

NOTE SUR L'EVAPORATION DES PLANS D'EAU (BARRAGE, LAC, COURS D'EAU, CHOTT, SEBKHA, ETC.) EN ALGERIE

BOUTOUTAOU D. Laboratoire d'Exploitation et Valorisation des Ressources Naturelles en Zones Arides. Université
KASDI MERBAH Ouargla.
E-mail : boutoutaoudjamel@yahoo.fr

Résumé

De toutes les données climatologiques, l'évaporation des plans d'eau en Algérie ne figure pas dans les bulletins et les atlas climatologiques, publiés annuellement par l'office national de la météorologie. Faute de pouvoir préciser sa valeur chiffrée, on se borne le plus souvent à en donner une vague appréciation après une analyse sommaire de quelques éléments météorologiques (insolation, température etc.)

En hydrologie, l'évaporation présente un intérêt pratique évident, puisqu'elle est responsable des pertes de volumes d'eau (des barrages des lacs etc.) parfois considérables.

Dans cette étude on propose l'application d'une méthodologie de calcul de l'évaporation par des formules qui relient cette dernière aux éléments météorologiques

INTRODUCTION

L'établissement par exemple d'un bilan hydrique d'une réserve d'eau d'un barrage, d'un chott ou d'un lac exige la connaissance de l'évaporation. La valeur de cette dernière est très nécessaire aussi pour la conception des bassins de lagunage dans l'épuration des eaux usées.

En Algérie, la mesure de l'évaporation est confiée aux services de l'office national de la météorologie (ONM) et aux services de l'agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH). La détermination de la valeur de l'évaporation des plans d'eau en Algérie est effectuée donc à partir des stations météorologiques équipées de bacs d'évaporation de ces deux organismes (ONM et ANRH). En absence de ces bacs, elle est déterminée par analogie avec les plans d'eau qui sont toujours mesurés.

L'erreur liée à l'évaluation par analogie, peut atteindre des valeurs considérables (mauvais choix du plan d'eau analogue). Quant aux stations météorologiques (bacs d'évaporation), qui offrent de bons résultats, elles sont malheureusement limitées en nombre et elles ne couvrent que quelques régions du pays.

MATERIELS ET METHODES

Il existe plusieurs méthodes de calcul de l'évaporation. Les plus connues entre elle sont :

1- La méthode du bilan hydrique (cas d'une retenue d'un barrage)

La méthode du bilan hydrique est basée sur l'égalité de la recette et de la dépense du volume d'eau dans la retenue avec la prise en considération de la variation du stockage Tableau 1. L'évaporation en volume d'eau est déterminée par la relation suivante :

$$V_E = V_P + V_S + V_{ST} - V_{QS} - V_{QST} \pm \Delta V \quad (1)$$

Tableau 1.

Entrée (recette)	Sortie (dépense)
V_P - volume de pluie, reçu par la retenue, m ³ ; V_S - volume d'eau superficiel entrant dans la retenue, m ³ ; V_{ST} - volume d'eau souterrain entrant dans la retenue, (exfiltration), m ³	V_{QS} - volume d'eau évacué m ³ V_{QST} - volume d'eau souterrain sortant de la retenue (infiltration), m ³ ; V_E - volume d'eau évaporé de la surface de la retenue, m ³
$\pm \Delta V$ - stockage ou déstockage subi par la retenue, m ³ .	



Fig.1. Retenue d'un barrage

L'estimation de l'évaporation par cette méthode du bilan est très peu employée du fait de l'imprécision et de la difficulté d'effectuer des mesures de la plupart des composants de l'équation (1) en particulier les entrées et les sorties souterraines.

2- Méthode des bacs d'évaporation

Le phénomène de l'évaporation à partir des bacs d'évaporation figure 2 lui aussi basé sur la loi du bilan hydrique, avec l'absence totale des débits souterrains et des pertes par infiltration qui sont très difficile à estimer.



Figure 2. Bacs d'évaporation Classe « A » et Colorado

L'expression simplifiée du bilan hydrique d'un bac pourra se traduire comme suit :

$$E_{\text{Bac}} = \Delta H \pm P \quad (2)$$

Où :

E_{Bac} – évaporation du bac, mm;

P - pluie tombant sur le bac, mm;

ΔH - différence de cote du plan d'eau dans le bac entre deux mesures, mm.

Le passage de l'évaporation du bac à l'évaporation du plan d'eau se fait par multiplication des résultats de mesure sur le bac par le coefficient du bac :

$$E = K.E_{\text{Bac}} \quad (3)$$

Où

E – évaporation du plan d'eau, mm

K – coefficient du bac; (K= 0,7– 0.8, pour le bac Class A et Colorado)

E_{Bac} – évaporation mesurée sur le bac, mm

Il existe d'autres méthodes de calcul de l'évaporation des plans d'eau telle que la méthode du bilan énergétique et la méthode de diffusion turbulente. Quoique précises, ces deux méthodes n'ont été employées que dans des études exceptionnelles.

3- Méthode hydrométéorologique

La méthode hydrométéorologique est la méthode la plus employée pour la détermination de l'évaporation des étendues d'eau. Elle est basée sur la loi physique de Dalton. Les valeurs numériques de cette méthode sont des données standards qui sont toujours disponibles dans les atlas et les bulletins météorologiques de l'ONM. (Office National de la Météorologie).

Le matériel nécessaire qui a permis l'établissement de telle méthode sont les données d'observation (5-10 années d'observation) systématique disponibles aux niveaux des stations météorologiques qui sont implantées près des sites des barrages réservoirs algériens (barrage Meffrouche, Gargar, Hamiz, Guenitra, Bakhada, Keddara, Beni Bahdel, barrage Sidi Mohamed Ben Aouda et la station expérimentale d'El Abiod Sidi Cheikh).

La formule de calcul de l'évaporation proposée (BOUTOUTAOU D., 1995) est la suivante :

$$E = 0,233 n (e_s - e_a) (1 + 0,39 V) \quad (6)$$

où :

E : évaporation, mm ;

e_s - tension de vapeur d'eau saturante à la température de la surface évaporante, millibar;

e_a - tension de vapeur d'eau dans l'atmosphère, millibar;

($e_s - e_a$) - déficit de saturation dans l'atmosphère, millibar;

V - vitesse du vent, m/s;

n - nombre de jours du mois considéré. (pour janvier n = 31, février n = 28 etc. Pour les calculs journaliers n = 1)

RESULTAS ET DISCUSSION

Les valeurs de l'évaporation calculées par la méthode (6) proposée sont comparées à celles mesurées sur plusieurs barrages en exploitation situés dans les différentes zones géographiques et climatiques de l'Algérie.

La comparaison montre que la différence entre les valeurs calculées par la formule (6) et mesurées au niveau des différents barrages ne dépasse pas $\pm 25\%$. L'erreur systématique de calcul n'apparaît pas. Cette différence n'est pas tout a fait homogène (un petit peu élevée en hiver et en automne et faible en printemps et en été) durant l'année. Quelques comparaisons choisies arbitrairement sont présentées dans les figures 3, 4, 5 et 6

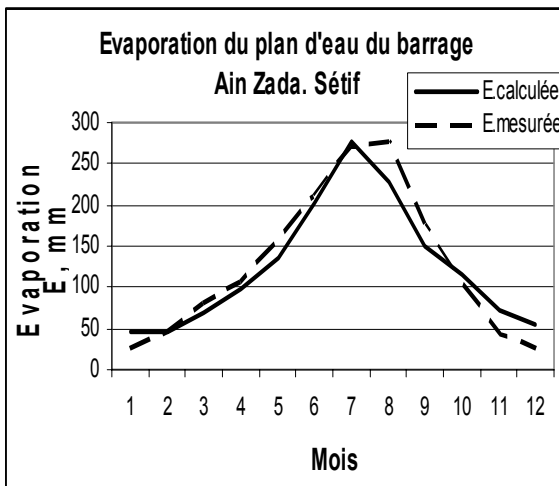


Figure 3. Évaporation au barrage Ain Zada

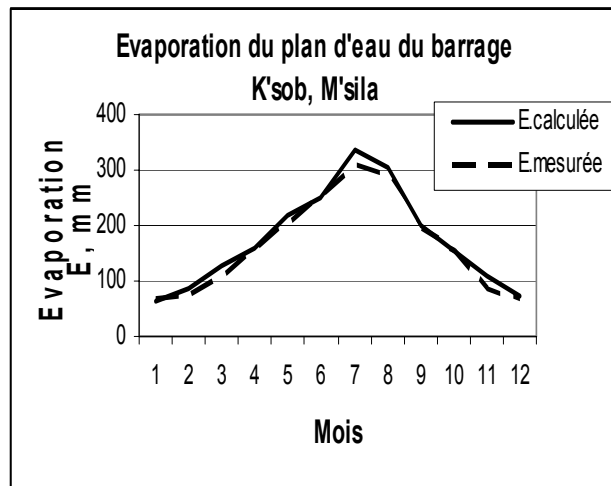


Figure 4. Évaporation au barrage K'sob

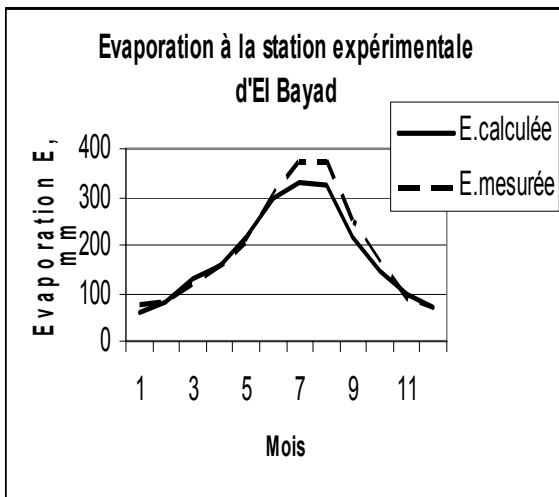


Figure 5. Évaporation à la St. d'El Bayad

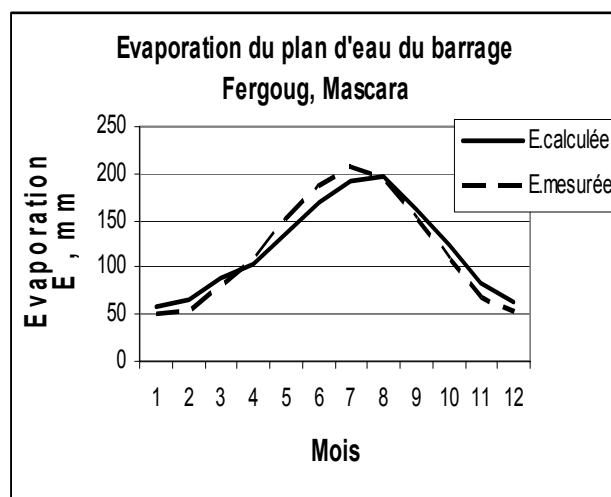


Figure 6. Évaporation au barrage Fergoug

Application de la méthode de calcul de l'évaporation des plans d'eau en Algérie.

On se propose de calculer la valeur moyenne mensuelle et annuelle du plan d'eau d'un futur barrage réservoir implanté dans la région de Biskra.

Données de base

1. Les données météorologiques nécessaires au calcul de l'évaporation sont empruntées de l'atlas climatologique (wilaya de Biskra) de l'ONM (Office National de la Météorologie). Ces données sont les suivantes (tableau 2) :

Tableau 2.

Mois	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
caractéristiques												
Température de l'air, t_a , °C.	11.7	13.6	16.4	19.8	24.3	30.2	33.4	32.5	28.0	21.7	15.8	12.5
Tension de vapeur, e_a mb	7.2	7.8	7.5	8.4	1.0	11.7	12.1	13.7	14.6	12.0	9.6	8.0
Vitesse du vent, V m/s	3.6	3.9	4.4	4.4	4.9	4.2	3.5	3.5	3.2	3.2	3.2	3.3

NB : t_a , e_a et V – sont des valeurs moyennes mensuelles (1975-1985)

Solution :

La température de la surface évaporante [température de l'eau (t_e), nécessaire pour la détermination de la tension de vapeur d'eau saturante (e_s)] ne figure pas dans les Atlas climatologiques. Elle peut être déterminée en fonction de la température de l'air (t_a) et la tension de vapeur d'eau de l'atmosphère (e_a), tableau 3 en utilisant l'abaque donnée en annexe 1, et par conséquent la tension de vapeur d'eau saturante (e_s) par la table donnée en annexe 2. (BOUTOUTAOU D., 1995). Un exemple de calcul pour le mois de janvier est donné sur l'abaque pour déterminer « t_e » et à la fin de table pour déterminer « e_s »

Tableau 3.

Mois	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Caractéristiques												
Température de l'air, t_a , °C.	11.7	13.6	16.4	19.8	24.3	30.2	33.4	32.5	28.0	21.7	15.8	12.5
Tension de vapeur d'eau e_a , mb.	7.2	7.8	7.5	8.4	10.0	11.7	12.1	13.7	14.6	12.0	9.6	8.0
Température de l'eau, t_e , °C.	11.1	13.0	14.4	17.6	21.0	25.8	29.4	28.8	24.9	20.4	14.5	12.4
Tension de vapeur saturante e_s , mb.	13.2	15.0	16.4	20.1	24.9	33.2	41.0	39.6	31.5	24.0	16.5	14.4

L'évaporation du plan d'eau de la future retenue est donnée par la formule (6) :

$$E = 0,233 n (e_s - e_a) (1 + 0,39 V)$$

Le résultat de calcul est récapitulé dans le tableau 4.

Tableau 4.

Mois	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	année
caractéristiques													
n, jours	31	28.5	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	---
e_s , mb	13.2	15.0	16.4	20.1	24.9	33.2	41.0	39.6	31.5	24.0	16.5	14.4	---
e_a , mb	7.2	7.8	7.5	8.4	10.0	11.7	12.1	13.7	14.6	12.0	9.6	8.0	---
$(e_s - e_a)$, mb	6.0	7.2	8.9	11.7	14.9	21.5	28.9	25.9	16.9	12.0	6.9	6.4	---
V , m/s	3.6	3.9	4.4	4.4	4.9	4.2	3.5	3.5	3.2	3.2	3.2	3.3	---
E , mm	104	120	174	222	313	396	493	442	265	195	108	106	2938

Il est intéressant de comparer les valeurs de l'évaporation calculées par la formule (6) à celles observées au barrage Foug El Gherza situé dans la wilaya de Biskra. Tableau 4.

Tableau 4

Mois	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Année
caractéristiques													
Evaporation observée, Eobs (barrage Foug El Gherza)	88	110	170	229	313	375	443	413	230	210	121	92	2794
Evaporation calculée, Ecal (formule (6))	104	120	174	222	313	396	493	442	265	195	108	106	2938
Erreur, $(E_{cal} - E_{ob}) / E_{obs} \%$	18	9	2	-3	0	6	11	7	13	-7	-11	15	5%

Les valeurs de l'évaporation calculées par la méthode proposée (6) ne s'écartent pas sensiblement aux valeurs de l'évaporation mesurées au barrage Foug El Gherza à Biskra.

Détermination de l'évaporation par le déficit de saturation de l'air « D »

Généralement, le choix d'une méthode de calcul d'une caractéristique hydrologique est lié à la disponibilité des données de mesure ou d'observation exigée par la méthode choisie. Parfois les données de quelques éléments météorologiques sont manquantes en particulier la donnée de la tension de vapeur d'eau « ea » ou bien elle peut exister sous forme d'humidité relative « H » en %. L'évaporation du plan d'eau dans ce cas peut-être déterminée à partir du déficit de saturation de l'air « D » (BOUTOUTAOU D., 1995) :

Pour le nord de l'Algérie :

$$E = 0.342 n D^{0.80} (1 + 0.39 V) \quad (7)$$

Pour le sud de l'Algérie: (zones arides et semi-arides)

$$E = 0.403 n D^{0.73} (1 + 0.39 V) \quad (8)$$

E – évaporation du plan d'eau, mm;

n - nombre de jours du mois considéré (n =30 ou 31 selon le mois pour les calculs mensuels et n = 1 pour les calculs journaliers) ;

V- vitesse du vent, (moyenne mensuelle) m/s ;

D – déficit de saturation de l'air, mb (millibars), donné par la relation suivante :

$$D = 0.0632 (H-100) e^{0.0632 (t)}$$

- H – moyenne mensuelle de l'humidité de l'air, % ;

- t – moyenne mensuelle de la température de l'air °C

Exemple de calcul

Calculer les valeurs mensuelle et annuelle de l'évaporation du plan d'eau de la région de Oued Souf (par la formule (8), pour les zones arides et semi-aride)

Les données nécessaires au calcul (Moyenne de la période 1967 à 1995) sont:

1- La température moyenne mensuelle de l'air (t) en °C ;

2- L'humidité moyenne mensuelle de l'air (H) en % ;

3- La vitesse du vent moyenne mensuelle (V) en m/s

Le détail de calcul est donné dans le tableau 5. :

Tableau 5.

Caractéristique	jan	fev	mar	avr	mai	juin	juil	aout	sep	oct	nov	dec	année
Nombre de jours du mois	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	*
température de l'air t, °C	10	13	16	20	25	30	32	33	28	22	16	11	*
Humidité de l'air H, %	65	58	51	44	39	36	32	35	45	53	61	68	*
déficit de saturation D, mb	4	6	9	12	19	27	33	32	21	12	7	4	*
vitesse du vent V, m/s	3	3	4	4	5	5	4	2	2	2	2	2	*
Evaporation calculée E, mm	71	95	143	197	291	382	380	304	222	147	92	61	2386

La valeur annuelle est de $E = 2386$ mm, représentant la somme des valeurs mensuelles

CONCLUSION

La construction et l'exploitation d'un barrage réservoir exige la connaissance de l'évaporation de l'eau en surface libre qui intervient dans le calcul de la régularisation des apports pour le dimensionnement du barrage et dans les calculs du bilan hydrique de la retenue pendant l'exploitation. L'évaluation de l'évaporation par analogie, peut atteindre des valeurs considérables (mauvais choix du réservoir analogue). Quant aux stations météorologiques, qui offrent de bons résultats, elles sont malheureusement limitées en nombre et elles ne couvrent que quelques régions du pays. Pour éluder ces inconvénients, on propose l'application des formules (6), (7) et (8) présentées ci-dessus.

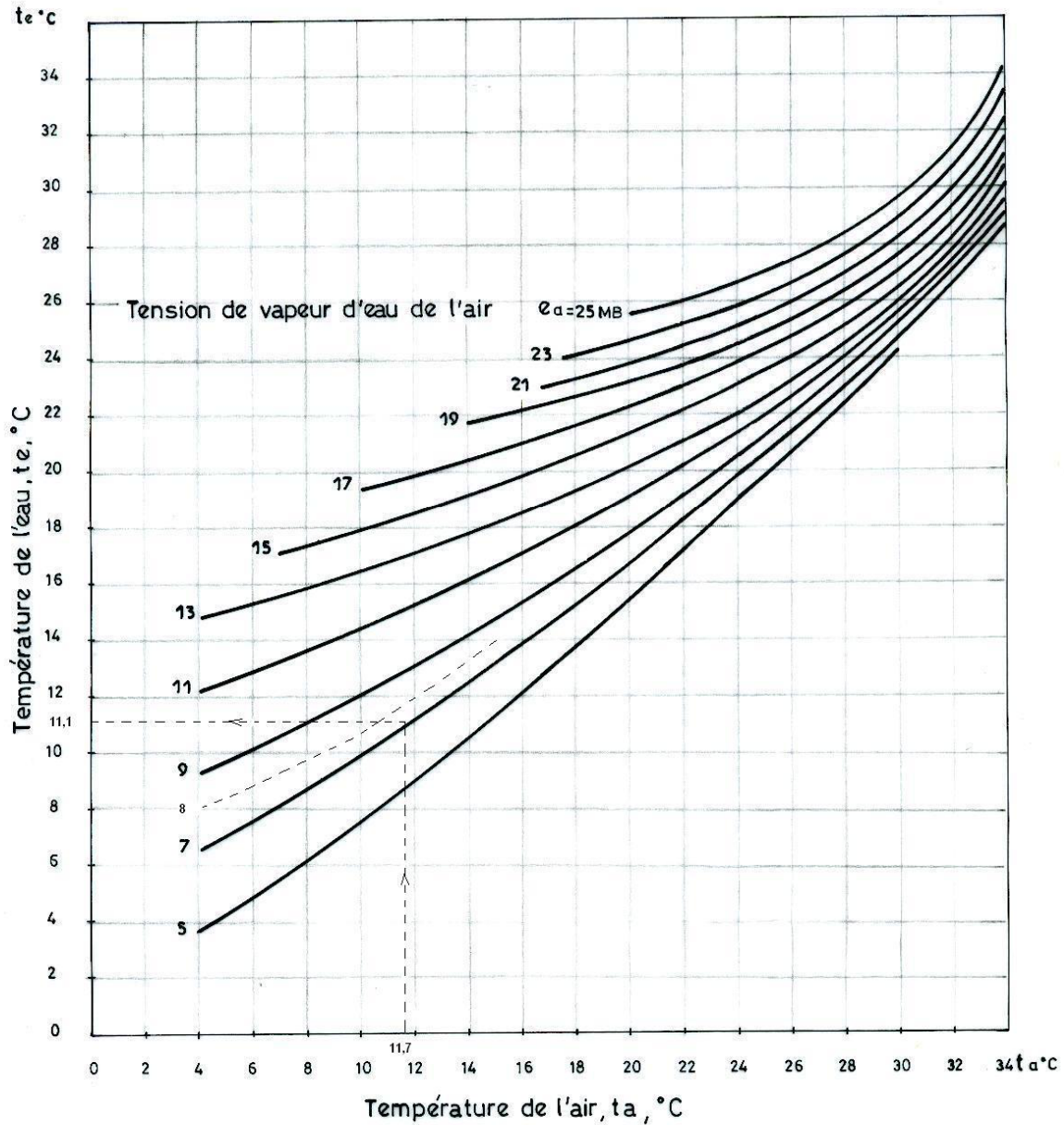
D'application simple, ces méthodes sont mises à la disposition des ingénieurs (hydrologues, hydrauliciens, météorologues, agronomes, etc...), des agents d'exploitation des barrages et des étudiants des universités et des écoles spécialisées.

BIBLIOGRAPHIE

1. BOUTOUTAOU Djamel « Evaporation des surfaces des plans d'eau des retenues et barrages en Algérie » Thèse de Doctorat Ph.D en Sciences Techniques. Institut d'Hydraulique. 200 p. 1995. Moscou.
2. BOUTOUTAOU Djamel « Méthode de calcul de la tension de vapeur d'eau saturante par la température et la tension de vapeur d'eau de l'air aux stations météorologiques » Annales de l'Institut de Recherche Agro-Industrie et Information (NIITEI). N° 150 BC-1995. Moscou
3. CONSTANTINOV A.P. « Evaporation dans la nature » Ed. Hydrométéo. Leningrad. Russie. 1963 (en russe).

Annexe 1

Abaque pour la détermination de la température de l'eau (t_e) en fonction de la tension de vapeur d'eau (e_a) et de la température de l'air (t_a)



Exp: $t_a = 11,7^\circ\text{C}$ } $t_e = 11,1^\circ\text{C}$
 $e_a = 7,2 \text{ mb}$

Etabli par D.Boutoutaou

Annexe 2**Tension de vapeur d'eau saturante (e_s) en millibar en fonction de la température superficielle de l'eau (t_e).**

Température de l'eau (t_e), °C	0,0	<u>0,1</u>	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	6,1	6,2	6,2	6,2	6,3	6,3	6,4	6,4	6,5	6,5
1	6,6	6,6	6,7	6,7	6,8	6,8	6,9	6,9	7,0	7,0
2	7,0	7,1	7,2	7,2	7,3	7,3	7,4	7,4	7,5	7,5
3	7,6	7,6	7,7	7,7	7,8	7,8	7,9	8,0	8,0	8,1
4	8,1	8,2	8,2	8,3	8,4	8,4	8,5	8,5	8,6	8,7
5	8,7	8,8	8,8	8,9	9,0	9,0	9,1	9,2	9,2	9,3
6	9,4	9,4	9,5	9,5	9,6	9,7	9,7	9,8	9,9	10,0
7	10,0	10,1	10,2	10,2	10,3	10,4	10,4	10,5	10,6	10,6
8	10,7	10,8	10,9	11,0	11,0	11,1	11,2	11,2	11,3	11,4
9	11,5	11,6	11,6	11,7	11,8	11,9	12,0	12,0	12,1	12,2
10	12,3	12,4	12,4	12,5	12,6	12,7	12,8	12,9	13,0	13,0
<u>11</u>	13,1	<u>13,2</u>	13,3	13,4	13,5	13,6	13,7	13,8	13,8	13,9
12	14,0	14,1	14,2	14,3	14,4	14,5	14,6	14,7	14,8	14,9
13	15,0	15,1	15,2	15,3	15,4	15,5	15,6	15,7	15,8	15,9
14	16,0	16,1	16,2	16,3	16,4	16,5	16,6	16,7	16,8	17,0
15	17,1	17,2	17,3	17,4	17,5	17,6	17,7	17,8	18,0	18,1
16	18,2	18,3	18,4	18,5	18,7	18,8	18,9	19,0	19,1	19,3
17	19,4	19,5	19,6	19,8	19,9	20	20,1	20,3	20,4	20,5
18	20,6	20,8	20,9	21,0	21,2	21,3	21,4	21,6	21,7	21,8
19	22,0	22,1	22,3	22,4	22,5	22,7	22,8	23,1	23,1	23,2
20	23,4	23,5	23,7	23,8	24	24,1	24,3	24,4	24,6	24,7
21	24,9	25,0	25,2	25,4	25,5	25,7	25,8	26	26,1	26,3
22	26,5	26,6	26,8	26,9	27,1	27,3	27,4	27,6	27,8	27,9
23	28,1	28,3	28,5	28,6	28,8	29,0	29,2	29,3	29,5	29,7
24	29,9	30,0	30,2	30,4	30,6	30,8	31,0	31,1	31,3	31,5
25	31,7	31,9	32,1	32,3	32,5	32,7	32,9	33,0	33,2	33,4
26	33,6	33,8	34	34,2	34,4	34,6	34,9	35,1	35,3	35,5
27	35,7	35,9	36,1	36,3	36,5	36,8	37,0	37,2	37,4	37,6
28	37,8	38,1	38,3	38,5	38,7	39,0	39,2	39,4	39,6	39,9
29	40,1	40,3	40,6	40,8	41,0	41,3	41,5	41,8	42,0	42,2
30	42,5	42,7	43	43,2	43,5	43,7	44,0	44,2	44,5	44,7
31	45,0	45,2	45,5	45,8	46,0	46,3	46,5	46,8	47,1	47,3
32	47,5	47,9	48,1	48,4	48,7	49	49,2	49,5	49,8	50,1
33	50,4	50,6	50,9	51,2	51,5	51,8	52,1	52,4	52,7	53,0
34	53,3	53,6	53,8	54,2	54,4	54,8	55,1	55,4	55,7	56,0
35	56,3	56,6	56,9	57,2	57,6	57,9	58,2	58,5	58,8	59,2
36	59,5	59,8	60,1	60,5	60,8	61,1	61,5	61,8	62,2	62,5
37	62,8	63,2	63,5	63,9	64,2	64,6	64,9	65,3	65,6	66,0
38	66,3	66,7	67	67,4	67,8	68,2	68,5	68,9	69,3	69,3
39	70,0	70,4	70,8	71,1	71,5	71,9	72,3	72,7	73,1	73,5
40	73,8	74,2	74,6	75	75,4	75,8	76,2	76,6	77,1	77,5
41	77,9	78,3	78,7	79,1	79,5	80,0	80,4	80,8	81,2	81,7
42	82,1	82,5	83,0	83,4	83,8	84,3	84,7	85,2	85,6	86,1
43	86,5	87	87,4	87,9	88,3	88,8	89,2	89,7	90,2	90,6
44	91,1	91,6	92,1	92,6	93	93,5	94,0	94,5	95,0	95,5
45	96,0	96,4	96,9	97,4	97,9	98,4	99,0	99,4	100,0	100,5
46	101,0	101,5	102,0	102,6	103,1	103,6	104,1	104,6	105,2	105,7
47	106,3	106,8	107,3	107,9	108,4	109,0	109,5	110,1	110,6	111,2
48	111,8	112,3	112,9	113,5	114,0	114,6	115,2	115,8	116,3	116,9
49	117,5	118,1	118,7	119,3	119,9	120,5	121,1	121,7	122,3	122,9
50	123,5	124,1	124,7	125,4	126,0	126,6	127,2	127,9	128,5	129,1

Exemple : $t_e = 11.1 \text{ }^\circ\text{C}$ \longrightarrow $e_s = 13.2 \text{ mb}$ (l'exemple du mois de janvier.)