



Georges Karam



Jocelyne Adjizian Gérard



Naji Kehdy

Estimation et Variabilité de l'Evapotranspiration Potentielle dans une Zone à Stress Hydrique La Béquaa (Liban)

1-Georges Karam: CREEMO, Département de Géographie (FLSH, Université Saint-Joseph)

Georges_k84@hotmail.com

2-Jocelyne Adjizian Gérard: climatologue et chef de Département de Géographie à l'Université

Saint-Joseph. Jocelyne.gerard@usj.edu.lb

3-Naji Kehdy: Département de Géographie Faculté des Lettres et des Sciences Humaines

Université Libanaise. naji.kehdy@hotmail.com

ملخص:

تتطلب الإدارة المستدامة للموارد المائية وبخاصة تلك المتعلقة بالزراعة، فهماً جيداً لعناصر الميزان المائي. ويعتبر التبخر-النتح واحداً من أهم هذه العناصر: فهو يساهم في فهم الآليات التي تحكم العلاقات بين المياه السطحية والجوفية. بالإضافة إلى أنه يساهم في تقييم تذبذبات مستوى المياه في الغطاء المائي الجوفي وفي تقدير الاحتياجات المائية المطلوبة للري.

يوجد الكثير من المعادلات التي تستخدم لاحتساب مؤشر التبخر-النتح، منها التي تعتمد على درجات الحرارة (بلاناي-كريدل، هولدرج، ثرونثويت)، وأخرى على الرطوبة (أوليفيهوباباداكيس، هارغريفز) أو الطاقة (تورك). لذا قمنا بمقارنة هذه الطرق المختلفة لتحديد الطريقة الأكثر ملاءمة لمنطقة سهل البقاع، الذي يقع على تخوم المناطق القاحلة وشبه القاحلة.

استندنا في احتساب مؤشر التبخر-النتح في سهل البقاع (قضاء زحلة)، على معطيات مناخية (الحرارة والرطوبة النسبية) لمحطات كسارة ورياق وتربل، وذلك للفترة الممتدة من سنة ١٩٩٨ حتى ٢٠١١.

Résumé

La gestion durable des ressources en eau et, en particulier, celles qui concernent l'agriculture, nécessite une bonne maîtrise des éléments du bilan hydrique. Un de ses éléments revêt une importance primordiale : l'Evapotranspiration Potentielle (ETP) (Amri, 2014; Lambert, 2011; Ardoin, 2000). Ce paramètre permet de comprendre les mécanismes régissant les relations entre les eaux de surface et les eaux souterraines, d'évaluer les fluctuations du niveau piézométrique des nappes phréatiques et aussi d'estimer les besoins en eau d'irrigation (Sirrimed, 2012 in Hamimed *et al.*, 2014).

Les formules mises au point pour calculer l'ETP sont nombreuses (Lecarpentier, 1975), elles peuvent être thermiques (Blaney–Criddle, Holdridge, Thornthwaite, ...), hygrométriques (Olivier et Papadakis, Hargreaves, ...) ou énergétique (Turc). Aussi avons-nous comparé ces différentes approches afin d'identifier la méthode la plus adaptée à une zone, comme celle de la Beqaa (plaine intérieure du Liban), qui est située à la lisière des milieux arides et semi-arides.

Le calcul de l'ETP, pour la région de la Béqaa centrale (Caza du Zahlé), était basé sur une série des données climatiques (température, humidité relative) des stations météorologiques de Ksara, Rayak et Terbol, pour la période allant de 1998 à 2011.

Mots clés : Evapotranspiration potentielle, agriculture, Beqaa Centrale.

1– Introduction

L'augmentation de la population mondiale de 7 milliards d'habitants en 2011 à 9 milliards en 2050, ainsi que les incertitudes de plus en plus fortes liées notamment au changement climatique (l'augmentation anticipée des températures et la fréquence des événements extrêmes comme la sécheresse et les vagues de chaleur), pourraient provoquer une diminution des ressources en eau aux basses

et moyennes latitudes, ainsi que dans les zones arides et semi-arides (World Water Forum, 2011; Gaufichon *et al.*, 2010)

Par conséquent, il s'avère important d'optimiser l'utilisation de l'eau, notamment en agriculture, très hydrophage. Avec 70% de la consommation mondiale d'eau, l'agriculture est sans conteste le secteur d'activité le plus consommateur d'eau. Très souvent traditionnels les dispositifs d'irrigation ont un très faible rendement, et dans nos régions, ce dispositif à ciel ouvert est responsable de pertes d'eau par évaporation. Développer un système d'irrigation qui augmente la productivité de l'eau tout en l'économisant devient une priorité.

Pour accroître l'efficacité dans l'utilisation de l'eau, il paraît important d'estimer l'évapotranspiration potentielle, notamment dans les zones arides ou semi-arides où la valeur moyenne mesurée est aux alentours de 1600 mm/an (Bouteldjaoui *et al.*, 2011). L'ETP représente l'eau susceptible d'être perdue sous forme de vapeur par la végétation et le sol quand l'eau ne constitue pas un facteur limitant de son développement (Lebourgeois, 2010, Mjejra, 2016, Thornthwaite, 1944). Les variations de l'ETP dans le temps sont fonction des caractéristiques de la surface évaporante et du pouvoir évaporant de l'atmosphère (c'est-à-dire des caractéristiques climatiques).

Cependant, l'ETP est une donnée très difficile à obtenir dans des pays qui manquent de stations synoptiques. Aussi, elle peut être calculée à partir de formules plus ou moins complexes suivant la quantité de données climatiques disponibles. Les formules mises au point pour calculer l'ETP sont nombreuses (Le Carpentier, 1975), elles peuvent être thermiques (Blaney-Criddle, Holdridge, Thornthwaite, ...), hygrométriques (Olivier et Papadakis, Hargreaves,...) ou énergétique (Turc). Aussi avons-nous comparé ces différentes approches afin d'identifier la méthode la plus adaptée à une zone, comme celle de la Beqaa

(plaine intérieure du Liban), qui est située à la lisière des milieux arides et semi-arides.

2- Présentation de la zone d'étude

Notre zone d'étude, est située dans la plaine de la Béqaa centrale entre les deux chaînes de montagnes du Mont-Liban et de l'Anti-Liban, sur une superficie d'environ 28150 hectares. Cette région est délimitée par le Caza de Baalbeck au Nord, la Syrie à l'est, les Caza de Joub Jannin et de Rachaya au Sud et le Mont-Liban à l'Ouest (Figure 1). Elle est traversée par le Litani, et comprend plusieurs aquifères contenant des sources émergentes comme Nabaa el Berdawni (Kehdy, 2013).

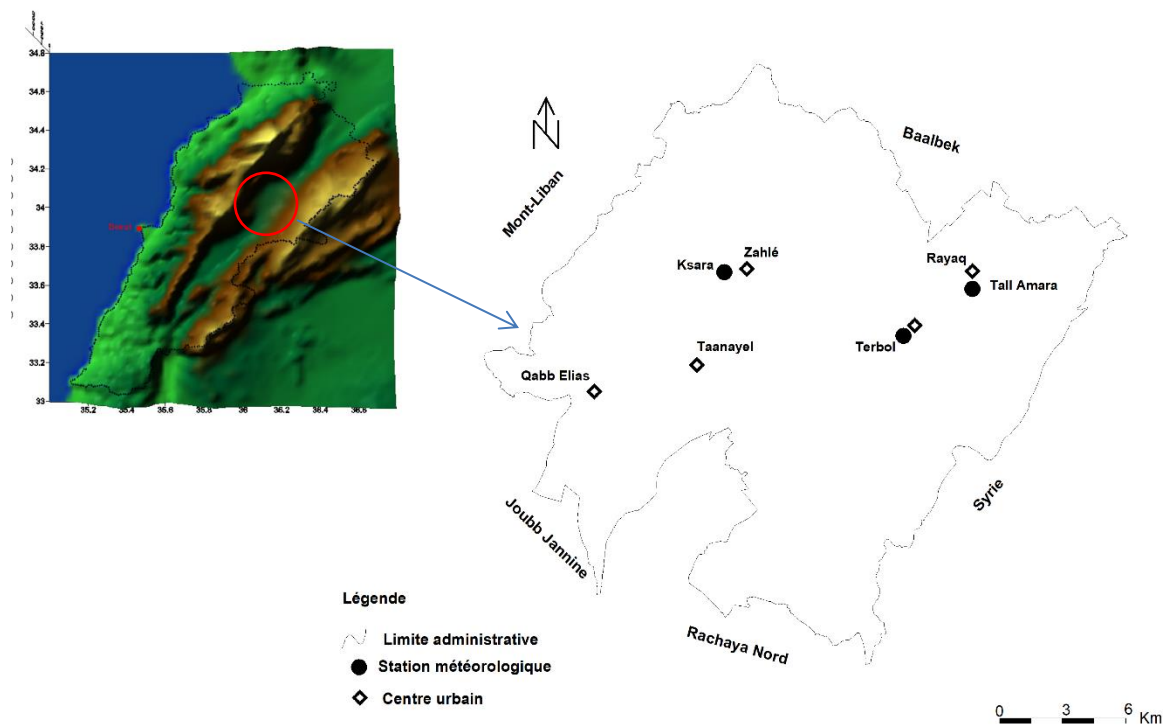


Figure 1- Localisation de la zone d'étude

Le climat est de type continental. La pluviométrie ne dépasse pas le 650 mm/an pour la période 1998-2011 (Figure 2). D'après Balaj et Raghawan (2000), les

2/3 des précipitations retournent à l'atmosphère par évapotranspiration. La température moyenne annuelle est de 14.3°C pour les stations rurales (Terbol et Rayak) et 17 °C pour la station urbaine de Ksara. L'humidité relative moyenne annuelle est de l'ordre de 55% pour la plaine (Observatoire du Ksara, Institut des Recherches Agronomiques Tell-Amara, INCARDA Terbol).

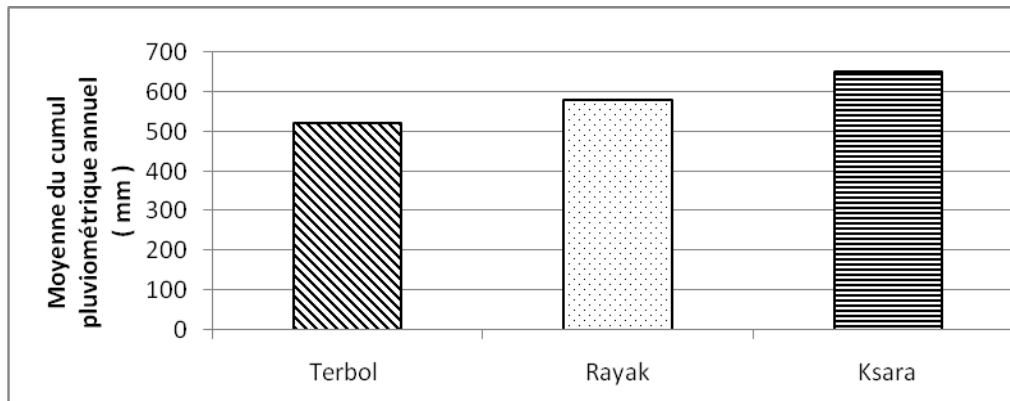


Figure 2– Moyenne du cumul pluviométrique pour 3 stations de la Béqaa Centrale (1998–2011)

La plaine de la Beqaa est essentiellement agricole. Les espèces plantées sont fortement consommatrices d'eau. L'exemple de la pomme de terre est le plus significatif. Elle constitue 65% de la production de la région. Le blé (20%) est irrigué par aspersion notamment en début de saison estivale. Le reste, comme les légumes ou la vigne (15 % de la production), ne constitue pas une menace réelle pour la ressource en eau. Les potagers sont irrigués au goutte-à-goutte et la vigne, bien qu'irriguée par des canaux, ne constitue que 4 % de l'activité agricole (Kehdy, 2013). En ce qui concerne les deux contreforts du Mont-Liban et de l'Anti-Liban, les agriculteurs ont transformé leurs versants en des terrasses plantées essentiellement de cerisiers qui ne nécessitent pas d'irrigation. Cette espèce constitue 5% de la surface agricole totale de notre région d'étude (Kehdy, 2013).

Par conséquent, le caza de Zahlé est une zone d'étude intéressante pour l'estimation de l'évapotranspiration potentielle à cause, notamment, de ses enjeux économiques et agricoles.

3- Méthodologie

Les formules mises au point pour calculer l'évapotranspiration potentielle sont nombreuses. Selon les paramètres climatiques qu'elles intègrent trois catégories apparaissent : i) les formules thermiques basées sur un seul élément climatique « la température », ii) les formules hygrométriques qui utilisent le déficit de saturation, iii) les formules énergétiques qui incluent le bilan radiatif.

Compte tenu de notre réseau météorologique insuffisant et en fonction des paramètres climatiques disponibles, nous n'avons pu traiter que les formules appartenant aux deux premières catégories. Les données météorologiques de 3 stations (Ksara, Terbol et Rayak) ont un pas de temps mensuel pour la période allant de 1998 à 2011. Cette période fournit une série complète de données indispensables (température et humidité) pour le calcul de l'ETP par les formules retenues. La densité du réseau apparaît faible, mais on peut considérer que ces stations sont assez représentatives du Caza. Les résultats obtenus ont pu être comparés aux données de l'ETP mesurée par la station de Talla Amara qui ne dispose que de 3 années de relevés (2009, 2010 et 2011).

3.1- Formules thermiques

a- Blaney-Criddle (1945)

Une des plus connues et plus anciennes formules de l'ETP est celle de Blaney et Criddle (Lecarpentier, 1975)

$$\text{ETP (pouces)} = k t p / 100 \quad \text{equ.1}$$

Dans laquelle :

t = température moyenne de la dite période en⁰F

p = durée d'éclairement de la période exprimée en pourcentage de la durée éclairement de l'année entière

k = coefficient variable en fonction de la région et des cultures (K = 0.7)

b- Méthode de Thornthwaite (1944)

La formule de Thornthwaite est utilisée lorsqu'on ne dispose que de la température comme seule donnée climatique. Elle exprime l'évapotranspiration potentielle (ETP) par la formule suivante :

$$Etp = 16 * \left[\frac{10 * T(m)}{I} \right]^a * F(m \varphi) \quad \text{equ 2}$$

Dans laquelle :

ETP : Evapotranspiration moyenne du mois (m=1 à 12) en mm,

T : Moyenne interannuelle des températures du mois, °C,

a: 0.016 * I + 0.5

I :Indice thermal annuel

$$I = \sum_{m=1}^{12} i(m) \quad i(m) = \left[\frac{T(m)}{5} \right]^{1.514}$$

F(m) : Facteur correctif fonction du moi (m) et de la latitude (tableau 1)

Lat. N.	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0	1.04	.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04
5	1.02	.93	1.03	1.02	1.06	1.03	1.06	1.05	1.01	1.03	.99	1.02
10	1.00	.91	1.03	1.03	1.08	1.06	1.08	1.07	1.02	1.02	.98	.99
15	.97	.91	1.03	1.04	1.11	1.08	1.12	1.08	1.02	1.01	.95	.97
20	.95	.90	1.03	1.05	1.13	1.11	1.14	1.11	1.02	1.00	.93	.94
25	.93	.89	1.03	1.06	1.15	1.14	1.17	1.12	1.02	.99	.91	.91
26	.92	.88	1.03	1.06	1.15	1.15	1.17	1.12	1.02	.99	.91	.91
27	.92	.88	1.03	1.07	1.16	1.15	1.18	1.13	1.02	.99	.90	.90
28	.91	.88	1.03	1.07	1.16	1.16	1.18	1.13	1.02	.98	.90	.90
29	.91	.87	1.03	1.07	1.17	1.16	1.19	1.13	1.03	.98	.90	.89
30	.90	.87	1.03	1.08	1.18	1.17	1.20	1.14	1.03	.98	.89	.88
31	.90	.87	1.03	1.08	1.18	1.18	1.20	1.14	1.03	.98	.89	.88
32	.89	.86	1.03	1.08	1.19	1.19	1.21	1.15	1.03	.98	.88	.87
33	.88	.86	1.03	1.09	1.19	1.20	1.22	1.15	1.03	.97	.88	.86
34	.88	.85	1.03	1.09	1.20	1.20	1.22	1.16	1.03	.97	.87	.86
35	.87	.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	.97	.86	.85
36	.87	.86	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16	1.03	.97	.86	.84
37	.86	.84	1.03	1.10	1.22	1.23	1.25	1.17	1.03	.97	.85	.83
38	.85	.84	1.03	1.10	1.23	1.24	1.25	1.17	1.04	.96	.84	.83
39	.85	.84	1.03	1.11	1.23	1.24	1.26	1.18	1.04	.96	.84	.82
40	.84	.83	1.03	1.11	1.24	1.25	1.27	1.18	1.04	.96	.83	.81

Tableau 1 : Facteur correctif fonction du moi (m) et de la latitude

c- Formule de Holdridge

Dans ce cas, l'ETP est considérée comme une fonction linéaire de la température. La formule ne nécessite pas de coefficient régional ou cultural. Cependant, le coefficient de t varie selon les mois. La formule est la suivante :

$$\begin{aligned} \text{ET mm/mois} &= 5 t \text{ (mois de 31 jours)} && \text{equ 3 a)} \\ &= 4,84 t \text{ (mois de 30 jours)} && \text{equ. 3 b)} \\ &= 4,56 t \text{ (Février)} && \text{equ. 3c)} \end{aligned}$$

Dans laquelle :

t = température moyenne en $^{\circ}$ C

3.2- Formules hygrométriques

a- formule de Papadakis

$$\text{ETP} = 5.625 (e_a - e) \quad \text{equ 4}$$

$e_a(\text{mb})$ = tension de vapeur saturante de la température maximale moyenne
(Tableau 2)

e (mb) = tension moyenne de vapeur

T ($^{\circ}$ C)	Pr. de vapeur saturante (Pa)	T ($^{\circ}$ C)	Pr. de vapeur saturante (Pa)	T ($^{\circ}$ C)	Pr. de vapeur saturante (Pa)	T ($^{\circ}$ C)	Pr. de vapeur saturante (Pa)
-29	42.17	-9	283.93	11	1312.7	31	4495.9
-28	46.73	-8	309.98	12	1402.6	32	4758.5
-27	51.74	-7	338.19	13	1497.8	33	5034.3
-26	57.25	-6	368.74	14	1598.75	34	5323.9
-25	63.29	-5	401.76	15	1705.5	35	5627.8
-24	69.91	-4	437.47	16	1818.4	36	5946.6
-23	77.16	-3	476.06	17	1938.0	37	6281.0

-22	85.10	-2	517.72	18	2064.3	38	6631.5
-21	93.78	-1	562.67	19	2197.8	39	6998.7
-20	103.26	0	611.15	20	2338.8	40	7383.5
-19	113.62	1	657.1	21	2487.7	41	7786.3
-18	124.92	2	706.0	22	2644.8	42	8208.0
-17	137.25	3	758.0	23	2810.4	43	8649.2
-16	150.68	4	813.5	24	2985.1	44	9110.7
-15	165.30	5	872.5	25	3169.2	45	9593.2
-14	181.22	6	935.3	26	3363.1	46	10097.6
-13	198.52	7	1002.0	27	3567.3	47	10624.6
-12	217.32	8	1072.8	28	3782.2	48	11175.1
-11	237.74	9	1148.1	29	4008.3	49	11750.0
-10	259.90	10	1228.0	30	4246.0	50	12349.9

Tableau 2: Pression de saturation (eau) en fonction de la température maximale moyenne.

4- Résultats et discussion

4.1- Choix des formules convenables pour la région d'étude

Les résultats de l'ETP calculés font apparaître de grandes différences (fig. 3)

4.1.1- Comparaison des résultats de l'ETP

La figure 3 montre que la moyenne de l'ETP, telle que calculée par Blannay et Criddle, est de l'ordre de 1218 mm. Les écarts entre les stations sont faibles : moins de 5% (pourcentage d'erreur acceptable). Thornthwaite donne une valeur moyenne d'ETP bien plus élevée, de l'ordre de 2574 mm. Par contre les écarts entre les stations pour Thornthwaite sont plus importants, ils sont de l'ordre de 7 à 10%.

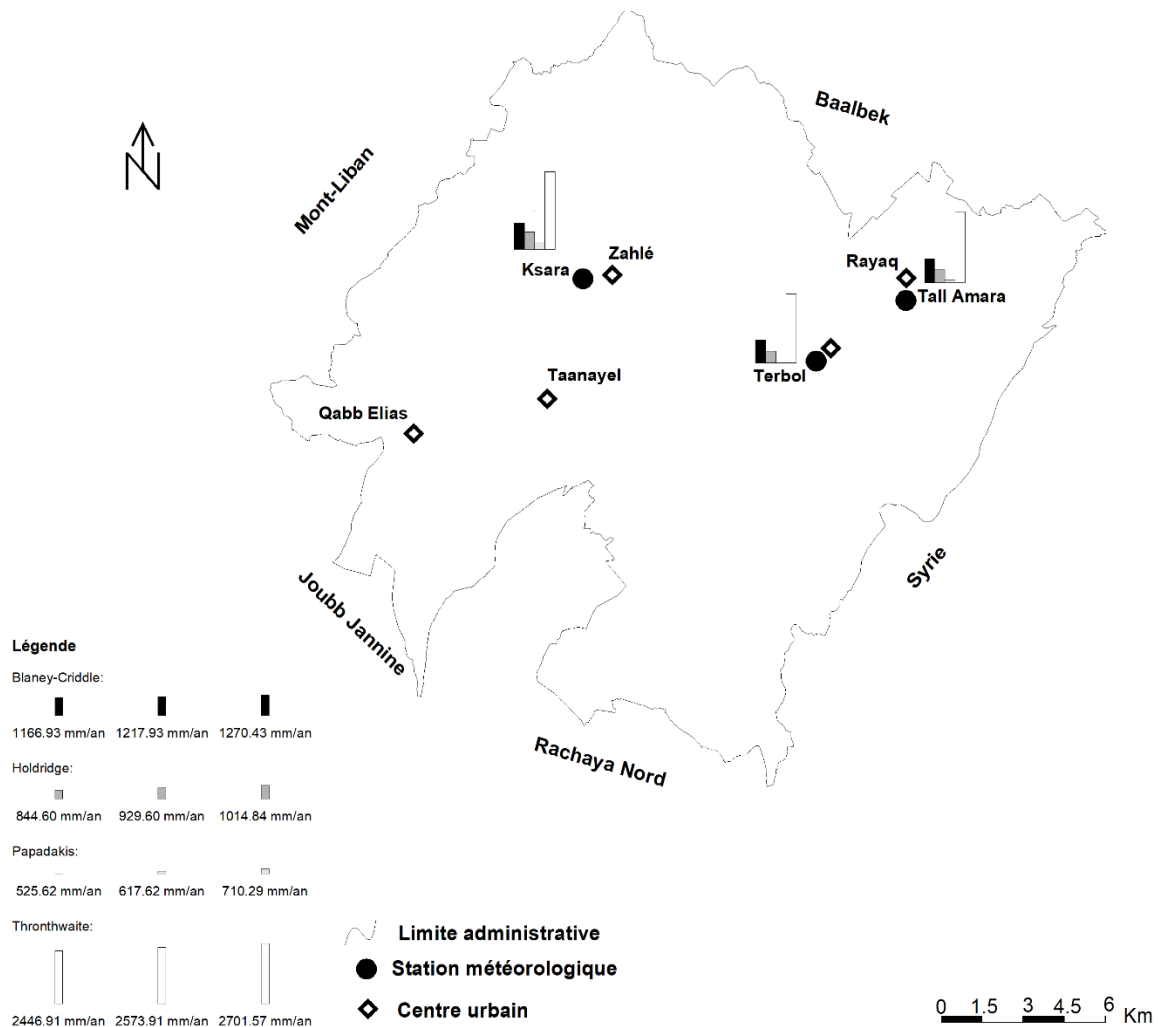


Fig. 3 : Moyenne annuelle de l'évapotranspiration potentielle estimée (en mm/an) selon 4 formules empiriques, pour la période d'étude 1998–2011.

Quant aux deux autres formules, elles donnent des valeurs moindres. On obtient 929 mm en moyenne pour Holdridge et 617 mm pour Papadakis (avec des différences significatives entre les stations). On observe une différence de plus de 76 % entre les résultats de Thornthwaite et Papadakis.

Compte tenu de ces différences dans les résultats, nous avons voulu comparé sur le seul site qui mesure l'ETP, Talla amara, les résultats calculés aux données

mesurées en se basant sur les valeurs de l'écart relatif « ER » (Bouteldjaouiet al., 2011).

L'écart relatif est défini par :

$$ER = (ETP \text{ mesuré} - ETP_i) / ETP \text{ mesuré} \times 100 \quad \text{equ 5}$$

Dans laquelle :

ETPi : ETP calculée par les méthodes empiriques utilisées.

L'analyse comparative entre les résultats annuels obtenus par les méthodes empiriques avec les valeurs mesurées de la station de Tall El Amara (Rayak) pour les années 2009 et 2010 (tableau 3 et 4) permet de mettre en évidence que l'ETP calculée par la méthode de Blaney-Criddle est celle qui est la plus proche des données mesurées (écart variant entre 1% et -7%). L'année 2011 est plus problématique puisque Holdridge est la formule qui donne les résultats théoriques ayant l'écart le plus faible (12%) avec les données relevées (tableau 4). Quelle en serait la raison ? Causes métrologiques (qualité des données, lacunes, interruption des données) ou météorologiques?

Année	Blaney-Criddle (mm)	Holdridge (mm)	Papadakis (mm)	Thornthwaite (mm)	ETP mesurée (mm)
2009	1164.5	844.7	822.2	2451.5	1288.5
2010	1222	947.4	637.2	2611.5	1133.3
2011	1147.1	814.8	497.1	2410.6	925.3

Tableau 3 : Valeurs annuelles de l'ETP calculées par les différentes formules dans la station de Tall El Amara (Rayak) pour les années 2009, 2010 et 2011.

Année	Blaney-Criddle	Holdridge	Papadakis	Thornthwaite
2009	1	34.4	36.2	-90.2

2010	-7	16.4	43.8	-130
2011	-23.9	11.9	46.3	-160.5

Tableau 4 : Ecart relatif des différentes méthodes d'estimation de l'ETP comparées à celle de l'ETP moyenne mesurée dans la station de Tall El Amara (Rayak) pour les années 2009, 2010 et 2011.

En se basant sur les années 2009–2010, il s'avère que Blaney–Criddle donne les meilleurs résultats. Cette conclusion correspond à celle de Bouteldjaoui *et al.*, 2011, qui a travaillé sur une zone semi–aride, la région de Djelfe en Algérie. L'auteur a démontré que l'ETP calculée par la méthode de Blaney–Criddle a conduit à une bonne estimation de cette composante climatique. De plus, cette méthode a été utilisée avec succès, dans la région de Rio Negro, une des provinces méridionales de la République Argentine à contexte climatique sub–aride. Cependant, la transposition de la formule de Blaney–Criddle à d'autres climats, notamment aux climats humides, s'avère inadéquate et conduit à des résultats souvent erronés et très surestimés, au contraire de la méthode de Thornthwaite qui est valable pour ces régions (Lecarpentier, 1975). L'analyse des ETP mensuelles (tableau 5) montre une différence selon les saisons : Holdridge donne les écarts les moins importants (de 0.9 à 14%) pour l'automne. Blaney–Criddle donne de très bons résultats pour l'été (0.1 à 9.7%) alors que pour l'hiver et le printemps les ER varient de 11.4 à 28.7%.

Mois	ETP mesurée (mm)	ETP Blaney–Criddle (mm)	ETP Holdridge (mm)	ER Blaney–Criddle	ER Holdridge
Jan	35.3	42.6	34.0	-20.7	3.7
Fév	40.6	48.8	32.5	-20.3	20.1

Mars	70.5	50.2	47.3	28.7	33.0
Avril	98.9	89.4	61.3	9.6	38.0
Mai	133.2	109.3	83.1	17.9	37.6
Juin	162.3	162.5	99.5	-0.1	38.7
Juillet	173.1	168.0	115.3	2.9	33.4
Août	140.6	154.2	118.7	-9.7	15.6
Sep	100.2	136.0	99.3	-35.7	0.9
Oct	80.5	111.9	85.9	-39.0	-6.7
Nov	46.2	66.9	52.7	-44.8	-14.0
Déc	34.1	38.0	39.6	-11.4	-16.1

Tableau 5: Ecart relatif de la moyenne mensuelle des deux méthodes d'estimation de l'ETP (Blaney-Criddle et Holdridge) comparées à celle de l'ETP moyenne mesurée dans la station de Tall El Amara (Rayak) pour les années 2009, 2010 et 2011.

4.1.2- Evolution temporelle

Une approche comparative de l'évolution temporelle des moyennes de l'ETP, tels que calculées par Blaney-Criddle (Figure 4) pour la période retenue et sur les 3 stations montre une bonne correspondance des résultats pour la période automnale et hivernale. On relève un léger décrochement pour ksara en été. L'ETP y est bien plus élevée qu'ailleurs.

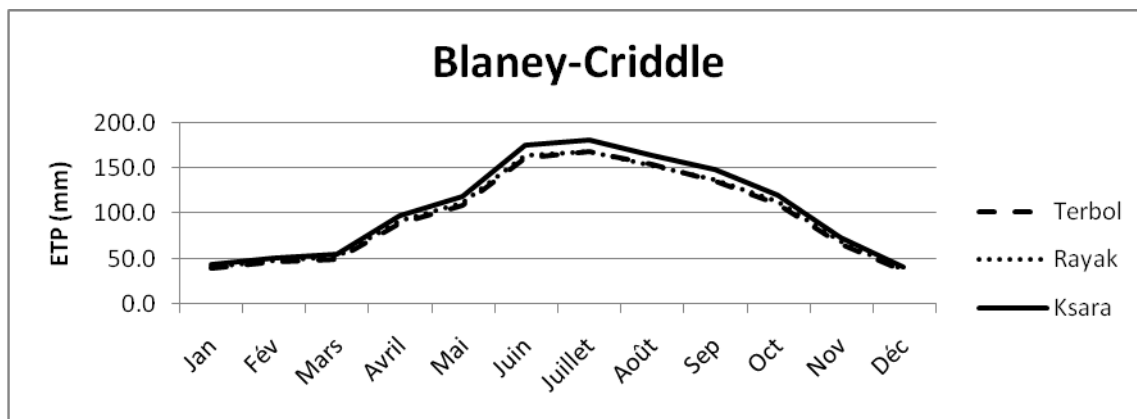


Figure 4 : Moyenne mensuelle de l'ETP estimée par la méthode de Blaney–Criddle pour la période 1998–2011.

Cette augmentation estivale revient à la présence de la sécheresse pendant les mois de l'été, où les précipitations sont quasi absentes, avec une élévation de la température, augmentation de la radiation solaire et de la quantité de l'évaporation accompagné avec une diminution de l'humidité. L'écart entre le maximum estivale et le minimum (fig. 5) hivernale et plus de 350 mm selon Blaney–Criddle et plus de 230 selon Holdridge, cette situation oblige les agriculteurs à augmenter leurs heures d'irrigation en augmentant le débit de prélèvement des puits, en créant ainsi une pression accrue sur les ressources en eau souterraines.

Avec Holdridge, si les courbes de Rayak et Terbol sont bien confondues (Figure 5), On remarque que Ksara donne des résultats supérieurs, notamment en été, aux deux autres stations. Si les courbes de Rayak et Terbol sont confondues

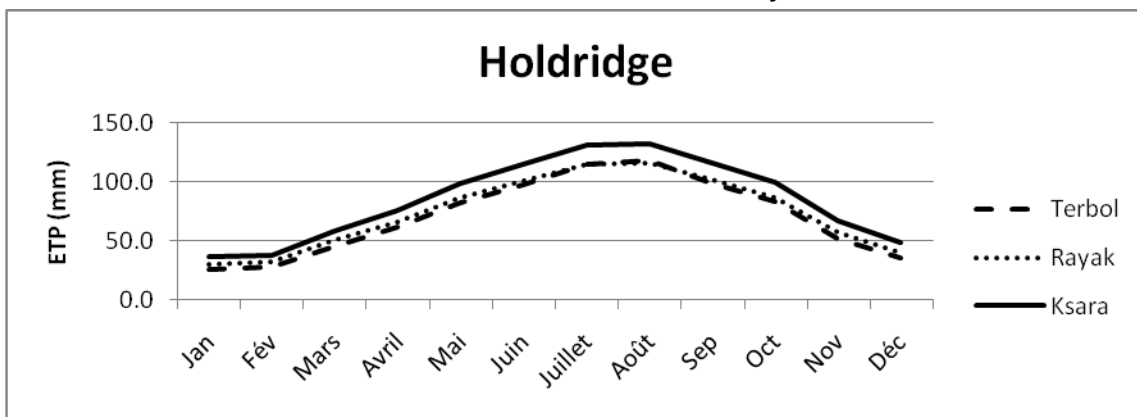


Figure 5 : Moyenne mensuelle de l'ETP estimée par la méthode de Holdridge, pour la période 1998–2011.

Cet écart entre la station urbaine (Ksara) et les deux autres, plus rurales (Terbol et Rayak) pourrait s'expliquer par le paramètre température des deux formules de

l'ETP, notamment chez Holdridge. Ce paramètre climatique est remarquablement plus élevé dans la station du Ksara à cause de sa nature urbaine (îlot de chaleur urbain) et à cause de sa position géographique sur les versants Est du Mont-Liban où elle subirait l'effet de foehn qui engendre un réchauffement intense.

5- Conclusion

L'évapotranspiration potentielle, qui traduit la "demande en eau" du climat, a été estimée par différentes méthodes en se basant sur les variables climatiques relevées au niveau des stations météorologiques de Terbol, Tal El Amara (Rayak) et Ksara durant la période 1998-2011.

L'analyse comparative des résultats obtenus permet de mettre en évidence :

A l'échelle annuelle, la formule de Blaney-Criddle semble estimer le mieux l'évapotranspiration potentielle dans les régions semi-arides comme celles de la Beqaa, avec peu d'écarts dans les résultats entre les stations. La formule de Thornthwaite semble fortement surestimée l'ETP alors que celle de Papadakis la sous-estime considérablement.

A l'échelle mensuelle, l'estimation de l'ETP est plus problématique. La méthode de Blaney-Criddle conduit à une meilleure approximation de cette composante pour les deux périodes printanière et estivale, tandis que la méthode de Holdridge serait plus adaptée pour la période automnale.

L'évolution mensuelle calculée de l'ETP mensuelle basée sur le critère thermique montre une différence selon les caractéristiques géographiques de la station.

Les deux stations rurales (Terbol et Rayak) semblent avoir le même comportement alors que le site urbain connaîtrait une ETP bien plus élevée.

Cette première approche montre la difficulté d'estimer l'ETP en l'absence de stations de mesures d'une part et, d'autre part, l'importance des caractéristiques géographiques des sites. Ainsi, compte tenu de l'importance de l'ETP,

notamment dans une région comme la Beqaa, il s'agira de l'appréhender dans sa dimension spatiale afin de pouvoir mettre en relation l'occupation du sol, l'ETP et l'évapotranspiration réelle (ETR).

6- Références bibliographiques

- 1- Amri R, 2014 : Estimation régionale de l'évapotranspiration sur la plaine de Kairouane (Tunisie) à partir de données satellites multi-capteurs. Hal, archives-ouvertes, 176p.
- 2- Ardoin S., 2000 : Prise en compte des spécificités de l'évapotranspiration en zone semi-aride dans la modélisation globale de la relation pluie-débit. Mémoire de DEA, sciences de l'eau dans l'environnement continental, 114p.
- 3- Bouteldjaoui F, Bessenasse M, Guendouz A., 2011 : Etude comparative des différentes méthodes d'estimation de l'évapotranspiration en zone semi-aride (cas de la région de Djelfa). Nature et technologie, pp109-116.
- 4- Gaufichon, L., Prioul, J.L., Bachelier, B., 2010. Quelles sont les perspectives d'amélioration génétique de plantes cultivées tolérantes à la sécheresse ? Fondation FARM.
- 5- Hamimed A, Nehal L, Khaldi A, Azzaz H., 2014 : Contribution à la spatialisation de l'évapotranspiration d'un agro-système semi-aride en Algérie par utilisation de la télédétection et du modèle METRIC, Physio-Géo, volume 8, 58p.
- 6- Kehdy N., 2013 : la gestion intégrée quantitative de la ressource en eau souterraine, cas du Kaza de Zahlé. Thèse présentée en vue de l'obtention du doctorat, Université Saint-Joseph, Beyrouth, 330p.
- 7- Lambert S, 2011 : Impacts des changements climatiques sur la disponibilité de l'eau dans le sud de Québec. Essai présenté au Centre Universitaire de Formation en Environnement en vue de l'obtention du grade de maître en environnement, 58p.
- 8- Le Bourgeois F., 2010: Cours de bioclimatologie à l'usage des forestiers, institut des sciences et industries du vivant et de l'environnement, 245p.
- 9- Lecarpentier C., 1975 : l'évapotranspiration potentielle et ses implications géographiques. Annales de géographie, pp. 385- 414.

- 10- Mjeira M., 2016 : Etude de l'évapotranspiration dans le bassin versant de Mjerda (en Tunisie) : apport de la télédétection satellitaire et des systèmes d'information géographiques. Hal, archives-ouvertes, 300p.
- 11- Thornthwaite, C. W., 1944. Report of the committee on transpiration and evaporation. Trans. Am. Geophys. Union, 5: 687 pp.
- 12- World Water Forum, 2011. Background Note for the Thematic Priority "Contribute to Food Security by Optimal Use of Water" of the World Water Forum 6. Draft May 2011. Thematic Process Core Group.