

AVANCEMENT DES ETUDES SUR L'ESTIMATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE PAR LES TEMPERATURES DE BRILLANCE

PROGRESS IN THE WORK ON THE ESTIMATION OF POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION USING BRIGHTNESS TEMPERATURES

Par R. MOREL*

INTRODUCTION

Les estimations des ETP décadales ont été faites (Morel et al, 1996) en modulant les températures maximales de brillance (Tbmax) par un paramètre astronomique de durée du jour. Pour obtenir de meilleures corrélations entre l'ETP Penman de référence et l'ETP calculée avec Tbmax la formule a été améliorée par l'adjonction de paramètres astronomiques, puis géographiques. Il a été ajouté successivement le sinus de la hauteur du soleil au-dessus de l'horizon et la latitude du pixel. Si on dispose d'un fichier de modèle numérique de terrain, l'altitude moyenne du pixel peut être introduite. La note suivante présente les définitions des différents paramètres utilisés, le détail des calculs intermédiaires, les diverses formules proposées, la validité statistique des résultats.

1. DEFINITION DES VARIABLES ET DES PARAMETRES

ALT	= Altitude en mètres
CoefJ	= Coefficient journalier (durée de la période sur le total annuel en %)
CORLAT	= Correction suivant la latitude LAT (à partir de 10° Nord)
CORALT	= Correction des TBX en fonction de l'altitude
DJT	= Durée astronomique du jour en heures décimales
h	= Hauteur du soleil au dessus de l'horizon à midi
LAT	= Latitude en degrés décimaux (φ = latitude en radians)
NJAN	= Numéro du jour dans l'année
NbJAN	= Nombre total de jours dans l'année considérée (365 ou 366 jours)
NbJETP	= Nombre de jours de la période de calcul de l'ETP (8, 9, 10, 11, 28, 29, 30 ou 31 jours)
δ	= Déclinaison du soleil ou angle qu'il fait sur le plan équatorial
PER	= Angle sur l'écliptique

* Ingénieur Général de l'Agronomie (C.H.)

INTRODUCTION

Estimations of dekadal PET have been carried out (Morel and al., 1996) by modulating maximum brightness temperatures (Tbmax) using a day-length astronomic parameter. To improve the correlation between reference Penman PET and PET calculated using Tbmax, the formula has been improved by adding astronomic then geographical parameters. The sinus of sun height above the horizon and the latitude of the pixel were added successively. If a field numerical model file was available, then the mean altitude of the pixel was introduced. The definitions of the different parameters, which were used, details of intermediary calculations, the proposed various formulas, and the statistical validity of the results, are presented below.

1. DEFINITION OF THE VARIABLES AND PARAMETERS

ALT	= Altitude in metres
CoefJ	= Daily coefficient (duration of the period based on the annual total as a %)
CORLAT	= Correlation according to the latitude (from 10°N)
CORALT	= Correction of Tbmax as a function of altitude
DJT	= Astronomic day length in decimal hours
h	= Height of the sun above the horizon at midday
LAT	= Latitude in decimal degrees ((= latitude in radians)
NJAN	= Number of the day in the year
NbJAN	= Total number of days in the year in question (365 or 366)
NbJEPT	= Number of days for the PET calculation period (8, 9, 10, 11, 28, 29, 30 or 31)
δ	= Declination of the sun or angle that it makes on the equatorial plane
PER	= Angle on the ecliptic

2. DETAIL DES CALCULS

Coefficient journalier

C'est le pourcentage du nombre de jours de la période de calcul (décade ou mois) par rapport au nombre de jours de l'année.

$$\text{CoefJ} = 100 \times \text{NbJETP} / \text{NbJAN}$$

Déclinaison du soleil en degrés

$$\text{PER} = (0,0172142063 \text{ NJAN} - 3.15880686)$$

$$\delta = 0,39508 + 22,85684 \cos(\text{PER}) - 0,38637 \cos(2 \text{ PER}) + 0,15097 \cos(3 \text{ PER})$$

$$\delta = \delta - 0,00961 \cos(4 \times \text{PER}) - 4,29692 \sin(\text{PER}) + 0,05702 \sin(2 \times \text{PER})$$

$$\delta = \delta - 0,09029 \sin(3 \times \text{PER}) + 0,00593 \sin(4 \times \text{PER})$$

Hauteur du soleil

La hauteur du soleil à midi change suivant la date. La formule comporte un terme en valeur absolue, pour tenir compte des changements de signe de la latitude suivant les hémisphères et de la déclinaison en cours d'année.

$$h = 90^\circ - [LDR - L]$$

Durée astronomique du jour

$\delta = \delta \times \pi / 180^\circ$ pour transformer la déclinaison du soleil en radians

$$L1 = \cos(\delta) \times \cos(\phi)$$

$$L2 = \sin(\delta) \times \sin(\phi)$$

$$\text{DJT} = 2 \arctan \left(\sqrt{\frac{L1 + L2}{L1 - L2}} \right) \frac{24}{\pi}$$

Correction de latitude

Elle se fait à partir de 10° de latitude nord, pour tenir compte du gradient des vents à deux mètres qui passent en moyenne de 1 à 3,5 mètres/seconde en remontant aux latitudes de 22° . Cette correction est en quelque sorte le terme advectif de la formule.

Sans correction d'altitude

$$\text{CORLAT} = (\text{ABS}(\text{LAT} - 10) + \text{LAT} + 10) \times 0,6299 - 22,6525$$

Avec correction d'altitude

$$\text{CORLAT}_a = (\text{ABS}(\text{LAT} - 10) + \text{LAT} + 10) \times 0,6601 - 21,476$$

3. LES FORMULES

Relation linéaire entre T_{bmax} et ETP Penman (corrélation $r = 0,71$) :

$$\text{ETP} = \text{CoefJ} \times (0,4578 \times T_{\text{bmax}} + 4.7807)^{(1)}$$

Modulation par la durée du jour (corrélation $r = 0,81$) :

$$\text{ETP} = \text{CoefJ} \times \text{Durée du Jour} \times (0,4306 T_{\text{bmax}} + 5.7134)^{(2)}$$

2. CALCULATION DETAILS

Daily coefficient

It is the percentage of the number of days of the calculation period (dekad or month) in relation to the number of days in the year.

$$\text{CoefJ} = 100 \times \text{NbJETP} / \text{NbJAN}$$

Declination of the sun in degrees

$$\text{PER} = (0,0172142063 \text{ NJAN} - 3.15880686)$$

$$\delta = 0,39508 + 22,85684 \cos(\text{PER}) - 0,38637 \cos(2 \text{ PER}) + 0,15097 \cos(3 \text{ PER})$$

$$\delta = \delta - 0,00961 \cos(4 \times \text{PER}) - 4,29692 \sin(\text{PER}) + 0,05702 \sin(2 \times \text{PER})$$

$$\delta = \delta - 0,09029 \sin(3 \times \text{PER}) + 0,00593 \sin(4 \times \text{PER})$$

Sun height

The height of the sun at midday changes according to the date. The formula includes an absolute value term, to take into account the changes of the sign in latitude according to the hemispheres and the declination during the year.

$$h = 90^\circ - [LDR - L]$$

Astronomic day length

$\delta = \delta \times \pi / 180^\circ$ to transform the declination of the sun in radians

$$L1 = \cos(\delta) \times \cos(\phi)$$

$$L2 = \sin(\delta) \times \sin(\phi)$$

$$\text{DJT} = 2 \arctan \left(\sqrt{\frac{L1 + L2}{L1 - L2}} \right) \frac{24}{\pi}$$

Correction for latitude

It was carried out from 10°N , to take into account wind gradients at 2 metres, which pass on average from 1 to 3.5 m/sec rising to 22° latitudes. This correction is approximately the advective term in the formula.

Without correction for altitude

$$\text{CORLAT} = (\text{ABS}(\text{LAT} - 10) + \text{LAT} + 10) \times 0.6299 - 22.6525$$

With correction for altitude

$$\text{CORLAT}_a = (\text{ABS}(\text{LAT} - 10) + \text{LAT} + 10) \times 0.6601 - 21.476$$

3. THE FORMULAE

The linear relationship between T_{bmax} and PET Penman (correlation $r = 0.71$) :

$$\text{PET} = \text{CoefJ} \times (0.4578 \times T_{\text{bmax}} + 4.7807)^{(1)}$$

Modulation by day length (correlation $r = 0.81$) :

$$\text{PET} = \text{CoefJ} \times \text{day length} \times (0.4306 T_{\text{bmax}} + 5.7134)^{(2)}$$

Modulation par la durée du jour et la hauteur du soleil au dessus de l'horizon. Il n'y a pas d'amélioration sensible de l'ajustement (corrélation $r=0,82$) sauf au niveau décadaire :

$$ETP = \text{CoefJ} \times \sin(h) \times \text{Durée du Jour} \times (0.4461 \text{ Tbmax} + 8.0602)^{(3)}$$

Ajout d'un terme advectif avec la correction de latitude (corrélation $r=0,87$) :

$$ETP = \text{CoefJ} \times \sin(h) \times \text{Durée du Jour} \times (0.4461 \text{ Tbmax} + 8.0602) + \text{CORLAT}^{(4)}$$

Avec la correction d'altitude (corrélation $r=0,89$) :

$$ETP = \text{CoefJ} \times \sin(h) \times \text{Durée du Jour} \times \frac{(0.4461 \text{ Tbmax} + 8.0602)^{(3)}}{10^{(\text{ALTITUDE}/67,40721 \times (\text{Tbmax} + 273,16))}} + \text{CORLAT}_a^{(5)}$$

Les formules (4) et (5) sont assez voisines au point de vue des estimations si les variations d'altitude ne sont pas très fortes. La dernière formule nécessite un modèle numérique de terrain à la même maille que les fichiers de Tbmax.

4. EVALUATION STATISTIQUE DES RESULTATS

Les coefficients de corrélation linéaire ont été donnés ci dessus. Les formules proposées ne résultent pas de seuls calculs de régressions car il a été introduit une certaine dose de déterminisme avec les paramètres géographiques. Le problème est de comparer les estimations aux ETP Penman de référence. Les écarts entre les deux séries ont des moyennes pratiquement nulles ce qui montre peu de divergences. Pour les comparaisons on ordonne les populations calculées et de référence, soit par stations en intégrant les variations décadaires, soit par décades en intégrant les variations inter stations. En rapportant les écarts à la moyenne de la série de référence on obtient des écarts réduits, écarts relatifs considérés comme l'erreur commise. Entre la première et la dernière formule d'estimation l'erreur maximale passe de 25 % à 9 %.

Les méthodes plus classiques de comparaisons de séries par les tests de Student et de Fisher ont été mises en œuvre en vérifiant l'hypothèse nulle pour les moyennes et les variances. Elles donnent, pour les formules (2) et (5) une idée de l'amélioration obtenue en passant de l'une à l'autre, c'est-à-dire en utilisant d'abord la seule durée du jour puis en employant tous les paramètres disponibles. Le tableau suivant résume les tests de validité en donnant les effectifs significatifs.

Critères de regroupement	par stations		par décades	
Total	27		36	
Nature du test	μ (test t)	σ (test F)	μ (test t)	σ (test F)
formule (2)	16	16	12	12
formule (5)	20	24	22	27

Modulation by day length and the height of the sun above the horizon. There was no visible improvement in the adjustment (correlation $r=0.82$) apart from at the dekad level :

$$PET = \text{CoefJ} \times \sin(h) \times \text{day length} \times (0.4461 \text{ Tbmax} + 8.0602)^{(3)}$$

Addition of an advective term with a correction term for latitude (correlation $r=0.87$) :

$$PET = \text{CoefJ} \times \sin(h) \times \text{day length} \times (0.4461 \text{ Tbmax} + 8.0602) + \text{CORLAT}^{(4)}$$

With a correction for altitude (correlation $r=0.89$) :

$$PET = \text{CoefJ} \times \sin(h) \times \text{Day lenght} \times \frac{(0.4461 \text{ Tbmax} + 8.0602)^{(3)}}{10^{(\text{ALTITUDE}/67,40721 \times (\text{Tbmax} + 273,16))}} + \text{CORLAT}_a^{(5)}$$

Formulae (4) and (5) are fairly close as far as estimations are concerned if variations in altitude are not very important. The last formula requires a field numerical model of the same dimension as Tbmax files.

4. STATISTICAL EVALUATION OF THE RESULTS

Linear correlation coefficients are given below. The suggested formulae are not only the expression of only regression calculations, since a certain dose of determinism had been introduced with geographical parameters. The problem was to compare estimations with reference Penman PET. The differences between the means of the deviations of the two series are almost zero, which shows little divergence. For comparison purposes, the calculated and reference populations were ordered either by station by integrating dekadal variations, or by dekad by integrating inter-station variations. By adding the reference series deviations from the mean, reduced deviations were obtained. The statistics of these relative deviations considered to be an error were carried out. Between the first and last estimation formula, the maximum error shifted from 25 % to 9 %.

More conventional methods to compare series using Student and Fisher tests were carried out, verifying the null hypothesis for the averages and the variances. It gave for formulae (2) and (5) an idea of the improvement, which could be obtained by shifting from one formula to the other, that is firstly using day length by itself then using all available parameters. The following table summarises the validity tests by giving significant values.

Classification criteria	for stations		for dekads	
Total	27		36	
Nature test	μ (test t)	σ (test F)	μ (test t)	σ (test F)
formule (2)	16	16	12	12
formule (5)	20	24	22	27

En classant les couples d'ETP Penman et d'estimations T_{bmax} par stations ou par décades, on peut tester la validité de la méthode suivant les critères de regroupement. Par stations seuls 53 % des effectifs sont validés avec la formule (2), utilisant uniquement la durée du jour. La formule complète améliore fortement les estimations, on obtient 83 % d'égalité pour les variances et 74 % pour les moyennes. Pour le classement par décades, la première formule n'est valable que dans un tiers des cas, pour les décades de pleine saison des pluies. La formule avec tous les paramètres est bonne pour les décades centrales au niveau des moyennes, avec 61 %, et 75 % pour les variances. Les décades rejetées sont les décades de saison sèche, de la troisième d'octobre à la seconde de mars. Nous avons discuté de cela en montrant que les variations de réflectance ne sont pas prises en compte par la formule de Penman, qui calcule l'ETP en conditions culturales avec l'albédo correspondant à une couverture végétale, alors que les T_{bmax} donnent une information sur la demande climatique et son environnement naturel. En fait l'utilisation des températures de brillance fait naître un doute sur la validité de Penman quand il n'y a pas de culture. Il faut creuser la question et une orientation de recherche serait de tester la méthode des T_{bmax} avec d'autres formules de calcul de l'ETP.

CONCLUSION

La méthode proposée est une estimation simple. Sa simplicité lui apporte quelques imperfections mais elle deviendra plus fiable quand les satellites pourront mesurer le contenu en eau de l'atmosphère au-dessus des continents, car la demande climatique n'est pas uniquement liée à la température. Pour l'instant, compte tenu du fait que les températures de brillances sont dépendantes de l'épaisseur optique de l'atmosphère, on peut dire qu'elles intègrent en partie l'humidité de l'air ce qui expliquerait que les résultats obtenus soient satisfaisants.

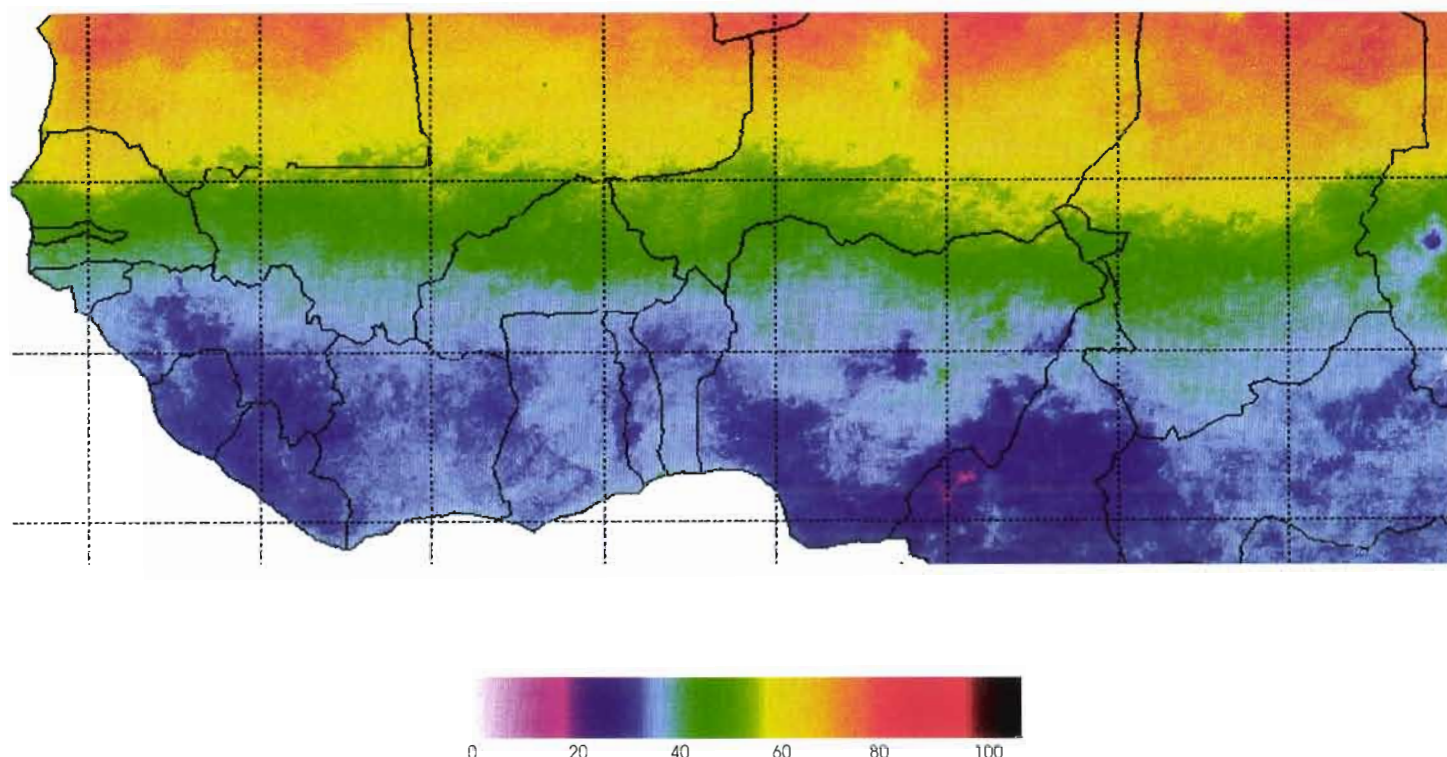
By classing couples of Penman PET and T_{bmax} estimations per station or per dekad, the validity of the method can be tested according to classification criteria. Per station, only 53 % of the results were validated with formula (2), which only used day length. The complete formula greatly improved the estimations, 83 % station equality for the two formulae were obtained for variances and 74 % for the means. For the classification per dekad, the first formula was only valid in a third of cases, for dekads at the height of the rainy season. The formula including all the parameters was good for central dekads, on a level with the means, with 61 %, and 75 % for the variances. The rejected dekads were dry season dekads including the third dekad of October and the second dekad of March. This could be due to the fact that reflectance is not taken into account with Penman's formula (cf. publication in previous VCS), which calculates PET when plant cover is present with albedo corresponding to a plant cover, whereas T_{bmax} provide information on the water requirements of vegetation and its natural environment. In fact, the use of brightness temperatures raises doubts as to the validity of Penman's formula when there is no plant cover. The problem must be investigated and one way would be to test the T_{bmax} method with other PET calculation formula.

CONCLUSION

The proposed method is a simple estimation. Its simplicity means that it is subject to certain imperfections but it will become more reliable when we will be able to use satellites measurements of the water content of the atmosphere above the continents, since vegetation water requirements are not only linked to temperature. At the moment, taking into account the fact that brightness temperatures are dependent upon the optical thickness of the atmosphere, it can be said that they integrate, in part, air humidity which explains why the proposed results are satisfactory.

REFERENCES

- MOREL R., DAGORNE D. ET PENNARUN J., 1996. – Champs thermiques et évapotranspiration. Une méthode d'estimation régionale en temps réel. Thermal fields and evapotranspiration. A regional estimation method in real time. *Veille Climatique Satellitaire*, 56-57, pp. 76-90.
- MOREL R., 1996. – Champs thermiques de surface en Afrique de l'ouest. L'intensité de l'évapotranspiration potentielle de janvier à juin 1996. Surface thermal fields in west Africa. The intensity of potential evapotranspiration from January to June 1996. *Veille Climatique Satellitaire*, 56-57, pp. 52-75
- MOREL R. – Evaluation simple de l'évapotranspiration par satellite géostationnaire. *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, vol. 10, Aix en Provence, en préparation.



Evapotranspiration potentielle (mm) – 11-20/08/1997 (R. Morel, D. Dagorne)

Cette image représente l'évapotranspiration potentielle, estimée suivant la formule mise au point par R. Morel (pages 53-56 de ce volume), à partir des données de température de brillance maxima, obtenues par le traitement de l'imagerie infra-rouge du satellite Météosat, et de corrections physiques : altitude, latitude (le vent à 2 m augmente avec la latitude en Afrique de l'Ouest), ou astronomiques (durée du jour, hauteur du soleil à midi, etc.), pour obtenir le rayonnement solaire réel reçu en chaque point. Ce mode d'estimation, qui a l'avantage de pouvoir être calculé en chaque point d'image et en temps réel, est bien corrélé avec les calculs classiques de l'ETP (corrélation de 0,89 avec le calcul par la méthode Penman), et fournit, aux stations synoptiques, une relation systématiquement égale ou meilleure avec les rendements du coton au Mali (Morel, 1996, *Veille Climatique Satellitaire* 56-57, pages 76-90). Contrairement aux calculs précédents, qui ne portaient que sur un échantillonnage au 1/30, cette image est réalisée à la pleine résolution des données du satellite, c'est-à-dire pour des surfaces de 5x5 km. L'archive climatologique correspondante (1986-1998) fera l'objet du même traitement.

Potential evapotranspiration (mm) – 11-20/08/1997

This image represents potential evapotranspiration which was estimated according to R. Morel's formula (pages 53-56 in this issue), using maximum brightness temperature data, obtained by processing Météosat satellite infra-red images, corrected for altitude, latitude (wind at 2 m increases with latitude in West Africa), or astronomic parameters (day-length, sun-height at midday, etc.), to obtain the real solar radiation received at each point. This estimation mode has the advantage of being able to be calculated at each image point and in real time, and shows good correlation with classical PET calculations (correlation of 0.89 with computation obtained using Penman's method), and provides at synoptic stations, an equal or better systematic relation with cotton yields in Mali (Morel, 1996, *Veille Climatique Satellitaire* 56-57, pages 76-90). Contrarily to previous calculations, which were only based on sampling at 1/30, this image was built up using full resolution satellite data, that is for 5 km x 5 km surfaces. The corresponding 1986-1998 climatological records will be subjected to the same processing.

Morel R.

Avancement des études sur l'estimation de
l'évapotranspiration potentielle par les températures
de brillance = Progress in the work on the estimation of
potential evapotranspiration using brightness
temperatures.

Veille Climatique Satellitaire, 1996, (58-59), p. 53-56.

ISSN 1144-2026