

BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES  
74, rue de la Fédération - 75-PARIS-15<sup>e</sup> - Tél. 783 94-00

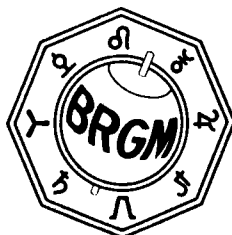
DIRECTION DU SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL  
B.P. 818 - 45-Orléans-La Source - Tél. 66-06-60

**CALCUL AUTOMATIQUE**  
**DES "BILANS D'EAU" MENSUELS ET ANNUELS**  
**PAR LES MÉTHODES DE THORNTHWAITE ET DE TURC**

par

M. BONNET, O. DELAROZIÈRE-BOUILLIN, CI. JUSSERAND \*

et P. ROUX \*\*



\* Collaborateur extérieur

\*\* Stagiaire au B.R.G.M.

Département INFORMATIQUE

Département HYDROGÉOLOGIE

**70 SGN 107 HYD**

Janvier 1970

## R E S U M E

-----

Deux programmes de calcul automatique pour l'application des formules mensuelles de THORNTHWAITE et de TURC ont été mis au point, en vue de faciliter notamment le calcul des bilans d'eau mensuels et annuels par ces méthodes dont l'application manuelle est assez laborieuse.

Ces programmes, utilisables sur l'ordinateur IBM 1130, du département Informatique du B.R.G.M., sont opérationnels. Ils ont été établis au département d'hydrogéologie, dans le cadre des études méthodologiques générales d'hydrogéologie, avec le concours du département Informatique, par M. Patrice ROUX, étudiant en informatique, stagiaire.

On indique dans ce rapport les informations à fournir pour toute commande de calcul.

o

o o

# S O M M A I R E

-----

## 1. INTRODUCTION

## 2. RAPPEL DES METHODES

### 2.1. Méthode de Thornthwaite

2.1.1. Calcul de l'évapotranspiration potentielle mensuelle et annuelle

2.1.2. Calcul de l'évapotranspiration réelle mensuelle et annuelle

### 2.2. Méthode de Turc

2.2.1. Calcul de l'évapotranspiration potentielle mensuelle et annuelle

2.2.2. Calcul de l'évapotranspiration réelle mensuelle et annuelle

## 3. CALCUL AUTOMATIQUE DES BILANS D'EAU MENSUELS ET ANNUELS

### 3.1. Programmes de calcul automatique

### 3.2. Entrée des données : instructions pour une demande d'opération

3.2.1. Informations nécessaires

3.2.2. Description du bordereau de données

### 3.3. Sortie des résultats

3.3.1. Description du tableau de sortie Thornthwaite

3.3.2. Description du tableau de sortie de Turc

## 4. BIBLIOGRAPHIE

## 1. INTRODUCTION

En vue d'élaborer une classification des climats, C.W. THORNTHWAITE a proposé en 1948 une méthode pour calculer le bilan moyen mensuel et annuel de l'eau dans laquelle intervient une évaluation théorique de l'évapotranspiration potentielle à partir de la température et de la durée d'insolation. Ce bilan moyen de l'eau fournit à l'auteur des éléments de calcul de 4 indices qu'il définit comme critères de classification agronomique des climats.

Bien qu'elle n'ait pas été conçue dans ce but, la méthode de THORNTHWAITE est couramment utilisée en hydrologie puisqu'elle permet, à partir du calcul théorique de l'évapotranspiration potentielle, d'évaluer les différents termes du bilan de l'eau, en particulier le déficit d'écoulement réel, selon quelques hypothèses simplificatrices (notamment sur la réserve en eau du sol).

La même méthode est également utilisée à partir du calcul théorique de l'évapotranspiration potentielle par la formule proposée en 1961 par L. TURC (cette formule fait intervenir la température, l'énergie de radiation théorique et l'insolation relative).

Sans discuter du bien fondé de ces utilisations, ni des limites de validité qui pourraient être assignées à ces méthodes, on a élaboré des programmes de calcul en ordinateur en vue de faciliter leur application, et par là même, leur mise à l'épreuve ; les calculs manuels assez laborieux qu'elles nécessitent peuvent en effet rebuter les hydrologues et les hydrogéologues.

Un des objectifs du calcul automatique, ainsi rendu possible, pourrait être de faciliter la recherche de la "réserve en eau utile du sol" la plus réaliste, dans un domaine donné, en se calant sur des mesures d'écoulement réel et des bilans hydrologiques par ailleurs établis.

## 2. RAPPEL DES METHODES

### 2.1. Méthode de Thornthwaite

La méthode de Thornthwaite permet de calculer ponctuellement (en une station) le bilan d'eau mensuel et annuel à partir des valeurs mensuelles des précipitations et des valeurs moyennes mensuelles des températures.

#### 2.1.1. Calcul de l'évapotranspiration potentielle mensuelle et annuelle

Le calcul de l'évapotranspiration potentielle mensuelle n'est possible que si la température moyenne mensuelle est inférieure ou égale à 38°C. Deux cas sont alors à considérer :

##### 1er cas : Pour une température moyenne mensuelle inférieure à 26,5°C,

l'évapotranspiration potentielle mensuelle est calculée d'après la formule suivante :

$$ETP = 16 \left( \frac{10t}{I} \right)^a \cdot K$$

évapotranspiration potentielle mensuel- le corrigée en mm	évapotranspiration potentielle mensuel- le non corrigée en mm	coefficient de correc- tion mensuel
---	--	---

dans laquelle :

ETP : évapotranspiration potentielle mensuelle, corrigée (en mm).

t : température moyenne mensuelle (en ° C).

I : indice thermique annuel : somme des indices mensuels calculés à partir des températures moyennes mensuelles selon la formule  $i = \left( \frac{t}{5} \right)^{1,514}$

a :  $6,75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 1,79 \cdot 10^{-2} \cdot I + 0,49$

K : coefficient de correction dépendant de la latitude et donné par une table. La valeur de l'évapotranspiration potentielle annuelle est la somme des 12 valeurs d'évapotranspiration potentielle mensuelles.

2ème cas : Pour une température moyenne mensuelle égale à 26,5°C ou comprise entre 26,5°C et 38,0°C, l'évapotranspiration potentielle mensuelle, non corrigée, est donnée directement par une table.

L'évapotranspiration potentielle mensuelle corrigée est alors calculée par application du coefficient de correction mensuel.

2.1.2. Calcul de l'évapotranspiration réelle mensuelle et annuelle

La comparaison des valeurs de l'évapotranspiration potentielle mensuelle (ETP) et des hauteurs des précipitations mensuelles (P) permet de calculer l'évapotranspiration réelle mensuelle (ETR).

Plusieurs cas peuvent se présenter :

- 

ETP < P
---------

  
ETR = ETP

La quantité d'eau correspondant à  $P - ETP$  est emmagasinée <sup>(1)</sup> dans le sol jusqu'à saturation de celui-ci, la partie de l'"excédent" dépassant éventuellement la réserve cumulée maximale en eau du sol, constitue le "water-surplus" et est disponible pour le ruissellement et l'infiltration.

- 

ETP = P
---------

  
ETR = ETP = P

---

(1) THORNTHWAITE a été conduit à adopter pour ce seuil de saturation du sol une valeur de 100 mm, cet ordre de grandeur étant confirmé par les travaux de divers agronomes. Cependant, l'adaptation de la valeur de ce seuil - en fonction des besoins de l'hydrogéologue - à des conditions géologiques et climatiques variées, rendue possible par le calcul automatique est en cours d'étude.

Les réserves en eau de sol restent les mêmes que celles du mois précédent.

$$- \quad \boxed{\text{ETP} > P}$$

ETR = P + tout ou partie de la réserve en eau du sol jusqu'à épuisement de celle-ci.

Lorsque les réserves en eau du sol sont épuisées et que ETP > ETR, ETP - ETR = "water-deficiency".

La valeur de l'évapotranspiration réelle annuelle est la somme des 12 valeurs d'évapotranspiration réelle mensuelles.

## 2.2. Méthode de Turc

### 2.2.1. Calcul de l'évapotranspiration potentielle mensuelle et annuelle

La formule de TURC mensuelle permet de calculer ponctuellement (en une station) l'évapotranspiration potentielle mensuelle. Cette formule est la suivante :

$$\text{ETP} = 0,40 \cdot \frac{t}{t+15} \cdot (\text{Ig} + 50) \cdot \left(1 + \frac{50 - \text{hr}}{70}\right)$$

ETP : évapotranspiration potentielle mensuelle (en mm)

t : température moyenne mensuelle (en ° C)

Ig : radiation globale moyenne, d'origine solaire, (en petites calories par cm<sup>2</sup> de surface horizontale et par jour), pendant le mois considéré.

hr : humidité relative de l'air (en %) pendant le mois considéré.

\* Pour le mois de février, il y a lieu de remplacer le coefficient 0,40 par 0,37,

\* le facteur  $\left(1 + \frac{50 - \text{hr}}{70}\right)$  n'intervient que si hr < 50 c'est-à-dire dans les pays semi-désertiques uniquement,

\*  $I_g$  se calcule d'après la formule suivante :

$$I_g = I_{gA} \left( 0,18 + 0,62 \frac{h}{H} \right)$$

$I_{gA}$  = énergie de la radiation qui atteindrait le sol si l'atmosphère n'existait pas (en petites calories par  $cm^2$  de surface horizontale et par jour),

$h/H$  = insolation relative

$h$  = durée d'insolation mesurée pendant le mois considéré (en heures par mois)

$H$  = durée astronomique du jour pendant le mois considéré (en heures par mois)

$I_{gA}$  et  $H$  sont fonction de la latitude et sont données par des tables.

La valeur de l'évapotranspiration potentielle annuelle est la somme des 12 valeurs d'évapotranspiration potentielle mensuelles.

#### 2.2.2. Calcul de l'évapotranspiration réelle mensuelle et annuelle

La comparaison des valeurs de l'évapotranspiration potentielle mensuelle (ETP) - calculée par la formule de TURC mensuelle - et des hauteurs des précipitations mensuelles (P) permet de calculer l'évapotranspiration réelle mensuelle (ETR).

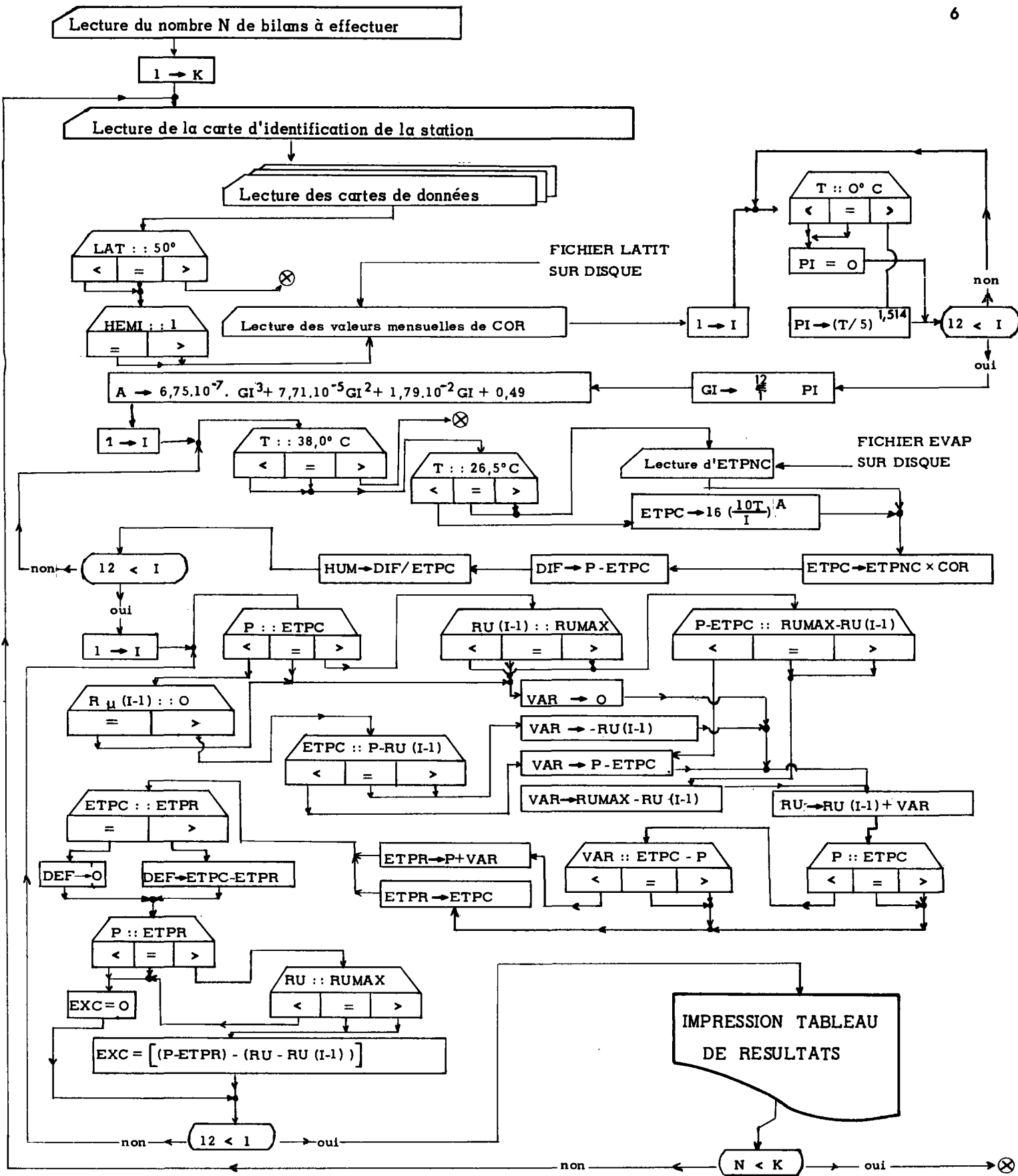
Cette comparaison se fait selon le même processus que pour la méthode de THORNTHWAITE (voir ci-dessus § 2.1.2.).

### 3. CALCUL AUTOMATIQUE DES BILANS D'EAU MENSUELS ET ANNUELS

#### 3.1. Programme de calcul automatique

Les ordinogrammes de calcul des bilans d'eau mensuels et annuels par les méthodes de Thornthwaite et de Turc sont présentés aux figures 1 et 2.





ORDINOGRAMME DU CALCUL AUTOMATIQUE  
DES "BILANS D'EAU" PAR LA  
FORMULE DE THORNTHWAITTE

Figure 1



Les principales abréviations utilisées sont les suivantes :

- pour l'ordinogramme Thornthwaite :

LAT et LATIT	: latitude
HEMI	: hémisphère
COR	: coefficient de correction
PI	: indice thermique mensuel
T	: température moyenne mensuelle
A	: exposant a
GI	: indice thermique annuel
ETPNC et EVAP	: évapotranspiration potentielle mensuelle non corrigée
ETPC	: évapotranspiration potentielle mensuelle corrigée
P	: précipitations mensuelles
DIF	: différence entre P et ETPC
HUM	: coefficient mensuel d'humidité
RU	: réserve utile en eau du sol
RUMAX	: réserve utile maximale en eau du sol
VAR	: variation de la réserve utile en eau du sol
DEF	: déficit en eau : "water-deficiency"
EXC	: excédent en eau : "water-surplus"

- pour l'ordinogramme Turc :

LAT	: latitude
HEMI	: hémisphère
GH et DMJ	: durée astronomique mensuelle du jour
IGA	: énergie de la radiation qui atteindrait le sol si l'atmosphère n'existait pas
IG	: radiation globale moyenne mensuelle
HR	: humidité relative de l'air
COREC	: facteur correctif, fonction de l'humidité relative de l'air
COEF	: coefficient mensuel
T	: température moyenne mensuelle
ETP	: évapotranspiration potentielle mensuelle

- P : précipitations mensuelles
- RU : réserve utile en eau du sol
- RUMAX : réserve utile maximale en eau du sol
- VAR : variation de la réserve utile en eau du sol
- DEF : déficit en eau "water-deficiency"
- EXC : excédent en eau "water-surplus"

### 3.2. Entrée des données : instructions pour une demande d'opération

#### 3.2.1. Informations nécessaires

Les informations nécessaires au calcul des bilans d'eau par les méthodes de THORNTHWAITE et de TURC sont les suivantes :

Méthode de THORNTHWAITE	<ul style="list-style-type: none"> <li>- latitude de la station étudiée</li> <li>- températures moyennes mensuelles en °C</li> <li>- précipitations mensuelles en mm</li> <li>- réserve en eau du sol du mois précédant le début de la période étudiée en mm</li> <li>- réserve en eau du sol maximale en mm</li> <li>- durées d'insolations mensuelles mesurées en heures par mois</li> <li>- humidités relatives mensuelles en %</li> </ul>	Méthode de TURC
-------------------------------	---	-----------------------

Les informations doivent être présentées sur un bordereau de données, commun aux deux méthodes, décrit ci-après.

#### 3.2.2. Description du bordereau des données

La figure 3 présente un bordereau vide, la figure 4, un bordereau convenablement rempli. Il n'y a qu'un seul bordereau quelle que soit la commande de calcul (Thornthwaite

ou Turc) ; celle-ci doit être précisée en tête du bordereau (barrer éventuellement la mention inutile).

Tous les nombres portés sur le bordereau doivent être entiers et cadrés dans leur rectangle à droite.

En tête de chaque bordereau (emplacement prévu : 4 cases) doit être indiqué le nombre de bilans hydrologiques commandés (nombre de stations ou nombre d'années).

Chaque bordereau est prévu pour réunir les données relatives à l'établissement de deux "bilans d'eau".

Les données doivent être inscrites de la façon suivante :

- ligne 1 : 40 cases où peuvent être portés le nom de la station, l'année étudiée ou toute autre indication à faire figurer en tête du tableau de résultats (lettres en caractères d'imprimerie et chiffres).
- ligne 2 : 3 cases pour la latitude, 1 case pour l'indication de l'hémisphère (chiffre 1 pour hémisphère Nord, 2 pour hémisphère Sud). Seules les latitudes suivantes sont admises : (arrondir selon les cas) :  
Latitude Nord : 0°, 5°, 10°, 15°, 20°, 25°,  
30°, 35°, 40°, 42°, 43°, 44°,  
45°, 46°, 47°, 48°, 49°, 50°,  
51°.  
Latitude Sud : 0°, 5°, 10°, 15°, 20°, 25°,  
30°, 35°, 40°, 45°, 50°.
- ligne 3 : 3 cases pour l'indication de la réserve utile en eau du sol maximale en mm. 3 cases pour l'indication de la réserve utile en eau du sol du mois de décembre précédent en mm.
- ligne 4 : 12 fois 4 cases pour les durées d'insolation mensuelles en heures par mois.





- ligne 5 : 12 fois 4 cases pour les humidités relatives mensuelles en %. Si celles-ci sont toute l'année supérieures à 50% inscrire le nombre 100 dans le rectangle du mois de janvier et ne pas remplir les autres mois. Si l'humidité relative devient inférieure à 50 % pour un ou plusieurs mois de l'année, indiquer sa valeur pour chacun des 12 mois.
- ligne 6 : 12 fois 4 cases pour les précipitations mensuelles en mm.
- ligne 7 : 12 fois 4 cases pour les températures moyennes mensuelles en dixièmes de °C, (nombres entiers). Seules les températures négatives doivent être précédées de leur signe -.

### 3.3. Sortie des résultats

#### 3.3.1. Description du tableau de sortie Thornthwaite

La présentation des résultats obtenus par la méthode de Thornthwaite est analysée ci-dessous, en prenant comme exemple un tableau-machine (voir fig. 5).

Ce tableau comporte treize colonnes :

- douze colonnes correspondant aux différentes valeurs mensuelles,

- une colonne (à l'extrême droite) correspondant aux valeurs annuelles,

et treize lignes qui sont les suivantes :

- TEMPERATURE : températures moyennes mensuelles et annuelles en ° C.
- IND. THERM. : indices thermiques mensuels  $\left( i = \left( \frac{t}{5} \right)^{1,514} \right)$   
et indice thermique annuel  $\left( I = \sum_1^{12} i \right)$
- ETPNC : hauteurs d'évapotranspiration potentielle mensuelles non corrigées  $\left( 16 \left( \frac{10t}{I} \right)^a \right)$   
en mm.



THORNTHWAITE - EVAPOTRANSPIRATION ET BILAN HYDROLOGIQUE

Figure 5

ROSTRENEN

ANNEE MOYENNE

	* JANV *	* FEV *	* MARS *	* AVRIL *	* MAI *	* JUIN *	* JUIL *	* AOUT *	* SEPT *	* OCT *	* NOV *	* DEC *	* ANNEE *
TEMPERATURE	* 4.4 *	* 4.6 *	* 7.0 *	* 9.0 *	* 11.6 *	* 14.3 *	* 15.7 *	* 16.0 *	* 14.5 *	* 11.0 *	* 7.5 *	* 5.2 *	* 10.0*
IND.THERM.	* 0.82 *	* 0.88 *	* 1.66 *	* 2.43 *	* 3.57 *	* 4.90 *	* 5.65 *	* 5.81 *	* 5.01 *	* 3.29 *	* 1.84 *	* 1.06 *	* 36.98*
ETPNC	* 19.3 *	* 20.2 *	* 31.8 *	* 41.8 *	* 55.0 *	* 68.9 *	* 76.3 *	* 77.9 *	* 70.0 *	* 51.9 *	* 34.3 *	* 23.1 *	
CORREC. LAT.	* 0.76 *	* 0.80 *	* 1.02 *	* 1.14 *	* 1.31 *	* 1.33 *	* 1.34 *	* 1.23 *	* 1.05 *	* 0.93 *	* 0.77 *	* 0.72 *	*
ETPC	* 15. *	* 16. *	* 33. *	* 48. *	* 72. *	* 92. *	* 102. *	* 96. *	* 74. *	* 48. *	* 26. *	* 17. *	* 639.*
PRECIPIT.	* 120. *	* 85. *	* 80. *	* 65. *	* 60. *	* 57. *	* 60. *	* 75. *	* 80. *	* 95. *	* 110. *	* 125. *	* 1012.*
BILAN HYDR.	* 105. *	* 69. *	* 47. *	* 17. *	* -12. *	* -35. *	* -42. *	* -21. *	* 6. *	* 47. *	* 84. *	* 108. *	* 373.*
COEF.HUM.	* 7.0 *	* 4.3 *	* 1.4 *	* 0.3 *	* -0.1 *	* -0.3 *	* -0.4 *	* -0.2 *	* 0.0 *	* 0.9 *	* 3.2 *	* 6.3 *	*
VAR.RESV.	* 0. *	* 0. *	* 0. *	* 0. *	* -12. *	* -35. *	* -42. *	* -11. *	* 6. *	* 47. *	* 47. *	* 0. *	*
RESV.UTILE	* 100. *	* 100. *	* 100. *	* 100. *	* 88. *	* 53. *	* 11. *	* 0. *	* 6. *	* 53. *	* 100. *	* 100. *	*
ETR	* 15. *	* 16. *	* 33. *	* 48. *	* 72. *	* 92. *	* 102. *	* 86. *	* 74. *	* 48. *	* 26. *	* 17. *	* 629.*
DEFICIT	* 0. *	* 0. *	* 0. *	* 0. *	* 0. *	* 0. *	* 0. *	* 10. *	* 0. *	* 0. *	* 0. *	* 0. *	* 10.*
EXCEDENT	* 105. *	* 69. *	* 47. *	* 17. *	* 0. *	* 0. *	* 0. *	* 0. *	* 0. *	* 0. *	* 37. *	* 108. *	* 383.*

- CORREC. LAT. : coefficients de correction mensuels K en fonction de la latitude
- ETPC : hauteurs d'évapotranspiration potentielle mensuelles et annuelle corrigées (ETPNC x K) en mm.
- PRECIPIT. : précipitations mensuelles et annuelles en mm.
- BILAN HYDR. : bilan d'eau mensuel et annuel (P-ETPC) en mm.
- COEF. HUM : coefficient mensuel d'humidité (1)  
$$\left( \frac{P - ETP}{ETP} \right)$$
- VAR. RESV. : variation mensuelle de la réserve en eau du sol entre 0 et son maximum en mm.
- RESV. UTILE : réserves mensuelles en eau du sol en mm.
- ETR : hauteurs d'évapotranspiration réelle mensuelles et annuelle en mm.
- DEFICIT : "water deficiency" mensuels et annuel (ETP - ETR lorsque ETP > ETR, les réserves en eau du sol étant épuisées).
- EXCEDENT : "water surplus" mensuels et annuel (partie de l'"excédent" P - ETR dépassant la réserve cumulée maximale en eau du sol).

### 3.3.2. Description du tableau de sortie Turc

La présentation des résultats obtenus par la méthode Turc est analysée ci-dessous, en prenant comme exemple un tableau-machine (voir fig. 6). Ce tableau comporte treize colonnes :

- douze colonnes correspondant aux différentes valeurs mensuelles,
  - une colonne (à l'extrême droite) correspondant aux valeurs annuelles,
- et douze lignes qui sont les suivantes :

---

(1) Ce coefficient mensuel d'humidité est un simple paramètre climatique indiquant un excédent d'eau lorsqu'il est positif, un déficit s'il est négatif.

TURC MENSUEL - EVAPOTRANSPIRATION ET BILAN HYDROLOGIQUE

Figure 6

BREST	ANNEE MOYENNE												
	JANV	FEV	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC	ANNEE
GRAND H	274.	288.	369.	410.	472.	480.	483.	444.	377.	337.	278.	262.	
IGA	250.	387.	584.	778.	925.	983.	942.	812.	627.	430.	275.	208.	
PETIT H	66.	85.	142.	189.	220.	209.	210.	207.	156.	120.	69.	56.	
IG	82.	140.	244.	362.	433.	442.	423.	380.	273.	172.	91.	65.	
TEMPERATURE	6.1	6.0	8.1	9.3	11.7	14.4	15.7	16.1	14.8	12.0	8.9	6.9	10.8
ETP	15.	20.	41.	63.	85.	96.	97.	89.	64.	40.	21.	14.	645.
PRECIPIT.	133.	96.	83.	69.	68.	56.	62.	80.	90.	104.	138.	150.	1129.
VAR.RESERV.	0.	0.	0.	0.	-17.	-40.	-35.	-8.	26.	64.	10.	0.	
RESV.UTILE	100.	100.	100.	100.	83.	43.	8.	0.	26.	90.	100.	100.	
DEFICIT	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	1.	0.	0.	0.	0.	1.
EXCEDENT	118.	76.	42.	6.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	107.	136.	485.
ETR	15.	20.	41.	63.	85.	96.	97.	88.	64.	40.	21.	14.	644.

- GRAND H : durée astronomique mensuelle du jour en heures par mois.
- IGA : énergie de la radiation qui atteindrait le sol si l'atmosphère n'existait pas, en petites calories par cm<sup>2</sup> de surface horizontale et par jour.
- PETIT H : durée d'insolation mesurée en heures par mois.
- IG :  $I_gA (0,18 + 0,62 \frac{h}{H})$ .
- TEMPERATURE : températures moyennes mensuelles et annuelle en °C.
- ETP : hauteurs d'évapotranspiration potentielle mensuelles et annuelle en mm.
- PRECIPIT. : précipitations mensuelles et annuelles en mm.
- VAR. RESERV. : variation des réserves mensuelles en eau du sol en mm.
- RESV. UTILE : réserves mensuelles en eau du sol en mm.
- DEFICIT : déficits en eau mensuels et annuel (ETP - ETR lorsque ETP > ETR, les réserves en eau du sol étant épuisées) en mm.
- EXCEDENT : surplus d'eau mensuels et annuel (partie de "l'excédent" P - ETR dépassant la réserve cumulée maximale en eau du sol) en mm.
- ETR : hauteurs d'évapotranspiration réelle mensuelles et annuelle en mm.

#### 4. BIBLIOGRAPHIE

ARLERY R., GARNIER M., LANGLOIS R. (1954) - Application des méthodes de THORNTWHAITE à l'esquisse d'une description agronomique du climat de la France.

La Météorologie, oct. déc. 1954, p. 345-367.

THORNTWHAITE C.W. (1948) - An approach toward a rational classification of climate.

The geographical Review, vol. XXXVIII, 1948, n° 1, p. 55-94.

TURC L. (1961) - Evaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle. Annales agronomiques, 1961, 12 (I), p. 13-49.