xeric
Muargla	24.2	31.1	Hyperth.	360	0	0	360	0	0	0	0	120	0	Aridic
Philippevill	18.5	22.6	Thermic	76	55	229	76	55	229	284	284	76	120	Xeric
Tebessa	16.5	22.7	Thermic	187	94	79	187	94	79	173	88	120	35	Aridic
Touggourt	22.9	29.9	Hyperth.	360	0	0	360	0	0	0	0	120	0	Aridic

Computed by fortran program VW08, April 1975  
Not for publication

Fortran - Stop  
Run time: 56 sec - Cpu time used: 26.4 sec

TABLEAU 3 - *Determination of soil moisture regime according to Franklin Newhall system of computation.*

## TUNISIE

Name of station	Mean soil temperature		Temperature regime	Cumulative in one year is			Days mcs when soil temp >5			Max. consecutive moist in some parts in one year when soil temp >8		Days that mcs is dry after summer solst. moist after winter solst.		Moisture regime
	annual	summer		dry	M/D	moi	dry	M/D	moi	year	temp >8	solst.	solst.	
Dizerte	19.6	24.0	Thermic	87	85	188	87	85	188	273	273	87	120	Xeric
Gabes	20.6	25.0	Thermic	360	0	0	360	0	0	0	0	120	0	Aridic
Gafsa	20.7	26.9	Thermic	360	0	0	360	0	0	0	0	120	0	Aridic
Medenine	22.0	27.0	Hyperth.	360	0	0	360	0	0	0	0	120	0	Aridic
Sfax	20.4	24.3	Thermic	360	0	0	360	0	0	0	0	120	0	Aridic
Thala	16.9	23.0	Thermic	152	56	152	152	56	152	208	128	97	82	Xeric
Tunis	19.2	24.0	Thermic	170	47	143	170	47	143	190	190	115	95	Xeric

Computed by fortran program VW08, April 1975  
Not for publication

Fortran - Stop

Run time: 38 sec - Cpu time used: 11.7 sec