

G. GOSSE

**CALCUL DES PARAMETRES ASTRONOMIQUES
UTILISES DANS LA FORMULE DE TURC
POUR DIFFERENTES LOCALITES DE CÔTE D'IVOIRE**



OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

CENTRE D'ADIOPODOUMÉ - CÔTE D'IVOIRE

B. P. 20 - ABIDJAN



Septembre 1973

Calcul des paramètres astronomiques
utilisés dans la formule de TURC
pour différentes localités de Côte d'Ivoire

G. GOSSE

L'évapotranspiration potentielle peut être estimée par différentes formules, notamment la formule de TURC (1) :

$$\text{ETP} : 0,013 n \times \frac{t}{t + 15} \times \left[(0,18 + 0,62 \frac{h}{H}) \text{Iga} + 50 \right] \left(1 + \frac{U - 50}{70} \right)$$

avec ETP en millimètres pour la période considérée

n nombre de jours " " " "

t température moyenne

h insolation journalière moyenne

H durée astronomique du jour

Iga rayonnement solaire global arrivant au sommet de l'atmosphère en $\text{Cal cm}^{-2}\text{j.}^{-1}$ sur une surface horizontale.

U humidité relative moyenne en %.

Cette formule fait intervenir deux types de paramètres :

- des paramètres mesurés, purement météorologiques, ce sont t, h, U,

U intervenant comme terme correctif.

- des paramètres calculés de nature astronomique : H, Iga.

Ces paramètres astronomiques sont des fonctions complexes du temps et de l'espace :

- variation avec le temps :

on peut admettre pour toutes les applications agroclimatiques que le cycle de variation est annuel.

- variation dans l'espace :

on verra par la suite que seule la latitude du lieu intervient dans le calcul de H et Iga.

D'où :

H, Iga : f (moment de l'année, latitude du lieu)

Principe du calcul de H, Iga (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8)

1 - Durée astronomique du jour H

La durée théorique du jour devrait être le temps que met le soleil dans son mouvement apparent à décrire l'arc $0^\circ \leq h \leq 180^\circ$

h, étant la hauteur du soleil au-dessus de l'horizon.

Mais par suite de phénomènes de réfraction atmosphérique, la durée astronomique du jour est définie comme suit:

Temps que met le soleil dans son mouvement apparent à décrire l'arc :

$$- 50' \leq h \leq 180^\circ + 50'$$

La formule donnant h en fonction de l'angle horaire AH, de la déclinaison du soleil δ , et de la latitude du lieu ϕ est :

$$\text{Sinh} = \text{Sin } \delta \text{ sin } \phi + \text{Cos } \phi \text{ Cos } \delta \text{ Cos AH.}$$

D'où :

$$H = 2 \text{ Arc Cos } \left(-\text{tg } \phi \text{ tg } \delta - \frac{\text{Sin } 50'}{\text{Cos } \phi \text{ Cos } \delta} \right) \quad (1)$$

Soit exprimé en heures et dixièmes :

$$H = \frac{2}{15} \text{ Arc Cos } \alpha \quad (1')$$

2 - Rayonnement solaire global extraterrestre (Iga)

Le rayonnement solaire global Iga arrivant au sommet de l'atmosphère sur une surface horizontale est donné par la formule :

$$Iga = 889 \frac{r_m^2}{r^2} \cdot \text{Cos } \phi \text{ Cos } \delta \left(\text{Sin } H' - H' \text{Cos } H' \right) \quad (2)$$

avec Iga exprimé en $\text{Cal.cm}^{-2}\text{j.}^{-1}$

$$\frac{r_m^2}{r^2} \text{ terme correctif dû à la variation de la distance terre-soleil rapport sans dimension (Cf. Annexe C)}$$

H' angle horaire entre le lever théorique du soleil et 12 h TSV.

Un programme de calcul a été mis au point pour un ordinateur (IBM 360 - FORTRAN) à partir des équations (1) (1') (2) :

- Cf. organigramme du programme SOLIGA
- Cf. listing du programme.

Le programme SOLIGA permet le calcul des valeurs journalières des paramètres H et Iga. Il existe en sortie les valeurs journalières, décadaires et mensuelles des paramètres suivants :

- déclinaison du soleil.

- durée du jour
- Iga.

Dans le cas de la formule de TURC, seules les valeurs décadaires et mensuelles sont utiles, mais le programme SOLIGA a été mis au point en vue d'autres applications, notamment :

- calcul de la formule d'Angström,
- détermination des paramètres astronomiques utiles dans les différentes études de rayonnement (7).

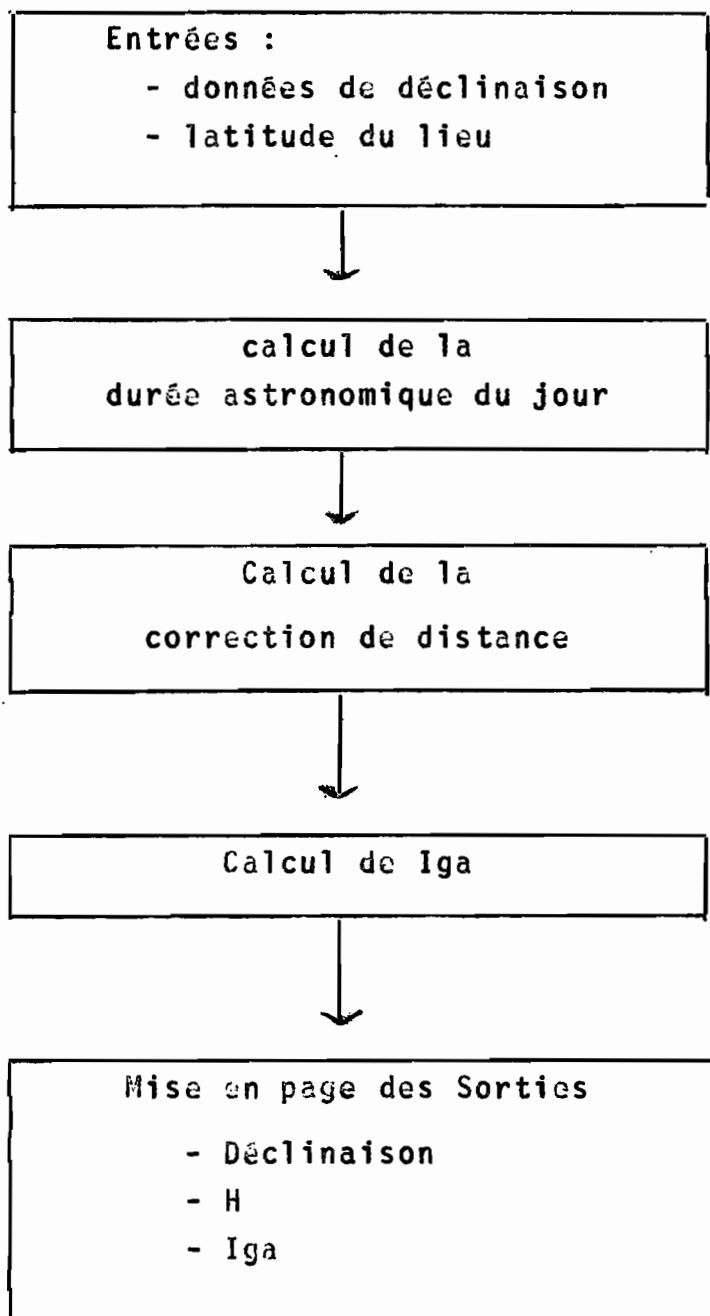
Ce programme appliqué à différentes localités de Côte d'Ivoire a permis d'établir les tables de H, Iga pour : (Cf.annexe D).

- Abidjan
- Yamoussokro
- Bouaké
- Ferkessedougou

Pour des stations situées à des latitudes voisines des localités citées ci-dessus (Cf.annexe A), les mêmes valeurs de H et Iga suffisent.

Pour les localités ayant des latitudes intermédiaires, une interpolation linéaire entre les deux stations voisines en latitude donnera une précision suffisante.

Organigramme du programme SOLIGA :



```

      DIMENSION X(11),SMAX(11),RGA(11),RGAJ(11)
      DIMENSION IRGA(11),ISMAX(11)
60630 FORMAT(I2,11(I4,I3))
50000 FORMAT(E5.2)
50010 FORMAT(I2,I2,11E5.2)
60100 FORMAT('1'////////T20,'ADIPODOUME')
60220 FORMAT(' ',T40,'MOIS DE DECEMBRE')
60210 FORMAT(' ',T40,'MOIS DE NOVEMBRE')
60200 FORMAT(' ',T40,'MOIS D OCTOBRE')
60190 FORMAT(' ',T40,'MOIS DE SEPTEMBRE')
60180 FORMAT(' ',T40,'MOIS D AOUT')
60170 FJRMAT(' ',T40,'MOIS DE JUILLET')
60160 FORMAT(' ',T40,'MOIS DE JUIN')
60150 FORMAT(' ',T40,'MOIS DE MAI')
60140 FORMAT(' ',T40,'MOIS D AVRIL')
60130 FORMAT(' ',T40,'MOIS DE MARS')
60120 FORMAT(' ',T40,'MOIS DE FEVRIER')
60110 FORMAT(' ',T40,'MOIS DE JANVIER')
60510 FORMAT(' ',T62,'PREMIERE DECADE')
60520 FORMAT(' ',T62,'DEUXIEME DECADE')
60530 FORMAT(' ',T62,'TROISIEME DECADE')
60600 FORMAT(' ',T18,'JOUR',10X,'DECLINAISON',10X,'DUREE DU JOUR',10X,
1'IGA EN CALORIES*CM2',10X,'IGA EN DECAJOULES*CM2')
60610 FORMAT('0',T19,I2,12X,F6.2,16X,F5.2,21X,F5.1,26X,F5.1)
60620 FORMAT(///T12,'MOY.DECAD.',11X,F6.2,16X,F5.2,21X,F4.0,26X,F5.1)
60650 FORMAT(///T13,'MOY.MENS.',11X,F6.2,16X,F5.2,21X,F4.0,26X,F5.1)
      READ(5,50000)Y
      RY=3.1416*Y/180
      IT=0
10  TS=0.0
      TI=0.0
      TX=0.0
      TJ=0.0
      JM=0
50  READ(5,50010,END=717) K,J,{X(I),I=1,J)
      SS=0.0
      SX=0.0
      SI=0.0
      SJ=0.0
      DO 100  I=1,J
C    CALCUL DE LA DUREE ASTRONOMIQUE DJ JOUR
      RX=3.1416*X(I)/180
      AH= TAN(RX) * TAN(RY)
      RH= 50*3.1416/10800
      ARH= RH/COS(RX)/COS(RY)
      ANG= -1*(AH+ARH)
      SMAX(I)= ARCOS(ANG) *24/3.1416
      SS=SS+SMAX(I)
      SX=SX +X(I)
C    CALCUL DU RAYONNEMENT ARRIVANT AU SOMMET DE L ATMOSPHERE
      A= SIN(RX)*SIN(RY)
      H= ARCOS(-AH)
      B= H -TAN(H)

```

```
RG= 889.*A*B
COR= COS(2*3.1416*IT/365)
COD= 1 +2* .016733 *COR
IT=IT+1
RGA(I)=RG*COD
RGAJ(I)=RGA(I)*.418
SI= SI +RGA(I)
100 SJ= SJ +RGAJ(I)
AJ=SJ/J
AS=SS/J
AX=SX/J
AI=SI/J
DO 705 I=1,J
ISMAX(I)=SMAX(I)*100
705 IRGA(I)=PGA(I)
WRITE(7,70630)K,(ISMAX(I),IRGA(I),I=1,J)
WRITE(6,60100)
      IK= (K+2)/3
      IF(IK.LE.1) GO TO 110
      IF(IK.LE.2) GO TO 120
      IF(IK.LE.3) GO TO 130
      IF(IK.LE.4) GO TO 140
      IF(IK.LE.5) GO TO 150
      IF(IK.LE.6) GO TO 160
      IF(IK.LE.7) GO TO 170
      IF(IK.LE.8) GO TO 180
      IF(IK.LE.9) GO TO 190
      IF(IK.LE.10) GO TO 200
      IF(IK.LE.11) GO TO 210
      WRITE(6,60220)
      GO TO 500
110 WRITE(6,60110)
      GO TO 500
120 WRITE(6,60120)
      GO TO 500
130 WRITE(6,60130)
      GO TO 500
140 WRITE(6,60140)
      GO TO 500
150 WRITE(6,60150)
      GO TO 500
160 WRITE(6,60160)
      GO TO 500
170 WRITE(6,60170)
      GO TO 500
180 WRITE(6,60180)
      GO TO 500
190 WRITE(6,60190)
      GO TO 500
200 WRITE(6,60200)
      GO TO 500
210 WRITE(6,60210)
      GO TO 500
```



```
500 IJK=K/3
    IALF=(K-3*IJK)-1
    IF(IALF)530,510,520
510 WRITE(6,60510)
    GO TO 600
520 WRITE(6,60520)
    GO TO 600
530 WRITE (6,60530)
    GO TO 600
600 WRITE (6,60600)
    DO 700 I=1,J
700 WRITE (6,60610) I,X(I),SMAX(I),RGA(I),RGAJ(I)
    WRITE(6,60620)AX,AS,AI,AJ
    TS=TS+SS
    TX=TX+SX
    TI=TI+SI
    TJ=TJ+SJ
    JM=JM+J
    IF(JM.LE.20) GO TO 50
    ATS=TS/JM
    ATX=TX/JM
    ATJ=TJ/JM
    ATI=TI/JM
    WRITE(6,60650)ATX,ATS,ATI,ATJ
    GO TO 10
717 STOP
    END
```

Annexe A.

Latitude des principales stations météorologiques de Côte d'Ivoire, d'après M. ELDIN (Atlas de la Côte d'Ivoire).

Ce sont des latitudes Nord, donc positives, exprimées en degrés et minutes.

Facteur de conversion à appliquer aux latitudes exprimées en degrés et minutes pour les obtenir en degrés et centièmes.

x degrés, y minutes = x degrés, $\frac{5}{3}$ y centièmes.

N.B. Dans le programme SOLIGA les latitudes doivent être exprimées en degrés et centièmes.

Localité	Latitude	Localité	Latitude	Localité	Latitude
Abengourou	06° 43'	Danané	07° 15'	Niakaramandougou	08° 40'
Abidjan-aero	05° 15'	Daoukro	07° 03'	Odienné	09° 20'
Abidjan-Ville	05° 19'	Dembasso	09° 41'	Ouangofatini	09° 35'
Aboisso	05° 28'	Dimbokro	06° 39'	Ouangolodougou	09° 58'
Adiaké	05° 18'	Divo	05° 50'	Ouellé	07° 17'
Adiopodoumé	05° 19'	Duékoué	06° 45'	Oumé	06° 22'
Adzopé	06° 06"	Ferkessedougou	09° 35'	Sandégué	07° 57'
Agboville	05° 55'	Fresco	05° 03'	Sanhala	10° 06'
Agnibilekrou	07° 40'	Gagnoa	06° 08'	Sassandra	04° 57'
Alepé	05° 30'	Grabo	04° 55'	Séguéla	07° 57'
Azaguié	05° 38'	Grand Lahou	05° 08'	Simfra	06° 37'
Banco	05° 23'	Guiglo	06° 32'	Soubré	05° 47'
Béoumi	07° 40'	Guitry	05° 34'	Tabou	04° 25'
Bocanda	07° 04'	Jacqueville	05° 13'	Tafiré	09° 04'
Boli	07° 14'	Katiola	08° 08'	Tai	05° 52'
Bondoukou	08° 03'	Korhogo	09° 26'	Tengaéla	10° 29'
Bongouanou	06° 39'	Kotobi	06° 42'	Tiassalé	05° 53'
Bouaflé	06° 59'	Kouto	09° 54'	Tiebissou	07° 09'
Bouaké	07° 44'	Lakota	05° 51'	Tiemé	09° 33'
Bougoussou	09° 15'	Lamé	05° 27'	Touba	08° 17'
Bouna	09° 16'	Lamto	06° 13'	Toulepleu	06° 34'
Boundiali	09° 31'	Madinani	09° 37'	Toumbokro	06° 57'
Brimbo	06° 02'	Man	07° 23'	Toumodi	06° 35'
Céchi	06° 16'	Maninian	10° 00'	Vavoua	07° 22'
Dabakala	08° 23'	Mankono	08° 03'	Yamoussokro	06° 49'
Dabou	05° 18'	N'Bahiakro	07° 27'		
Daloa	06° 53'	N'Douci	05° 52'		

Annexe B

Valeurs moyennes décadaires et mensuelles de la déclinaison du soleil, exprimées en degrés et centièmes.

La déclinaison du soleil subit des variations d'une année à l'autre :

- variations dues aux phénomènes de précession et nutation.
- variations dues aux déplacements du plan de l'ecliptique
- variations cycliques en relation avec le cycle des années bissextiles.

Ce sont ces dernières variations qui sont les plus importantes, aussi pour les minimiser nous avons choisi la déclinaison pour une année moyenne, c'est à dire bissextile + 2.

Dans les applications agroclimatologiques courantes, ces variations peuvent être négligées sans affecter la précision des résultats.

Déclinaison du Soleil

Valeurs moyennes mensuelles et décadaires.

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
1ère Dec.	-22,60	-15,96	-6,12	5,99	16,18	22,50
2ème Dec.	-21,13	-12,73	-2,21	9,69	18,80	23,28
3ème Dec.	-18,86	- 9,52	1,92	13,11	20,98	23,37
Mois	-20,80	-12,97	-2,01	9,60	18,73	23,05

	Juillet	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
1ère Dec.	22,78	17,01	6,88	- 4,65	-15,61	-22,32
2ème Dec.	21,53	14,10	3,10	- 8,44	-18,42	-23,23
3ème Dec.	19,57	10,65	-0,77	-12,19	-20,69	-23,25
Mois	21,24	13,82	3,07	- 8,55	-18,24	-22,98

Annexe C

Valeurs décadaires et mensuelles de la correction de distance.

La correction de distance est donnée par la formule :

$$\frac{r_m^2}{r^2} = 1 + 2 e \cos \frac{2 \pi D}{365}$$

avec e excentricité de l'orbite

$$e = 0,0167330$$

D. jour pour lequel on cherche la correction de distance.

Les valeurs journalières sont obtenues par interpolation linéaire entre deux valeurs décadaires.

Valeurs décadaires et mensuelles de la
correction de distance

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
1	1,0347	1,0293	1,0174	1,0001	0,9839	0,9718
11	1,0340	1,0257	1,0121	0,9944	0,9792	0,9696
21	1,0323	1,0213	1,0064	0,9889	0,9753	0,9681
Moyenne mensuelle	1,0335	1,0245	1,0099	0,9923	0,9776	0,9689

	Juillet	Aout	Sépt.	Oct.	Nov.	Déc.
1	0,9676	0,9718	0,9839	1,0001	1,0174	1,0300
11	0,9681	0,9749	0,9889	1,0059	1,0223	1,0325
21	0,9694	0,9789	0,9944	1,0115	1,0264	1,0341
Moyenne mensuelle	0,9684	0,9765	0,9911	1,0082	1,0241	1,0333

Annexe D

Valeur de H , I_{ga} pour différentes localités de Côte d'Ivoire.

H , exprimée en heures et centièmes

I_{ga} , exprimé en $\text{Cal. cm}^{-2} \text{ j.}^{-1}$

Abidjan - Latitude : 5° 19' N

Durée astronomique du jour (H) en heures et centièmes

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
1ère Dec.	11,82	11,91	12,04	12,19	12,32	12,42
2ème Dec.	11,84	11,95	12,08	12,23	12,36	12,43
3ème Dec.	11,87	11,99	12,14	12,28	12,39	12,43
Mois	11,85	11,95	12,09	12,23	12,36	12,42

	Juillet	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
1ère Dec.	12,42	12,33	12,20	12,05	11,92	11,83
2ème Dec.	12,40	12,29	12,15	12,01	11,88	11,82
3ème Dec.	12,37	12,25	12,10	11,96	11,85	11,81
Mois	12,40	12,29	12,15	12,01	11,88	11,82

Yamoussokro : latitude 6° 49 N

Durée astronomique du jour (H) en heures et centièmes

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
1ère Dec.	11,74	11,85	12,01	12,21	12,38	12,50
2ème Dec.	11,76	11,91	12,08	12,27	12,43	12,51
3ème Dec.	11,81	11,96	12,14	12,33	12,47	12,52
Mois	11,77	11,90	12,08	12,27	12,43	12,51

	Juillet	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
1ère Dec.	12,50	12,40	12,22	12,04	11,86	11,75
2ème Dec.	12,48	12,34	12,16	11,98	11,81	11,73
3ème Dec.	12,44	12,29	12,10	11,92	11,77	11,73
Mois	12,48	12,34	12,16	11,98	11,82	11,73

Bouaké : latitude 7° 44 ' N

Durée astronomique du jour (H) en heures et centièmes

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
1ère Dec.	11,69	11,62	12,00	12,22	12,42	12,55
2ème Dec.	11,72	11,88	12,07	12,29	12,47	12,57
3ème Dec.	11,76	11,94	12,15	12,36	12,52	12,57
Mois	12,73	11,68	12,08	12,29	12,47	12,56

	Juillet	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
1ère Dec.	12,56	12,43	12,24	12,03	11,84	11,69
2ème Dec.	12,53	12,38	12,17	11,96	11,77	11,67
3ème Dec.	12,49	12,31	12,10	11,89	11,73	11,67
Mois	12,52	12,37	12,17	11,96	11,78	11,68

Ferkessedougou : latitude 9° 35' N

Durée astronomique du jour (H) en heures et centièmes

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
1ère Dec.	11,58	11,75	11,97	12,25	12,49	12,66
2ème Dec.	11,62	11,82	12,06	12,33	12,56	12,68
3ème Dec.	11,68	11,90	12,16	12,42	12,62	12,68
Mois	11,63	11,82	12,07	12,33	12,56	12,67

	Juillet	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
1ère Dec.	12,66	12,51	12,27	12,01	11,76	11,59
2ème Dec.	12,63	12,44	12,18	11,92	11,69	11,57
3ème Dec.	12,58	12,36	12,09	11,84	11,63	11,57
Mois	12,62	12,43	12,18	11,92	11,69	11,57

Abidjan : latitude 5° 19' N

Iga. en Cal. $\text{cm}^{-2} \text{j.}^{-1}$

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
1ère Dec.	794,4	838,2	878,9	891,4	869,9	842,7
2ème Dec.	805,4	854,7	887,9	887,0	860,0	838,0
3ème Dec.	820,7	868,2	891,9	879,6	850,3	836,8
Mois	808,2	854,2	888,8	887,6	860,6	838,9

	Juillet	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
1ère Déc.	839,0	861,0	882,3	874,3	834,2	794,3
2ème Dec.	844,2	869,7	883,6	864,1	818,3	788,4
3ème Dec.	852,1	877,4	880,9	850,2	804,9	788,2
Mois	844,9	869,8	882,9	863,2	819,9	790,5

Yamoussokro : latitude 6° 49' N

Iga. en Cal. $\text{cm}^{-2} \text{ j.}^{-1}$

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
1ère Dec.	778,0	825,7	872,5	892,8	878,0	854,4
2ème Dec.	789,8	844,2	883,8	890,8	869,5	850,2
3ème Dec.	806,5	859,7	890,6	885,5	861,1	849,0
Mois	792,8	843,5	885,0	891,3	870,0	850,9

	Juillet	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
1ère Dec.	850,8	869,3	884,2	868,9	822,0	778,1
2ème Dec.	855,3	876,2	883,1	856,3	804,5	771,7
3ème Dec.	861,9	881,8	877,9	840,1	789,7	771,4
Mois	855,8	876,1	882,4	855,3	806,1	773,9

Bouaké : latitude 7° 44' N

Iga en Cal. $\text{cm}^{-2} \text{ j.}^{-1}$

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
1ère Dec.	767,9	817,8	868,4	893,3	882,5	861,2
2ème Dec.	780,2	837,5	881,2	892,7	874,9	857,3
3ème Dec.	797,6	854,2	889,6	888,8	867,4	856,2
Mois	783,3	836,7	882,5	892,9	875,4	857,9

	Juillet	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
1ère Dec.	857,7	874,1	885,1	865,4	814,4	768,1
2ème Dec.	861,7	879,8	882,5	851,3	795,8	761,3
3ème Dec.	867,6	884,1	875,9	833,7	780,2	761,0
Mois	862,1	879,6	881,8	850,3	797,5	763,6

Ferkessedougou : latitude 9° 35 ' N

Iga en Cal. $\text{cm}^{-2} \text{ j.}^{-1}$

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
1ère Dec.	746,7	801,3	859,3	893,7	890,9	874,6
2ème Dec.	760,0	823,4	875,1	896,1	885,4	871,2
3ème Dec.	779,1	842,5	886,7	894,9	879,6	870,2
Mois	763,4	822,4	876,5	895,0	885,9	871,7

	Juillet	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
1ère Dec.	871,3	883,1	886,2	857,4	798,2	747,2
2ème Dec.	874,3	886,6	880,6	840,5	777,6	739,8
3ème Dec.	878,7	888,1	871,0	820,1	760,5	739,4
Mois	874,5	886,1	879,9	839,4	779,4	742,3

Bibliographie

- (1) TURC (L.) - 1961 - Evaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle. Annales agronomiques INRA (12) 13-49
- (2) LIST (R.J.) - 1968 - Smithsonian meteorological tables.
- (3) Annuaire du bureau des longitudes
Publication GAUTHIER-VILLARS - Paris
- (4) BERRY (F.),- BOLLAY (E.),- BEERS (N.) - 1945 - Handbook of meteorology.
- (5) HALTINER (G.),- MARTIN (F.) - 1957 - Dynamical and physical meteorology.
- (6) PERRIN DE BRICHAMBAULT (C.) - 1963 - Rayonnement solaire et échanges radiatifs naturels.
- (7) GOSSE (G.) - 1973 - Principe du calcul des paramètres astronomiques utiles en météorologie. Rapport ORSTOM multi-graphié.
- (8) BRUNT (D.) - 1952 - Physical et dynamical meteorology.