

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences Appliquées

Département de Génie civil et Hydraulique

Année : 2021/2022



N° d'enregistrement :

/...../...../...../...../

THESE

En vue de l'obtention du diplôme de Doctorat Sciences

En Construction Hydraulique et Aménagement

**ETUDE DE L'EVAPORATION DES EAUX DE BARRAGES RESERVOIRS
EN REGIONS ARIDES**

Présentée Par :

MEZIANI Assia

KERIKER ABDELOUAHED	Professeur	U.K.M Ouargla	Président
REMINI BOUALEM	Professeur	U.S.D Blida	Promoteur
BOUTOUTAOU DJAMEL	Professeur	U.K.M Ouargla	Co-Promoteur
SAGGAI SOFIANE	Professeur	U.K.M Ouargla	Examineur
AMMARI ABDELHADI	MCA	E.N.S.H Blida	Examineur
MAROUF NADIR	MCA	U.L.B.M Oum El-Bouaghi	Examineur

Remerciements

Je crois vraiment que n'importe quelle recherche scientifique est accomplie grâce à des gens qui nous aident aux moments où on ne voit pas clairement les résultats finaux surtout le début de cette recherche. Malgré cela, ils nous ont orienté vers le bon chemin et ils nous ont montré les grandes lignes à les confronter défois on échoue et défois on réussit.

*Tout d'abord je remercie **Allah** le tout puissant de me vouloir donner la santé, la volonté et la patience de finaliser cette modeste recherche après des années de travail malgré quelques obstacles que je pense nul n'a atteint un objectif sans passer à des échecs.*

*Je tiens à témoigner toute ma reconnaissance à mon directeur de thèse **Pr. Remini Boualem** et Co-Directeur **Pr. Boutoutaou Djamel** pour leurs critiques comme pour leurs encadrements et leurs orientations et à leurs bienveillances de finaliser cette modeste recherche avec des bons résultats. Je ne veux pas juger les résultats de cette recherche mais je pense qu'une bonne recherche est celle qui aboutit à des résultats positifs ou négatifs suivi d'un plan futur pour l'améliorer ou bien l'utiliser comme référence.*

*Je tiens à remercier toutes personnes qui travaillent au service de l'**ANBT** « Agence nationale des barrages et transfert », Barrage Fontaine des Gazelles, Barrages Foug El-Gherza, Barrage Foug El-Guiness pour leurs aides et leurs conseils. J'adresse mes sincères remerciements aux **directeurs de ces barrages** qui m'ont simplifié la tâche de la collection d'autres données aux niveaux des stations climatologiques de ces barrages.*

*Je tiens aussi à ajouter à cette page de remerciement le National Oceanic and Atmospheric Administration-**NOAA**- pour leurs réponses rapides sur mes E-mails concernant les données du rayonnement solaire et de mettre en ligne ces données sans frais pour un nombre d'années suffisant pour ma recherche et selon les données géographiques de l'endroit où se situent mes régions d'étude.*

Je tiens à exprimer ma très grande appréciation à des personnes que je les connais grâce à leurs recherches publiées sur le net qu'étaient scientifiquement très riches et que j'avais l'honneur de citer des parties de leurs travaux comme référence dans cette recherche. Ces personnes qui ont mis non seulement leurs articles, leurs rapports, leurs mémoires et leurs thèses en ligne sans frais et à la portée de tous les chercheurs mais aussi ils ont partagé leurs idées exceptionnelles et créatives aux niveaux académiques et professionnels. Je l'avoue, sans leurs publications j'aurais un manque des informations soit sur le plan national ou international.

*Je tiens à partager un grand remerciement aux collègues du travail qui m'ont donné quelques recommandations ou suggestions et dé fois des critiques pour mieux améliorer ma thèse et pour qu'elle soit en premier lieu au porté des étudiants universitaires et qu'elle soit une thèse détaillée compréhensible et sans complications à tous les niveaux. Je cite avec honneur : **M^{me} Bousbai Brahim Aida, Dr. Miloudi abd El-Monaim et Dr. Sayeh Lamabrek**. Je peux dire que j'ai apprécié énormément tout ce qu'ils m'ont donné au niveau académique ou professionnel.*

*Je tiens à remercier **les membres de jury** qui ont accepté de juger le contenu de cette thèse et de donner leurs temps pour la lecture du contenu et de mentionner des remarques ou de critiques qu'ils m'adresseront le jour de la soutenance afin d'améliorer le côté scientifique de ma recherche dans le futur.*

Enfin, je voudrais exprimer ma gratitude à toute personne qui va prendre cette thèse comme référence dans leur recherche pour citation ou amélioration de ce qu'a été proposé dans cette thèse ou bien pour envisager d'autres solutions scientifiques de tel sorte le bénéficiaire est bien la science en Algérie et à travers le monde.

Liste des tableaux

	Pages
CHAPITRE I. CARACTERISTIQUES GENERALES DES REGIONS ARIDES/SEMI ARIDES	
Tableau I. 1. Indice d'aridité bioclimatique des écosystèmes secs par UNESCO	8
Tableau I. 2. Superficie par étage bioclimatique en Algérie	10
Tableau I. 3. Les potentialités d'eau superficielles dans les cinq régions hydrographiques	17
CHAPITRE II : ANALYSE DES PARAMETRES CLIMATIQUES DES REGIONS D'ETUDE DES CINQ BARRAGES	
Tableau II. 1. Les barrages algériens en exploitation	24
Tableau II. 2. Variation mensuelle de température et de précipitation de la région de Béchar (2000-2019)	28
Tableau II. 3. Les valeurs T_{moy} , e_a et T_{eau} – sont des valeurs moyennes mensuelles (2000-2019)	29
Tableau II. 4. Classification des vents de la région de Béchar selon l'échelle de Beaufort	29
Tableau II. 5. Humidité relative et Pression de vapeur de la région de Béchar (2000-2019)	30
Tableau II. 6. Variation mensuelle de température et de précipitation de la région de Biskra (2000-2019)	38
Tableau II. 7. Les valeurs T_{moy} , e_a et T_{eau} – sont des valeurs moyennes mensuelles (2000-2019)	38
Tableau II. 8. Classification des vents de la région de Biskra selon l'échelle de Beaufort	39
Tableau II. 9. Humidité relative et Pression de vapeur de la région de Biskra (2000-2019)	39
Tableau II. 10. Variation mensuelle de température et de précipitation de la région d'El-Bayadh (2000-2019)	48
Tableau II. 11. Les valeurs T_{moy} , e_a et T_{eau} – sont des valeurs moyennes mensuelles (2000-2019)	48
Tableau II. 12. Classification des vents de la région d'El-Bayadh selon l'échelle de Beaufort	49
Tableau II. 13. Humidité relative et pression de vapeur de la région d'El-Bayadh (2000-2019)	49
Tableau II. 14. Variation mensuelle de température et de précipitation de la région de Biskra (2000-2019)	57
Tableau II. 15. Les valeurs T_{moy} , e_a et T_{eau} – sont des valeurs moyennes mensuelles (2000-2019)	57
Tableau II. 16. Classification des vents de la région de Khenchela selon l'échelle de Beaufort	58
Tableau II. 17. Humidité relative et la température de l'air de la région de Khenchela (2000-2019)	58
Tableau II. 18. Calcul de l'indice de Martonne pour les quatre régions étudiées (2000-2019)	64
Tableau II. 19. Les valeurs d'indices d'aridité mensuels de Martonne (2000-2019)	65
Tableau II. 20. Les Indices d'Emberger pour les quatre régions d'études	66
CHAPITRE III : METHODES INDIRECTES D'ESTIMATION DE L'EVAPORATION DES PLANS D'EAU	
Tableau III. 2. 2. 1/2/3/4/5. Résultats obtenus par le modèle de Penman (1948) –Barrages : Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foug El-Gherza ; Brézina et Foug El-Guiss	74
Tableau III. 2. 2. 6/7/8/9/10. Résultats obtenus par le modèle de Slatyer-McIlroy (1961) – Barrages : Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foug El-Gherza ; Brézina et Foug El-Guiss	76
Tableau III. 2. 2. 11/12/13/14/15. Résultats obtenus par le modèle de Priestley–Taylor (1972) - Barrages : Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foug El-Gherza ; Brézina et Foug El-Guiss	78

Tableau III. 2. 2. 16/17/18/19/20. Résultats obtenus par le modèle de Stewart-Rouse (1976) – Barrages : Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foug El-Gherza ; Brézina et Foug El-Guiss	80
Tableau III. 2. 2. 21/22/23/24/25. Résultats obtenus par le modèle de DeBruin (1978) – Barrages : Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foug El-Gherza ; Brézina et Foug El-Guiss	82
Tableau III. 2. 2. 26/27/28/29/30. Résultats obtenus par le modèle de DeBruin-Keijman (1979) – Barrages : Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foug El-Gherza ; Brézina et Foug El-Guiss	84
Tableau III. 2. 2. 31/32/33/34/35. Résultats obtenus par le modèle de Brutsaert-Stricker (1979) – Barrages : Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foug El-Gherza ; Brézina et Foug El-Guiss	86
Tableau III. 2. 2. 36/37/38/39/40. Résultats obtenus par le modèle de Penman-Brutsaert (1982) – Barrages : Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foug El-Gherza ; Brézina et Foug El-Guiss	88
Tableau III. 2. 2. 41/42/43/44/45. Résultats obtenus par le modèle de Penman-Monteith FAO (1998) – Barrages : Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foug El-Gherza ; Brézina et Foug El-Guiss	90
Tableau III. 1. Résultats statistiques des modèles sélectionnés (Méthodes combinatoires d'évaporation et l'évaporation mesurée (référence) Période (2000-2019)	93
Tableau III. 2. 3. 1/2/3/4/5. Résultats obtenus par le modèle de Kuzmin (1957) - Barrages : Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foug El-Gherza ; Brézina et Foug El-Guiss	99
Tableau III. 2. 3. 6/7/8/9/10. Résultats obtenus par le modèle d'Ivanov (1970) - Barrages : Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foug El-Gherza ; Brézina et Foug El-Guiss	101
Tableau III. 2. 3. 11/12/13/14/15. Résultats obtenus par le modèle de Meyer-1 (1915) - Barrages : Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foug El-Gherza ; Brézina et Foug El-Guiss	103
Tableau III. 2. 3. 16/17/18/19/20. Résultats obtenus par le modèle de Roher (1931) - Barrages : Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foug El-Gherza ; Brézina et Foug El-Guiss	105
Tableau III. 2. 3. 21/22/23/24/25. Résultats obtenus par le modèle de Penman (1948) - Barrages : Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foug El-Gherza ; Brézina et Foug El-Guiss	107
Tableau III. 2. 3. 26/27/28/29/30. Résultats obtenus par le modèle de Konstantinov (1968) - Barrages : Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foug El-Gherza ; Brézina et Foug El-Guiss	109
Tableau III. 2. 3. 31/32/33/34/35. Résultats obtenus par le modèle de Dalton (1802) - Barrages : Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foug El-Gherza ; Brézina et Foug El-Guiss	111
Tableau III. 2. 3. 36/37/38/39/40. Résultats obtenus par le modèle de Mahringer (1970) - Barrages : Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foug El-Gherza ; Brézina et Foug El-Guiss	113
Tableau III. 2. 3. 41/42/43/44/45. Résultats obtenus par le modèle de Vikulina (1979) - Barrages : Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foug El-Gherza ; Brézina et Foug El-Guiss	115
Tableau III. 2. 3. 46/47/48/49/50. Résultats obtenus par le modèle de WMO (1966) - Barrages : Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foug El-Gherza ; Brézina et F. El-Guiss	117
Tableau III. 2. 3. 51/52/53/54/55. Résultats obtenus par le modèle de Trabert (1896) - Barrages : Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foug El-Gherza ; Brézina et F. El-Guiss	119

Tableau III. 2. 3. 56/57/58/59/60. Résultats obtenus par le modèle de Meyer-2 (1926) - Barrages : Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foug El-Gherza ; Brézina et Foug El-Guiss	121
Tableau III. 2. 3. 61/62/63/64/65. Résultats obtenus par le modèle d'Oudin-1 (2005) - Barrages : Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foug El-Gherza ; Brézina et Foug El-Guiss	123
Tableau III. 2. 3. 66/67/68/69/70. Résultats obtenus par le modèle de Rayan-Harleman (1973) - Barrages : Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foug El-Gherza ; Brézina et Foug El-Guiss	125
Tableau III. 2. 3. 71/72/73/74/75. Résultats obtenus par le modèle de Horton (1917) - Barrages : Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foug El-Gherza ; Brézina et Foug El-Guiss	127
Tableau III. 2. 3. 76/77/78/79/80. Résultats obtenus par le modèle de Brockamp-Wenner (1963) - Barrages : Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foug El-Gherza ; Brézina et Foug El-Guiss	129
Tableau III. 2. 3. 81/82/83/84/85. Résultats obtenus par le modèle de Shuliakovski (1969) - Barrages : Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foug El-Gherza ; Brézina et Foug El-Guiss	131
Tableau III. 2. 3. 86/87/88/89/90. Résultats obtenus par le modèle de Harbeck et al (1958) - Barrage Djorf-Torba- Béchar	133
Tableau III. 2. Résultats statistiques des modèles de transfert de masse d'évaporation sélectionnés et l'évaporation mesurée (référence)	135
Tableau III. 2. 4. 1/2/3/4/5. Résultats obtenus par le modèle Jensen-Haise (1963) - Barrages : Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foug El-Gherza ; Brézina et F. El-Guiss	145
Tableau III. 2. 4. 6/7/8/9/10. Résultats obtenus par le modèle de Stephens-Stewart (1963) - Barrages : Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foug El-Gherza ; Brézina et Foug El-Guiss	147
Tableau III. 2. 4. 11/12/13/14/15. Résultats obtenus par le modèle de Makkink (1967) - Barrages : Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foug El-Gherza ; Brézina et Foug El-Guiss	149
Tableau III. 2. 4. 16/17/18/19/20. Résultats obtenus par le modèle de McGuinness-Bordne (1972) - Barrages : Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foug El-Gherza ; Brézina et Foug El-Guiss	154
Tableau 2. 4. 21/22/23/24/25. Résultats obtenus par le modèle de Caprio (1974) - Barrages III.: Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foug El-Gherza ; Brézina et Foug El-Guiss	153
Tableau III. 2. 4. 26/27/28/29/30. Résultats obtenus par le modèle de Doorenbos-Pruitt (1977) Barrages : Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foug El-Gherza ; Brézina et Foug El-Guiss	155
Tableau III. 2. 4. 31/32/33/34/35. Résultats obtenus par le modèle de Hargreaves- Samani (1982) - Barrages : Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foug El-Gherza ; Brézina et Foug El-Guiss	157
Tableau III. 2. 4. 36/37/38/39/40. Résultats obtenus par le modèle de Ritchie (1990) - Barrages : Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foug El-Gherza ; Brézina et Foug El-Guiss	159
Tableau III. 2. 4. 41/42/43/44/45. Résultats obtenus par le modèle d'Allen (1993) - Barrages : Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foug El-Gherza ; Brézina et F. El-Guiss	161
Tableau III. 2. 4. 46/47/48/49/50. Résultats obtenus par le modèle d'Abtew (1996) - Barrages : Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foug El-Gherza ; Brézina et Foug El-Guiss	163

Tableau III. 2. 4. 51/52/53/54/55. Résultats obtenus par le modèle de Droogers-Allen (2002) - Barrages : Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foug El-Gherza ; Brézina et Foug El-Guiss	165
Tableau III. 2. 4. 56/57/58/59/60. Résultats obtenus par le modèle de d'Irmak et <i>al</i> -1 (2003) - Barrages : Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foug El-Gherza ; Brézina et Foug El-Guiss	167
Tableau III. 2. 4. 61/62/63/64/65. Résultats obtenus par le modèle d'Irmak et <i>al</i> -2 (2003) - Barrages : Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foug El-Gherza ; Brézina et Foug El-Guiss	169
Tableau III. 2. 4. 66/67/68/69/70. Résultats obtenus par le modèle d'Oudin-2(2005) - Barrages : Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foug El-Gherza ; Brézina et Foug El-Guiss	171
Tableau III. 2. 4. 71/72/73/74/75. Résultats obtenus par le modèle de Trajkovic (2007) - Barrages : Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foug El-Gherza ; Brézina et Foug El-Guiss	173
Tableau III. 2. 4. 76/77/78/79/80. Résultats obtenus par le modèle de Tabari-Talae (2011) - Barrages : Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foug El-Gherza ; Brézina et Foug El-Guiss	175
Tableau III. 2. 4. 81/82/83/84/85. Résultats obtenus par le modèle de Berti et <i>al</i> (2014) - Barrages : Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foug El-Gherza ; Brézina et Foug El-Guiss	177
Tableau III. 2. 4. 86/87/88/89/90. Résultats obtenus par le modèle de Dorji et <i>al</i> (2016) - Barrages : Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foug El-Gherza ; Brézina et Foug El-Guiss	179
Tableau III. 3. Résultats statistiques des modèles sélectionnés d'évaporation basés sur le rayonnement solaire et l'évaporation mesurée	181
Tableau III. 2. 5. 1/2/3/4/5. Résultats obtenus par le modèle de Blaney-Criddle (1959) - Barrages : Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foug El-Gherza ; Brézina et Foug El-Guiss	189
Tableau III. 2. 5. 6/7/8/9/10. Résultats obtenus par le modèle de Papadakis (1961) - Barrages : Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foug El-Gherza ; Brézina et Foug El-Guiss	191
Tableau III. 2. 5. 11/12/13/14/15. Résultats obtenus par le modèle de Hamon (1961) - Barrages : Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foug El-Gherza ; Brézina et Foug El-Guiss	193
Tableau III. 2. 5. 16/17/18/19/20. Résultats obtenus par le modèle de Hamon (1963) - Barrages : Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foug El-Gherza ; Brézina et Foug El-Guiss	195
Tableau III. 2. 5. 21/22/23/24/25. Résultats obtenus par le modèle de Szász (1973) - Barrages : Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foug El-Gherza ; Brézina et Foug El-Guiss	197
Tableau III. 2. 5. 26/27/28/29/30. Résultats obtenus par le modèle de Linacre (1977) - Barrages : Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foug El-Gherza ; Brézina et Foug El-Guiss	199
Tableau III. 2. 5. 31/32/33/34/35. Résultats obtenus par le modèle de Kharrufa (1985) - Barrages : Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foug El-Gherza ; Brézina et Foug El-Guiss	201
Tableau III. 2. 5. 36/37/38/39/40. Résultats obtenus par le modèle de Boutoutaou (2011) - Barrages : Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foug El-Gherza ; Brézina et Foug El-Guiss	203

Tableau III. 2. 5. 41/42/43/44/45. Résultats obtenus par le modèle de Liu et <i>al</i> (2016) - Barrages : Djorf-Torba ; Fontaine des Gazelles ; Foum El-Gherza ; Brézina et Foum El-Guies	205
Tableau III. 4. Résultats statistiques des modèles sélectionnés d'évaporation basés sur la température de l'air et l'évaporation mesurée	207
Tableau III. 5. Récapitulatif des modèles adéquats selon leurs indexes statistiques	213
CHAPITRE IV. MODELES PROPOSES POUR LES CINQ BARRAGES-RESERVOIRS ETUDIES	
Tableau IV. 1. Les coefficients d'ajustement du modèle-1 selon le logiciel XLSTAT (2019)	216
Tableau IV. 2. Statistiques descriptives des données mensuelles de l'évaporation du Barrage Djorf-Torba durant (2000-2019)	217
Tableau IV. 3. Matrice de corrélation entre les deux modèles d'Oudin, Kharrufa et l'évaporation mesurée.	217
Tableau IV. 4. Statistiques de multi-colinéarité entre les modèles d'Oudin et Kharrufa	217
Tableau IV. 5. Analyse de la variance du Modèle -1	217
Tableau IV. 6. Paramètres du modèle proposée –Barrage Djorf Torba-	217
Tableau IV. 7. Coefficients normalisés pour les deux modèles Oudin et Kharrufa	218
Tableau IV. 8. Les coefficients d'ajustement du modèle-2	220
Tableau IV. 9. Statistiques descriptives des données mensuelles de l'évaporation des deux Barrages Fontaine des Gazelles et Foum El-Gherza durant (2000-2019)	220
Tableau IV. 10. Matrice de corrélation entre les modèles d'Ivanov, Vikulina et l'évaporation du bac.	220
Tableau IV. 11. Statistiques de multi-colinéarité –modèle-2	221
Tableau IV. 12. Analyse de la variance du modèle -2	221
Tableau IV. 13. Paramètres du modèle proposée pour les Barrages Fontaine des Gazelles et Foum El-Gherza-Biskra	221
Tableau IV. 14. Coefficients normalisés des modèles d'Ivanov et Vikulina	221
Table IV. 15. Les coefficients d'ajustement du modèle-3	223
Tableau IV. 16. Statistiques descriptives des données mensuelles de l'évaporation du Barrage Brézina-El-Bayadh durant (2000-2019)	224
Tableau IV. 17. Matrice de corrélation entre les modèles d'Hamon, Schendel et l'évaporation du bac.	224
Tableau IV. 18. Statistiques de multi-colinéarité –modèle -3	224
Tableau IV. 19. Analyse de la variance du modèle -3	224
Tableau IV. 20. Paramètres du modèle proposée pour le barrage de Brézina-	224
Tableau IV. 21. Coefficients normalisés des modèles d'Hamon et Schendel	224
Tableau IV. 22. Les coefficients d'ajustement du modèle-4	227
Tableau IV. 23. Statistiques descriptives des données mensuelles de l'évaporation du Barrage Foum El- Guies -Khenchela durant (2000-2019)	227
Tableau IV. 24. Matrice de corrélation entre les modèles d'Horton, Vikulina et l'évaporation du bac.	227
Tableau IV. 25. Statistiques de multi-colinéarité –modèle-4	227
Tableau IV. 26. Analyse de la variance du modèle -4	228
Tableau IV. 27. Paramètres du modèle proposée pour le barrage de Foum El-Guies-	228
Tableau IV. 28. Coefficients normalisés des modèles d'Horton et Vikulina	228
Tableau IV. 29. Les coefficients d'ajustement du modèle-A proposé pour les cinq barrages étudiés	230

Tableau IV. 30. Statistiques descriptives des données mensuelles de l'évaporation des cinq Barrages étudiés	230
Tableau IV. 31. Matrice de corrélation entre les modèles de Blaney- Criddle, Priestley-Taylor modifié et l'évaporation du bac.	231
Tableau IV. 32. Statistiques de multi-colinéarité des deux modèles Blaney-Cridlle et Priestley-Taylor modifié	231
Tableau IV. 33. Analyse de la variance du modèle -A proposé pour les cinq barrages étudiés	231
Tableau IV. 34. Paramètres du modèle-A proposé pour les cinq barrages étudiés	231
Tableau IV. 35. Coefficients normalisés du modèle –A des cinq barrages étudiés	231
Tableau IV. 36. Les coefficients d'ajustement du modèle proposé-B:	234
Tableau IV. 37. Statistiques descriptives des données mensuelles de l'évaporation des cinq Barrages étudiés durant (2000-2019)	235
Tableau IV. 38. Matrice de corrélation entre les modèles de Mahringer, Ivanov et l'évaporation du bac.	235
Tableau IV. 39. Statistiques de multi-colinéarité des deux modèles Mahringer et Ivanov	235
Tableau IV. 40. Analyse de la variance	235
Tableau IV. 41. Paramètres du modèle-B proposé pour les cinq barrages étudiés	235
Tableau IV. 42. Coefficients normalisés du modèle –B des cinq barrages étudiés	235
Tableau IV. 43. Erreurs obtenues par le modèle-1 –Barrage Djorf-Torba- Bechar	239
Tableau IV. 44. Erreurs obtenues par le modèle-2 –Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra	239
Tableau IV. 45. Erreurs obtenues par le modèle-2 –Barrage Foum El-Gherza - Biskra	239
Tableau IV. 46. Erreurs obtenues par le modèle-3 –Barrage Brézina – El-Bayadh	239
Tableau IV. 47. Erreurs obtenues par le modèle- 4 –Barrage Foum El-Guiness – Khenchela	239
Tableau IV. 48. Erreurs obtenues par le modèle-A proposé pour les cinq barrages étudiés	240
Tableau IV. 49. Erreurs obtenues par le modèle-B proposé pour les cinq barrages étudiés	241
Tableau IV. 50. Statistiques descriptives des valeurs estimées et mesurées de l'évaporation-Modèle-1	242
Tableau IV. 51. Test de d'hétéroscédastique de White– Tests de normalité de Shapiro-Wilk- de Jarque-Bera et d'auto-corrélation Durbin-Watson –Modèle -1	242
Tableau IV. 52. Tests d'homogénéité de Pettitt-Test d'homogénéité normal standard (SNHT)- Test de Buishand-Test de Von Neumann–Modèle -1	243
Tableau IV. 53. Statistiques descriptives des valeurs estimées et mesurées de l'évaporation-Modèle-2	244
Tableau IV. 54. Test de d'hétéroscédastique de White– Tests de normalité de Shapiro-Wilk- de Jarque-Bera et d'auto-corrélation Durbin-Watson –Modèle -2	244
Tableau IV. 55. Tests d'homogénéité de Pettitt-Test d'homogénéité normal standard (SNHT)- Test de Buishand-Test de Von Neumann–Modèle -2	245
Tableau IV. 56. Statistiques descriptives des valeurs estimées et mesurées de l'évaporation-Modèle-3	246
Tableau IV. 57. Test de d'hétéroscédastique de White– Tests de normalité de Shapiro-Wilk- de Jarque-Bera et d'auto-corrélation Durbin-Watson –Modèle -3	246
Tableau IV. 58. Tests d'homogénéité de Pettitt-Test d'homogénéité normal standard (SNHT)- Test de Buishand-Test de Von Neumann–Modèle -3	247
Tableau IV. 59. Statistiques descriptives des valeurs estimées et mesurées de l'évaporation-Modèle-4	248
Tableau IV. 60. Test de d'hétéroscédastique de White– Tests de normalité de Shapiro-Wilk- de Jarque-Bera et d'auto-corrélation Durbin-Watson –Modèle -4	248
Tableau IV. 61. Tests d'homogénéité de Pettitt-Test d'homogénéité normal standard (SNHT)- Test de Buishand-Test de Von Neumann–Modèle -4	249

Tableau IV. 62. Statistiques descriptives des valeurs estimées et mesurées de l'évaporation- Modèle-A	250
Tableau IV. 63. Test de d'hétéroscédastique de White– Tests de normalité de Shapiro-Wilk- de Jarque-Bera et d'auto-corrélation Durbin-Watson –Modèle -A	250
Tableau IV. 64. Tests d'homogénéité de Pettitt-Test d'homogénéité normal standard (SNHT)- Test de Buishand-Test de Von Neumann–Modèle -A	251
Tableau IV. 65. Statistiques descriptives des valeurs estimées et mesurées de l'évaporation- Modèle-B	252
Tableau IV. 66. Test de d'hétéroscédastique de White– Tests de normalité de Shapiro-Wilk- de Jarque-Bera et d'auto-corrélation Durbin-Watson –Modèle -B	252
Tableau IV. 67. Tests d'homogénéité de Pettitt-Test d'homogénéité normal standard (SNHT)- Test de Buishand-Test de Von Neumann–Modèle -B	253

Liste des figures

	Pages
CHAPITRE I. CARACTERISTIQUES GENERALES DES REGIONS ARIDES	
Figure I. 1. Localisation des grands ensembles structuraux d'Algérie	5
Figure I. 2. Etages bioclimatiques Algériens	6
Figure I. 3. Carte pluviométrique de la partie nord d'Algérie	7
Figure I. 4. Couche climat-Algérie	8
Figure I. 5. Classification des sols au nord Algérien	10
Figure I. 6. Carte synthèse de sensibilité à la désertification	11
Figure I. 7. Evolution des ressources en eau/population en Algérie	13
Figure I. 8. Répartition des grands bassins versants et réseau hydrographique du nord algérien	14
Figure I. 9. Les grands bassins aquifères d'Algérie	15
CHAPITRE II. ANALYSE DES DONNEES CLIMATIQUES DES REGIONS D'ETUDE DES CINQ BARRAGES-RESERVOIRS	
Figure II. 1. Le réseau hydro-climatologique algérien	18
Figure II. 2. Localisation des barrages algériens exploités	19
Figure II. 3. Localisation du barrage de Djorf-Torba- Bechar	23
Figure II. 3. 1. Variations mensuelles des précipitations de la région de Bechar (2000-2019)	24
Figure II. 3. 2. Variations annuelles des précipitations de la région de Bechar (2000-2019)	24
Figure II. 3. 3. Evolution de la température de l'air maximale, minimale et moyenne de la région de Bechar (2000-2019)	24
Figure II. 3. 4. Diagramme ombrothermique de la région de Béchar (2000-2019)	24
Figure II. 3. 5. Variations mensuelles de la température de l'eau et du rayonnement solaire de la région de Béchar (2000-2019)	25
Figure II. 3. 6. Variations mensuelles de la température de l'eau et de la pression atmosphérique de la région de Béchar (2000-2019)	25
Figure II. 3. 7. Variations mensuelles de la vitesse du vent de la région de Béchar (2000-2019)	26
Figure II. 3. 8. Variations annuelles de la vitesse du vent de la région de Béchar (2000-2019)	26
Figure II. 3. 9. Variations mensuelles de l'humidité relative de la région de Béchar (2000-2019)	27
Figure II. 3. 10. Variations annuelles de l'humidité relative et la température de l'air de la région de Bechar (2000-2019)	27
Figure II. 3. 11. Variations mensuelles de la pression atmosphérique et l'humidité relative de la région de Bechar (2000-2019)	27
Figure II. 3. 12. Variations mensuelles de la pression atmosphérique et la température de l'air de la région de Bechar (2000-2019)	27
Figure II. 3. 13. Variations mensuelles du rayonnement solaire de la région de Bechar (2000-2019)	28
Figure II. 3. 14. Variations annuelles du rayonnement solaire de la région de Bechar (2000-2019)	28
Figure II. 3. 15. Variations mensuelles de la lumière du jour de la région de Béchar (2000-2019)	29
Figure II. 3. 16. Variations mensuelles de la lumière du jour et du rayonnement solaire de la région de Béchar (2000-2019)	29
Figure II. 3. 17. Variations mensuelles de l'évaporation de l'eau de la région de Béchar (2000-2019)	29
Figure II. 3. 18. Variations annuelles de l'évaporation de l'eau de la région de Béchar (2000-2019)	29

Figure II. 3. 19. Variations mensuelles de l'évaporation du barrage réservoir Djorf Torba-Bechar avec les paramètres climatiques : P(mm), T _{air} (°C), T _{eau} (°C), V(m/s), H _r (%), P(kPa), I(KWh/m ² /J) et D(heures)	31
Figure II. 3. 20. Corrélation entre l'évaporation et les paramètres climatiques existants de barrage-réservoir Djorf Torba- Bechar : P(mm), T _{air} (°C), T _{eau} (°C), V(m/s), H _r (%), P(kPa), I(KWh/m ² /J) et D(heures)	32
Figure II. 4. Localisation des deux barrages de Foug El-Gherza et Fontaine des Gazelles	33
Figure II. 4. 1. Variations mensuelles des précipitations de la région de Biskra (2000-2019)	34
Figure II. 4. 2. Variations annuelles des précipitations de la région de Biskra (2000-2019)	34
Figure II. 4. 3. Variations mensuelles de la température de l'air de la région de Biskra (2000-2019)	34
Figure II. 4. 4. Diagramme ombrothermique de la région de Biskra (2000-2019)	34
Figure II. 4. 5. Variations mensuelles de la température de l'eau et du rayonnement solaire de la région de Biskra (2000-2019)	35
Figure II. 4. 6. Variations annuelles de la température de l'eau et de la pression atmosphérique solaire de la région de Biskra (2000-2019)	35
Figure II. 4. 7. Variations mensuelles de la vitesse du vent de la région de Biskra (2000-2019)	36
Figure II. 4. 8. Variations annuelles de la vitesse du vent de la région de Biskra (2000-2019)	36
Figure II. 4. 9. Variations mensuelles de l'humidité relative de la région de Biskra (2000-2019)	36
Figure II. 4. 10. Variations mensuelles de l'humidité relative et la pression de vapeur de la région de Biskra (2000-2019)	37
Figure II. 4. 11. Variations mensuelles de la pression atmosphérique et l'humidité relative de la région de Biskra (2000-2019)	37
Figure II. 4. 12. Variations mensuelles de la pression atmosphérique et la température de l'air de la région de Biskra (2000-2019)	37
Figure II. 4. 13. Variations mensuelles du rayonnement solaire de la région de Biskra (2000-2019)	37
Figure II. 4. 14. Variations annuelles du rayonnement solaire de la région de Biskra (2000-2019)	37
Figure II. 4. 15. Variations mensuelles de la lumière du jour de la région de Biskra (2000-2019)	38
Figure II. 4. 16. Variations mensuelles de la lumière du jour et du rayonnement solaire de la région de Biskra (2000-2019)	38
Figure II. 4. 17. Variations mensuelles de l'évaporation de l'eau de la région de Biskra (2000-2019)	38
Figure II. 4. 18. Variations annuelles de l'évaporation de l'eau de la région de Biskra (2000-2019)	38
Figure II. 4. 19. Variations mensuelles de l'évaporation des deux barrages F. Gherza et F. des Gazelles (Biskra) avec les paramètres climatiques : P(mm), T _{air} (°C), T _{eau} (°C), V(m/s), H _r (%), P(kPa), I(KWh/m ² /J) et D (heures)	40
Figure II. 4. 20. Corrélation entre l'évaporation et les paramètres climatiques existants du barrage-réservoir F.des Gazelles- Biskra : P(mm), T _{air} (°C), T _{eau} (°C), V(m/s), H _r (%), P(kPa), I(KWh/m ² /J) et D(heures)	41
Figure II. 4. 21. Corrélation entre l'évaporation de l'eau du barrage- réservoir – Foug El-Gherza-Biskra et les paramètres climatiques existants : P(mm), T _{moy} (°C), T _{eau} (°C), V(m/s), H _r (%), P(kPa), I(Kwh/m ² /J) et D(Heures).	42
Figure II. 5. Localisation du barrage de Brézina et réseau hydrographique d'oued Seggeur-El-Bayadh-	43
Figure II. 5. 1. Variations mensuelles des précipitations de la région d'El-Bayadh (2000-2019)	44

Figure II. 5. 2. Variations annuelles des précipitations de la région d'El-Bayadh (2000-2019)	44
Figure II. 5. 3. Variations mensuelles de la température de l'air de la région d'El-Bayadh (2000-2019)	44
Figure II. 5. 4. Diagramme ombrothermique de la région d'El-Bayadh (2000-2019)	44
Figure II. 5. 5. Variations mensuelles de la température de l'eau et le rayonnement solaire de la région d'El-Bayadh (2000-2019)	45
Figure II. 5. 6. Variations mensuelles de la température de l'eau et la pression atmosphérique de la région d'El-Bayadh (2000-2019)	45
Figure II. 5. 7. Variations mensuelles de la vitesse du vent de la région d'El-Bayadh (2000-2019)	46
Figure II. 5. 8. Variations annuelles de la vitesse du vent de la région d'El-Bayadh (2000-2019)	46
Figure II. 5. 9. Variations mensuelles de l'humidité relative de la région d'El-Bayadh (2000-2019)	47
Figure II. 5. 10. Variations mensuelles de l'humidité relative et la température de l'air de la région d'El-Bayadh (2000-2019)	47
Figure II. 5. 11. Variations mensuelles de la pression atmosphérique et l'humidité relative de la région d'El-Bayadh (2000-2019)	47
Figure II. 5. 12. Variations mensuelles de la pression atmosphérique et la température de l'air de la région d'El-Bayadh (2000-2019)	47
Figure II. 5. 13. Variations mensuelles du rayonnement solaire de la région d'El-Bayadh (2000-2019)	48
Figure II. 5. 14. Variations annuelles du rayonnement solaire de la région d'El-Bayadh (2000-2019)	48
Figure II. 5. 15. Variations mensuelles de la lumière du jour de la région d'El-Bayadh (2000-2019)	48
Figure II. 5. 16. Variations annuelles de la lumière du jour de la région d'El-Bayadh (2000-2019)	48
Figure II. 5. 17. Variations mensuelles de l'évaporation de l'eau de la région d'El-Bayadh (2000-2019)	49
Figure II. 5. 18. Variations annuelles de l'évaporation de l'eau de la région d'El-Bayadh (2000-2019)	49
Figure II. 5. 19. Variations mensuelles de l'évaporation de l'eau du Barrage-réservoir Brézina-El-Bayadh avec les paramètres climatiques : P(mm), T _{air} (°C), T _{eau} (°C), V(m/s), H _r (%), P(kPa), I(KWh/m ² /J) et D(heures)	50
Figure II. 5. 20. Corrélation entre l'évaporation de l'eau et les paramètres climatiques existants du barrage-réservoir Brézina : P(mm), T _{air} (°C), T _{eau} (°C), V(m/s), H _r (%), P(kPa), I(KWh/m ² /J) et D(heures)	51
Figure II. 6. Localisation du barrage de Foum El-Guiess-Khenchela	52
Figure II. 6. 1. Variations mensuelles des précipitations de la région de Khenchela (2000-2019)	53
Figure II. 6. 2. Variations annuelles des précipitations de la région de Khenchela (2000-2019)	53
Figure II. 6. 3. Variations mensuelles de la température de l'air de la région de Khenchela (2000-2019)	53
Figure II. 6. 4. Diagramme ombrothermique de la région de Khenchela (2000-2019)	53
Figure II. 6. 5. Variations mensuelles de la température de l'eau et le rayonnement solaire de la région de Khenchela (2000-2019)	54
Figure II. 6. 6. Variations mensuelles de la température de l'eau et la pression atmosphérique de la région de Khenchela (2000-2019)	54

Figure II. 6. 7. Variations mensuelles de la vitesse du vent de la région de Khenchela (2000-2019)	55
Figure II. 6. 8. Variations annuelles de la vitesse du vent de la région de Khenchela (2000-2019)	55
Figure II. 6. 9. Variations mensuelles de l'humidité relative de la région de Khenchela (2000-2019)	56
Figure II. 6. 10. Variations mensuelles de l'humidité relative et la température de l'air de la région de Khenchela (2000-2019)	56
Figure II. 6. 11. Variations mensuelles de la pression atmosphérique et l'humidité relative de la région de Khenchela (2000-2019)	56
Figure II. 6. 12. Variations mensuelles de la pression atmosphérique et la température de l'air de la région de Khenchela (2000-2019)	56
Figure II. 6. 13. Variations mensuelles du rayonnement solaire de la région de Khenchela (2000-2019)	57
Figure II. 6. 14. Variations annuelles du rayonnement solaire de la région de Khenchela (2000-2019)	57
Figure II. 6. 15. Variations mensuelles de la lumière du jour de la région de Khenchela (2000-2019)	57
Figure II. 6. 16. Variations mensuelles de la lumière du jour et du rayonnement solaire de la région de Khenchela (2000-2019)	57
Figure II. 6. 17. Variations mensuelles de l'évaporation de l'eau de la région de Khenchela (2000-2019)	58
Figure II. 6. 18. Variations annuelles de l'évaporation de l'eau du barrage-réservoir Fom El-Guiness-Khenchela (2000-2019)	58
Figure II. 6. 19. Variations mensuelles de l'évaporation de l'eau du Barrage Fom El-Guiness avec les paramètres climatiques : $P(\text{mm})$, $T_{\text{air}}(^{\circ}\text{C})$, $T_{\text{eau}}(^{\circ}\text{C})$, $V(\text{m/s})$, H_r (%), $P(\text{kPa})$, $I(\text{KWh/m}^2/\text{J})$ et $D(\text{heures})$	59
Figure II. 6. 20. Corrélation entre l'évaporation de l'eau et les paramètres climatiques existants du barrage-réservoir F. El-Guiness- Khenchela : $P(\text{mm})$, $T_{\text{air}}(^{\circ}\text{C})$, $T_{\text{eau}}(^{\circ}\text{C})$, $V(\text{m/s})$, H_r (%), $P(\text{kPa})$, $I(\text{KWh/m}^2/\text{J})$ et $D(\text{heures})$	60
Figure II. 10. 1. Climagramme d'Emberger (Stations : Béchar, Biskra, El-Bayadh, Khenchela)	63
CHAPITRE III. LES METHODES INDIRECTES D'ESTIMATION DE L'EVAPORATION DES PLANS D'EAU	
Figure III. 2. 2. 1. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de Penman (1948) et l'évaporation mesurée (référence)	75
Figure III. 2. 2. 2. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de Slatyer-McIlroy (1961) et l'évaporation mesurée (référence)	77
Figure III. 2. 2. 3. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de Priestly-Taylor (1972) et l'évaporation mesurée (référence)	79
Figure III. 2. 2. 4. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de Stewart-Rouse (1976) et l'évaporation mesurée (référence)	81
Figure III. 2. 2. 5. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de DeBruin (1978) et l'évaporation mesurée (référence)	83
Figure III. 2. 2. 6. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de DeBruin-Keijman (1979) et l'évaporation mesurée (référence)	85
Figure III. 2. 2. 7. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de Brutsaert-Strickler (1979) et l'évaporation mesurée (référence)	87
Figure III. 2. 2. 8. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de Penman- Brutsaert (1982) et l'évaporation mesurée (référence)	89

Figure III. 2. 2. 9. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de Penman –Monteith FAO (1998) et l'évaporation mesurée (référence)	91
Figure III. 2. 2. 10. Représentation graphique des modèles (combinés) adéquats pour l'estimation de l'évaporation pour les cinq barrages-réservoirs étudiés	92
Figure III. 2. 3. 1. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de Kuzmin (1957) et l'évaporation mesurée (référence)	100
Figure III. 2. 3. 2. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle d'Ivanov (1970) et l'évaporation mesurée (référence)	102
Figure III. 2. 3. 3. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de Meyer-1. (1915) et l'évaporation mesurée (référence)	104
Figure III. 2. 3. 4. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de Roher (1931) et l'évaporation mesurée (référence)	106
Figure III. 2. 3. 5. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de Penman (1948) et l'évaporation mesurée (référence)	108
Figure III. 2. 3. 6. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de Konstantinov et l'évaporation mesurée (référence)	110
Figure III. 2. 3. 7. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de Dalton (1802) et l'évaporation mesurée (référence)	112
Figure III. 2. 3. 8. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de Mahringer (1970) et l'évaporation mesurée (référence)	114
Figure III. 2. 3. 9. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de Vikulina (1979) et l'évaporation mesurée (référence)	116
Figure III. 2. 3. 10. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de WMO (1966) et l'évaporation mesurée (référence)	118
Figure III. 2. 3. 11. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de Trabert (1896) et l'évaporation mesurée (référence)	120
Figure III. 2. 3. 12. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de Meyer (1926) et l'évaporation mesurée (référence)	122
Figure III. 2. 3. 13. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle d'Oudin (2005) et l'évaporation mesurée (référence)	124
Figure III. 2. 3. 14. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de Rayan-Harleman (1973) et l'évaporation mesurée (référence)	126
Figure III. 2. 3. 15. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de Horton (1917) et l'évaporation mesurée (référence)	128
Figure III. 2. 3. 16. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de Brockamp-Wenner (1963) et l'évaporation mesurée (référence)	130
Figure III. 2. 3. 17. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de Shuliakovski (1969) et l'évaporation mesurée (référence)	132
Figure III. 2. 3. 18. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de Harbeck et al (1958) et l'évaporation mesurée (référence)	134
Figure III. 2. 3. 19. Représentation graphique des modèles adéquats de transfert de masse pour l'estimation de l'évaporation pour les cinq barrages-réservoirs étudiés.	139
Figure III. 2. 4. 1. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de Makkink (1967) et l'évaporation mesurée (référence)	146
Figure III. 2. 4. 2. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de Jensen-Haise (1963) et l'évaporation mesurée (référence)	148
Figure III. 2. 4. 3. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de Stephens-Stewart (1963) et l'évaporation mesurée (référence)	150
Figure III. 2. 4. 4. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de McGuinness-Bordone (1972) et l'évaporation mesurée (référence)	152

Figure III. 2. 4. 5. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de Caprio (1975) et l'évaporation mesurée (référence)	154
Figure III. 2. 4. 6. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de Doorenbos-Pruitt (1977) et l'évaporation mesurée (référence)	156
Figure III. 2. 4. 7. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de Hargreaves-Samani (1982) et l'évaporation mesurée (référence)	158
Figure III. 2. 4. 8. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de Ritchie (1990) et l'évaporation mesurée (référence)	160
Figure III. 2. 4. 9. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle d'Allen (1993) et l'évaporation mesurée (référence)	162
Figure III. 2. 4. 10. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle d'Abtew (1996) et l'évaporation mesurée (référence)	164
Figure III. 2. 4. 11. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de Droogers et Allen (2002) et l'évaporation mesurée (référence)	168
Figure III. 2. 4. 12. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle d'Irmak et al-1 (2003) et l'évaporation mesurée (référence)	170
Figure III. 2. 4. 13. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de d'Irmak et al-2 (2003) et l'évaporation mesurée (référence)	172
Figure III. 2. 4. 14. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle d'Oudin-2 (2005) et l'évaporation mesurée (référence)	174
Figure III. 2. 4. 15. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de Trajkovic (2007) et l'évaporation mesurée (référence)	176
Figure III. 2. 4. 16. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de Tabari-Talae (2011) et l'évaporation mesurée (référence)	178
Figure III. 2. 4. 17. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de Berti et al (2014) et l'évaporation mesurée (référence)	180
Figure III. 2. 4. 18. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de Djori et al (2016) et l'évaporation mesurée (référence)	182
Figure III. 2. 4. 19. Représentation graphique des modèles adéquats basés sur le rayonnement solaire pour l'estimation de l'évaporation pour les cinq barrages-réservoirs étudiés	185
Figure III. 2. 5. 1. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de Blaney-Criddle (1959) et l'évaporation mesurée (référence)	190
Figure III. 2. 5. 2. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de Papadakis (1961) et l'évaporation mesurée (référence)	192
Figure III. 2. 5. 3. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de Hamon (1961) et l'évaporation mesurée (référence)	194
Figure III. 2. 5. 4. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de Hamon (1963) et l'évaporation mesurée (référence)	196
Figure III. 2. 5. 5. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de Szasz (1973) et l'évaporation mesurée (référence)	198
Figure III. 2. 5. 6. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de Linacre (1977) et l'évaporation mesurée (référence)	200
Figure III. 2. 5. 7. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de Kharrufa (2005) et l'évaporation mesurée (référence)	202
Figure III. 2. 5. 8. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de Boutoutaou (2011) et l'évaporation mesurée (référence)	204
Figure III. 2. 5. 9. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de Liu et al (2016) et l'évaporation mesurée (référence)	206
Figure III. 2. 5. 10. Représentation graphique des modèles adéquats basés sur la température de l'air pour l'estimation de l'évaporation pour les cinq barrages-réservoirs étudiés	210

CHAPITRE IV. MODELES PROPOSES POUR LES CINQ BARRAGES-RESERVOIRS ETUDIES

Figure VI. 1. Représentations graphiques des paramètres statistiques de l' $E_{mesurée}$ et L' $E_{modèle-1}$ du barrage de Djorf-Torba-Béchar	219
Figure VI. 2. Représentations graphiques des paramètres statistiques de l' $E_{mesurée}$ et L' $E_{modèle-2}$ des deux barrages de Fontaine des Gazelles et Foug El-Gherza-Biskra	222
Figure VI. 3. Représentations graphiques des paramètres statistiques de l' $E_{mesurée}$ et L' $E_{modèle-3}$ du barrage de Brézina- Al Bayadh	226
Figure VI. 4. Représentations graphiques des paramètres statistiques de l' $E_{mesurée}$ et L' $E_{modèle-4}$ du barrage de Foug El-Guiss- Khenchela	229
Figure VI. 5. Représentations graphiques des paramètres statistiques de l' $E_{mesurée}$ et L' $E_{modèle-A}$ des barrages-réservoirs étudiés	233
Figure VI. 6. Représentations graphiques des paramètres statistiques de l' $E_{mesurée}$ et L' $E_{modèle-B}$ des barrages-réservoirs étudiés	237
Figure VI. 7. Présentations graphiques P-P plot et Q-Q plot des résidus (Modèle -1)	244
Figure VI. 8. Présentations graphiques P-P plot et Q-Q plot des résidus (Modèle -2)	245
Figure VI. 9. Présentations graphiques P-P plot et Q-Q plot des résidus (Modèle -3)	247
Figure VI. 10. Présentations graphiques P-P plot et Q-Q plot des résidus (Modèle -4)	249
Figure VI. 11. Présentations graphiques P-P plot et Q-Q plot des résidus (Modèle -A)	251
Figure VI. 12. Présentations graphiques P-P plot et Q-Q plot des résidus (Modèle -B)	253

Sommaire

	Pages
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I: CARACTERISTIQUES GENERALES DES REGIONS AIDES/SEMI-ARIDES	
I. INTRODUCTION	5
II. Les sols des régions arides/semi-arides	9
II. 1. Les sols salés	9
II. 2. Les sols gypseux	10
II. 3. Les sols calcaires	10
III. Les Végétations des régions arides/semi-arides	11
IV. Les ressources en eau en Algérie	12
IV. Les ressources en eau en Algérie	14
V. CONCLUSIONS	16
CHAPITRE II: ANALYSE DES PARAMETRES CLIMATIQUES DES REGIONS D'ETUDE DES CINQ BARRAGES	
II. 1. INTRODUCTION	18
II. 2. Situation géographique du barrage de Djorf-Torba- région de Béchar	25
II. 3. Présentation des paramètres climatiques disponibles de la région de Béchar	24
II. 3. 1. Les précipitations	24
II. 3. 2. La température de l'air	24
II. 3. 3. La température de l'eau	25
II. 3. 4. La vitesse du vent	26
II. 3. 5. L'humidité relative de l'air	26
II. 3. 6. La pression atmosphérique	27
II. 3. 7. Le rayonnement solaire (Insolation)	28
II. 3. 8. La lumière du jour	28
II. 3. 9. L'évaporation de l'eau	29
II. 3. 10. Corrélation l'évaporation de l'eau et les paramètres climatiques disponibles de la région de Béchar	29
II. 4. SITUATION GEOGRAPHIQUE DES DEUX BARRAGES-RESERVOIRS DE FOUM EL-GHERZA ET FONTAINE DES GAZELLES- REGION DE BECHAR	33
II. 5. Analyse des paramètres climatiques disponibles de la région de Biskra	34
II. 5. 1. Les précipitations	34
II. 5. 2. La température de l'air	34
II. 5. 3. La température de l'eau	35
II. 5. 4. La vitesse du vent	36
II. 5. 5. L'humidité relative	36
II. 5. 6. La pression atmosphérique	37
II. 5. 7. Le rayonnement solaire (Insolation)	37
II. 5. 8. La lumière du jour	38
II. 5. 9. L'évaporation de l'eau	38
II. 5. 10. CORRELATION L'EVAPORATION DE L'EAU ET LES PARAMETRES CLIMATIQUES DISPONIBLES DE LA REGION DE BISKRA	43
II. 6. Situation géographique du barrage de Brézina- région d'El-Bayadh	43
II. 7. Analyse des paramètres climatiques disponibles de la région d'El-Bayadh	44
II. 7. 1. Les précipitations	44
II. 7. 2. La température de l'air	44
II. 7. 3. La température de l'eau	45

	Pages
II. 7. 4. La vitesse du vent	46
II. 7. 5. L'humidité relative de l'air	46
II. 7. 6. La pression atmosphérique	47
II. 7. 7. Le rayonnement solaire (Insolation)	47
II. 7. 8. La lumière du jour	48
II. 7. 9. L'évaporation de l'eau	48
II. 7. 10. Corrélation l'évaporation de l'eau et les paramètres climatiques disponibles de la région d'El-Bayadh	49
II. 8. SITUATION GEOGRAPHIQUE DU BARRAGE-RESERVOIR DE FOUM EL-GUIESS- REGION DE KHENCHELA	52
II. 9. Analyse des paramètres climatiques disponibles de la région de Khenchela	53
II. 9. 1. Les précipitations	53
II. 9. 2. La température de l'air	53
II. 9. 3. La température de l'eau	54
II. 9. 4. La vitesse du vent	54
II. 9. 5. L'humidité relative	55
II. 9. 6. La pression atmosphérique	56
II. 9. 7. Le rayonnement solaire (Insolation)	56
II. 9. 8. La lumière du jour	57
II. 9. 9. L'évaporation de l'eau	57
II. 9. 10. Corrélation l'évaporation de l'eau et les paramètres climatiques disponibles de la région de Khenchela	58
II. 10. LES INDICES CLIMATIQUES DES REGIONS ETUDIEES	61
II. 10. 1. Indice d'aridité annuel de De Martonne	61
II. 10. 2. Indice d'aridité mensuel de De Martonne	61
II. 10. 3. Indice climatique d'Emberger	62
II. 11. CONCLUSIONS	63
CHAPITRE III : METHODES INDIRECTES D'ESTIMATION DE L'EVAPORATION DES PLANS D'EAU	
III. 1. INTRODUCTION	66
III. 2. Les méthodes indirectes d'estimation de l'évaporation des plans d'eau	67
III. 2. 1. Méthodes de bilan hydrique/hydrologique	68
III. 2. 2. Méthodes combinatoires	68
III. 2. 2. 1. Modèle de Penman (1948)	69
III. 2. 2. 2. Modèle de Slatyer-McIlroy (1961)	69
III. 2. 2. 3. Modèle de Priestley-Taylor (1972)	70
III. 2. 2. 4. Modèle de Stewart-Rouse (1976)	70
III. 2. 2. 5. Modèle de DeBruin (1978)	70
III. 2. 2. 6. Modèle de Brutsaert-Strickler (1979)	71
III. 2. 2. 7. Modèle de DeBruin-Keijman (1979)	71
III. 2. 2. 8. Modèle de Penman-Brutsert (1982)	71
III. 2. 2. 9. Modèle de Penman-Monteith FAO (1998)	72
III. 2. 2. 10. Interprétation des résultats obtenus par les méthodes combinatoires pour l'estimation de l'évaporation des cinq barrages-réservoirs étudiés	72
III. 2. 3. Méthodes de transfert de masse	94
III. 2. 3. 1. Modèle de Kuzmin (1957)	94
III. 2. 3. 2. Modèle d'Ivanov (1970)	94
III. 2. 3. 3. Modèle de Meyer-1 (1915)	95
III. 2. 3. 4. Modèle de Rohwer (1931)	95

	Pages
III. 2. 3. 5. Modèle de Penman (1948)	95
III. 2. 3. 6. Modèle de Konstantinov (1968)	95
III. 2. 3. 7. Modèle de Dalton (1802)	95
III. 2. 3. 8. Modèle de Mahringer (1970)	96
III. 2. 3. 9. Modèle de Vikulina (1979)	96
III. 2. 3. 10. Modèle de World Meteorological Organization « WMO » (1966)	96
III. 2. 3. 11. Modèle de Trabert (1896)	96
III. 2. 3. 12. Modèle de Meyer-2 (1926)	96
III. 2. 3. 13. Modèle d'Oudin-1 (2005)	96
III. 2. 3. 14. Modèle de Rayan-Harleman (1973)	97
III. 2. 3. 15. Modèle de Horton (1917)	97
III. 2. 3. 16. Modèle de Brockamp-Wenner (1963)	97
III. 2. 3. 17. Modèle de Shuliakovski (1969)	97
III. 2. 3. 18. Modèle de Harbeck et al (1958)	97
III. 2. 3. 19. Interprétation des résultats obtenus par les modèles de transfert de masse pour l'estimation de l'évaporation des cinq barrages-réservoirs étudiés	137
III. 2. 4. Méthodes basées sur le rayonnement solaire	140
III. 2. 4. 1. Modèle de Jensen-Haise (1963)	140
III. 2. 4. 2. Modèle de Stephens-Stewart (1963)	140
III. 2. 4. 3. Modèle de Makkink (1967) modifié par Hansen (1984)	140
III. 2. 4. 4. Modèle de McGuinness-Bordne (1972)	141
III. 2. 4. 5. Modèle de Caprio (1974)	141
III. 2. 4. 6. Modèle de Doorenbos-Pruitt (1977)	141
III. 2. 4. 7. Modèle de Hargreaves-Samani (1982)	142
III. 2. 4. 8. Modèle de Ritchie (1990)	142
III. 2. 4. 9. Modèle d'Allen (1993)	142
III. 2. 4. 10. Modèle d'Abtew (1996)	142
III. 2. 4. 11. Modèle de Droogers-Allen (2002)	143
III. 2. 4. 12. Modèle d'Irmak et al (2003) -1	143
III. 2. 4. 13. Modèle d'Irmak et al (2003) -2	143
III. 2. 4. 14. Modèle d'Oudin-2 (2005)	143
III. 2. 4. 15. Modèle de Trajkovic (2007)	143
III. 2. 4. 16. Modèle de Tabari et Talaei (2011)	144
III. 2. 4. 17. Modèle de Berti et al (2014)	144
III. 2. 4. 18. Modèle de Dorji et al (2016)	144
III. 2. 4. 19. Interprétation des résultats d'évaporation obtenus par les méthodes basées sur le rayonnement solaire	183
III. 2. 5. Méthodes basées sur la température de l'air	186
III. 2. 5. 1. Modèle de Blaney-Criddle (1959)	186
III. 2. 5. 2. Modèle de Papadakis (1961)	186
III. 2. 5. 3. Modèle de Hamon (1961)	186
III. 2. 5. 4. Modèle de Hamon (1963)	187
III. 2. 5. 5. Modèle de Szasz (1973)	187
III. 2. 5. 6. Modèle de Linacre (1977)	187
III. 2. 5. 7. Modèle de Kharrufa (1985)	187
III. 2. 5. 8. Modèle de Boutoutaou (2011)	188
III. 2. 5. 9. Modèle de Liu et al (2016)	188
III. 2. 5. 10. Interprétation des résultats d'évaporation obtenus par les méthodes basées sur la température de l'air	208

	Pages
III. 3. CONCLUSIONS	211
CHAPITRE IV : MODELES PROPOSEES POUR LES CINQ BARRAGES-RESERVOIRS ETUDIES	
IV. 1. INTRODUCTION	215
IV. 2. Modèles proposés pour les cinq barrages-réservoirs étudiés	215
IV. 2. 1. Modèle-1 proposé pour le Barrage de Djorf-Torba (Béchar)	216
IV. 2. 2. Modèle-2 proposé pour les deux Barrages-réservoirs de Fontaine des Gazelles et Foug El-Gherza (Biskra)	220
IV. 2. 3. Modèle-3 proposé pour le Barrage-réservoir de Brézina (El-Bayadh)	223
IV. 2. 4. Modèle-4 proposé pour le Barrage-réservoir de Foug El-Guess (Khenchela)	227
IV. 2. 5. Modèles proposés pour les cinq barrages-réservoirs étudiés	230
IV. 3. Vérification de linéarité des modèles proposés pour les cinq barrages-réservoirs étudiés	242
IV. 3. 1. Tests de linéarité pour le modèle-1 proposé pour le barrage-réservoir de Djorf-Torba	242
IV. 3. 2. Tests de linéarité pour le modèle-2 proposé pour les deux barrages-réservoirs de Fontaine des Gazelles et Foug El-Gherza	244
IV. 3. 3. Tests de linéarité pour le modèle-3 proposé pour le barrage-réservoir de Brézina	246
IV. 3. 4. Tests de linéarité pour le modèle-4 proposé pour le barrage-réservoir de Foug El-Guess	248
IV. 3. 4. Tests de linéarité pour le modèle-A proposé pour les cinq barrages-réservoirs étudiés	250
IV. 3. 5. Tests de linéarité pour le modèle-B proposé pour les cinq barrages-réservoirs étudiés	252
IV. 3. CONCLUSIONS	254
CONCLUSION GENERALE ET RECOMANDATIONS	257
REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE	

Liste d'abrviation

- E : Evaporation de l'eau (mm)
E_{mesurée} : Evaporation mesurée de l'eau (mm)
E_{estimée} : Evaporation estimée de l'eau (mm)
H_r, R_h : L'humidité relative (%)
U : La vitesse moyenne du vent à une hauteur de 2 m (m/s)
P_{atm} : La pression atmosphérique (kPa)
D : La lumière du jour (heures)
D_{TA} : La lumière du jour durant le mois considéré (heures)
T_{air}, T_a, T_{moy} : La température moyenne mensuelle de l'air (°C)
T_{eau}, T_w : La température moyenne mensuelle de l'eau (°C)
T_{max} : La température maximale de l'air (°C)
T_{min} : La température minimale de l'air (°C)
I : Insolation moyen mensuel, le rayonnement solaire moyen ou bien l'ensoleillement (kWh/m²/j)
P : Précipitation moyenne mensuelle (mm)
R² : Coefficient de corrélation
R²_{ajusté} : Coefficient de corrélation ajusté du modèle
ρ : la densité de l'eau (998 kg/m³ à 20°C)
e_s : la vapeur saturante à la température de l'eau (mb)
e_a : la pression de vapeur ambiante de l'air (mb)
e_{smax} et e_{smin} : Les pressions de vapeur saturées au maximum et minimale des températures de l'air (KPa).
Q₂ : Quotient pluviométrique d'Emberger.
λ : La chaleur latente de l'évaporation (MJ/kg)
R_n : La radiation solaire nette (MJ/m²/j)
R_s, R_a : la radiation solaire (MJ/m²/j)
α : Le coefficient de réflexion ou constante d'albedo (0,05)
β : Le coefficient de Priestley-Taylor égale à 1,26
Δ : La pente de la vapeur de saturation courbe de pression (kPa/ °C)
γ : La constante psychrométrique (kPa/°C).
R_n : la radiation net (W m²)
G : la variation de la chaleur emmagasinée dans l'étang (en fonction des variations de température de l'eau) (W m²)
NSE : Le critère de Nash-Sutcliffe
RMSE : L'erreur quadratique moyenne (Root Mean Square Error),
MBE : L'erreur biais moyen (Mean Bias Error)
RSR : Le ratio de la somme de classement (Rank Sum Ratio).
WMO : Weather meteorological organisation
DDL : Degré de liberté
MCE : La moyenne des carrés des erreurs.
RMCE : La racine de la moyenne des carrés des erreurs
DW : Le coefficient de Durbin-Watson
T : Test de Student
F : Test de Fisher
Pr : Probabilité liée au test de Fisher /Student

ملخص

الهدف من هذا العمل هو دراسة التبخر في السدود المتواجدة في المناطق الجافة او شبه جافة. ولهذا الغرض تمت دراسة خمسة سدود نذكر منها: سد منبع الغزلان (بسكرة)، سد فم الغرزة (بسكرة)، سد بريزينة (البييض)، سد فوم القيس (خنشلة) واخيرا سد جرف تربة (بشار).

كان من الضروري تحليل البيانات المناخية لكل منطقة توجد فيها هذه السدود بالإضافة إلى نظرة شاملة على كل من الغطاء النباتي والموارد المائية لكل منطقة اين تتواجد السدود المذكورة اعلاه. حيث تمت مناقشة العوامل المناخية التي تؤثر على ظاهرة التبخر (درجة حرارة الهواء وسرعة الرياح والرطوبة النسبية والضغط الجوي ودرجة حرارة الماء والإشعاع الشمسي وضوء النهار) بالتفصيل لكل منطقة. حيث تبين بان هذه المناطق تتميز بانخفاض معدل هطول الأمطار بأقل من 150 مم / سنة ويمكن أن تصل درجات حرارة الهواء المرتفعة من 45 درجة مئوية الى 50 درجة مئوية في الصيف، مما يعزز التبخر بكميات معتبرة تصل إلى 1500 ملم في المناطق الجافة.

للإشارة حاول العديد من الباحثين تطوير نماذج تجريبية تسمح بتقدير التبخر من المسطحات المائية باستخدام العوامل المناخية التي تؤثر على التبخر في المنطقة المدروسة. ومن بينهم اخترنا أربعة وخمسين (54) نموذجًا معتمدًا على النحو التالي: بنمان ، سلاتير ماكلروي ، بريستلي-تايلور ، ستيوارت-روس ، ديبروين، ديبروين-كيجمان، بروتسايرت-ستريكور ، بينمان-بروتسايرت وبينمان-مونتيث فاو، كوزمين، إيفانوف ، ماير ، روهر ، بنمان ، كونستانتينوف ، دالتون ، ماهرينجر ، فيكولينا ، نموذج المنظمة العالمية للأرصاد الجوي ، ترابرت ، ماير ، أودين -1، ريان هارلمان ، هورتون ، بروكامب-وينر ، شولياكوفسكي ، هاربيك ، جنسن هايس ، ستيفنس-ستيوارت ، ماكين، ماكجينيس-بوردين، كابريو ، دورنبوس-برويت، هارجريريف-ساماني، ريتشي، ألن ، أبتو ، دروجرز-ألن ، ارماك -1 ، ارماك-2 ، اودين-2 ، ترايكوفيتش ، الطبري طلاي، بارتي، جوري، بلاني-كريدل ، باباداكيس ، هامون -1، هامون -2، لينكر ، خروفا ، بوطاوطا و اخيرا ليو.

لقد حاولنا تطوير نماذج تجريبية لتقدير التبخر لكل من الخمسة سدود التي تمت دراستها. بدأنا بأربعة نماذج محددة: النموذج -1 (سد جرف تربة)؛ النموذج -2 (سد منبع الغزلان وسد فوم الغرزة)؛ النموذج -3 (سد بريزينة بالبييض)؛ النموذج -4 (سد فم القيس بخنشلة). أظهرت هذه النماذج نتائج رقمية جد ممتازة وبيانية جيدة جدًا. تم اقتراح نموذجين (ا) و (ب) لتقدير تبخر لجميع السدود الخمسة. تُظهر نتائج النموذج المقترح (ا) نتائج جيدة لتقدير التبخر للسدود الخمسة: معامل الارتباط أكبر من 0,84، ونسبة مجموع الرتب (RSR) اقل او يساوي 0,54 ومعيار ناش ساتكليف (NSE) أكبر او يساوي القيمة العددية 0,83.

كما تم ايضا اقتراح نموذج تجريبي ثاني (ب) والنتائج العددية والبيانية للنموذج اثبتت فعاليتها حسب النتائج الإحصائية للسدود الخمس وهي كالتالي: معامل الارتباط أكبر من 0,80، ونسبة مجموع الرتب (RSR) اقل او يساوي 0,44 ومعيار ناش ساتكليف (NSE) أكبر او يساوي القيمة العددية 0,81.

الكلمات المفتاحية: التبخر ، سد، منطقة جافة، منطقة شبه جافة، الجزائر.

ABSTRACT

The objective of this thesis is the study of the evaporation from reservoir-dams in arid regions. Therefore, five Dam-reservoirs were chosen. We cite: Fontaine des Gazelles Dam-reservoir (Biskra), Foug El-Gherza Dam-reservoir (Biskra), Brezina Dam-reservoir (Al-Bayadh), Foug El-Guiness Dam-reservoir (Khenchela) and Djorf-Torba Dam-reservoir (Bechar).

It was necessary to analyze climatic data for each region where these dams are located, as well as the vegetation cover and water resources. The climatological factors which influence the phenomenon of evaporation (air temperature, wind speed, relative humidity, atmospheric pressure, water temperature, solar radiation and daylight) were discussed in details for each region. These regions are characterized by low rainfall of less than 150 mm/year and high air temperature can reach 45 °C and even 50 °C in summer, favoring significant evaporation reaching 1500 mm in arid regions.

Several researchers have tried to develop empirical models to estimate the evaporation from water bodies while using climatological factors influencing evaporation in the studied region. We have chosen fifty four models (54) approved as suitable: Penman, Slatyer-McIlroy, Priestley-Taylor, Stewart-Rouse, Debruin, Debruin-Keijman, Brutsaert-Strickler, Penman-Brutsaert, Penman-Monteith FAO, Kuzmin, Ivanov, Meyer, Roher, Penman, Konstantinov, Dalton, Mahringer, Vikulina, WMO, Trabert, Meyer, Oudin-1, Rayan-Harleman, Horton, Brockamp-Wenner, Shuliakovski, Harbeck *et al*, Jensen-Haise, Stephens-Stewart, Makkink, McGuinness-Bordne, Caprio, Doorenbos-Pruitt, Hargreave-Samani, Ritchie, Allen, Abtew, Droogers-Allen, Irmak *et al* - 1, Irmak *et al*-2, Oudin-2, Trajkovic, Tabari-Talae, Berti *et al*, Djori *et al*, Blaney-Criddle, Papadakis, Hamon, Hamon, Szász, Linacre, Kharrufa, Boutoutaou and Liu *et al*.

First, we tried to develop empirical models to estimate evaporation for each studied dam. We started with four specific models: Model-1 (Djorf-Torba Dam); Model-2 (Fontaine des Gazelles and Foug El-Gherza dams); Model-3 (Brezina Dam); Model-4 (Foug El-Guiness Dam). These models showed excellent performance with very good numerical and graphic results.

Two models (A and B) have been proposed for the estimation of evaporation from the five dams. The results of the proposed model-A show very good performance for the five reservoir-dams: The correlation coefficients are $> 0,84$, the RSR (Rank Sum Ratio) are $\leq 0,54$ and the Nash-Sutcliffe criterion (NSE) are $\geq 0,83$.

Also, the numerical and graphical results of Model -B were approved because the statistical indexes of the five dams show perfect performance: The correlation coefficient is $> 0,80$, the RSR (Rank Sum Ratio) is $\leq 0,44$ and the Nash criterion- Sutcliffe (NSE) is $\geq 0,81$.

Keywords: Evaporation, Water dam-storages, arid region, semi-arid region, Algeria.

RESUME

L'objectif de ce travail est l'étude de l'évaporation des barrages-réservoirs dans les régions arides. Donc, cinq barrages-réservoirs ont été étudiés. Nous citons : Barrage-réservoir de Fontaine des gazelles (Biskra), Barrage-réservoir de Foug El-Gherza (Biskra), Barrage-réservoir de Brézina (Al-Bayadh), Barrage-réservoir de Foug El-Guies (Khenchela) et Barrage-réservoir de Djorf-Torba (Béchar).

L'analyse des données climatiques de chaque région où se trouvent ces barrages-réservoirs a été nécessaire ainsi que le couvert végétal et les ressources en eau. Les facteurs climatologiques qui influent sur le phénomène d'évaporation (la température de l'air, la vitesse du vent, l'humidité relative, la pression atmosphérique, la température de l'eau, le rayonnement solaire et la lumière du jour) ont été abordés en détails pour chaque région d'étude. Ces régions sont caractérisées par des faibles précipitations inférieures à 150 mm/an et de fortes températures de l'air peuvent atteindre en été 45°C et même 50°C favorisant une évaporation importante atteignant 1500 mm en région aride.

Plusieurs chercheurs ont essayé d'élaborer des modèles empiriques permettant l'estimation de l'évaporation des plans d'eau tout en utilisant les facteurs climatologiques influant sur l'évaporation dans la région étudiée. Nous avons choisi cinquante-quatre modèles (54) approuvés comme adéquats : Penman, Slatyer-McIlroy, Priestley-Taylor, Stewart-Rouse, Debruin, Debruin-Keijman, Brutsaert-Strickler, Penman-Brutsaert, Penman-Monteith FAO, Kuzmin, Ivanov, Meyer, Roher, Penman, Konstantinov, Dalton, Mahringer, Vikulina, WMO, Trabert, Meyer, Oudin-1, Rayan-Harleman, Horton, Brockamp-Wenner, Shuliakovski, Harbeck et *al*, Jensen-Haise, Stephens-Stewart, Makkink, McGuinness-Bordne, Caprio, Doorenbos-Pruitt, Hargreave-Samani, Ritchie, Allen, Abtew, Droogers-Allen, Irmak et *al*-1, Irmak et *al*-2, Oudin-2, Trajkovic, Tabari-Talae, Berti et *al*, Djori et *al*, Blaney-Criddle, Papadakis, Hamon, Hamon, Szász, Linacre, Kharrufa, Boutoutaou et Liu et *al*.

Nous avons essayé d'élaborer des modèles empiriques permettant d'estimer l'évaporation pour chaque cinq barrages-réservoirs étudiés. On a commencé avec quatre modèles spécifiques : Modèle-1 (Barrage Djorf-Torba) ; Modèle-2 (Barrages de Fontaine des Gazelles et Foug El-Gherza) ; Modèle-3 (Barrage Brézina) ; Modèle-4 (Barrage Foug El-Guies). Ces modèles ont montré des excellentes performances avec de très bons résultats numériques et graphiques.

Deux modèles (A et B) ont été proposés pour l'estimation de l'évaporation des cinq barrages-réservoirs. Les résultats du modèle-A proposé montrent de très bonnes performances pour les cinq barrages-réservoirs : Le coefficient de corrélation est supérieur à 0,84, le RSR (Rapport de la Somme des Rangs) est $\leq 0,54$ et le critère de Nash-Sutcliffe (NSE) est $\geq 0,83$.

Aussi, les résultats numériques et graphiques du Modèle -B ont été approuvés du fait que les indexes statistiques des cinq barrages sont comme suit : Le coefficient de corrélation est $> 0,80$, le RSR (Rapport de la Somme des Rangs) est $\leq 0,44$ et le critère de Nash-Sutcliffe (NSE) est $\geq 0,81$.

Mots-clés : Evaporation, Barrage-réservoir, région aride, région semi-aride, Algérie.

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Le changement climatique intervient comme un facteur perturbateur additionnel potentiellement dangereux. Il pourrait en effet accentuer la variabilité spatiotemporelle et la dégradation quantitative et qualitative des ressources en eau d'une région comme la méditerranée qui connaît déjà des taux élevés d'évapotranspiration, des sécheresses et déficits (Hypatie Nassopoulos, 2012). Parmi les conséquences de ces changements climatiques : le développement des zones humides vers semi-arides, ou arides ou hyperarides.

En Algérie, compte tenu de l'aridité de la majeure partie du territoire l'accès à l'eau revêt encore la forme d'une crise chronique et constitue une source de conflits sociaux et un frein réel au développement des territoires qui en sont dépourvus et cela en dépit des efforts consentis par les pouvoirs publics pour de nouvelles mobilisations (Transferts, Dessalements) (Sid Ahmed Bellal et al, 2015). En effet sur les 238 millions d'hectares de la superficie de l'Algérie ; 200 millions d'hectares sont occupés par la zone saharienne où toutes les infrastructures socio-économiques sont soumises à un ensablement généralisé consécutif à un développement incohérent qui n'a pas toujours tenu compte de l'aspect écologique. Sur les 38 millions d'hectares du nord du pays, 20 millions d'hectares constituent la zone semi-aride/aride caractérisée par sa vulnérabilité aux processus de désertification (Yagoubi et al., 2008). Globalement, l'Algérie reçoit 100×10^9 m³ de pluie par an, dont 85% s'évaporent, les 15% restant, soit s'écoulent dans les cours d'eau pour être stockées dans les barrages ou déversées dans la mer, soit s'infiltrent (Remini, 2010).

Les barrages dans le monde et plus particulièrement ceux des régions arides et semi arides sont confrontés à trois problèmes hydrauliques qui sont l'évaporation intense, l'envasement excessif et les fuites d'eau à travers les rives et les fondations surtout que notre pays a été affecté par une période sèche depuis une vingtaine d'année environ (Remini, 2016). La capacité des barrages algériens croit depuis l'exploitation des trois premiers barrages en 1860 de capacité de 2, 26 millions de m³ jusqu'à l'année 2014 où la capacité de 74 barrages (11 sont situés dans le bassin hydrographique Oranie, 15 dans le bassin hydrographique de Chéllif Zahrez, 21 dans le bassin hydrographique de l'Algérois par contre le bassin hydrographique du Sahara détenu uniquement 04 barrages) a atteint 8650 millions de m³ est amputé annuellement d'une capacité de plus de 50 millions de m³ (Remini et al., 2017). L'analyse des réserves des barrages, à partir de septembre 2018 jusqu'à janvier 2019, a mis en évidence des apports importants dans la réserve nationale en eau en atteignant 4, 94 milliards de m³ dont 4,1 milliards de m³ sont exploitables d'après le ministre des ressources en eau.

Actuellement, il y a un cumul de dépôt de vase de plus de 650×10^6 m³ dans plus de 110 barrages algériens, la perte d'eau par évaporation est estimée à 52,479 Hm³/an, elle est nettement supérieure aux celles perdues par fuites, 30 Hm³/an, et par envasement, 8,3 Hm³/an (Toumi et al., 2018). Ce chiffre montre une sur-évaporation des barrages réservoirs existants et présentant un problème majeur que nous devons résoudre.

Pour cela, nous devons tout d'abord trouver des moyens adéquats pour quantifier le taux d'évaporation dans ces barrages réservoirs. Notons que la mesure de l'évaporation est confiée aux services de l'ANBT (Agence Nationale des Barrages et Transfert). La détermination des taux de l'évaporation des plans d'eau en Algérie est effectuée à partir des stations météorologiques

équipées de bacs d'évaporation (Class A ou bac Colorado). En absence de ces bacs, ils sont déterminés par analogie avec les plans d'eau qui sont toujours mesurés (Boutoutaou, 2011). Elle peut être estimée aussi en utilisant des modèles numériques tout en connaissant les données climatologiques enregistrées (mensuelles/journalières) dans chaque station du barrage.

Peu de chercheurs algériens, ont essayé de développer des modèles numériques afin d'estimer le taux d'évaporation des barrages réservoirs algériens. Les plus connus sont ceux proposés par Boutoutaou (2011) et Fekih (2013). Le principe de ces modèles est une application des formules avec des données climatologiques mesurées ou enregistrées. Alors que la majorité des modèles proposés par d'autres chercheurs internationaux sont souvent basés sur la connaissance des paramètres liés au rayonnement solaire qui ne sont pas souvent disponibles dans les bulletins météorologiques des stations au niveau des barrages algériens. Nous rappelons que les méthodes indirectes d'estimation de l'évaporation sont classées en quatre catégories : Bilan énergétique, bilan hydrologique, transfert de masse et méthodes combinatoires.

Les méthodes du bilan énergétique sont basées sur le principe de conservation de l'énergie, celles du bilan hydrologique reposent sur l'équation générale du bilan hydrologique proposé par P. Perrault en 1674 (Philibert, 1985). Les méthodes de transfert de la masse fondées physiquement grâce à la thermodynamique des processus irréversibles. Les méthodes combinatoires sont les plus couramment utilisées en hydrologie et météorologie pour calculer le taux d'évaporation d'une surface d'eau libre, et elles font appel à quatre paramètres climatiques (la température de l'air, l'humidité relative, la vitesse du vent et le rayonnement solaire) (Mohammad Aldomany, 2017).

De ce fait, nous avons accordé une attention particulière à l'estimation de l'évaporation au niveau des barrages réservoirs situés dans les régions semi-arides et arides en proposant des modèles empiriques nécessitant que la connaissance de quelques paramètres météorologiques souvent disponibles.

Les barrages étudiés sont : Barrage de Djorf-Torba situé à Béchar, barrage Brézina situé à El-Bayadh, barrages Fontaines des Gazelles et Foug El-Gherza situés à Biskra et barrage Foug El-Guiss situé à Khenchela. Les deux premiers barrages sont caractérisés par un climat aride et les trois derniers par un climat semi-aride. La première étape que nous avons procédé est la collecte des données météorologiques pour chaque barrage étudié et leur disponibilité. La deuxième étape c'était de programmer des sorties sur terrain afin de savoir quel sont les matériels disponibles et leurs efficacités. Ensuite, nous avons analysé et classé les paramètres disponibles pour chaque barrage. L'étape suivante était l'application des modèles proposés par des chercheurs nationaux et internationaux. L'étude comparative des résultats obtenus par les différents modèles et ceux mesurés était nécessaire.

Dans ce contexte, cette thèse se positionne autour d'un thème ambitieux qui est la proposition d'un modèle empirique pour l'estimation de l'évaporation mensuelle pour les cinq barrages étudiés. Ce dernier est le résultat d'une combinaison de deux modèles peuvent être modifiés afin d'aboutir à des meilleurs résultats numériques. Les paramètres météorologiques nécessaires pour l'application du nouveau modèle sont trois : la température de l'air, la vitesse du vent et la pression atmosphérique. D'autres paramètres liés au rayonnement solaire sont estimés par des formules proposées tel que la lumière du jour « D » et l'ensoleillement « I ». Pour évaluer la performance du modèle proposé pour les cinq barrages réservoirs situés dans des régions arides et

semi arides, nous avons opté le critère de Nash-Sutcliffe (NSE), l'erreur quadratique moyenne (RMSE), l'erreur biais moyen (MBE), le coefficient de corrélation (R^2) et le ratio de la somme de classement (RSR) pour la validation du modèle proposé. La performance du modèle peut être évaluée comme « Très bonne » si $NSE > 0,75$ et $RSR < 0,50$ avec un minimum d'erreur quadratique moyenne (RMSE).

Dans le premier chapitre on va présenter un aperçu théorique sur les caractéristiques principales des régions arides et semi-arides en Algérie : les grands ensembles structuraux, les étages bioclimatiques, les couches climat, la nature des sols, la végétation, la pluviométrie, l'aridité ou bien sensibilité à la désertification, les grands bassins aquifères et les ressources en eau disponibles dans ces régions.

Le deuxième chapitre sera une analyse des données climatiques disponibles pour les cinq régions d'étude. Rappelons que nous avons choisi quatre régions arides/semi-arides : Béchar, El-Bayadh, Biskra et Khenchela. On parlera sur le réseau hydro-climatologique algérien, la distribution cartographique des barrages-réservoirs algériens existants. Les localisations des barrages-réservoirs étudiés. On va aussi entamer les appareils de mesure des données climatiques au niveau de ces barrages. Pour chaque région d'étude où se situe notre barrage réservoir. Nous citons les données climatiques disponibles sont : les précipitations, la température de l'air, la température de l'eau, la vitesse du vent, l'humidité relative de l'air, la pression atmosphérique. A noter que les données du rayonnement solaire et la lumière du jour ne sont pas enregistrées dans les stations climatologiques situées aux barrages, elles sont obtenues du site web NOAA « National Oceanic and Atmospheric Administration ».

Le troisième chapitre sera consacré aux méthodes d'estimation de l'évaporation souvent les plus connues et utilisées à nos jours. Elles sont classées en plusieurs catégories : méthodes hydriques, méthodes combinatoires, méthodes de transfert de masse, méthodes basées sur le rayonnement solaire et méthodes basées sur la température de l'air. On présentera plusieurs formules ou modèles proposés par les auteurs. A signaler que la majorité des formules ont été expérimentées et validées dans les pays non- algériens seule celle de Boutoutaou (2011) est une formule algérienne. Nous pouvons citer les 54 modèles que nous allons partager dans ce chapitre sont : Penman (1948), Slatyer-Micro (1961), Priestley-Taylor (1972), Stewart-Rouse (1976), Debruin (1978), Debruin-Keijman (1979), Brutsaert-Strickler (1979), Penman-Brutsaert (1982), Penman-Monteith FAO (1998), Kuzmin (1957), Ivanov (1961), Meyer (1915), Rohrer (1931), Penman(1948), Konstantinov (1968), Dalton (1802), Mahringer (1970), Vikulina (1979), WMO (1966), Trabert (1896), Meyer (1926), Oudin-1 (2005), Rayan-Harleman (1973), Szasz (1973), Horton (1917), Brockamp-Wenner (1963), Shuliakovski (1969), Harbeck et al (1985), Jensen-Haise (1963), Stephens-Stewart (1963), McGuinness-Bordne (1972), Caprio (1974), Doorenbos-Pruitt (1977), Hargreave-Samani (1982), Ritchie (1990), Allen (1993), Abtew (1996), Droogers-Allen (2002), Irmak et al (2003)-1, Irmak et al (2003)-2, Oudin-2 (2005), Trajkovic (2007), Tabari-Talae (2011), Berti et al (2014), Djori et al (2016), Blaney-Criddle (1958), Papadakis (1961), Hamon (1961), Hamon (1963), Szász (1973), Linacre (1977), Kharrufa (1985), Boutoutaou (2011) et Liu et al (2016).

On ne va pas juste présenter ces modèles mais aussi vérifier et valider leurs efficacités et leurs fiabilités pour les cinq barrages-réservoirs étudiés, nous allons montrer les résultats numériques, les indexes statistiques et les tracés graphiques qui permettent de classer les meilleurs modèles retenus.

Le quatrième chapitre sera le chapitre où on va proposer des modèles ou des formules permettant l'estimation de l'évaporation pour chaque des cinq barrages-réservoirs étudiés ensuite on va élaborer un modèle commun et unique pour les cinq barrages-réservoirs. Leurs performances seront vérifiées par des indexes statistiques comme le critère de Nash-Sutcliffe « NSE », l'erreur

quadratique moyenne « RMSE », l'erreur biais moyen « MBE », le ratio de la somme de classement « RSR ». La dernière étape est de comparer les modèles proposés avec d'autres modèles adéquats signalés dans le troisième chapitre.

A la fin de cette thèse, nous suggérons quelques recommandations que nous pensons nécessaires et utiles pour l'utilisation de ces modèles ou bien à recommander des solutions qui peuvent être des sujets de recherches dans le futur.

CHAPITRE I
CARACTERISTIQUES GENERALES
DES REGIONS ARIDES/SEMI-ARIDES

I. INTRODUCTION

L'Algérie est un des pays africains dont sa superficie est de 2 381 000 km², de par son relief, sa morphologie et son climat impose une approche géo-climatique qui subdivise son territoire en trois grands ensembles (Figure I. 1) : L'ensemble tellien et littoral, les hauts plateaux et le Sahara (MADRP, 2015).

Le Système Tellien c'est un ensemble constitué par une succession de massifs montagneux, côtiers et sublittoraux et de plaines, les précipitations varient de 400 à 1000 mm, la température minimale est de 2°C et la température maximale 30°C. L'humidité relative varie de 60 à 70% et l'évapotranspiration varie de valeur minimale 30/40 mm à une valeur maximale 200/240 mm. Tandis que, les hautes plaines steppiques localisées entre l'Atlas Tellien au Nord et l'Atlas Saharien au Sud, à des altitudes plus ou moins importantes de 900 à 1200 m, elles sont parsemées de dépressions salées, chotts ou sebkhas, les précipitations varient de 150 à 350 mm, la température minimale est de 2°C et maximale 38°C, l'humidité relative moyenne est de l'ordre 15% et l'évapotranspiration varient entre 45 et 250 mm (MADRP, 2015). Alors que, la plate-forme saharienne, relativement stable, où la tectonique est moins prononcée, appartient au craton africain. Elle est caractérisée, en général, par des régions plates, les précipitations sont inférieures à 100 mm, la température varie entre -5°C et 50°C et l'évapotranspiration atteint 1500 mm selon le rapport du ministère d'agriculture du développement rural et de la pêche (Ben Slimane et al., 2008 ; MADRP, 2015).

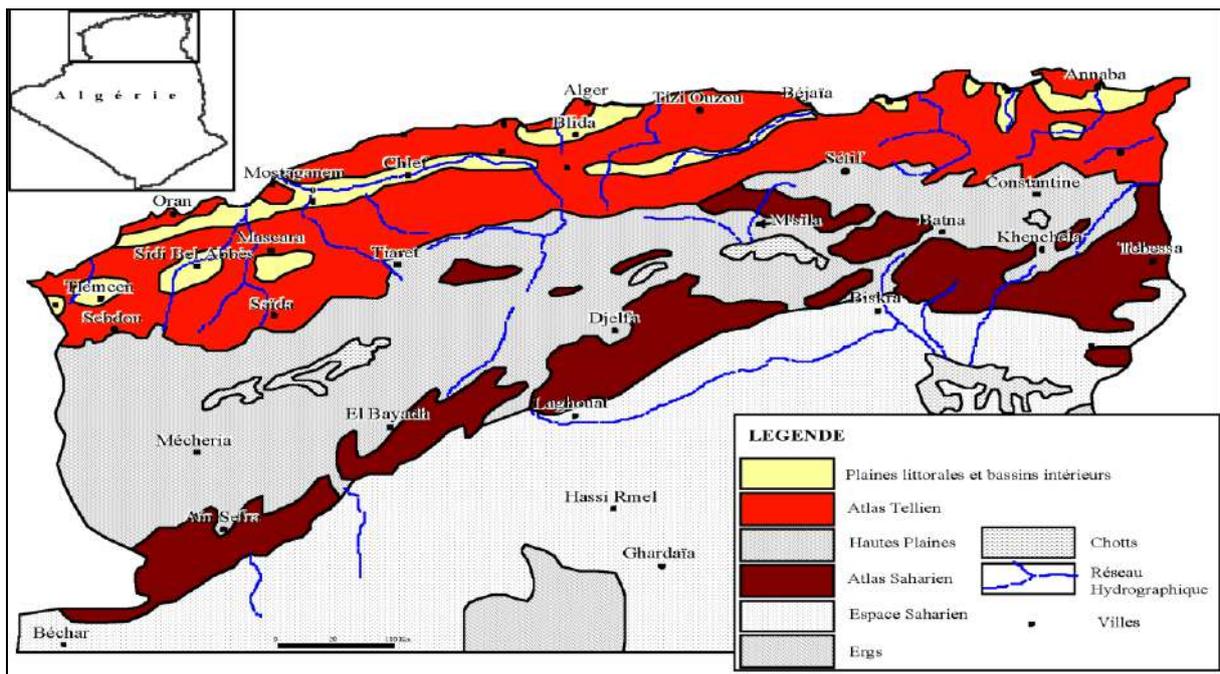


Figure I. 1. Localisation des grands ensembles structuraux d'Algérie (Hadeid, 2009).

Selon l'indice d'aridité (Tableau I. 1), les zones sèches correspondent aux zones arides, semi-arides et subhumides sèches. Dans un contexte de développement durable, le terme exclut généralement les zones hyperarides (déserts). Les zones sèches sont caractérisées par (CNULD, 2011) :

- ✓ Des précipitations faibles, peu fréquentes, irrégulières et imprévisibles ;
- ✓ De grandes variations entre les températures du jour et de la nuit ;
- ✓ Des sols contenant peu de matières organiques et présentant un manque d'eau ;

- ✓ Une faune et une flore adaptées aux variations climatiques (résistants à la sécheresse, s'accommodant de l'eau salée et capables de supporter un manque d'eau).

Tableau I. 1. Indice d'aridité bioclimatique des écosystèmes secs par UNESCO (Boudjellal lazhar, 2009).

Ecosystème	Indice d'aridité
Hyperaride	$P/ETP < 0,03$
Aride ou désertique	$0,03 < P/ETP < 0,2$
Semi-aride ou sahélien	$0,2 < P/ETP < 0,5$
Subhumide sec ou sahélo soudanien	$0,5 < P/ETP < 0,7$

P = précipitations annuelles et ETP = évapotranspiration potentielle c'est à dire la quantité d'eau prélevée sur une nappe d'eau libre par l'évaporation + transpiration du couvert végétal non limitée par la disponibilité en eau du sol.

Pour préciser la notion d'aridité, la plupart des indices et critères climatiques, font référence aux hauteurs de pluies précipitées, aux températures extrêmes et aussi très souvent à la demande évaporative de l'atmosphère. Ces indices sont en général calculés annuellement (parfois mensuellement) et sont surtout utilisables à petite échelle (Christian Floret et *al.*, 1948).

La notion de l'aridité est alors définie comme étant le résultat de la combinaison d'une faiblesse des précipitations et de l'intensité des phénomènes d'évaporation liés aux fortes températures (Lacoste, 2003 ; Yaël Kouzmine, 2008). Et au-delà, l'aridité se concrétise également par une distribution très irrégulière des précipitations dans le temps et dans l'espace. Ces dernières sont « notablement inférieures à l'évaporation potentielle annuelle » et ainsi, en zone aride, il pourrait s'évaporer dix à vingt fois plus d'eau qu'il n'en tombe chaque année (Ould Baba Sy M., 2005 ; Yaël Kouzmine, 2008). Cinq étages du bioclimat méditerranéen ont été définis pour l'Algérie : Saharien (le désert), aride, semi-aride, sub- humide et humide (Figure I. 2).

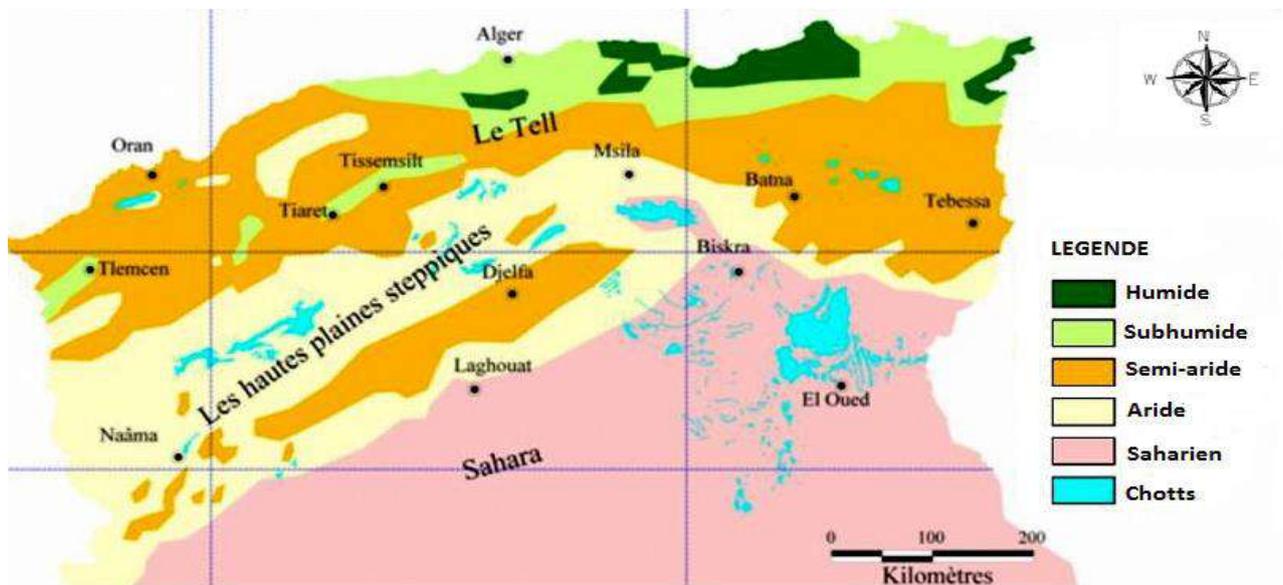


Figure I. 2. Etages bioclimatiques Algériens (ANAT, 2004 ; Houamel, 2018).

La figure I. 2 montre que l'aridité touche une grande partie de l'Algérie, depuis les rives de la méditerranée (littoral ouest algérien, sud tunisien et marocain, nord libyen), s'étend sur les hautes plaines marocaines, tunisiennes et algériennes, souvent à vocation pastorale et s'accroît sur la

bordure du Sahara septentrional (Djellouli, 2016). En 2005 et dans les zones arides et semi-arides, les températures varient selon les saisons entre 0°C à 35°C, en fonction de la latitude, l'altitude et la proximité du littoral. La pluviométrie est très faible sur la plupart des terres, notamment dans le désert et les steppes. Elle ne dépasse généralement pas 400 millimètres par an dans les steppes (Figure I. 3), mais est toutefois plus élevée dans les zones plus au nord (Delleule, 2016).

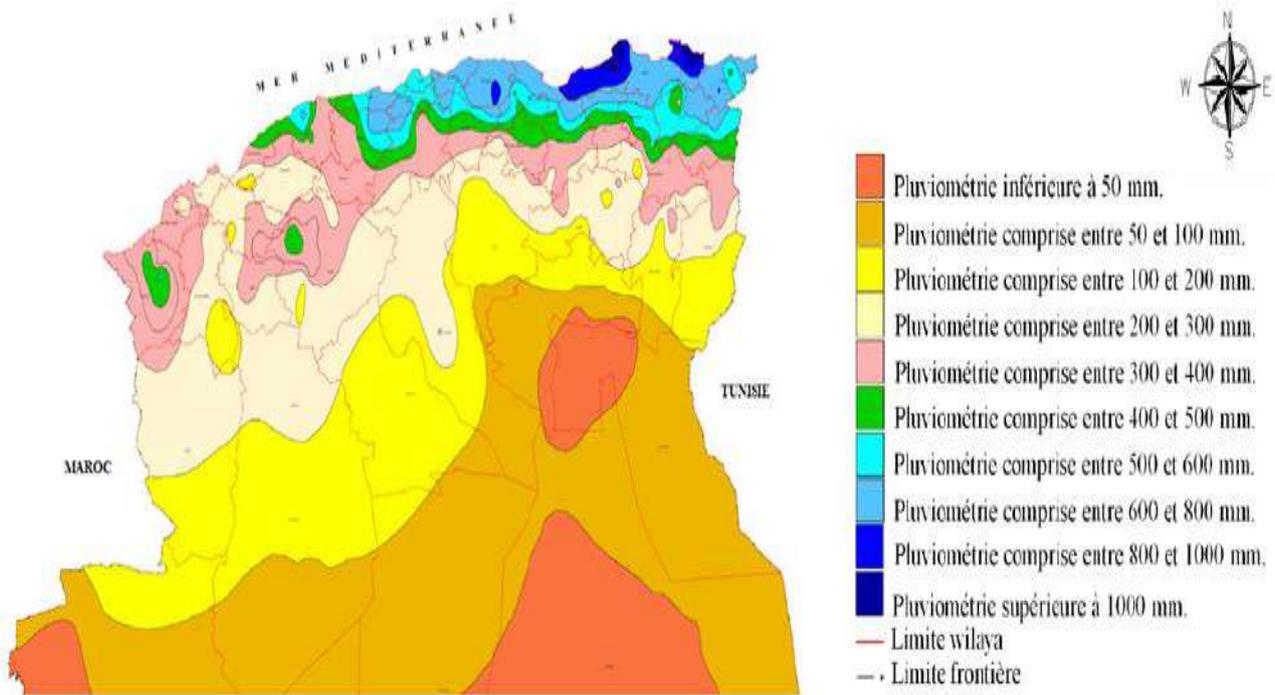


Figure I. 3. Carte pluviométrique de la partie nord de l'Algérie (Pluviométrie moyenne sur la période 1986-2005) (Delleule, 2016).

D'après le rapport « Etude diagnostique sur la biodiversité et les changements climatiques en Algérie » publié en 2015 par le ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement. Les quatre étages bioclimatiques de l'Algérie se distinguent comme suit (MATE, 2015) :

- Les étages humide et subhumide : Localisés essentiellement sur la côte et dans l'Atlas Tellien, ils sont caractérisés par des hivers pluvieux et doux, et des étés chauds et secs. Les précipitations diminuent d'Est en Ouest (1000 - 400 mm) et du Nord au Sud. Les températures moyennes minimales et maximales oscillent respectivement entre 5°C et 15°C en hiver et de 25°C à 35°C en été. Les vents humides venant de la mer apportent des pluies, de l'automne au printemps. Ces pluies sont plus abondantes à l'Est qu'à l'Ouest. Cependant, l'influence du désert se fait sentir à travers l'action du « sirocco » (vent sec et chaud, soufflant du Sud au Nord).
- L'étage semi-aride : localisé sur les Hautes Plaines et dans l'Atlas Saharien, il est caractérisé par des précipitations faibles et irrégulières, de 200 à 400 mm par an. Les pluies sont rares, surtout sur les Hautes Plaines Oranaise. En hiver la température peut descendre au-dessous de 0 °C en revanche, en été elle dépasse 30°C, voire même 40 °C.
- L'étage aride/Saharien : Localisé dans la région saharienne, il est caractérisé par des pluies rares et très irrégulières provoquant souvent des inondations. Les précipitations sont inférieures à 150 mm par an. Notons que, le Sahara est l'une des régions les plus chaudes du monde : les températures de jour peuvent atteindre en été 45°C et même 50 °C.

L'insuffisance de pluie et l'augmentation de températures pendant une certaine période peuvent entraîner la croissance des zones arides. En Algérie, les zones arides atteignent une superficie totale $112 \cdot 10^3 \text{ Km}^2$ et les zones semi arides $98 \cdot 10^3 \text{ Km}^2$ (Tableau I. 2).

Tableau I. 2. Superficie par étage bioclimatique en Algérie (El Mahi, 2002 ; Derouïche, 2007 ; Kerrache, 2011).

Etages Bioclimatiques	Pluviométrie (mm)	Superficie (ha)	Pourcentage (%)
Per-humide	1200-1800	185275	0,08
Humide	900-1200	773433	0,32
Subhumide	600-900	3401128	1,43
Semi-aride	300-600	9814985	4,12
Aride	100-300	11232270	4,72
Saharien	<100	212766944	89,3

Les zones très sensibles correspondent aux zones sahariennes (Figure I. 4), elles occupent près de 39,3 % de la superficie totale. Les zones sensibles correspondent aux zones arides avec 24,2 % du territoire. Les zones moyennement sensibles sont les régions semi-arides qui recouvrent les hauts plateaux et une partie du versant sud de l'atlas Saharien (26,6 %).

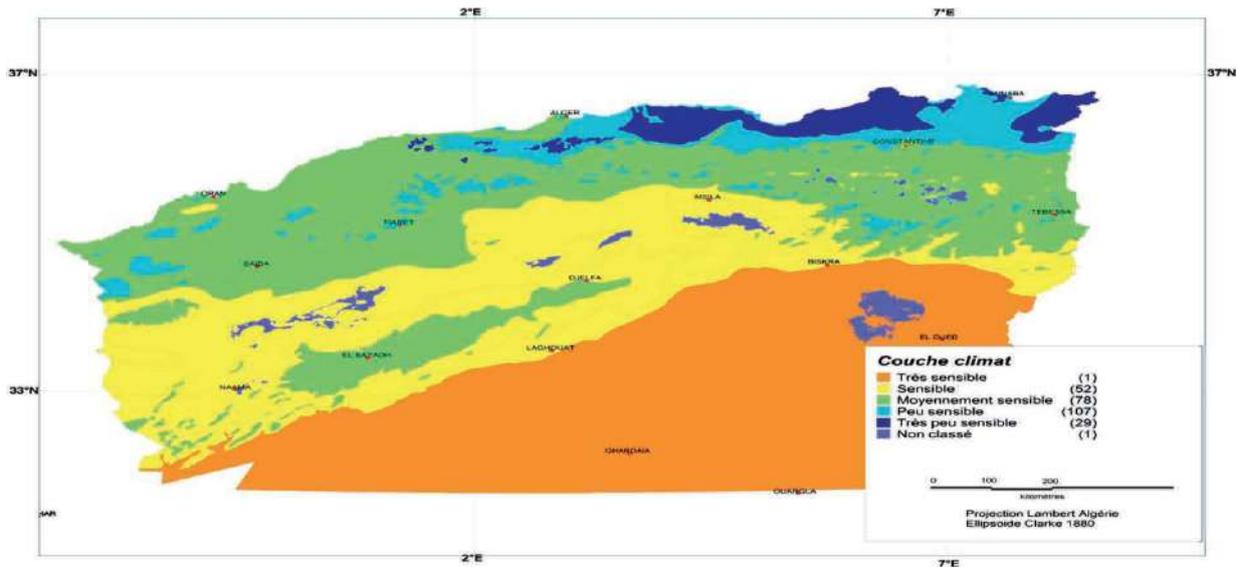


Figure I. 4. Couche climat -indice de sensibilité à la désertification –Algérie- (Salamani *et al.*, 2012).

Les zones peu sensibles du subhumide se trouvent sur certains massifs de l'atlas Tellien, le Tell du centre et de l'est (5,4 %). Les zones très peu sensibles sont peu étendues, elles sont cantonnées surtout au nord-est du pays et au centre sur les massifs les plus humides (3,1 %) d'Algérie (Salamani *et al.*, 2012).

II. LES SOLS DES REGIONS ARIDES/SEMI-ARIDES

Les sols d'Algérie peuvent être regroupés, en fonction du facteur climatique dominant dans leur formation, en trois grands groupes de sols zonaux ayant chacun leurs caractères propres

déterminés par les conditions du milieu commandant les processus de pédogenèse (Benchetrit, 1956) :

- Sols sahariens où le facteur dominant de formation des sols est le vent (mais peut-on considérer comme négligeable, la température et la sécheresse qui permettent justement l'action du vent et dont l'action propre fournit le matériel meuble) ;
- Sols des régions semi-arides où le sol zonal serait dû à l'équilibre climatique vent-pluie (ou plus exactement à l'équilibre : action du vent- résistance de la végétation) ;
- Sols des régions telliennes humides où l'humidité et la végétation deviennent les principaux facteurs de la formation des sols zonaux.

D'après Halitim (1988), dans les régions arides, les sols représentent environ 25 % de la surface cartographiée soit 3,2 millions d'hectares (Hamdi, 1999 ; Saadoune, 2016). Dans les régions arides, les sols, posent d'énormes problèmes de mise en valeur. Ils présentent souvent des croûtes calcaires ou gypseuses et sont la plupart du temps salés et sujets à l'érosion et à une salinisation secondaire (Aubert, 1960). Les sols situés au Sud sont nettement plus sodiques que ceux du Nord (Daoud, 1999).

La salinisation des sols peut être due à :

- Lixiviation des sels solubles et/ou à l'évaporation qui déposent leurs sels dans les sols (Wyn-Jones et Gunston, 1991 ; Madani, 2008).
- En régime, non saturé, la remonté capillaire entraîne un transport des sels par flux de masse vers la surface du sol ou ils s'accumulent après évaporation de l'eau (Raju et al, 1993 ; Madani, 2008).
- La présence d'une source de sels qui peut être naturelle, dénommée primaire, et une salinisation anthropique, généralement liée à l'irrigation, que l'on appellera secondaire (Cherbuy, 1991 ; Madani, 2008).
- Le fort éclaircissement et les rares pluies dans les régions semi-arides et arides accentuent la salinisation des périmètres irrigués et les rendent impropres aux cultures (Denden, 2005 ; Hammia, 2012).

L'importance de ces phénomènes de salinité dépend des apports hydriques et du bilan évaporatoire imposé par le climat. Le bilan évaporatoire, ou différence entre l'évaporation et les précipitations, varie dans de larges limites depuis des valeurs annuelles supérieures à 3000 mm jusqu'à des valeurs inférieures à 1000 mm (Bouteyre et Loyer, 1992).

Donc, les sols seront classés en fonction du niveau des sels, on distingue les trois types de sols : Les sols accumulation de sels (au sens très large du terme sels, les sols calcaires, les sols gypseux, les sols calcaires et gypseux et les sols salés (Halitim, 1988 ; Madani, 2008).

II. 1. Les sols salés :

Ils **sont** ceux dont l'évolution est dominée par la présence de fortes quantités de sels solubles (Madani, 2008). Les sols salés ou sols halomorphes appelés actuellement sols salsodiques représentent un pourcentage important de la surface totale des sols dans le monde (Cherbuy, 1991). Ils se différencient naturellement sous les climats plus ou moins aride, mais aussi tempérés, maritimes ou continentaux, là où l'évaporation excède, les précipitations pluviales de façon permanente ou temporaire (Bouteyre et Loyer, 1992). Dans ces sols, les sels solubles, le plus souvent, rencontrés sont des chlorures, des sulfates ou des bicarbonates, plus rarement on décèle des carbonates et des nitrates. Le cation le plus courant est le sodium, puis viennent par ordre décroissant le magnésium, le calcium et le potassium (Rechachi, 2010). En zones arides et semi arides, près de 50% des terres irriguées sont salinisées (Belkhodja, 1970).

II. 2. Les sols gypseux :

Aux régions méditerranéennes, d'énormes quantités de gypse se sont accumulées dans les matériaux sédimentaires, à partir du Trias et jusqu'au Mio-Pliocène. Au cours du quaternaire, la dissolution de ces roches a mobilisé d'importantes quantités de ce gypse qui s'est concentré dans les nappes profondes et dans les sédiments plus superficiels (Bouteyre et al, 1992). Dans les régions où l'aridité devient plus importante, ils occupent une superficie importante principalement au niveau des oasis (Durand, 1954 ; Mediouni, 1997 ; Abdesselam, 1999). Leur superficie cartographiée est estimée à près d'un million d'hectares (Daoud et Halitim, 1994). Djili (2000) considère que les sols les mieux pourvus en gypse sont ceux qui se situent légèrement au sud du domaine des sols calcaires.

II. 3. Les sols calcaires :

Selon FAO (2005), les types de sol calcaire dans les bioclimats semi-arides et arides sont : Sols à accumulations calcaires en profondeur chatins et bruns iso-humiques (Calci sols). La présence du calcaire est en fonction de la pluviométrie (Djili, 2000) :

- Les zones arides ($P < 300$ mm) : l'accumulation de calcaire semble être homogène dans tout le profil, mais avec un pourcentage de calcaire légèrement plus élevé dans les horizons de sub- surface ;
- Les zones semi- arides ($350 \text{ mm} < P < 450$ mm), le profil devient de plus en plus calcaire en profondeur ;

La figure (I. 5) montre que les formes d'accumulations calcaires en Algérie sont de trois types : Calcaires pulvérulents, encroûtements calcaires et croûtes zonaires. La croûte zonaire peut se rencontrer partout où l'eau chargée de calcaire a pu ruisseler en nappe. Elle est fréquente au Sahara, où elle forme de nombreux placages sur des calcaires ou des poudingues d'origines variées (Durand J H, 1954).

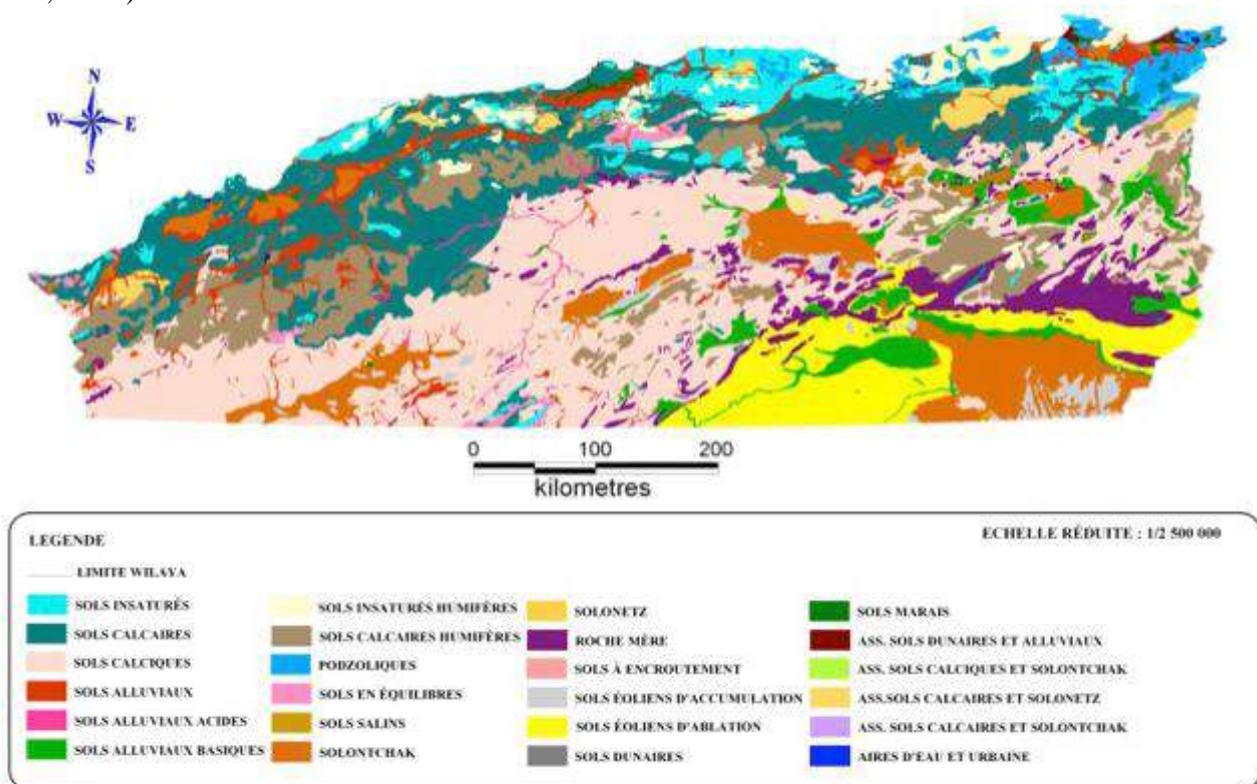


Figure I. 5. Classification des sols au nord algérien (Durand J H, 1954 ; FAO, 2014).

III. LES VEGETATIONS DES REGIONS ARIDES/SEMI- ARIDES

La végétation des zones arides, et particulièrement celle du Sahara est très clairsemée, à aspect en général nu, les arbres sont aussi rares que dispersés et les herbes n'y apparaissent que pendant une période très brève de l'année, quand les conditions deviennent favorables (Schiffers, 1971). Il existe deux catégories de plantes ; (i) Les plantes éphémères qui n'apparaissent que pendant de très courtes périodes, lorsque les conditions climatiques soient favorables. Malgré leur richesse floristique et leur bonne valeur nutritive, la vie capricieuse et la dépendance directe de la pluviosité de cette catégorie de plantes fait que leur disponibilité reste très faible et très irrégulière. (ii) ; Les plantes vivaces qui sont capables de supporter les périodes de sécheresse prolongées et y subsistent pendant toute l'année (Chehema, 2011). La végétation des régions semi-arides est constituée de l'armoise et l'alfa qui ont un enracinement assez profond pour pouvoir résister à la sécheresse. Les sols peuvent être fixés par ces végétations steppiques, mais leur évolution est freinée par le manque d'eau de percolation (Maurice Benchetrit, 1956).

Les zones arides sont, à l'heure actuelle, soumises à des pressions anthropozoïques importantes dont dépendent les phénomènes, parfois irréversibles, de désertisation (Manière *et al*, 1986). La désertisation est la poursuite du processus de la steppisation. Elle se traduit par la non régénération des espèces végétales et l'extension du paysage désertique (Haddouche *et al*, 2009). Parmi les principales caractéristiques de zone aride, les quantités de précipitations annuelles reçues moins élevées que l'évapotranspiration et les types de sols rencontrés ayant un certain nombre de caractères constants ; évolution lente, faible teneur en matière organique, structure faiblement définie et présences des sels sous leurs différentes origines (calcaires, gypses et autres sels solubles) et formes (BIM, 2014).

En effet, sur les 238 millions d'hectares de superficie de l'Algérie, 200 millions d'hectares sont situés en zone saharienne, 20 millions d'hectares en zone steppique avec des sols très fragiles et soumis au processus de désertification. Il y'a lieu de rappeler que la carte de désertification, élaborée en 1996, a concerné 09 Wilayas (Djelfa, M'Sila, Naama, El-Bayadh, Biskra, Khenchela, Batna, Tébessa et Laghouat) pour une surface de 20 millions d'hectares menacés par la désertification (DTCSRC, 2015). La figure (I. 6) montre une forte dégradation des sols dans les régions arides et semi arides met en évidence que le déficit pluviométrique observé durant ces dernières décennies est l'une des causes principales de cette dégradation (Ben Selimane, 2008).

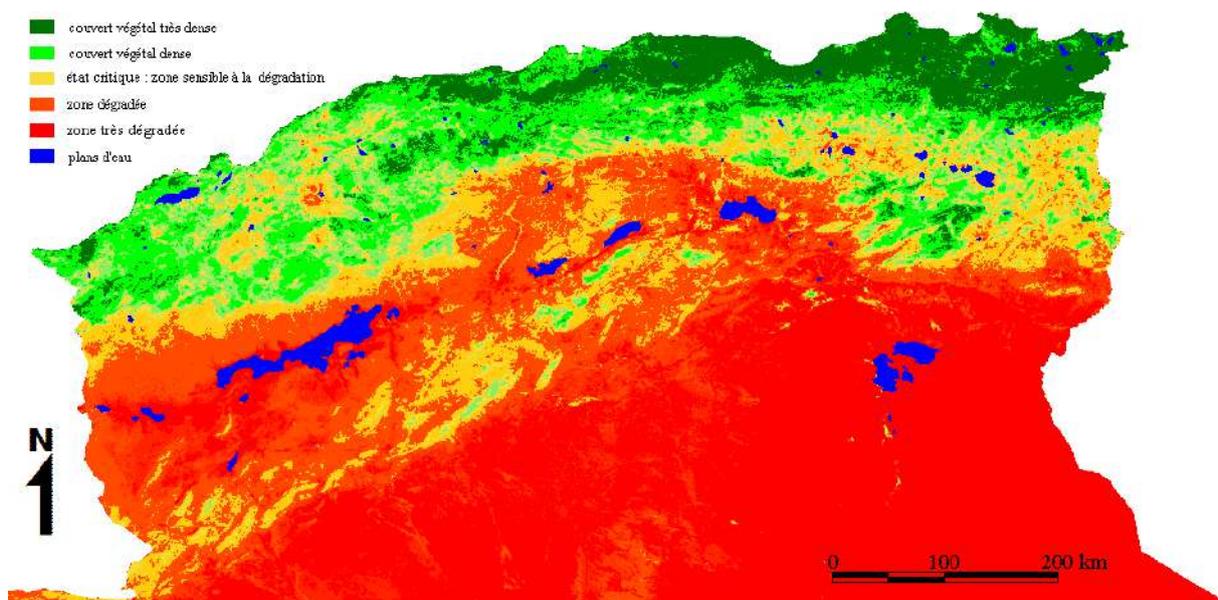


Figure I. 6. Carte synthèse de sensibilité à la désertification (Ben Selimane, 2008).

IV. LES RESSOURCES EN EAU EN ALGERIE

La pluviométrie moyenne annuelle en Algérie du sud est évaluée entre 95 et $100 \times 10^9 \text{ m}^3$. Plus de $80 \times 10^9 \text{ m}^3$ s'évaporent $3 \times 10^9 \text{ m}^3$ s'infiltrent et $12,5 \times 10^9 \text{ m}^3$ s'écoulent dans les cours d'eau (Remini, 2010, Djabri et al. 2010 ; Seggai, 2015). Les précipitations sont presque quasi-nulles ; cependant elles peuvent engendrer des crues violentes et dévastatrices (Djabri et al. 2010 ; Seggai, 2015). D'après Terra (2013), les ressources en eau en Algérie sont estimées en moyenne à 18 milliards de m^3/an dont 12,5 milliards de m^3 dans les régions Nord (10 Milliards de m^3 comme écoulements superficiels et 2,5 milliards de m^3 comme ressources souterraines renouvelables) et 5,5 milliards m^3 dans les régions sahariennes (0,5 milliard m^3 comme écoulements superficiels et 5,0 milliards m^3 comme ressources souterraines fossiles) (Seggai, 2015).

Les eaux superficielles sont caractérisées par une très forte irrégularité. En 2013, l'Algérie compte 84 barrages exploités et 520 retenues collinaires, avec une capacité de 74 hm^3 (Seggai, 2015). Les barrages dans le monde et plus particulièrement ceux des régions arides et semi arides sont confrontés à trois problèmes hydrauliques très sérieux qui sont l'évaporation intense, l'envasement excessif et les fuites d'eau à travers les rives et les fondations surtout que notre pays a été affecté par une période sèche depuis une vingtaine d'année environ (Ouadja et al., 2016). Tandis que, l'exploitation des eaux souterraines par forage est passée de 0,6 à plus de 20,5 millions de m^3/an (Seggai, 2015).

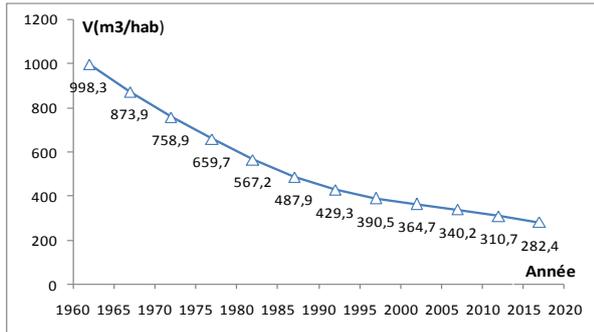
Rappelons que les ressources en eau naturelle et renouvelable sont définies par les écoulements superficiels et souterrains formés ou entrant dans le territoire. Elles sont chiffrées sur la base des données hydrologiques, en se référant à une période assez longue pour que les valeurs moyennes utilisées puissent être considérées comme stables. Le bilan des ressources en eau est réalisable à partir des monographies hydrologiques existantes sur des bassins versants élémentaires (ONS, 2015).

Selon WDI « World Development Indicators » et entre l'année 1972 et l'année 2017 les ressources en eau en Algérie sont restées stables (Aquastat, 2017) :

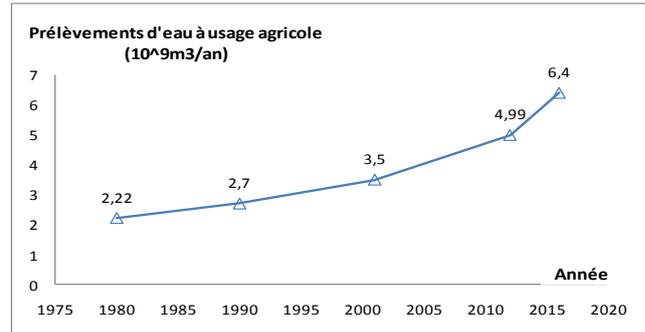
- ✓ Les eaux de surface renouvelables sont environ 10,2 milliards de mètres cubes par an.
- ✓ Le volume des précipitations est à environ 212 milliards de mètres cubes.
- ✓ Les précipitations moyennes sont autour de 89 mm.
- ✓ Les ressources en eau renouvelables sont environ 11,7 milliards de mètres cubes par an.
- ✓ Les eaux souterraines renouvelables sont environ 1,5 milliard de mètres cubes par an.
- ✓ Le taux de dépendance de l'Algérie est autour de 3,6%.

Les ressources en eau renouvelables par habitant diminuaient à un rythme modéré. Elles ont varié de 758,9 mètres cubes par an en 1972 à 282,4 mètres cubes par an en 2017 (Figure I. 7. 1). Bien que le prélèvement d'eau à usage agricole en Algérie ait considérablement fluctué ces dernières années, il a eu tendance à augmenter au cours de la période 1980 – 2016 atteignant un volume de $6,40 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{an}$ en 2016 (Figure I. 7. 2). Le taux de la population bénéficiant des eaux de surface a atteint 0,46% (Figure I. 7. 3) alors que le taux de la population consommant les eaux d'AEP diminue 76,52 % (Figure I. 7. 4).

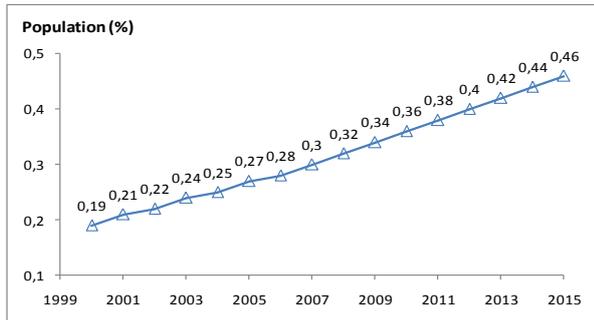
La capacité totale des barrages algériens est passée de $1,05 \text{ Mm}^3$ en 1960 à $8,3 \text{ Mm}^3$ en 2015, avec une croissance moyenne annuelle de 19,89% (Figure I. 7. 5) et avec une capacité de consommation moyenne de $146,5 \text{ m}^3/\text{hab}$ (Figure I. 7. 7) suivi d'un accroissement de la population bénéficiant d'une eau améliorée passant de 89,8 % à 93,5% (Figure I. 7. 6). En 2017, la proportion de la population urbaine desservie par une eau canalisée a diminué de 86,50 % en 2006 à 81,9 % en 2017 (Figure I. 7. 8).



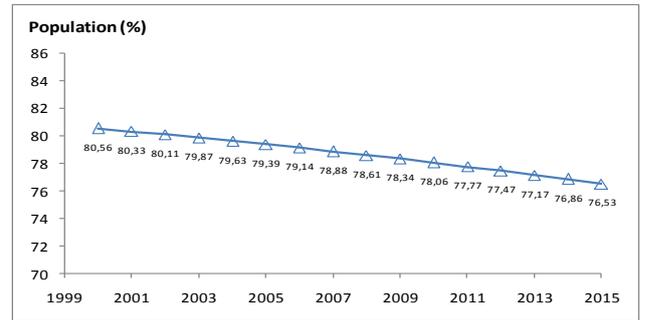
1. Ressources totaux d'eau renouvelables par habitant (Aquastat,2017).



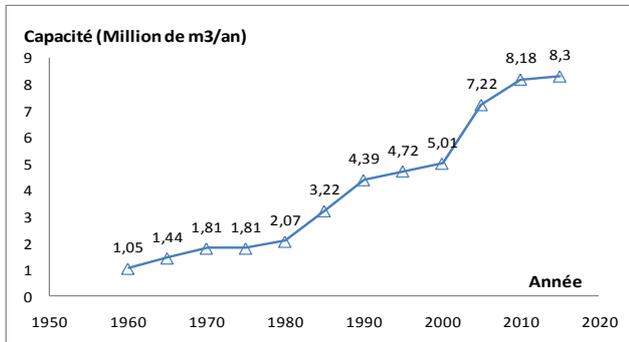
2. Prélèvement d'eau à usage agricole (Aquastat, 2016)



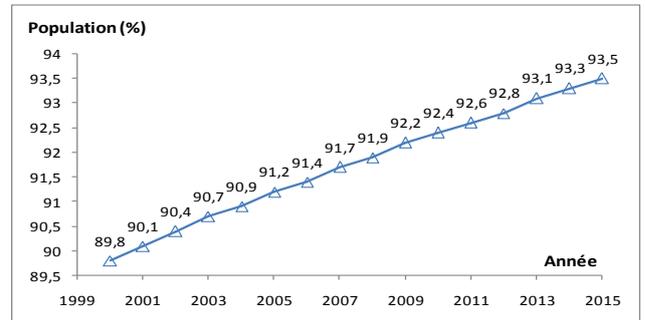
3. Proportion de la population bénéficiant des eaux de surface (WHO/UNICEF Water Supply Statistics; 2015).



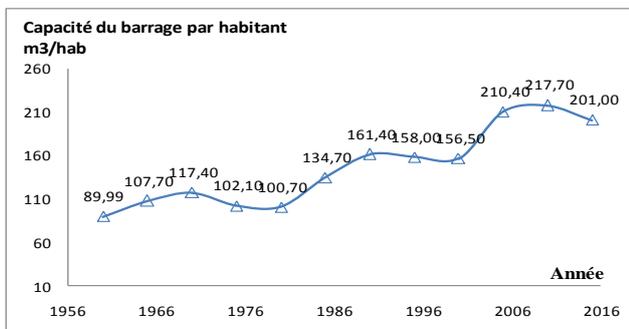
4. Proportion de la population bénéficiant d'AEP (WHO/UNICEF Water Supply Statistics; 2015).



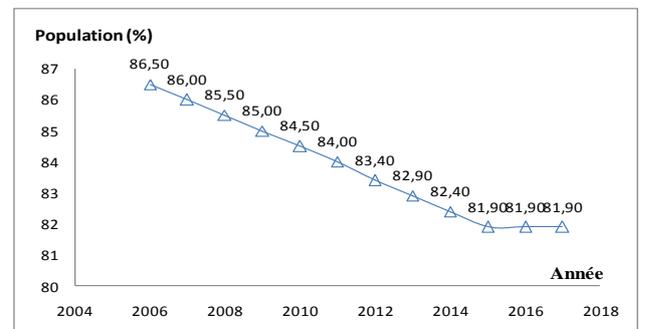
5. Capacité des barrages en Algérie (Aquset, 2015).



6. Proportion de la population bénéficiant d'une eau améliorée (WHO/UNICEF Water Supply Statistics; 2015).



7. Capacité du barrage /hab (Aquset, 2015)



8. Population desservie par une eau canalisée (Aquastat, 2017).

Figure I. 7. Evolution des ressources en eau /population en Algérie (Aquastat, 2015, 2016, 2017).

IV.1. LES RESSOURCES EN EAU MOBILISABLES

Nous rappelons que les ressources hydriques disponibles et mobilisables en Algérie sont réparties à travers cinq régions hydrographiques illustrées dans la carte ci-dessous à savoir (Figure I. 8) :

- Oranie- Chott-Chergui,
- Chelif -Zahrez,
- Algérois - Hodna – Soummam,
- Constantinois - Seybouse – Mellegue
- Sahara.

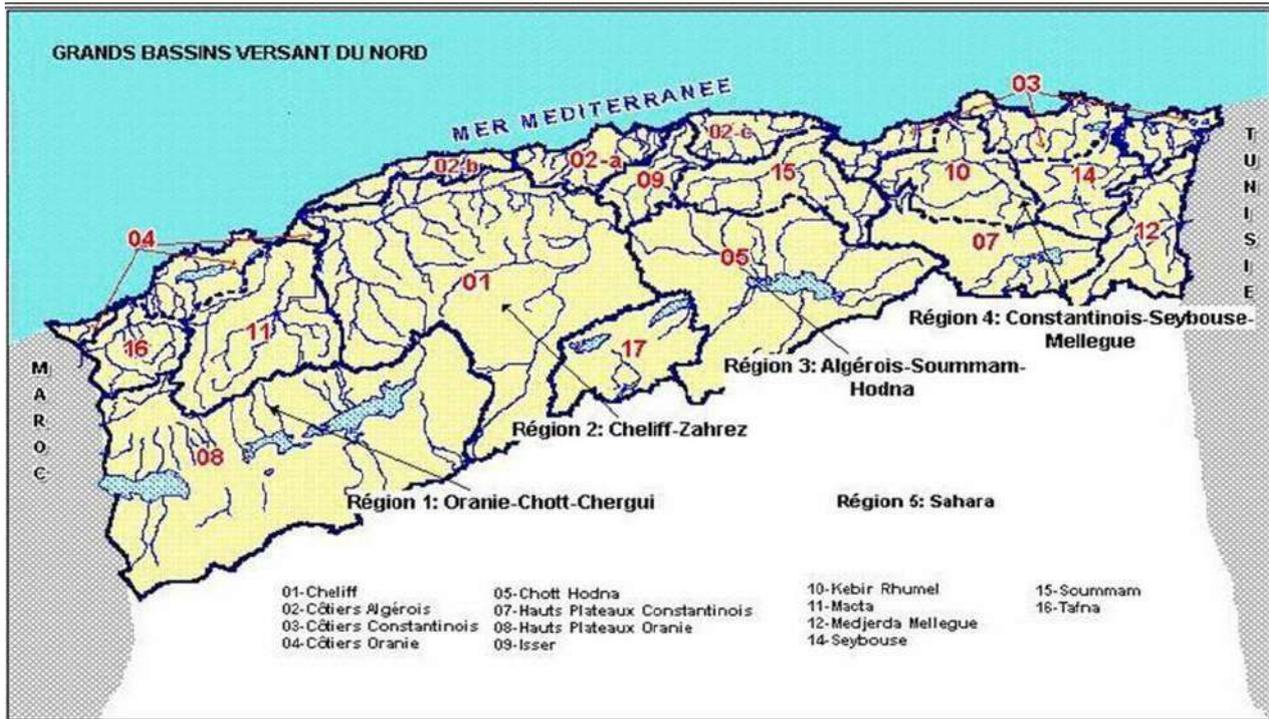


Figure I. 8. Répartition des grands bassins versant et réseau hydrographique du Nord Algérien (Oulhaci, 2016).

Le territoire national est découpé en cinq régions de bassins hydrographiques. Ce découpage s'inscrit dans la politique de gestion de l'eau. La superficie totale des régions hydrographiques du pays est de 393 745 km² soit 16,5% de la superficie totale du pays. La région Oranie Chott-Chergui occupe une superficie de 20%, la région de Chelif - Zahrez 13%, la région d'Algérois - Hodna - Soummam 13%, celle de Constantinois - Seybouse - Mellegue 11% et enfin le Sahara détient 43% de la superficie totale des cinq régions dont 100 000 Km² monopolisés par le bassin versant du Sahara (ONS, 2015).

D'après le tableau (I. 3), La région saharienne occupe une superficie totale de 168 750 Km², les apports d'eau en période sèche subissent une réduction de 20 à 37%. Alors que, la région Constantinois - Seybouse – Mellegue subi une réduction des apports d'eau allons de 8 à 23 %, celle de l'Algérois - Hodna – Soummam entre 10 et 46 %, tandis que les régions de Chelif – Zahrez et Oranie Chott-Chergui ont un taux de réduction des apports de l'ordre 30 à 34 %. La réduction de ces apports d'eau en période sèche est due aux paramètres climatiques dans chaque région.

Tableau I. 3. Les potentialités d'eau superficielles dans les cinq régions hydrographiques (MRE, 2012 ; ONS, 2015)

Région Hydrographique	Bassins versants	Superficie (Km ²)	Apport (Hm ³ /an) Période globale	Apport (Hm ³ /an) Période sèche	Taux de réduction en (%)
Oranie Chott-Chergui	Côtiers Oranais	5 831	50	33	34
	Macta	14 389	-	966	-
	Tafna	7 245	335	232	30
	H.P.Oranais	49 370	-	140	-
Cheliff - Zahrez	Chélif	43 750	1 540	1 078	30
	Zahrez	9 102	110	77	30
Algérois - Hodna - Soummam	Côtiers Algérois	11 972	2 850	1 536	46
	Isser	4 149	520	312	40
	Soummam	9 125	700	630	10
	Chott Hodna	25 843	220	156	29
Constantinois - Seybouse – Mellegue	Kébir Rhumel	8 815	910	700	23
	Medjerdah	7 785	240	220	8
	Seybouse	6 475	450	359	20
	H.P.Constantinois	9 578	135	105	22
Sahara	Sahara	100 000	320	200	37
	Chott Melrhir	68 750	300	240	20



Figure I. 9. Les grands bassins aquifères d'Algérie (Demmak, 2012).

Les eaux souterraines sont évaluées à 7,5 milliards de m³/an. On estime 2,5 milliards de m³/an dans la région du nord et 5 milliards de m³/an dans la région de sud (Deramchi, 2014).

Dans la partie Nord algérien (Figure I. 9), Il existe trois principaux types d'aquifères :

- Aquifères sédimentaires cénozoïques récents et quaternaires non consolidés dans la plaine côtière.
- Les aquifères de grès et de calcaire mésozoïques-cénozoïques dans les zones montagneuses.

- Les aquifères alluviaux dans les vallées des rivières. Au niveau régional, les aquifères importants sont très fragmentés. Les aquifères les plus importants sont les aquifères du Hodna et Chott Chergui de l'Atlas Saharien et l'aquifère côtier de la Mitidja et Annaba-Bouteldja.

La partie Sud (Sahara) : Cette zone couvre plus de 80% du pays et comprend le Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS), formé par le Continental Intercalaire inférieure et le Complexe Terminal supérieur. Le SASS constitue l'un des plus grands aquifères du monde. Les eaux souterraines de ce système sont généralement considérées comme des eaux fossiles (Moulla et al., 2012 ; OSS, 2003), et en raison des très faibles précipitations dans le Sahara (<100 mm/an). La recharge active de ces aquifères est extrêmement faible. L'exploitation des ressources en eaux souterraines du Sahara est donc généralement de type « minier », avec un déclin inexorable des ressources disponibles.

Les ressources en eau souterraines au Sahara sont essentiellement constituées par : - Les eaux renouvelables localisées dans les inféro-flux du versant sud des Aurès (région Nord de Biskra), du Hoggar Tassili à l'Est et de la région de Béchar - Tindouf à l'Ouest. - Les eaux non renouvelables représentées par les deux grands réservoirs des deux bassins sédimentaires : le Complexe Terminal et le Continental Intercalaire. Les réserves théoriques des deux aquifères sont estimées à près de 60 000 milliards de m³. D'après les inventaires des points d'eau et de débit extraits réalisés au Sahara, le débit fictif continu extrait dans les deux nappes (CT et CI) est d'environ de 50 m³/s, soit un volume de près de 1,57 milliard de m³ d'eau par an, avec un nombre total de forages de 3025, dont 700 foggaras (Khadraoui, 2015).

V. CONCLUSIONS

Ce chapitre présente un aperçu général des régions arides et semi arides, nous a permis de tirer quelques conclusions intéressantes :

1. Les régions arides atteignent une superficie 112 10³ Km², elles sont caractérisées par des régions plates. Les précipitations sont très faibles variant de 100 mm/an à 150 mm/an. La température moyenne de l'air varie entre -5°C et 50°C en fonction de la latitude et l'évaporation atteint 1500 mm. Les régions semi-arides d'une superficie de 98 10³ Km² sont localisées sur les hautes plaines et dans l'atlas saharien, elles sont caractérisées par des précipitations faibles et irrégulières, de l'ordre de 200 à 400 mm/an. La température de l'air en hiver peut atteindre au-dessous de 0°C en revanche elle dépasse 40°C en saison de l'été.
2. Les sols des régions arides/semi arides sont regroupés en fonction du facteur climatique dominant dans leur formation. Les sols sahariens, le facteur dominant dans la formation du sol est bien le vent. Les sols sahariens sont la plupart du temps salés et érosifs. Alors que les facteurs climatiques influant sur la formation des sols des régions semi-arides sont le vent et les précipitations (pluie). Les sols sont nettement plus sodiques.
3. La végétation des zones arides sont rares. Il existe deux catégories de plantes : Les plantes éphémères qui n'apparaissent que pendant de très courtes périodes, et les plantes vivaces qui sont capables de supporter les périodes de chaleur et sécheresse prolongées durant toute l'année. Dans les zones semi-arides l'armoise et l'alfa qui constituent la végétation de ces régions.
4. Les régions arides/semi aides couvrent plus de 80% du pays et comprend le Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS), formé par le Continental Intercalaire, le Complexe Terminal. Ces deux réserves théoriques des deux aquifères sont estimées à près de 60 000 milliards de m³. Ils constituent l'un des plus grands aquifères du monde. Au sud algérien, les eaux souterraines sont évaluées à 05 Milliards de m³/an. Mais, la recharge de ces nappes profondes est faible en raison de faible précipitations.

5. Les potentialités d'eau superficielles sahariennes est de 350 Hm³/an. Les apports d'eau superficiels en période sèche subissent une réduction de 20% à 37%. Tandis que, dans les régions semi-arides, les apports d'eau subissent une réduction de 8 % à 23%. De nombreux problèmes existants dans les régions arides et semi-arides, les trois majeurs problèmes sont l'évaporation des eaux de barrages-réservoirs, l'érosion du sol et la désertification.

CHAPITRE II

ANALYSE DES PARAMETRES CLIMATIQUES DES REGIONS D'ETUDE DES CINQ BARRAGES

Barrage Djorf-Torba (Béchar) ; Barrages Fontaine des Gazelles et Foum El-Gherza ; Barrage Brézina (El-Bayadh) et Barrage Foum El-Guiess (Khenchela)

II. 1. INTRODUCTION

En Algérie, la mesure de l'évaporation était 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 bacs, elle est déterminée par analogie avec les plans d'eau mesurés (Boutoutaou et al ; 2012). L'ANRH développe des outils de mesure, de prospection, d'analyse et d'expérimentation. Elle dispose :

- ✓ D'un réseau d'observation hydro-climatologique ;
- ✓ D'un réseau piézométrique pour le suivi des nappes ;
- ✓ D'un réseau de surveillance la qualité de l'eau ;
- ✓ De sept laboratoires d'analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux et sols.

Ces réseaux alimentent les banques de données sur les différents paramètres mesurés et observés. Notons que l'ANRH dispose de 200 stations hydrométriques, 800 postes pluviométriques, 200 postes pluviographiques et 50 stations climatologiques (Figure II.1). L'objectif de ces réseaux est de mettre à la disposition des utilisateurs les informations de base pour la détermination des paramètres du cycle de l'eau et l'établissement des bilans hydriques (ANRH, 2012).

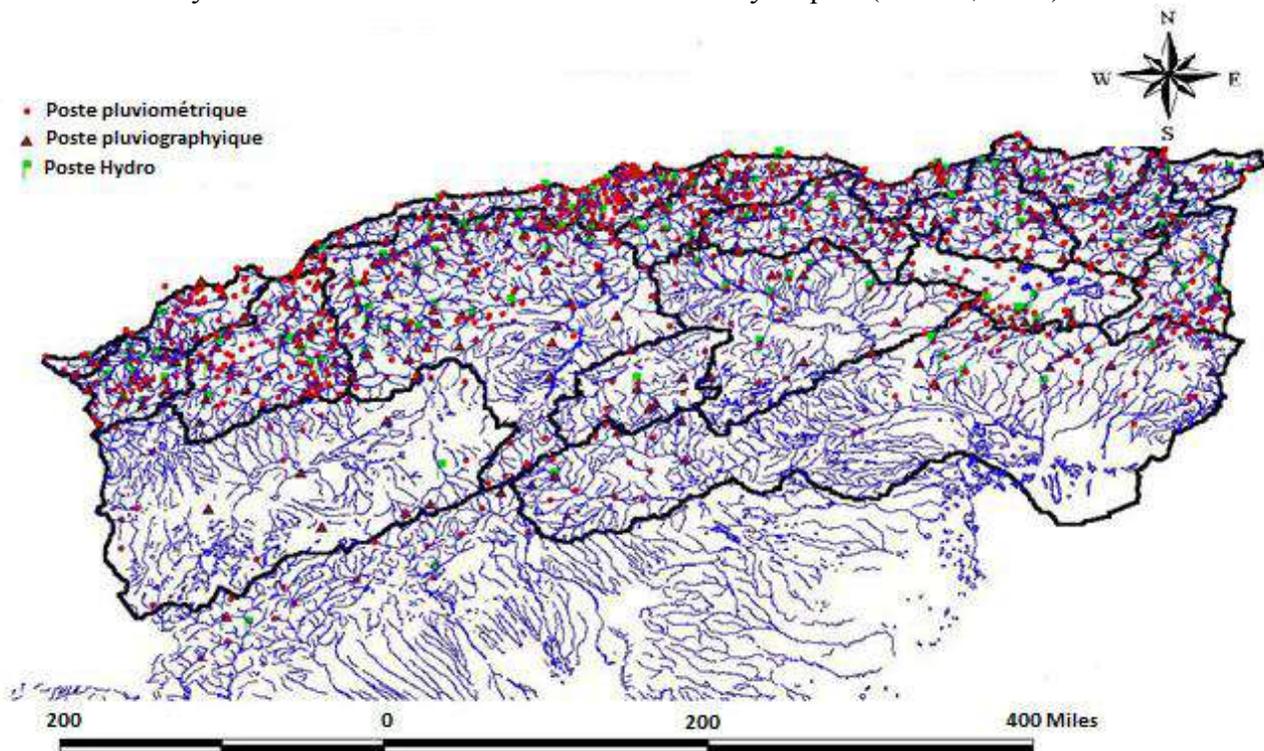


Figure II. 1. Le réseau hydro-climatologique algérien (ANRH, 2012).

Aujourd'hui cette tâche est confiée à l'agence nationale des barrages et transferts (ANBT) qui s'occupe de l'enregistrement de l'évaporation grâce à des rapports journaliers/mensuels envoyés par les services techniques des barrages algériens. D'après l'article de Pr. Remini (Remini, 2009), l'ANBT réalise des mesures quotidiennes d'évaporation dans 39 grands barrages d'une capacité totale de 3 800 Mm³. L'évaporation maximale, 350 Mm³, a été enregistrée en 1992-1993 et celle minimale, en 2001/2002 est de 100 Mm³. La moyenne annuelle sur la période 1992-2002 est de 250 Mm³, soit 6,5 % de la capacité totale. Ces observations permettent d'identifier clairement un



a) Station de Fontaine des Gazelles



b) Abri météorologique (baromètre, psychromètre, thermomètre).



c) Pluviomètre et Anémomètre



d) Bacs -A et Colorado-Foum El-Gherza



e) Mesure de l'évaporation au niveau du bac Class-A



f) Mesure de l'évaporation au niveau du bac Colorado- Foum El-Guies

Photos 1. Stations climatologiques existantes au niveau des barrages étudiés

–Types de bac d'évaporation- (Meziani, 2016).

Tableau II. 1. Les barrages algériens en exploitation (ANBT, 2020)

Les barrages en exploitation N°	Barrage	Wilaya	Capacité	Hauteur	Destination	Les barrages en exploitation N°	Barrage	Wilaya	Capacité	Hauteur	Destination
			(Million de m3)	(m)					(Million de m3)	(m)	
1	Souani		47			24	Ghrib	Ain Defla	115	105	AEP-IRR
2	H. Boughrara	Tlemcen	175	85	AEP-IRR	25	Boughzoul	Médéa	20	14	Transfert
3	Beni Bahdel	Tlemcen	55	61	AEP-IRR	26	Boukourdane	Tipaza	105	119	AEP-IRR
4	Meffrouche	Tlemcen	15	35	AEP	27	Meurad	Tipaza	2	23	IRR
5	Sidi Abdelli	Tlemcen	107	60	AEP	28	Bouroumi	Blida	181	100	AEP-IRR
6	Sarno	Sidi Bel Abbes	21	33	AEP	29	Ladrat	Médéa	8	44	IRR
7	Ouzert	Mascara	94	60	Transfert	30	Hamiz	Boumerdes	15	45	IRR
8	Bouhanifia	Mascara	38	54	AEP-IRR	31	Keddara	Boumerdes	142	108	AEP
9	Fergoug	Mascara	3	44	AEP-AEI-IR	32	Beni Amrane	Boumerdes	11	30	Transfert
10	Cheurfas II	Mascara	70	83	IRR	33	Lekhal	Bouira	27	43	AEP-IRR
11	Sidi mhamed ben Aouda	Relizane			AEP-IRR	34	K'sob	M'sila	12	46	IRR
12	Bakhadda	Tiaret	39	45	AEP-IRR	35	Tilesdit	Bouira	164	65	AEP-IRR
13	Dahmouni	Tiaret	39	42	IRR	36	Taksebt	Tizi Ouzou	181	76	AEP
14	Merdja Sidi Abed	Relizane	48	16	IRR	37	Ain Zada	B.-Bou-Arredj	121	50	AEP
15	Gargar	Relizane	358	90	IRR	38	Ighil Emda	Béjaia	160		
16	Sidi Yacoub	T Chlef	253	87	AEP-IRR	39	Erraguen	Jijel	200		
17	Col. Bougara	Tissemsilt	11	17	IRR	40	El Agrem	Jijel	33	60	AEP
18	Koudiat Rosfa	Tissemsilt	75	57	IRR	41	Beni Haroun	Mila	960	121	AEP-IRR
19	Oued El Fodda	Chlef	102	101	IRR	42	Hammam Grouz	Mila	40	50	AEP
20	Oued Mellouk	Ain Defla	127	47	AEP-IRR	43	Beni Zid	Skikda	39	40	AEP-IRR
21	Harreza	Ain Defla	76	41	IRR	44	Guenitra	Skikda	118	60	AEP-AEI-IR
22	Deurdeur	Ain Defla	105	56	AEP-IRR	45	Zardezas	Skikda	19	64	AEP-AEI-IR
23	Ghrib	Ain Defla	115	105		46	Zit El Emba	Skikda	116	47	IRR

Suite Tableau II. 1. Les barrages algériens en exploitation (ANBT, 2020)

Les barrages en exploitation N°	Barrage	Wilaya	Capacité	Hauteur	Destination	Les barrages en exploitation N°	Barrage	Wilaya	Capacité	Hauteur	Destination
			(Million de m ³)	(m)					(Million de m ³)	(m)	
47	Boughzoul	Médéa	20	14	AEP-IRR	65	H. Debbagh	Guelma	184	93	AEP-IRR
48	Boukourdane	Tipaza	105	119	AEP-IRR	66	Oued Cherf	Souk Ahras	152	60	IRR
49	Koudiat Medouar	Batna	74	47	AEP-IRR	67	Draa Diss	Sétif	190,5		AEP-IRR
50	Foum El Gueiss	Khenchela	1	29	AEP-IRR	68	Koudiat accerdoune	Bouira	640	121	IRR
51	Babar	Khenchela	38	40	IRR	69	Sekkak	Tlemcen	27	45	AEP-IRR
52	Foum El Gherza	Biskra	15	67	IRR	70	Kramis	Mostaganem	45	48	AEP-IRR
53	F. Des Gazelles	Biskra	55	43	IRR	71	Prise Chellif	Mostaganem	50	26	AEP
54	Brezina	El Bayadh	108	910	IRR	72	Kerrada	Mostaganem	70	85	AEP
55	Djorf Torba	Béchar	38	22	AEP-IRR	73	S M Ben Taiba	Ain Defla	75	52	AEP-IRR
56	Kissir	Jijel	68	48	AEP	74	That	Relizane	7	44	AEP-IRR
57	Boussiaba	Jijel	120	51	AEP	75	Seklafa	Laghouat	48		AEP-IRR
58	Oued Athmania	Mila	33	40	AEP-IRR	76	Kef Eddir	Tipaza	125	93	AEP-IRR
59	Ourkiss	Jijel	64	35	AEP	77	Beni Slimane	Médéa	28		IRR
60	Saf Saf	Tébessa	19	23	AEP	78	Tabellout	Jijel	294	112 m	AEP
61	Bougous	El Taraf	75	71	AEP	79	Soubella	M'sila	17,4		AEP
62	Douéra	Alger	75	85	IRR	80	Ouljet Mellègue	Tébessa			AEP-IRR
63	Tichy-Haf	Béjaia	82	86	AEP-IRR	81	Tagharist	Khenchela			AEP-IRR
64	Mahouane	Sétif	114,5		AEP-IRR						

AEP= Alimentation en eau potable/ AEI = Alimentation en eau industrielle/ IRR = Irrigation.

II. 2. LA SITUATION GEOGRAPHIQUE DU BARRAGE DE DJORF-TORBA (BECHAR)

Le barrage de Djorf-Torba est un barrage en béton, se situe entre la commune de Kenadsa et la commune de Meridja, à 60 Km à l'ouest de la wilaya de Béchar et à 25 Km de Kenadsa, construit dans les années 60, implanté en région saharienne sur l'Oued Guir de longueur environ 500 Km, il contrôle un bassin versant de 22000 km², à une capacité de 350 millions de m³ et sa mise en service décidée en 1969 (ANBT, 2016). Sa vocation était pour l'irrigation de la plaine d'Abadla avec 60 millions de m³/an pour les communes de Béchar, Kenadsa et Abadla (Kabour, 2011). Les problèmes existants au niveau du barrage Djorf-Torba sont : l'envasement est lié directement aux phénomènes de l'érosion des sols du bassin versant, pertes d'eau (fuites et évaporation) et les apports solides. Il est à noter que le barrage Djorf-Torba, a été classé comme un barrage de fort taux d'envasement. Le taux de comblement annuel du barrage est estimé de 0,9 % par an. En 2014, le barrage atteint un taux de comblement de 35% à cause des apports solides (Remini, 2017).

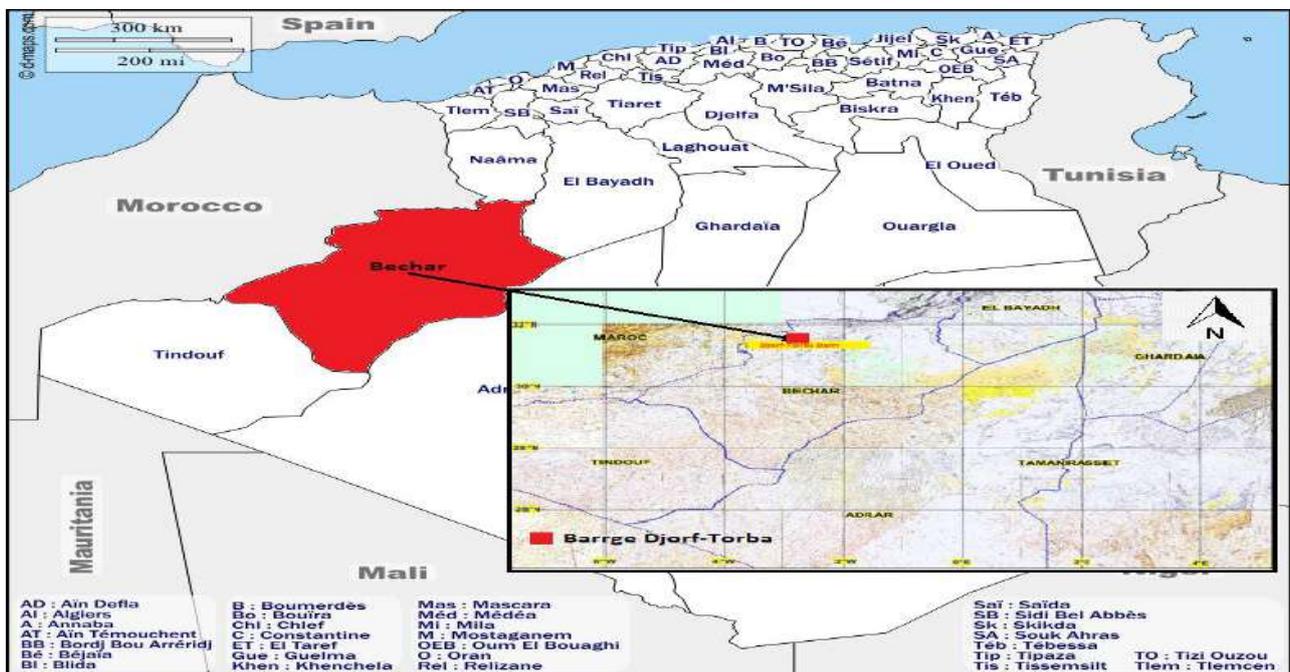


Figure II. 3. Localisation du barrage de Djorf-Torba, Béchar (@d-map.com ; Hala et al, 2019).



Photos 2. Barrage Djorf-Torba (@Algérie Presse Service, 2019).

II. 3. PRESENTATION DES PARAMETRES CLIMATIQUES DISPONIBLES DE LA REGION DE BECHAR

Les données climatiques de la région de Béchar sont enregistrées par une station localisée sur la Longitude 31°30'38"N, et la Latitude 2°46'16"W à une altitude 773 m (Données enregistrées par la station climatologique 605710 (DAOR)).

II. 3. 1. Précipitations

Le climat de la région de Béchar est typiquement saharien. Au cours des années 2000- 2019, les précipitations ont été considérées comme très faible du fait que la précipitation moyenne annuelle atteignait 91,58 mm < 100 mm (Voir Annexe 1). Dans cette région, la saison des pluies s'étend du mois de septembre à novembre (Figure II. 3. 1). La région a subi des fortes pluies pendant l'année 2014 au mois de novembre (184,91 mm) alors que la pluviométrie n'a jamais dépassé 80 mm (Figure II. 3. 2).

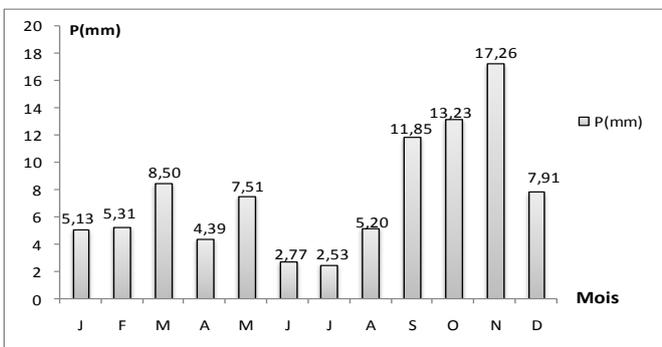


Figure II. 3. 1. Variations mensuelles des précipitations de la région de Béchar (2000- 2019).

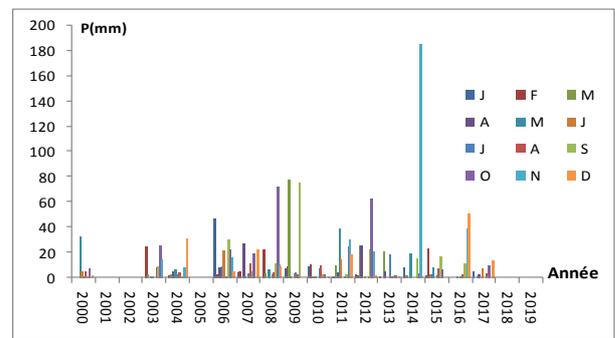


Figure II. 3. 2. Variations annuelles des précipitations de la région de Béchar (2000- 2019).

II. 3. 2. Température de l'air

Durant les dernières années passées, la région de Béchar est caractérisée par des fortes températures pendant la saison de l'été. Nous rappelons que la température de l'air est le premier facteur influençant sur l'évaporation des plans d'eau. Elle est fortement influencée par la nature de la surface terrestre et par l'importance de l'ensoleillement. Pour une série de données 2000-2019, la température moyenne mensuelle du mois le plus chaud est enregistrée durant le mois d'Juillet (35,30°C). Celle du mois le plus froid en Janvier atteignant 9,97°C. La température maximale mensuelle la plus élevée durant cette période est enregistrée pendant le mois de Juillet de l'ordre de 41,25°C. Alors que la température minimale mensuelle est enregistrée durant le mois de Janvier est de 3,16°C (Voir figure II. 3. 3).

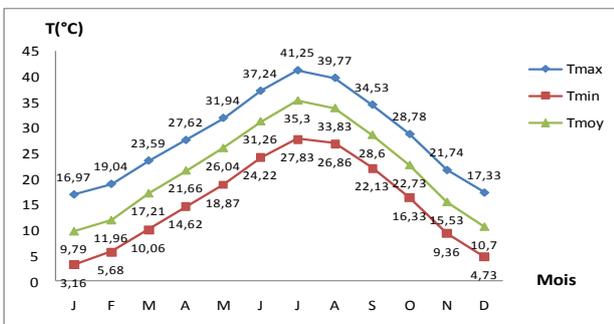


Figure II. 3. 3. Variations mensuelles de la température de l'air maximale, minimale et moyenne de la région de Béchar (2000- 2019).

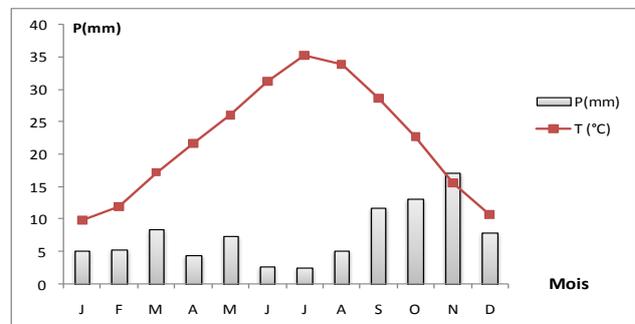


Figure II. 3. 4. Diagramme ombrothermique de la région de Béchar (2000- 2019).

Selon le diagramme ombrothermique (Figure II. 3. 4), le mois le plus arrosé c'est le mois de novembre (17,26 mm) et le mois le plus sec est le mois de juillet (2,53 mm) (Voir tableau II. 2). La courbe de la température est au-dessus des précipitations donc la période sèche s'étale presque sur toute l'année sauf le mois de novembre. L'amplitude thermique de cette région est de 25,51°C.

Tableau II. 2. Variations mensuelles de température et de précipitation de la région de Béchar (2000-2019)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T _{moy} (°C)	9,79	11,96	17,21	21,66	26,04	31,26	35,3	33,83	28,6	22,73	15,53	10,7
Description	Sec	Sec	Sec	Sec	Sec	Sec	Sec	Sec	Sec	Sec	Humide	Sec
P(mm)	5,13	5,31	8,50	4,39	7,51	2,77	2,53	5,20	11,85	13,23	17,26	7,91

Source : (ANBT, 2019)

D'après la classification d'Hufy (Hufy A., 2001), le climat est tempéré chaud à été chaud et sec.

- ✓ Les températures moyennes des 3 mois les plus froids sont comprises entre 9,79 °C et 11,96 °C ;
- ✓ La température moyenne du mois le plus froid est supérieure à 9°C ;
- ✓ Les saisons été et hiver sont bien définies en fonction des températures ;
- ✓ La saison sèche s'étale presque sur toute l'année ;
- ✓ Les précipitations du mois estival le plus sec sont inférieures à 40 mm et inférieures à 1/3 du mois hivernal le plus humide ;
- ✓ La température moyenne du mois le plus chaud est supérieure à 35°C.

II. 3. 3. La température de l'eau :

Les échanges de chaleur entre l'atmosphère et l'eau provoquent l'augmentation de la température de l'eau de surface qui présente une qualité importante dans les paramètres environnementaux. Elle régule la concentration maximale d'oxygène dissous dans l'eau. L'augmentation de la solubilité de l'oxygène avec la baisse de la température de l'eau à d'innombrables conséquences chimiques et biologiques (Ramade, 1991). En d'autres termes lorsque la température de l'eau augmente, il y a moins d'oxygène dissous dans l'eau. La température de la surface évaporante dites température de l'eau (T_{eau}), ne figure pas dans les bulletins climatologiques. Elle peut être déterminée en fonction de la température de l'air (T_{moy}) et la tension de vapeur d'eau de l'atmosphère (e_a), en utilisant l'abaque et tableau (Annexes 38-39) (Boutoutaou, 2012).

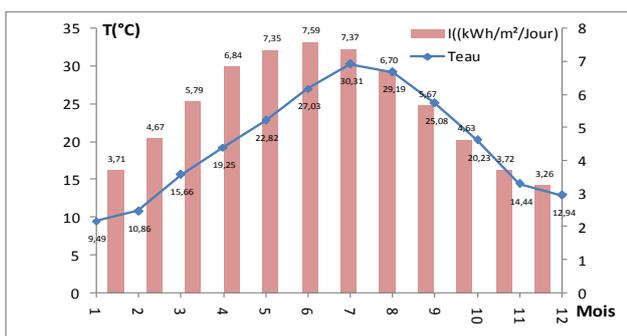


Figure II. 3. 5. Variations mensuelles de la température de l'eau et du rayonnement solaire de la région de Béchar (2000- 2019).

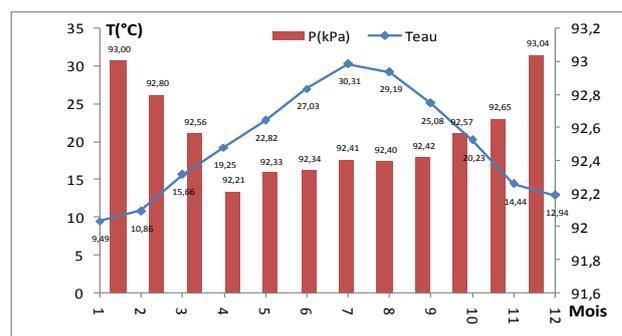


Figure II. 3. 6. Variations mensuelles de la température de l'eau et de la pression atmosphérique de la région de Béchar (2000- 2019).

La température moyenne de l'eau varie entre 9,49°C et 30,31°C (Voir tableau II. 3). La figure (II. 3. 5) montre que la courbe de température de l'eau se situe au-dessous de la courbe de rayonnement solaire. Nous rappelons que la température de l'eau dépend de la pression atmosphérique normale (environ 1013 hPa au niveau de la mer), l'eau s'évapore à n'importe quelle température positive et même négative mais on parle plus de vaporisation mais de sublimation. Donc, quand la pression atmosphérique augmente la température de l'eau augmente.

Aussi, La température de l'eau augmente bien évidemment dû à son réchauffement directement par le soleil. Des deux figures (II. 3. 5) et (II. 3. 6), on remarque que le principal facteur qui influe sur la température de l'eau c'est bien beaucoup plus le rayonnement solaire.

Tableau II. 3. Les valeurs T_{moy} , e_a et T_{eau} – sont des valeurs moyennes mensuelles (2000-2019)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T_{moy} (°C)	9,79	11,96	17,21	21,66	26,04	31,26	35,3	33,83	28,6	22,73	15,53	10,7
e_a (mb)	5,77	5,86	6,38	7,26	8,60	9,24	9,43	11,20	12,11	10,45	8,03	6,93
T_{eau} (°C)	9,49	10,86	15,66	19,25	22,82	27,03	30,31	29,19	25,08	20,23	14,44	12,94

Source : (ANBT, 2019)

II. 3. 4. La vitesse du vent :

Selon la loi de Dalton (1802), le taux d'évaporation d'un plan d'eau s'exprime en fonction du déficit de saturation (quantité d'eau ($e_s - e_a$) que l'air peut stocker, ce qui correspond à la sécheresse de l'air), et de la vitesse du vent. Le vent, par le biais de sa vitesse, sa structure verticale et de ses turbulences et par aussi le mélange de l'air ambiant, de remplacer au voisinage de la surface évaporante, l'air saturé par l'air le plus sec (Musy et al, 2004).

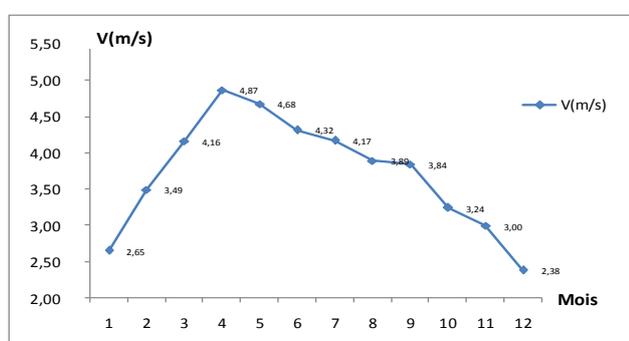


Figure II. 3. 7. Variations mensuelles de la vitesse du vent de la région de Béchar (2000- 2019).

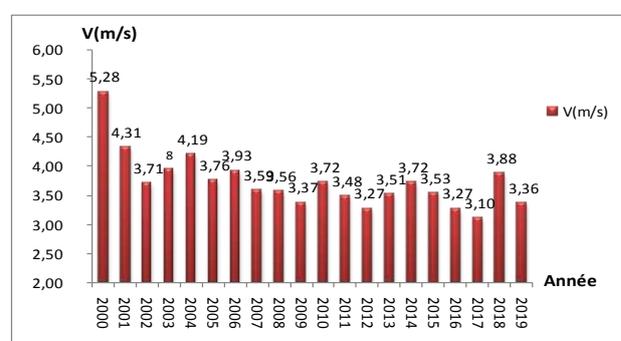


Figure II. 3. 8. Variations annuelles de la vitesse du vent de la région de Béchar (2000- 2019).

Dans notre région, le mouvement de l'air le plus élevé se produit en avril avec une vitesse moyenne de 4,87 m/s, il est plus faible en décembre avec une vitesse de 2,38 m/s (Figure II. 3. 7). La moyenne annuelle de la vitesse du vent est de 3,72 m/s (série 2000-2019). La figure (II. 3. 8) montre qu'en 2000, les vents atteignant une vitesse moyenne de 5,28 m/s durant toute l'année après cette année la vitesse moyenne du vent varie entre de 3,10 m/s à 4,31 m/s (Voir annexe 4). Selon l'échelle de Beaufort, On peut classer la région de Béchar comme une région à faible vent avec une vitesse en nœuds 7-10 (Tableau II. 4).

Tableau II. 4. Classification des vents de la région de Béchar selon l'échelle de Beaufort

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
V(km/h)	9,54	12,58	14,98	17,52	16,83	15,54	15,01	14,01	13,84	11,67	10,79	8,59
V(m/s)	2,65	3,49	4,16	4,87	4,68	4,32	4,17	3,89	3,84	3,24	3,00	2,38
V(nœuds)	4-6	7-10	7-10	7-10	7-10	7-10	7-10	7-10	7-10	7-10	4-6	4-6
Termes	Légère brise	vent faible	Légère brise	Légère brise								

Source : (ANBT, 2019)

II. 3. 5. L'humidité relative de l'air :

L'humidité relative de l'air ou degré hygrométrique correspond à la quantité de vapeur d'eau dans l'air par rapport à la capacité maximale que ce dernier peut en contenir. Elle s'exprime en pourcentage (%) et dépend de la température et de la pression atmosphérique. Si l'altitude est importante la masse d'air se refroidit et son humidité relative augmente jusqu'à saturation (La pression partielle de vapeur d'eau est égale à la pression de vapeur saturante).

Ainsi, une augmentation de température au cours d'une journée peut entraîner des humidités relatives très basses. Par contre à l'échelle du mois, elle reste constante. D'après le tableau (II. 5), l'humidité relative maximale durant ces 19 ans est atteinte en mois de décembre avec une valeur 54,17%, la valeur minimale est enregistrée le mois de juillet (16,54%). L'humidité moyenne annuelle est de 33,58% (Voir Annexe 5).

Tableau II. 5. Humidité relative et la température de l'air de la région de Béchar (2000-2019)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
H _r (%)	47,73	41,18	32,69	28,12	25,67	20,39	16,54	21,37	31,23	38,15	45,67	54,17
Description	M	M	S	S	S	S	S	S	S	M	M	M
T _{moy}	9,79	11,96	17,21	21,66	26,04	31,26	35,3	33,83	28,6	22,73	15,53	10,7

Source :(ANBT, 2019)

M : Air Moyen humide : H_r (%) = 35-65%.

S : Air Sec : H_r (%) < 35%.

La figure (II. 3. 10) montre que, durant les 12 mois, l'humidité relative varie en fonction des changements de la température : elle augmente si la température baisse et diminue si elle s'élève.

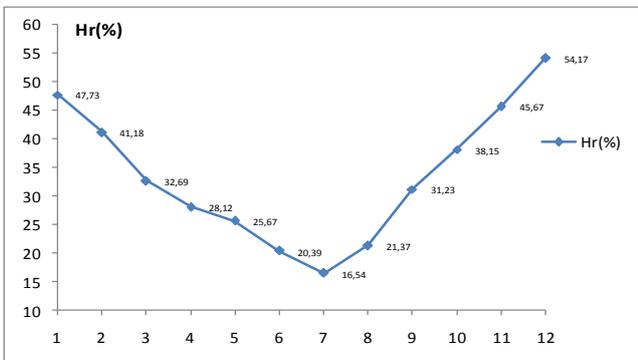


Figure II. 3. 9. Variations mensuelles de l'humidité relative de la région de Béchar (2000- 2019).

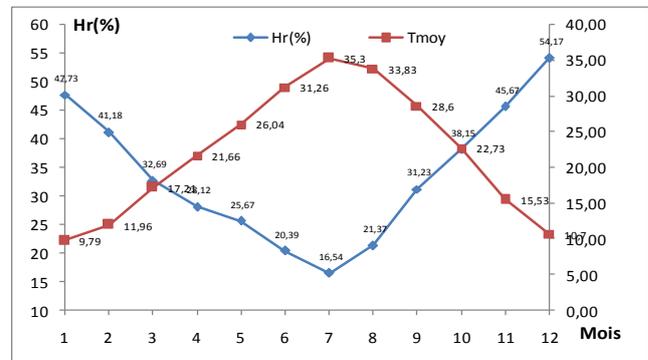


Figure II. 3. 10. Variations mensuelles de l'humidité relative et la température de l'air de la région de Béchar (2000- 2019).

II. 3. 6. La pression atmosphérique :

La pression atmosphérique représente le poids d'une colonne d'air par unité de surface considérée. Beaucoup de chercheurs considèrent que le taux d'évaporation augmente lorsque la pression atmosphérique diminue. Cette dernière diminue quand l'altitude augmente. Dans ce cas, l'air appuie moins fort sur la surface de l'eau et les molécules de l'eau ont tendance à s'évaporer dans l'air. Donc, les facteurs qui influent sur la pression atmosphérique sont : l'altitude, la température et l'humidité.

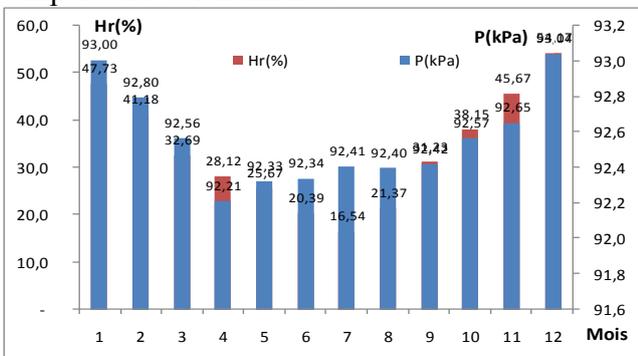


Figure II. 3. 11. Variations mensuelles de la pression atmosphérique et l'humidité relative de la région de Béchar (2000- 2019).

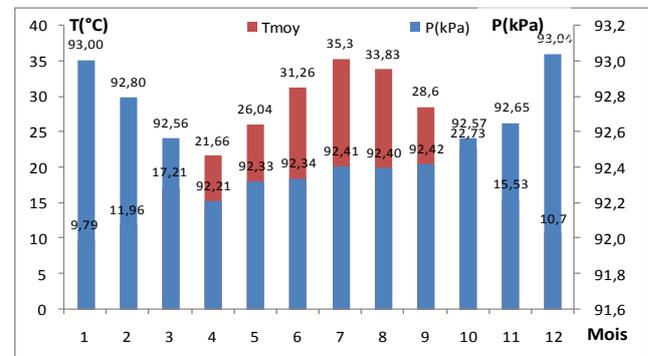


Figure II. 3. 12. Variations mensuelles de la pression atmosphérique et la température de l'air de la région de Béchar (2000- 2019).

La figure (II. 3. 11) montre que la pression atmosphérique basse est enregistrée pendant le mois d'Avril (92,21 kPa) et celle la plus haute au mois de décembre (93,04 kPa). La pression atmosphérique moyenne de la région de Béchar est de 92,56 KPa (Voir Annexe 6). Au cours de l'année, quand l'humidité relative diminue, la pression atmosphérique augmente mais si l'humidité augmente la pression diminue. Alors que la figure (II. 3. 12), montre que quand la température augmente la pression atmosphérique diminue et quand la température diminue la pression augmente. De ce fait, la variation de la pression dans la région de Béchar dépend de la température de l'air et de l'humidité relative.

II. 3. 7. Le rayonnement solaire (Insolation) :

Le rayonnement solaire ou Insolation (I) absorbé par l'océan apporte de l'énergie qui permet l'évaporation de l'eau à la surface de l'océan. Cette quantité de chaleur varie, d'une part, selon les conditions géographiques (gradient de latitude), et d'autre part, selon l'élévation de la surface liquide par rapport au niveau de la mer (Gradient altimétrique).

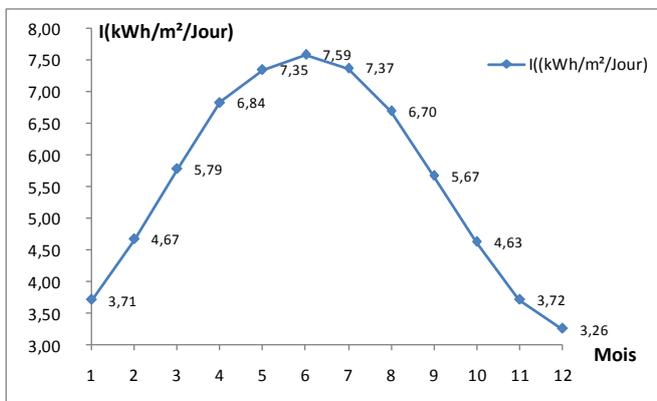


Figure II. 3.13 . Variations mensuelles de rayonnement solaire de la région de Béchar (2000- 2019).

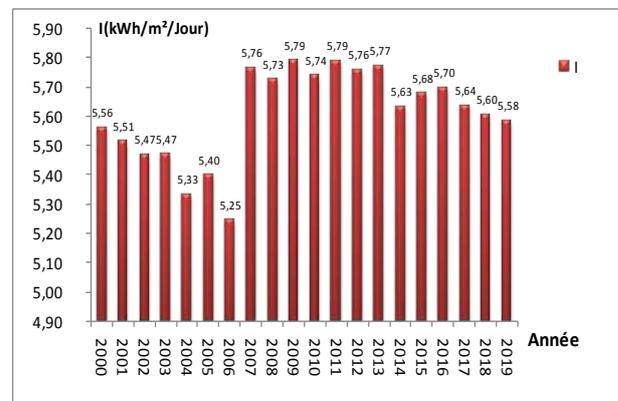


Figure II. 3. 14. Variations annuelles de rayonnement solaire de la région de Béchar (2000- 2019).

Les échanges de chaleur entre l'atmosphère, la surface du sol et la surface des lacs et des océans qui sont les agents de l'évaporation, s'effectuent par convection et conduction. Les appareils destinés à la mesure du rayonnement global sont insensibles au rayonnement thermique : on peut l'estimer par certaines applications, en particulier pour l'évaporation (Roche et *al*, 1961). Dans notre cas, les données du rayonnement solaire ont été obtenues du site NOAA tout en respectant les coordonnées géographiques de la région. Le rayonnement solaire à Béchar est important pendant les mois de Mai, Juin et Juillet (Annexe 7) variant de 7,35 kWh/m²/j à 7,59 kWh/m²/j (Voir Figure (II. 3. 13)). La variation annuelle de rayonnement solaire (Figure II. 3. 14) montre une variation graduelle durant l'année 2007-2019 qui n'a pas forcément de lien avec les changements climatiques mais peut être due à une diminution de la nébulosité d'après des recherches récentes sur l'atmosphère.

II. 3. 9. La lumière du jour :

La lumière du jour désigne le nombre des heures dont la région est exposée à la lumière naturelle durant la journée. Elle se compose du rayonnement solaire direct, mélangé à la diffusion dans les nuages ou le bleu du ciel. La région de Béchar est caractérisée par une période de lumière du jour moyenne variant de 10,1 heures en décembre et 14,1 heures en Juin pour une série de 2000-2019 (Voir figure II. 3. 15). On rappelle que la lumière visible représente 46 % de l'énergie solaire, la figure (II. 3. 16) montre que lorsque le rayonnement soleil augmente/ diminue la durée de la lumière du jour augmente/diminue.

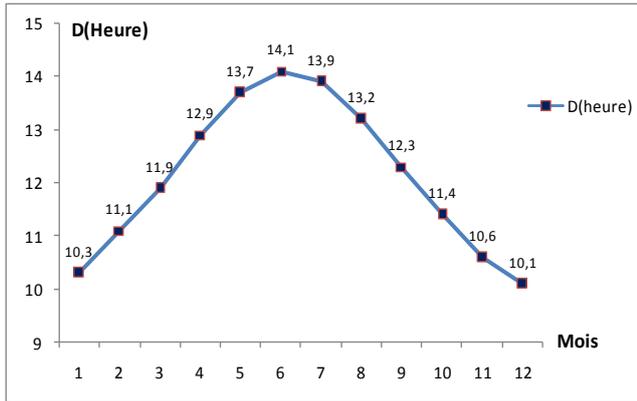


Figure II. 3. 15. Variations mensuelles de la lumière du jour de la région de Béchar (2000-2019)

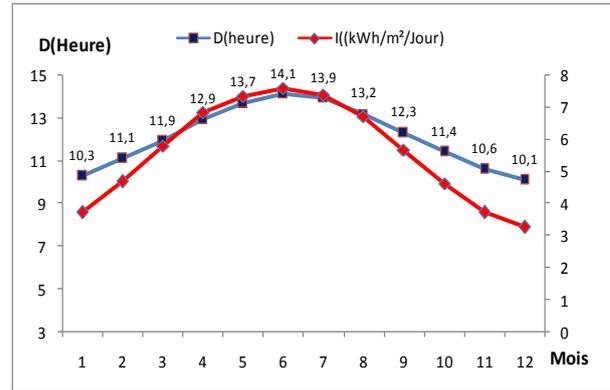


Figure II. 3. 16. Variations mensuelles de la lumière du jour et du rayonnement solaire de la région de Béchar (2000-2019)

II. 3. 10. L'évaporation de l'eau :

Au barrage de Djorf-Torba, l'évaporation mensuelle a dépassé 300 mm/mois durant les mois Juillet, Aout et Septembre (Voir Annexe 9) pour une série (2000-2019) (Voir Figure (II. 3. 17)).

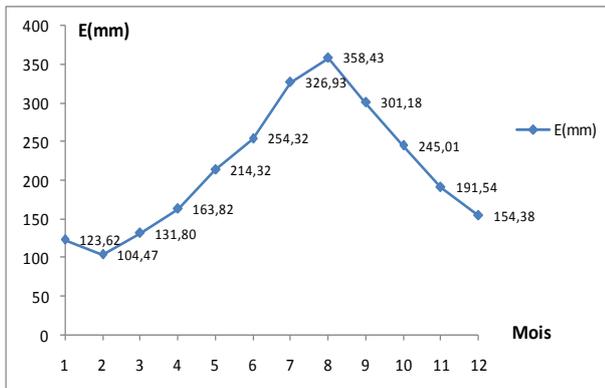


Figure II. 3. 17. Variations mensuelles de l'évaporation de la région de Béchar (2000-2019).

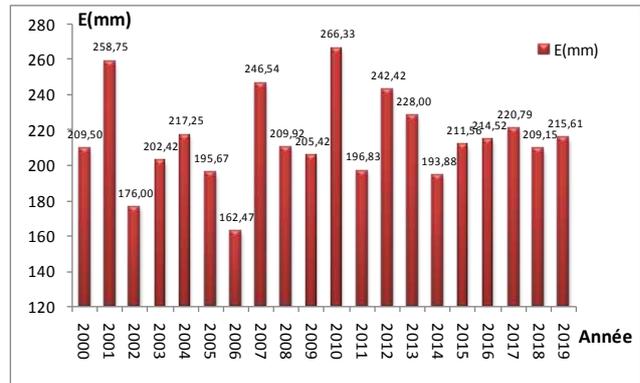


Figure II. 3. 18. Variations annuelles de l'évaporation moyenne de la région de Béchar (2000-2019).

Les taux d'évaporation élevés sont enregistrés en 2001 et 2010. L'évaporation annuelle moyenne pendant 2000-2019 varie entre 162,47 mm- 266,33 mm (Figure II. 3. 18). L'évaporation a une valeur maximale en 2010 (266,33 mm) et un taux minimal d'évaporation en 2006 (162,47 mm). La barrage-réservoir a subi une évaporation moyenne de l'ordre 214,15 mm.

II. 3. 10. Corrélation de l'évaporation de l'eau et les paramètres climatiques disponibles de la région de Béchar

Les huit graphes présentés sur la figure (II. 3. 19), nous montre que pour le barrage de Djorf-Torba :

- ✓ L'évaporation est toujours en processus quel que soit la quantité des précipitations (P). À l'échelle du globe, l'évaporation et les précipitations se compensent annuellement. Le taux d'évaporation est plus important que les précipitations du fait qu'elles présentent un pourcentage de 3,5% du taux d'évaporation annuel.
- ✓ L'évaporation croît/décroit avec l'augmentation/diminution de la température de l'air (T_{moy}) et de la température de l'eau (T_{eau}).
- ✓ Le vent favorise l'évaporation, d'autant plus que sa vitesse (V) et sa turbulence sont grandes même si la vitesse du vent est faible, le phénomène d'évaporation est toujours présent.

- ✓ La diminution de l'humidité relative (H_r) favorise une augmentation de l'évaporation et l'augmentation de l'humidité est suivie par un décroissement de la courbe de l'évaporation.
- ✓ L'évaporation augmente/diminue lorsque la pression décroît/croît. Quand la pression est faible les molécules d'eau peuvent s'arracher facilement de la surface et transporter par l'air sous forme vapeur.
- ✓ L'intensité du rayonnement solaire intervient comme un facteur principal dans des théories récentes pour l'estimation l'évaporation au niveau des plans d'eau. On peut conclure que l'augmentation de l'évaporation est liée au rayonnement solaire.
- ✓ L'évaporation augmente graduellement quand la lumière de jour s'étale sur plusieurs heures.

La figure (II. 3. 20), nous montre que :

- La corrélation linéaire entre l'évaporation et les précipitations est très faible ($R^2=0,003$)
- La corrélation linéaire entre l'évaporation et la température de l'air est forte ($R^2= 0,829$)
- La corrélation linéaire entre l'évaporation et la température de l'eau est forte ($R^2=0,853$)
- La corrélation linéaire est absente entre l'évaporation et la vitesse du vent ($R^2= 0,009$)
- La corrélation linéaire entre l'évaporation et l'humidité relative est faible ($R^2=0,472$)
- La corrélation linéaire entre l'évaporation et la pression atmosphérique est faible ($R^2= 0,330$)
- La corrélation linéaire entre l'évaporation et le rayonnement solaire est faible ($R^2= 0,297$)
- La corrélation linéaire entre l'évaporation et la lumière du jour est faible ($R^2= 0,402$).

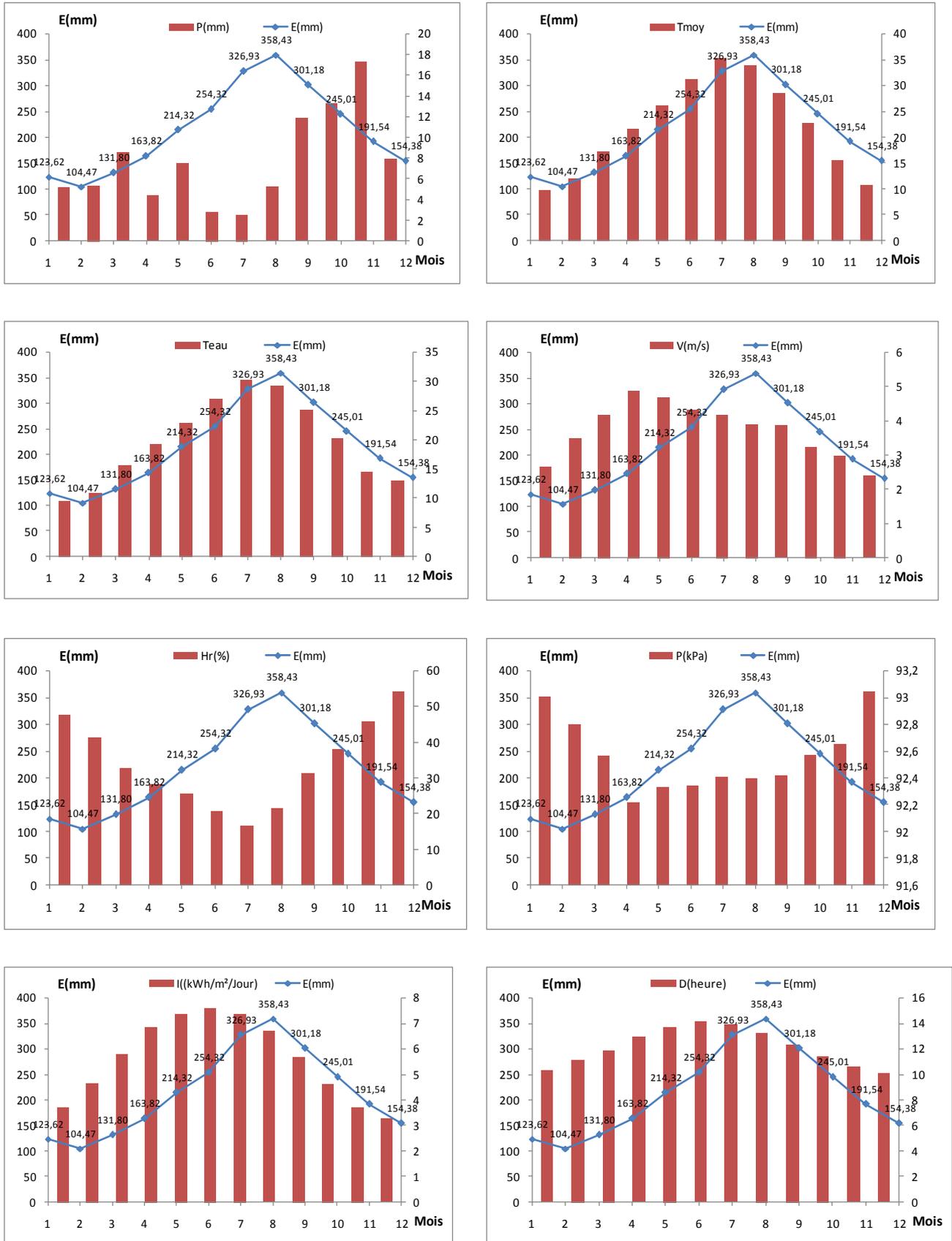


Figure II. 3. 19. Variations de l'évaporation de l'eau du barrage-réservoir Djorf-Torba avec les paramètres climatiques : P(mm), T_{moy}(°C), T_{eau}(°C), V(m/s), H_r (%), P(kPa), I(Kwh/m²/J) et D(Heures).

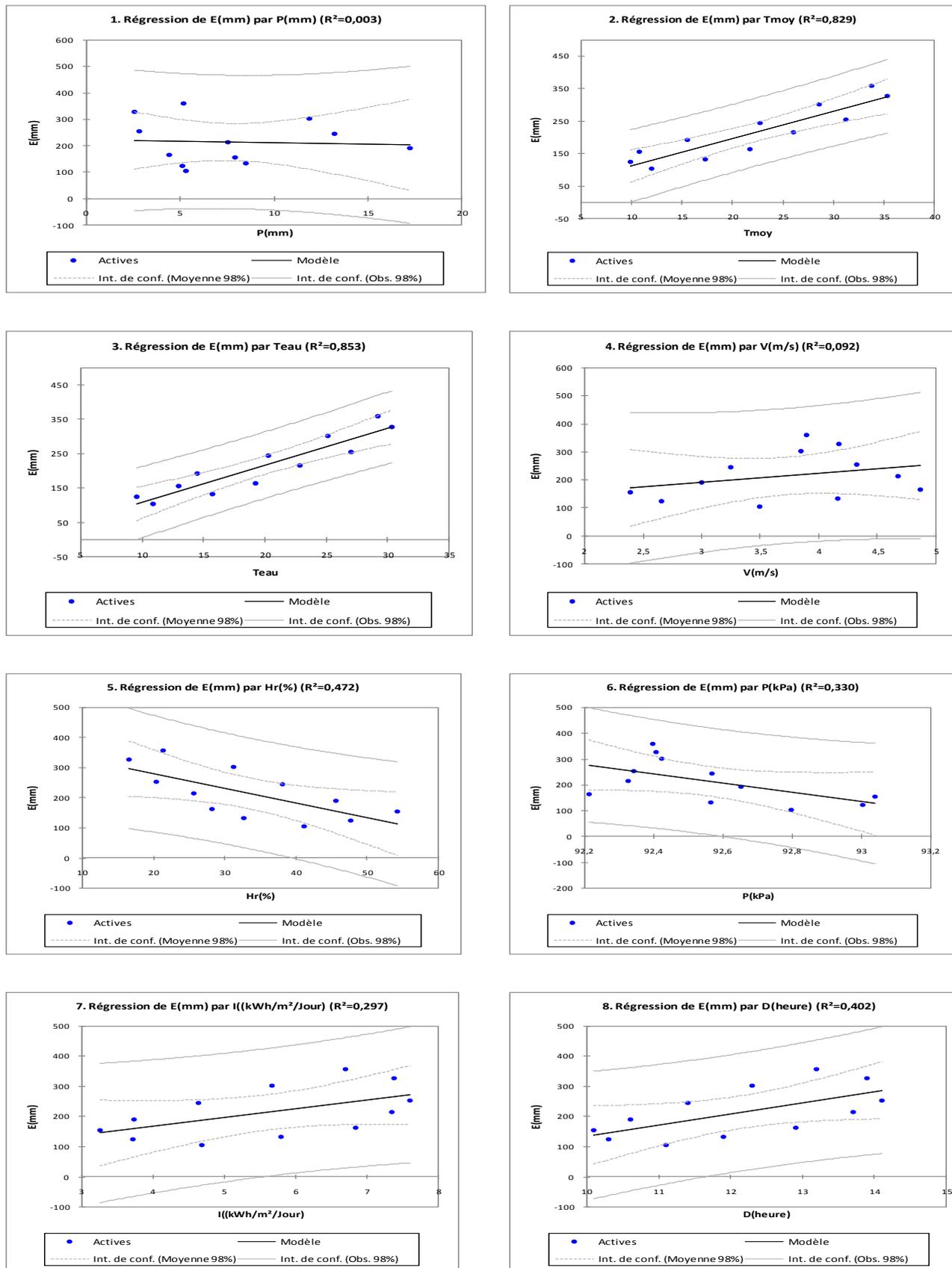


Figure II. 3. 20. Corrélation entre l'évaporation de l'eau du barrage-réservoir Djorf-Torba et les paramètres climatiques existants : P(mm), T_{moy}(°C), T_{eau}(°C), V(m/s), Hr(%), P(kPa), I(Kwh/m²/J) et D(Heures).

II. 4. SITUATION GEGRAPHIQUE DES DEUX BARRAGES-RESERVOIRS DE FOUM EL-GHERZA ET FONTAINE DES GAZELLES (BISKRA)

Le barrage de Foum El-Gherza est situé à 20 km à l'Est de la ville de Biskra (Figure II. 4), destiné à l'irrigation. Il a été mis en service en 1951, il a un rôle de régulariser le régime du bassin versant d'Oued El-Abiodh qui est annexé au bassin versant de Chott Melghir. Cet ouvrage d'art a permis à la région de Sidi-Okba de garder sa vocation économique basée sur l'agriculture durant un demi-siècle, du fait qu'il a aidé à contrer la sécheresse qui sévit dans la région depuis une vingtaine d'années. Ce barrage a permis en outre l'extension des palmeraies (Toumi et *al*, 2004). La surface du bassin versant d'Oued El-Abiodh est environ 1300 km² et son périmètre est environ 200 km. La pluviométrie moyenne annuelle est de 35 mm, mais la pluviométrie se caractérise par une grande irrégularité. Le bassin versant peut-être divisé en deux zones de superficie sensiblement égale : Une zone montagneuse et boisée et une zone de pentes désertiques, sans aucune couverture végétale.

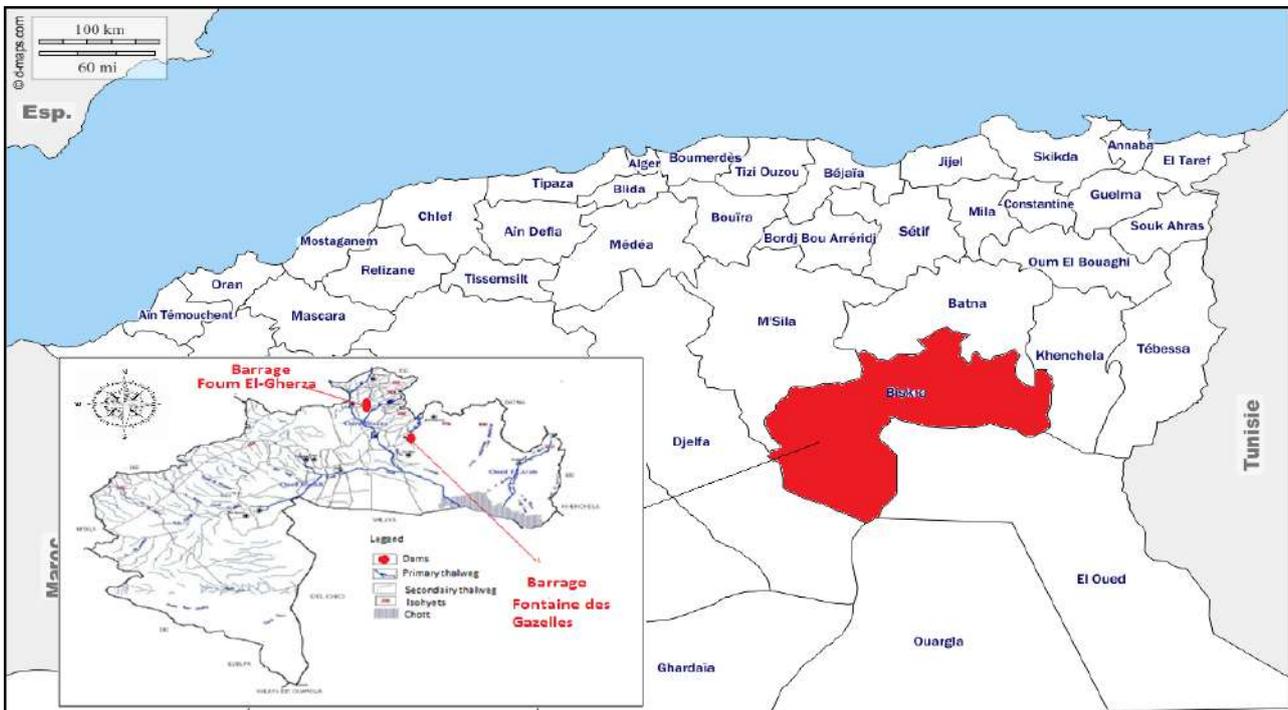


Figure II. 4. Localisation des deux barrages-réservoirs de Foum El-Gherza et Fontaine des Gazelles, Biskra (@d-maps.com ; Sedrati, 2011).



Photo 3. Barrage Foum El-Gherza (Meziani, 2017).



Photo 4. Barrage Fontaine des Gazelles (Meziani, 2017).

Tandis que, le barrage de Fontaine des Gazelles est situé à 37 Km Nord-Ouest de la ville de Biskra, construit sur Oued El-Hai en 2000 dont la superficie de son bassin versant 1660 km² et un périmètre de 193 km. Il fait partie du grand bassin hydrographique de Chott Melghir. Son indice de compacité de Gravelius est de valeur 1,32 d'où le bassin versant est de forme allongée, ce qui augmente théoriquement le temps de concentration. Sa construction rentre dans le cadre du développement agricole de la plaine d'El-Outaya.

II. 5. Analyse des paramètres climatiques disponibles de la région de Biskra

Les données climatiques de la région de Biskra sont enregistrées par une station localisée sur une Longitude 5°43'48"N, et la Latitude 34°47'60"W (Latitude : 34,8 ; Longitude : 5,73) à une altitude 87 m (Données enregistrées par la station climatologique 605250 (DAUB ; Aéroport de Biskra).

II. 5. 1. Précipitations

La région de Biskra est caractérisée par une faible pluviométrie durant la période 2000-2019, les pluies tombent d'une manière irrégulière.

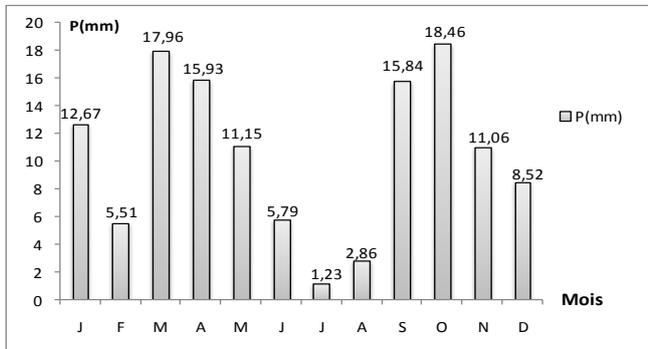


Figure II. 4. 1. Variations mensuelles des précipitations de la région de Biskra (2000- 2019).

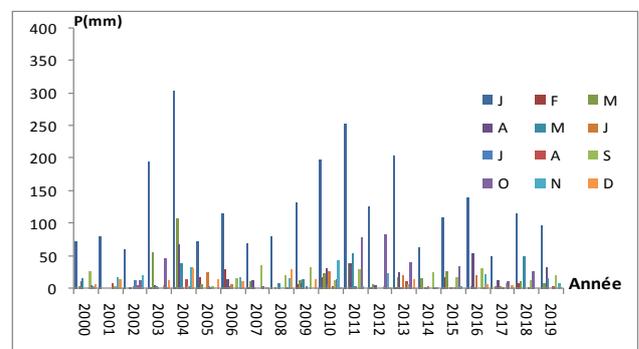


Figure II. 4. 2. Variations annuelles des précipitations de la région de Biskra (2000- 2019).

La figure (II. 4. 1), montre que la pluviométrie atteint sa valeur maximale au mois d'Octobre (18,46 mm) et elle est minimale le mois de Juillet (1,23 mm). Les précipitations annuelles n'atteignent pas les 300 mm. La précipitation moyenne annuelle est de l'ordre 126,98 mm. L'année la plus arrosée était en 2004 (Figure II. 4. 2), la précipitation totale enregistrée était 304,06 mm inférieure 500 mm (faible précipitations) (Voir annexe 10).

II. 5. 2. La température de l'air :

La température de l'air est la plupart du temps mesurée par un thermomètre situé dans un abri météorologique, à l'abri des radiations solaires. Ce paramètre est disponible en valeurs horaires ou en moyennes journalières ou mensuelles.

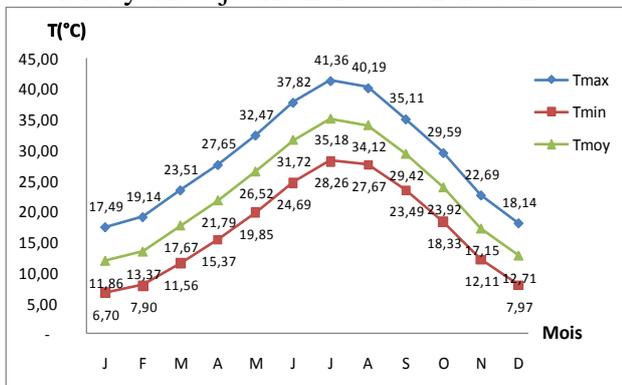


Figure II. 4. 3. Variations mensuelles de la température de l'air de la région de Biskra (2000- 2019).

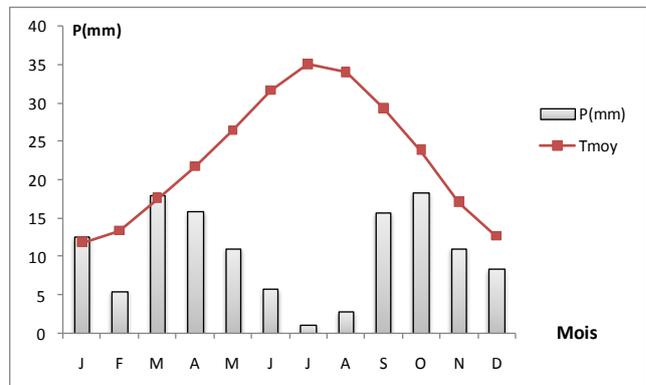


Figure II. 4. 4. Diagramme ombrothermique de la région de Biskra (2000- 2019).

La région de Biskra est caractérisée par de fortes températures, durant les années (2000-2019). La température moyenne du mois le plus chaud est enregistrée durant le mois de juillet de l'ordre de 35,18°C et le mois le plus froid c'est le mois de janvier (11,86°C). La température maximale la plus élevée durant cette période est enregistrée durant le mois de juillet avec 41,36°C. Alors que la température minimale est enregistrée durant le mois de janvier avec 6,70°C (Figure II. 4. 3). La température moyenne de chaque mois de l'année est supérieure 11°C (Tableau II. 6).

Tableau II. 6. Variation mensuelle de la température et de précipitation de la région de Biskra (2000-2019) - Source : (ANBT, 2019)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T _{moy} (°C)	11,86	13,37	17,67	21,79	26,52	31,72	35,18	34,12	29,42	23,92	17,15	12,71
Description	Humide	Sec	Humide	Sec								
P(mm)	12,67	5,51	17,96	15,93	11,15	5,79	1,23	2,86	15,84	18,46	11,06	8,52

Du diagramme ombrothermique (Figure II. 4. 4), montre que les mois arrosés sont les mois de Janvier et Mars alors que les autres mois sont considérés comme des mois secs du fait que la courbe est au-dessus des précipitations. L'amplitude thermique de la région est de 23,32°C. Le total des précipitations annuelles est de 126, 98 mm <250 mm donc les précipitations sont très faibles. D'après la classification de Hufty (Hufty A., 2001), le climat est tempéré chaud à été chaud et sec.

II. 5. 3. La température de l'eau :

La température de l'eau d'un cours d'eau en régime naturel est déterminée par deux séries de facteurs, les facteurs météorologiques et physiques. Les facteurs météorologiques les plus importants sont la température de l'air, la durée des radiations solaires, la vitesse du vent à la surface et la pression de vapeur d'eau dans l'air. Les facteurs physiques sont les dimensions de la surface libre, la profondeur de l'eau, le degré de turbulence (mélange), le débit, la température des apports souterrains et superficiels (Cluis, 1972).

La température de l'eau varie linéairement avec le rayonnement solaire c'est-à-dire quand le rayonnement solaire augmente/diminue la température de l'eau augmente/diminue (Figure II. 4. 5). Alors que, la figure (II. 4. 6) montre que la pression atmosphérique et la température de l'air ont une relation inverse c'est-à-dire quand la pression augmente/diminue, la température de l'eau diminue/augmente. La température de l'eau est élevée au mois de juillet 30,38°C (voir tableau II. 7).

Tableau II. 7. Les valeurs T_{moy}, e_a et T_{eau} – sont des valeurs moyennes mensuelles (2000-2019)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T _{moy} (°C)	11,86	13,37	17,67	21,79	26,52	31,72	35,18	34,12	29,42	23,92	17,15	12,71
e _a (mb)	7,76	7,37	8,34	9,93	11,58	13,07	14,36	15,73	15,86	13,68	10,46	8,64
T _{eau} (°C)	11,21	12,38	15,98	19,35	23,33	27,52	30,38	29,82	26,01	21,58	15,98	11,92

Source : (ANBT, 2019)

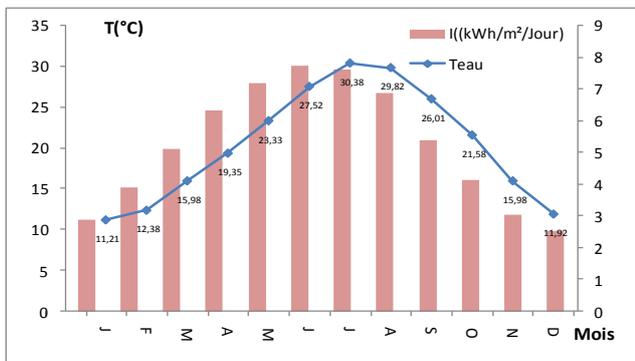


Figure II. 4. 5. Variations mensuelles de la température de l'eau et du rayonnement solaire de la région de Biskra (2000- 2019).

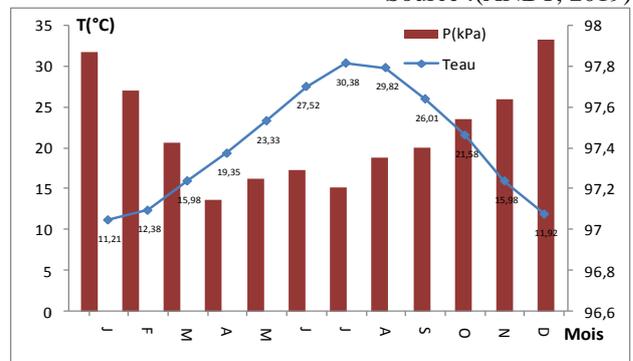


Figure II. 4. 6. Variations mensuelles de la température de l'eau et de la pression atmosphérique de la région de Biskra (2000- 2019).

II. 5. 4. La vitesse du vent :

Les vents dominants à Biskra sont du Nord-Ouest avec un degré moindre à ceux du Nord. Ces derniers soufflent de novembre à Mai, sont des vents moyens et Chauds. De mois de juillet au mois de septembre sévissent les vents du Sud (ANAT, 2004). Les vents ont une conséquence importante sur le phénomène de l'évaporation. D'après la figure (II. 4. 7), les vents sont relativement fréquents au printemps (Mois de Mars, Avril et Mai). D'après les données des moyennes des vents de cette station sur la période (2000-2019), on remarque que la fréquence de vitesse des vents atteint son maximum en Avril avec 18,62 Km/h (Voir Tableau II. 8), par contre le minimum des vents est enregistré en mois d'Octobre avec 11,50 Km/h.

Tableau II. 8. Classification des vents de la région de Biskra selon l'échelle de Beaufort (ANBT, 2019)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
V(m/s)	4,02	4,26	4,85	<u>5,17</u>	5,11	4,17	3,63	3,43	3,56	<u>3,19</u>	3,74	3,30
V(km/h)	14,46	15,33	17,46	<u>18,62</u>	18,40	15,02	13,06	12,34	12,82	<u>11,50</u>	13,48	11,87
V(nœuds)	7-10	7-10	7-10	7-10	7-10	7-10	7-10	7-10	7-10	7-10	7-10	7-10
Termes	vent faible	vent faible	vent faible	vent faible	vent faible	vent faible	vent faible	vent faible	vent faible	vent faible	vent faible	vent faible

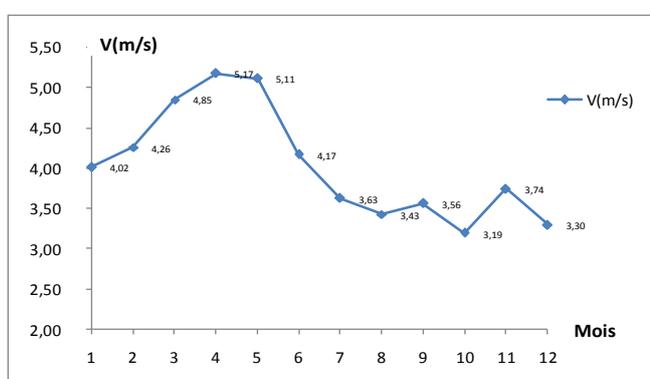


Figure II. 4. 7. Variations mensuelles de la vitesse du vent de la région de Biskra (2000- 2019).

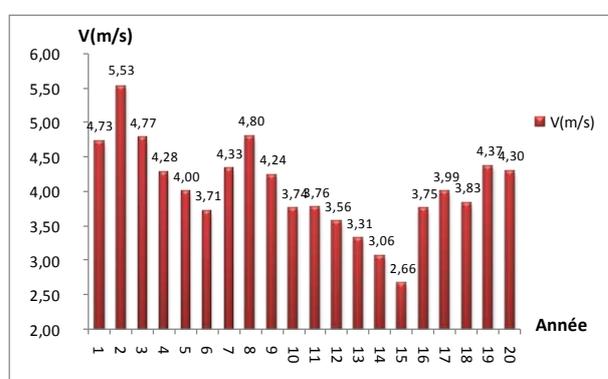


Figure II. 4. 8. Variations annuelles de la vitesse du vent de la région de Biskra (2000- 2019).

Selon l'échelle de Beaufort, la région est classée à vent faible avec une vitesse aux nœuds 7-10 (Voir tableau II. 8). Les moyennes annuelles de vitesse de vent sont considérées comme variables et faibles au cours des années passées (Figure II. 4. 8).

II. 5. 5. L'humidité relative :

D'après le tableau (II. 9), on observe que l'humidité moyenne mensuelle est élevée pendant les mois de Décembre, Janvier et Novembre, respectivement de l'ordre de 58,71%, 55,70%, 53,06%, tandis que le plus faible est enregistrée le mois de Juillet (25,45%) (Figure II. 4. 9). Plus l'air est chaud plus il peut contenir de vapeur d'eau (ou d'humidité). Les variations de la température influencent directement sur l'humidité relative, de sorte que l'humidité relative baisse quand la température s'élève et augmente lorsque la température baisse (Figure II. 4. 10).

Tableau II. 9. Humidité relative et la température de l'air de la région de Biskra (2000-2019)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
H _r (%)	55,70	47,97	41,20	38,33	33,36	27,95	<u>25,45</u>	29,65	39,64	45,96	53,06	<u>58,71</u>
Description	M	M	M	M	S	S	S	S	M	M	M	M
Tmoy	11,86	13,37	17,67	21,79	26,52	31,72	<u>35,18</u>	34,12	29,42	23,92	17,15	<u>12,71</u>

Source : (ANBT, 2019)

M : Air Moyen humide : H_r (%) = 35-65%.

S : Air Sec : H_r (%) < 35%.

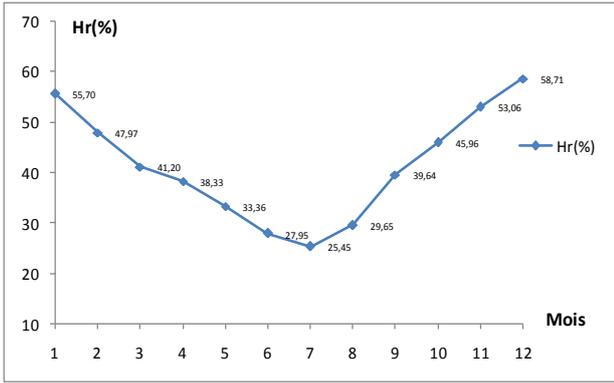


Figure II. 4. 9. Variations mensuelles de l'humidité relative de la région de Biskra (2000- 2019).

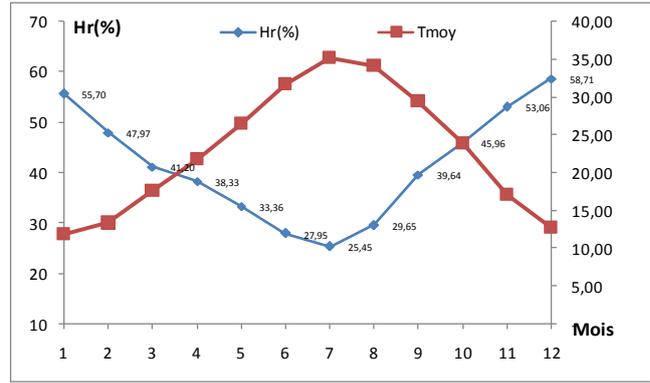


Figure II. 4. 10. Variations mensuelles de l'humidité relative et la température de l'air de la région de Biskra (2000- 2019).

II. 5. 6. La pression atmosphérique :

Sur les figures (II. 4. 11) et (II. 4. 12), la pression minimale est enregistrée pendant le mois d'Avril (97,15 kPa) puisque la température et l'humidité sont élevées et la diminution de ces deux derniers engendre une haute pression au mois de décembre (97,94 kPa).

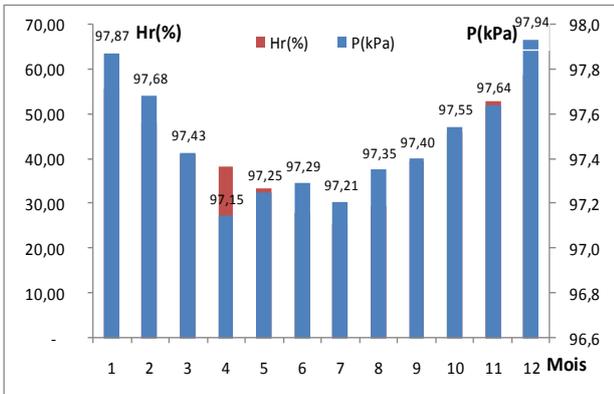


Figure II. 4. 11. Variations mensuelles de la pression atmosphérique et l'humidité relative de la région de Biskra (2000- 2019).

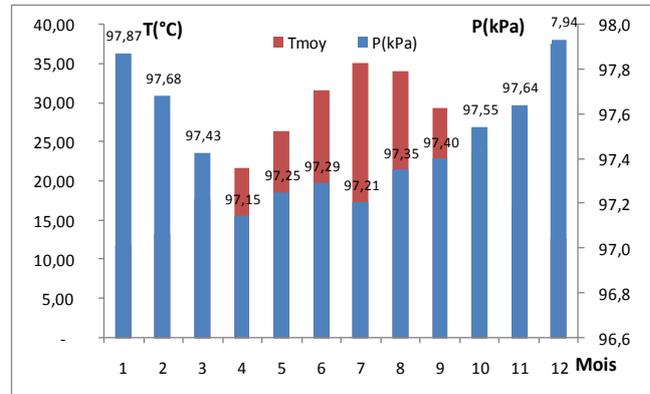


Figure II. 4. 12. Variations mensuelles de la pression atmosphérique et la température de l'air de la région de Biskra (2000- 2019).

II. 5. 7. Le rayonnement solaire (Insolation) :

La figure (II. 4. 13) montre que le rayonnement solaire est au maximum pendant le mois Juin et Juillet (7,74 -7,64 kWh/m²/Jour) (Voir Annexe 16) avec une température moyenne variant 31,72°C-35,18°C. Au cours des années (2000-2019), le rayonnement solaire annuel varie entre (4,87-5,56 kWh/m²/Jour) avec un rayonnement annuel moyen de 5,24 kWh/m²/Jour (Figure II. 4. 14).

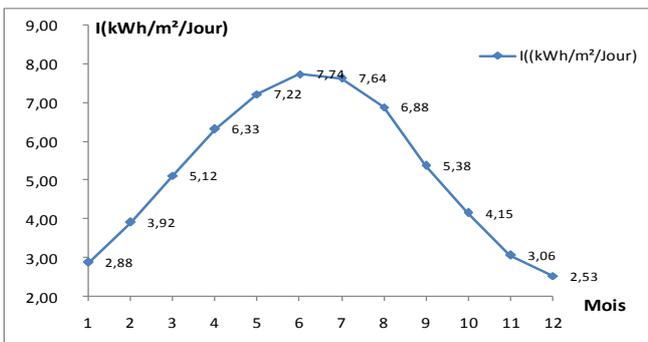


Figure II. 4. 13. Variation mensuelle de l'insolation de la région de Biskra (2000- 2019).

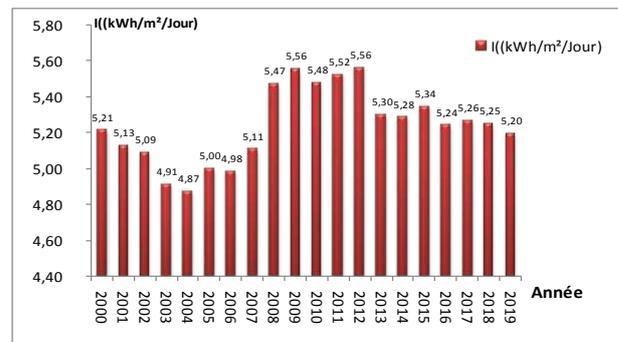


Figure II. 4. 14. Variation annuelle de l'insolation de la région de Biskra (2000- 2019).

II. 5. 8. La lumière du jour :

Le nombre d'heure moyen d'ensoleillement varie entre 9,88 heures en décembre et 14,4 heures au mois de Juin (NOAA, 2019). Donc, on voit clairement que la durée d'ensoleillement atteint le maximum pendant la saison de l'été et minimum durant les mois de fin de l'année (Figure II. 4. 15).

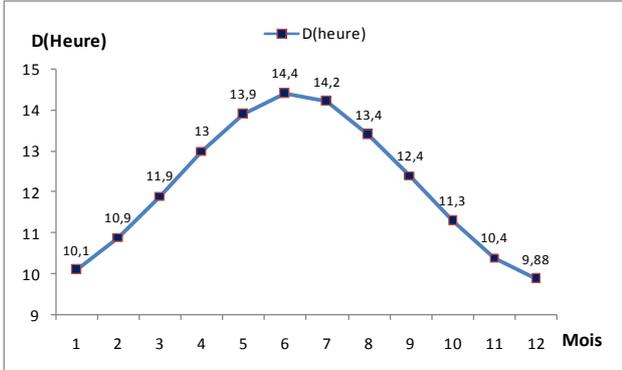


Figure II. 4. 15. Variations mensuelles de la lumière du jour de la région de Biskra (2000-2019).

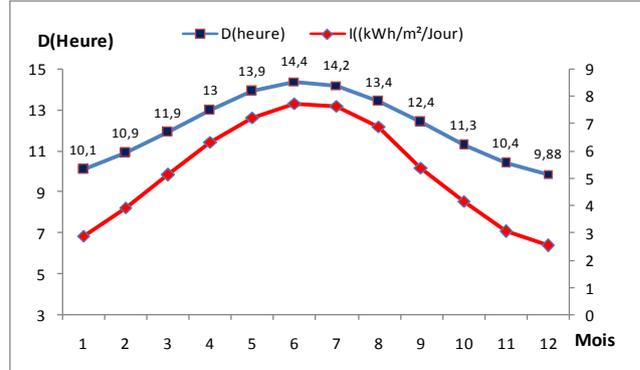


Figure II. 4. 16. Variations mensuelles de la lumière du jour et du rayonnement solaire de la région de Biskra (2000-2019).

La figure (II. 4. 16) montre clairement que quand le rayonnement solaire est important la durée de la lumière de jour est à son maximum.

II. 5. 9. L'évaporation de l'eau :

Pendant la période (2000-2019), les deux barrages-réservoirs de Fontaine des Gazelles et Fom El-Gherza ont subi des fortes évaporations mensuelles pendant la saison de l'été (399,79 - 431,32 mm/mois) (Figure II. 4. 17). L'évaporation au barrage de Fontaine des Gazelles est plus importante que celle de Fom- El-Gherza à cause de la superficie de la retenue (sa capacité en eau) (Figure II. 4. 18).

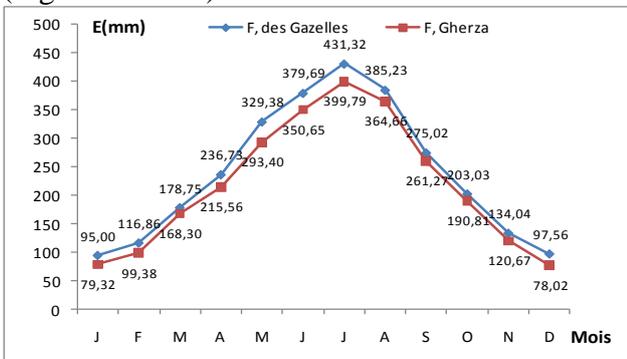


Figure II. 4. 17. Variations mensuelles de l'évaporation des deux barrages de la région de Biskra (2000-2019).

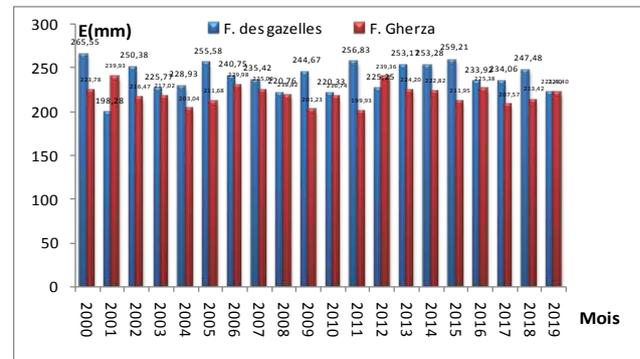


Figure II. 4. 18. Variations annuelles de l'évaporation moyenne des deux barrages de la région de Biskra (2000-2019).

II. 5. 10. Corrélation de l'évaporation de l'eau et les paramètres climatiques disponibles de la région de Biskra

Afin de vérifier la relation entre les paramètres climatiques de la région de Biskra et l'évaporation au niveau des deux barrages huit graphes ont été tracés (Figure II. 4. 19). Les observations obtenues pour les deux barrages-réservoirs sont les suivants :

- ✓ Les précipitations moyennes annuelles sont faibles par rapport à l'évaporation (4,44 % - 4,84% du taux d'évaporation annuelle). Le taux d'évaporation est considéré comme très élevé ;
- ✓ L'évaporation croît/décroit avec l'augmentation/diminution de la température de l'air (T_{moy}) et la température de l'eau (T_{eau}) ;

- ✓ Quelques soient les grandeurs de vitesse, l'eau toujours s'évapore avec des taux élevés surtout pendant la saison de l'été ;
- ✓ L'humidité relative est liée inversement à l'évaporation au niveau des deux barrages. C'est-à-dire quand l'air est plus humide, l'évaporation diminue et quand l'air est moins humide, l'évaporation augmente ;
- ✓ L'évaporation augmente/diminue lorsque la pression décroît/croît ;
- ✓ On constate clairement que l'augmentation ou diminution de l'évaporation est liée au rayonnement solaire. C'est-à-dire les deux grandeurs varient linéairement (Quand le rayonnement solaire augmente/diminue, l'évaporation augmente/diminue) ;
- ✓ L'évaporation augmente quand la lumière de jour s'étale en plusieurs heures.

Les huit graphes présentés sur la figure (II. 4. 20), nous montrent que les deux barrages Fontaine des Gazelles et Foug El-Gherza ont :

- Une corrélation linéaire entre l'évaporation et les précipitations est considérée comme faible ($R^2=0,209-0,191$) ;
- Une corrélation linéaire entre l'évaporation et la température de l'air est considérée comme forte ($R^2= 0,943-0,959$) ;
- Une corrélation linéaire entre l'évaporation et la température de l'eau est considérée comme forte ($R^2=0,931-0,948$) ;
- Une corrélation linéaire entre l'évaporation et la vitesse du vent est considérée comme nulle ($R^2= 0,001-0,000$) ;
- Une corrélation linéaire entre l'évaporation et l'humidité relative est considérée comme forte ($R^2=0,928-0,928$) ;
- Une corrélation linéaire entre l'évaporation et la pression atmosphérique est considérée comme bonne ($R^2= 0,686-0,689$) ;
- Une corrélation linéaire entre l'évaporation et le rayonnement solaire est considérée comme forte ($R^2= 0,891-0,879$) ;
- Une corrélation linéaire entre l'évaporation et la lumière du jour est considérée comme forte ($R^2= 0,903-0,890$).



Figure II. 4. 19. Variation de l'évaporation de l'eau avec les paramètres climatiques des Barrages F. Gherza et F. des Gazelles -Biskra : P(mm), T_{air}(°C), T_{eau}(°C), V(m/s), H_r (%), P(kPa), I(Kwh/m²/J) et D(Heures).

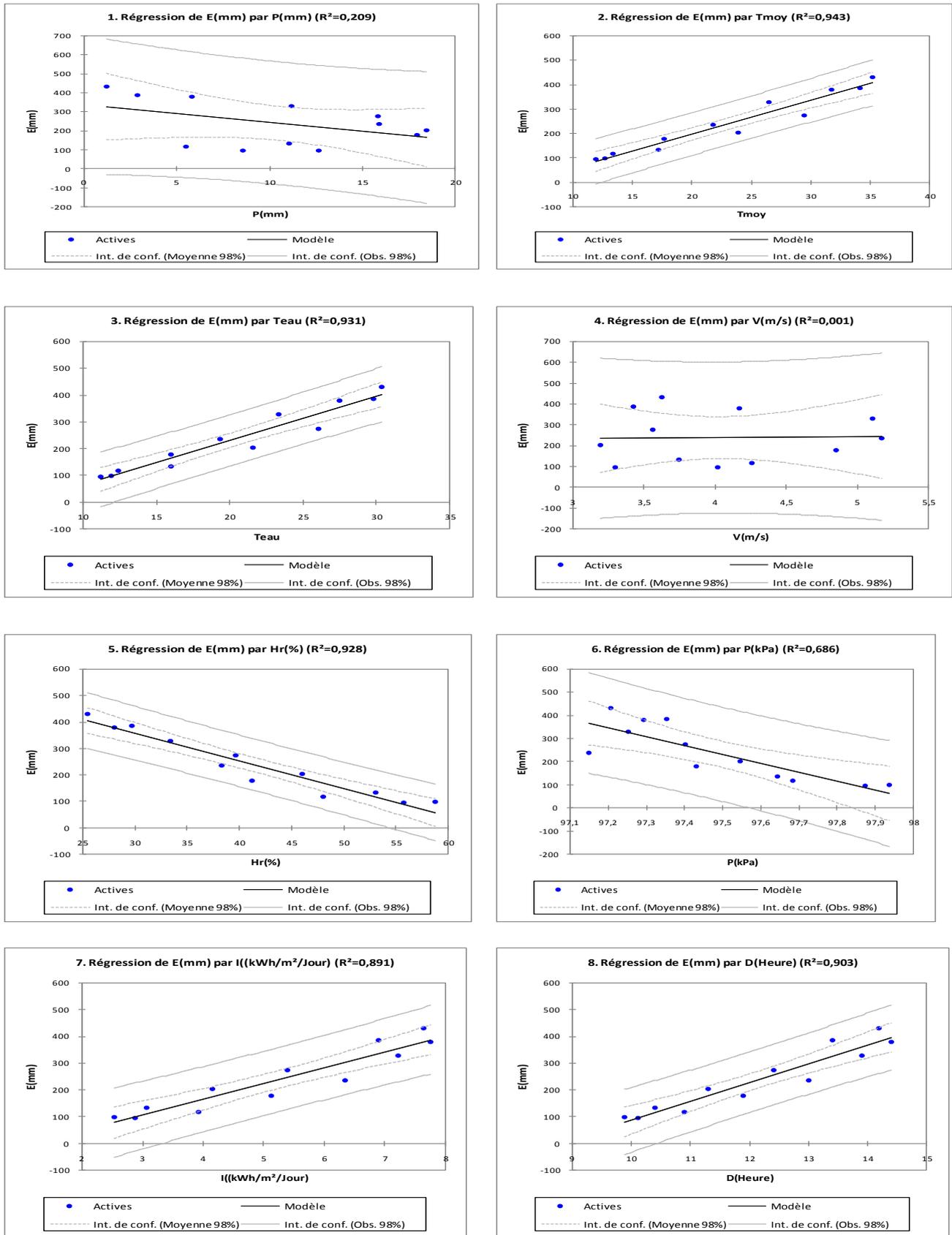


Figure II. 4. 20. Corrélation entre l'évaporation de l'eau du barrage - Fontaine des Gazelles- Biskra et les paramètres climatiques existants : P(mm), T_{moy}(°C), T_{eau}(°C), V(m/s), Hr(%), P(kPa), I (Kwh/m²/J), D(Heures).

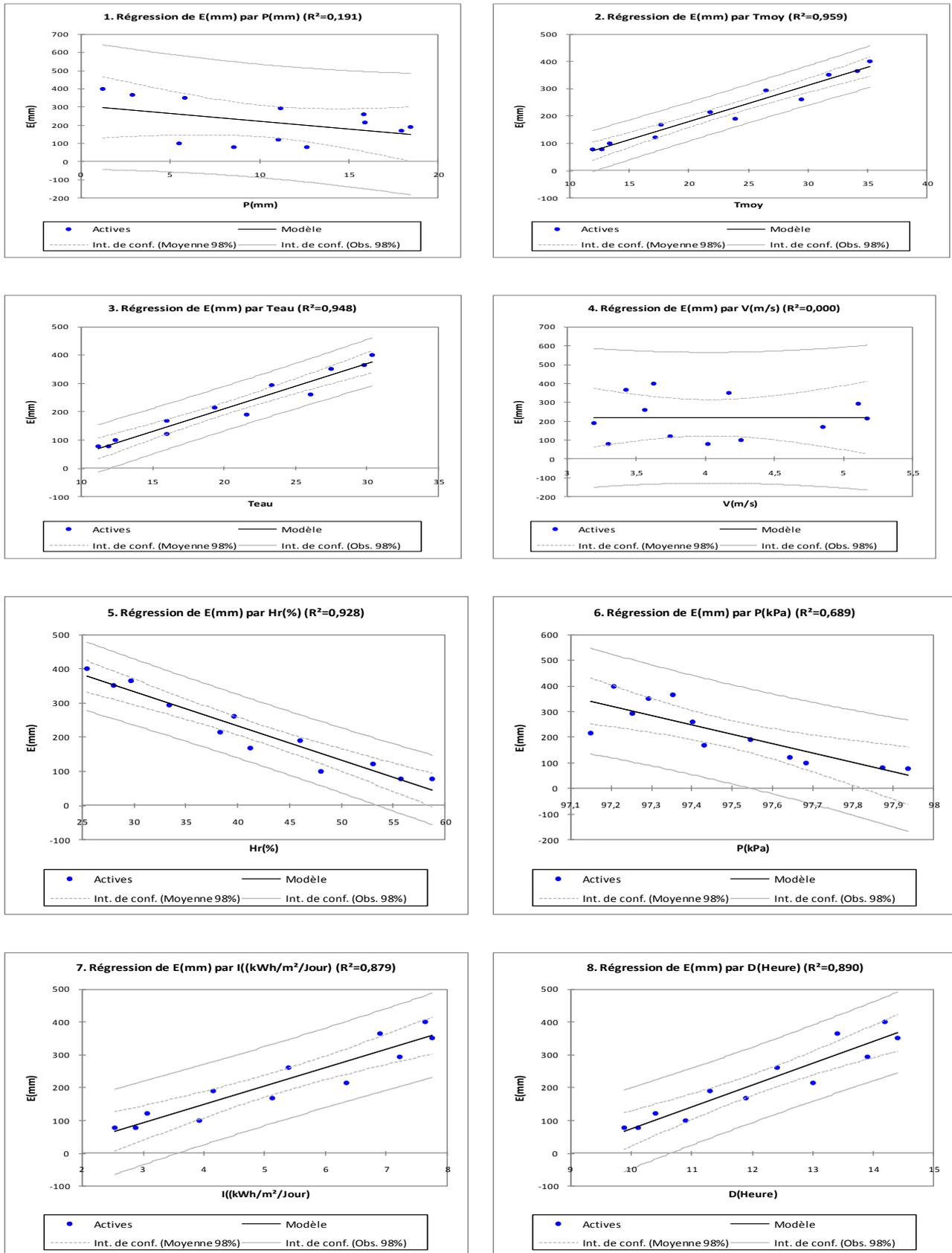


Figure II. 4. 21. Corrélation entre l'évaporation du barrage – Foug El-Gherza- Biskra et les paramètres climatiques existants : P(mm), T_{moy} (°C), T_{eau} (°C), V(m/s), Hr(%), P(kPa), I (Kwh/m²/J) et D(Heures).

II. 6. LA SITUATION GEOGRAPHIQUE DU BARRAGE DE BREZINA (EL-BAYADH)

Le barrage Brezina est un barrage voute, sa hauteur est de 35 m, situé dans la Wilaya d'El-Bayadh. Il est réalisé dans la région du bassin versant de l'Oued Seggueur à 80 Km au sud d'El-Bayadh (Figure II. 5) et implanté sur le versant sud de l'Atlas Saharien dans la gorge de Kheneg Laouria où se joignent les oueds Mellah et El-Rhoul pour former l'Oued Seggueur. Le barrage de Brezina a été achevé en 2002 à une capacité d'environ 120 Mm³. Sa mobilisation est de 11Mm³ dont 7 Mm³ destiné pour le périmètre de dayet El-Bagra et 4,5 Mm³ pour la palmeraie de Brezina (pour l'irrigation).

Le bassin versant réellement récepteur des eaux pluviales s'étend sur 3677.5 Km², alors que la superficie totale du bassin versant de l'Oued Seggueur est de 8900 Km². L'oued Seggueur prend sa source plus au nord, au niveau d'El Bayadh, pour le nom d'Oued Ghassoul puis sous le nom de Mouillah en recevant des affluents variables comme Oued Rahoul avant d'atteindre la région de Brézina où il est appelé Oued Seggueur. Son parcours est de 160 Km. La nappe de l'oasis de Brézina est alimentée par l'Oued Seggueur (Talia et al, 2015).

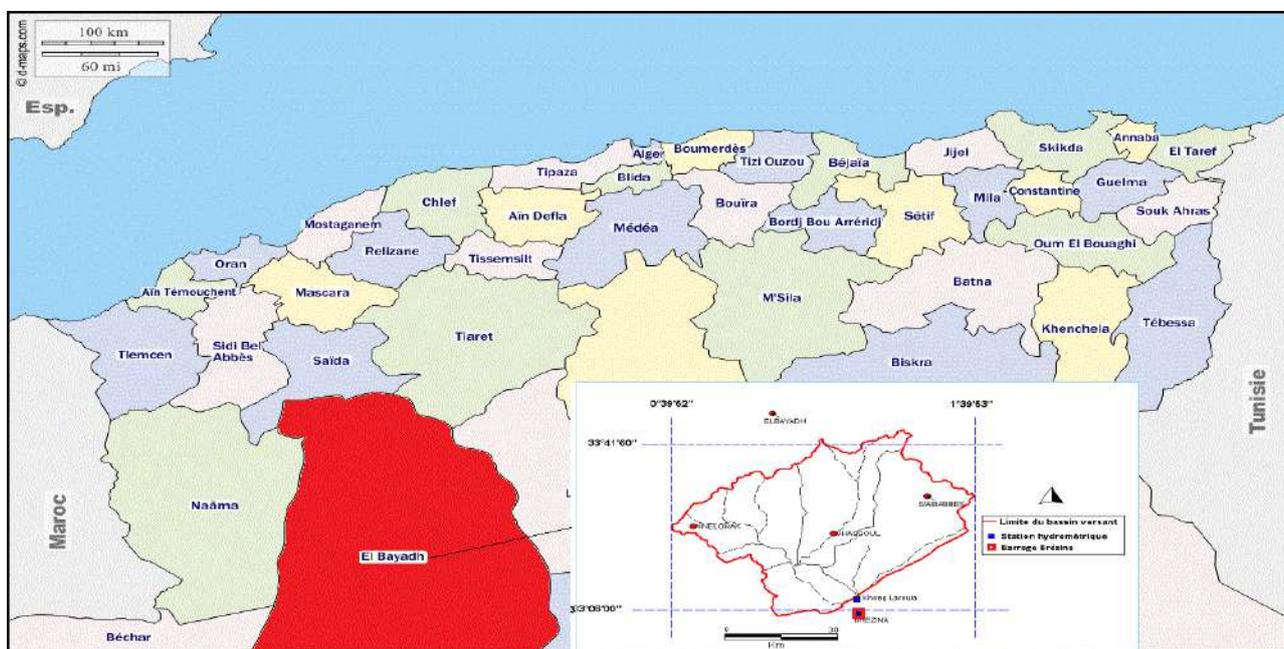


Figure II. 5. Localisation du barrage de Brézina et réseau hydrographique d'oued Seggueur, El-Bayadh (Copy right @d-maps.com ; Talia et al, 2015).



Photos 5. Barrage Brézina-Al-Bayadh (Copy right @leguidetouristique).

Le climat à Brézina est dit désertique. Au cours des années passées, il n'y a pratiquement peu de précipitations à Brézina. D'après Köppen-Geiger, le climat étant de type BWK (BW : climat désertique, K : Température moyenne annuelle < 18 °C). Effectivement Brézina a une température annuelle moyenne de 15,64 °C (Voir annexe 21). La moyenne des précipitations annuelles atteint 294,08 mm, et la différence de précipitations entre le mois le plus sec et le mois le plus humide est de 38,71 mm (Voir annexe 20).

II. 7. Analyse des paramètres climatiques disponibles de la région d'El-Bayadh

Les données climatiques de la région d'El-Bayadh sont enregistrées par une station localisée sur la Longitude 33°39'36"N, et la Latitude 1°00'00"E (Latitude : 33,66 | Longitude : 1) avec une altitude 1347 m (Données enregistrées par la station climatologique 605500).

II. 7. 1. Précipitations :

Les données de base pluviométrique disponible s'étalent de 2000 à 2019 montrent que les précipitations maximales sont enregistrées dans le mois de novembre avec une hauteur moyenne de 47,13 mm et le mois le moins humide est le mois de juillet 8,42 mm (Figure II. 5. 1). Au cours des années passées les précipitations n'atteignent pas 180 mm. L'année la plus humide était l'année 2011 avec une précipitation totale de 546,57 mm (Figure II. 5. 2). La région d'El-Bayadh, est classée parmi les régions à faibles précipitations de fait que les précipitations moyennes annuelles sont de 293,22 mm inférieure à 500 mm (Voir Annexe 20).

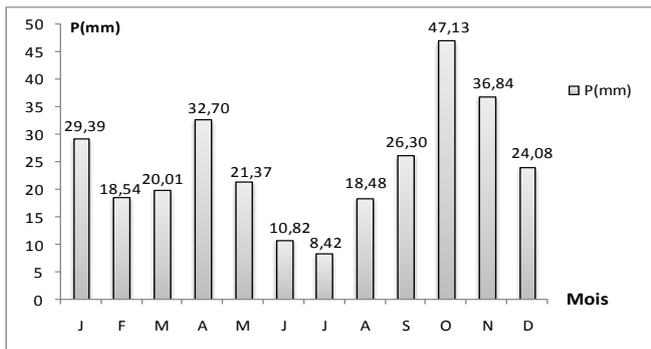


Figure II. 5. 1. Variations mensuelles des précipitations de la région d'El-Bayadh (2000- 2019).

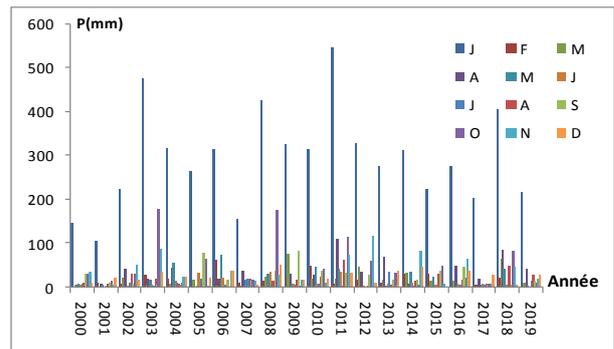


Figure II. 5. 2. Variations annuelles des précipitations de la région d'El-Bayadh (2000- 2019).

II. 7. 2. La température de l'air :

La région d'El-Bayadh a enregistré des températures maximales pendant la saison de l'été variant entre 30,72°C et 35,22°C (Figure II. 5. 3).

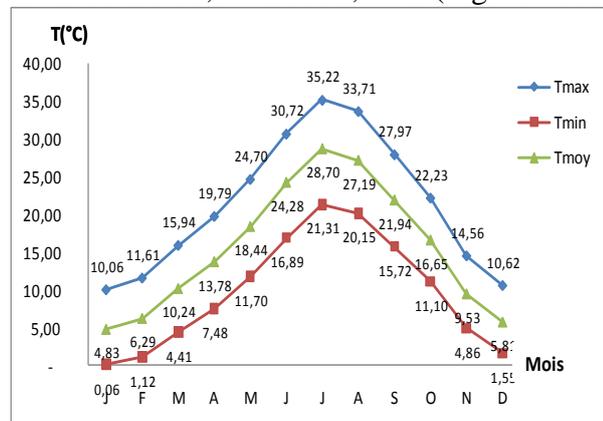


Figure II. 5. 3. Variations mensuelles de la température de l'air de la région d'El-Bayadh (2000- 2019).

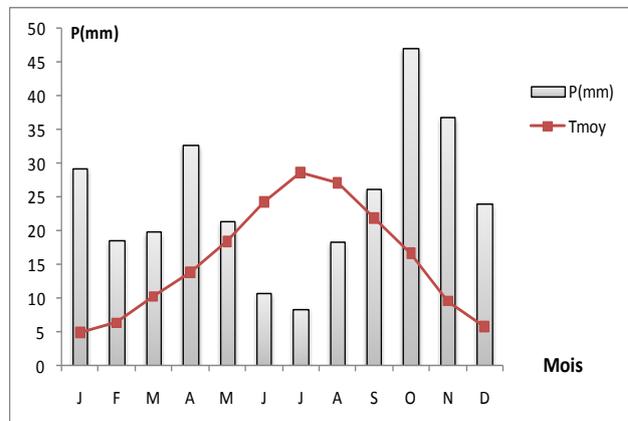


Figure II. 5. 4. Diagramme ombrothermique de la région d'El-Bayadh (2000- 2019).

Alors que, les mois les plus froids sont les mois de Janvier et Décembre avec de températures minimales variant entre 0,06°C et 1,55°C (Figure II. 5.3). Le tableau (II. 10) montre que la température moyenne minimale est enregistrée au mois de Janvier (4,83°C) et une température maximale moyenne au mois de juillet (28,70°C). L'amplitude thermique de la région d'El-Bayadh est de 23,87°C.

Du diagramme ombrothermique (Figure II. 5. 4) montre que les précipitations sont supérieures aux températures durant toute l'année. La saison de l'été est une saison sèche puisque les températures sont supérieures aux précipitations. Le total des précipitations est de 294,08 mm d'où la région d'El-Bayadh est à considérer à faible précipitations. D'après Hufty (Hufty, 2001), le climat de la région d'El-Bayadh est tempéré à été chaud et sec.

Tableau II. 10. Variation mensuelle de la température et de la précipitation de la région d'El-Bayadh (2000-2019)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T _{moy} (°C)	<u>4,83</u>	6,29	10,24	13,78	18,44	24,28	<u>28,70</u>	27,19	21,94	16,65	9,53	5,81
Description	Humide	Humide	Humide	Humide	Humide	Sec	Sec	Sec	Humide	Humide	Humide	Humide
P(mm)	29,39	18,54	20,01	32,70	21,37	10,82	<u>8,42</u>	18,48	26,30	47,13	<u>36,84</u>	24,08

Source :(ANBT, 2019)

II. 7. 3. La température de l'eau :

La figure (II. 5. 5) montre clairement que la température de l'eau est influencée par le rayonnement solaire. On voit que quand le rayonnement est important, la température de l'eau est élevée. Au mois de juillet, le rayonnement solaire commence à diminuer et aussi la température de l'eau. Mais, durant le mois de juillet au mois d'octobre, on constate que non seulement le rayonnement solaire influe sur la température de l'eau mais d'autres facteurs climatiques. Tandis que la figure (II. 5. 6), montre la pression atmosphérique peut jouer un rôle sur le changement de la température de l'eau mais pas autant que le rayonnement solaire.

Le tableau (II. 11), nous indique les valeurs de la température de l'eau en fonction de la température moyenne de l'air (T_{moy}) et la tension de vapeur (e_a) extraite de l'abaque (Voir annexe 39). La température de l'air maximale est de 28,70°C en mois de Juillet et la température basse est enregistrée au mois de Janvier (4,83°C). On note clairement qu'au moment la température de l'air change, la température de l'eau change aussi. On peut dire y a une corrélation positive entre ces deux derniers.

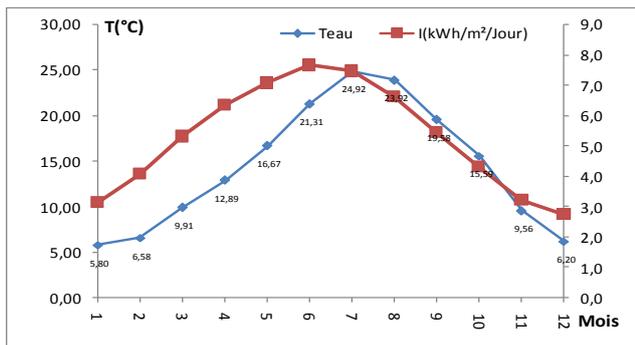


Figure II. 5. 5. Variations mensuelles de la température de l'eau et le rayonnement solaire de la région d'El-Bayadh (2000- 2019).

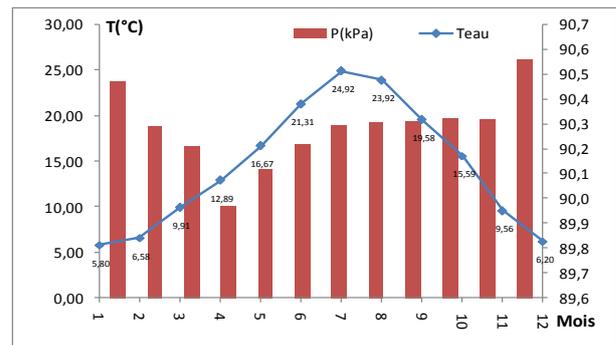


Figure II. 5. 6. Variations annuelles de la température de l'eau et la pression atmosphérique de la région d'El-Bayadh (2000- 2019).

Tableau II. 11. Les valeurs T_{moy}, e_a et T_{eau} – sont des valeurs moyennes mensuelles (2000-2019)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T _{moy} (°C)	<u>4,83</u>	6,29	10,24	13,78	18,44	24,28	<u>28,70</u>	27,19	21,94	16,65	9,53	5,81
e _a (mb)	5,75	5,69	6,39	7,20	8,25	8,98	8,85	10,22	10,62	9,40	7,54	6,60
T _{eau} (°C)	<u>5,80</u>	6,58	9,91	12,89	16,67	21,31	<u>24,92</u>	23,92	19,58	15,59	9,56	6,20

Source :(ANBT, 2019)

II. 7. 4. La vitesse du vent :

Le vent favorise l'évaporation. En effet, il assure le remplacement de l'air plus ou moins saturé au contact de la surface évaporante par de nouvelles couches ayant une température et une humidité généralement plus faible. La vitesse et la turbulence du vent atteignent une valeur limite au-dessus de laquelle la vapeur d'eau se dissipe au fur et à mesure de sa formation (Jabi et Rousselle, 1990).

Les données du tableau (II. 12), nous informent que la région d'El-Bayadh est toujours exposée au vent qui varie entre 2,76 et 3,76 m/s de vitesse moyenne. Les vitesses de vent sont à leurs maximums aux mois de Mars, Avril et Mai (Figure II. 5. 7). Durant la période (2000-2019), on constate qu'avant l'année 2017, les vitesses de vent varient graduellement (entre 1,92 -3,5 m/s). L'année 2017, on enregistre une vitesse plus élevée que les années passées (4,43 m/s) suivi par un pic de vitesse en 2018 (4,98 m/s) (Figure II. 5. 8). Selon l'échelle de Beaufort, les vitesses de vent de la région sont classées entre des vents légères brises et vents faibles (Tableau II. 12).

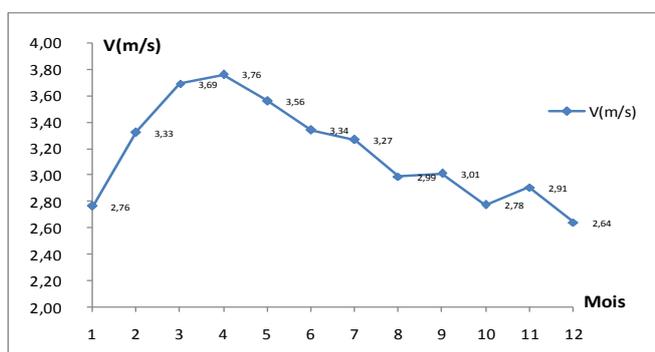


Figure II. 5. 7. Variations mensuelles de la vitesse du vent de la région d'El-Bayadh (2000- 2019).

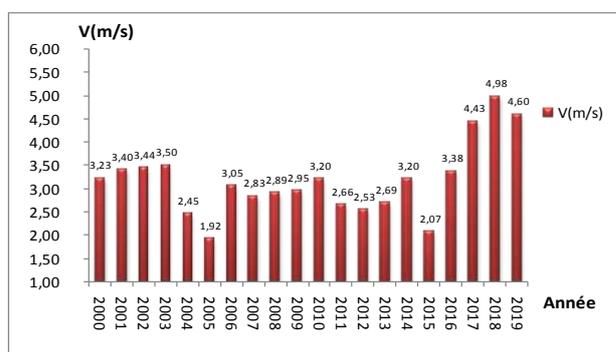


Figure II. 5. 8. Variations annuelles de la vitesse du vent de la région d'El-Bayadh (2000- 2019).

Tableau II. 12. Classification des vents de la région d'El-Bayadh selon l'échelle de Beaufort

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
V(km/h)	<u>9,95</u>	11,97	<u>13,29</u>	<u>13,55</u>	<u>12,82</u>	12,03	11,77	10,76	10,84	10,00	10,46	9,51
V(m/s)	<u>2,76</u>	3,33	<u>3,69</u>	<u>3,76</u>	<u>3,56</u>	3,34	3,27	2,99	3,01	2,78	2,91	2,64
V(nœuds)	4-6	7-10	7-10	7-10	7-10	7-10	7-10	4-6	4-6	4-6	4-6	4-6
Termes	légère brise	vent faible	vent faible	vent faible	vent faible	vent faible	vent faible	légère brise				

Source : (ANBT, 2019)

II. 7. 5. L'humidité de l'air :

L'effet de l'humidité de l'air sur l'évaporation peut s'exprimer à l'aide de la loi de Dalton. Celui-ci avait mis en évidence, que si tous les autres facteurs restent invariables, le taux d'évaporation d'une surface libre est inversement proportionnel à l'humidité de l'air (Jabi et Rousselle, 1990). La région d'El-Bayadh est caractérisée par un climat moyen humide s'étale presque sur toute l'année avec un été sec. L'humidité relative variant entre 22,56% et 71,93% (Tableau II. 13). Le mois de juillet c'est le mois le plus sec durant toute l'année (Figure II. 5. 9). On constate clairement que y a une relation inverse entre l'humidité relative et la température de l'air (Figure II. 5. 10).

Tableau II. 13. Humidité relative et pression de vapeur de la région d'El-Bayadh (2000-2019)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
H _r (%)	66,94	60,08	51,56	46,21	39,50	29,94	<u>22,56</u>	28,55	40,58	50,25	63,49	<u>71,93</u>
Description	H	M	M	M	M	S	S	S	M	M	M	H
T _{moy}	4,83	6,29	10,24	13,78	18,44	24,28	28,70	27,19	21,94	16,65	9,53	5,81

Source : (ANBT, 2019)

M : Air Moyen humide : H_r (%) = 35-65%

S: Air Sec: H_r (%) < 35%

H: Air Humide: H_r (%) > 65%

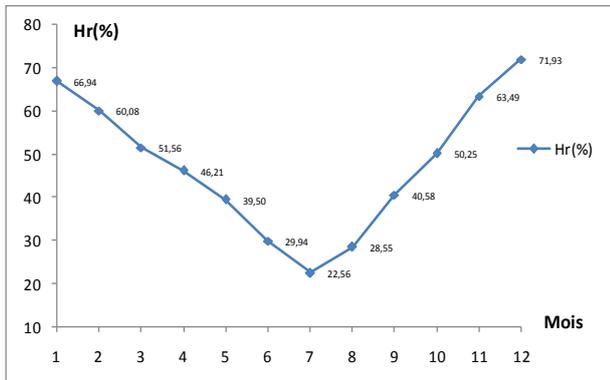


Figure II. 5. 9. Variations mensuelles de l'humidité relative de la région d'Al-Bayadh (2000- 2019).

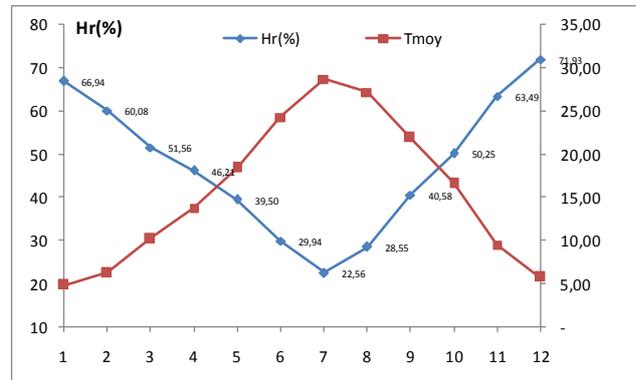


Figure II. 5. 10. Variations mensuelles de l'humidité relative et la température de l'air de la région d'Al-Bayadh (2000- 2019).

II. 7. 6. La pression atmosphérique :

La figure (II. 5. 11), montre que la pression atmosphérique diminue quand l'humidité relative augmente alors qu'elle augmente quand l'humidité relative diminue. Donc, la région d'El-Bayadh est une région humide. L'humidité est présente presque durant toute l'année sauf qu'elle diminue durant la saison de l'été.

La figure (II. 5. 12), y a une évolution progressive de la température de l'air quand la pression atmosphérique diminue et une augmentation de la pression atmosphérique quand la température de l'air diminue. La pression maximale est enregistrée au mois de décembre 90,56 KPa et elle est minimale au mois d'Avril 89,97 KPa (Voir Annexe 25).

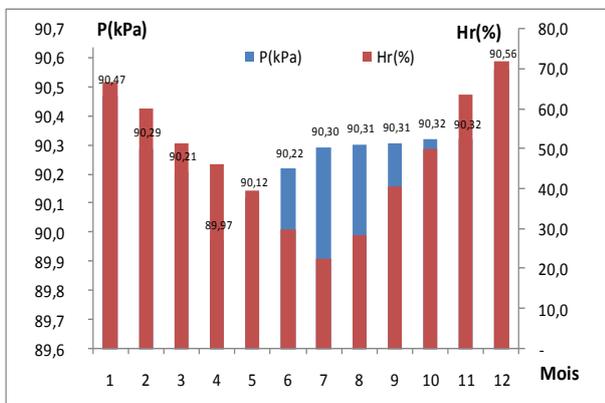


Figure II. 5. 11. Variations mensuelles de la pression atmosphérique et l'humidité relative de la région d'Al-Bayadh (2000- 2019).

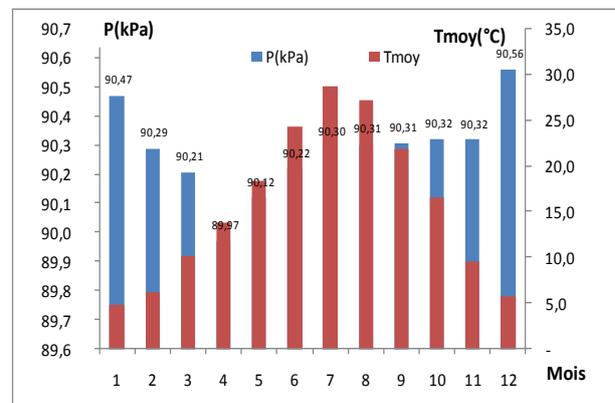


Figure II. 5. 12. Variations mensuelles de la pression atmosphérique et la température de l'air de la région d'Al-Bayadh (2000- 2019).

II. 7. 7. Le rayonnement solaire (Insolation) :

Le rayonnement solaire fournit aux molécules d'eau l'énergie nécessaire pour activer leur mouvement, les faisant ainsi passer de la phase liquide à la phase vapeur. L'évaporation peut donc être considérée comme un processus qui absorbe de la chaleur (Jabi et Rousselle, 1990).

L'insolation ou le rayonnement solaire atteint sa valeur maximale dans la période d'été exactement pendant le mois de juin avec une valeur de 7,66 kWh/m²/j et une valeur minimale dans la période d'hiver mois décembre 2,75 kWh/m²/j (Figure II. 5. 13). Alors que la figure (II. 5. 14),

montre que l'année la plus chaude est celle de 2009 ou on constate un rayonnement solaire enregistré plus élevé de l'ordre de 5,61 kWh/m²/j (voir Annexe 26).

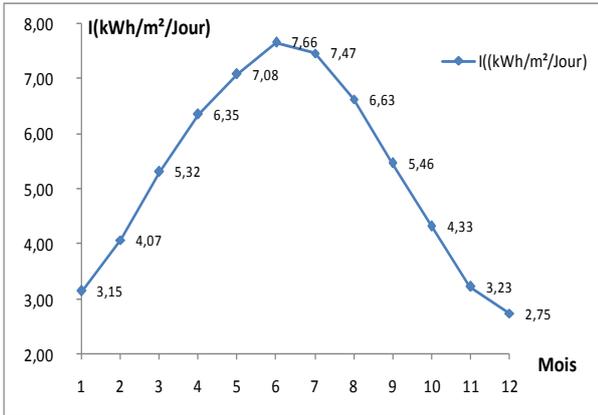


Figure II. 5. 13. Variations mensuelles du rayonnement solaire de la région d'Al-Bayadh (2000- 2019).

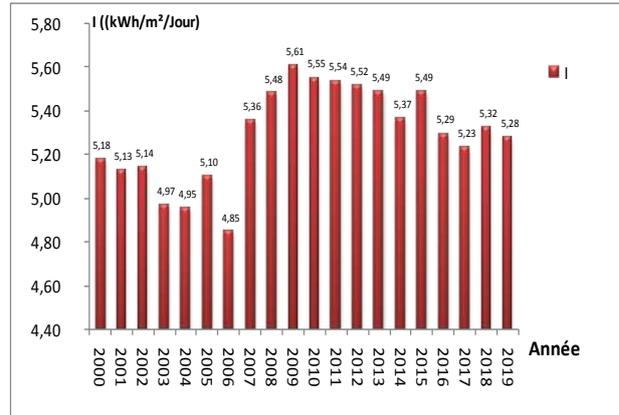


Figure II. 5. 14. Variations annuelles du rayonnement solaire de la région d'Al-Bayadh (2000- 2019).

II. 7. 8. La lumière du jour :

Selon les données météorologiques, la température, le rayonnement solaire et l'éclairement peuvent varier de façon considérable. La durée de la lumière du jour est présente dès que le soleil s'élève au-dessus de l'horizon. Nous rappelons que la lumière du soleil est une partie du rayonnement émis par le soleil. Dans la région d'El-Bayadh, la durée de la lumière du jour est maximale au mois de juin (14,3 heures) et minimale durant le mois de décembre (9,96 heures) (Figure II. 5. 15). La variation de la lumière du jour est fortement liée au rayonnement solaire c'est-à-dire quand le rayonnement solaire est important, la lumière du jour est plus longue. Pendant le mois de juin, on enregistre une longue durée de la lumière du jour (14,3 Heures) et un fort rayonnement solaire (7,66 kWh/m²/j) (Figure II. 5. 16).

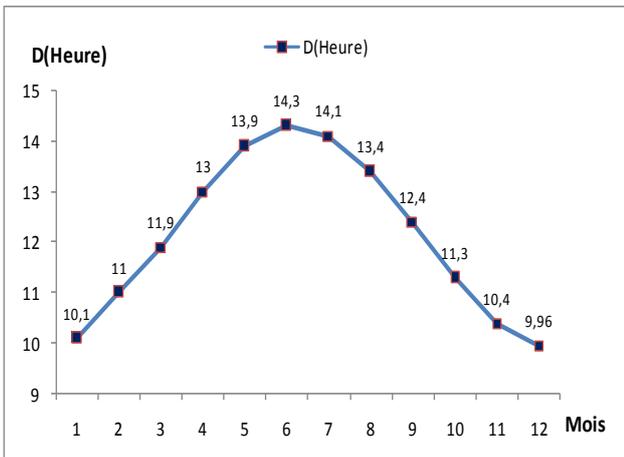


Figure II. 5. 15. Variations mensuelles de la lumière du jour de la région d'Al-Bayadh (2000-2019)

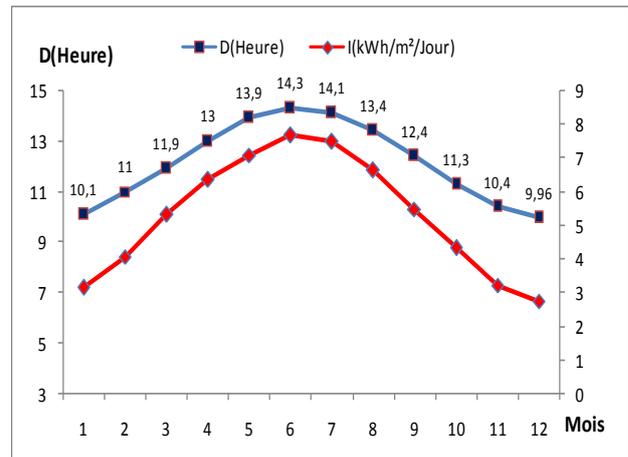


Figure II. 5. 16. Variations mensuelles de la lumière du jour et du rayonnement solaire de la région d'Al-Bayadh (2000-2019)

II. 7. 9. L'évaporation de l'eau :

Le barrage-réservoir de Brézina, subit pendant les années 2000- 2019, une évaporation maximale durant le mois de juillet (441,14 mm) et une évaporation minimale durant le mois de Janvier (83,84 mm) (Figure II. 5. 17). La figure (II. 5. 18), on remarque que l'année 2001, l'évaporation était très importante (261,99). Alors que durant l'année 2009, on enregistre une faible évaporation (209,94 mm) par rapport autres années.

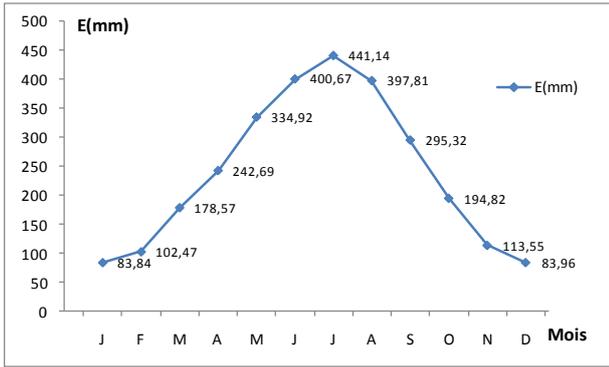


Figure II. 5. 17. Variations mensuelles de l'évaporation de la région d'Al-Bayadh (2000- 2019).

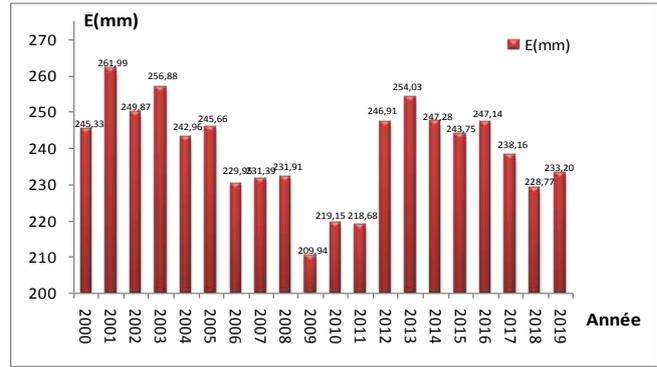


Figure II. 5. 18. Variations annuelles de l'évaporation moyenne de la région d'Al-Bayadh (2000- 2019).

II. 7. 10. Corrélation de l'évaporation de l'eau et les paramètres climatiques disponibles de la région d'El-Bayadh :

Afin de mieux comprendre la relation entre l'évaporation et les paramètres climatiques de la région d'El-Bayadh, huit histogrammes ont été tracés (figure II. 5. 19) :

- ✓ L'évaporation atteint son maximum lorsque les précipitations sont très faibles (les précipitations présentent un pourcentage de 10,25% du taux d'évaporation) ;
- ✓ L'augmentation de la température de l'air ou de l'eau favorise une augmentation de l'évaporation du barrage réservoir de Brézina ;
- ✓ Quand les vitesses du vent sont importantes, l'évaporation augmente. Alors que, les faibles vents diminuent les taux d'évaporation ;
- ✓ L'humidité relative influe inversement sur l'évaporation. L'augmentation de l'humidité entraîne une diminution de l'évaporation et une faible humidité favorise une augmentation du taux d'évaporation ;
- ✓ Quand la pression atmosphérique est faible, l'eau s'évapore rapidement. Dans le cas inverse, l'évaporation diminue ;
- ✓ Le rayonnement solaire absorbé par les surfaces des plans d'eau apporte de l'énergie qui favorise l'évaporation. Donc, quand le rayonnement et la durée de la lumière du jour ou l'ensoleillement est important, l'évaporation est importante aussi.

Les huit graphes présentés sur la figure (II. 5. 20), nous montrent que pour le barrage de Brézina (El-Bayadh) :

- La corrélation linéaire entre l'évaporation et les précipitations est faible ($R^2=0,299$) ;
- La corrélation linéaire entre l'évaporation et la température de l'air est très forte ($R^2=0,938$) ;
- La corrélation linéaire entre l'évaporation et la température de l'eau est très forte ($R^2=0,931$) ;
- La corrélation linéaire entre l'évaporation et la vitesse du vent est très faible ($R^2=0,116$) ;
- La corrélation linéaire entre l'évaporation et l'humidité relative est très forte ($R^2=0,967$) ;
- La corrélation linéaire entre l'évaporation et la pression atmosphérique est très faible ($R^2=0,181$) ;
- La corrélation linéaire entre l'évaporation et le rayonnement solaire est forte ($R^2=0,872$) ;
- La corrélation linéaire entre l'évaporation et la lumière du jour est forte ($R^2=0,897$).

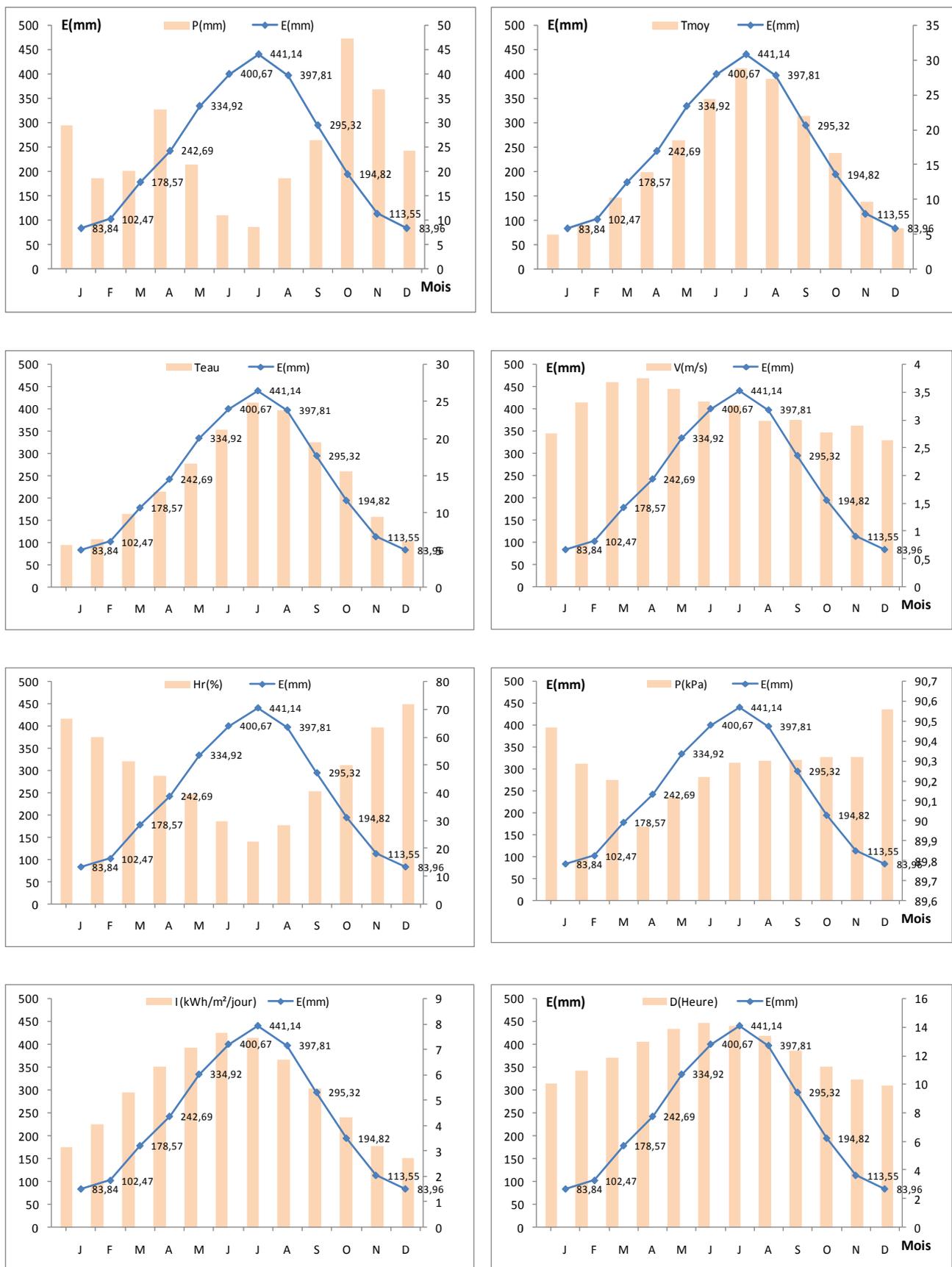


Figure II. 19. Variation de l'évaporation de l'eau du Barrage Brézina avec les paramètres climatiques existants : P(mm), $T_{air}(^{\circ}C)$, $T_{eau}(^{\circ}C)$, V(m/s), H_r (%), P(kPa), I (Kwh/m²/J) et D(Heures).

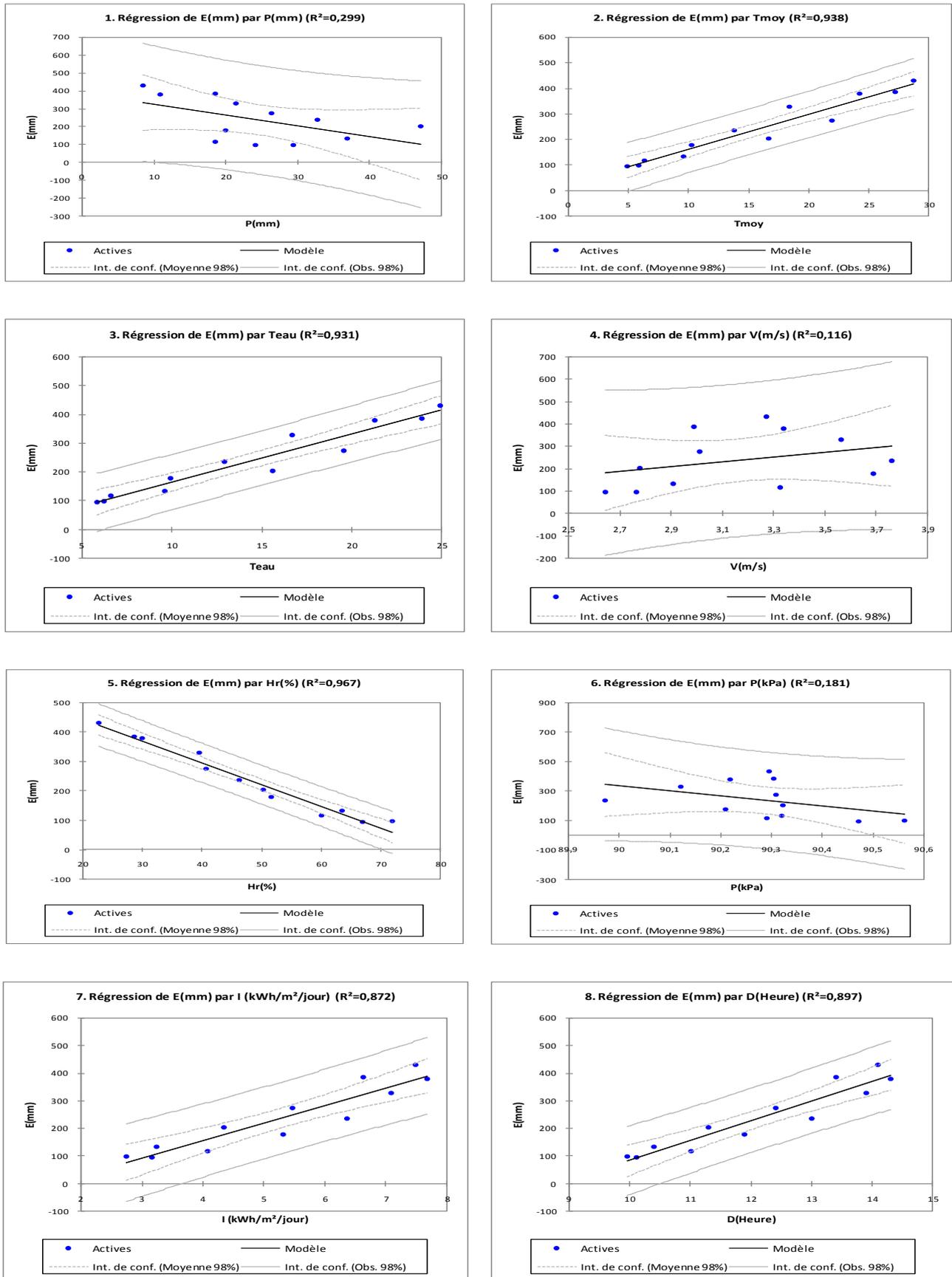


Figure II. 5. 20. Corrélation entre l'évaporation du barrage réservoir- Brézina- et les paramètres climatiques existants : P(mm), T_{air}(°C), T_{eau}(°C), V(m/s), Hr(%), P(kPa), I(Kwh/m²/J) et D(Heures).

II. 8. LA SITUATION GEOGRAPHIQUE DU BARRAGE FOUM EL-GUIESS (KHENCHELA)

Le barrage de Foug El-Guies est un barrage en enrochement avec masque en béton, situé sur l'Oued Guies, à 80 km d'Edgar-Quinet, Classé parmi les plus beaux barrages d'Algérie, il est inexploitable à cause d'un envasement de 100%. Sa hauteur est de 23 m il avait une capacité réelle de 2,5 millions de mètres cubes et un débit de 6 000 000 m³. Il est destiné à l'alimentation en eau potable de la commune de Kais, l'irrigation de terrains agricoles dans la plaine de Remila plus de 5 000 ha à irriguer des terres agricoles. Les principaux affluents de ce cours d'eau sont Ben Ber, Isouel, Krefadja et Kebass, drainent un bassin versant du versant nord des Aurès, chaîne de montagne qui sépare les hautes plaines constantinoises du Sahara. La superficie du bassin versant est 156 km² et de périmètre 53 m où 90% sont recouverts par des forêts.

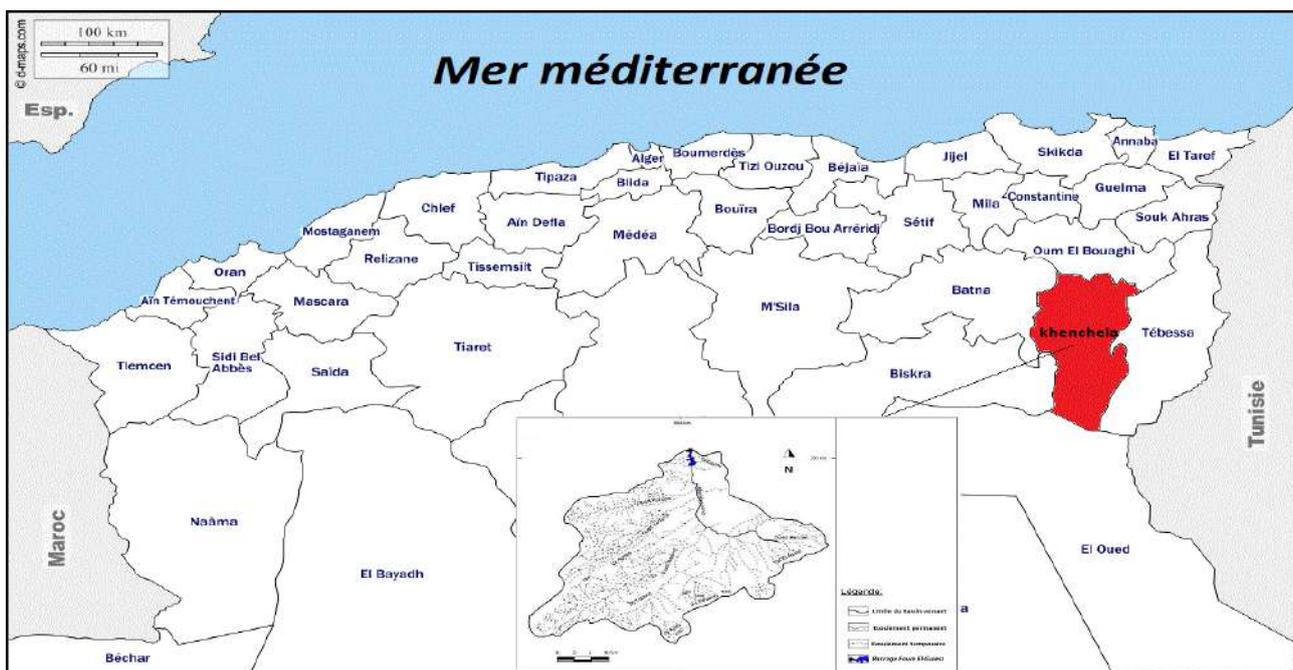


Figure II. 6. Localisation du barrage de Foug El-Guies, Khenchela (@d-maps.com ; Hanachi, 2015).



Photos 6. Barrage Foug El-Guies (Khenchela) (Meziani, 2016).

I. 9. Analyse des paramètres climatiques de la région de Khenchela

Les données climatiques de la région de Khenchela sont enregistrées par une station localisée sur la Longitude 35°45'0"N et la Latitude 6°10'48"E (Latitude : 35,75| Longitude : 6,18) avec une altitude 1052 m (Données enregistrées par la station climatologique 604680 (DABT)).

II. 9. 1. Précipitations :

Pour 19 ans d'observation, la région de Khenchela possède un climat subtropical humide chaud avec une saison sèche. En général, les pluies de mois de Janvier, avril et Mai sont plus importantes (une moyenne de 40,27 mm ; 39,53 mm ; 37,80 mm) que celle de mois de Juillet qui est faible avec une moyenne de 5,54 mm (Figure II. 6. 1). L'année la plus humide est l'année 2003 avec une hauteur de précipitation annuelle 610,86 mm supérieure à 500 mm (Voir Annexe 29) alors que la pluviométrie mensuelle ne dépasse pas 140 mm/mois (Figure II. 6. 2). Donc, la région est classée comme une région à pluies faibles.

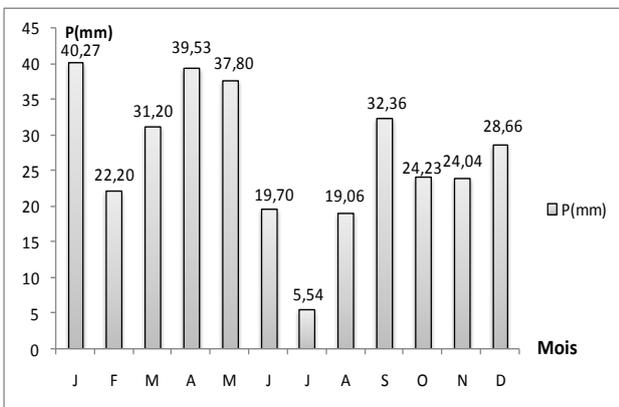


Figure II. 6. 1. Variations mensuelles des précipitations de la région de Khenchela (2000- 2019).

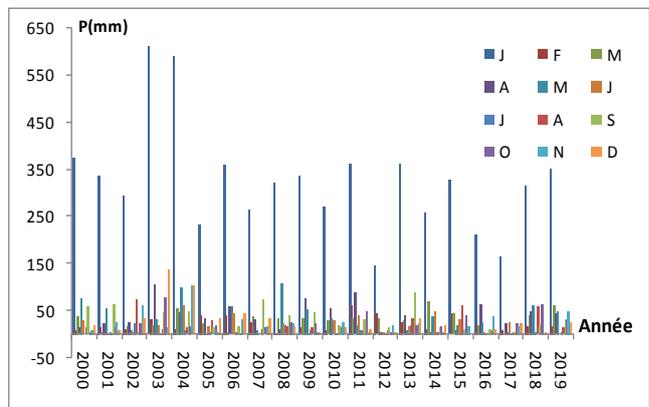


Figure II. 6. 2. Variations annuelles des précipitations de la région de Khenchela (2000- 2019).

II. 9. 2. La température de l'air :

Du tableau (II. 14), nous constatons que la température moyenne maximale est enregistrée au mois de Juillet (27,64°C), la plus basse température au mois de Janvier (5,68°C), c'est le mois le plus froid. L'amplitude thermique de la région de Khenchela est 21,96°C. La région de Khenchela atteint des températures maximales dans la saison de l'été variant de 32,19°C jusqu'au 36,57°C. Alors que la saison la plus froide, la température minimale varie de -0,1°C, 0, 34°C, 1,01°C entre Janvier, Février et Décembre (Figure II. 6. 3).

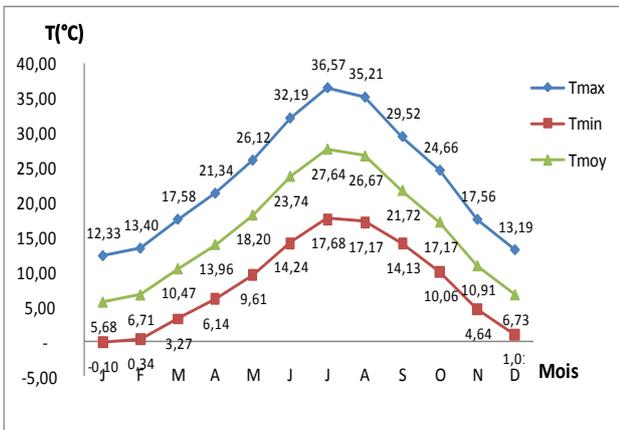


Figure II. 6. 3. Variations mensuelles de la température de l'air de la région de Khenchela (2000- 2019).

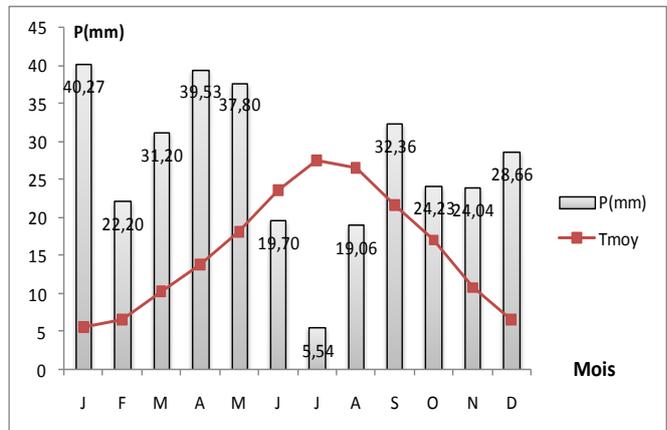


Figure II. 6. 4. Diagramme ombrothermique de la région de Khenchela (2000- 2019).

Du diagramme ombrothermique (Figure II. 6. 4), nous constatons que la période sèche, s'étale du mois Juin jusqu'au mois d'août. Alors au cours de l'année, le mois le plus arrosé c'est le mois de Janvier avec une précipitation moyenne de 40,27 mm le mois le plus sec est celui de Juillet (5,54 mm). D'après Hufty (2001), le climat de la région de Khenchela est tempéré chaud à été chaud et sec.

Tableau II. 14. Variation mensuelle de température et de précipitation de la région de Biskra (2000-2019)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T_{moy} (°C)	<u>5,68</u>	6,71	10,47	13,96	18,20	23,74	<u>27,64</u>	26,67	21,72	17,17	10,91	6,73
Description	Humide	Humide	Humide	Humide	Humide	Sec	Sec	Sec	Humide	Humide	Humide	Humide
P(mm)	<u>40,27</u>	22,20	31,20	39,53	37,80	19,70	<u>5,54</u>	19,06	32,36	24,23	24,04	28,66

Source : (ANBT, 2019)

II. 9. 3. La température de l'eau :

La température de l'eau est un paramètre important aussi pour l'estimation de l'évaporation car elle permet le changement de l'état physique d'eau (liquide) en vapeur dans l'air. Elle est peu mesurée ou à estimer. De plus lorsqu'elle est disponible, les séries comportent souvent beaucoup de lacunes. Par conséquent, les formules utilisant cette donnée seront difficilement applicables dans plupart des cas. Pour notre cas, les températures de l'eau sont estimées (Voir tableau II. 15).

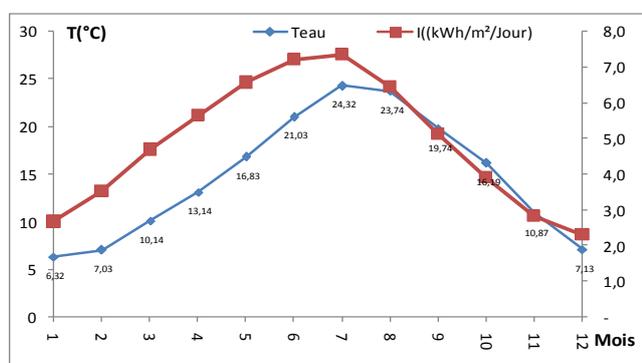


Figure II. 6. 5. Variations mensuelles de la température de l'eau et du rayonnement solaire de la région de Khenchela (2000- 2019).

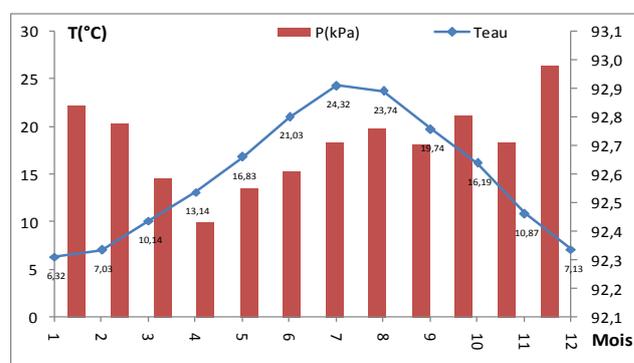


Figure II. 6. 6. Variations mensuelles de la température de l'eau et la pression atmosphérique de la région de Khenchela (2000- 2019).

La figure (II. 6. 5) montre que quand le rayonnement solaire augmente/diminue, la température de l'eau augmente/diminue. Y a une forte liaison avec le rayonnement solaire, les températures de l'air et de l'eau et une très faible liaison avec la pression atmosphérique (Figure II. 6. 6).

Tableau II. 15. Les valeurs T_{moy}, e_a et T_{eau} – sont des valeurs moyennes mensuelles (2000-2019)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T_{moy} (°C)	<u>5,68</u>	6,71	10,47	13,96	18,20	23,74	<u>27,64</u>	26,67	21,72	17,17	10,91	6,73
e_a (mb)	6,60	6,39	7,44	9,02	10,96	12,23	13,04	13,92	13,89	11,32	8,60	7,17
T_{eau}(°C)	<u>6,32</u>	7,03	10,14	13,14	16,83	21,03	<u>24,32</u>	23,74	19,74	16,19	10,87	7,13

Source : (ANBT, 2019)

Du tableau (II. 15), nous observons une température de l'eau minimale enregistrée pendant le mois de janvier atteint de 6,32°C. Alors que, température maximale est enregistrée pendant le mois de juillet avec une valeur de 24,32°C.

II. 9. 4. La vitesse de vent :

Le vent permet le renouvellement des masses d'air non saturées à la surface de la retenue, et maintient ainsi un certain pouvoir évaporant de l'air. Les valeurs de mesure de vitesse sont disponibles en valeurs moyennes journalières ou mensuelles. On optera ici pour des valeurs mensuelles pour une période (2000-2019).

Du tableau (II.16), nous observons que la vitesse maximale du vent est enregistrée durant le mois de Mars avec une moyenne de 3,93 m/s. Le minimum du vent est enregistré durant le mois de décembre avec une vitesse 2,85 m/s (Figure II. 6. 7). La vitesse moyenne annuelle est de 3,54 m/s.

Tableau II. 16. Classification des vents de la région de Khenchela selon l'échelle de Beaufort

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
V(km/h)	11,93	14,09	<u>14,13</u>	13,83	13,40	13,57	14,15	13,55	12,47	11,77	12,13	<u>10,25</u>
V(m/s)	3,31	3,91	<u>3,93</u>	3,84	3,72	3,77	3,93	3,76	3,46	3,27	3,37	<u>2,85</u>
V(nœuds)	7-10	7-10	7-10	7-10	7-10	7-10	7-10	7-10	7-10	7-10	7-10	7-10
Termes	vent faible	vent faible	vent faible	vent faible	vent faible	vent faible	vent faible	vent faible	vent faible	vent faible	vent faible	vent faible

Source : (ANBT, 2019)

La figure (II. 6. 8), nous montre l'évolution de la vitesse moyenne annuelle durant les trois ans derniers, la vitesse à diminué de 4,43 m/s à 3, 23 m/s. On constate qu'en 2001, la vitesse atteignait son maximum 4, 52 m/s. Selon l'échelle Beaufort, la région est classée à vent faible.

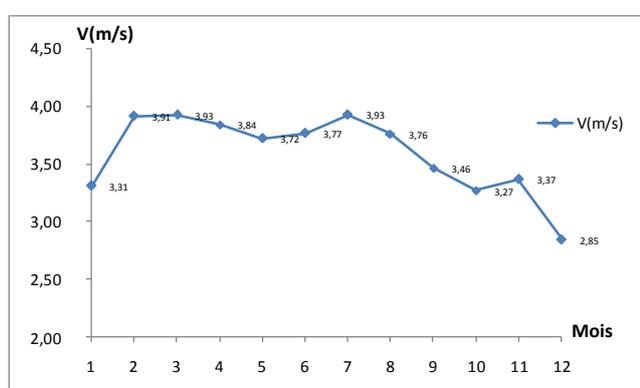


Figure II. 6. 7. Variations mensuelles de la vitesse du vent de la région de Khenchela (2000- 2019).

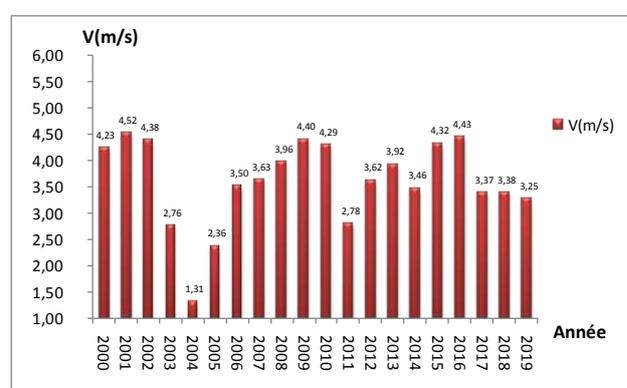


Figure II. 6. 8. Variations annuelles de la vitesse du vent de la région de Khenchela (2000- 2019).

II. 9. 5. L'humidité relative :

L'humidité relative de l'air est un état de climat qui représente le pourcentage de l'eau existant dans l'atmosphère, elle a des effets sur le processus d'évaporation peut s'exprimer par la loi de Dalton. Elle est utilisée dans beaucoup de formules et c'est une donnée mesurée au niveau des stations météorologiques souvent disponibles. Le cas de la région de Khenchela, on constate que l'humidité relative est comprise entre 35,31% et 72,93%. Cela signifie que la région se caractérise par un climat moyen humide ou humide au cours de toute l'année (Tableau II .17). Le mois de juillet est le moins humide avec une humidité relative minimale 35,31% (Figure II. 6. 9). Dans cette région, quand la température de l'air augmente/diminue, l'humidité relative diminue/augmente (Figure II. 6. 10).

Tableau II. 17. Humidité relative et la température de l'air de la région de Khenchela (2000-2019)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
H _r (%)	<u>72,05</u>	65,10	59,08	56,73	52,64	42,06	<u>35,31</u>	40,36	53,51	57,94	65,94	<u>72,93</u>
Description	H	H	M	M	M	M	M	M	M	M	M	H
T _{moy} (°C)	5,68	6,71	10,47	13,96	18,20	23,74	27,64	26,67	21,72	17,17	10,91	6,73

Source : (ANBT, 2019)

M : Air Moyen humide : H_r (%) = 35-65%

S: Air Sec: H_r (%) < 35%

H: Air Humide: H_r (%) > 65%

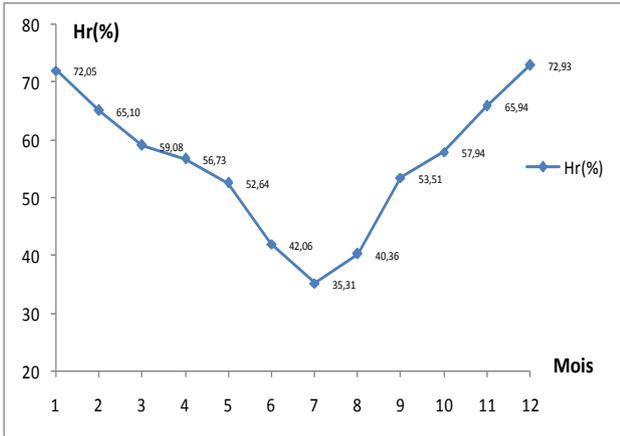


Figure II. 6. 9. Variations mensuelles de l'humidité relative de la région de Khenchela (2000-2019).

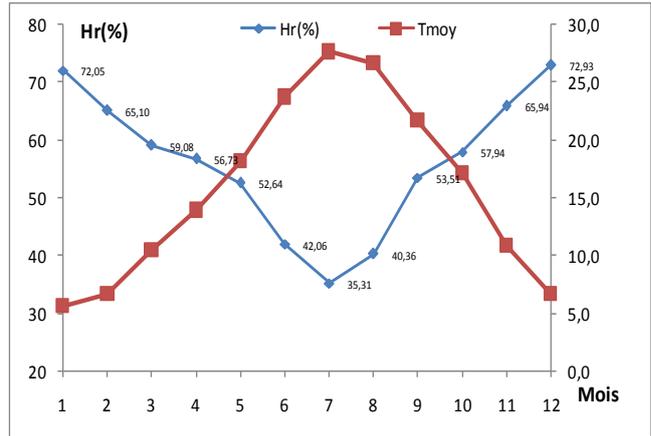


Figure II. 6. 10. Variations mensuelles de l'humidité relative et la température de l'air de la région de Khenchela (2000-2019).

II. 9. 6. La pression atmosphérique :

La région de Khenchela, la pression atmosphérique est influée par des fortes humidités qui s'étalent durant toute l'année sauf les mois de Juillet et Aout les pressions sont élevées (92,71 kPa -92,76 kPa) par rapport à l'humidité relative (Figure II.6. 11). Alors que, la température de l'air influe inversement sur la pression atmosphérique (Figure II. 6. 12).

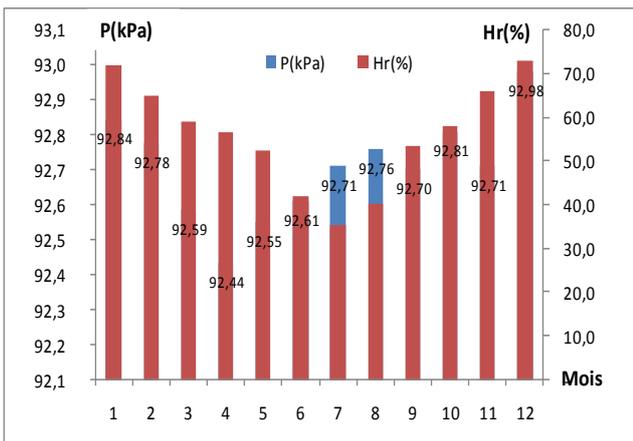


Figure II. 6. 11. Variations mensuelles de la pression atmosphérique et l'humidité relative de la région de Khenchela (2000-2019).

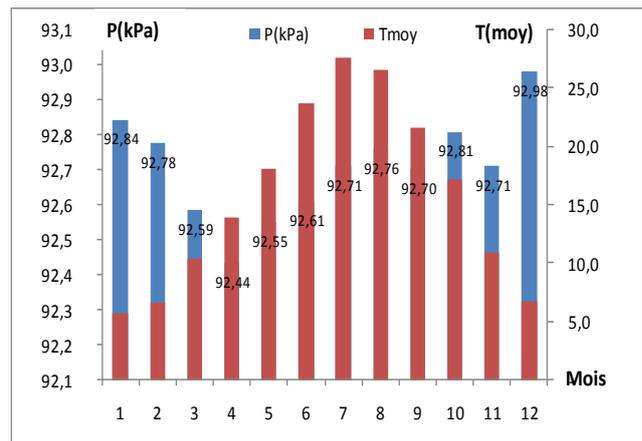


Figure II. 6. 12. Variations mensuelles de la pression atmosphérique et la température de l'air de la région de Khenchela (2000-2019).

II. 9. 7. Le rayonnement solaire (Insolation) :

Le rayonnement solaire est l'élément moteur des conditions météorologiques et climatiques, et par voie de conséquence, du cycle hydrologique. La figure (II. 6. 15) donne les variations mensuelles de l'insolation ou du rayonnement solaire de la région de Khenchela. Sur le graphe (Figure II. 6. 13), nous constatons que l'insolation atteint sa valeur maximale dans la période d'été exactement pendant le mois de juillet avec une valeur de 7,35 kWh/m²/j et une valeur minimale dans la période d'hiver, le mois de décembre 2,31 kWh/m²/j. L'insolation mensuelle a une moyenne de 4,86 kWh/m²/j (Voir Annexe 35).

Durant la période 2000-2019, la période la plus insolées s'étale de l'année 2008 à 2012, ou on a enregistré une insolation maximale de l'ordre 5,13 kWh/m²/j (Figure II. 6. 14) avec une température de l'air maximale est de 24, 03°C (Voir Annexe 31).

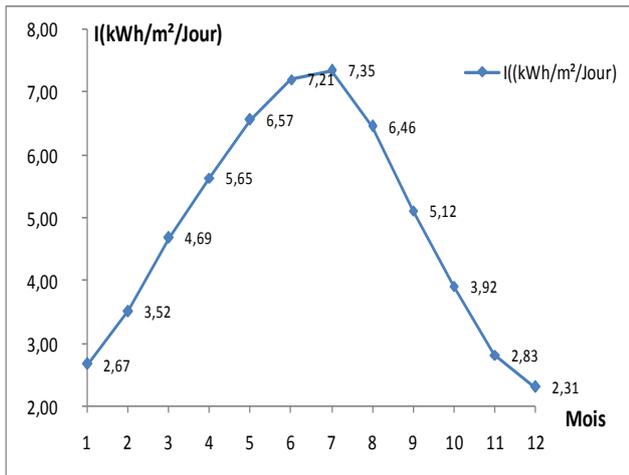


Figure II. 6. 13. Variations mensuelles de l'insolation de la région de Khenchela (2000-2019).

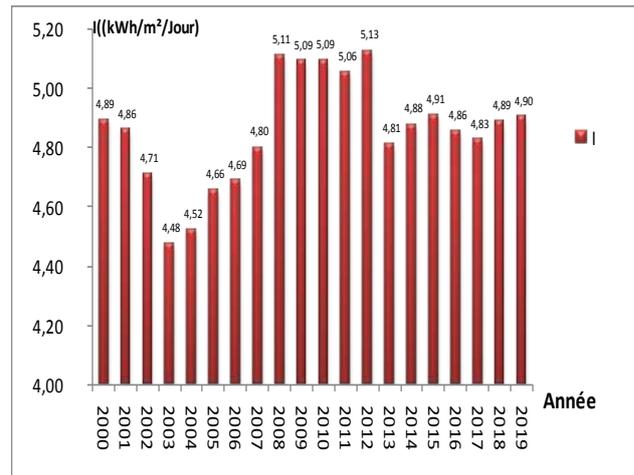


Figure II. 6. 14. Variations annuelles de l'insolation de la région de Khenchela (2000-2019).

II. 9. 8. La lumière du jour :

Dans la région de Khenchela et sur la figure (II. 6. 15), la lumière du jour croit pendant la saison de l'été et décroît dans les saisons de printemps, l'hiver et l'automne. Le mois de Juin a une longue durée de la lumière du jour de 14,5 Heures tandis que le mois de décembre a une lumière de jour inférieure à 10 Heures. Sur la figure (II. 6. 16), on constate que pendant la période de l'été (Juin, Juillet et Aout) et malgré le rayonnement solaire intense, la durée de la lumière du jour reste moins longue peut être la cause et qu'elle est directement liée à la nébulosité ou le ciel est couvert par les nuages.

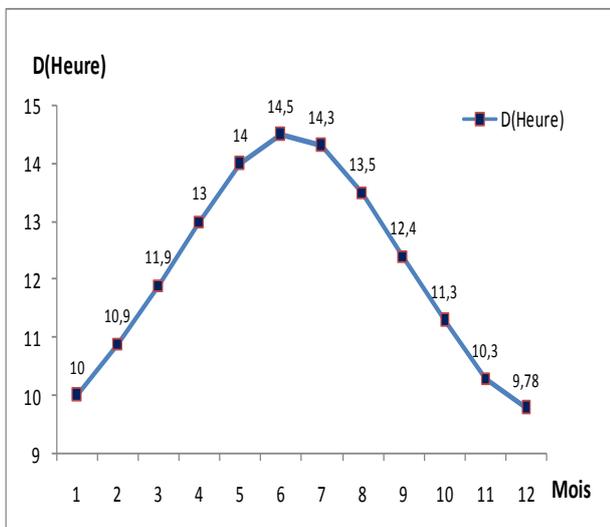


Figure II. 6. 15. Variations mensuelles de la lumière du jour de la région de Khenchela (2000-2019)

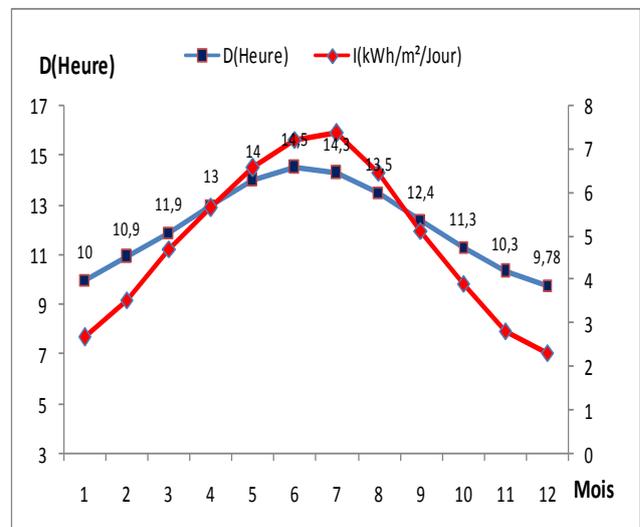


Figure II. 6. 16. Variations mensuelles de la lumière du jour et du rayonnement solaire de la région de Khenchela (2000-2019)

II. 9. 9. L'évaporation de l'eau :

Le barrage-réservoir de Foug El-Guies localisé à Khenchela a subi une évaporation maximale durant le mois de juillet (234,96 mm) et une évaporation minimale pendant le mois de Janvier (42,98 mm) (Figure II. 6. 17). Au cours des années 2000-2004, le barrage-réservoir a subi une évaporation maximale de 168,72 mm. L'évaporation a diminué progressivement en 2006 pour atteindre un taux d'évaporation de 67,82 mm et ne dépasse pas les 114 mm pour les autres années (Figure II. 6. 18).

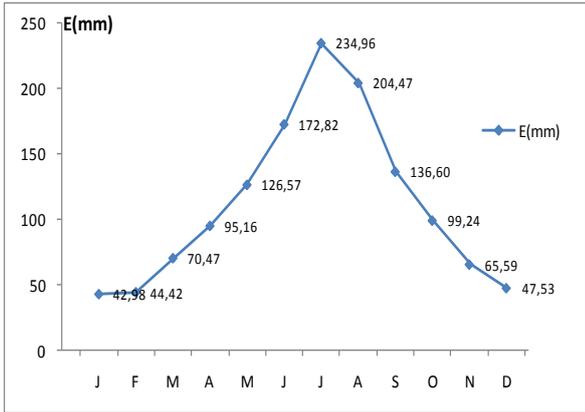


Figure II. 6. 17. Variations mensuelles de l'évaporation de la région de Khenchela (2000- 2019).

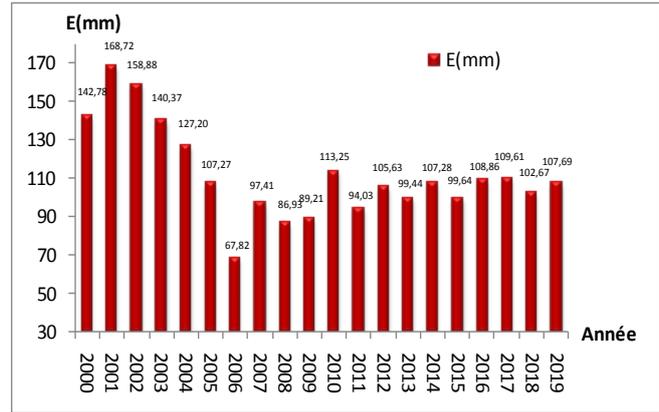


Figure II. 6. 18. Variation annuelle de l'évaporation moyenne du barrage de Foum El-Guies, Khenchela (2000- 2019).

II. 9. 10. Corrélation de l'évaporation de l'eau et les paramètres climatiques disponibles de la région de Khenchela

Pour comprendre la relation entre l'évaporation et les paramètres climatiques de la région de Khenchela, huit histogrammes ont été tracés (Voir la figure II. 6. 19) :

- ✓ Le barrage-réservoir de Foum El-Guies s'évapore plus d'eau qu'il n'en reçoit sous forme de précipitations. L'évaporation atteint son maximum lorsque les précipitations sont faibles (les précipitations présentent un pourcentage de 24, 21% du taux d'évaporation) ;
- ✓ L'augmentation de la température de l'air ou de l'eau favorise une augmentation de l'évaporation du barrage réservoir de Foum El-Guies ;
- ✓ Quand les vitesses du vent sont importantes, l'évaporation augmente. Alors que, les faibles vents diminuent les taux d'évaporation ;
- ✓ L'augmentation de l'humidité entraîne une diminution de l'évaporation et une faible humidité favorise une augmentation du taux d'évaporation ;
- ✓ Quand la pression atmosphérique est élevée, l'eau s'évapore lentement. Dans le cas inverse, l'évaporation augmente ;
- ✓ Le taux d'évaporation est en particulier, une fonction croissante avec le rayonnement solaire et la durée de la lumière du jour. Donc, quand le rayonnement et la durée de la lumière du jour ou ensoleillement est important, l'évaporation est importante aussi.

Les huit graphes présentés sur la figure (II. 6. 20), nous montrent que pour le barrage de Foum El-Guies (Khenchela) :

- La corrélation linéaire entre l'évaporation et les précipitations est faible ($R^2=0,384$) ;
- La corrélation linéaire entre l'évaporation et la température de l'air est très forte ($R^2=0,952$) ;
- La corrélation linéaire entre l'évaporation et la température de l'eau est très forte ($R^2=0,943$) ;
- La corrélation linéaire entre l'évaporation et la vitesse du vent est faible ($R^2=0,203$) ;
- La corrélation linéaire entre l'évaporation et l'humidité relative est très forte ($R^2=0,942$) ;
- La corrélation linéaire entre l'évaporation et la pression atmosphérique est très faible ($R^2=0,066$) ;
- La corrélation linéaire entre l'évaporation et le rayonnement solaire est bonne ($R^2=0,777$) ;
- La corrélation linéaire entre l'évaporation et la lumière du jour est bonne ($R^2=0,736$).



Figure II. 6. 19. Variation de l'évaporation de l'eau du barrage –réservoir Fom El-Guieess-Khenchela avec les paramètres climatiques existants : P(mm), T_{air}(°C), T_{eau}(°C), V(m/s), H_r (%), P(kPa), I(Kwh/m²/J) et D(Heures).

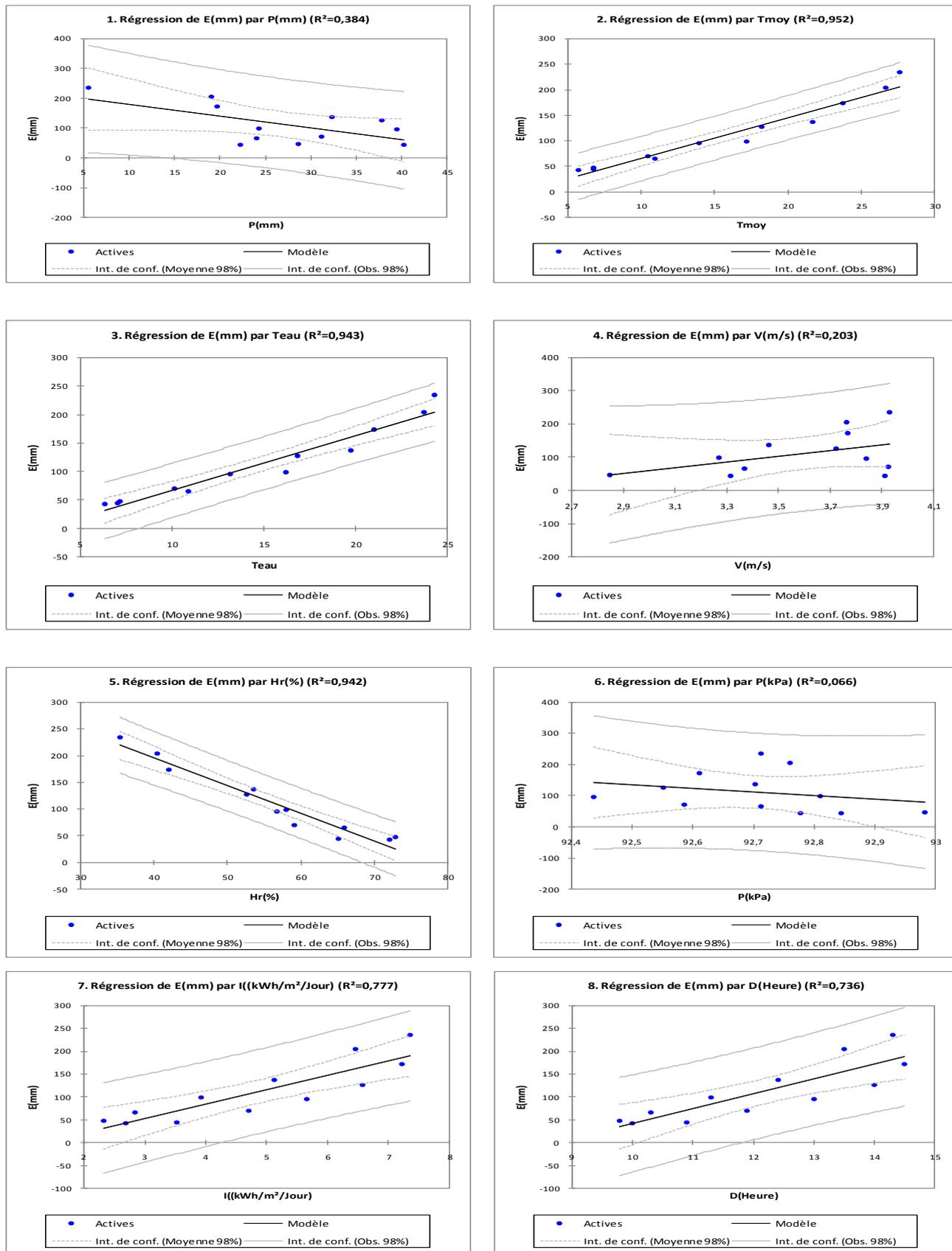


Figure II. 6. 20. Corrélation entre l'évaporation du barrage – Foum El-Guies- et les paramètres climatiques existants : P(mm), T_{moy} (°C), T_{eau} (°C), V(m/s), H_r (%), P(kPa), I(Kwh/m²/J) et D(Heures).

II. 10. LES INDICES CLIMATIQUES DES REGIONS ETUDIEES

Afin de bien classer le climat de régions étudiées, d'autres indices climatiques ont été calculés :

II. 6. 1. Indice d'aridité annuel de De MARTONNE :

En 1926, Martonne a défini un indice appelé « indice d'aridité annuel », donné par la formule suivante :

$$I = \frac{P_{moy}}{T_{moy} + 10} \quad (II.1)$$

Où :

P_{moy} : Précipitation moyenne annuelle (mm).

T_{moy} : Température moyenne annuelle (°C).

Selon la valeur de l'indice De Martonne (Tableau II. 18), on peut classer le climat des régions étudiées comme suit :

- $I < 5$: Climat hyper-aride
- $5 < I < 10$: Climat aride
- $10 < I < 20$: Climat semi-aride
- $20 < I < 30$: Climat semi-humide
- $I > 30$: Climat humide.

Tableau II. 18. Calcul de l'indice de Martonne pour les quatre régions étudiées (2000-2019)

Régions	$P_{moy}(mm)$	$T_{moy}(°C)$	I	Climat
Béchar	91,58	22,05	2,857	Hyper-Aride
Biskra	126,98	22,95	3,854	Hyper-Aride
El-Bayadh	293,22	15,64	11,436	Semi -Aride
Khenchela	324,57	15,80	12,580	Semi-Aride

II. 6. 2. Indice d'aridité mensuel de De Martonne

Un autre indice d'aridité peut être calculé par mois : Il est défini par l'expression :

$$\alpha = \frac{12P}{T+10} \quad (II. 2)$$

P : Précipitation moyenne mensuelle (mm)

T : Température moyenne mensuelle (C°)

D'après le tableau (II. 19), nous constatons que :

- ✓ La région de Béchar est caractérisée par un climat hyperaride qui s'étale presque toute l'année. L'indice d'aridité mensuel varie entre 0,67 (Mois de Juillet) et 8,11 (Mois de novembre).
- ✓ La région de Biskra est caractérisée par un climat aride pendant les mois de Janvier, Mars, Avril et octobre. Les autres mois de l'année sont hyperarides. L'indice d'aridité mensuel varie entre 0,33 et 7,79.
- ✓ La région d'El-Bayadh est caractérisée par un climat semi humide pendant les mois de Janvier, octobre et novembre. Un climat semi-aride pendant les mois de Février, Mars, Avril et Décembre. Un climat hyper aride durant deux mois de juin et juillet. Un climat aride en Mai, Aout et Septembre. L'indice d'aridité mensuel varie entre 2,61 et 23,78.
- ✓ La région de Khenchela est caractérisée par un climat humide s'étalant du mois de Janvier jusqu'au mois de Mai. Pendant la saison de l'été, le climat est semi-aride/ aride. Du mois de septembre jusqu'au décembre, nous avons un climat humide/semi-humide. L'indice d'aridité mensuel varie entre 5,54 et 40,27.

Tableau II. 19. Les valeurs d'indices d'aridité mensuels de Martonne (2000-2019)

Régions		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
BECHAR	P(mm)	5,13	5,31	8,50	4,39	7,51	2,77	2,53	5,20	11,85	13,23	17,26	7,91	
	T (°C)	9,79	11,96	17,21	21,66	26,04	31,26	35,3	33,83	28,6	22,73	15,53	10,7	
	a	3,11	2,90	3,75	1,67	2,50	0,81	<u>0,67</u>	1,42	3,68	4,85	<u>8,11</u>	4,59	
	I	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	I < 10	< 5
	Climat	H-A	H-A	H-A	H-A	H-A	H-A	H-A	H-A	H-A	H-A	H-A	A	H-A
BISKRA	P(mm)	12,67	5,51	17,96	15,93	11,15	5,79	1,23	2,86	15,84	18,46	11,06	8,52	
	T (°C)	11,86	13,37	17,67	21,79	26,52	31,72	35,18	34,12	29,42	23,92	17,15	12,71	
	a	6,95	2,83	<u>7,79</u>	6,01	3,66	1,67	<u>0,33</u>	0,78	4,82	6,53	4,89	4,50	
	I	I < 10	< 5	I < 10	I < 10	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	I < 10	< 5	< 5	
	Climat	A	H-A	A	A	H-A	H-A	H-A	H-A	H-A	A	H-A	H-A	
EL-BAYADH	P(mm)	29,39	18,54	20,01	32,70	21,37	10,82	8,42	18,48	26,30	47,13	36,84	24,08	
	T (°C)	4,83	6,29	10,24	13,78	18,44	24,28	28,70	27,19	21,94	16,65	9,53	5,81	
	a	<u>23,78</u>	13,66	11,86	16,50	9,02	3,79	<u>2,61</u>	5,96	9,88	21,23	22,64	18,28	
	I	I < 30	I < 20	I < 20	I < 20	I < 10	< 5	< 5	I < 10	I < 10	I < 30	I < 30	I < 20	
	Climat	S-H	S-A	S-A	S-A	A	H-A	H-A	A	A	S-H	S-H	S-A	
KHENCHELA	P(mm)	40,27	22,20	31,20	39,53	37,80	19,70	5,54	19,06	32,36	24,23	24,04	28,66	
	T (°C)	5,68	6,71	10,47	13,96	18,20	23,74	27,64	26,67	21,72	17,17	10,91	6,73	
	a	<u>40,27</u>	22,20	31,20	39,53	37,80	19,70	<u>5,54</u>	19,06	32,36	24,23	24,04	28,66	
	I	I > 30	I > 30	I > 30	I > 30	I > 30	I < 20	I < 10	I < 20	I > 30	I < 30	I < 30	I < 30	
	Climat	H	H	H	H	H	S-A	A	S-A	H	S-H	S-H	S-H	

H-A : Hyper-Aride

A: Aride

S-A: Semi-Aride

S-H : Semi- Humide

H : Humide

II. 6. 3. Indice climatique d'Emberger

L'indice climatique d'Emberger, est défini par l'expression suivante :

$$Q_2 = 2000 \frac{r}{(M^2 - m^2)} \quad (\text{II. 3})$$

Avec :

Q_2 : Quotient pluviométrique d'Emberger.

P : Précipitations moyennes annuelles en mm.

M : Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud, en degré absolu T°C+ 273(°K).

m : Moyenne des températures minimales du mois le plus froid, en degré absolu T°C+ 273 (°K).

Selon le climagramme d'Emberger (Figure II. 10. 1), l'ensemble des étages bioclimatiques sont définis comme suit :

- ✓ $Q_2 < 10$; $P < 100$; Climat Saharienne/Hyper-Aride
- ✓ $10 < Q_2 < 45$; $100 < P < 400$; Climat Aride
- ✓ $45 < Q_2 < 70$; $400 < P < 600$; Climat Semi-Aride
- ✓ $70 < Q_2 < 110$; $600 < P < 800$; Climat Subhumide
- ✓ $110 < Q_2 < 150$; $800 < P < 1200$; Climat Humide
- ✓ $Q_2 > 150$; $P > 1200$; Climat Hyper-humide

Tableau II. 20. Les Indices d'Emberger pour les quatre régions d'études

Régions	P(mm)	T _{max}	T _{min}	M (°K)	m (°K)	Q2	Zones bioclimatiques
Béchar	91,58	41,25	3,16	314,25	276,16	8,14	HYPER-ARIDE
Biskra	126,98	41,36	6,70	314,36	279,70	12,33	ARIDE
El-Bayadh	293,22	35,22	0,06	308,22	273,06	28,69	ARIDE
Khenchela	324,57	36,57	0,10	309,57	273,10	30,55	ARIDE

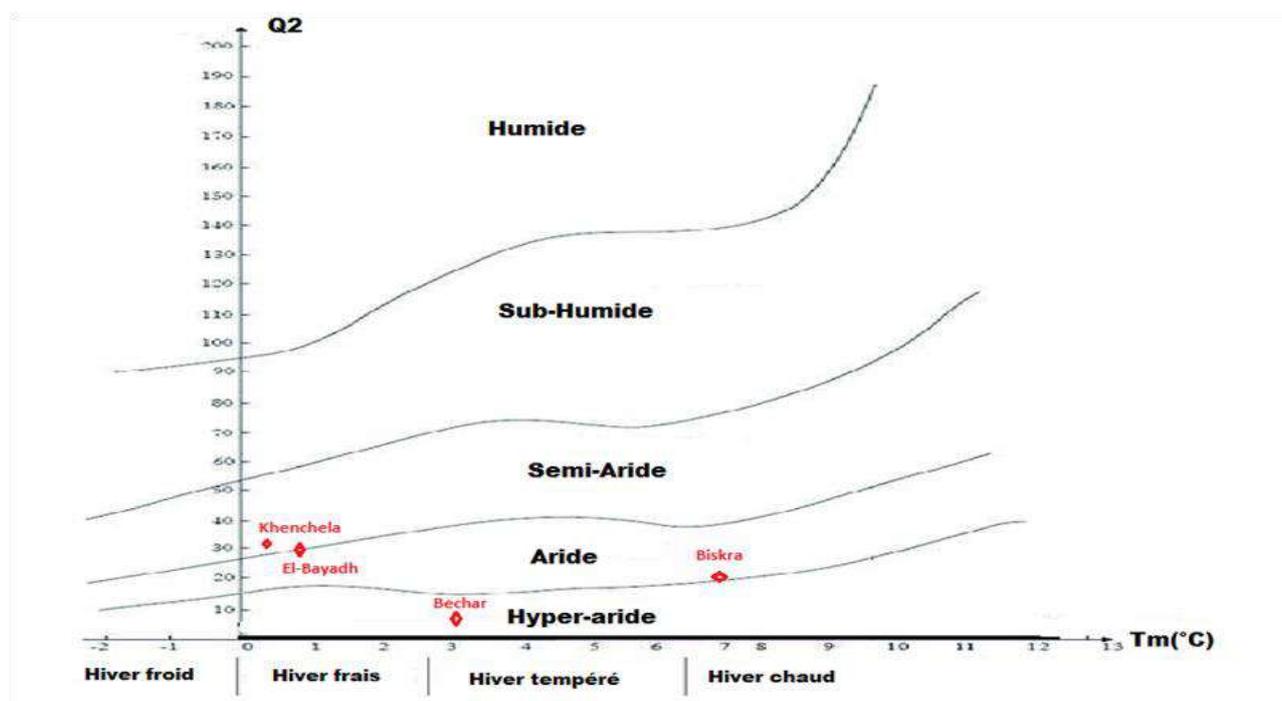


Figure II. 10. 1. Climagramme d'Emberger (Stations : Béchar, Biskra, El-Bayadh, Khenchela)

L'indice d'Emberger des quatre stations varie de 8,14 - 30,55 (Tableau II. 20) calculé à partir des données climatiques obtenues pendant une période (2000-2019), en reportant cette valeur sur le climagramme d'EMBERGER (Figure II. 10. 1), on constate que les quatre régions sont soumises à un climat « Semi-aride, aride et hyperaride ».

II. 11. CONCLUSIONS

Après l'analyse climatologique de quatre régions d'études durant une période s'étalant de 2000- 2019 ou se situent les cinq barrages étudiés : Djorf-Torba (Béchar), Fontaine des Gazelles et Fom El-Gherza (Biskra), Brézina (El-Bayadh) et Fom El-Guiss (Khenchela), nous avons conclu les conclusions suivantes :

1. La région de Béchar est classée comme une région à très faibles pluies de fait que le total des précipitations moyennes annuelles est de 91,58 mm < 100mm. La température moyenne du mois le plus chaud est 35,30°C (Juillet) et la température du mois le plus froid 9, 97°C (Janvier). Selon la classification d'Huftu (2001), le climat est classé comme climat tempéré à été chaud et sec. La température moyenne de l'eau varie entre 9,49 °C et 30,31°C. L'amplitude thermique de la région de Béchar est de 25,51°C. Selon l'échelle de Beaufort, la région de Béchar est classée comme une région à faible

vent avec une vitesse en nœuds 7-10. L'humidité relative moyenne annuelle est de 33,57% donc l'air de la région est considéré comme un air moyen humide en hiver et en printemps ($H_r=35\%-65\%$) et un air sec pendant la saison de l'été ($H_r<35\%$). La pression moyenne annuelle est de 92,56 KPa. La région a subi un rayonnement solaire (Insolation) moyen annuel de l'ordre de 5,61 kWh/m²/Jour. La lumière du jour moyenne mensuelle varie de 10,1 heures en mois de décembre et 14,1 heures en mois de Juin. L'évaporation au niveau du barrage-réservoir de Djorf-Torba atteint des taux maximaux pendant la saison de l'été. En mois d'août, l'évaporation maximale enregistrée est de 358,43 mm.

Nous avons constaté que : Les précipitations présentent 3,5% du taux d'évaporation annuel. L'évaporation augmente/diminue avec l'augmentation/ diminution de la température de l'air / l'eau et la pression atmosphérique. L'évaporation est toujours en processus quel que soit les grandeurs de la vitesse de vent mais évidemment d'autant plus rapide quand les vitesses de vent sont importantes. Alors que, l'augmentation de l'humidité relative favorise la diminution de l'évaporation. Tandis que, le rayonnement solaire et la durée de la lumière du jour sont les paramètres qui influent de manière positive sur le phénomène de l'évaporation au niveau du barrage-réservoir de Djorf-Torba. Les paramètres climatiques qui présentent une forte corrélation linéaire avec l'évaporation sont : La température de l'air ($R^2=0,829$) ; la température de l'eau ($R^2=0,853$). Selon de climagramme d'Emberger, le climat de la région de Béchar est classé comme un climat hyperaride.

2. La région de Biskra a enregistré des précipitations moyennes annuelles de l'ordre 126,98 mm, la température moyenne du mois le plus chaud est enregistrée en mois de Juillet 35,18°C, celle du mois le plus froid est enregistrée au mois de Janvier 11,86°C. L'amplitude thermique de la région de Biskra est de 23,32°C. La température moyenne de l'eau varie de 11,21°C au mois de Janvier et 30,38°C au mois de Juillet. Le climat de la région est tempéré à été chaud et sec. Les vents sont classés comme des vents faibles durant toute l'année avec une vitesse en nœuds 7-10 selon l'échelle de Beaufort. L'humidité relative mensuelle varie de 25,45-58,71%. La pression atmosphérique moyenne mensuelle varie de 97,15 KPa à 97,94 KPa. Le rayonnement annuel moyen est de 5,24 kWh/m²/Jour. La lumière du jour s'étale de 9,88 heures en mois de décembre et 14,4 heures au mois de Juin. Les taux d'évaporation maximaux enregistrés au niveau des deux barrages réservoirs de Foum El-Gherza et Fontaine des gazelles sont égaux à 399,79 mm et 431,32 mm. Nous avons constaté que : L'évaporation au niveau du barrage- réservoir de Fontaine des Gazelles est plus importante à celle du barrage- réservoir de Foum El-Gherza en raison de la superficie et de la capacité de la retenue. Les précipitations présentent 4,44% (pour le barrage de Fontaine des Gazelles) - 4,84% (pour le barrage de Foum El-Gherza) du taux d'évaporation annuel des deux barrages. L'évaporation croît/décroit avec l'augmentation/diminution de la température de l'air/l'eau et la pression atmosphérique. La vitesse de vent quelque soit sa grandeur favorise l'évaporation surtout dans la saison de l'été. La durée de la lumière de jour et le rayonnement solaire font augmenter le taux d'évaporation des deux barrages-réservoirs. Les paramètres climatiques de la région de Biskra qui ont une forte corrélation avec l'évaporation des deux barrages sont : La température de l'air ($R^2=0,943-0,959$), la température de l'eau ($R^2=0,931-0,948$), l'humidité relative ($R^2=0,928-0,928$), le rayonnement solaire ($R^2=0,891-0,879$), la lumière du jour ($R^2=0,903-0,890$) et une bonne corrélation linéaire avec la pression atmosphérique ($R^2=0,686-0,689$). Selon le climagramme d'Emberger, le climat de la région de Biskra est classé comme un climat aride.
3. La région d'El-Bayadh est classée comme région à faibles précipitations du fait qu'elle a enregistré une précipitation moyenne annuelle de 294,08 mm <500mm. La température moyenne de l'air varie entre 4,83°C- 28,70°C. L'amplitude thermique est de 23,87°C.

D'après Hufty (2001), le climat de la région d'El-Bayadh est tempéré à été chaud et sec. La température de l'air varie de 4,83°C - 28,70°C. Selon l'échelle de Beaufort, les vitesses de vent de la région d'El-Bayadh sont classées entre des vents légères brises et vents faibles avec des vitesses en nœuds variant entre 4-6 et 7-10. L'humidité relative moyenne mensuelle varie entre 22,56 % - 71,93%. L'air est moyen humide ou humide pendant les saisons d'automne, l'hiver et le printemps et sec pendant la saison de l'été. La pression atmosphérique maximale est enregistrée au mois de décembre 90,65 KPa et elle est minimale au mois d'Avril 89,97 KPa. Le rayonnement solaire moyen annuel est de 5,29 kWh/m²/Jour. La lumière du jour varie de 9,96 heures au mois de Décembre et 14,3 heures au mois de Juin. L'évaporation du barrage -réservoir de Brézina est maximale au mois de Juillet avec un taux d'évaporation de 441,14 mm.

Nous avons constaté que : Les précipitations présentent un pourcentage de 10,25% du total de l'évaporation annuelle. L'augmentation des températures de l'air et eau favorise une augmentation de l'évaporation. Alors que, quand la pression atmosphérique est faible, l'eau s'évapore rapidement. Une vitesse du vent importante augmente le taux d'évaporation. L'humidité relative influence inversement sur l'évaporation. Le rayonnement solaire et la durée de la lumière du jour influent régulièrement sur le taux d'évaporation. Les paramètres climatiques de la région d'El-Bayadh qui ont une forte corrélation avec l'évaporation sont : la température de l'air ($R^2=0,938$), la température de l'eau ($R^2=0,931$), l'humidité relative ($R^2=0,967$), le rayonnement solaire ($R^2=0,872$), la lumière du jour ($R^2=0,897$). Selon de climagramme d'Emberger, le climat de la région d'El-Bayadh est classé comme un climat aride.

4. La région de Khenchela est classée comme une région à faibles pluies du fait que le total des précipitations annuelles est de 324,59 mm inférieur à 500 mm. La température moyenne de l'air varie durant l'année de 5,68°C - 27,64°C. D'après Hufty (2001), le climat de la région de Khenchela est tempéré à été chaud et sec. L'amplitude thermique de la région de Khenchela est 21,96°C. La température de l'eau varie de 6,32°C-24,32°C. Selon Beaufort, la région est classée à faible vent durant toute l'année avec une vitesse en nœuds 7-10. L'humidité relative moyenne mensuelle varie entre 35,31 %- 72,93%. Le climat est moyen humide ou humide au cours de l'année. La pression atmosphérique varie entre 92,44 KPa - 92,98 KPa. Le rayonnement solaire moyen annuel est de 4, 86 kWh/m²/Jour. La lumière du jour varie entre 9,78 heures en mois de Décembre et 14,5 heures au mois de Juin.

L'évaporation maximale de barrage-réservoir de Foum El-Guiss est enregistrée pendant le mois de juillet avec un taux mensuel de 234,96 mm. Nous avons constaté que : Les précipitations présentent 24,21% de l'évaporation totale. Quand les températures de l'air et de l'eau augmentent, le taux d'évaporation augmente aussi. L'augmentation de l'humidité relative engendre des faibles taux d'évaporation. La baisse de pression atmosphérique, augmente l'évaporation. Le rayonnement solaire et la durée de la lumière de jour sont positivement linéaires avec l'évaporation. Les paramètres climatiques qui présentent une forte corrélation linéaire avec l'évaporation sont : la température de l'air ($R^2=0,952$), la température de l'eau ($R^2=0,943$), l'humidité relative ($R^2=0,942$), le rayonnement solaire ($R^2=0,777$), la lumière du jour ($R^2=0,736$). Selon de climagramme d'Emberger, le climat de la région de Khenchela est classé comme un climat semi-aride.

CHAPITRE III

LES METHODES INDIRECTES D'ESTIMATION DE L'EVAPORATION DES PLANS D'EAU

-Formules / Résultats Numériques/ Résultats Graphiques-

III. 1. INTRODUCTION

L'évaporation de la surface de l'eau a soulevé un grand intérêt chez les scientifiques depuis très longtemps. Comme le montrent les sources anciennes disponibles, les problèmes d'évaporation ont retenu l'attention des scientifiques et des philosophes dans l'Égypte ancienne, la Grèce antique, la Rome antique et la Chine (Vuglinsky, 2009 ; Mohammad Aldomany, 2017). Au 8^{ème}, l'écriture d'Hésiode expliquait intuitivement la phase atmosphérique du cycle hydrologique et indiquait que l'évaporation pouvait être à la fois une cause et un résultat du vent (Darwish, 1998 ; Mohammad Aldomany, 2017). Aristote, comme beaucoup de ses prédécesseurs, s'est rendu compte qu'il doit y avoir une source de chaleur telle que la chaleur solaire afin de provoquer la vapeur. Selon la théorie d'Aristote, il n'y avait pas de rapport direct entre le vent et l'évaporation, sauf que les deux étaient causés par le soleil (Needham, 1959 ; Mohammad Aldomany, 2017). En Irak, Ikhwan Al-Safa a écrit une encyclopédie intitulée Rasail Al-Safa avait la même compréhension qu'Al-Farabi sur la théorie de l'évaporation et ils ont expliqué que l'évaporation est une perte d'eau due au soleil ou à d'autres sources de chaleur (Ikhwan Al-Safa, 1861 cité par Darwish, 1998 ; Mohammad Aldomany, 2017).

Les premières études expérimentales de l'évaporation ont été faites par l'astronome et géophysicien anglais Edmond Halley (1656-1742) suivi par G. Rikhman (1711-1753), un physicien russe bien connu, à consacrer pleinement à l'étude des processus liés à l'évaporation de l'eau. Il essaya d'abord de lier la théorie de l'évaporation à la loi de refroidissement des corps. Comme dans le cas d'Edmond Halley, un autre chercheur appelé John Dalton qui n'était pas un hydrologue mais ses réalisations, ses expériences et sa fameuse loi, ont contribué de manière significative au développement de l'hydrologie quantitative. Il montre que la température, l'humidité de l'air et la pression atmosphérique sont les facteurs météorologiques les plus importants dans le processus d'évaporation (Mohammad Aldomany, 2017). En 1802, Dalton a distingué entre l'évaporation à partir d'une surface d'eau libre, d'une surface couverte et d'un sol nu comme suit : l'évaporation à partir des surfaces d'eau libres est la plus élevée, l'évaporation à partir des surfaces végétalisées vient en deuxième place et l'évaporation du sol nu est la plus faible (Dooge, 1974 ; Mohammad Aldomany, 2017).

Aujourd'hui, la majorité des chercheurs ont défini l'évaporation comme un phénomène hydrologique se produit plus rapidement à des températures plus élevées. C'est un processus primaire de perte d'eau et de chaleur pour la plupart des lacs et par conséquent c'est une composante principale des bilans énergétique et hydrique. Les estimations précises de l'évaporation des lacs sont nécessaires pour les études des bilans d'eau et d'énergie, les prévisions au niveau des lacs, les enquêtes sur la qualité de l'eau, la gestion de l'eau et la planification des constructions hydrauliques (Gianniou et al, 2000). D'autres chercheurs ont suggéré que l'évaporation soit prise en compte dans la conception des ouvrages hydrauliques et les systèmes d'irrigation (Kumar et al., 2013) et peuvent contribuer de manière significative à l'abaissement ou l'élévation de la surface de l'eau (McCuen, 1998), son estimation est très nécessaire pour la conception des bassins de lagunage dans l'épuration des eaux usées (Boutoutaou, 2011). En outre, elle est nécessaire pour une recherche hydrologique sur la modélisation des eaux souterraines et la simulation du cycle hydrologique à grande échelle, et nous aide également à mieux comprendre les réponses hydrologiques aux changements climatiques dans des conditions météorologiques extrêmes (Winter, 1981 ; Zhao, 2014).

L'évaporation joue un rôle clé dans la gestion des ressources en eau dans les régions arides et semi-arides (Piri et al., 2009). Dans ces régions, l'évaporation conduit à une perte importante des ressources en eau à l'échelle du bassin. Pour des raisons scientifiques et sociales, une estimation fiable de la perte d'eau due à l'évaporation est donc nécessaire pour améliorer la gestion des ressources en eau (Martínez-Granados et al., 2011 ; Massuel et al., 2014). Notons, les facteurs les plus courants et les plus importants influant sur l'évaporation sont le rayonnement solaire, la lumière du jour, la température de l'air et/ou de l'eau, l'humidité relative, la pression atmosphérique, la

vitesse du vent, la qualité de l'eau et la surface de l'eau. Mais, il a été prouvé par la plupart des chercheurs que le rayonnement solaire, la vitesse du vent, l'humidité relative et la température de l'air ont été considérés comme des facteurs majeurs influant sur l'évaporation (Kumar et al., 2013). Par conséquent, l'estimation de l'évaporation à partir des lacs et des réservoirs n'est pas une tâche simple car il existe un certain nombre de facteurs influençant le taux d'évaporation, notamment le climat et la physiographie du plan d'eau et de ses environs (Majidi et al, 2015). La véritable estimation de l'évaporation est difficile dans diverses régions (Prasad Sonar et al, 2017). Elle est souvent calculée indirectement par une ou plusieurs modèles soit par bilan hydrique, bilan énergétique, transfert de masse, méthodes de combinaison et les formules empiriques ou bien mesurée directement par les bacs d'évaporation (Marvin, 2010). Dans ce qui suit, nous avons accordé une attention particulière aux méthodes les plus utilisées pour l'estimation de l'évaporation.

III. 2. LES METHODES INDIRECTES D'ESTIMATION DE L'ÉVAPORATION DES PLANS D'EAU

Les méthodes d'estimation de l'évaporation à partir de données météorologiques nécessitent divers paramètres climatologiques et physiques. Certaines données sont mesurées directement par des instruments de mesure météorologique d'autres paramètres sont liés aux données de mesure qui peuvent être dérivés à l'aide de relations empiriques (Ashikur Rahman et al, 2015).

Il existe un grand nombre de méthodes ou modèles disponibles pour estimer l'évaporation à des surfaces d'eau libre. Par conséquent, il n'existe pas une méthode unique pour mesurer et modéliser l'évaporation de l'eau (Izady et al, 2017). Plusieurs modèles sont actuellement utilisés pour estimer l'évaporation nous avons utilisées les quatre catégories suivantes :

- Méthodes combinées: Penman (1948), Slatyer-Mellroy (1961), Priestley-Taylor (1972), Stewart-Rouse (1976), Debruin (1978), Debruin-Keijman (1979), Brutsaert-Strickler (1979), Penman-Brutsaert (1982) et Penman-Monteith FAO (1998).
- Méthodes de transfert de Masse: Kuzmin (1957), Ivanov (1970), Meyer (1915), Roher (1931), Penman (1948), Konstantinov (1968), Dalton (1802), Mahringer (1970), Vikulina (1979), WMO (1966), Trabert (1896), Meyer (1926), Oudin (2005), Rayan-Harleman (1973), Horton (1917), Brockamp-Wenner (1963), Shuliakovski (1969) et Harbeck et al (1958).
- Méthodes basées sur le rayonnement solaire: Jensen-Haise (1963), Stephens-Stewart (1963), Makkink (1967), McGuinness-Bordne (1972), Caprio (1974), Doorenbos-Pruitt (1977), Hargreave-Samani (1982), Ritchie (1990), Allen (1993), Abtew (1996), Droogers-Allen (2002), Irmak et al (2003)-1, Irmak et al (2003)-2, Oudin (2005), Trajkovic (2007), Tabari-Talae (2011), Berti et al (2014), Djori et al (2016).
- Méthodes basées sur la température de l'air : Blaney-Criddle (1958), Papadakis (1961), Hamon (1961), Hamon (1963), Szász (1973), Linacre (1977), Kharrufa (1985), Boutoutaou (2011) et Liu et al (2016).

En Algérie, les nouveaux modèles proposés pour les barrages-réservoirs algériens sont ceux de Boutoutaou (1995, 2011) et de Fekih (2013) qui ont donné de bons résultats. Le principal inconvénient de la plupart de ces méthodes est qu'elles requièrent des mesures au niveau de chaque barrage-réservoir des données météorologiques telles que la température de l'air et de l'eau, la vitesse du vent, l'humidité relative et le rayonnement solaire à mesurer ou à estimer au niveau du barrage (Fekih et al, 2013). Cette difficulté de mesure peut avoir plusieurs origines :

- Le manque des appareils de mesure précis des paramètres climatologiques ;
- Le cout très élevé des appareils de mesure ;
- La nécessité d'un releveur de données spécialisé pour prendre les mesures afin d'éviter les erreurs sur terrain ;

- Une période d'enregistrement de l'évaporation s'étale à une durée plus longue, dix années et plus pour maîtriser le phénomène au niveau des plans d'eau.

III. 2. 1. Méthodes de bilan hydrique/hydrologique

Le bilan hydrique d'un bassin versant est un travail qui relève tout particulièrement de la géographie. Son élaboration exige en effet une synthèse parfaite de tous les éléments physiques du milieu : Précipitations, évaporation, écoulement, humidité du sol et du sous-sol. Le bilan hydrique est simple dans son principe. Il s'agit de résoudre l'expression (Pédelaborde, 1968) :

$$E = I - O - \Delta S \quad (III.1)$$

Avec :

E = Evaporation, I = Flux entrant, O = Flux sortant, ΔS = Variation du stock.

En ajoutant l'indice *s* et *g* aux différents termes de l'équation (III. 1) pour distinguer, respectivement, les flux de surface et les flux souterrains, l'équation devient :

$$E_s = P + R_1 - R_2 - R_g - T_s - F - \Delta S_s \quad (III.2)$$

Avec :

E_s = évaporation du réservoir, P = précipitation, R_1 = écoulement superficiel entrant dans le réservoir, R_2 = écoulement superficiel sortant du réservoir, R_g = entrée d'eau souterraine, T_s = pertes par transpiration, F = Infiltration (ou fuites) et ΔS_s = variation du stock. Si $O_s = (R_g - F)$ est l'échange net souterrain et que le terme de transpiration T_s est nul, l'équation (III. 2) devient :

$$E_s = P + R_1 - R_2 + O_s - \Delta S_s \quad (III.3)$$

Il faut reconnaître que la méthode du bilan hydrologique se révélera plus efficace quand elle est appliquée à un lac relativement imperméable où les fuites souterraines sont négligeables comparativement à la valeur de l'évaporation. Bien qu'il soit théoriquement possible d'utiliser cette méthode pour estimer l'évaporation sur toutes les surfaces libres, elle est généralement impraticable, à cause des erreurs dans la mesure des différents paramètres. L'évaporation estimée par cette méthode est le terme résiduel du bilan, et peut donc être entachée d'erreurs considérables s'il est petit relativement aux autres paramètres (OMM, 2008).

III. 2. 2. Méthodes combinatoires

L'évaporation peut être calculée par la méthode aérodynamique lorsque l'approvisionnement en énergie n'est pas limitant et par la méthode du bilan énergétique lorsque le transport de vapeur n'est pas limitatif. Mais, normalement, ces deux facteurs sont limitatifs, donc une combinaison des deux méthodes est nécessaire. La formule de leur combinaison est donnée par la forme suivante (Michale Gebrekiros, 2017) :

$$E = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \times E_r + \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \times E_a \quad (III.4)$$

Où :

E_r et E_a présentent l'évaporation « E » calculée respectivement sur la base des méthodes de bilan énergétique et des méthodes aérodynamiques (mm/jour) ; Δ présente le gradient de la courbe de pression de vapeur saturée à la température de l'air et γ est la constante psychrométrique.

Notons que, la plupart des équations sont combinatoires pour l'évaporation reposent sur une expansion linéaire de la courbe de pression de vapeur de saturation autour de la température de l'air. Etant donné que la température à la surface peut différer de la température de l'air de plusieurs degrés et que la courbe de pression de vapeur à saturation n'est pas linéaire, cette approximation conduit à un certain degré d'erreur dans ces équations d'évaporation (Milly, 1991).

Dans ce qui suit nous présentons les modèles les plus connus pour l'estimation de l'évaporation avec leurs résultats numériques obtenus pour les cinq barrages étudiés, nous citons les neuf (09) modèles choisis comme suit : Penman (1948), Slatyer-McIlroy (1961), Priestly-Taylor (1972), Stewart-Rouse (1976), Debruin (1978), Brutsaert-Stricker (1979), Debruin-Keijman (1979), Penman-Brutsaert (1982) et Penman-Monteith FAO (1998). Ces modèles se sont généralement avérés pour une estimation d'une évaporation raisonnable et relativement précise (Duanet et al., 2017).

III. 2. 2. 1. Modèle de Penman (1948)

La formule de Penman est dérivée de la physique du processus, elle est applicable universellement. Elle s'est avérée relativement efficace dans l'estimation de la perte d'eau des surfaces naturelles à plusieurs endroits (Craig et al., 2007 ; Jensen et al., 2005 ; Coulomb et al., 2001 ; Burman et Pochop, 1994 ; Linacre, 1993 ; Allen, 1986 ; Jensen, 1975 ; Brutsaert, 1965 ; Benzaghta, 2012). La formule de Penman peut s'écrire comme suit (Gilman, 1994 ; Benzaghta, 2012) :

$$E = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \times R_n + \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \times f(U)D \quad (III.5)$$

$$\text{Avec : } \Delta = 4098 e_s / (237,3 + T_a) \quad (III.5. a)$$

$$\gamma = 0,00163 \frac{P}{\lambda} \quad (III.5. b)$$

$$R_n = R_s (1 - \alpha) \quad (III.5. c)$$

$$\lambda = 2,501 - T_a \times 2,361 \times 10^{-3} \quad (III.5. d)$$

$$f(U) = 2,62 (1 + 0,536 U) \quad (III.5. e)$$

E est le taux d'évaporation (mm/jour), P est la pression de l'air (kPa); λ est la chaleur latente de l'évaporation (MJ/kg); R_n est la radiation solaire (MJ/m²/d) ; α est le coefficient de réflexion ou constante d'albedo (0,05) (Linacre, 1977); U est la vitesse de l'air à 2 m de hauteur (m/s); D est le déficit de pression (kPa). Les estimations de l'évaporation par ce modèle sont regroupées dans les tableaux suivants : Tab III. (2. 2. 1) ; Tab III. (2. 2. 2) ; Tab III. (2. 2. 3) ; Tab III. (2. 2. 4) et Tab III. (2. 2. 5).

III. 2. 2. 2. Modèle de Slatyer-McIlroy (1961)

L'équation de Slatyer-McIlroy est destinée pour l'estimation de l'évaporation à partir d'une surface humide avec une advection minimale. Cela se produit lorsque l'air au-dessus d'une surface est saturé, en raison d'échange de vapeur avec la surface humide. L'estimation de Slatyer-McIlroy est considérée comme représentant de la limite inférieure de l'évaporation à partir d'une surface humide (Brutsaert, 1982 ; Feller, 2011). Elle est représentée par le premier terme de l'équation de Penman comme suit (Slatyer et McIlroy, 1961 ; Feller, 2011) :

$$E = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \times \frac{R_n - G}{\lambda} \quad (III.6)$$

Où R_n est le rayonnement net, G est le flux thermique du sol, il est difficile à mesurer, en particulier à des échelles de temps plus petites, et est donc souvent ignoré. Cependant, pour les plans d'eau il est essentiel de tenir compte des changements de stockage de chaleur car sa capacité de stockage est nettement plus grande que celle des surfaces terrestres. Ne pas tenir compte des changements de stockage de chaleur peut entraîner (i) une surestimation de l'eau au printemps (ii) sous-estimation d'évaporation pendant l'automne (van Emmerik et al., 2013 ; Femke, 2019), Δ est la pente de la vapeur de saturation courbe de pression, γ est la constante psychrométrique, λ est la chaleur latente. Les estimations de l'évaporation par ce modèle sont regroupées dans les tableaux suivants : Tab III. (2. 2. 6) ; Tab (2. 2. 7) ; Tab III. (2. 2. 8) ; Tab III. (2. 2. 9) et Tab III. (2. 2. 10).

III. 2. 2. 3. Modèle de Priestley–Taylor (1972)

Priestley-Taylor (1972) ont proposé une version simplifiée de l'équation de combinaison de Penman qui peut être utilisée lorsque les surfaces sont généralement humides, ce qui est une condition d'évaporation. Quand la composante aérodynamique est supprimée et la composante énergétique est multipliée par un coefficient (β) avec des conditions humides. Par conséquent, il est possible d'écrire l'équation de Priestley-Taylor comme suit (Benzaghta, 2012) :

$$E = \beta \left[\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \times \frac{R_n - G}{\lambda} \right] \quad (\text{III.7})$$

Où :

E est l'évaporation du plan d'eau (mm/j) ; β est le coefficient de Priestley-Taylor tend à 1,26 pour les grands plans d'eau (Stewart-Rouse, 1976 ; Stewart-Ruose, 1977; de Bruin-Keijman, 1979 ; Majidi et *al.*, 2015). D'autres notations ont la même signification et les mêmes unités que dans l'équation (III. 3). Les estimations de l'évaporation par ce modèle sont regroupées dans les tableaux suivants : Tab III. (2. 2. 11) ; Tab III. (2. 2. 12) ; Tab III. (2. 2. 13) ; Tab III. (2. 2. 14) et Tab III. (2. 2. 15).

III. 2. 2. 4. Modèle de Stewart-Rouse (1976)

Stewart et Rouse (1976) ont dérivé une version de l'Equation (III.7) en utilisant une fonction linéaire du rayonnement solaire entrant (R_s) pour remplacer le rayonnement net et le stockage de chaleur. Les coefficients empiriques de la fonction ont été obtenus par analyse de régression, sont donc spécifiques à leur lac. Elle est exprimée comme suit (Majidi et *al.*, 2015) :

$$E = 52,6 \left[\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \times \frac{R_s}{\lambda} \right] - 0,12 \quad (\text{III.8})$$

Les autres notations ont la même signification et les mêmes unités que dans l'équation (III.3). Les estimations de l'évaporation par ce modèle sont regroupées dans les tableaux suivants : Tab (2. 2. 16) ; Tab (2. 2. 17) ; Tab (2. 2. 18) ; Tab (2. 2. 19) et Tab (2. 2. 20).

III. 2. 2. 5. Modèle de DeBruin (1978)

DeBruin (1978) a obtenu la formule suivante en combinant les équations de Penman et Priestley-Taylor et en éliminant ainsi le terme d'énergie. Par cette solution, DeBruin a rejeté R_n et N car ils ne sont pas souvent disponibles ou il est trop coûteux de faire des mesures adéquates en particulier pour une grande masse d'eau. Il a trouvé un bon accord avec les estimations de la méthode du bilan énergétique pour des intervalles de 10 jours ou plus (Majidi et *al.*, 2015), il a proposé la formule suivante (Schertzer et al, 2009) :

$$E = 1,192 \left(\frac{\alpha}{\alpha - 1} \right) \left(\frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \right) \frac{(2,9 + 2,1U)(e_s - e_a)}{\lambda \rho} \times 86,4 \quad (\text{III.9})$$

Où

E : l'évaporation de l'eau, multiplié par 86,4 pour la convertir en (mm/j)
 $\alpha = 1,26$: constante empirique déterminée par Priestly-Taylor (sans unité)
 ρ : la densité de l'eau (998 kg/m³ à 20°C)
 e_s : la vapeur saturante à la température de l'eau (mb)
 e_a : la pression de vapeur ambiante de l'air (mb)

D'autres notations ont la même signification et les mêmes unités que dans l'équation (III. 3). Les estimations de l'évaporation par ce modèle sont regroupées dans les tableaux suivants : Tab III. (2. 2. 21) ; Tab III. (2. 2. 22) ; Tab III. (2. 2. 23) ; Tab III. (2. 2. 24) et Tab III. (2. 2. 25).

III. 2. 2. 6. Modèle de Brutsaert-Stricker (1979)

Brutsaert-Stricker (1979) ont proposé une approche s'est avérée être en bon accord avec les données quotidiennes d'évaporation obtenues au moyen d'une méthode de bilan énergétique pour une période de sécheresse sévère dans un bassin versant rural dans une région sablonneuse. L'un des avantages est qu'elle nécessite aucune donnée d'humidité du sol, aucune propriété de résistance stomatique de la végétation, ni aucun autre paramètre d'aridité supplémentaire ne sont nécessaires pour déterminer l'évaporation (Brutsaert et *al.*, 1979). La formule proposée est la suivante (Schertzer et *al.*, 2009) :

$$E = (2\alpha - 1) \left(\frac{\Delta}{\gamma + \Delta} \right) \frac{(R_n - G)}{\lambda\rho} \times 86,4 - \left(\frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \right) \times 0,26(0,5 + 0,54U)(e_s - e_a) \quad (\text{III.10})$$

E : l'évaporation de l'eau, multiplié par 86,4 pour la convertir en (mm/j)

$\alpha = 1,26$: constante empirique déterminée par Priestly-Taylor (sans unité)

γ : la constante psychométrique (Pa/°C)

ρ : la densité de l'eau (998 kg/m³ à 20°C)

R_n : la radiation net (W m²)

G : la variation de la chaleur emmagasinée dans l'étang (en fonction des variations de température de l'eau) (W m²)

λ : la chaleur latente de l'évaporation (MJ/kg)

e_s : la vapeur saturante à la température de surface de l'eau (mb)

e_a : la pression de vapeur ambiante de l'air (mb)

Les estimations de l'évaporation par ce modèle sont regroupées dans les tableaux suivants : Tab (2. 2. 26) ; Tab (2. 2. 27) ; Tab (2. 2. 28) ; Tab (2. 2. 29) et Tab (2. 2. 30).

III. 2. 2. 7. Modèle de DeBruin-Keijman (1979)

Debruin et Keijman (1979) ont proposé une version développée de l'équation de Priestley et Taylor (1972). Debruin et Keijman ont appliqué la méthode Priestley-Taylor à l'ancien lac Flevomeer aux Pays-Bas. Alors que, la méthode de Priestley-Taylor est une dérivation de la méthode de Penman où le terme aérodynamique dans l'équation de Penman s'est avéré être une proportion constante du terme de rayonnement (Priestley et Taylor, 1972). Ils ont ajusté cette relation empirique pour déterminer l'évaporation, à savoir que le terme aérodynamique est linéairement proportionnel au terme de rayonnement avec une constante supplémentaire ajoutée à cela. On a constaté que ces deux paramètres variaient au cours de l'année, mais ils sont principalement considérés comme des constantes (Femke et *al.*, 2019). La version de DeBruin-Keijman est exprimée comme suit (Winter et *al.*, 1995 ; YAO, 2009 ; Gorjizade et *al.*, 2015) :

$$E = \frac{\Delta}{0,95\Delta + 0,63\gamma} \times \frac{R_n - G}{\lambda\rho} \times 86,4 \quad (\text{III.11})$$

Les notations mentionnées dans la formule ont les mêmes significations et les mêmes unités que dans l'équation (III. 3). Les estimations de l'évaporation par ce modèle sont regroupées dans les tableaux suivants : Tab III. (2. 2. 31) ; Tab III. (2. 2. 32) ; Tab III. (2. 2. 33) ; Tab III. (2. 2. 34) et Tab III. (2. 2. 35).

III. 2. 2. 8. Modèle de Penman- Brutsaert (1982)

La formule de Penman- Brutsaert (1982) est exprimée sous la forme suivante (Donald O. Rosenberry, 2007) :

$$E = \left(\frac{\Delta}{\gamma + \Delta} \right) \frac{(R_n - G)}{\lambda\rho} \times 86,4 - \left(\frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \right) \times 0,26(0,5 + 0,54U)(e_s - e_a) \quad (\text{III.12})$$

Les notations mentionnées dans la formule ont la même signification et les mêmes unités que dans l'équation (III. 3). Les estimations de l'évaporation par ce modèle sont regroupées dans les tableaux suivants : Tab III. (2. 2. 36) ; Tab III. (2. 2. 37) ; Tab III. (2. 2. 38) ; Tab III. (2. 2. 39) et Tab III. (2. 2. 40).

III. 2. 2. 9. Modèle de Penman-Monteith FAO (1998)

L'un des plus grands avantages de la formule de Penman-Monteith FAO (1998) est qu'elle permet d'estimer l'évaporation basée uniquement sur des éléments météorologiques : Le rayonnement solaire net, la température de l'air, la vitesse du vent et la tension de vapeur d'eau. Elle est exprimée par (José Manuel Guevara Díaz, 2006) :

$$E = \frac{0,408(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U)} \quad (\text{III.13})$$

Les notations mentionnées dans la formule ont la même signification et les mêmes unités que dans l'équation (III. 10). Les estimations de l'évaporation par ce modèle sont regroupées dans les tableaux suivants : Tab III. (2. 2. 41) ; Tab III. (2. 2. 42) ; Tab III. (2. 2. 43) ; Tab III. (2. 2. 44) et Tab III. (2. 2. 45).

III. 2. 2. 10. Interprétation des résultats obtenus par les méthodes combinatoires pour l'estimation de l'évaporation des cinq barrages-réservoirs étudiés

Parmi les neuf modèles présentés, nous ne constatons que seul le modèle de Penman-Monteith FAO (1998) donne des excellents résultats numériques pour les trois barrages suivants : Fontaine des Gazelles, Foug-El-Gherza et Brézina. Nous notons que ce modèle présente les indexes statistiques suivants :

- ✓ Le barrage de Foug El-Gherza : NSE= 0,95 ; R² =0,98 ; RSR = 0,23.
- ✓ Le barrage de Fontaine des Gazelles : NSE=0,97 ; R² = 0,98 ; RSR =0,16.
- ✓ Le Barrage de Brézina : NSE=0,99 ; R² = 0,99 ; RSR =0,08.

Ces résultats montrent une très bonne performance du modèle Penman-Monteith FAO (1998) pour ces trois barrages-réservoirs. Graphiquement les courbes de l'évaporation estimée et mesurée sont pratiquement identiques (Voir Figures III. 2. 2. 9 : B, C, D). On peut donc confirmer la fiabilité de ce modèle pour les trois barrages-réservoirs.

Tandis que, les modèles de Penman (1948), Slatyer-McIlroy (1961), Priestley-Taylor (1972), Stewart-Rouse (1976), DeBruin (1978), DeBruin-Keijman (1979), Brutsaert-Stricker (1979), et Penman-Brutsaert (1982) donnent que de bons résultats d'estimation de l'évaporation juste pour le barrage-réservoir de Brézina. Du fait que, les indexes statistiques varient comme suit : $0,88 \leq \text{NSE} \leq 1$; $0,85 \leq R^2 \leq 0,99$; $0,03 \leq \text{RSR} \leq 0,35$.

Graphiquement, la courbe de l'évaporation estimée et celle mesurée par le modèle de Stewart-Rouse (1976) et Debruin (1978) pour le barrage-réservoir de Brézina sont presque identiques (Voir Figures III. 2. 2. 4 : D et III. 2. 2. 5 : D). Nous notons qu'aucun modèle n'a donné des résultats adéquats pour les autres quatre barrages : Fontaine des Gazelles, Foug El-Gherza, Foug El-Guiness et Djorf-Torba, nous pouvant l'expliquer comme suit on n'a pas pris en compte au cours des calculs le stockage de changement de chaleur « G » qui est une donnée importante mais malheureusement absente qui peut être la raison de la sous-estimation/sur-estimation de l'évaporation de ces barrages-réservoirs par ces modèles.

Les erreurs annuelles de l'évaporation estimée par le modèle de Penman-Monteith FAO (1998) pour Fontaine des Gazelles, Foug El-Gherza et Brézina varient entre -1%, 9% et -21 % (Voir tableaux III. 2. 2. 42 ; 2. 2. 43 ; 2. 2. 44). Tandis que, les bons modèles pour le barrage-réservoirs de Brézina sont de Stewart-Rouse (1976), DeBruin (1978) et Penman-Monteith FAO (1998). Les erreurs maximales annuelles varient entre -6%, -17% et -21% (Voir tableaux III : 2. 2. 19 ; 2. 2. 24 ; 2. 2. 44).

D'après le tableau (III. I), on voit clairement que le modèle Penman-Monteith FAO (1998) est très adéquat pour l'estimation de l'évaporation des deux barrages-réservoirs de Foug El-Gherza et Fontaine des Gazelles. Alors que le barrage-réservoir de Brézina, les modèles avec de très bons résultats numériques et graphiques sont Penman-Monteith FAO (1998), Debruin (1978) et Stewart-Rouse (1976) (Voir figure III. 2. 2. 10).

Concernant le barrage de Djorf-Torba, seul le modèle de Debruin-Keijman (1979) qui donnent des résultats disant acceptables du fait que : NSE= 0,68 ; R² =0,44 ; RSR = 0,57. Graphiquement, on remarque une sous-estimation de l'évaporation par ce modèle.

Rappelons que pour valider les modèles étudiés, choisis et proposés nous avons calculé :

NSE représente le critère de Nash-Sutcliffe (NSE), l'erreur quadratique moyenne (RMSE), l'erreur biais moyen (MBE), le coefficient de corrélation (R²) et le ratio de la somme de classement (RSR). Ils sont calculés comme suit :

$$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (E_i^{Measured} - E_i^{Model})^2}{\sum_{i=1}^n (E_i^{Measured} - E_{Mean}^{Measured})^2} \right] \quad (a)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_i^{Measured} - E_i^{Model})^2}{N}} \quad (b)$$

$$MBE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (E_i^{Measured} - E_i^{Model}) \quad (c)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (E_i^{Measured} - E_{Mean}^{Measured})(E_i^{Model} - E_{Mean}^{Model})}{\sum_{i=1}^n (E_i^{Measured} - E_{Mean}^{Measured})^2 \sum_{i=1}^n (E_i^{Model} - E_{Mean}^{Model})^2} \quad (d)$$

$$RSR = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_i^{Measured} - E_i^{Model})^2}{\sum_{i=1}^n (E_i^{Measured} - E_{Mean}^{Measured})^2}} \quad (e)$$

$$Error (\%) = \frac{E_{Model} - E_{Measured}}{E_{Measured}} \quad (f)$$

Le RSR varie de la valeur optimale de 0, ce qui indique une RMSE nulle ou une variation résiduelle et donc une simulation parfaite du modèle, à une valeur positive importante. Si le RSR et RMSE sont minimaux, le rendement du modèle est meilleur. La performance du modèle peut être évaluée comme « très bonne » si NSE > 0,75 et RSR < 0,50.

Les résultats numériques et les présentations graphiques des modèles cités précédemment sont regroupés dans les tableaux et les figures suivants :

Tableau III. 2. 2. 1. Résultats obtenus par le modèle de Penman (1948) –Barrage Djorf-Torba- Béchar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
E_{Penman} (mm)	60,47	79,25	124,15	157,94	179,62	193,97	217,06	191,03	147,37	109,40	75,67	55,43	1591,37
Erreur (%)	-51%	-24%	-6%	-4%	-16%	-24%	-34%	-47%	-51%	-55%	-60%	-64%	-38%

Tableau III. 2. 2. 2. Résultats obtenus par le modèle de Penman (1948) – Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{Penman} (mm)	69,82	84,29	124,20	146,89	179,79	181,92	187,50	168,30	131,27	101,17	79,50	58,87	1513,53
Erreur (%)	-27%	-28%	-31%	-38%	-45%	-52%	-57%	-56%	-52%	-50%	-41%	-40%	-47%

Tableau III. 2. 2. 3. Résultats obtenus par le modèle de Penman (1948) –Barrage Foug El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{Penman} (mm)	69,82	84,29	124,20	146,89	179,79	181,92	187,50	168,30	131,27	101,17	79,50	58,87	1513,53
Erreur (%)	-12%	-15%	-26%	-32%	-39%	-48%	-53%	-54%	-50%	-47%	-34%	-25%	-42%

Tableau III. 2. 2. 4. Résultats obtenus par le modèle de Penman (1948) –Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
E_{Penman} (mm)	35,31	46,23	71,24	86,27	107,59	130,18	155,80	133,13	97,59	71,89	43,87	29,95	1009,04
Erreur (%)	-58%	-53%	-59%	-64%	-68%	-67%	-64%	-67%	-67%	-63%	-60%	-63%	-65%

Tableau III. 2. 2. 5. Résultats obtenus par le modèle de Penman (1948) –Barrage Foug El-Guies– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
E_{Penman} (mm)	33,80	45,31	63,89	72,77	90,12	118,26	147,94	130,32	85,96	68,95	46,33	30,65	934,29
Erreur (%)	-21%	2%	-9%	-24%	-29%	-32%	-37%	-36%	-37%	-31%	-29%	-36%	-30%

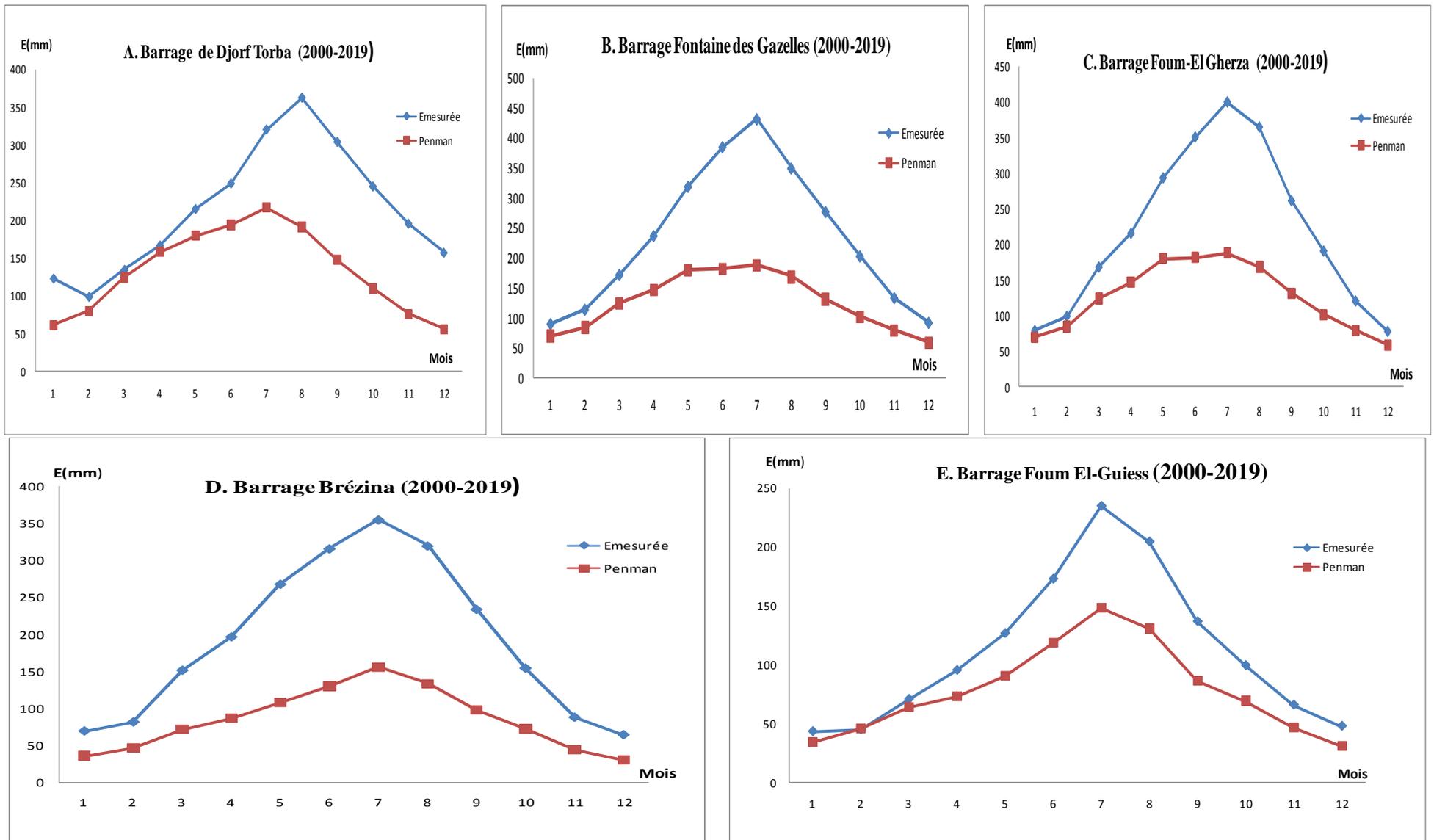


Figure III. 2 .2. 1. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de Penman (1948) et l'évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 2. 2. 6. Résultats obtenus par le modèle Slatyer-McIlroy (1961) -Barrage Djorf-Torba- Béchar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
E_{Slaty-McIlroy} (mm)	94,66	115,29	170,06	207,98	244,54	258,87	269,95	242,09	188,49	147,74	103,24	90,87	2133,79
Erreur (%)	-23%	10%	29%	27%	14%	2%	-17%	-32%	-37%	-40%	-46%	-41%	-17%

Tableau III. 2. 2. 7. Résultats obtenus par le modèle Slatyer-McIlroy (1961) –Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{Slaty-McIlroy} (mm)	74,97	98,34	148,60	189,72	238,65	262,43	276,92	247,96	178,93	133,59	85,98	67,16	2003,25
Erreur (%)	-21%	-16%	-17%	-20%	-28%	-31%	-36%	-36%	-35%	-34%	-36%	-31%	-30%

Tableau III. 2. 2. 8. Résultats obtenus par le modèle Slatyer-McIlroy (1961) –Barrage Foum El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{Slaty-McIlroy} (mm)	74,97	98,34	148,60	189,72	238,65	262,43	276,92	247,96	178,93	133,59	85,98	67,16	2003,25
Erreur (%)	-5%	-1%	-12%	-12%	-19%	-25%	-31%	-32%	-32%	-30%	-29%	14%	-24%

Tableau III. 2. 2. 9. Résultats obtenus par le modèle Slatyer-McIlroy (1961) –Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
E_{Slaty-McIlroy} (mm)	73,72	91,06	138,82	172,26	214,18	242,73	257,47	225,50	168,31	128,31	80,83	64,86	1858,04
Erreur (%)	-11%	-8%	-20%	-28%	-36%	-39%	-41%	-43%	-43%	-34%	-27%	-20%	-35%

Tableau III. 2. 2. 10. Résultats obtenus par le modèle Slatyer-McIlroy (1961) –Barrage Foum El-Guies– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
E_{Slaty-McIlroy} (mm)	62,64	78,77	121,91	152,42	197,61	225,73	249,77	217,66	156,91	116,44	72,35	55,43	1707,65
Erreur (%)	46%	77%	73%	60%	56%	31%	6%	6%	15%	17%	10%	17%	27%

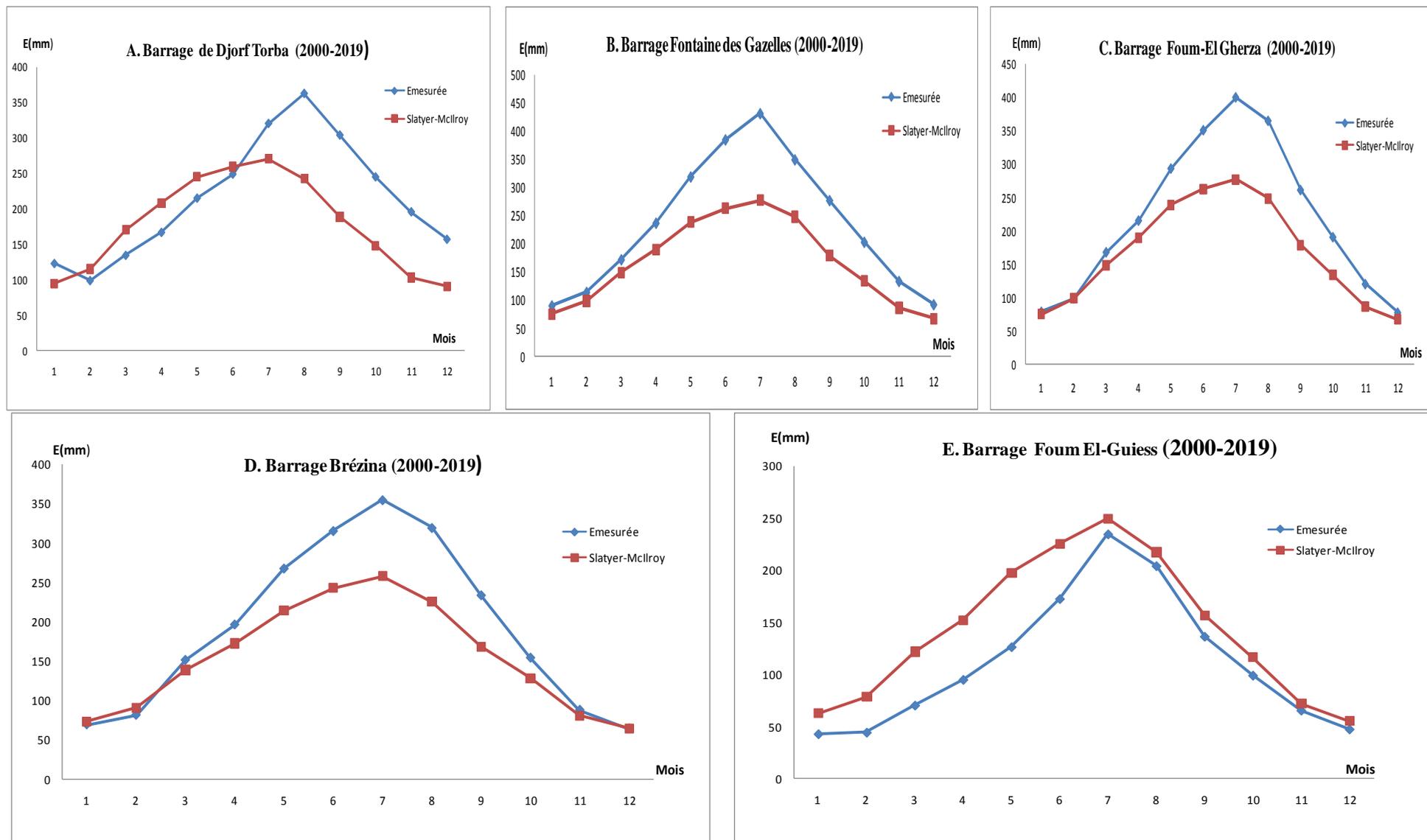


Figure III. 2 .2. 2. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de Slatyer-McIlroy (1961) et l'évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 2. 2. 11. Résultats obtenus par le modèle de Priestley–Taylor (1972)–Barrage Djorf-Torba- Béchar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
E_{Priest-Taylor} (mm)	80,86	91,15	124,21	146,25	172,19	170,56	166,36	170,07	153,00	125,28	90,55	86,60	1577,07
Erreur (%)	-35%	-13%	-6%	-11%	-20%	-33%	-49%	-53%	-49%	-49%	-53%	-44%	-39%

Tableau III. 2. 2. 12. Résultats obtenus par le modèle de Priestley–Taylor (1972) – Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{Priest-Taylor} (mm)	70,69	85,98	123,67	157,82	193,41	204,71	214,24	205,66	162,99	124,93	82,19	65,55	1691,83
Erreur (%)	-26%	-26%	-31%	-33%	-41%	-46%	-50%	-47%	-41%	-38%	-39%	-33%	-41%

Tableau III. 2. 2. 13. Résultats obtenus par le modèle de Priestley–Taylor (1972) –Barrage Foug El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{Priest-Taylor} (mm)	70,69	85,98	123,67	157,82	193,41	204,71	214,24	205,66	162,99	124,93	82,19	65,55	1691,83
Erreur (%)	-11%	-13%	-27%	-27%	-34%	-42%	-46%	-44%	-38%	-35%	-32%	-16%	-35%

Tableau III. 2. 2. 14. Résultats obtenus par le modèle de Priestley–Taylor (1972) –Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
E_{Priest-Taylor} (mm)	75,13	87,53	125,38	150,48	178,51	183,90	175,07	172,83	147,10	120,37	81,85	68,97	1567,12
Erreur (%)	-10%	-11%	-28%	-37%	-46%	-54%	-60%	-57%	-50%	-38%	-26%	-15%	-45%

Tableau III. 2. 2. 15. Résultats obtenus par le modèle de Priestley–Taylor (1972) –Barrage Foug El-Guieess– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
E_{Priest-Taylor} (mm)	66,58	79,36	118,76	148,62	191,02	202,95	213,55	197,35	156,35	117,33	75,14	59,54	1626,55
Erreur (%)	55%	79%	69%	56%	51%	17%	-9%	-3%	14%	18%	15%	25%	21%

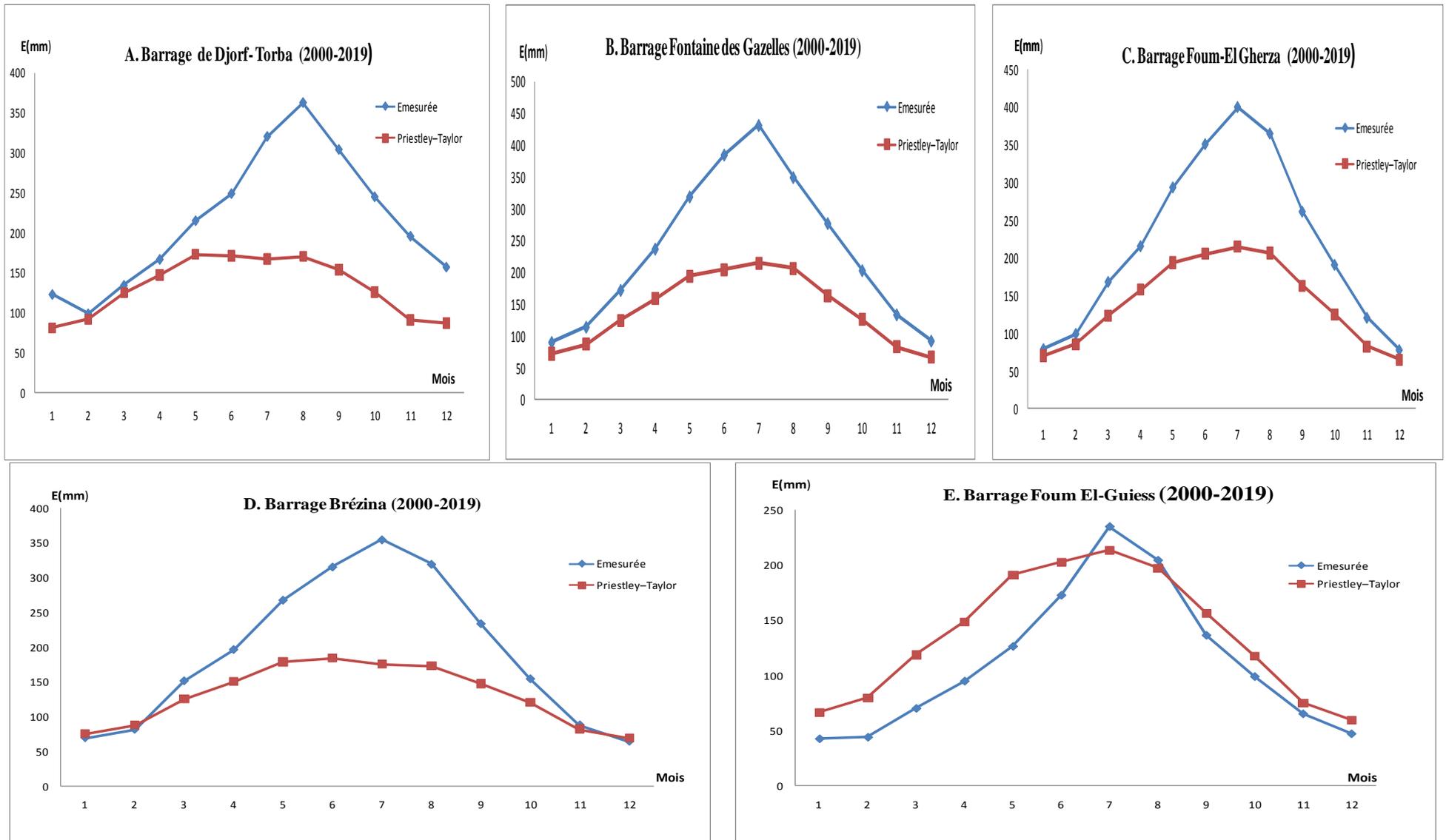


Figure III. 2. 3. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de Priestley-Taylor (1972) et évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 2. 2. 16. Résultats obtenus par le modèle de Stewart–Rouse (1976)–Barrage Djorf-Torba- Béchar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
E_{Stewart–Rous} (mm)	102,40	139,08	225,93	323,07	417,24	529,98	600,51	517,95	360,46	230,21	136,00	111,38	3694,21
Erreur (%)	-17%	33%	71%	97%	95%	108%	84%	45%	20%	-6%	-29%	-28%	44%

Tableau III. 2. 2. 17. Résultats obtenus par le modèle de Stewart–Rouse (1976) – Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{Stewart–Rous} (mm)	87,59	127,54	203,16	300,67	420,69	553,57	624,85	549,68	358,67	222,10	121,75	80,31	3650,58
Erreur (%)	-8%	9%	14%	27%	28%	46%	45%	43%	30%	9%	-9%	-18%	28%

Tableau III. 2. 2. 18. Résultats obtenus par le modèle de Stewart–Rouse (1976) Barrage Foug El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{Stewart–Rous} (mm)	87,59	127,54	203,16	300,67	420,69	553,57	624,85	549,68	358,67	222,10	121,75	80,31	3650,58
Erreur (%)	10%	28%	21%	39%	43%	58%	56%	51%	37%	16%	1%	3%	39%

Tableau III. 2. 2. 19. Résultats obtenus par le modèle de Stewart–Rouse (1976)–Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
E_{Stewart–Rous} (mm)	70,08	94,65	150,32	212,90	291,98	402,87	470,44	398,10	262,88	168,84	89,50	62,36	2674,91
Erreur (%)	-16%	-4%	-14%	-12%	-12%	1%	7%	0%	-10%	-13%	-19%	-23%	-6%

Tableau III. 2. 2. 20. Résultats obtenus par le modèle de Stewart–Rouse (1976)–Barrage Foug El-Guies– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
E_{Stewart–Rous} (mm)	61,21	84,13	134,47	191,96	273,73	373,98	450,28	384,87	248,88	158,03	84,60	55,59	2501,72
Erreur (%)	42%	89%	91%	102%	116%	116%	92%	88%	82%	59%	29%	17%	87%

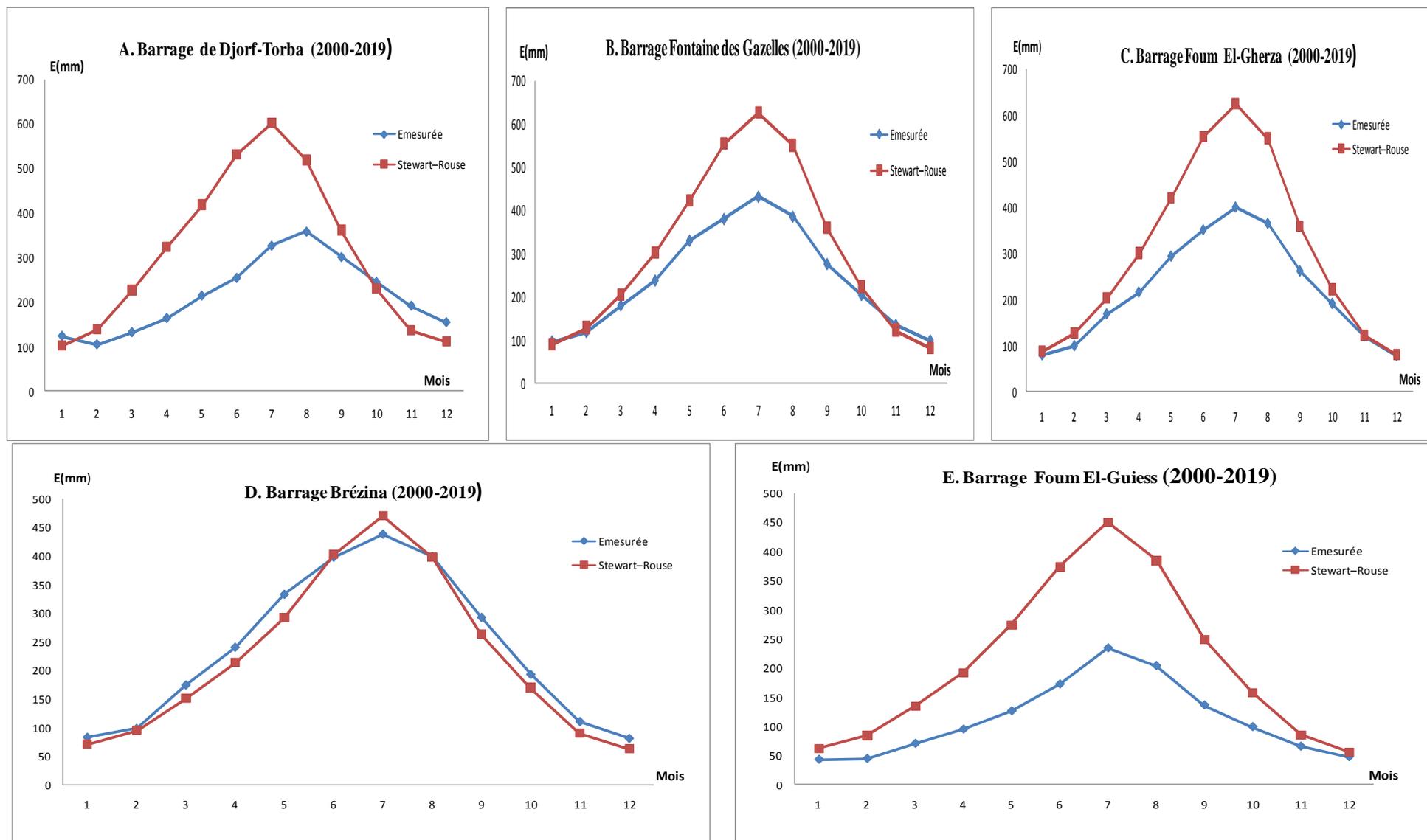


Figure III. 2 .2. 4. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de Stewart-Rouse (1976) et l'évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 2. 2. 21. Résultats obtenus par le modèle DeBruin (1978) –Barrage Djorf-Torba- Béchar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
E_{deBruin} (mm)	142,53	190,95	309,29	399,30	455,20	491,29	557,61	486,89	371,45	270,32	183,58	128,92	3987,35
Erreur (%)	15%	83%	135%	144%	112%	93%	71%	36%	23%	10%	-4%	-16%	55%

Tableau III. 2. 2. 22. Résultats obtenus par le modèle DeBruin (1978) –Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{deBruin} (mm)	177,14	211,69	317,15	373,52	459,53	455,56	467,84	418,03	327,05	250,73	201,18	146,77	3806,20
Erreur (%)	86%	81%	77%	58%	40%	20%	8%	9%	19%	23%	50%	50%	33%

Tableau 2. 2. 23. Résultats obtenus par le modèle DeBruin (1978) –Barrage Foug El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{deBruin} (mm)	177,14	211,69	317,15	373,52	459,53	455,56	467,84	418,03	327,05	250,73	201,18	146,77	3806,20
Erreur (%)	123%	113%	88%	73%	57%	30%	17%	15%	25%	31%	67%	88%	45%

Tableau III. 2. 2. 24. Résultats obtenus par le modèle DeBruin (1978) –Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
E_{deBruin} (mm)	79,04	104,77	165,76	199,60	251,12	306,43	377,40	318,82	230,57	167,88	100,82	66,39	2368,59
Erreur (%)	-5%	6%	-5%	-17%	-25%	-23%	-14%	-20%	-21%	-13%	-9%	-18%	-17%

Tableau III. 2. 2. 25. Résultats obtenus par le modèle DeBruin (1978) –Barrage Foug El-Guiss– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
E_{deBruin} (mm)	78,40	106,31	149,85	167,00	206,86	279,17	361,00	317,32	202,99	164,36	110,66	70,74	2214,65
Erreur (%)	82%	139%	113%	75%	63%	62%	54%	55%	49%	66%	69%	49%	65%

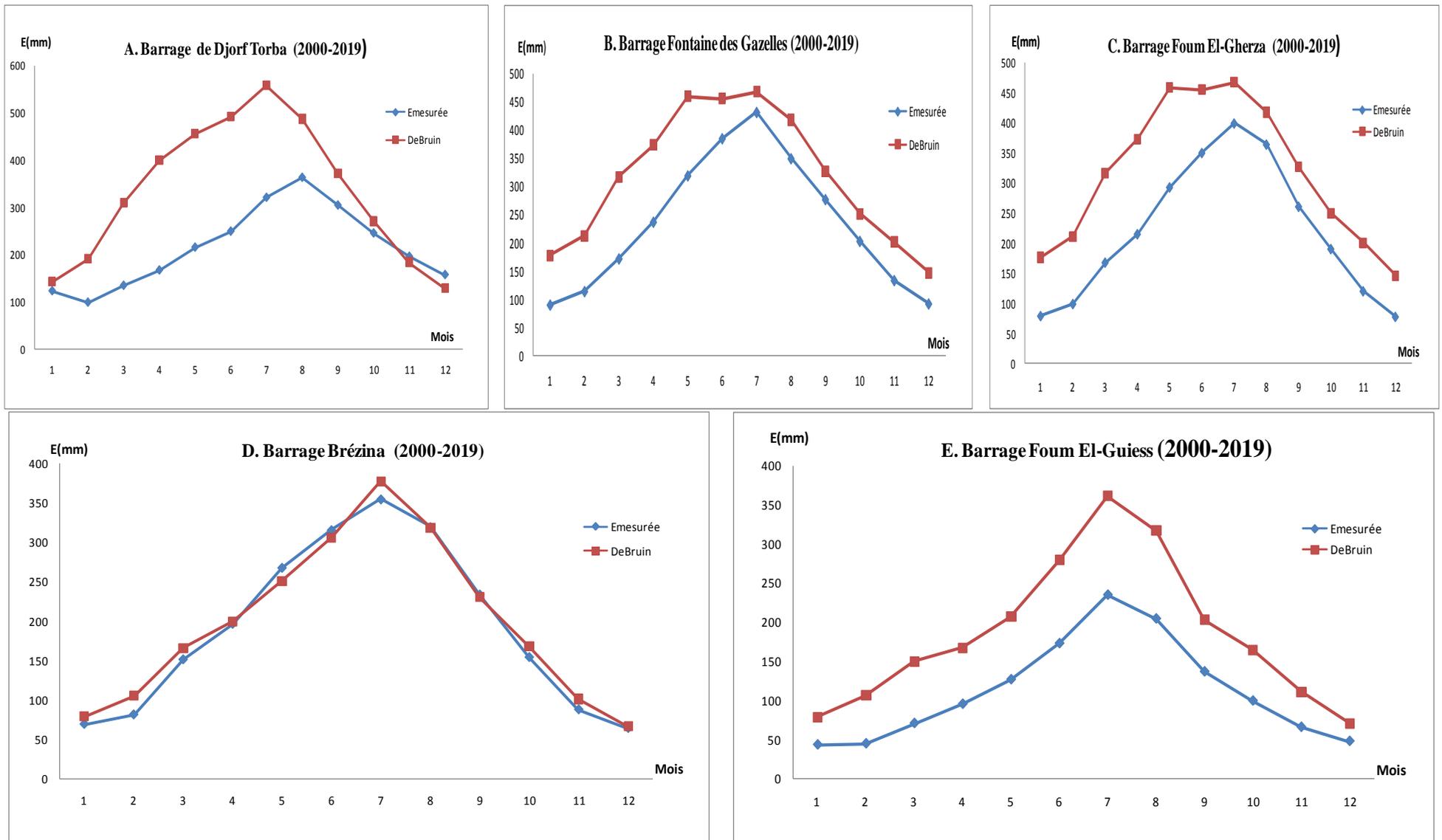


Figure III. 2 .2. 5. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de DeBruin (1978) et l'évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 2. 2. 26. Résultats obtenus par le modèle Brutsaert-Stricler (1979) - Barrage Djorf-Torba- Béchar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
E_{Brutsaert} (mm)	304,14	364,18	528,26	638,98	756,58	799,57	821,30	740,93	578,67	460,29	323,16	294,65	6610,71
Erreur (%)	146%	249%	301%	290%	253%	214%	151%	107%	92%	88%	69%	91%	157%

Tableau III. 2. 2. 27. Résultats obtenus par le modèle Brutsaert-Stricler (1979) –Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{Brutsaert} (mm)	220,41	295,22	446,52	579,67	733,03	823,61	874,75	783,89	557,54	414,53	253,99	201,70	6184,86
Erreur (%)	132%	153%	150%	145%	123%	117%	103%	103%	103%	104%	89%	107%	116%

Tableau III. 2. 2. 28. Résultats obtenus par le modèle Brutsaert-Stricler (1979) –Barrage Foug El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{Brutsaert} (mm)	220,41	295,22	446,52	579,67	733,03	823,61	874,75	783,89	557,54	414,53	253,99	201,70	6184,86
Erreur (%)	178%	197%	165%	169%	150%	135%	119%	115%	113%	117%	110%	159%	136%

Tableau III. 2. 2. 29. Résultats obtenus par le modèle Brutsaert-Stricler (1979) –Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
E_{Brutsaert} (mm)	246,04	301,38	457,46	569,63	707,99	796,79	830,36	731,22	547,56	419,80	265,61	217,49	6091,34
Erreur (%)	195%	205%	162%	137%	113%	100%	89%	83%	87%	117%	140%	167%	114%

Tableau III. 2. 2. 30. Résultats obtenus par le modèle Brutsaert-Stricler (1979) –Barrage Foug El-Guiess– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
E_{Brutsaert} (mm)	205,41	255,66	400,26	506,83	660,42	741,91	805,51	701,34	513,34	376,86	231,37	181,66	5580,56
Erreur (%)	378%	476%	468%	433%	422%	329%	243%	243%	276%	280%	253%	282%	316%

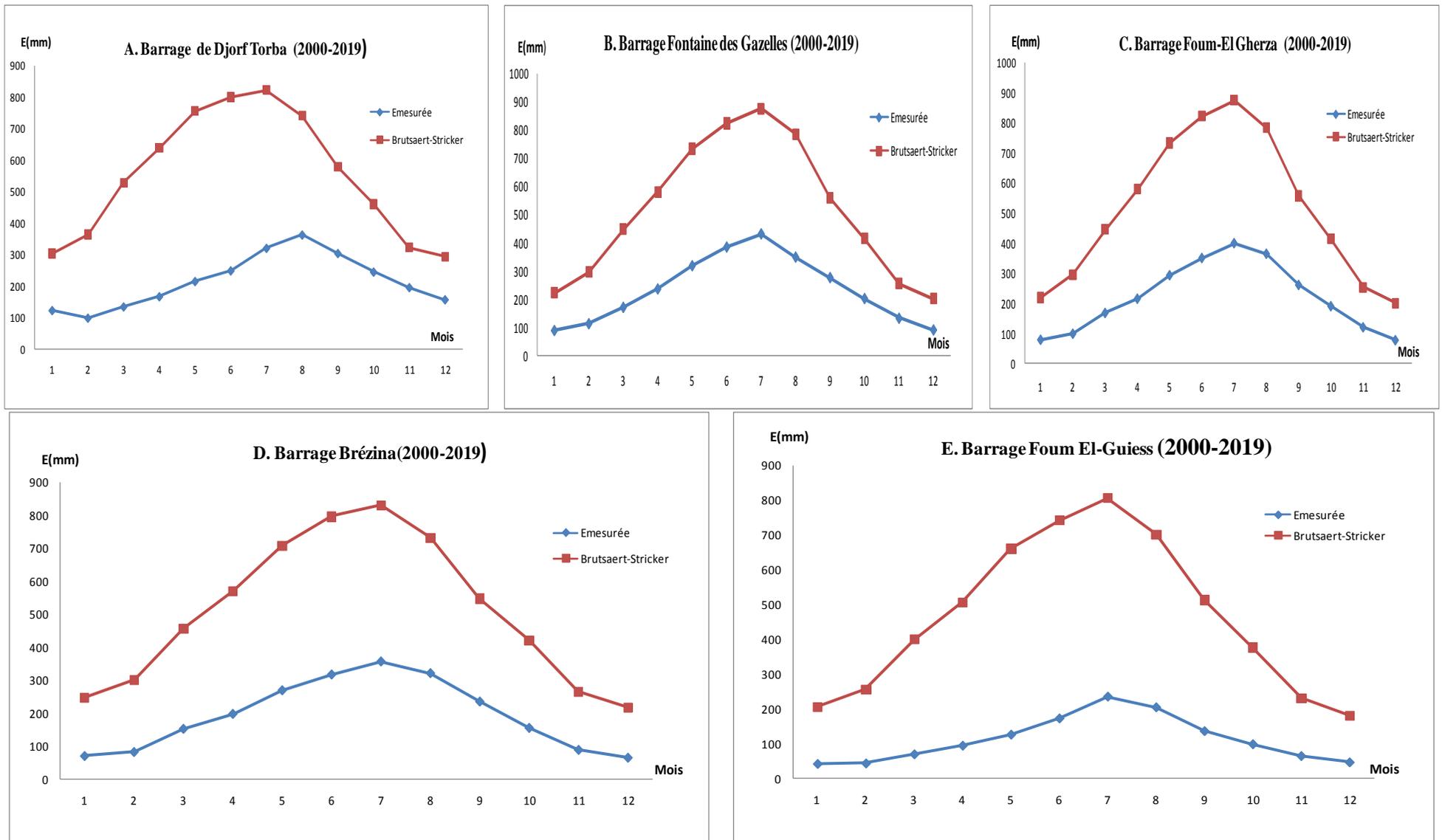


Figure III. 2 .2. 7. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de Brutsaert-Strickler (1979) et l'évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 2. 2. 31. Résultats obtenus par le modèle DeBruin-Keijman (1979) -Barrage Djorf-Torba- Béchar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
E_{Deb-Keijman} (mm)	104,57	135,17	181,99	226,32	253,98	273,86	273,71	246,23	200,67	155,00	114,81	98,32	2264,62
Erreur (%)	-15%	29%	38%	38%	19%	8%	-16%	-31%	-33%	-37%	-40%	-36%	-12%

Tableau III. 2. 2. 32. Résultats obtenus par le modèle DeBruin-Keijman (1979) –Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{Deb-Keijman} (mm)	82,46	114,90	159,51	207,24	248,32	278,13	281,55	252,48	190,55	139,93	95,35	73,59	2124,01
Erreur (%)	-13%	-2%	-11%	-12%	-25%	-27%	-35%	-34%	-31%	-31%	-29%	-25%	-26%

Tableau III. 2. 2. 33. Résultats obtenus par le modèle DeBruin-Keijman (1979) –Barrage Foum El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{Deb-Keijman} (mm)	82,46	114,90	159,51	207,24	248,32	278,13	281,55	252,48	190,55	139,93	95,35	73,59	2124,01
Erreur (%)	4%	16%	-5%	-4%	-15%	-21%	-30%	-31%	-27%	-27%	-21%	-6%	-19%

Tableau III. 2. 2. 34. Résultats obtenus par le modèle DeBruin-Keijman (1979) –Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
E_{Deb-Keijman} (mm)	82,88	108,97	152,54	192,55	227,64	261,54	265,02	232,87	182,59	137,01	91,94	72,79	2008,36
Erreur (%)	0%	10%	-13%	-20%	-32%	-34%	-40%	-42%	-38%	-29%	-17%	-11%	-29%

Tableau III. 2. 2. 35. Résultats obtenus par le modèle DeBruin-Keijman (1979) –Barrage Foum El-Guies– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
E_{Deb-Keijman} (mm)	70,41	94,27	134,12	170,56	210,28	243,94	258,06	225,31	170,42	124,27	81,92	62,03	1845,61
Erreur (%)	64%	112%	90%	79%	66%	41%	10%	10%	25%	25%	25%	31%	38%

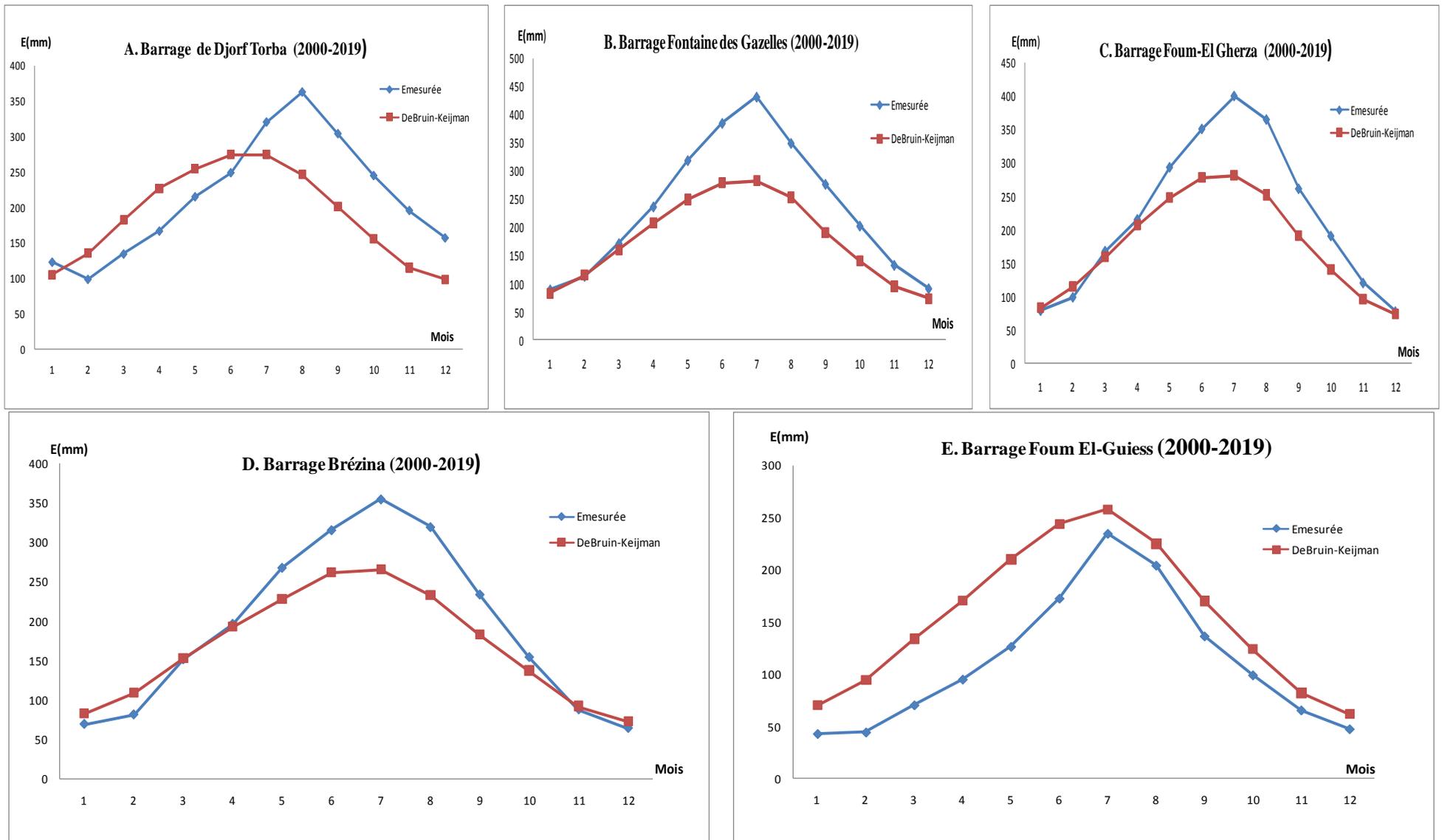


Figure III. 2 .2. 6. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de Debruin-Keijman (1979) et évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 2. 2. 36. Résultats obtenus par le modèle Penman- Brutsaert (1982) - Barrage Djorf-Torba- Béchar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
E_{Brutsaert} (mm)	71,21	92,35	137,82	178,40	201,58	221,08	226,48	198,91	171,87	130,17	81,89	118,78	1830,53
Erreur (%)	-42%	-12%	5%	9%	-6%	-13%	-31%	-45%	-43%	-47%	-57%	-23%	-29%

Tableau III. 2. 2. 37. Résultats obtenus par le modèle Penman- Brutsaert (1982) –Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{Brutsaert} (mm)	82,80	92,90	125,36	157,72	189,58	192,40	185,62	167,76	148,99	119,31	100,89	140,23	1703,57
Erreur (%)	-13%	-21%	-30%	-33%	-42%	-49%	-57%	-56%	-46%	-41%	-25%	44%	-40%

Tableau III. 2. 2. 38. Résultats obtenus par le modèle Penman- Brutsaert (1982) –Barrage Foug El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{Brutsaert} (mm)	82,80	92,90	125,36	157,72	189,58	192,40	185,62	167,76	148,99	119,31	100,89	140,23	1703,57
Erreur (%)	4%	-7%	-26%	-27%	-35%	-45%	-54%	-54%	-43%	-37%	-16%	80%	-35%

Tableau III. 2. 2. 39. Résultats obtenus par le modèle Penman- Brutsaert (1982) –Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
E_{Brutsaert} (mm)	46,73	55,37	80,33	100,31	124,93	154,54	163,85	141,71	114,72	91,33	60,64	104,44	1238,89
Erreur (%)	-44%	-44%	-54%	-58%	-62%	-61%	-63%	-64%	-61%	-53%	-45%	28%	-56%

Tableau III. 2. 2. 40. Résultats obtenus par le modèle Penman- Brutsaert (1982) –Barrage Foug El-Guiss– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
E_{Brutsaert} (mm)	45,00	48,30	62,20	73,08	101,09	134,96	156,12	140,78	111,24	94,54	67,42	110,37	1145,10
Erreur (%)	5%	9%	-12%	-23%	-20%	-22%	-34%	-31%	-19%	-5%	3%	132%	-15%

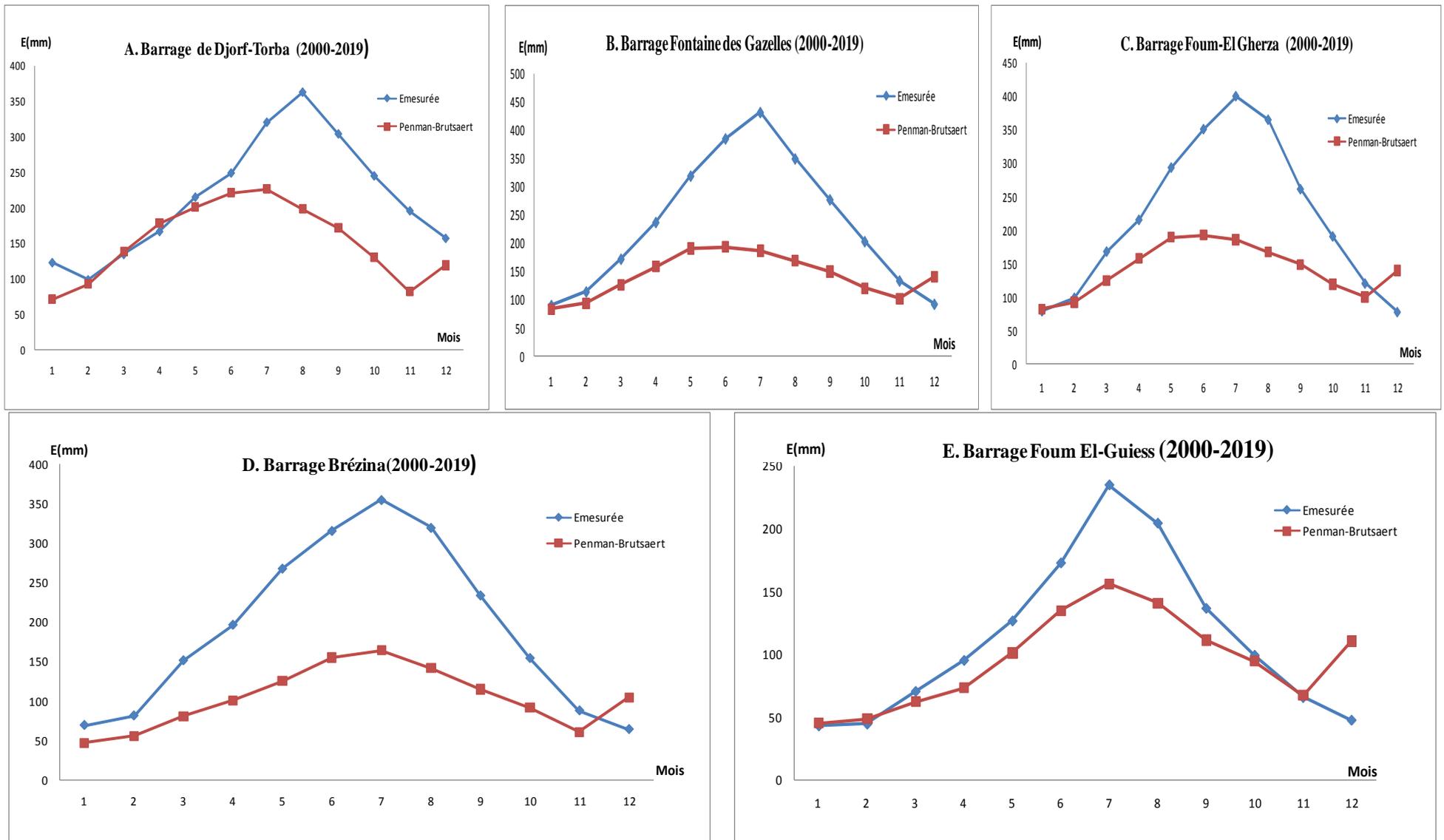


Figure III. 2 .2. 8. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de Penman- Brutsaert (1982) et l'évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 2. 2. 41. Résultats obtenus par le modèle Penman Monteith- FAO (1998) - Barrage Djorf-Torba- Béchar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
E_{Brutsaert} (mm)	119,40	146,00	226,57	283,96	341,22	380,41	423,49	375,13	283,25	211,95	142,50	116,80	3050,66
Erreur (%)	-3%	40%	72%	73%	59%	50%	30%	5%	-6%	-13%	-26%	-24%	19%

Tableau III. 2. 2. 42. Résultats obtenus par le modèle Penman Monteith- FAO (1998) –Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{Brutsaert} (mm)	110,13	136,71	205,84	255,72	330,42	368,57	396,18	355,50	260,52	194,39	132,48	98,65	2845,12
Erreur (%)	16%	17%	15%	8%	0%	-3%	-8%	-8%	-5%	-4%	-1%	1%	-1%

Tableau III. 2. 2. 43. Résultats obtenus par le modèle Penman Monteith- FAO (1998) –Barrage Foug El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{Brutsaert} (mm)	110,13	136,71	205,84	255,72	330,42	368,57	396,18	355,50	260,52	194,39	132,48	98,65	2845,12
Erreur (%)	39%	38%	22%	19%	13%	5%	-1%	-3%	0%	2%	10%	26%	9%

Tableau III. 2. 2. 44. Résultats obtenus par le modèle Penman Monteith- FAO (1998) –Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
E_{Brutsaert} (mm)	79,58	97,37	151,00	189,20	245,99	298,62	343,99	297,99	214,47	158,64	93,75	69,55	2240,16
Erreur (%)	-4%	-1%	-14%	-21%	-26%	-25%	-21%	-25%	-27%	-18%	-15%	-15%	-21%

Tableau III. 2. 2. 45. Résultats obtenus par le modèle Penman Monteith- FAO (1998) –Barrage Foug El-Guies– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
E_{Brutsaert} (mm)	68,85	86,13	131,70	162,64	215,40	269,00	322,35	282,91	191,53	145,18	89,42	63,70	2028,83
Erreur (%)	60%	94%	87%	71%	70%	56%	37%	38%	40%	46%	36%	34%	51%

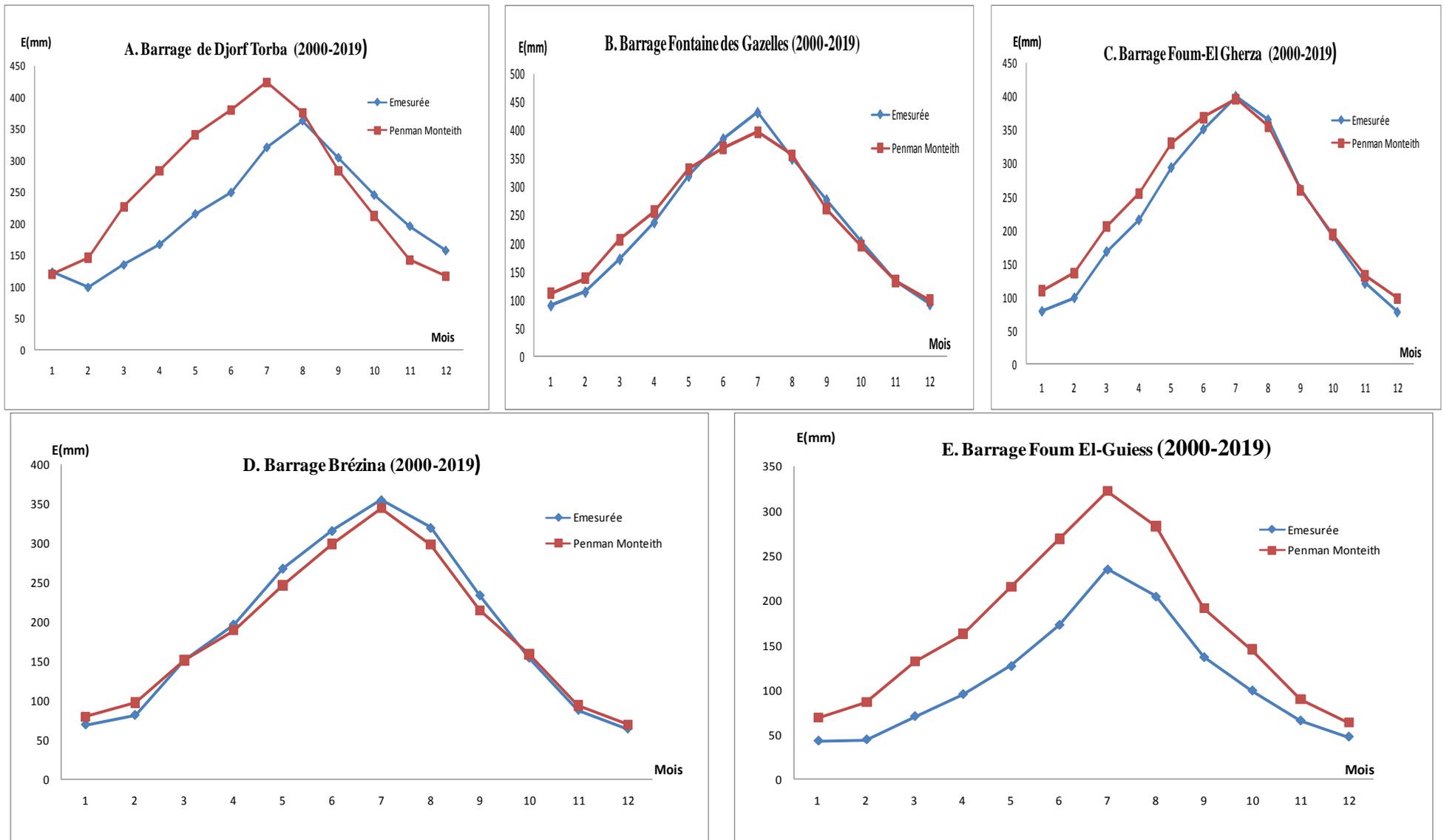


Figure III. 2 .2. 9. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par le modèle de Penman- Monteith- FAO (1998) et l'évaporation mesurée (référence).

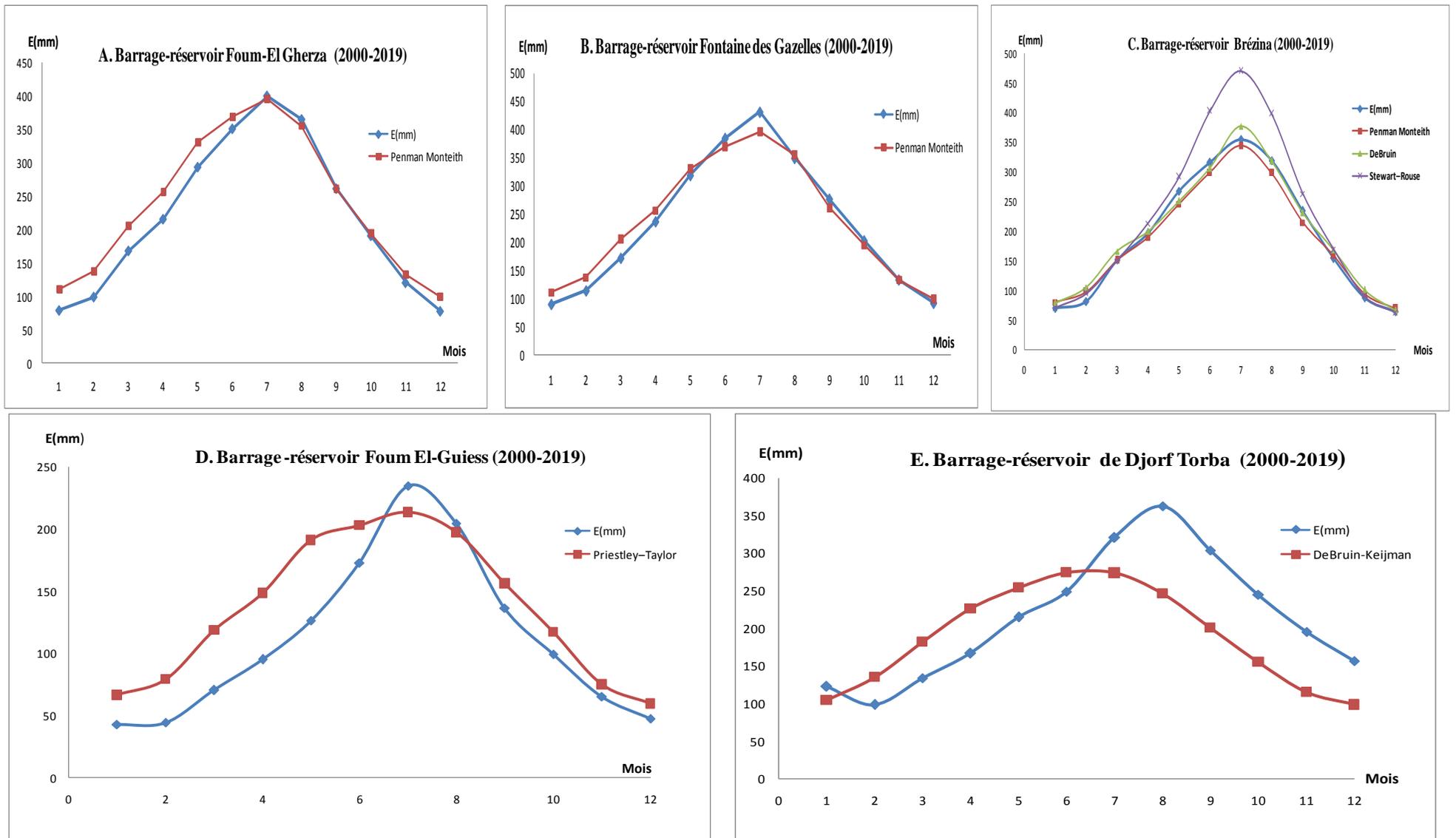


Figure III. 2. 2. 10. Représentations graphiques des modèles (Combinés) adéquats pour l'estimation de l'évaporation pour les cinq barrages-réservoirs étudiés.

Tableau III. 1. Résultats statistiques des modèles sélectionnés -Méthodes combinatoires- d'évaporation et l'évaporation mesurée (référence)- Période : 2000-2019

Modèles Barrages	PENMAN (1948)						SLATYER-MCILROY (1961)						PRIESTLEY-TAYLOR (1972)					
	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang
Foum El-Gherza	-0,09	115,10	33,23	0,91	1,05		0,64	65,79	18,99	0,96	0,60		0,23	96,70	27,92	0,97	0,88	
Fontaine des Gazelles	-0,36	134,24	38,75	0,92	1,17		0,46	84,57	24,41	0,97	0,73		-0,02	116,06	33,50	0,97	1,01	
Brézina	0,95	176,16	50,85	0,99	0,21	8	0,98	103,25	29,81	0,98	0,13	5	0,97	137,93	39,82	0,92	0,17	6
Foum El-Guiness	0,52	42,96	12,40	0,98	0,69		0,64	37,13	10,72	0,90	0,60		0,71	33,53	9,68	0,86	0,54	1
Djorf-Torba	0,29	97,86	28,25	0,55	0,84		0,65	68,36	19,73	0,49	0,59		0,24	101,45	29,29	0,57	0,87	
Modèles Barrages	STEWART-ROUSE (1976)						DEBRUIN (1978)						DEBRUIN-KEIJMAN (1979)					
	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang
Foum El-Gherza	-0,12	116,21	35,55	0,99	1,06		0,07	105,87	30,56	0,89	0,96		0,71	59,51	17,18	0,94	0,54	
Fontaine des Gazelles	0,27	98,21	28,35	0,99	0,85		0,43	86,90	25,09	0,90	0,75		0,55	77,21	22,29	0,95	0,67	
Brézina	1,00	23,44	6,77	0,98	0,03	1	1,00	51,52	14,87	0,98	0,06	2	0,99	93,94	27,12	0,96	0,11	4
Foum El-Guiness	-2,76	120,03	34,65	0,97	1,94		-0,61	78,60	22,69	0,98	1,27		0,39	48,52	14,01	0,87	0,78	
Djorf-Torba	-0,62	147,76	42,65	0,66	1,27		-0,76	154,10	44,49	0,55	1,33		0,68	66,04	19,07	0,44	0,57	1
Modèles Barrages	BRUTSAERT-STRICKER (1979)						PENMAN-BRUTSAERT (1982)						PENMAN-MONTEITH FAO (1998)					
	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang
Foum El-Gherza	-7,65	323,71	93,45	0,97	2,94		-0,02	110,93	32,02	0,75	1,01		0,95	25,38	7,33	0,98	0,23	1
Fontaine des Gazelles	-5,92	303,06	87,49	0,98	2,63		-0,24	128,42	37,07	0,78	1,11		0,97	18,82	5,43	0,98	0,16	1
Brézina	0,88	285,56	82,43	0,97	0,35	9	0,96	163,52	47,21	0,85	0,20	7	0,99	62,90	18,16	0,99	0,08	3
Foum El-Guiness	-38,0	386,76	111,65	0,88	6,25		0,62	38,24	11,04	0,79	0,62		-0,03	62,98	18,18	0,97	1,02	
Djorf-Torba	-9,04	368,03	106,24	0,48	3,17		0,49	83,24	24,03	0,52	0,72		0,56	77,46	22,36	0,60	0,67	

III. 2. 3. Méthodes de transfert de masse

Les méthodes de transfert de masse sont les plus anciennes méthodes (Dalton, 1802 ; Penman, 1948) et elles restent des méthodes attractives pour l'estimation de l'évaporation des plans d'eau en raison de leur simplicité et de ces adéquats résultats. Ces méthodes sont basées fondamentalement sur la loi de Dalton (Majidi et *al.*, 2015). Les méthodes de transfert de masse sont basées sur la détermination de la masse de vapeur d'eau transférée à l'atmosphère à partir de la surface de l'eau donnant la relation entre l'évaporation et la pression de vapeur :

$$E = k (e_s - e_a) \quad (III.14)$$

E : Evaporation.

k : Coefficient du transfert de masse.

$e_s - e_a$: Différence de pression de vapeur. Les paramètres e_s et e_a sont les pressions de la vapeur saturante à la température de l'air et celle de la surface de l'eau à la hauteur de référence.

Une forme alternative pour l'équation de transfert de masse datant du 19^{ème} siècle a également été largement utilisée. Cela prend la forme :

$$E = f(U) (e_s - e_a) \quad (III.15)$$

Où U est la vitesse du vent, $f(U)$ est une fonction de la vitesse du vent, $f(U) = a + b U$ avec des constantes empiriques a et b, permettant une convection libre, c'est-à-dire une évaporation lorsqu'il n'y a pas de vent. La dérivation simple de l'équation de transfert de masse est transformée par Sene *et al.*, (1991). Elle est donnée par la nouvelle forme suivante (Jon Finch and Ann Calver, 2008) :

$$E = k U (e_s - e_a) \quad (III.16)$$

Où k représente coefficient de transfert de masse.

Nous présentons dans ce qui suit les modèles basés sur ce principe en choisissant les plus utilisés et connus pour l'estimation de l'évaporation.

III. 2. 3. 1. Modèle de Kuzmin (1957) :

Il est normalement utilisé pour calculer le taux d'évaporation mensuelle en (pouce par mois), mais nous pouvons l'utiliser pour calculer l'évaporation journalière en divisant par (n) ; Où (n) égale le nombre des jours du mois concerné. La formule exprime le taux mensuel d'évaporation « E » par l'équation suivante (V. P. Singh et *al.*, 1997) :

$$E = 6 (1 + 0,21 U_8) (e_s - e_a) \quad (III.17)$$

Où E est l'évaporation en pouce/mois, U_8 est la vitesse moyenne mensuelle de l'air en (m/s) à une altitude de 8 m et puisque on dispose de la vitesse du vent à une distance de 2 m (U_2) on peut estimer la vitesse à une hauteur de 8 m par la formule suivante (Guangyong You et *al.*, 2012) :

$$U_z = \ln (67,8 Z - 5,42) (U_2 / 4,87) \quad (III.18)$$

Z : l'altitude de mesure de la vitesse de vent en (m).

III. 2. 3. 2. Modèle Ivanov (1970) :

L'une des formules, la plus connue et celle d'Ivanov (1970) exprimée comme suit (Sredazgiprovdokhlopok, 1970) :

$$E = 0,0018 (T_{air} + 25)^2 (100 - H_r) \quad (III.19)$$

Où E est le taux d'évaporation en (mm/mois), T_{air} est la température moyenne mensuelle de l'air en (°C) et H_r est l'humidité relative mensuelle en (%).

III. 2. 3. 3. Modèle de Meyer-1 (1915) :

La formule de Meyer est dérivée de la loi de Dalton (1802) et appliquée aux lacs peu profonds aux Etats Unis en 1915, elle s'exprime comme suit (Meyer, 1915 ; Mohammad Aldomany, 2014) :

$$E = 11 (1 + 0,01U) (e_s - e_a) \quad (\text{III.20})$$

Où E est le taux d'évaporation en unité de (pouces/mois); U est la vitesse moyenne mensuelle du vent en (miles par heure) ; e_s est la pression de vapeur de l'air saturé à la température de la surface d'eau ; e_a est la pression actuelle de la vapeur dans l'air (e_s et e_a sont en unité de Pouce de mercure).

III. 2. 3. 4. Modèle de Rohwer (1931)

Parmi de nombreuses formules des méthodes de transfert de masse, celle de Rohwer (1931) résume les résultats de travaux intensifs (485 jours) effectués à Fort Collins, Colorado, Etats Unis (Penman, 1948 cités par Oudin, 2004, p. 346 ; Mohammad Aldomany, 2014). La formule de Rohwer s'écrit de la façon suivante :

$$E = 0,77 (1,465 - 0,0186 P) (0,44 + 0,118 U) (e_s - e_a) \quad (\text{III.21})$$

Où E est l'évaporation en (pouces par jour); P est la pression atmosphérique en (Pouce de mercure); U est la vitesse moyenne mensuelle du vent en (mile par heure); e_s est la pression de vapeur de l'air saturé à la température de la surface d'eau ; e_a est la pression actuelle de la vapeur dans l'air (e_s et e_a sont en unité de pouce de mercure).

III. 2. 3. 5. Modèle de Penman (1948)

La formule de Penman (1948) est utilisée pour calculer l'évaporation des plans d'eau. Cette formule était le fruit d'un travail expérimental d'un an et demi (1944-1945), mené dans une station météorologique de Rothamsted, située dans un parc dans les Chiltern Hills (Angleterre). La formule de Penman (1948) est exprimée par l'équation suivante :

$$E = 0,35 (1 + 0,24 U) (e_s - e_a) \quad (\text{III.22})$$

Où E est l'évaporation en (pouces par jour) ; U est la vitesse moyenne mensuelle du vent en (mile par heure) ; e_s est la pression de vapeur de l'air saturé à la température de la surface d'eau ; e_a est la pression actuelle de la vapeur dans l'air (e_s et e_a sont en unité de pouce de mercure).

III. 2. 3. 6. Modèle de Konstantinov (1968)

La formule de Konstantinov (1968) a été appliquée dans les pays de la Communauté des Etats Indépendants (CEI) pour l'estimation de l'évaporation d'après des mesures de la température et d'humidité de l'air avec un psychromètre sous abri, à deux mètres au-dessus du sol. Cette formule est présentée par l'équation suivante (Konstantinov, 1968 ; Mohammad Aldomany, 2014) :

$$E=0,024[(T_{\text{eau}}-T_{\text{air}})/U] + 0,166 U(e_s-e_a) \quad (\text{III.23})$$

Où E est l'évaporation en (pouces par jour) ; U est la vitesse moyenne du vent en (mile par heure) ; T_{eau} est la température moyenne de l'eau en ($^{\circ}\text{C}$) ; T_{air} est la température moyenne de l'air en ($^{\circ}\text{C}$) ; e_s est la pression de vapeur de l'air saturé à la température de la surface d'eau ; e_a est la pression actuelle de la vapeur dans l'air (e_s et e_a sont en unité de pouce de mercure).

III. 2. 3. 7. Modèle de Dalton (1802)

Le modèle de Dalton (1802) est basé sur la loi du gaz. Les méthodes basées sur le transfert de masse donnent des résultats satisfaisants dans de nombreux cas et utilisent normalement des

variables facilement mesurables et ils ont des formules simples (Singhand Xu, 1997 ; Hossein Tabari, 2011).

$$E = (3,648 + 0,7223 U) (e_s - e_a) \quad (\text{III.24})$$

Où E est l'évaporation en (mm par jour) ; U est la vitesse moyenne du vent en (m/s) ; e_s est la pression de vapeur de l'air saturé à la température de la surface d'eau ; e_a est la pression actuelle de la vapeur dans l'air (e_s et e_a sont en unité de kPa).

III. 2. 3. 8. Modèle de Mahringer (1970)

Le modèle de Mahringer est donné par la formule suivante :

$$E = 0,15072(\sqrt{3,6 U}) (e_s - e_a) \quad (\text{III.25})$$

Où E est l'évaporation en (mm par jour) ; U est la vitesse moyenne du vent en (m/s) ; e_s est la pression de vapeur de l'air saturé à la température de la surface d'eau ; e_a est la pression actuelle de la vapeur dans l'air (e_s et e_a sont en unité de hPa).

III. 2. 3. 9. Modèle de Vikulina (1979)

Le modèle de Vikulina est donné par la formule suivante :

$$E = 0,14(1 + 0,74 U) (e_s - e_a) \quad (\text{III.26})$$

Où E est l'évaporation en (mm par jour) ; U est la vitesse moyenne du vent en (m/s) ; e_s est la pression de vapeur de l'air saturé à la température de la surface d'eau ; e_a est la pression actuelle de la vapeur dans l'air (e_s et e_a sont en unité de hPa).

III. 2. 3. 10. Modèle de World Meteorological Organization WMO (1966)

Le modèle de WMO (1966) est exprimé comme suit :

$$E = (0,1298 + 0,0934 U) (e_s - e_a) \quad (\text{III.27})$$

Où E est l'évaporation en (mm par jour) ; U est la vitesse moyenne du vent en (m/s) ; e_s est la pression de vapeur de l'air saturé à la température de la surface d'eau ; e_a est la pression actuelle de la vapeur dans l'air (e_s et e_a sont en unité de hPa).

III. 2. 3. 11. Modèle de Trabert (1896)

Le modèle de **Trabert (1896)** est exprimé comme suit :

$$E = 0,3075 (\sqrt{U}) (e_s - e_a) \quad (\text{III.28})$$

Où E est l'évaporation en (mm par jour) ; U est la vitesse moyenne du vent en (m/s) ; e_s est la pression de vapeur de l'air saturé à la température de la surface d'eau ; e_a est la pression actuelle de la vapeur dans l'air (e_s et e_a sont en unité de hPa).

III. 2. 3. 12. Modèle de Meyer-2 (1926)

Le modèle de Meyer (1926) est exprimé comme suit :

$$E = (0,375 + 0,05026 U) (e_s - e_a) \quad (\text{III.29})$$

Où E est l'évaporation en (mm par jour) ; U est la vitesse moyenne du vent en (m/s) ; e_s est la pression de vapeur de l'air saturé à la température de la surface d'eau ; e_a est la pression actuelle de la vapeur dans l'air (e_s et e_a sont en unité de hPa).

III. 2. 3. 13. Modèle d'Oudin (2005)

Le modèle d'Oudin (2005) est exprimé comme suit :

$$E = 4,5 [1 + (T_{air}/25)]^2 [1 - (e_a/e_s)] \quad (III.30)$$

Où E est l'évaporation en (mm par jour) ; T_{air} est la température moyenne de l'air en (°C) ; e_s est la pression de vapeur de l'air saturé à la température de la surface d'eau ; e_a est la pression actuelle de la vapeur dans l'air (e_s et e_a sont en unité de kPa).

III. 2. 3. 14. Modèle de Rayan -Harleman (1973)

Ryan et Harleman (1973) ont développé une équation basée sur la théorie de Dalton pour estimer l'évaporation des masses d'eau chauffées (Rasmussen et *al.*, 1995). Dans ce cas, la convection forcée (éolienne) et la convection libre (entraînée par la flottabilité) contrôlent efficacement les taux d'évaporation, tandis que la convection forcée est le facteur dominant pour les masses d'eau naturelles (Majidi et al, 2015) :

$$E = \lambda^{-1} [2,7(T_{eau} - T_{air})^{1/3} + 3,1 U] (e_s - e_a) \quad (III.31)$$

Où E est l'évaporation en (mm par jour) ; U est la vitesse moyenne du vent en (m/s) ; e_s est la pression de vapeur de l'air saturé à la température de la surface d'eau ; e_a est la pression actuelle de la vapeur dans l'air (e_s et e_a sont en unité de hPa) ; T_{eau} et T_{air} sont les températures d'eau et air (°C).

III. 2. 3. 15. Modèle de Horton (1917)

Le modèle proposé par Horton (1917) s'écrit comme suit (Bin Poyen et *al.*, 2016) :

$$E = 0,4 [2 - \text{Exp}(-2U)] (e_s - e_a) \quad (III.32)$$

Où E est l'évaporation en (pouce par mois) ; U est la vitesse moyenne du vent en (mile/heure) ; e_s est la pression de vapeur de l'air saturé à la température de la surface d'eau ; e_a est la pression actuelle de la vapeur dans l'air (e_s et e_a sont en unité de pouce de Hg).

III. 2. 3. 16. Modèle de Brockamp and Wenner (1963)

Le modèle de Brockamp and Wenner (1963) est donné comme suit (Valipour, 2017) :

$$E = 5,43 U^{0,456} (e_s - e_a) \quad (III.33)$$

Où E est l'évaporation en (mm par jour) ; U est la vitesse moyenne du vent à 2 mètres (m/s) ; e_s est la pression de vapeur saturée ; e_a est la pression actuelle de la vapeur dans l'air (e_s et e_a sont en unité de kPa).

III. 2. 3. 17. Modèle de Shuliakovski (1969)

Shuliakovski (1969) a développé un modèle en se basant hypothèse que l'évaporation est principalement proportionnelle à la vitesse du vent et à la différence de pression de vapeur d'eau à la surface de l'eau et dans la masse d'air (Huttula et *al.*, 2015) :

$$E = (0,15 + 0,108 U) (e_s - e_a) \quad (III.34)$$

Où E est l'évaporation en (mm par jour) ; U est la vitesse moyenne du vent en (m/s) ; e_s est la pression de vapeur de l'air saturé à la température de la surface d'eau ; e_a est la pression actuelle de la vapeur dans l'air (e_s et e_a sont en unité de mbar).

III. 2. 3. 18. Modèle de Harbeck et al. (1958)

En 1958, Harbeck a proposé une formule qui s'écrit sous la forme (V. P. Singh, 1997) :

$$E = 0,001813 U (e_s - e_a) [1 - 0,035(T_{air} - T_{eau})] \quad (III.35)$$

Où E est l'évaporation en (pouce par mois) ; U est la vitesse moyenne du vent en (mile/heure) ; e_s est la pression de vapeur de l'air saturé à la température de la surface d'eau ; e_a est la pression actuelle de la vapeur dans l'air (e_s et e_a sont en unité de pouce de Hg).

Les résultats numériques et les présentations graphiques des modèles cités précédemment sont regroupés dans les tableaux et les figures suivants :

Tableau III. 2. 3. 1. Résultats obtenus par le modèle de Kuzmin (1957) –Barrage Djorf-Torba- Béchar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
E_{Kuzmin} (mm)	72,79	107,38	189,91	285,26	356,59	462,92	572,21	481,53	328,17	195,76	113,31	75,28	3241,11
Erreur (%)	-41%	3%	44%	74%	66%	82%	75%	34%	9%	-20%	-41%	-51%	26%

Tableau III. 2. 3. 2. Résultats obtenus par le modèle de Kuzmin (1957) –Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{Kuzmin} (mm)	91,15	120,63	189,33	257,91	352,22	420,54	465,60	409,36	288,53	184,11	125,48	77,75	2982,60
Erreur (%)	-4%	3%	6%	9%	7%	11%	8%	6%	5%	-9%	-6%	-20%	4%

Tableau III. 2. 3. 3. Résultats obtenus par le modèle de Kuzmin (1957) –Barrage Foug El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{Kuzmin} (mm)	91,15	120,63	189,33	257,91	352,22	420,54	465,60	409,36	288,53	184,11	125,48	77,75	2982,60
Erreur (%)	15%	21%	12%	20%	20%	20%	16%	12%	10%	-4%	4%	0%	14%

Tableau III. 2. 3. 4. Résultats obtenus par le modèle de Kuzmin (1957) –Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
E_{Kuzmin} (mm)	36,72	52,76	86,17	118,14	163,23	241,88	327,69	268,66	172,10	106,44	54,12	31,16	1659,06
Erreur (%)	-56%	-47%	-51%	-51%	-51%	-39%	-25%	-33%	-41%	-45%	-51%	-62%	-42%

Tableau III. 2. 3. 5. Résultats obtenus par le modèle de Kuzmin (1957) –Barrage Foug El-Guies– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
E_{Kuzmin} (mm)	36,17	53,19	77,14	97,98	133,00	213,50	299,49	258,72	149,28	103,92	60,68	33,59	1516,67
Erreur (%)	-16%	20%	9%	3%	5%	24%	27%	27%	9%	5%	-7%	-29%	13%

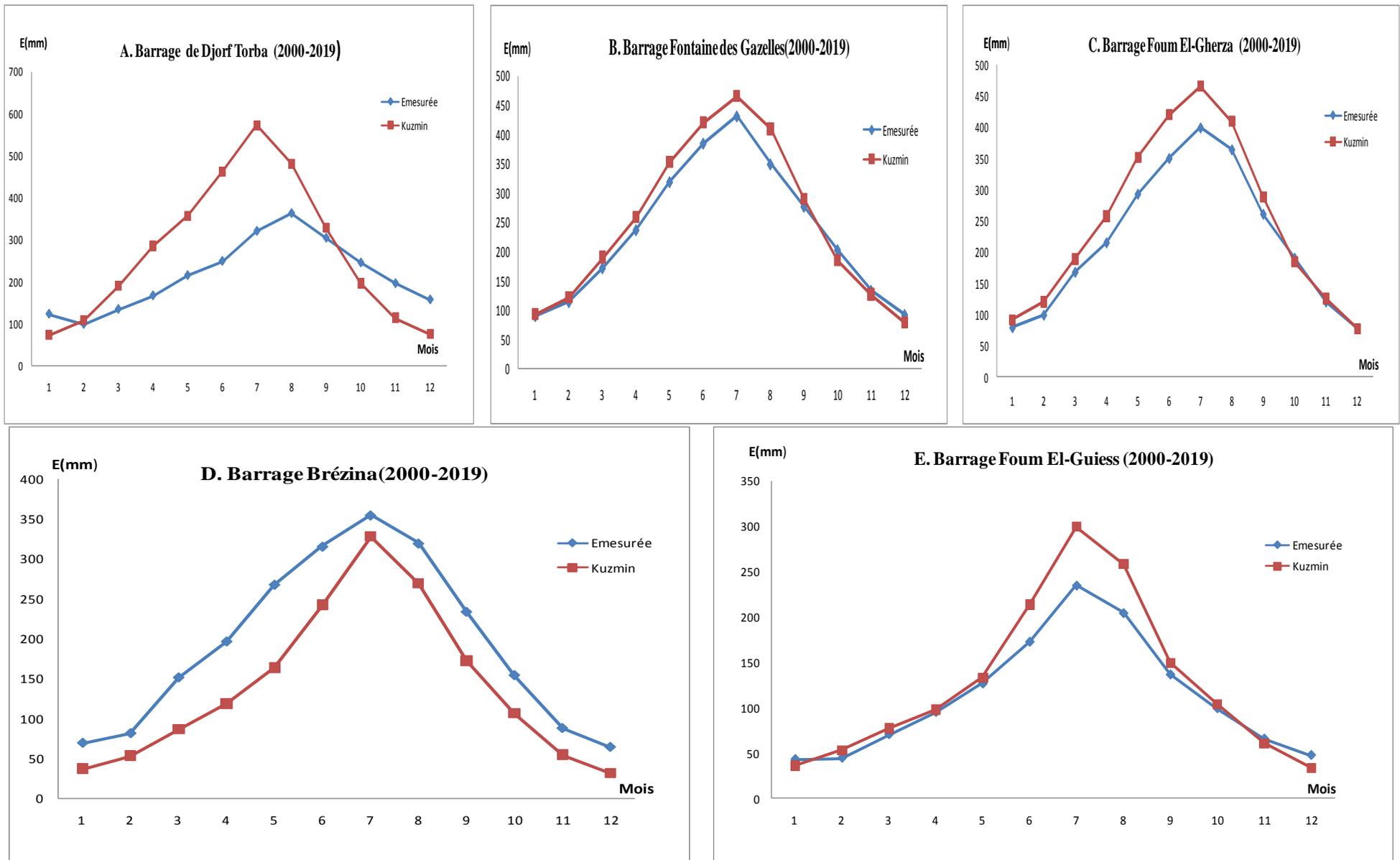


Figure III. 2. 3. 1. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par Kuzmin (1957) et l'évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 2. 3. 6. Résultats obtenus par le modèle de Ivanov (1970) –Barrage Djorf-Torba- Béchar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
E_{Ivanov}(mm)	113,88	144,63	215,88	281,69	348,57	453,59	546,24	489,88	355,63	253,63	160,64	105,15	3469,41
Erreur (%)	-8%	38%	64%	72%	63%	78%	67%	37%	18%	4%	-16%	-32%	35%

Tableau III. 2. 3. 7. Résultats obtenus par le modèle de Ivanov (1970) –Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{Ivanov}(mm)	108,35	137,85	192,66	242,99	318,33	417,19	486,02	442,63	321,73	232,76	150,13	105,70	3156,34
Erreur (%)	14%	18%	8%	3%	-3%	10%	13%	15%	17%	15%	12%	8%	10%

Tableau III. 2. 3. 8. Résultats obtenus par le modèle de Ivanov (1970) –Barrage Foug El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{Ivanov}(mm)	108,35	137,85	192,66	242,99	318,33	417,19	486,02	442,63	321,73	232,76	150,13	105,70	3156,34
Erreur (%)	37%	39%	14%	13%	8%	19%	22%	21%	23%	22%	24%	35%	20%

Tableau III. 2. 3. 9. Résultats obtenus par le modèle de Ivanov (1970) –Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
E_{Ivanov}(mm)	52,96	70,34	108,26	145,61	205,47	306,26	401,99	350,26	235,63	155,32	78,33	47,95	2158,38
Erreur (%)	-36%	-29%	-38%	-39%	-38%	-23%	-8%	-12%	-20%	-20%	-29%	-41%	-24%

Tableau III. 2. 3. 10. Résultats obtenus par le modèle de Ivanov (1970) –Barrage Foug El-Guiss– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
E_{Ivanov}(mm)	47,35	63,15	92,64	118,21	159,06	247,78	322,62	286,57	182,62	134,63	79,04	49,07	1782,73
Erreur (%)	10%	42%	31%	24%	26%	43%	37%	40%	34%	36%	20%	3%	33%

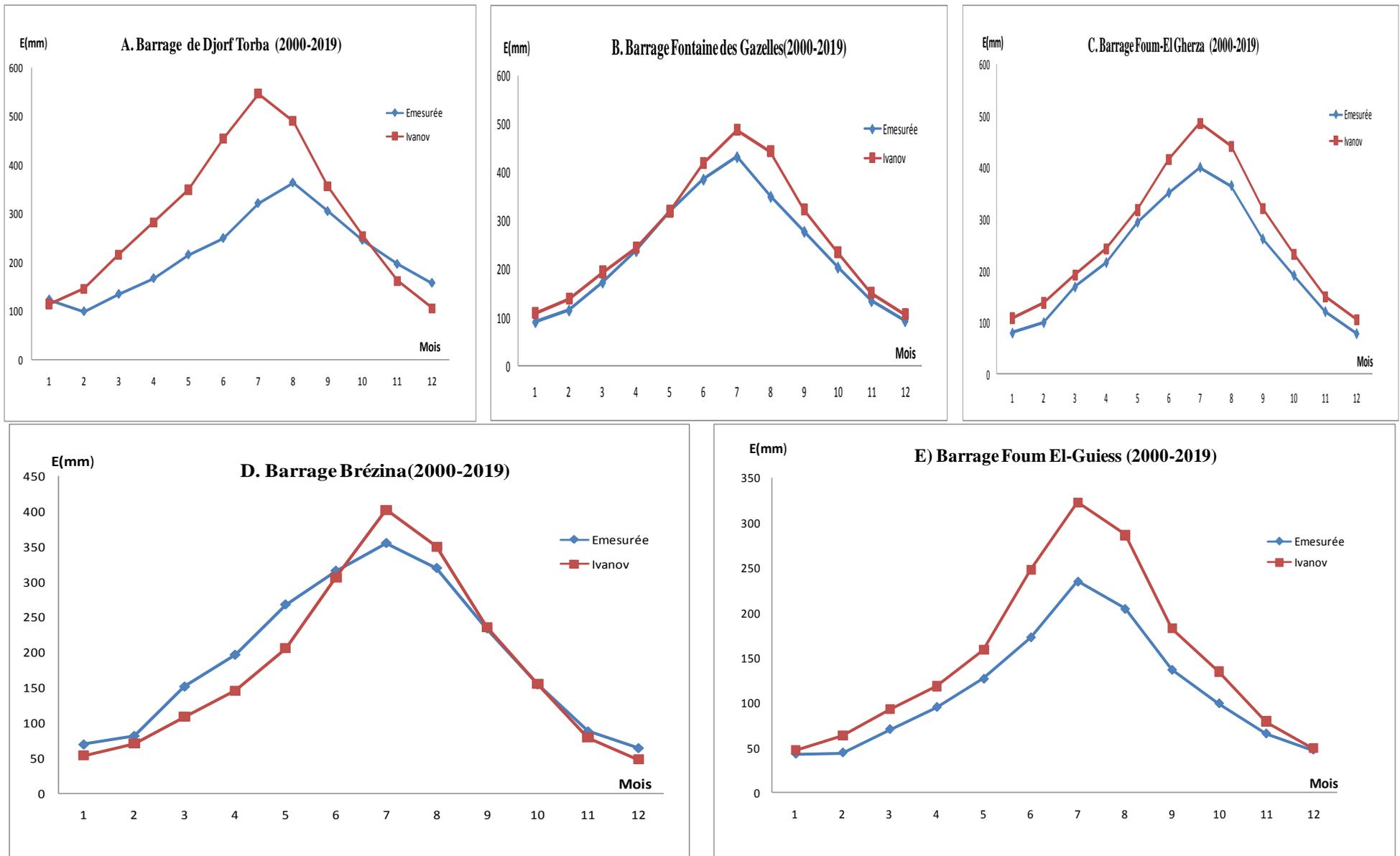


Figure III. 2. 3. 2. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par Ivanov (1970) et l'évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 2. 3. 11. Résultats obtenus par le modèle de Meyer-1 (1915) –Barrage Djorf-Torba- Béchar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
E_{Meyer-1}(mm)	54,22	68,06	108,02	146,78	188,30	257,32	325,07	285,64	196,15	129,80	78,68	59,44	1897,49
Erreur (%)	-56%	-35%	-18%	-10%	-12%	1%	-1%	-20%	-35%	-47%	-59%	-61%	-26%

Tableau III. 2. 3. 12. Résultats obtenus par le modèle de Meyer-1 (1915) –Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{Meyer-1}(mm)	53,02	67,63	97,64	127,54	175,57	238,86	288,43	262,51	180,81	123,14	76,24	51,03	1742,41
Erreur (%)	-44%	-42%	-45%	-46%	-47%	-37%	-33%	-32%	-34%	-39%	-43%	-48%	-39%

Tableau III. 2. 3. 13. Résultats obtenus par le modèle de Meyer-1 (1915) –Barrage Foug El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{Meyer-1}(mm)	53,02	67,63	97,64	127,54	175,57	238,86	288,43	262,51	180,81	123,14	76,24	51,03	1742,41
Erreur (%)	-33%	-32%	-42%	-41%	-40%	-32%	-28%	-28%	-31%	-35%	-37%	-35%	-34%

Tableau III. 2. 3. 14. Résultats obtenus par le modèle de Meyer-1 (1915) –Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
E_{Meyer-1}(mm)	26,71	34,45	52,81	71,56	102,25	157,51	216,16	186,82	119,18	77,23	38,25	23,25	1106,21
Erreur (%)	-68%	-65%	-70%	-70%	-69%	-60%	-51%	-53%	-59%	-60%	-65%	-71%	-61%

Tableau III. 2. 3. 15. Résultats obtenus par le modèle de Meyer-1 (1915) –Barrage Foug El-Guies– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
E_{Meyer-1}(mm)	23,68	31,44	45,51	58,59	81,12	129,17	176,59	156,72	95,11	68,54	39,33	24,03	929,82
Erreur (%)	-45%	-29%	-35%	-38%	-36%	-25%	-25%	-23%	-30%	-31%	-40%	-49%	-31%

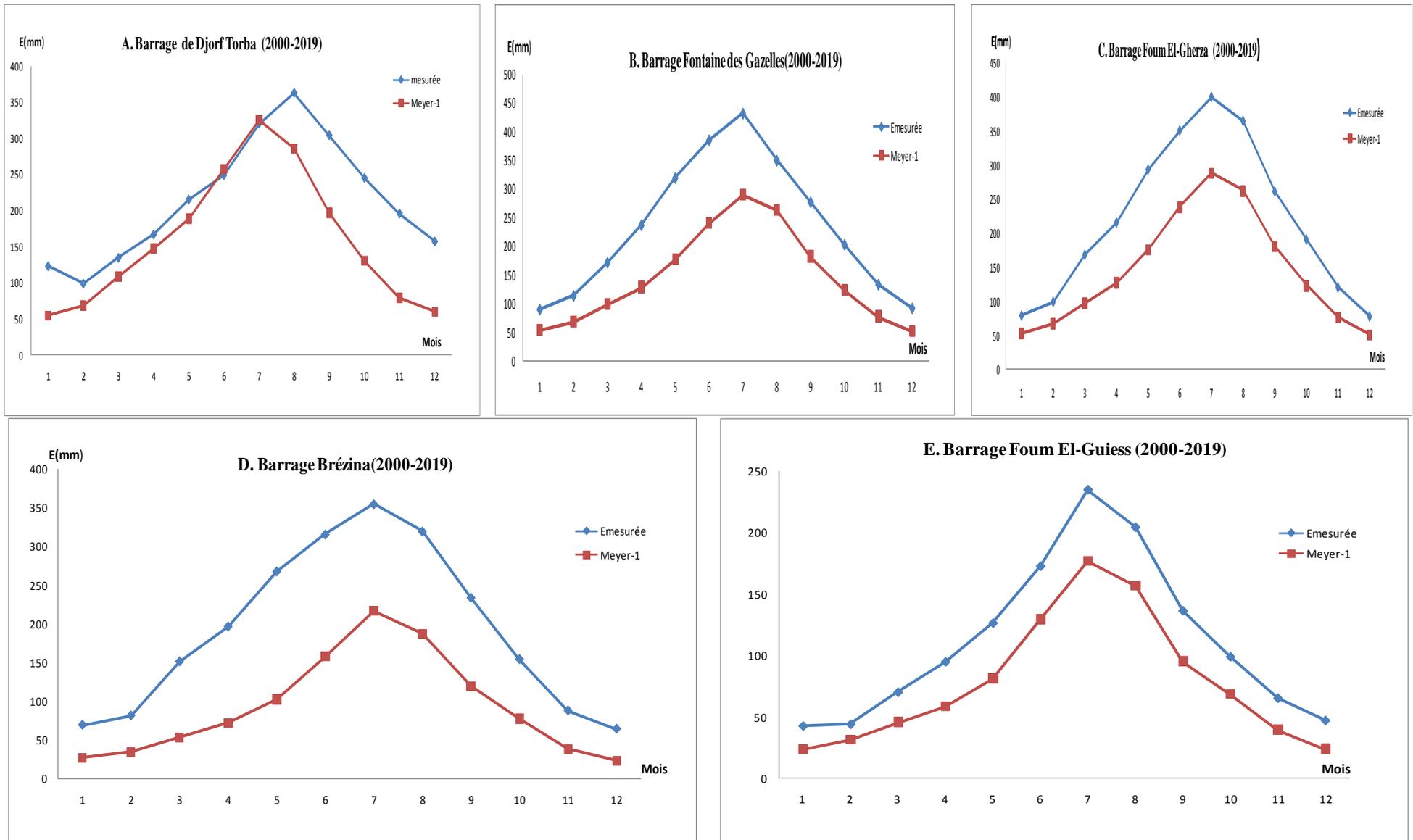


Figure III. 2. 3. 3. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par Meyer-1 (1915) et l'évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 2. 3. 16. Résultats obtenus par le modèle de Rohwer (1931) –Barrage Djorf-Torba- Béchar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
E_{Rohwer}(mm)	120,78	163,90	315,58	459,52	593,22	745,33	951,72	801,06	528,27	325,49	182,27	124,92	5312,06
Erreur (%)	-2%	57%	139%	181%	177%	193%	191%	123%	75%	33%	-5%	-19%	107%

Tableau III. 2. 3. 17. Résultats obtenus par le modèle de Rohwer (1931) –Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{Rohwer}(mm)	146,86	178,86	305,73	403,65	569,30	657,92	753,32	661,84	451,28	297,38	195,96	125,28	4747,36
Erreur (%)	55%	53%	71%	71%	73%	73%	75%	72%	64%	46%	46%	28%	66%

Tableau III. 3. 18. Résultats obtenus par le modèle de Rohwer (1931) –Barrage Foum El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{Rohwer}(mm)	146,86	178,86	305,73	403,65	569,30	657,92	753,32	661,84	451,28	297,38	195,96	125,28	4747,36
Erreur (%)	85%	80%	82%	87%	94%	88%	88%	81%	73%	56%	62%	61%	81%

Tableau III. 2. 3. 19. Résultats obtenus par le modèle de Rohwer (1931) –Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
E_{Rohwer}(mm)	61,80	81,69	145,17	192,85	275,16	394,41	551,94	452,58	280,55	179,31	88,23	52,43	2756,12
Erreur (%)	-26%	-17%	-17%	-20%	-17%	-1%	26%	13%	-4%	-7%	-20%	-36%	-3%

Tableau III. 2. 3. 20. Résultats obtenus par le modèle de Rohwer (1931) –Barrage Foum El-Guiss– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
E_{Rohwer}(mm)	60,05	81,17	128,18	157,71	221,08	343,32	497,32	429,55	239,97	172,55	97,55	55,73	2484,17
Erreur (%)	40%	83%	82%	66%	75%	99%	112%	110%	76%	74%	49%	17%	85%

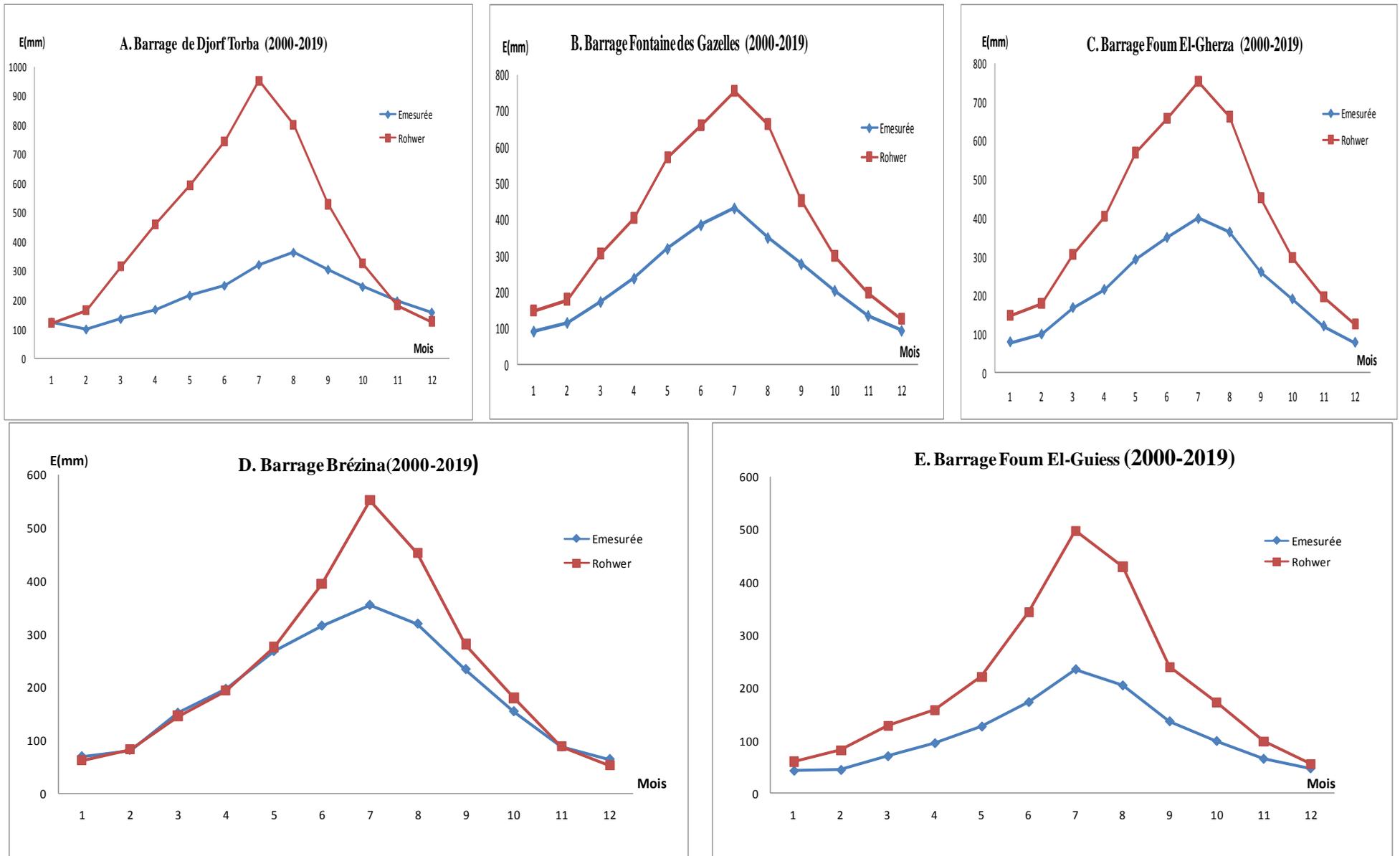


Figure III. 2. 3. 4. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par Rohwer (1931) et l'évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 2. 3. 21. Résultats obtenus par le modèle de Penman (1948) –Barrage Djorf-Torba- Béchar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
E_{Penman}(mm)	122,33	167,52	315,24	456,49	590,21	742,95	949,78	800,69	528,25	327,12	183,64	126,91	5311,13
Erreur (%)	-1%	60%	139%	179%	175%	192%	191%	123%	75%	34%	-4%	-18%	107%

Tableau III. 2. 3. 22. Résultats obtenus par le modèle de Penman (1948) –Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{Penman}(mm)	151,44	187,21	313,10	412,12	581,75	675,51	775,64	682,99	465,40	307,78	202,13	129,86	4884,93
Erreur (%)	59%	60%	75%	74%	77%	78%	80%	77%	69%	52%	51%	33%	71%

Tableau III. 2. 3. 23. Résultats obtenus par le modèle de Penman (1948) –Barrage Foum El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{Penman}(mm)	151,44	187,21	313,10	412,12	581,75	675,51	775,64	682,99	465,40	307,78	202,13	129,86	4884,93
Erreur (%)	91%	88%	86%	91%	98%	93%	94%	87%	78%	61%	68%	66%	86%

Tableau III. 2. 3. 24. Résultats obtenus par le modèle de Penman (1948) –Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
E_{Penman}(mm)	61,63	82,41	143,49	190,27	272,06	390,82	547,44	449,95	278,87	178,64	87,79	52,37	2735,74
Erreur (%)	-26%	-16%	-18%	-21%	-18%	-2%	25%	13%	5%	-7%	-21%	-36%	-4%

Tableau III. 2. 3. 25. Résultats obtenus par le modèle de Penman (1948) –Barrage Foum El-Guiss– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
E_{Penman}(mm)	60,41	82,73	128,23	157,72	221,41	343,84	497,87	430,59	240,96	173,61	98,03	56,34	2491,74
Erreur (%)	41%	86%	82%	66%	75%	99%	112%	111%	76%	75%	49%	19%	86%

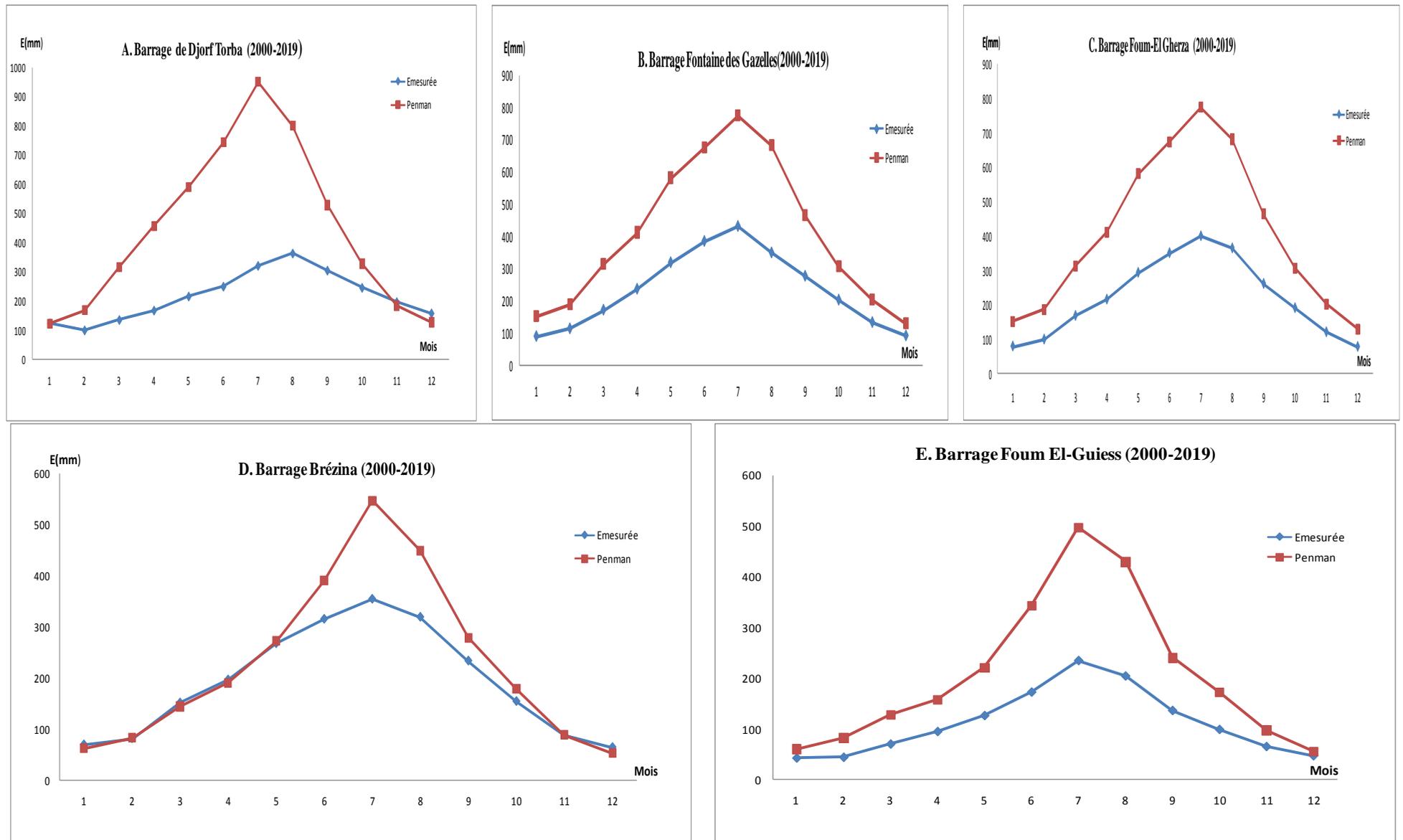


Figure III. 2. 3. 5. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par Penman (1948) et l'évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 2. 3. 26. Résultats obtenus par le modèle de Konstantinov (1968) –Barrage Djorf-Torba- Béchar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
E_{Konstantinov} (mm)	141,02	213,46	427,19	648,36	828,26	1 017,54	1 287,25	1060,0	695,73	404,03	220,84	148,75	7092,49
Erreur (%)	14%	104%	224%	296%	286%	300%	294%	196%	131%	65%	15%	-4%	176%

Tableau III. 3. 27. Résultats obtenus par le modèle de Konstantinov (1968) —Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{Konstantinov} (mm)	203,08	255,54	444,11	594,95	837,26	914,59	1 001,63	863,87	595,97	378,03	264,20	161,96	6515,18
Erreur (%)	114%	119%	148%	151%	154%	141%	132%	124%	117%	86%	97%	66%	128%

Tableau III. 2. 3. 28. Résultats obtenus par le modèle de Konstantinov (1968) —Barrage Foug El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{Konstantinov} (mm)	203,08	255,54	444,11	594,95	837,26	914,59	1001,63	863,87	595,97	378,03	264,20	161,96	6515,18
Erreur (%)	156%	157%	164%	176%	185%	161%	151%	137%	128%	98%	119%	108%	148%

Tableau III. 2. 3. 29. Résultats obtenus par le modèle de Konstantinov (1968) —Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
E_{Konstantinov} (mm)	75,72	105,10	187,72	249,58	348,85	488,62	679,44	538,62	334,06	208,07	105,83	61,95	3383,56
Erreur (%)	-9%	7%	8%	4%	5%	23%	55%	35%	14%	8%	-4%	-24%	19%

Tableau III. 2. 3. 30. Résultats obtenus par le modèle de Konstantinov (1968) —Barrage Foug El-Guies– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
E_{Konstantinov} (mm)	78,04	111,42	171,15	208,16	288,48	448,90	660,34	562,59	305,01	216,07	124,65	68,50	3243,32
Erreur (%)	82%	151%	143%	119%	128%	160%	181%	175%	123%	118%	90%	44%	142%

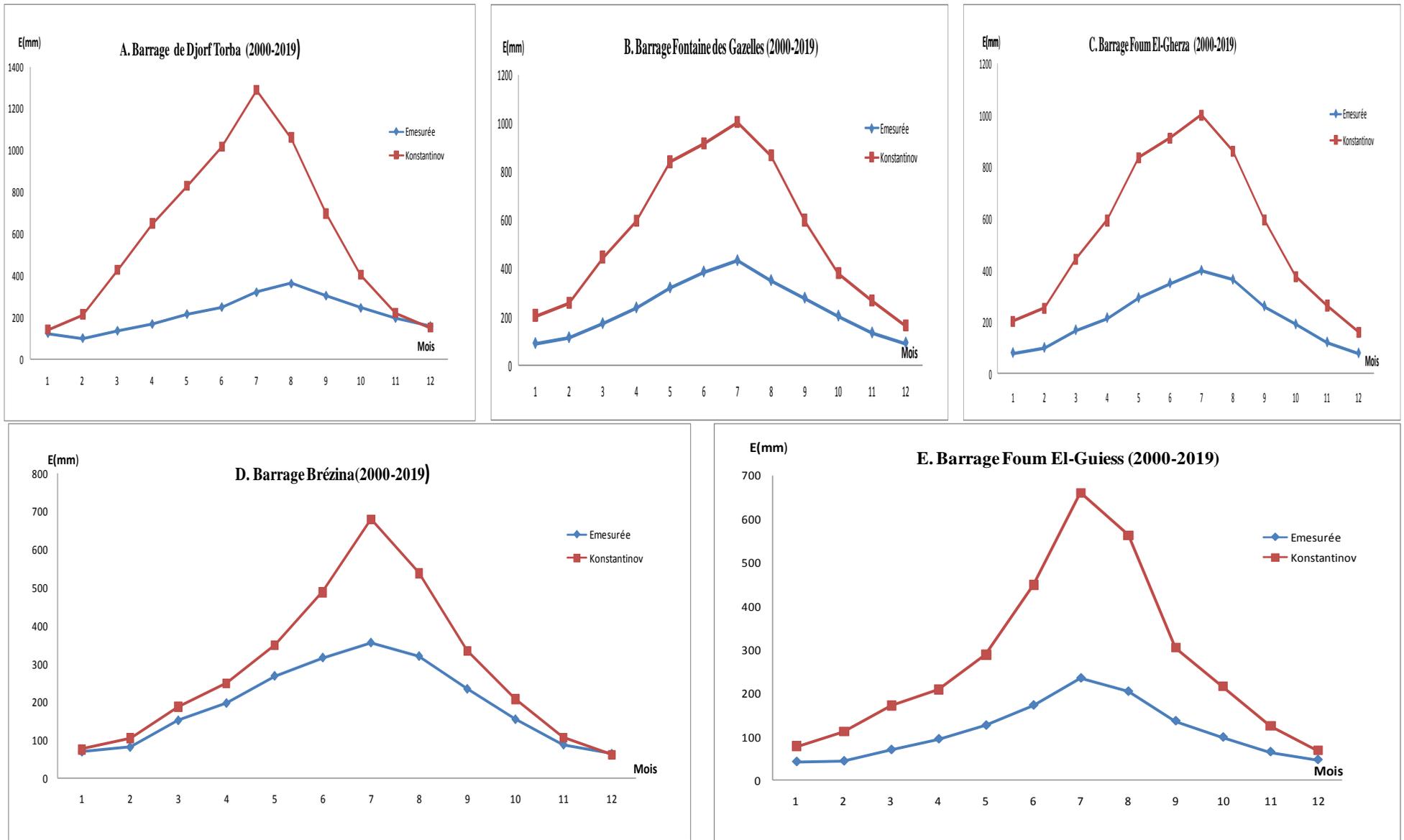


Figure III. 2. 3. 6. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par Konstantinov (1968) et l'évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 2. 3. 31. Résultats obtenus par le modèle de Dalton (1802) –Barrage Djorf-Torba- Béchar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
E_{Dalton} (mm)	73,85	86,54	146,61	192,50	255,29	337,87	441,19	387,91	257,82	176,53	103,61	80,99	2540,71
Erreur (%)	-40%	-17%	11%	18%	19%	33%	35%	8%	-14%	-28%	-46%	-48%	-1%

Tableau III. 2. 3. 32. Résultats obtenus par le modèle de Dalton (1802) –Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{Dalton} (mm)	71,98	85,85	132,32	167,16	237,81	313,72	391,92	356,86	237,80	167,50	100,23	69,39	2332,55
Erreur (%)	-24%	-27%	-26%	-29%	-28%	-17%	-9%	-7%	-14%	-18%	-25%	-29%	-19%

Tableau III. 2. 3. 33. Résultats obtenus par le modèle de Dalton (1802) –Barrage Foug El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{Dalton} (mm)	71,98	85,85	132,32	167,16	237,81	313,72	391,92	356,86	237,80	167,50	100,23	69,39	2332,55
Erreur (%)	-9%	-14%	-21%	-22%	-19%	-11%	-2%	-2%	-9%	-12%	-17%	-11%	-11%

Tableau III. 2. 3. 34. Résultats obtenus par le modèle de Dalton (1802) –Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
E_{Dalton} (mm)	36,37	43,83	71,76	94,07	138,96	207,26	293,96	254,23	156,95	105,15	50,38	31,66	1484,58
Erreur (%)	-56%	-56%	-59%	-61%	-58%	-48%	-33%	-36%	-46%	-46%	-55%	-61%	-48%

Tableau III. 2. 3. 35. Résultats obtenus par le modèle de Dalton (1802) –Barrage Foug El-Guies– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
E_{Dalton} (mm)	32,19	39,95	61,81	77,01	110,20	169,81	239,80	212,89	125,12	93,21	51,74	32,70	1246,43
Erreur (%)	-25%	-10%	-12%	-19%	-13%	-2%	2%	4%	-8%	-6%	-21%	-31%	-7%

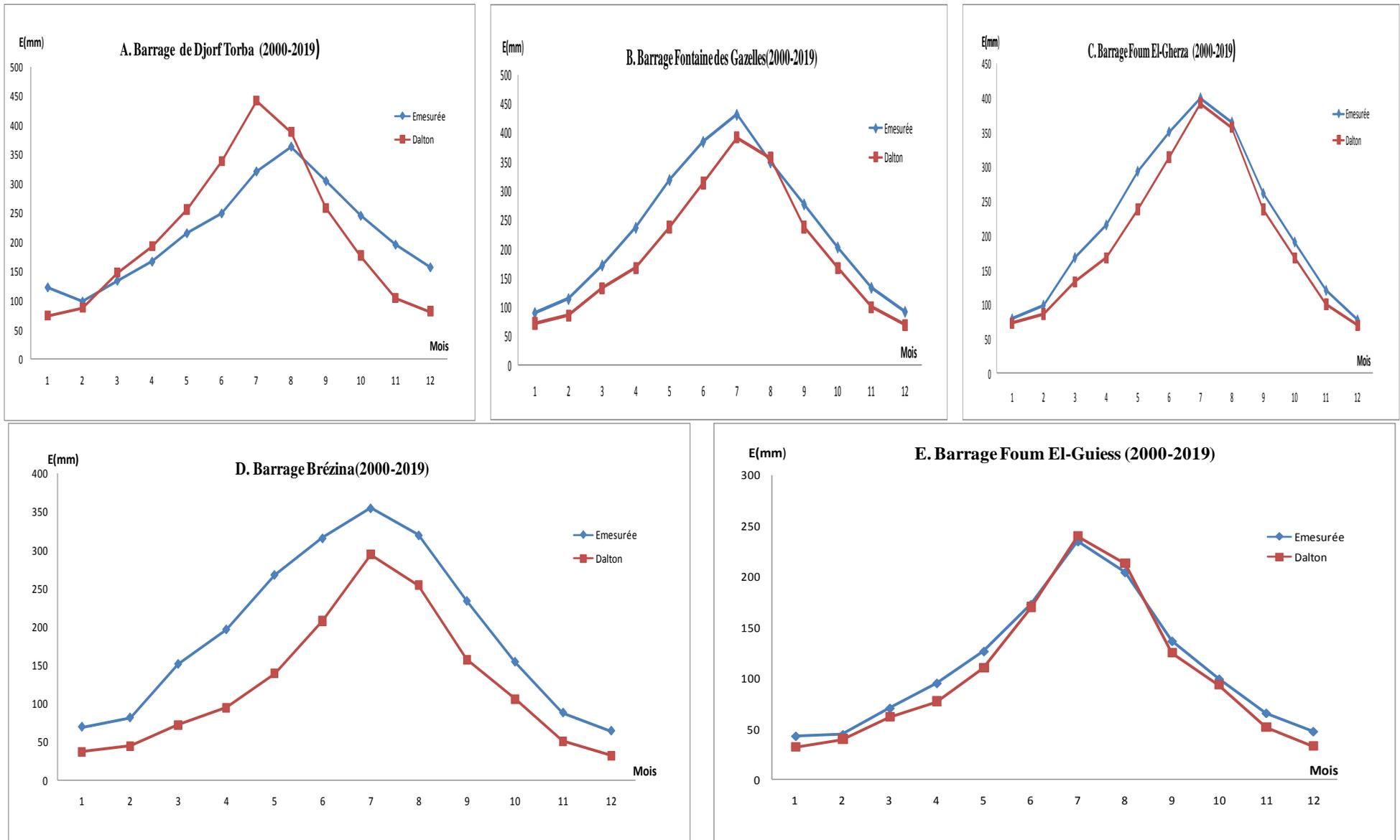


Figure III. 2. 3. 7. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par Dalton (1802) et l'évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 2. 3. 36. Résultats obtenus par le modèle de Mahringer (1970) –Barrage Djorf-Torba- Béchar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
E_{Mahringer}(mm)	89,54	118,61	216,60	303,65	396,06	506,89	652,36	556,96	368,24	234,12	132,74	93,62	3669,39
Erreur (%)	-28%	14%	64%	85%	85%	99%	100%	55%	22%	-4%	-31%	-39%	43%

Tableau III. 2. 3. 37. Résultats obtenus par le modèle de Mahringer (1970) –Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{Mahringer}(mm)	104,75	128,06	208,42	270,33	382,69	463,94	545,96	484,99	328,57	220,71	141,54	92,73	3372,70
Erreur (%)	10%	10%	17%	14%	16%	22%	27%	26%	19%	9%	6%	-5%	18%

Tableau III. 2. 3. 38. Résultats obtenus par le modèle de Mahringer (1970) –Barrage Foug El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{Mahringer}(mm)	104,75	128,06	208,42	270,33	382,69	463,94	545,96	484,99	328,57	220,71	141,54	92,73	3372,70
Erreur (%)	32%	29%	24%	25%	30%	32%	37%	33%	26%	16%	17%	19%	29%

Tableau 2. 3. 39. Résultats obtenus par le modèle de Mahringer (1970) –Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
E_{Mahringer}(mm)	44,94	58,78	100,71	133,13	192,06	278,55	391,35	325,32	201,47	130,19	63,67	38,34	1958,50
Erreur (%)	-46%	-40%	-42%	-45%	-42%	-30%	-11%	-18%	-31%	-33%	-43%	-53%	-31%

Tableau III. 2. 3. 40. Résultats obtenus par le modèle de Mahringer (1970) –Barrage Foug El-Guiss– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
E_{Mahringer}(mm)	43,11	57,49	89,07	109,96	155,20	240,50	345,73	301,27	170,83	124,11	69,79	40,95	1748,00
Erreur (%)	0%	9%	-26%	-16%	-23%	-39%	-47%	-47%	-25%	-25%	-6%	14%	-30%

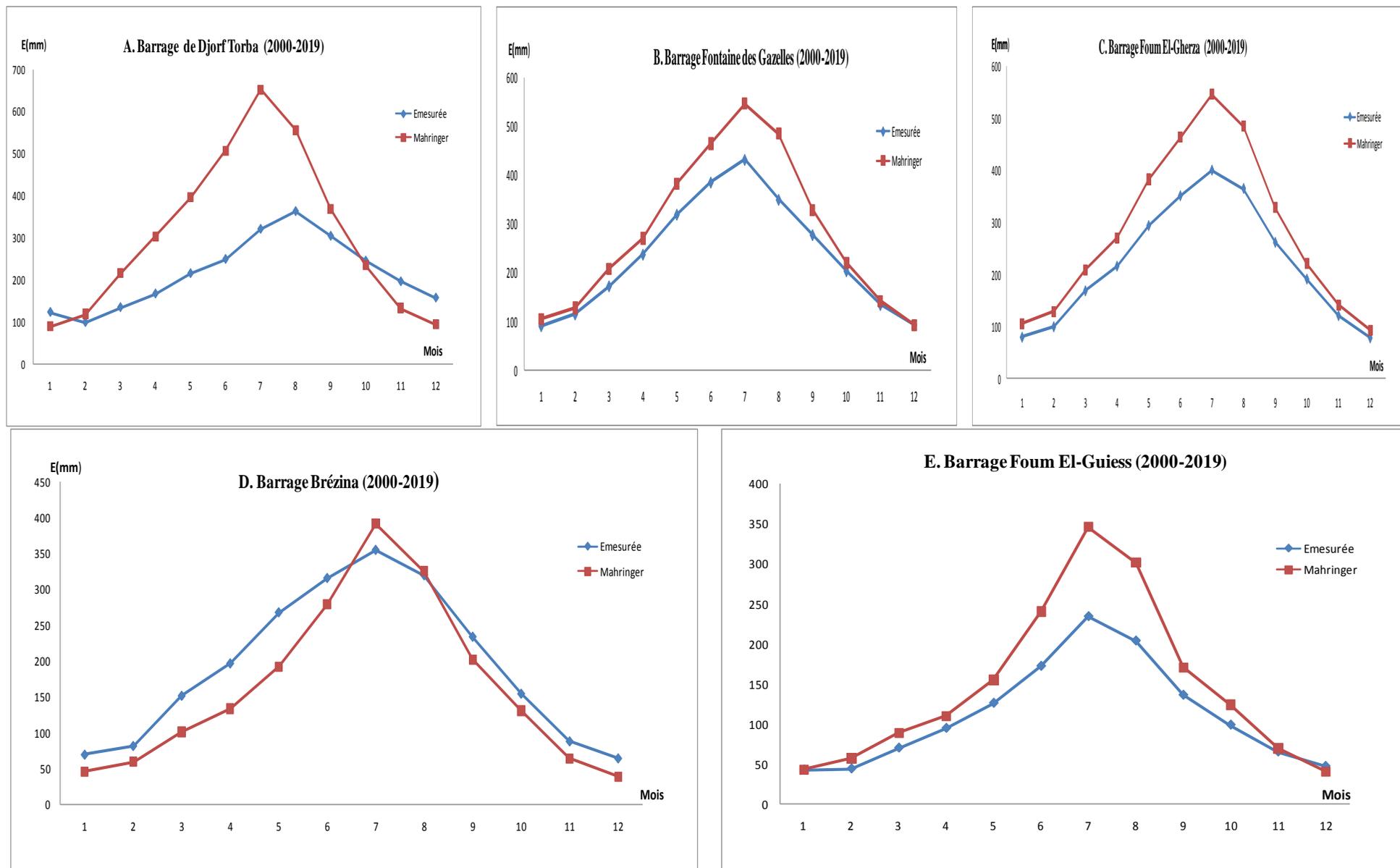


Figure III. 2. 3. 8. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par Mahringer (1970) et l'évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 2. 3. 41. Résultats obtenus par le modèle de Vikulina (1979) –Barrage Djorf-Torba- Béchar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
E_{Vikulina}(mm)	79,73	111,38	212,05	310,06	399,92	500,92	638,98	536,26	353,51	216,37	120,78	82,06	3562,03
Erreur (%)	-36%	7%	61%	89%	87%	97%	95%	50%	17%	-12%	-37%	-47%	39%

Tableau III. 2. 3. 42. Résultats obtenus par le modèle de Vikulina (1979) –Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{Vikulina}(mm)	101,64	126,11	212,62	280,92	396,27	454,47	517,05	453,52	309,84	203,37	135,03	86,00	3276,84
Erreur (%)	7%	8%	19%	19%	20%	20%	20%	18%	13%	0%	1%	-12%	14%

Tableau III. 2. 3. 43. Résultats obtenus par le modèle de Vikulina (1979) –Barrage Foug El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{Vikulina}(mm)	101,64	126,11	212,62	280,92	396,27	454,47	517,05	453,52	309,84	203,37	135,03	86,00	3276,84
Erreur (%)	28%	27%	26%	30%	35%	30%	29%	24%	19%	7%	12%	10%	25%

Tableau III. 2. 3. 44. Résultats obtenus par le modèle de Vikulina (1979) –Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
E_{Vikulina}(mm)	40,30	54,61	95,76	127,15	181,14	259,05	362,32	295,89	183,48	116,84	57,61	34,12	1808,27
Erreur (%)	-52%	-45%	-45%	-47%	-46%	-35%	-17%	-26%	-37%	-39%	-48%	-58%	-36%

Tableau III. 2. 3. 45. Résultats obtenus par le modèle de Vikulina (1979) –Barrage Foug El-Guiss– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
E_{Vikulina}(mm)	40,02	55,43	85,93	105,54	147,85	229,80	333,66	287,74	160,12	114,91	65,01	36,92	1662,93
Erreur (%)	-7%	25%	22%	11%	17%	33%	42%	41%	17%	16%	-1%	-22%	24%

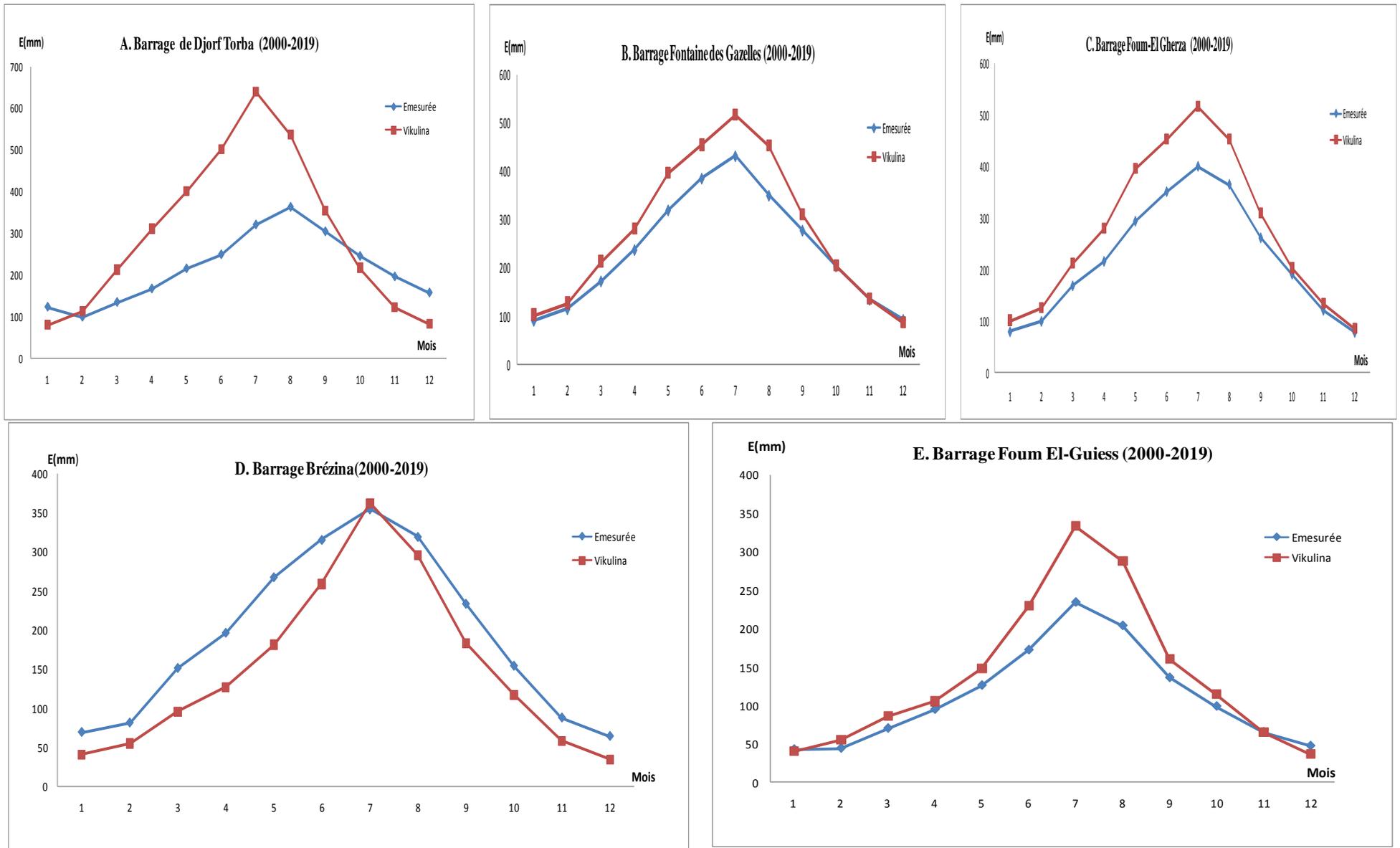


Figure III. 2. 3. 9. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par Vikulina (1979) et l'évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 2. 3. 46. Résultats obtenus par le modèle de WMO (1966) –Barrage Djorf-Torba- Béchar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
E_{WMO} (mm)	51,63	76,18	148,33	222,67	283,72	347,80	439,08	362,88	239,71	141,70	78,95	51,24	2443,91
Erreur (%)	-58%	-27%	13%	36%	32%	37%	34%	1%	-20%	-42%	-59%	-67%	-5%

Tableau III. 2. 3. 47. Résultats obtenus par le modèle de WMO (1966) –Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{WMO} (mm)	72,59	90,07	153,94	204,69	286,56	313,35	343,66	297,27	206,37	132,86	93,35	59,02	2253,72
Erreur (%)	-24%	-23%	-14%	-14%	-13%	-17%	-20%	-23%	-25%	-35%	-30%	-40%	-21%

Tableau III. 2. 3. 48. Résultats obtenus par le modèle de WMO (1966) –Barrage Foug El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{WMO} (mm)	72,59	90,07	153,94	204,69	286,56	313,35	343,66	297,27	206,37	132,86	93,35	59,02	2253,72
Erreur (%)	-8%	-9%	-9%	-5%	-2%	-11%	-14%	-18%	-21%	-30%	-23%	-24%	-14%

Tableau III. 2. 3. 49. Résultats obtenus par le modèle de WMO (1966) –Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
E_{WMO} (mm)	28,42	38,77	67,22	88,23	122,41	170,18	235,15	187,74	118,07	74,87	39,35	24,38	1194,80
Erreur (%)	-66%	-61%	-61%	-63%	-63%	-57%	-46%	-53%	-60%	-61%	-64%	-70%	-58%

Tableau III. 2. 3. 50. Résultats obtenus par le modèle de WMO (1966) –Barrage Foug El-Guiss– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
E_{WMO} (mm)	29,65	40,91	61,65	74,28	101,81	156,40	227,86	194,89	107,74	77,33	45,72	26,59	1144,83
Erreur (%)	-31%	-8%	-13%	-22%	-20%	-10%	-3%	-5%	-21%	-22%	-30%	-44%	-15%

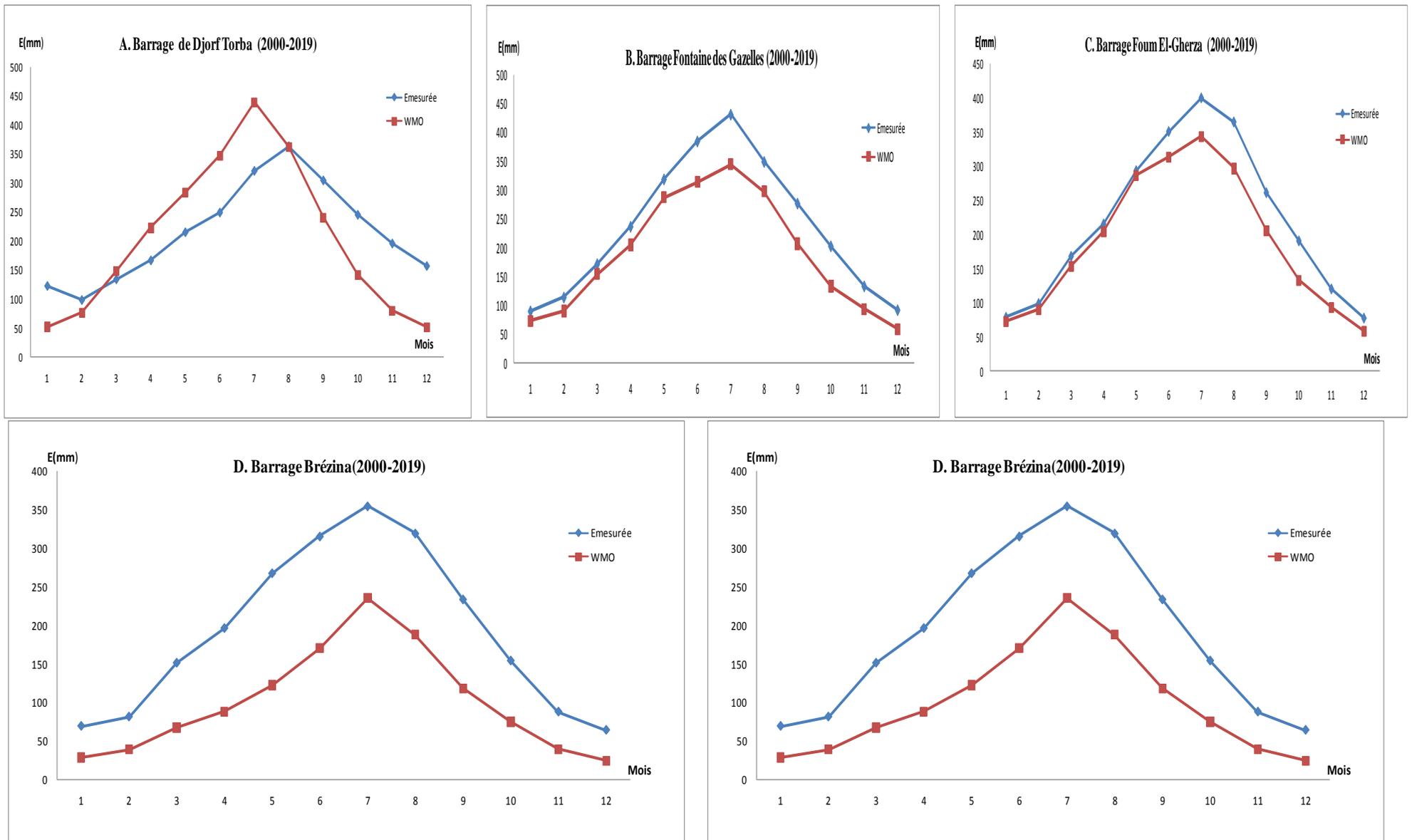


Figure III. 2. 3. 10. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par WMO (1966) et l'évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 2. 3. 51. Résultats obtenus par le modèle de Trabert (1896) –Barrage Djorf-Torba- Béchar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
E_{Trabert} (mm)	96,28	127,54	232,91	326,50	425,88	545,05	701,47	598,89	395,97	251,75	142,73	100,67	3945,63
Erreur (%)	-22%	22%	77%	99%	99%	114%	115%	67%	31%	3%	-25%	-35%	54%

Tableau III. 2. 3. 52. Résultats obtenus par le modèle de Trabert (1896) –Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{Trabert} (mm)	112,64	137,70	224,11	290,68	411,50	498,87	587,07	521,50	353,30	237,33	152,19	99,71	3626,61
Erreur (%)	19%	18%	25%	23%	25%	31%	36%	35%	28%	17%	14%	2%	27%

Tableau III. 2. 3. 53. Résultats obtenus par le modèle de Trabert (1896) –Barrage Foum El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{Trabert} (mm)	112,64	137,70	224,11	290,68	411,50	498,87	587,07	521,50	353,30	237,33	152,19	99,71	3626,61
Erreur (%)	42%	39%	33%	35%	40%	42%	47%	43%	35%	24%	26%	28%	38%

Tableau III. 2. 3. 54. Résultats obtenus par le modèle de Trabert (1896) –Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
E_{Trabert} (mm)	48,32	63,20	108,30	143,15	206,52	299,52	420,82	349,81	216,63	139,99	68,47	41,23	2105,95
Erreur (%)	-42%	-36%	-38%	-41%	-38%	-25%	-4%	-12%	-26%	-28%	-38%	-9%	-26%

Tableau III. 2. 3. 55. Résultats obtenus par le modèle de Trabert (1896) –Barrage Foum El-Guiss– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
E_{Trabert} (mm)	46,35	61,82	95,77	118,24	166,89	258,60	371,76	323,95	183,69	133,45	75,04	44,04	1879,60
Erreur (%)	8%	39%	36%	24%	32%	50%	58%	58%	34%	34%	14%	-7%	40%

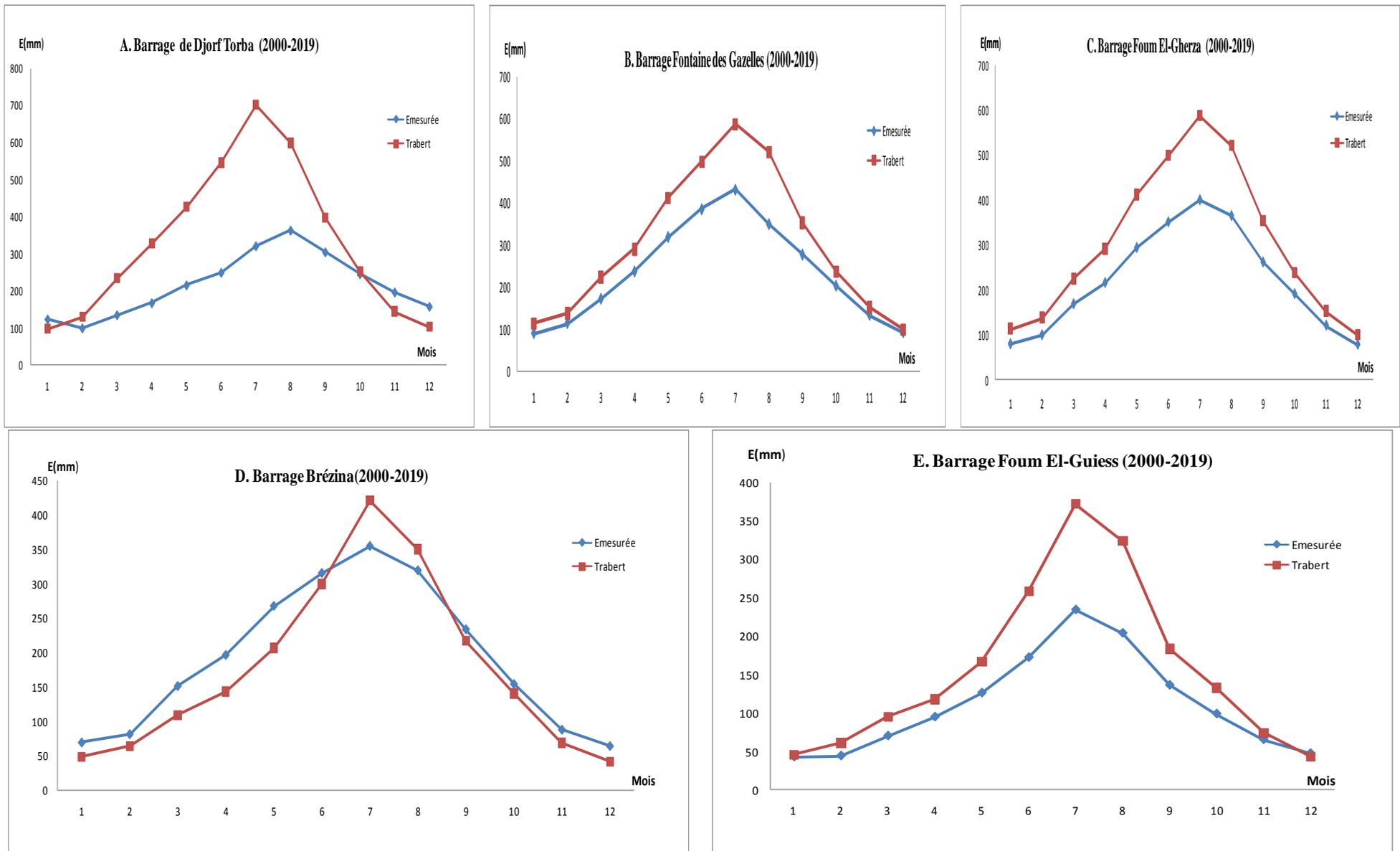


Figure III. 2. 3. 11. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par Trabert (1896) et l'évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 2. 3. 56. Résultats obtenus par le modèle de Meyer-2 (1926) –Barrage Djorf-Torba- Bechar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
E_{Meyer-2}(mm)	97,74	122,17	216,90	298,22	390,70	505,04	653,06	563,33	373,18	244,60	140,93	104,91	3710,78
Erreur (%)	-21%	17%	65%	82%	82%	99%	100%	57%	24%	0%	-26%	-32%	44%

Tableau III. 2. 3. 57. Résultats obtenus par le modèle de Meyer-2 (1926) –Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{Meyer-2}(mm)	105,44	127,83	204,77	263,93	374,04	464,42	558,64	501,33	337,31	231,27	144,05	96,55	3409,58
Erreur (%)	11%	9%	15%	11%	14%	22%	30%	30%	23%	14%	7%	-1%	19%

Tableau III. 2. 3. 58. Résultats obtenus par le modèle de Meyer-2 (1926) –Barrage Foug El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{Meyer-2}(mm)	105,44	127,83	204,77	263,93	374,04	464,42	558,64	501,33	337,31	231,27	144,05	96,55	3409,58
Erreur (%)	33%	29%	22%	22%	27%	32%	40%	37%	29%	21%	19%	24%	30%

Tableau III. 2. 3. 59. Résultats obtenus par le modèle de Meyer-2 (1926) –Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
E_{Meyer-2}(mm)	48,57	61,11	102,75	135,38	197,15	289,32	408,18	345,59	213,70	140,58	68,05	41,88	2052,26
Erreur (%)	-42%	-38%	-41%	-44%	-41%	-27%	-7%	-13%	-27%	-27%	-39%	-49%	-28%

Tableau III. 2. 3. 60. Résultats obtenus par le modèle de Meyer-2 (1926) –Barrage Foug El-Guies– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
E_{Meyer-2}(mm)	44,85	58,10	89,96	111,44	158,13	244,50	349,16	306,37	176,24	129,44	72,37	43,97	1784,53
Erreur (%)	4%	31%	28%	17%	25%	41%	49%	50%	29%	30%	10%	-7%	33%

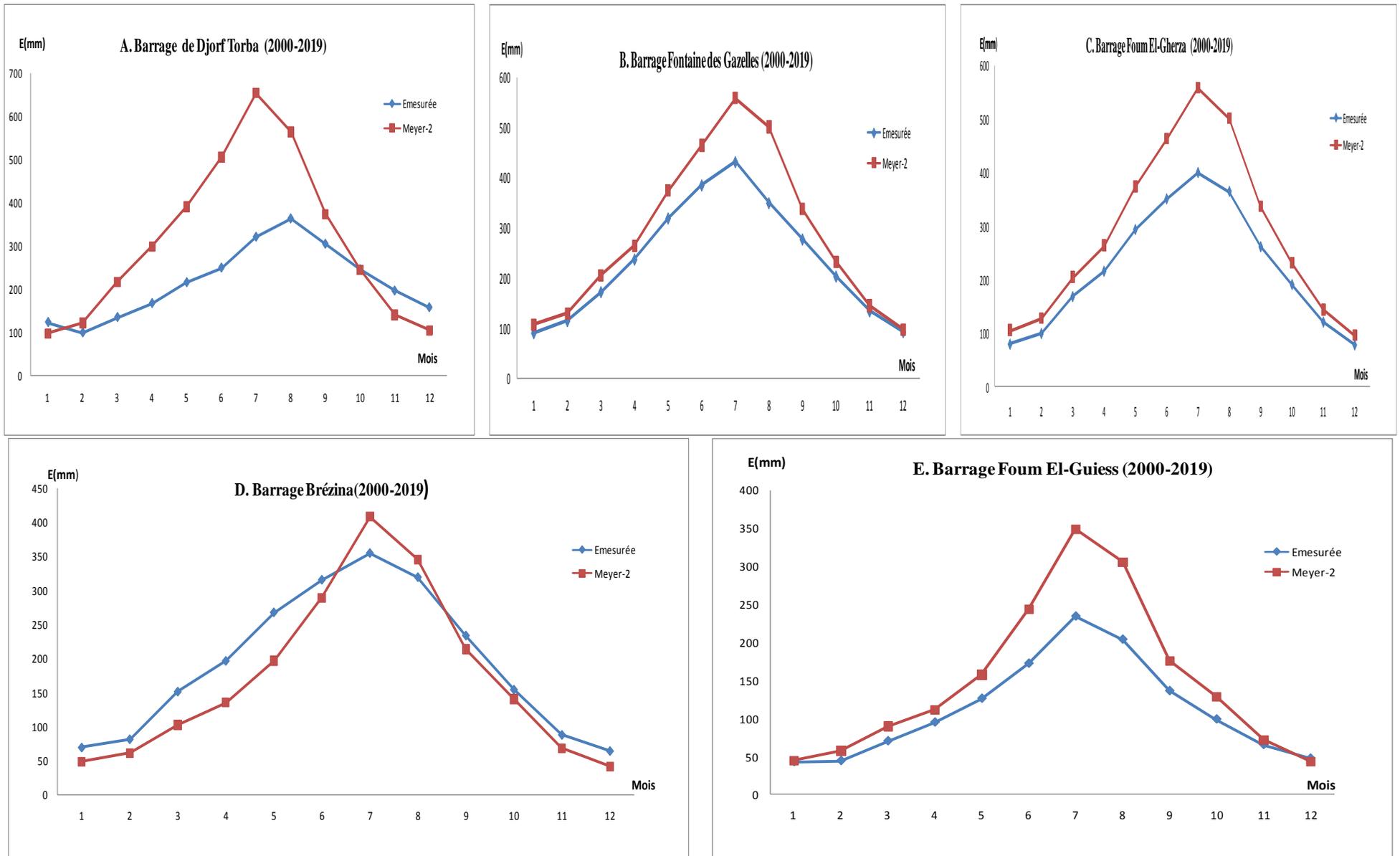


Figure III. 2. 3. 12. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par Meyer-2 (1926) et l'évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 2. 3. 61. Résultats obtenus par le modèle d'Oudin-1 (2005) –Barrage Djorf-Torba- Béchar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
E_{Oudin-1} (mm)	141,21	167,77	267,69	338,03	432,22	544,31	677,34	607,45	426,76	314,50	192,77	130,39	4240,44
Erreur (%)	14%	61%	103%	106%	102%	114%	107%	69%	42%	28%	1%	-16%	65%

Tableau III. 2. 3. 62. Résultats obtenus par le modèle d'Oudin-1 (2005) –Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{Oudin-1} (mm)	134,36	159,90	238,90	291,59	394,73	500,63	602,66	548,86	386,08	288,62	180,15	131,07	3857,55
Erreur (%)	41%	37%	34%	23%	20%	32%	40%	42%	40%	42%	34%	34%	35%

Tableau III. 2. 3. 63. Résultats obtenus par le modèle d'Oudin-1 (2005) –Barrage Foum El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{Oudin-1} (mm)	134,36	159,90	238,90	291,59	394,73	500,63	602,66	548,86	386,08	288,62	180,15	131,07	3857,55
Erreur (%)	69%	61%	42%	35%	35%	43%	51%	51%	48%	51%	49%	68%	47%

Tableau III. 2. 3. 64. Résultats obtenus par le modèle d'Oudin-1 (2005) –Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
E_{Oudin-1} (mm)	65,67	81,59	134,24	174,73	254,78	367,51	498,47	434,33	282,76	192,60	94,00	59,45	2640,13
Erreur (%)	-21%	-17%	-23%	-27%	-23%	-8%	14%	9%	-3%	0%	-15%	-27%	-7%

Tableau III. 2. 3. 65. Résultats obtenus par le modèle d'Oudin-1 (2005) –Barrage Foum El-Guies– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
E_{Oudin-1} (mm)	58,72	73,25	114,88	141,85	197,23	297,33	400,05	355,35	219,14	166,94	94,84	60,84	2180,42
Erreur (%)	37%	65%	63%	49%	56%	72%	70%	74%	60%	68%	45%	28%	63%

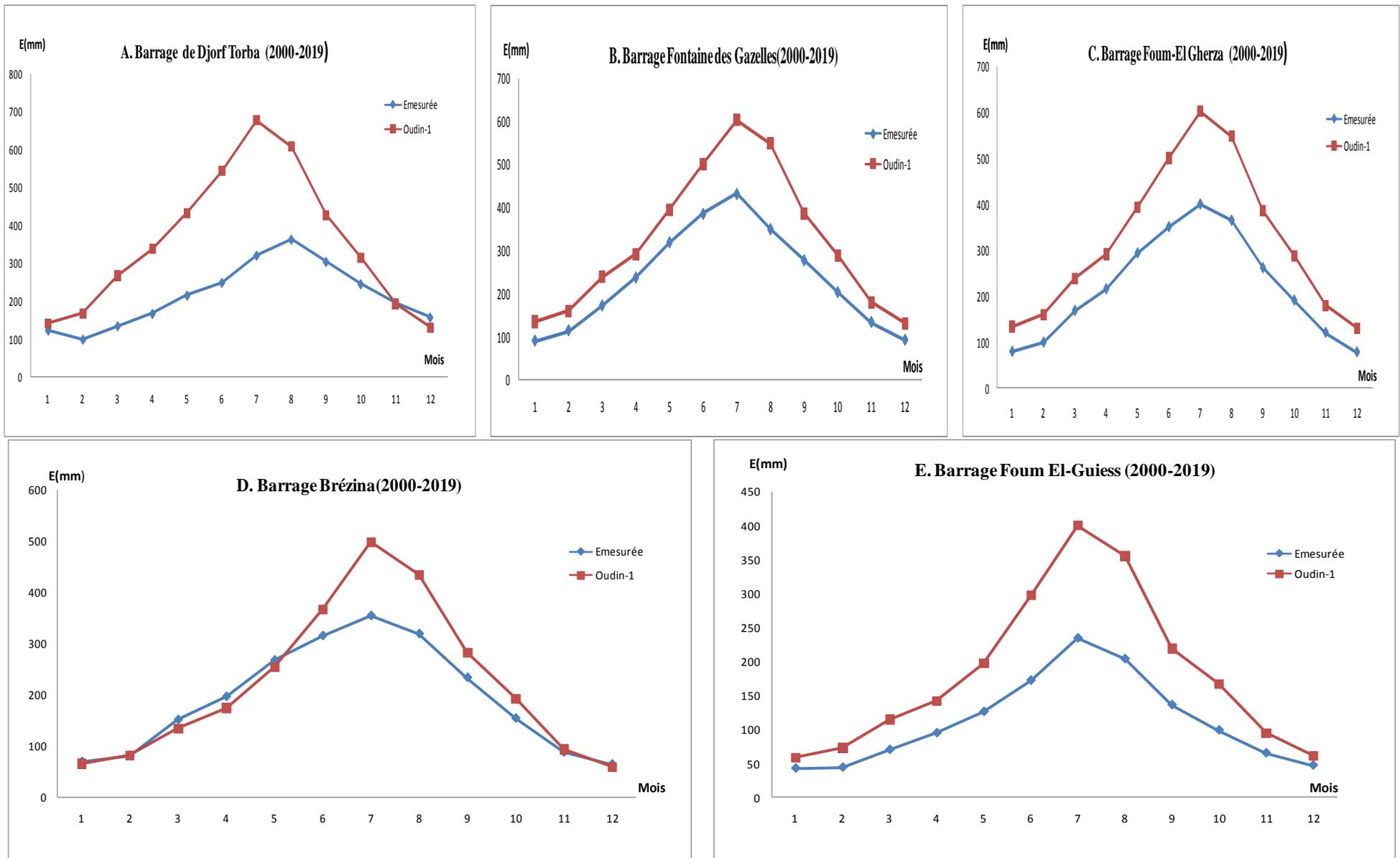


Figure III. 2. 3. 13. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par Oudin-1 (2005) et l'évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 2. 3. 66. Résultats obtenus par le modèle de Ryan - Harleman (1973) –Barrage Djorf-Torba- Béchar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
E_{Ryan-Harlem} (mm)	49,81	72,20	147,53	225,29	275,90	316,82	384,00	308,32	210,81	118,62	70,86	93,56	2273,73
Erreur (%)	-60%	-31%	12%	38%	29%	25%	17%	-14%	-30%	-52%	-63%	-39%	-12%

Tableau III. 2. 3. 67. Résultats obtenus par le modèle de Ryan - Harleman (1973) –Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{Baier-Rob} (mm)	101,96	130,23	207,06	263,08	353,97	438,87	520,27	477,91	337,84	249,37	146,57	96,49	3323,63
Erreur (%)	7%	11%	16%	11%	7%	16%	21%	24%	23%	23%	9%	-1%	16%

Tableau III. 2. 3. 68. Résultats obtenus par le modèle de Ryan - Harleman (1973) –Barrage Foug El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{Ryan-Harlem} (mm)	74,70	92,41	159,06	210,48	288,11	280,74	277,43	235,99	174,61	111,68	91,10	55,81	2052,11
Erreur (%)	-6%	-7%	-5%	-2%	-2%	-20%	-31%	-35%	-33%	-41%	-25%	-28%	-22%

Tableau III. 2. 3. 69. Résultats obtenus par le modèle de Ryan - Harleman (1973) –Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
E_{Ryan-Harlem} (mm)	42,67	54,91	70,95	88,17	112,62	141,26	184,42	142,12	95,13	65,03	52,19	33,71	1083,19
Erreur (%)	-49%	-44%	-59%	-63%	-66%	-65%	-58%	-64%	-68%	-66%	-53%	-59%	-62%

Tableau III. 2. 3. 70. Résultats obtenus par le modèle de Ryan - Harleman (1973) –Barrage Foug El-Guies– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
E_{Ryan-Harlem} (mm)	41,93	57,22	65,42	74,58	97,71	140,35	204,16	173,80	96,33	72,73	51,30	36,96	1112,48
Erreur (%)	-2%	29%	-7%	-22%	-23%	-19%	-13%	-15%	-29%	-27%	-22%	-22%	-17%

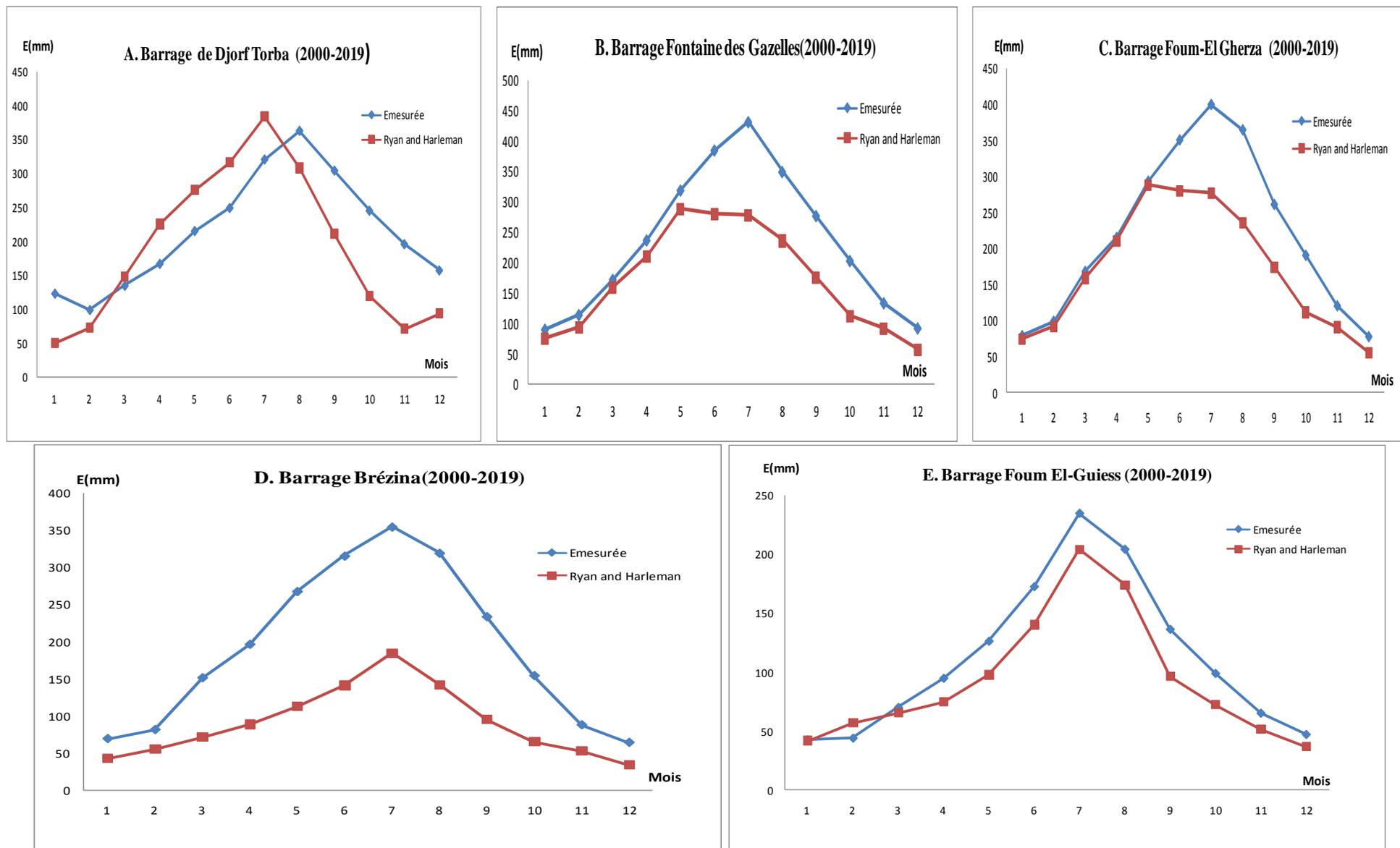


Figure III. 2. 3. 14. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par Ryan -Harleman (1973) et l'évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 2. 3. 71. Résultats obtenus par le modèle de Horton (1917) –Barrage Djorf-Torba- Béchar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
E_{Horton} (mm)	115,41	133,13	222,81	288,81	384,34	512,00	670,37	592,41	394,08	272,85	160,88	127,21	3874,30
Erreur (%)	-7%	27%	69%	76%	79%	101%	105%	65%	31%	11%	-16%	-18%	51%

Tableau III. 2. 3. 72. Résultats obtenus par le modèle de Horton (1917) –Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{Horton}(mm)	109,68	130,23	198,58	249,42	355,23	476,67	601,46	549,69	365,40	259,12	153,48	107,15	3556,10
Erreur (%)	-15%	11%	11%	5%	8%	26%	39%	43%	33%	28%	15%	10%	24%

Tableau III. 2. 3. 73. Résultats obtenus par le modèle de Horton (1917) - Barrage Foug El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{Horton}(mm)	109,68	130,23	198,58	249,42	355,23	476,67	601,46	549,69	365,40	259,12	153,48	107,15	3556,10
Erreur (%)	-38%	31%	18%	16%	21%	36%	50%	51%	40%	36%	27%	37%	36%

Tableau III. 2. 3. 73. Résultats obtenus par le modèle de Horton (1917) -Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
E_{Horton} (mm)	56,72	67,64	109,99	144,01	213,52	319,76	454,13	394,80	243,63	163,94	78,36	49,49	2296,00
Erreur (%)	-32%	-31%	-37%	-40%	-36%	-20%	4%	-1%	-17%	-15%	-29%	-39%	-19%

Tableau III. 2. 3. 75. Résultats obtenus par le modèle de Horton (1917) - Barrage Foug El-Guies– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
E_{Horton}(mm)	49,69	60,98	94,33	117,72	168,83	259,91	365,97	325,89	192,59	143,99	79,79	50,92	1910,63
Erreur (%)	16%	37%	34%	24%	33%	50%	56%	59%	41%	45%	22%	7%	42%

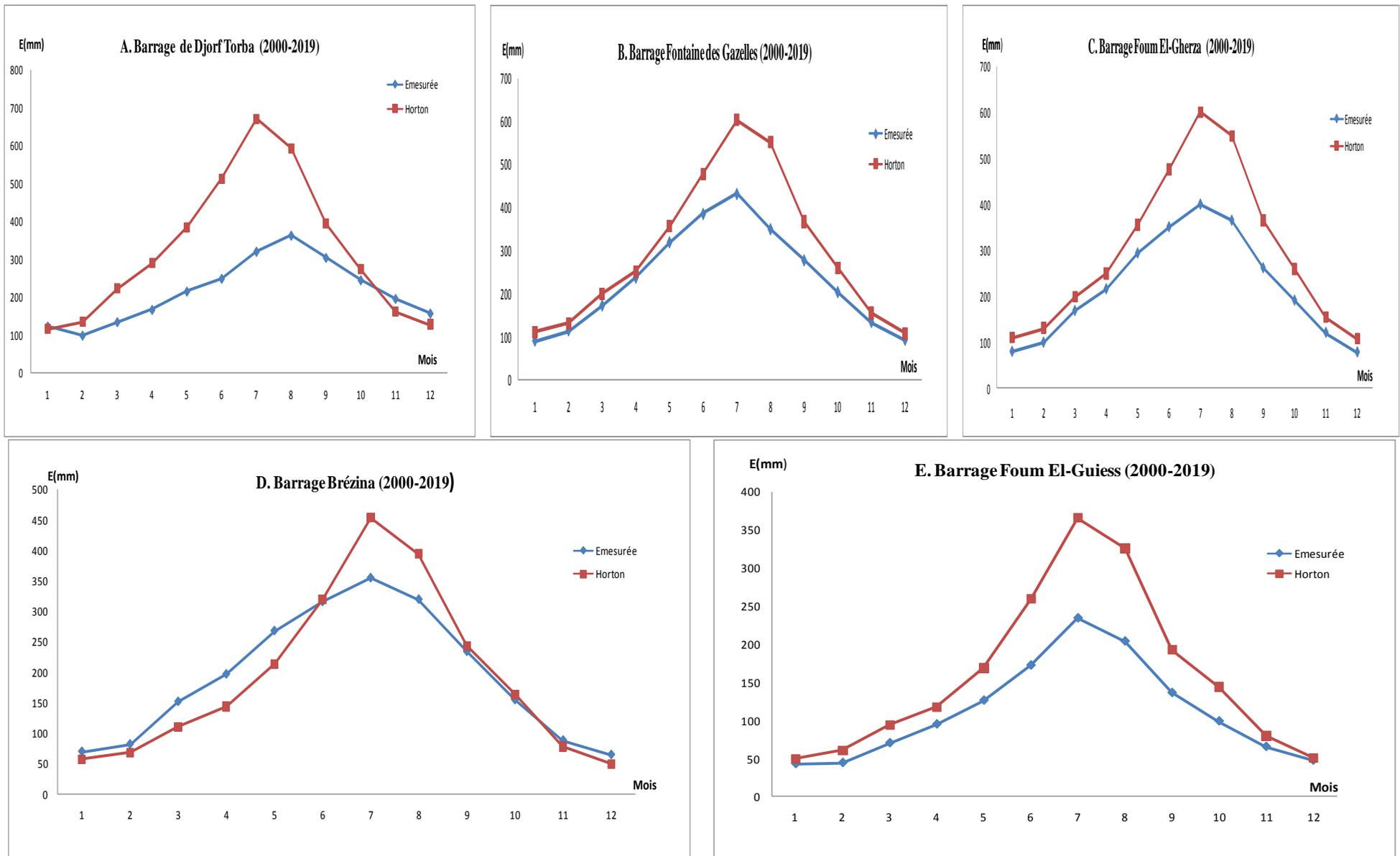


Figure III. 2. 3. 15. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par Horton (1917) et l'évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 2. 3. 76. Résultats obtenus par le modèle Brockamp -Wenner (1963) –Barrage Djorf-Torba- Béchar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
E_{Broc- Wenner} (mm)	162,88	213,15	386,28	537,78	702,69	902,50	1 163,27	996,18	658,99	422,13	240,15	171,10	6557,11
Erreur (%)	32%	104%	193%	228%	228%	255%	256%	178%	119%	72%	25%	11%	155%

Tableau III. 2. 3. 77. Résultats obtenus par le modèle de Brockamp -Wenner (1963) –Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{Broc- Wenner} (mm)	187,10	228,15	369,19	477,50	676,32	827,28	979,53	872,31	589,98	398,21	253,58	167,06	6026,22
Erreur (%)	97%	95%	107%	102%	105%	118%	127%	126%	115%	96%	89%	71%	111%

Tableau III. 2. 3. 78. Résultats obtenus par le modèle de Brockamp - Wenner (1963) –Barrage Foug El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{Broc- Wenner} (mm)	187,10	228,15	369,19	477,50	676,32	827,28	979,53	872,31	589,98	398,21	253,58	167,06	6026,22
Erreur (%)	-136%	130%	119%	122%	131%	136%	145%	139%	126%	109%	110%	114%	130%

Tableau III. 2. 3. 79. Résultats obtenus par le modèle de Brockamp - Wenner (1963) –Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
E_{Broc- Wenner} (mm)	81,59	105,86	180,55	238,47	344,85	501,57	705,36	588,66	364,43	236,34	115,36	69,75	3532,79
Erreur (%)	-2%	7%	3%	-1%	4%	26%	61%	48%	24%	-22%	4%	-14%	24%

Tableau III. 2. 3. 80. Résultats obtenus par le modèle de Brockamp -Wenner (1963) –Barrage Foug El-Guies– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
E_{Broc- Wenner} (mm)	77,65	102,80	159,24	196,78	278,15	430,76	618,11	539,65	307,12	223,68	125,62	74,26	3133,81
Erreur (%)	81%	131%	126%	107%	120%	149%	163%	164%	125%	125%	92%	56%	134%

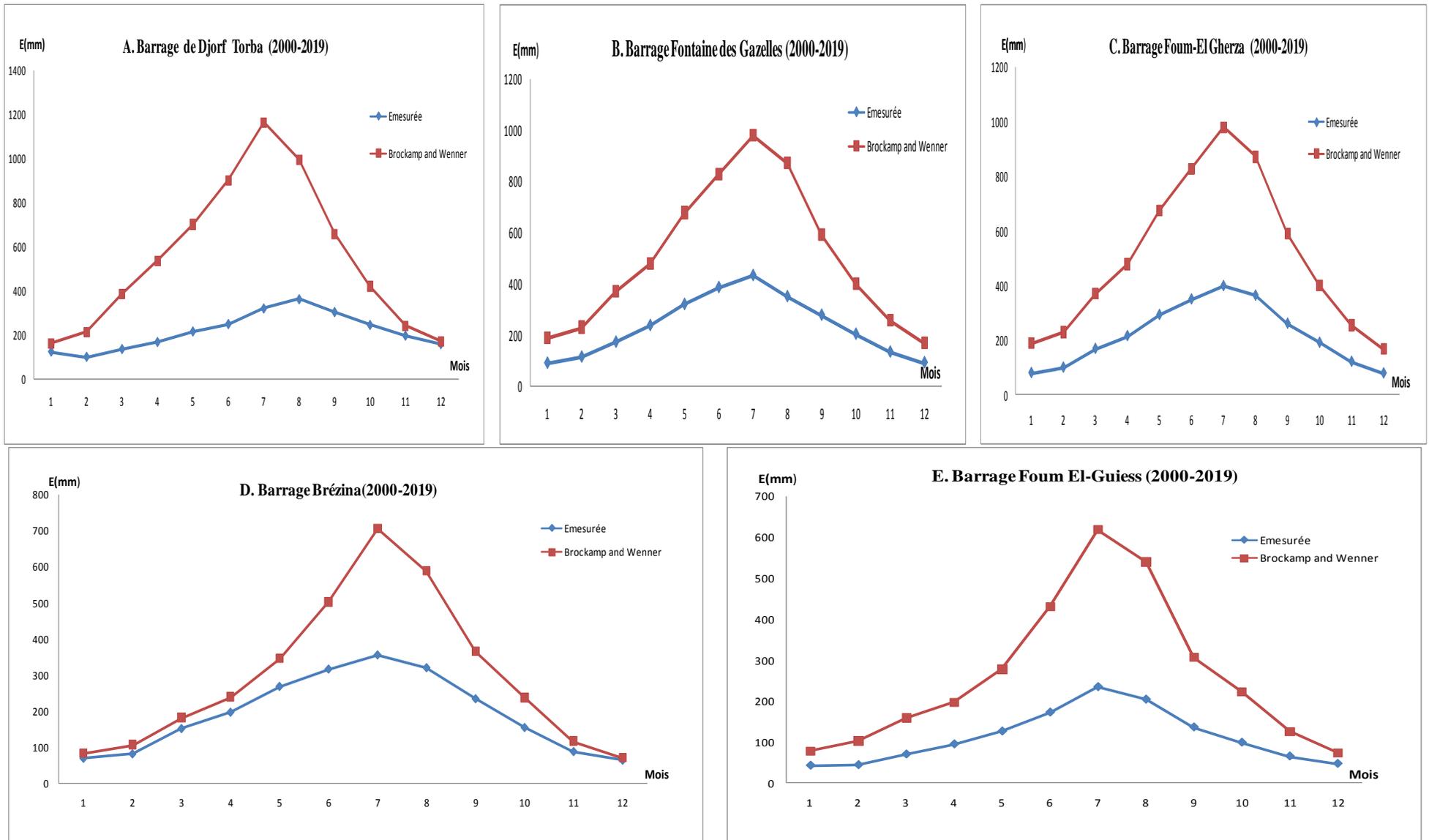


Figure III. 2. 3. 16. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par Brockamp-Wenner (1963) et l'évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 2. 3. 81. Résultats obtenus par le modèle de Shuliakovski (1969) –Barrage Djorf-Torba- Béchar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
E_{Shuliakovski} (mm)	83,90	117,02	222,56	325,18	419,50	525,66	670,65	563,04	371,19	227,40	127,00	86,40	3739,49
Erreur (%)	-32%	12%	69%	98%	96%	107%	105%	57%	23%	-7%	-34%	-44%	46%

Tableau III. 2. 3. 82. Résultats obtenus par le modèle de Shuliakovski (1969) –Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{Shuliakovski} (mm)	106,70	132,35	222,99	294,54	415,50	476,99	543,08	476,50	325,47	213,75	141,80	90,37	3440,03
Erreur (%)	12%	13%	25%	24%	26%	26%	26%	24%	18%	5%	6%	-7%	20%

Tableau III. 2. 3. 83. Résultats obtenus par le modèle de Shuliakovski (1969) –Barrage Foug El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{Shuliakovski} (mm)	106,70	132,35	222,99	294,54	415,50	476,99	543,08	476,50	325,47	213,75	141,80	90,37	3440,03
Erreur (%)	35%	33%	32%	37%	42%	36%	36%	31%	25%	12%	18%	16%	31%

Tableau III. 2. 3. 84. Résultats obtenus par le modèle de Shuliakovski (1969) –Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
E_{Shuliakovski} (mm)	42,39	57,38	100,57	133,52	190,27	272,22	380,78	311,12	192,92	122,91	60,59	35,91	1900,58
Erreur (%)	-49%	-42%	-42%	-45%	-43%	-32%	-13%	-22%	-34%	-36%	-45%	-56%	-33%

Tableau III. 2. 3. 85. Résultats obtenus par le modèle de Shuliakovski (1969) –Barrage Foug El-Guies– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
E_{Shuliakovski} (mm)	42,05	58,19	90,22	110,82	155,27	241,32	350,31	302,17	168,22	120,76	68,31	38,83	1746,47
Erreur (%)	-2%	31%	28%	16%	23%	40%	49%	48%	23%	22%	4%	-18%	30%

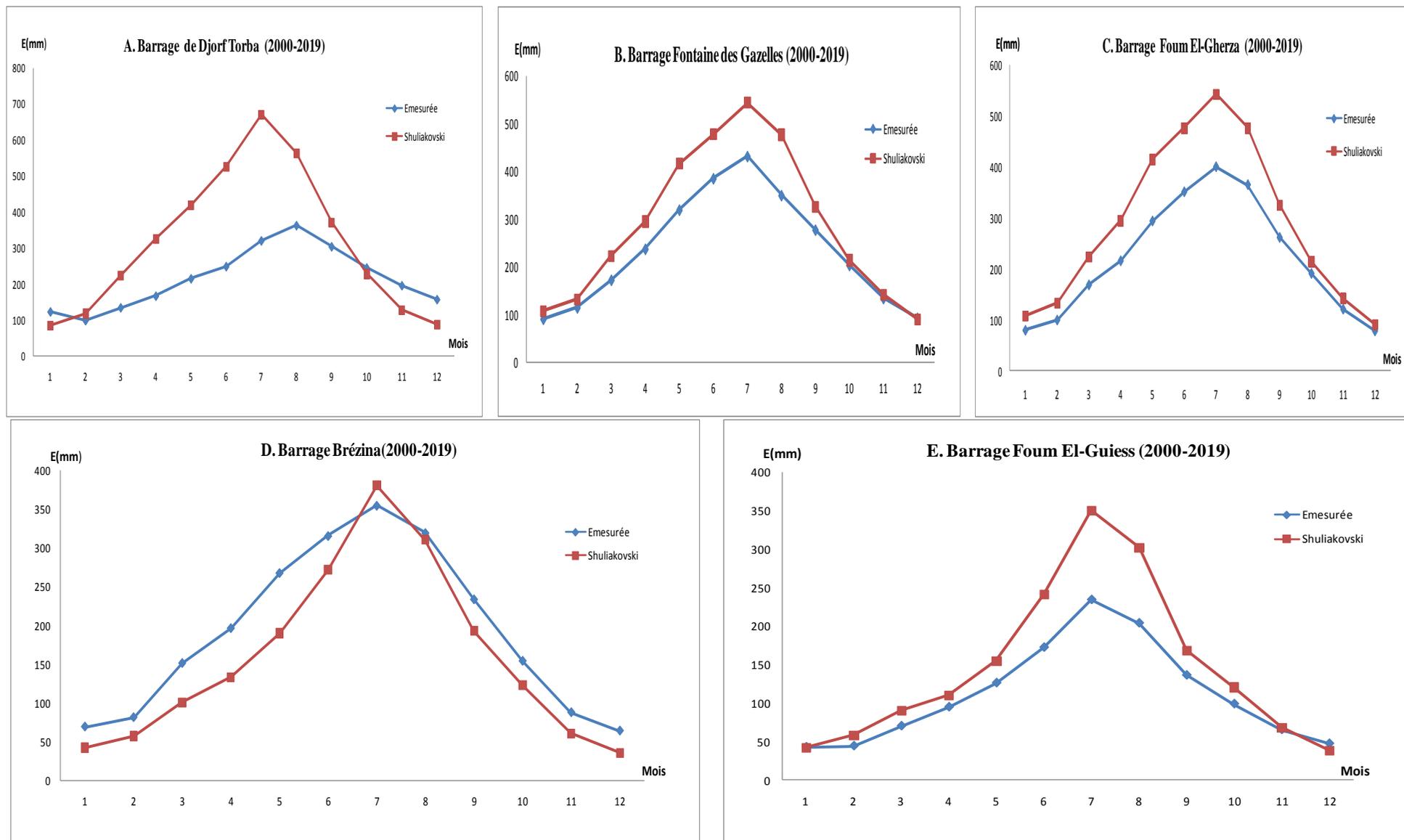


Figure III. 2. 3. 17. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par Shuliakovski (1969) et l'évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 2. 3. 86. Résultats obtenus par le modèle de Harbeck et *al* (1958) -Barrage Djorf-Torba- Béchar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
E_{Harbeck}(mm)	63,38	96,63	193,04	293,78	375,12	461,16	582,98	480,91	315,94	184,16	100,30	62,84	3210,24
Erreur (%)	-49%	-8%	46%	79%	75%	81%	78%	34%	5%	-25%	-48%	-59%	25%

Tableau III. 2. 3. 87. Résultats obtenus par le modèle de Harbeck et *al* (1958) –Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{Harbeck}(mm)	86,74	109,40	190,52	255,94	359,73	393,84	432,63	372,98	257,41	163,55	113,44	69,53	2805,70
Erreur (%)	-9%	-6%	7%	8%	9%	4%	0%	-3%	-6%	-19%	-15%	-29%	-2%

Tableau III. 2. 3. 88. Résultats obtenus par le modèle de Harbeck et *al* (1958) –Barrage Foum El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{Harbeck}(mm)	86,74	109,40	190,52	255,94	359,73	393,84	432,63	372,98	257,41	163,55	113,44	69,53	2805,70
Erreur (%)	9%	10%	13%	19%	23%	12%	8%	2%	-1%	-14%	-6%	-11%	7%

Tableau III. 2. 3. 89. Résultats obtenus par le modèle de Harbeck et *al* (1958) –Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
E_{Harbeck}(mm)	33,39	48,01	86,75	116,07	162,66	228,23	316,94	251,90	156,54	97,13	48,61	27,83	1574,06
Erreur (%)	-60%	-51%	-50%	-52%	-51%	-43%	-28%	-37%	-47%	-50%	-56%	-66%	-45%

Tableau III. 2. 3. 90. Résultats obtenus par le modèle de Harbeck et *al* (1958) –Barrage Foum El-Guiss– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
E_{Harbeck}(mm)	34,18	49,57	77,07	94,29	130,82	203,90	298,95	254,78	138,70	97,80	55,87	30,06	1465,99
Erreur (%)	-20%	12%	9%	-1%	3%	18%	27%	25%	2%	-1%	-15%	-37%	9%

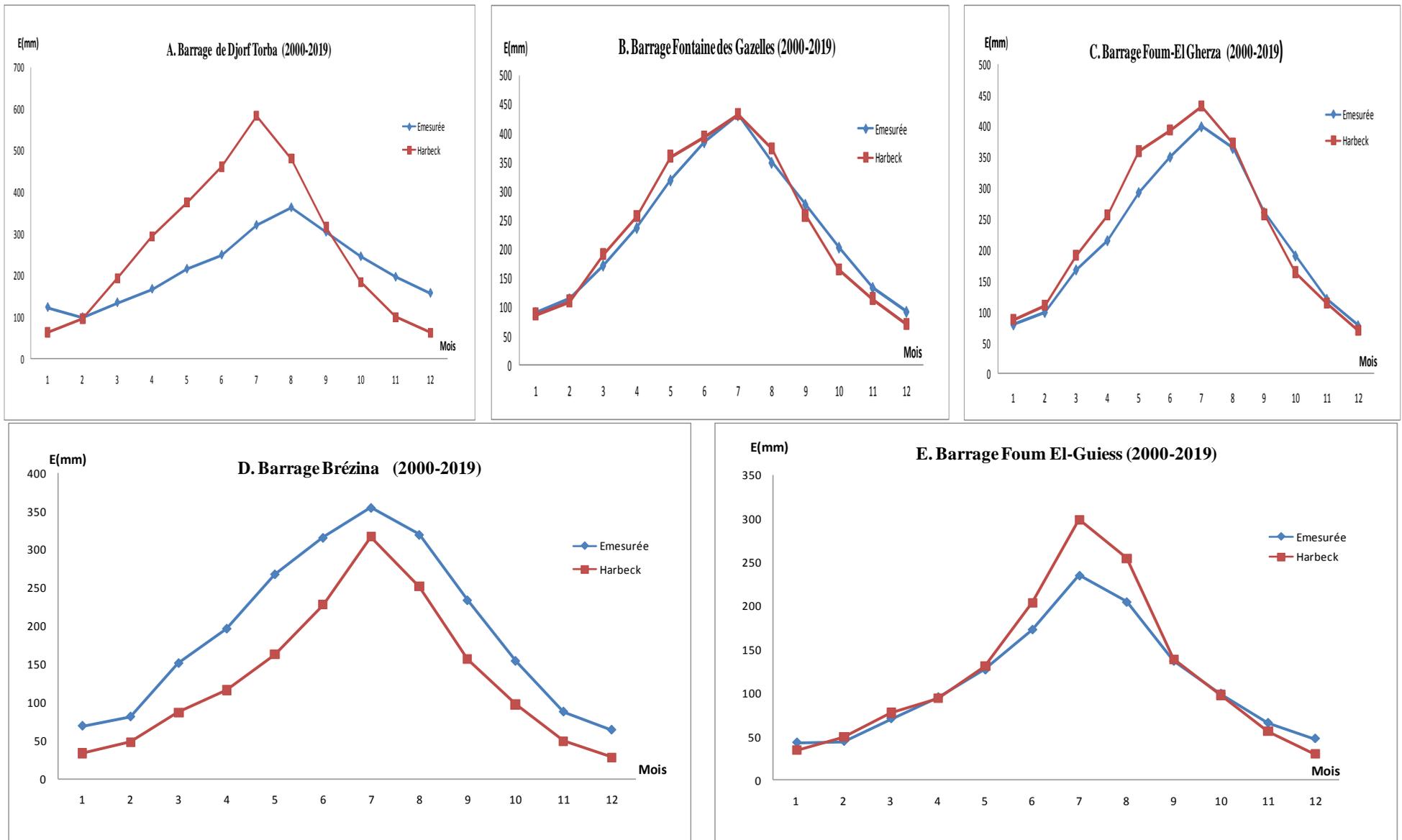


Figure III. 2. 3. 18. Représentation graphique des résultats de l'évaporation obtenus par Harbeck et *al* (1958) et l'évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 2. Résultats statistiques des modèles de transfert de masse d'évaporation sélectionnés et l'évaporation mesurée (référence)

Modèles Barrages	Kuzmin (1957)						IVANOV (1970)						MEYER-1 (1915)					
	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang
Foum El-Gherza	0,87	39,06	11,28	0,99	0,36	4	0,80	49,40	14,26	0,99	0,45	5	0,47	80,32	23,19	0,98	0,73	
Fontaine des Gazelles	0,97	21,49	6,20	0,99	0,19	2	0,92	31,70	9,15	0,98	0,28	3	0,23	101,00	29,16	0,97	0,88	
Brézina	0,98	106,95	30,88	0,95	0,13	8	0,99	64,78	18,70	0,95	0,08	4	0,96	160,28	46,27	0,93	0,20	12
Foum El-Guiness	0,80	27,96	8,07	0,99	0,45	4	0,43	46,59	13,45	0,99	0,75		0,65	36,59	10,56	0,99	0,59	
Djorf-Torba	-0,08	120,87	34,89	0,69	1,04		0,06	112,62	32,51	0,76	0,97		0,64	70,14	20,25	0,77	0,60	
Modèles Barrages	ROHER (1931)						PENMAN (1948)						KONSTANTINOV(1968)					
	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang
Foum El-Gherza	-2,47	205,01	59,18	0,99	1,86		-2,91	217,65	62,83	0,99	1,98		-10,4	371,89	107,4	0,97	3,38	
Fontaine des Gazelles	-1,85	184,90	53,38	1,00	1,61		-1,94	197,54	57,02	1,00	1,71		-8,31	351,52	101,5	0,98	3,05	
Brézina	1,00	45,41	13,11	0,95	0,06	2	1,00	45,00	12,99	0,95	0,05	1	0,99	86,05	24,84	0,95	0,10	6
Foum El-Guiness	-2,99	123,67	35,70	0,99	2,00		-3,02	124,19	35,85	0,99	2,01		-9,57	201,29	58,11	0,99	3,25	
Djorf-Torba	-6,13	310,20	89,55	0,70	2,67		-6,08	309,03	89,21	0,70	2,66		-16,9	490,75	141,7	0,66	4,23	
Modèles Barrages	DALTON (1802)						MAHRINGER (1970)						VIKULINA (1979)					
	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang
Foum El-Gherza	0,93	28,92	8,35	0,98	0,26	1	0,53	75,72	21,86	1,00	0,69		0,63	66,61	19,23	0,99	0,61	
Fontaine des Gazelles	0,82	48,45	13,99	0,97	0,42	5	0,76	56,66	16,36	1,00	0,49	7	0,83	47,13	13,61	0,99	0,41	4
Brézina	0,98	124,27	35,87	0,92	0,15	10	0,99	80,71	23,30	0,94	0,10	6	0,99	93,29	26,93	0,95	0,11	7
Foum El-Guiness	0,97	11,15	3,22	0,99	0,18	1	0,36	49,69	14,34	0,99	0,80		0,53	42,59	12,29	0,99	0,69	
Djorf-Torba	0,72	61,99	17,89	0,78	0,53	1	-0,74	153,30	44,25	0,73	1,32		-0,65	149,40	43,13	0,69	1,29	

Suite tableau III. 2. Résultats statistiques des modèles de transfert de masse d'évaporation sélectionnés et l'évaporation mesurée (référence)

Modèles Barrages	WMO (1966)						TRABERT (1896)						MEYER-2 (1926)					
	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang
Foum El-Gherza	0,88	37,71	10,89	0,97	0,34	3	0,18	99,59	28,75	1,00	0,91		0,47	80,02	23,10	0,99	0,73	
Fontaine des Gazelles	0,77	55,75	16,09	0,98	0,48	6	0,52	80,17	23,14	1,00	0,70		0,72	61,43	17,73	0,99	0,53	
Brézina	0,97	151,73	43,80	0,95	0,18	11	0,99	68,80	19,86	0,94	0,08	4	0,99	73,74	21,29	0,93	0,09	5
Foum El-Guiness	0,92	17,97	5,19	0,99	0,29	2	-0,02	62,55	18,06	0,99	1,01		0,28	52,39	15,12	0,99	0,85	
Djorf-Torba	0,55	78,34	22,61	0,66	0,67		-1,35	177,87	51,35	0,73	1,53		-0,72	152,42	44,00	0,75	1,31	
Modèles Barrages	OUDIN-1 (2005)						RAYAN-HARLEMAN (1973)						HORTON (1917)					
	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang
Foum El-Gherza	-0,08	114,31	33,00	0,99	1,04		0,64	65,68	18,96	0,86	0,60		0,20	98,31	28,38	0,97	0,89	
Fontaine des Gazelles	0,32	94,85	27,38	0,98	0,82		0,49	82,44	23,80	0,88	0,72		0,51	81,04	23,39	0,97	0,70	
Brézina	1,00	40,16	11,59	0,94	0,05	1	0,96	169,20	48,84	0,95	0,21	13	0,99	58,57	16,91	0,92	0,07	3
Foum El-Guiness	-0,92	85,72	24,75	1,00	1,38		0,85	24,21	6,99	0,97	0,39	3	-0,04	63,26	18,26	0,99	1,02	
Djorf-Torba	-1,41	180,43	52,09	0,77	1,55		0,59	74,39	21,47	0,58	0,64		-0,88	159,13	45,94	0,79	1,37	
Modèles Barrages	BROCKAMP -WENNER (1963)						SHULIAKOVSKI (1969)						HARBECK ET AL (1958)					
	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang
Foum El-Gherza	-7,82	326,78	94,33	0,99	2,97		0,45	81,76	23,60	0,99	0,74		0,93	29,69	8,57	0,97	0,27	2
Fontaine des Gazelles	-6,10	306,87	88,58	1,00	2,66		0,71	62,01	17,90	0,99	0,54		0,97	20,38	5,88	0,98	0,18	1
Brézina	0,98	102,26	29,52	0,94	0,12	8	0,99	85,15	24,58	0,95	0,10	6	0,98	114,36	33,01	0,95	0,14	9
Foum El-Guiness	-8,14	187,16	54,03	0,99	3,02		0,33	50,61	14,61	0,99	0,82		0,82	26,08	7,53	0,99	0,42	4
Djorf-Torba	-12,2	422,77	122,04	0,73	3,64		-1,01	164,76	47,56	0,69	1,42		-0,20	127,20	36,72	0,66	1,10	

2. 3. 19. Interprétation des résultats de l'évaporation obtenus par les modèles de transfert de masse des cinq barrages étudiés :

Nous notons que les modèles seront discutés selon les trois critères de Nash (NSE), coefficient de corrélation (R^2) et le rapport de la somme de classement (RSR) pour les cinq barrages étudiés. Les modèles adéquats sont choisis selon leurs performances qui peuvent être évaluées comme « très bonne » si $NSE > 0,75$ et $RSR < 0,50$ (Moriassi et al, 2007). Ce qui suit l'interprétation des résultats numériques et graphiques des différents modèles pour les cinq barrages-réservoirs étudiés :

- Barrage-réservoir de Foum El-Gherza :

Selon les résultats des critères statistiques, les meilleurs modèles qui convergent vers les données mesurées de l'évaporation sont : Dalton (1802) ; Harbeck (1958) ; WMO (1966) ; Kuzmin (1957) et Ivanov (1970).

Rappelons que leurs indexes statistiques varient comme suit : $0,80 \leq NSE \leq 0,93$; $0,97 \leq R^2 \leq 0,99$; $0,26 \leq RSR \leq 0,45$ (Voir Tableau III. 2). Ce qui permet de conclure que les performances de ces modèles sont classées comme très bonnes.

Notons que les erreurs obtenues par les cinq meilleurs modèles ne dépassent pas les 20% pour l'estimation de l'évaporation annuelle. Alors que, les estimations de l'évaporation mensuelle, les erreurs ne dépassent pas les 23%. Graphiquement, nous constatons clairement que presque la majorité des courbes sont proportionnellement proches de la courbe tracée par l'évaporation mesurée mais nul n'est identique (Voir Figure III. 2. 3. 19. A).

Numériquement, nous constatons que les modèles Harbeck (1958), Kuzmin (1957) et Ivanov (1970) présentent des valeurs sur-estimées de l'évaporation. Alors que, les valeurs de l'évaporation des modèles Dalton (1802) et WMO (1966) sont sous-estimées. D'après les indexes statistiques et les tracés graphiques nous pouvons confirmer que les meilleurs modèles pour l'estimation de l'évaporation du barrage-réservoir Foum El-Gherza sont ceux de Dalton (1802) et Harbeck (1958) avec des erreurs annuelles de -11% et 7% (Voir tableaux III : 2. 3. 33 ; 2. 3. 88).

- Barrage-réservoir de Fontaine des Gazelles :

Les meilleurs modèles qui ont données de très bonnes performances sont : Harbeck (1958) ; Kuzmin (1957) ; Ivanov (1970) ; Vikulina (1979) ; Dalton (1802) ; WMO (1966) et Mahringer (1970). Leurs indexes statistiques varient comme suit : $0,77 \leq NSE \leq 0,97$; $0,97 \leq R^2 \leq 0,99$; $0,18 \leq RSR \leq 0,48$ (Voir Tableau III. 2). Les erreurs annuelles maximales obtenues ne dépassent pas 18% et celles minimales -21%.

Graphiquement, les modèles de Kuzmin (1957), Vikulina (1979), Ivanov (1970)) et Mahringer (1970) sur-estiment l'évaporation du ce barrage-réservoir. Tandis que, les modèles de Dalton (1802), WMO (1966) et Harbeck (1958) sous-estiment l'évaporation. Seul le modèle de Harbeck (1958) est très proche de la courbe de l'évaporation mesurée (Voir Figure III. 2. 3. 19. B).

Donc, on peut noter que le meilleur modèle commun pour l'estimation de l'évaporation des deux barrages-réservoirs Foum El-Gherza et Fontaine des Gazelles est celui de Harbeck (1958) (Voir Figure III. 2. 3. 19. B).

- Barrage-réservoir de Brézina :

En ce qui concerne le barrage-réservoir de Brézina, tous les modèles donnent des très bonnes performances selon leurs critères statistiques : $0,96 \leq NSE \leq 1,00$; $0,92 \leq R^2 \leq 0,95$; $0,05 \leq RSR \leq 0,21$ (Voir Tableau III. 2). On a choisi les premiers modèles qui donnent de très bons résultats numériques et graphiques.

On remarque clairement que seuls les modèles : Penman (1948), Oudin (2005) et Roher (1931) ont estimé les valeurs de l'évaporation annuelle avec des erreurs annuelles variant de -3% au -7 %. Mais ces trois modèles donnent des sous-estimations de l'évaporation malgré leurs bonnes performances. Pour les autres modèles étudiés nous notons des estimations très grandes que celles mesurées. Graphiquement, sur la figure (III : 2. 3. 19. C) on ne voit aucune courbe tracée par ces modèles très proche de la courbe de l'évaporation mesurée.

- ***Barrage-réservoir de Foum El-Guies*** :

Concernant le barrage-réservoir de Foum El-Guies, nous constatons que les meilleurs modèles qui convergent beaucoup plus avec les données de l'évaporation mesurée sont les suivants : Dalton (1802), WMO (1966), Rayan-Harleman (1973), Harbeck et al (1958) et Kuzmin (1957). Les indices statistiques montrent que : $0,80 \leq NSE \leq 0,97$; $0,97 \leq R^2 \leq 0,99$; $0,18 \leq RSR \leq 0,45$ (Voir Tableau III. 2). Les erreurs mensuelles de l'estimation par les bons modèles classés ne dépassent pas - 44% et celles annuelles des sous-estimations de l'évaporation de l'ordre -17% et des sur-estimations de l'évaporation de l'ordre de 13%. Mais, graphiquement seules les courbes des modèles de Dalton et WMO sont proches de la courbe de l'évaporation mesurée (Figure III. 2. 3. 19. D).

- ***Barrage-réservoir de Djorf-Torba*** :

L'évaporation du barrage-réservoir Djorf-Torba peut être seulement estimée avec le modèle de Dalton (1802) qui donne une bonne performance du fait que : $NSE=0,72$; $R^2=0,78$; $RSR= 0,53$ (Voir Tableau III. 2). Les erreurs mensuelles de l'évaporation (sous-estimations) ne dépassent pas les - 48% et les erreurs annuelles le -1%. Mais graphiquement, on voit un décalage entre la courbe mesurée et celle tracée par ce modèle (Figure III. 2. 3. 19. E).

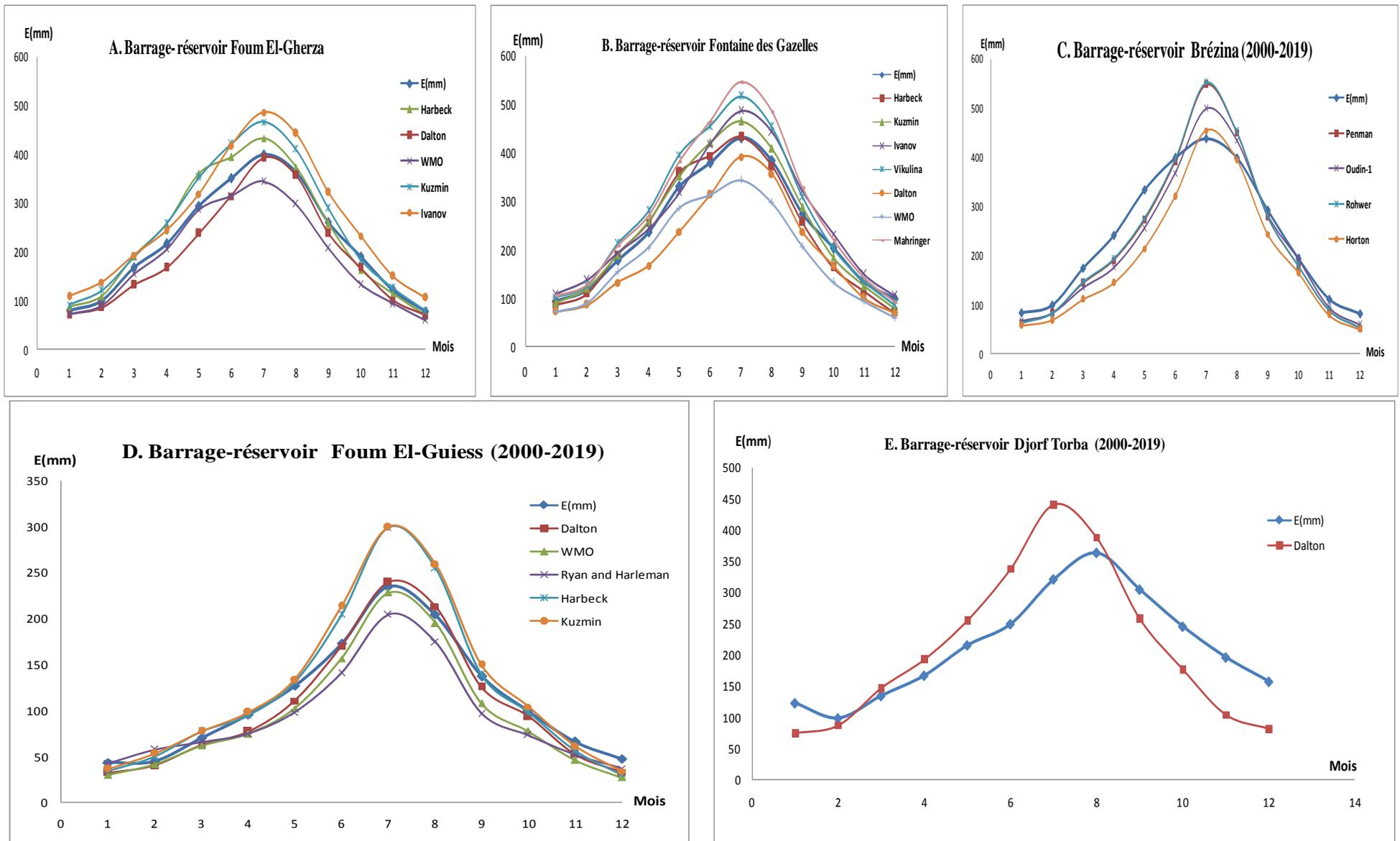


Figure III. 2. 3. 19. Représentation graphique des modèles adéquats de transfert de masse pour l'estimation de l'évaporation pour les cinq barrages-réservoirs étudiés.

III. 2. 4. Méthodes basées sur le rayonnement solaire

Les équations empiriques basées sur le rayonnement sont généralement issues du bilan d'énergie (Jensen *et al.*, 1990 ; Oudin, 2004). La plupart des équations prennent la forme (Xu et Singh, 2000 ; Oudin, 2004) :

$$E=f(R_h, U) \times W(T, Z) \times R_g \quad (III.36)$$

Ou bien sous les deux formes suivantes :

$$E=f(R_h, U) \times W(T, Z) \times R_n \quad (III.37)$$

$$E=f(R_h, U) \times W(T, Z) \times R_s \quad (III.38)$$

Où f est une fonction de l'humidité relative (R_h) et de la vitesse du vent (U), W est une fonction dépendant de la température et de l'altitude, R_g est le rayonnement solaire global, R_n est le rayonnement net et R_s est le rayonnement solaire. Nous citons les dix-huit modèles suivants :

III. 2. 4. 1. Modèle de Jensen -Haise (1963)

Cette méthode a été proposée par E. Jensen et R. Haise en (1963), elle représente une méthode reposant sur la température de l'air et le rayonnement solaire pour estimer l'évapotranspiration potentielle. La formule de Jensen-Haise est donnée par la formule suivante (McGuinness et Bordne, 1972 ; Aldomany, 2017) :

$$E = (0,014(1,8T_{\text{air}} + 32) - 0,5) \left(\frac{R_s}{\lambda} \right) \quad (III.39)$$

Où :

E : est l'évaporation en (mm / jour) ; T_{air} est la température moyenne de l'air en ($^{\circ}\text{C}$) ; R_s est le rayonnement solaire en unité de ($\text{MJ}/\text{m}^2/\text{jour}$) ; λ est la chaleur latente d'évaporation en (MJ/kg).

Bien que cette méthode ait été initialement conçue pour le calcul de l'évapotranspiration potentielle, elle est souvent utilisée pour calculer l'évaporation à partir des plans d'eau libres (Winter *et al.*, 1995 ; Rosenberry *et al.*, 2004 ; Rosenberry *et al.*, 2007 ; Aldomany, 2017).

III. 2. 4. 2. Modèle de Stephens-Stewart (1963)

Cette méthode a été appelée "l'évaporation-fraction équivalente de l'énergie solaire" (Fractional Evaporation-Equivalent of Solar Energy), méthode établie par Stephens-Stewart, mais elle est essentiellement de la même forme que la méthode originale de Jensen-Haise (1963) (Aldomany, 2017). Elle a été utilisée fréquemment dans les régions de l'Ouest des Etats Unis. La formule de Stephens-Stewart (1963) est donnée par la formule suivante (Altho *et al.*, 2019) :

$$E = (0,0082T_{\text{air}}-0,19) (3,523 \times 10^{-2} R_s) \quad (III.40)$$

Où : E : est l'évaporation de l'eau (mm/jour) ; T_{air} : est la température moyenne de l'air en ($^{\circ}\text{F}$) ; R_s : est la radiation solaire (W/m^2).

III. 2. 4. 3. Modèle de Makkink (1967) modifié par Hansen (1984)

Le modèle de Makkink a été développé pour les zones de prairie dans l'été aux Pays-Bas (Makkink, 1957). Il ne nécessite que des observations du rayonnement global et de la température de l'eau car il suppose que le flux de chaleur de l'eau peut être négligé par rapport au rayonnement net, et que le rayonnement net représente environ la moitié du rayonnement global de la radiation. La première hypothèse n'est valable que pour les surfaces terrestres, et la seconde hypothèse considère les étés moyens Pays-Bas. Le modèle de Makkink est actuellement utilisé dans les modèles hydrologiques opérationnels aux Pays-Bas et est appliqué à l'eau libre en utilisant un facteur de correction (Femke, 2019).

La formule de Makkink (1967) modifiée par Hansen (1984) est donnée par l'équation (Djaman et al, 2016) :

$$E = 0,7 \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \frac{R_s}{\lambda} \quad (\text{III.41})$$

Où :

E : est l'évaporation de l'eau (mm/jour) ; Δ : est la pente de la pression de vapeur saturante (kPa/°C) ; R_s : la radiation solaire (MJ/m²/j) ; λ : est la chaleur latente en (MJ kg⁻¹) ; γ : est le coefficient psychométrique (kPa/°C).

III. 2. 4. 4. Modèle de McGuinness-Bordne (1972)

L'équation de McGuinness-Bordne (1972) est donnée par (Heydari, 2016) :

$$E = \left[(0,0082 T_{\text{air}} - 0,19) \frac{R_s}{1500} \right] \times 2,54 \quad (\text{III.42})$$

Où :

E : est l'évaporation de l'eau (mm/jour) ; T_{air} : est la température moyenne de l'air en (°F) ; R_s : est la radiation solaire à la surface (W/m²).

III. 2. 4. 5. Modèle de Caprio (1974)

L'équation du modèle de Caprio (1974) est donnée par (Djaman, 2018) :

$$E = (0,01092708 T_a + 0,00600706) R_s \quad (\text{III.43})$$

Où :

E : est l'évaporation de l'eau (mm/jour) ; T_a : est la température moyenne de l'air en (°C) ; R_s : est la radiation solaire (MJ/m²/jour).

III. 2. 4. 6. Modèle de Doorenbos-Pruitt (1977)

Cette approche est une adaptation de la méthode de Makkink (1957). Cette formule a été développée par Doorenbos et Pruitt (1977), dans le cadre des institutions de la FAO, afin de fournir une alternative à la formulation de Penman. La formule retenue s'écrit (Xu et Singh, 2001 ; Ludovic Oudin, 2004) :

$$E = a \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} R_s + b \quad (\text{III.44})$$

Cette méthode était initialement préconisée pour les climats arides (Shuttleworth, 1993), mais la fonction de vent W a été modifiée afin d'adapter la formule aux conditions climatiques et se calcule par (Xu et Singh, 2001 ; Ludovic Oudin, 2004) :

$$b = 1,066 - 0,13 \left(\frac{e_s}{e_a} \right) + 0,045 U - 0,02 \left(\frac{e_s}{e_a} \right) U - 3,15 \left(\frac{e_s}{e_a} \right)^2 - 0,0011 U^2 \quad (\text{III.45})$$

Où : E : est l'évaporation de l'eau (mm/jour) ; a : est égale à -0,3 mm/jour calculé en utilisant une fonction d'équation de régression du rayon hydraulique moyen ($R_h = (e_s/e_a)$) et de la vitesse moyenne de l'air (Jensen et al. 1997 ; Mohawesh, 2011) ; U : est la vitesse moyenne de l'air à une hauteur de 2 m (m/s) ; Δ : est la pente de la pression de vapeur saturante (kPa/°C) ; R_s : la radiation solaire (MJ/m²/j) ; γ : est le coefficient psychométrique (kPa/°C) ; e_s est la pression de vapeur saturante (kPa) ; e_a est la pression actuelle de la vapeur dans l'air (kPa) et R_s est la radiation solaire par équivalent de l'évaporation en (mm/jour) (1 mm/jour = 2,45 MJ/m²/jour).

III. 2. 4. 7. Modèle de Hargreaves & Samani (1982)

La formule de Hargreaves et Samani est donnée par l'expression suivante (Gotardo et *al* ; 2016) :

$$E=0,0023R_a (T_a+17,8) (T_{\max}-T_{\min})^{0,5} \quad (\text{III.46})$$

Où :

E : est l'évaporation de l'eau (mm/jour) ; T_a : la température moyenne de l'air (°C) ; T_{\max} : la température maximale de l'air (°C) ; T_{\min} : la température minimale de l'air (°C) et R_a : la radiation solaire (MJ/m²/jour).

III. 2. 4. 8. Modèle de Ritchie (1990)

Les paramètres nécessaires pour les calculs par la formule de Ritchie sont le rayonnement solaire et les températures maximale et minimale de l'air. L'équation est donnée ci-dessous (Ritchie 1990 ; Kaya et *al*, 2017).

$$E= \alpha_1 \times 3,87 \times 10^{-3} \times R_s (0,6 T_{\max} + 0,4 T_{\min} + 29) \quad (\text{III.47})$$

Si $5^\circ\text{C} < T_{\max} < 35^\circ\text{C} \Rightarrow \alpha_1 = 1,1$

Si $T_{\max} > 35^\circ\text{C} \Rightarrow \alpha_1 = 1,1 + 0,05(T_{\max} - 35)$

Si $T_{\max} < 5^\circ\text{C} \Rightarrow \alpha_1 = 0,01 \exp[0,18(T_{\max} + 20)]$

Où :

E : est l'évaporation de l'eau (mm/jour) ; T_{\max} : la température maximale de l'air (°C) ; T_{\min} : la température minimale de l'air (°C) et R_s : la radiation solaire (MJ/m²/jour).

III. 2. 4. 9. Modèle d'Allen (1993)

Les paramètres nécessaires pour les calculs par la formule d'Allen sont le rayonnement solaire et la température moyenne de l'air, la température maximale et la température minimale de l'air. L'équation est donnée comme suit (Djaman et *al*, 2018) :

$$E=0,408 \times 0,0029 R_s (T_a + 20) (T_{\max} - T_{\min})^{0,4} \quad (\text{III.48})$$

Où :

E : est l'évaporation de l'eau (mm/jour) ; T_a : la température moyenne de l'air (°C) ; T_{\max} : la température maximale de l'air (°C) ; T_{\min} : la température minimale de l'air (°C) et R_s : la radiation solaire (MJ/m²/jour).

III. 2. 4. 10. Modèle d'Abtew (1996)

Les paramètres de l'équation d'Abtew nécessitent la connaissance de deux paramètres la température maximale de l'air et le rayonnement solaire, elle est exprimée comme suit (Djaman et *al*, 2018) :

$$E=0,408 \times 0,01786 \times R_s \times T_{\max} \quad (\text{III.49})$$

Où :

E : est l'évaporation de l'eau (mm/jour) ; T_a : la température moyenne de l'air (°C) ; T_{\max} : la température maximale de l'air (°C) ; T_{\min} : la température minimale de l'air (°C) et R_s : la radiation solaire (MJ/m²/jour).

III. 2. 4. 11. Modèle de Droogers et Allen (2002)

L'équation de Droogers- Allen est donnée comme suit (Djaman et *al*, 2018) :

$$E=0,408 \times 0,0013 (T_a+16,8) (T_{\max}-T_{\min})^{0,5} R_s \quad (\text{III.50})$$

Où :

E : est l'évaporation de l'eau (mm/jour) ; T_a : la température moyenne de l'air (°C) ; T_{\max} : la température maximale de l'air (°C) ; T_{\min} : la température minimale de l'air (°C) et R_s : la radiation solaire (MJ/m²/jour).

III. 2. 4. 12. Modèle d'Irmak et al (2003) -1

L'équation d'Irmak et al (2003) est la suivante (Djaman et *al*, 2018) :

$$E= - 0,611+0,149 R_s+0,079T_a \quad (\text{III.51})$$

Où :

E : est l'évaporation de l'eau (mm/jour) ; T_a : la température moyenne de l'air (°C) et R_s : la radiation solaire (MJ/m²/jour).

III. 2. 4. 13. Modèle d'Irmak et al (2003) -2

L'équation d'Irmak et al (2003) nécessite la connaissance de la température maximale et minimale et le rayonnement solaire. Elle est la suivante (Djaman et *al*, 2018) :

$$E= - 0,478+0,156 R_s+0,0733T_{\min} -0,0112 T_{\max} \quad (\text{III.52})$$

Où :

E : est l'évaporation de l'eau (mm/jour) ; T_{\max} : la température maximale de l'air (°C) ; T_{\min} : la température minimale de l'air (°C) et R_s : la radiation solaire (MJ/m²/jour).

III. 2. 4. 14. Modèle d'Oudin-2 (2005)

L'équation d'Oudin (2005) est la suivante (Berger et *al*, 2017) :

$$E=R_s (T_a+5) /100 \quad (\text{III.53})$$

Où :

E : est l'évaporation de l'eau (mm/jour) ; T_a : la température moyenne de l'air (°C) ; et R_s : la radiation solaire (MJ/m²/jour).

III. 2. 4. 15. Modèle de Trajkovic (2007)

Trajkovic (2007) a rapporté une équation de Hargreaves-Samani ajustée pour les climats de l'Ouest de la région des Balkans comme suit (Sabrija Čadro et *al*, 2017 ; Djaman et *al*, 2018) :

$$E=0,00230 \times 0,408 \times R_a (T_a+17,8) (T_{\max}-T_{\min})^{0,424} \quad (\text{III.54})$$

Où :

E : est l'évaporation de l'eau (mm/jour) ; T_a : la température moyenne de l'air (°C) ; T_{\max} : la température maximale de l'air (°C) ; T_{\min} : la température minimale de l'air (°C) et R_a : le rayonnement extraterrestre (MJ/m²/jour).

III. 2. 4. 16. Modèle de Tabari et Talae (2011)

Tabari et al. (2011) ont développé l'équation d'Irmak modifiée comme suit (Sabrija Čadro et al, 2017 ; Djaman et al, 2018) :

$$E = -0,642 + 0,174 R_s + 0,0353 \times T_a \quad (\text{III. 55})$$

Où :

E : est l'évaporation de l'eau (mm/jour) ; T_a : la température moyenne de l'air (°C) et R_s : la radiation solaire (MJ/m²/jour).

III. 2. 4. 17. Modèle de Berti et al (2014)

Berti et al (2014) a développé une formule en se basant sur l'équation d'Hargreaves (1994), elle est donnée par (Djaman et al, 2018) :

$$E = 0,00193 R_s (T_a + 17,8) (T_{\max} - T_{\min})^{0,517} \quad (\text{III. 56})$$

Où :

E : est l'évaporation de l'eau (mm/jour) ; T_a : la température moyenne de l'air (°C) ; T_{\max} : la température maximale de l'air (°C) ; T_{\min} : la température minimale de l'air (°C) et R_s : la radiation solaire (MJ/m²/jour).

III. 2. 4. 18. Modèle de Dorji et al (2016)

Dorji et al (2016) ont développé une nouvelle équation HS (Hargreave-Samani) pour le terrain montagneux des Bhutanas (Sabrija Čadro, 2017 ; Djaman et al, 2018 ; Belkhiri, 2020) :

$$E = 0,002 \times 0,408 R_a (T_a + 33,9) (T_{\max} - T_{\min})^{0,296} \quad (\text{III. 57})$$

Où :

E : est l'évaporation de l'eau (mm/jour) ; T_a : la température moyenne de l'air (°C) ; T_{\max} : la température maximale de l'air (°C) ; T_{\min} : la température minimale de l'air (°C) et R_a : la radiation solaire (MJ/m²/jour).

Les résultats numériques et les représentations graphiques des modèles cités précédemment sont regroupés dans les tableaux et les figures suivants :

Tableau III. 2. 4. 1. Résultats obtenus par le modèle de Jensen - Haise (1963) -Barrage Djorf-Torba- Béchar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
E_{Jensen-haise} (mm)	114,97	146,47	229,60	297,35	368,86	415,05	452,95	399,24	292,28	213,87	135,75	104,27	3170,65
Erreur (%)	-7%	40%	74%	82%	72%	63%	39%	11%	-3%	-13%	-29%	-32%	23%

Tableau III. 2. 4. 2. Résultats obtenus par le modèle de Jensen - Haise (1963) –Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{Jensen-haise} (mm)	96,10	128,93	205,81	276,15	366,45	427,48	468,04	412,85	282,69	197,87	117,23	87,15	3066,75
Erreur (%)	1%	10%	15%	17%	11%	13%	9%	7%	3%	-3%	-13%	-11%	7%

Tableau III. 2. 4. 3. Résultats obtenus par le modèle de Jensen - Haise (1963) –Barrage Foum El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{Jensen-haise} (mm)	96,10	128,93	205,81	276,15	366,45	427,48	468,04	412,85	282,69	197,87	117,23	87,15	3066,75
Erreur (%)	21%	30%	22%	28%	25%	22%	17%	13%	8%	4%	-3%	12%	17%

Tableau III. 2. 4. 4. Résultats obtenus par le modèle de Jensen - Haise (1963) –Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
E_{Jensen-haise} (mm)	79,51	102,51	167,41	219,03	291,26	356,61	398,83	341,88	239,48	168,92	95,72	72,40	2533,56
Erreur (%)	-5%	4%	-4%	-9%	-13%	-10%	-9%	-14%	-18%	-13%	-14%	-11%	-11%

Tableau III. 2. 4. 5. Résultats obtenus par le modèle de Jensen - Haise (1963) –Barrage Foum El-Guiss– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
E_{Jensen-haise} (mm)	70,06	90,25	149,05	195,83	268,22	331,02	383,13	329,02	222,95	155,31	88,23	63,44	2346,51
Erreur (%)	63%	103%	112%	106%	112%	92%	63%	61%	63%	57%	35%	33%	75%

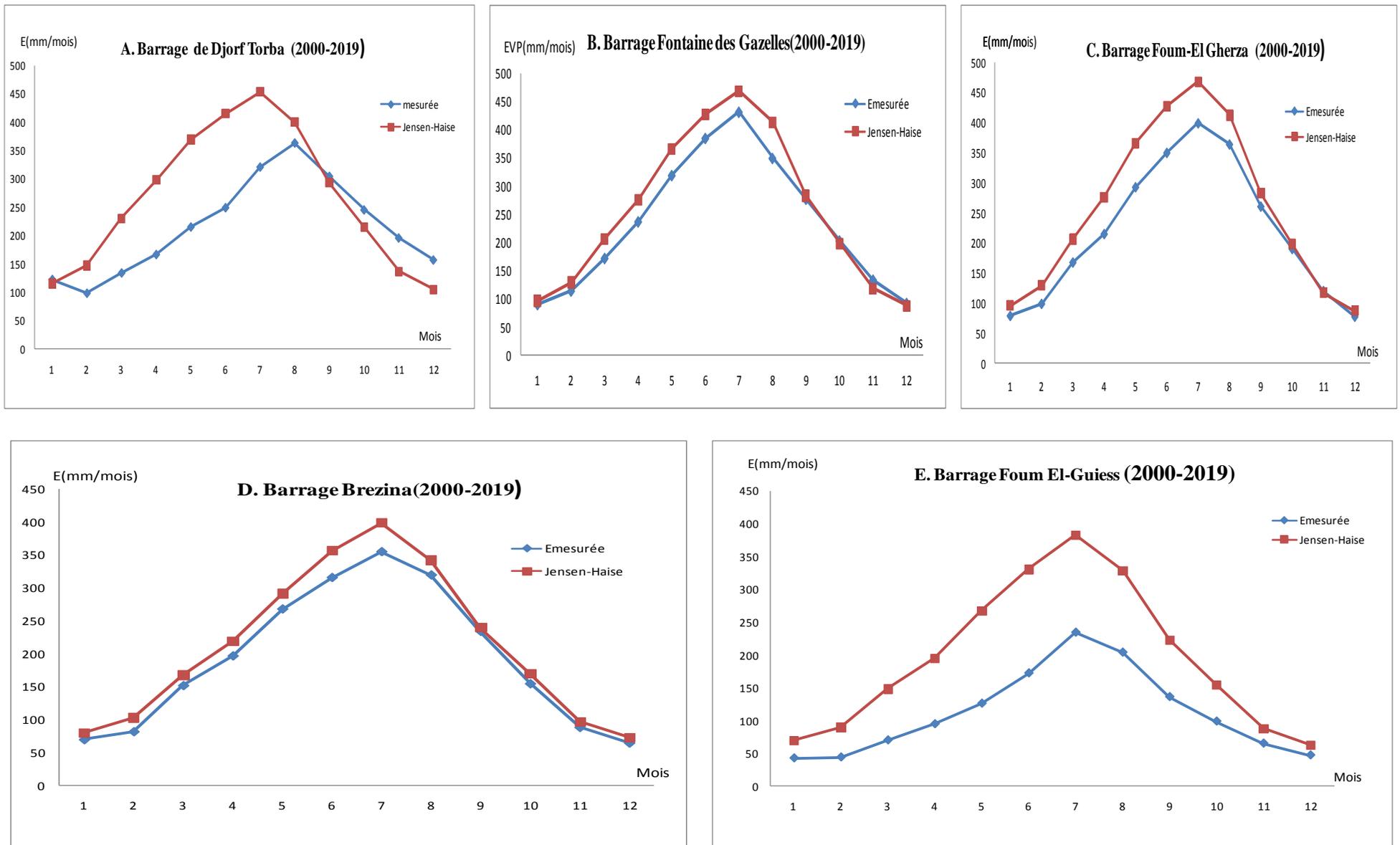


Figure III. 2. 4. 1. Comparaison des résultats d'évaporation obtenus par le modèle Jensen and Haise (1963) et l'évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 2. 4. 6. Résultats obtenus par le modèle de Stephens-Stewart (1963) –Barrage Djorf-Torba- Béchar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
E_{Steph-Stewart} (mm)	32,74	51,03	92,63	138,87	180,48	224,83	247,28	214,98	153,29	98,79	53,51	31,58	1520,01
Erreur (%)	-74%	-51%	-30%	-15%	-16%	-12%	-24%	-40%	-49%	-60%	-72%	-80%	-41%

Tableau III. 2. 4. 7. Résultats obtenus par le modèle de Stephens-Stewart (1963) –Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{Steph-Stewart} (mm)	31,16	48,16	84,18	129,31	180,61	232,73	255,24	222,93	149,82	93,45	48,78	29,52	1505,89
Erreur (%)	-67%	-59%	-53%	-45%	-45%	-39%	-41%	-42%	-46%	-54%	-64%	-70%	-47%

Tableau III. 2. 4. 8. Résultats obtenus par le modèle de Stephens-Stewart (1963) –Barrage Foum El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{Steph-Stewart} (mm)	31,16	48,16	84,18	129,31	180,61	232,73	255,24	222,93	149,82	93,45	48,78	29,52	1505,89
Erreur (%)	-61%	-52%	-50%	-40%	-38%	-34%	-36%	-39%	-43%	-51%	-60%	-62%	-43%

Tableau III. 2. 4. 9. Résultats obtenus par le modèle de Stephens-Stewart (1963) –Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
E_{Steph-Stewart} (mm)	12,65	22,09	49,18	80,56	121,77	175,16	202,69	170,17	112,49	66,95	27,62	13,63	1054,95
Erreur (%)	-85%	-78%	-72%	-67%	-63%	-56%	-54%	-57%	-62%	-65%	-75%	-83%	-63%

Tableau III. 2. 4. 10. Résultats obtenus par le modèle de Stephens-Stewart (1963) –Barrage Foum El-Guiss– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
E_{Steph-Stewart} (mm)	12,93	20,54	44,46	72,57	111,39	161,03	191,93	162,53	104,25	62,58	27,97	13,55	985,72
Erreur (%)	-70%	-54%	-37%	-24%	-12%	-7%	-18%	-21%	-24%	-37%	-57%	-71%	-26%

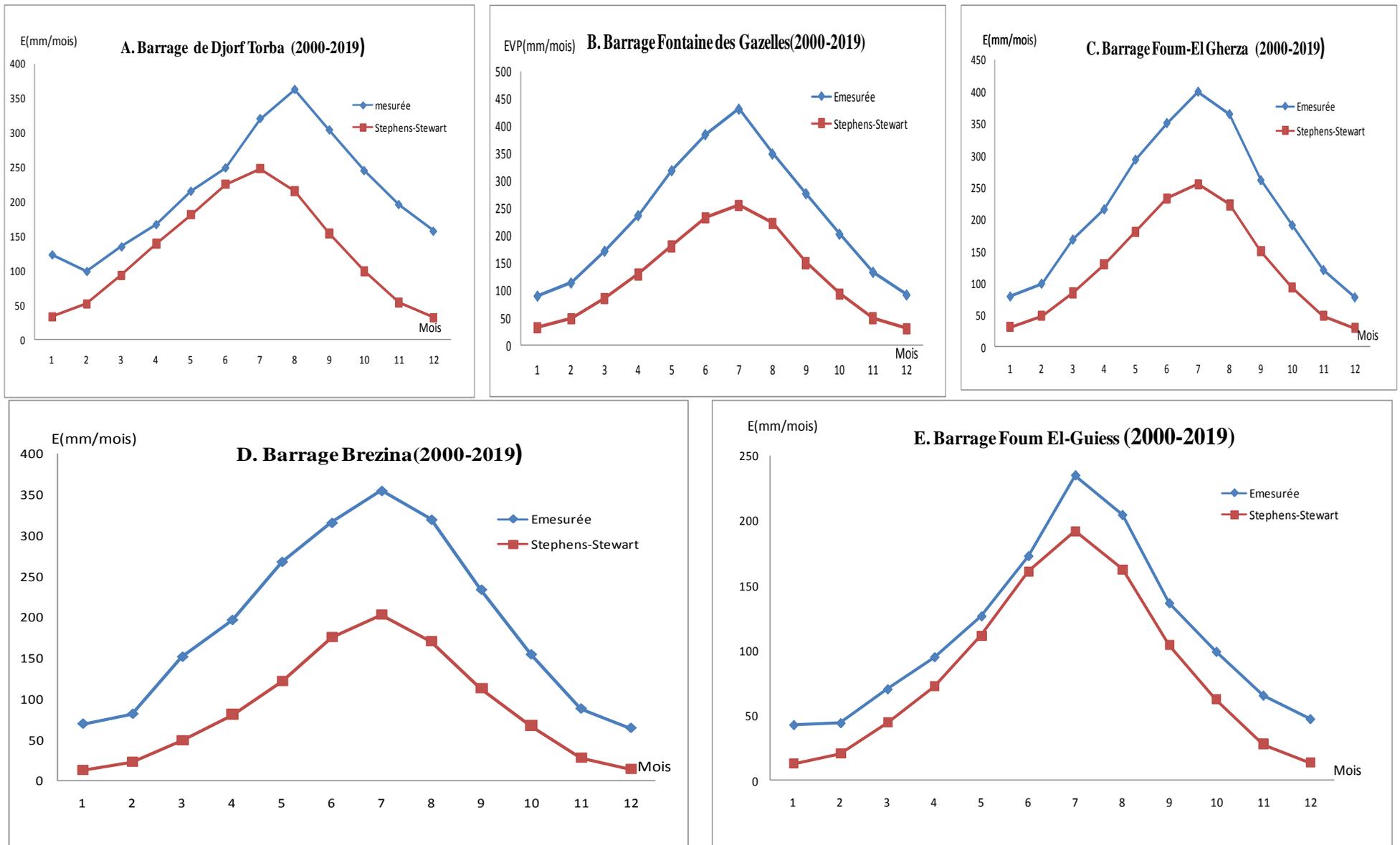


Figure III. 2. 4. 2. Comparaison des résultats d'évaporation obtenus par le modèle Stephens-Stewart (1963) et l'évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 2. 4. 11. Résultats obtenus par le modèle de Makkink (1967) –Barrage Djorf-Torba- Béchar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
E_{Makkink}(mm)	66,26	80,70	119,04	145,59	171,18	181,21	188,96	169,47	131,94	103,42	72,26	63,61	1493,65
Erreur (%)	-46%	-23%	-10%	-11%	-20%	-29%	-42%	-53%	-56%	-58%	-62%	-59%	-42%

Tableau III. 2. 4. 12. Résultats obtenus par le modèle de Makkink (1967) Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{Makkink}(mm)	52,48	68,84	104,02	132,81	167,05	183,70	193,85	173,57	125,25	93,51	60,19	47,01	1402,28
Erreur (%)	-45%	-41%	-42%	-44%	-49%	-52%	-55%	-55%	-54%	-54%	-55%	-52%	-51%

Tableau III. 2. 4. 13. Résultats obtenus par le modèle de Makkink (1967) -Barrage Foug El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{Makkink}(mm)	52,48	68,84	104,02	132,81	167,05	183,70	193,85	173,57	125,25	93,51	60,19	47,01	1402,28
Erreur (%)	-34%	-31%	-38%	-38%	-43%	-48%	-52%	-52%	-52%	-51%	-50%	-40%	-47%

Tableau III. 2. 4. 14. Résultats obtenus par le modèle de Makkink (1967) – Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
E_{Makkink}(mm)	51,60	63,74	97,17	120,58	149,93	169,91	180,23	157,85	117,82	89,81	56,58	45,40	1300,63
Erreur (%)	-38%	-35%	-44%	-50%	-55%	-57%	-59%	-60%	-60%	-53%	-49%	-44%	-54%

Tableau III. 2. 4. 15. Résultats obtenus par le modèle de Makkink (1967) –Barrage Foug El-Guiess– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
E_{Makkink}(mm)	43,85	55,14	85,34	106,69	138,33	158,01	174,84	152,36	109,84	81,51	50,65	38,80	1195,35
Erreur (%)	2%	24%	21%	12%	9%	-9%	-26%	-25%	-20%	-18%	-23%	-18%	-11%

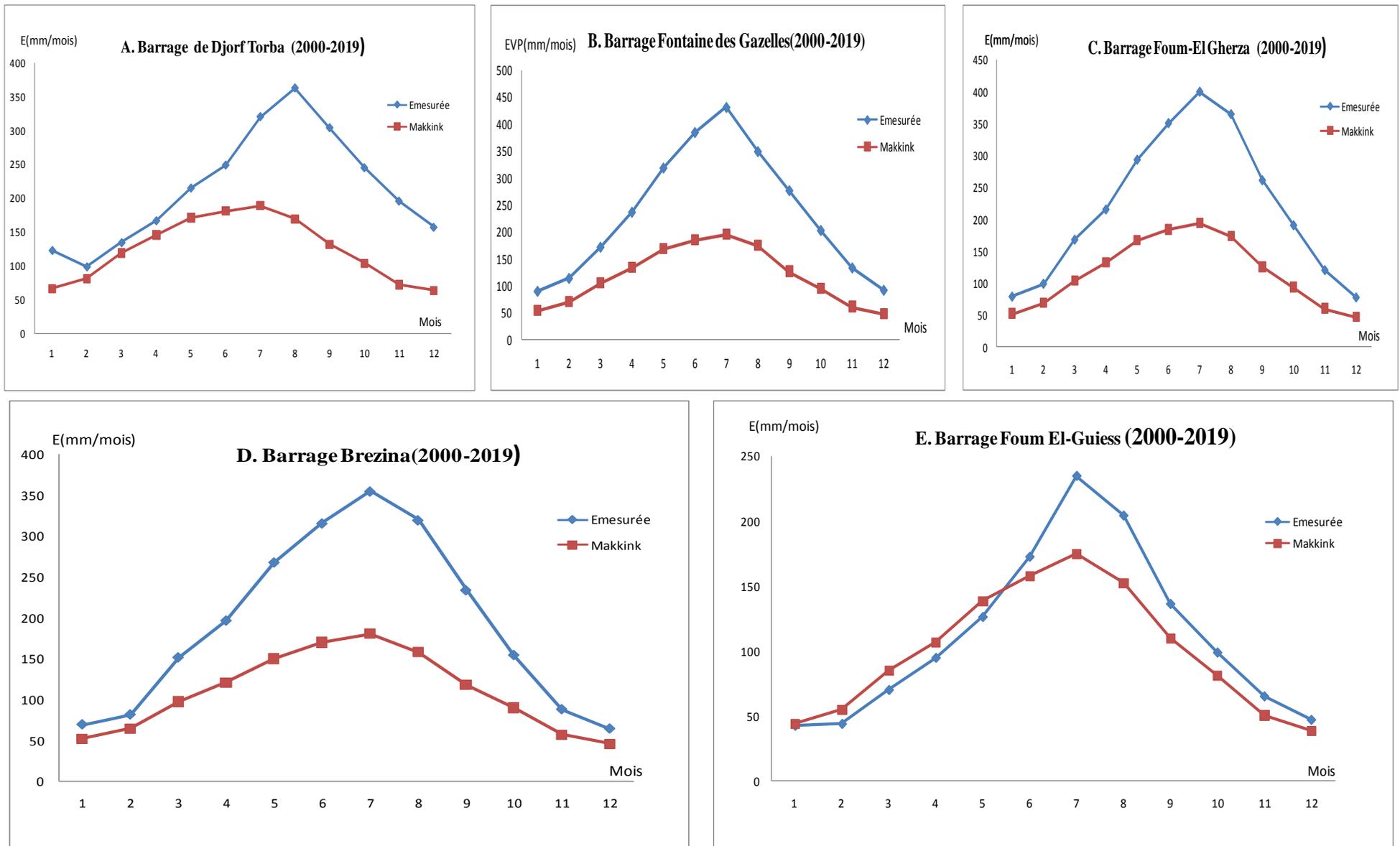


Figure III. 2. 4. 3. Comparaison des résultats d'évaporation obtenus par le modèle Makkink (1967) et l'évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 2. 4. 16. Résultats obtenus par le modèle de McGuinness -Bordne (1972) -Barrage Djorf-Torba- Béchar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
$E_{\text{Mesurée}} \text{ (mm)}$	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
$E_{\text{Mcg-bord}} \text{ (mm)}$	42,31	61,70	119,71	173,67	233,24	281,18	319,56	277,83	191,70	127,67	66,92	40,81	1936,29
Erreur (%)	-66%	-41%	-9%	6%	9%	11%	-2%	-22%	-36%	-48%	-65%	-74%	-25%

Tableau III. 2. 4. 17. Résultats obtenus par le modèle de McGuinness - Bordne (1972) -Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
$E_{\text{Mesurée}} \text{ (mm)}$	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
$E_{\text{Mcg-bord}} \text{ (mm)}$	40,26	58,22	108,78	161,72	233,41	291,06	329,85	288,10	187,37	120,77	61,01	38,15	1918,70
Erreur (%)	-58%	-50%	-39%	-32%	-29%	-23%	-24%	-25%	-32%	-41%	-54%	-61%	-33%

Tableau III. 2. 4. 18. Résultats obtenus par le modèle de McGuinness - Bordne (1972) - Barrage Foum El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
$E_{\text{Mesurée}} \text{ (mm)}$	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
$E_{\text{Mcg-bord}} \text{ (mm)}$	40,26	58,22	108,78	161,72	233,41	291,06	329,85	288,10	187,37	120,77	61,01	38,15	1918,70
Erreur (%)	-49%	-41%	-35%	-25%	-20%	-17%	-17%	-21%	-28%	-37%	-49%	-51%	-27%

Tableau III. 2. 4. 19. Résultats obtenus par le modèle de McGuinness -Bordne (1972) — Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
$E_{\text{Mesurée}} \text{ (mm)}$	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
$E_{\text{Mcg-bord}} \text{ (mm)}$	16,35	26,71	63,55	100,75	157,37	219,06	261,94	219,91	140,68	86,52	34,54	17,61	1344,98
Erreur (%)	-80%	-73%	-64%	-58%	-53%	-45%	-40%	-45%	-52%	-55%	-69%	-78%	-53%

Tableau III. 2. 4. 20. Résultats obtenus par le modèle de McGuinness - Bordne (1972) -Barrage Foum El-Guies– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
$E_{\text{Mesurée}} \text{ (mm)}$	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
$E_{\text{Mcg-bord}} \text{ (mm)}$	16,71	24,83	57,45	90,75	143,96	201,39	248,03	210,04	130,37	80,88	34,97	17,51	1256,90
Erreur (%)	-61%	-44%	-18%	-5%	14%	17%	6%	3%	-5%	-19%	-47%	-63%	-6%

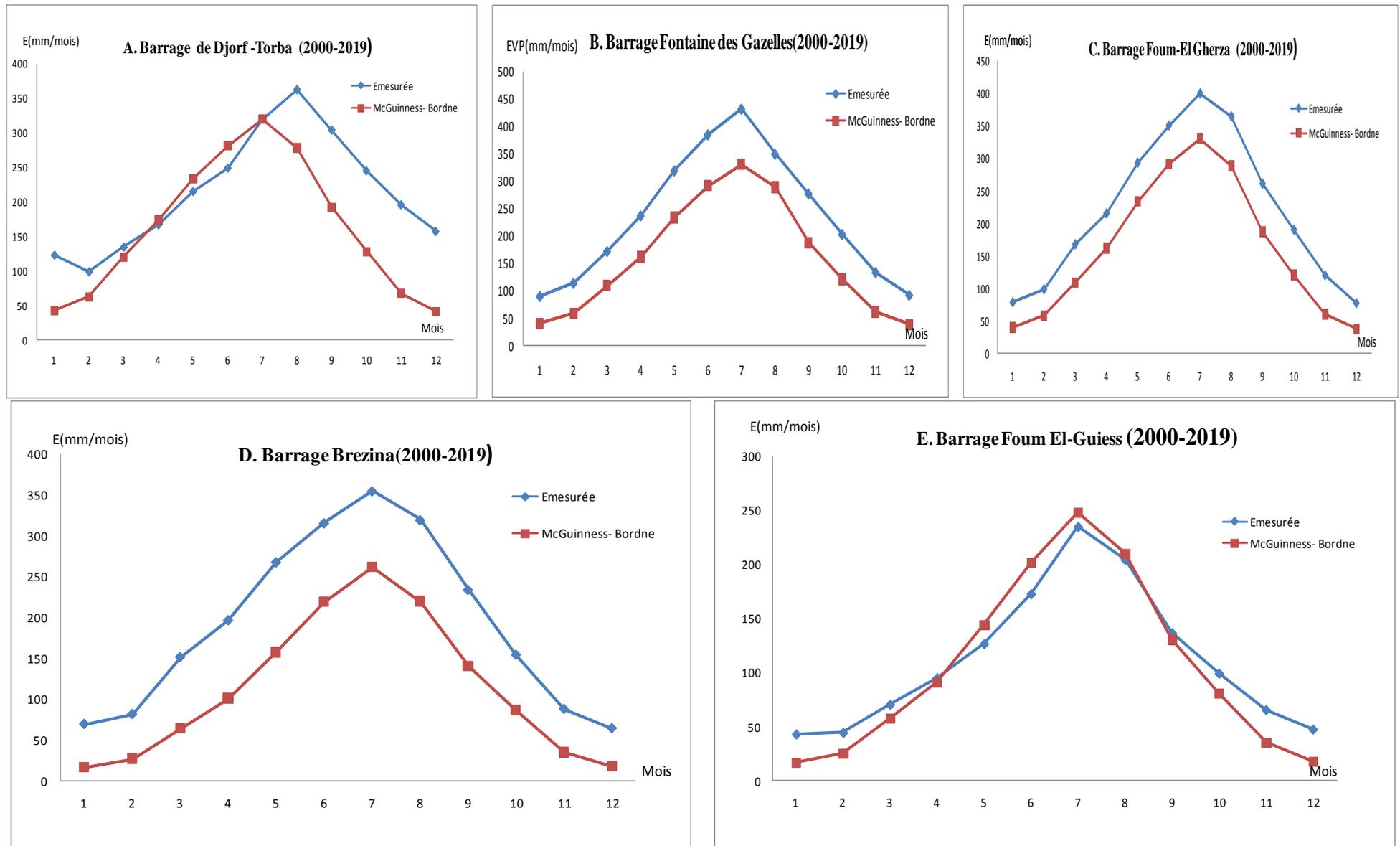


Figure III. 2. 4. 4. Comparaison des résultats d'évaporation obtenus par le modèle McGuinness- Bordne (1972) et l'évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 2. 4. 21. Résultats obtenus par le modèle de Caprio (1975) –Barrage Djorf-Torba- Béchar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
E_{Caprio}(mm)	46,83	66,72	125,37	179,19	238,33	285,03	322,46	280,78	195,05	131,37	70,64	44,68	1986,44
Erreur (%)	-62%	-36%	-5%	9%	11%	12%	-1%	-22%	-35%	-46%	-63%	-71%	-23%

Tableau III. 2. 4. 22. Résultats obtenus par le modèle de Caprio (1975) –Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{Caprio}(mm)	43,58	62,27	113,72	166,80	238,30	294,87	332,88	291,07	190,41	123,93	63,91	41,00	1962,74
Erreur (%)	-54%	-47%	-36%	-30%	-28%	-22%	-23%	-24%	-31%	-39%	-52%	-58%	-31%

Tableau III. 2. 4. 23. Résultats obtenus par le modèle de Caprio (1975) –Barrage Foug El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{Caprio}(mm)	43,58	62,27	113,72	166,80	238,30	294,87	332,88	291,07	190,41	123,93	63,91	41,00	1962,74
Erreur (%)	-45%	-37%	-32%	-23%	-19%	-16%	-17%	-20%	-27%	-35%	-47%	-47%	-25%

Tableau III. 2. 4. 24. Résultats obtenus par le modèle de Caprio (1975) –Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
E_{Caprio}(mm)	20,70	31,78	69,95	107,44	164,02	224,62	266,47	224,26	145,05	90,83	38,37	21,31	1404,81
Erreur (%)	-75%	-68%	-60%	-55%	-51%	-44%	-39%	-44%	-50%	-53%	-65%	-74%	-51%

Tableau III. 2. 4. 25. Résultats obtenus par le modèle de Caprio (1975) –Barrage Foug El-Guies– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
E_{Caprio}(mm)	20,33	29,17	63,07	96,68	150,17	206,74	252,74	214,38	134,50	84,72	38,21	20,56	1311,27
Erreur (%)	-53%	-34%	-10%	2%	19%	20%	8%	5%	-2%	-15%	-42%	-57%	-2%

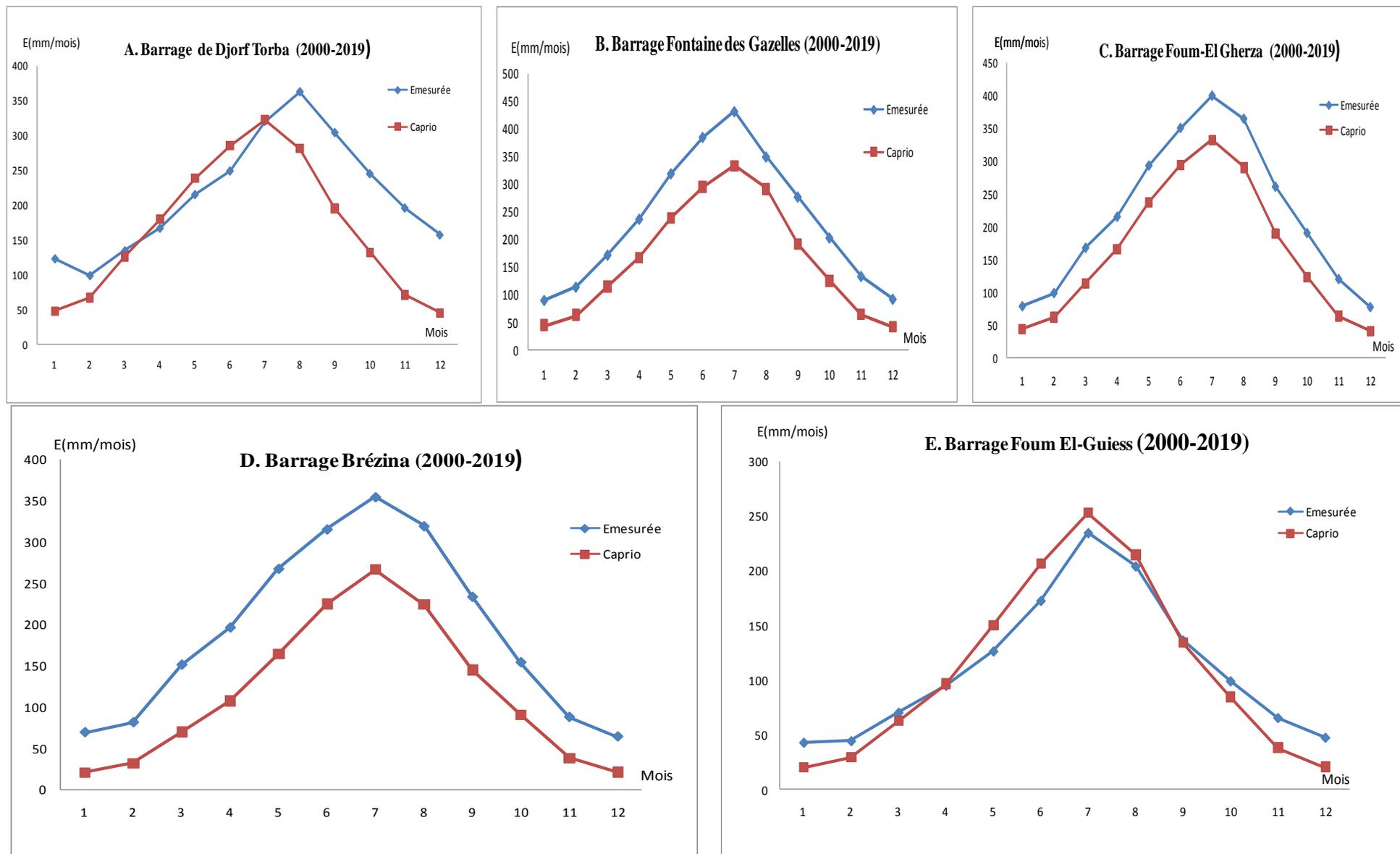


Figure III. 2. 4. 5. Comparaison des résultats d'évaporation obtenus par le modèle Caprio (1975) et l'évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 2. 4. 26. Résultats obtenus par le modèle de Doorenbos-Pruitt (1977) –Barrage Djorf-Torba- Béchar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
E_{Doors-Pruitt} (mm)	88,20	116,28	183,83	234,35	276,62	294,27	307,86	269,58	202,07	150,11	98,84	80,54	2302,55
Erreur (%)	-29%	11%	39%	43%	29%	16%	-6%	-25%	-33%	-39%	-48%	-48%	-10%

Tableau III. 2. 4. 27. Résultats obtenus par le modèle de Doorenbos-Pruitt (1977) –Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{Doors-Pruitt} (mm)	67,44	96,56	156,48	206,03	264,96	289,93	303,04	265,25	183,33	129,71	79,23	57,00	2098,96
Erreur (%)	-29%	-17%	-12%	-13%	-20%	-24%	-30%	-31%	-33%	-36%	-41%	-42%	-27%

Tableau III. 2. 4. 28. Résultats obtenus par le modèle de Doorenbos-Pruitt (1977) –Barrage Foum El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{Doors-Pruitt} (mm)	67,44	96,56	156,48	206,03	264,96	289,93	303,04	265,25	183,33	129,71	79,23	57,00	2098,96
Erreur (%)	-15%	-3%	-7%	-4%	-10%	-17%	-24%	-27%	-30%	-32%	-34%	-27%	-20%

Tableau III. 2. 4. 29. Résultats obtenus par le modèle de Doorenbos-Pruitt (1977) –Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
E_{Doors-Pruitt} (mm)	59,38	81,09	135,01	174,56	223,52	261,41	282,53	239,85	169,77	120,87	67,96	48,82	1864,77
Erreur (%)	-29%	-18%	-23%	-27%	-33%	-34%	-36%	-40%	-42%	-37%	-39%	-40%	-34%

Tableau III. 2. 4. 30. Résultats obtenus par le modèle de Doorenbos-Pruitt (1977) –Barrage Foum El-Guies– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
E_{Doors-Pruitt} (mm)	47,82	67,70	113,00	145,15	193,58	233,81	267,06	225,84	149,76	105,59	59,57	40,26	1649,12
Erreur (%)	11%	52%	60%	53%	53%	35%	14%	10%	10%	6%	-9%	-15%	23%

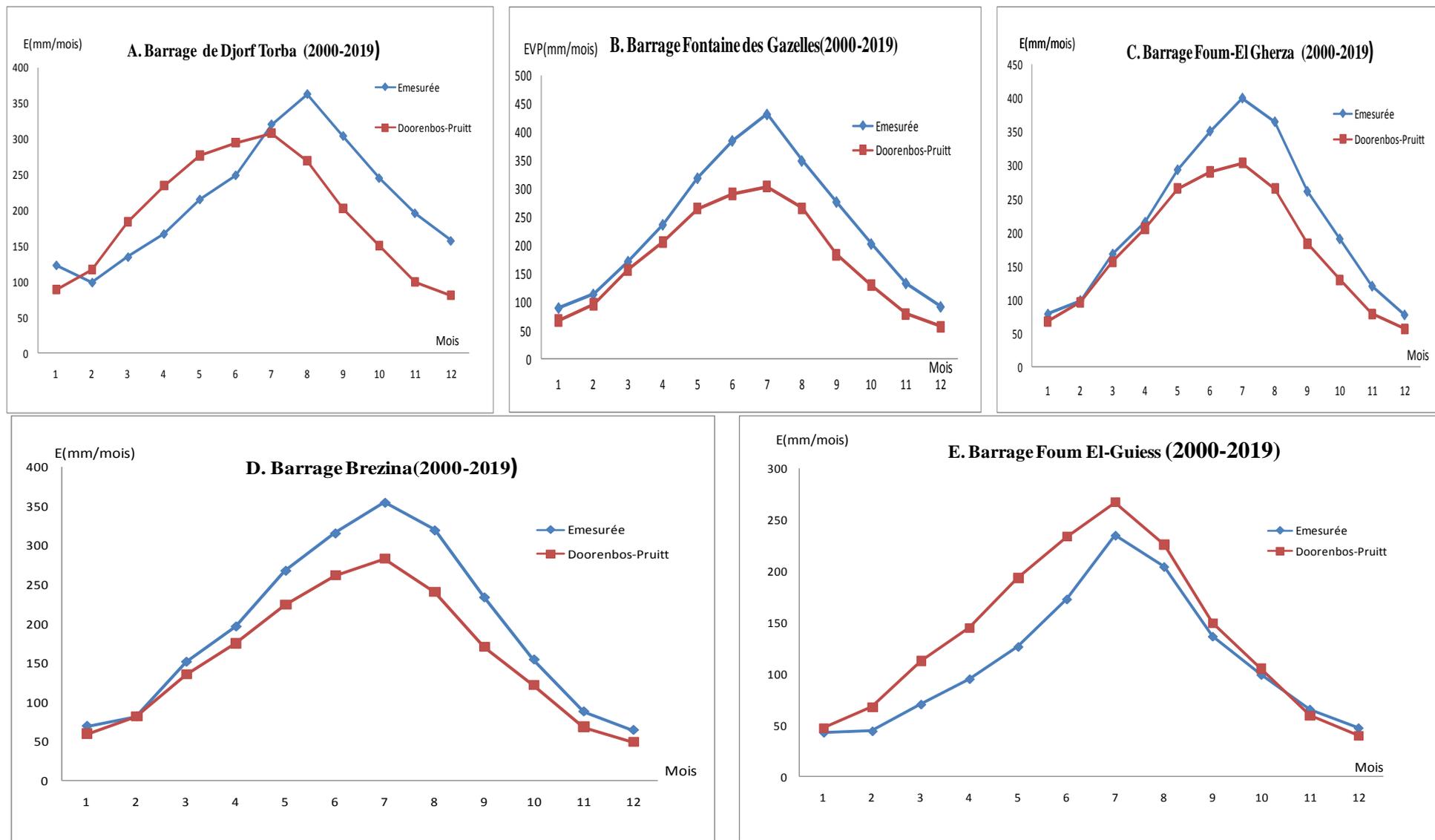


Figure III. 2. 4. 6. Comparaison des résultats d'évaporation obtenus par le modèle Doorenbos-Pruitt (1977) et l'évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 2. 4. 31. Résultats obtenus par le modèle de Hargreaves - Samani (1982) –Barrage Djorf-Torba- Béchar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
E_{Harg-Samani} (mm)	97,69	122,05	191,29	241,56	298,96	333,81	368,22	318,84	230,08	169,82	108,40	84,52	2565,24
Erreur (%)	-21%	17%	45%	47%	39%	31%	13%	-11%	-24%	-31%	-43%	-45%	0%

Tableau III. 2. 4. 32. Résultats obtenus par le modèle de Hargreaves - Samani (1982) –Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{Harg-Samani} (mm)	72,00	98,35	161,09	218,00	291,64	345,02	375,90	324,59	215,23	149,25	86,39	63,30	2400,75
Erreur (%)	-24%	-16%	-10%	-8%	-11%	-9%	-13%	-16%	-22%	-26%	-36%	-35%	-16%

Tableau III. 2. 4. 33. Résultats obtenus par le modèle de Hargreaves - Samani (1982) –Barrage Foug El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{Harg-Samani} (mm)	72,00	98,35	161,09	218,00	291,64	345,02	375,90	324,59	215,23	149,25	86,39	63,30	2400,75
Erreur (%)	-9%	-1%	-4%	1%	-1%	-2%	-6%	-11%	-18%	-22%	-28%	-19%	-8%

Tableau III. 2. 4. 34. Résultats obtenus par le modèle de Hargreaves - Samani (1982) –Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
E_{Harg-Samani} (mm)	57,90	76,31	129,90	174,80	237,51	297,91	332,43	281,92	188,83	127,70	68,19	50,13	2023,52
Erreur (%)	-30%	-23%	-26%	-27%	-29%	-25%	-24%	-29%	-36%	-34%	-38%	-38%	-29%

Tableau III. 2. 4. 35. Résultats obtenus par le modèle de Hargreaves - Samani (1982) –Barrage Foug El-Guiss– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
E_{Harg-Samani} (mm)	56,79	74,90	128,82	173,65	246,56	315,23	372,65	313,07	197,09	134,42	72,42	50,84	2136,43
Erreur (%)	32%	69%	83%	82%	95%	82%	59%	53%	44%	35%	10%	7%	59%

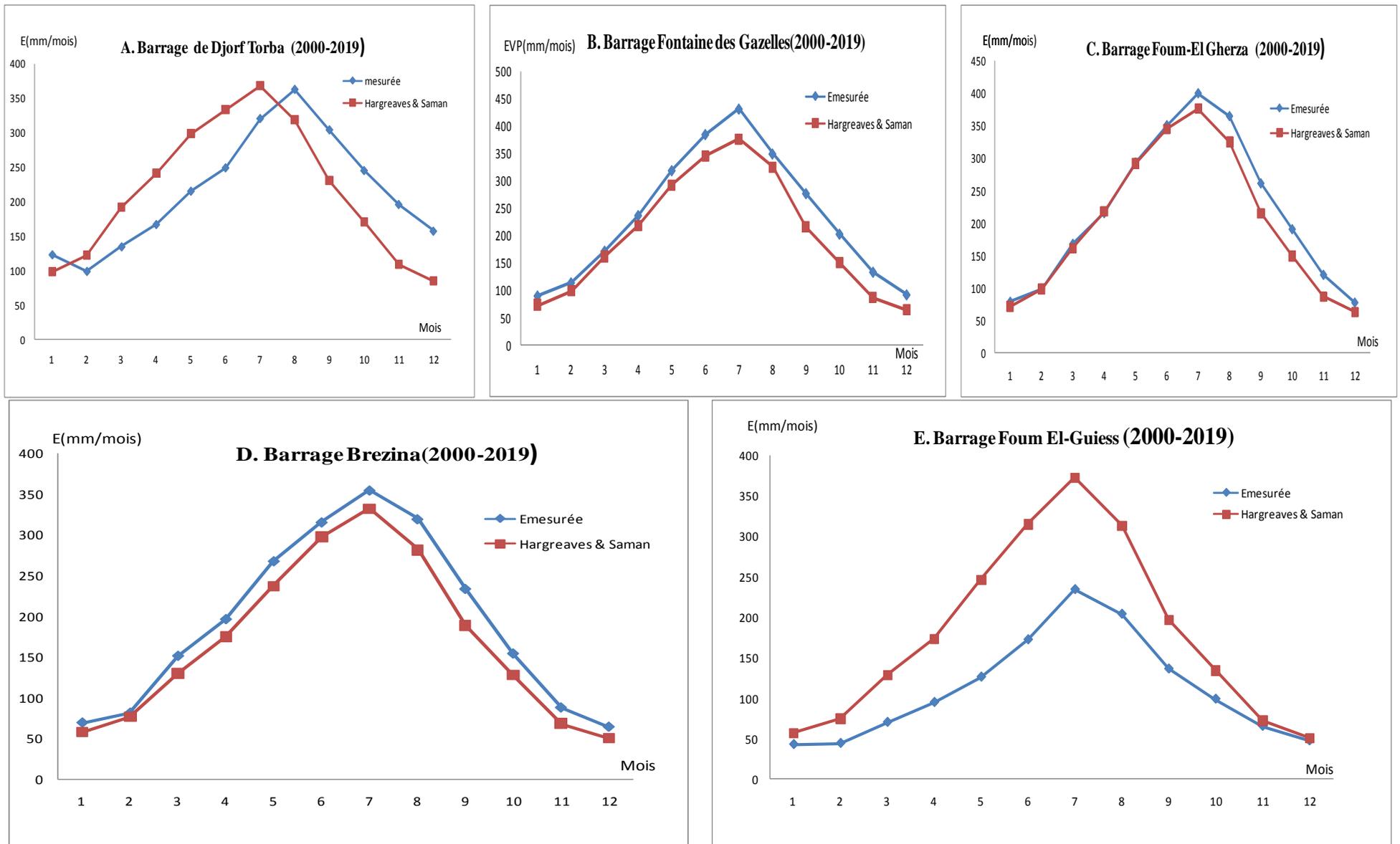


Figure III. 2. 4. 7. Comparaison des résultats d'évaporation obtenus par le modèle Hargreaves - Samani (1982) et l'évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 2. 4. 36. Résultats obtenus par le modèle de Ritchie (1990) -Barrage Djorf-Torba- Béchar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
E_{Ritchie}(mm)	71,33	88,67	129,70	161,58	194,50	273,52	276,61	198,02	152,65	116,05	78,34	63,85	1804,82
Erreur (%)	-42%	-15%	-2%	-1%	-9%	8%	-15%	-45%	-49%	-53%	-59%	-59%	-30%

Tableau III. 2. 4. 37. Résultats obtenus par le modèle de Ritchie (1990) -Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{Ritchie}(mm)	57,67	76,05	116,05	150,48	193,49	247,20	304,57	259,33	147,91	106,71	66,73	51,86	1778,05
Erreur (%)	-39%	-35%	-35%	-36%	-41%	-35%	-29%	-33%	-46%	-47%	-50%	-47%	-38%

Tableau III. 2. 4. 38. Résultats obtenus par le modèle de Ritchie (1990) - Barrage Foum El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{Ritchie}(mm)	57,67	76,05	116,05	150,48	193,49	247,20	304,57	259,33	147,91	106,71	66,73	51,86	1778,05
Erreur (%)	-27%	-23%	-31%	-30%	-34%	-30%	-24%	-29%	-43%	-44%	-45%	-34%	-32%

Tableau III. 2. 4. 39. Résultats obtenus par le modèle de Ritchie (1990) -- Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
E_{Ritchie}(mm)	52,50	65,91	101,85	128,07	163,17	190,93	210,16	180,41	130,82	96,23	58,84	46,98	1425,88
Erreur (%)	-37%	-33%	-42%	-47%	-51%	-52%	-52%	-55%	-55%	-50%	-47%	-42%	-50%

Tableau III. 2. 4. 40. Résultats obtenus par le modèle de Ritchie (1990) --Barrage Foum El-Guiss– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
E_{Ritchie}(mm)	46,17	58,19	91,08	114,88	151,36	179,05	217,03	176,53	123,20	89,03	53,76	41,02	1341,30
Erreur (%)	7%	31%	29%	21%	20%	4%	-8%	-14%	-10%	-10%	-18%	-14%	0%

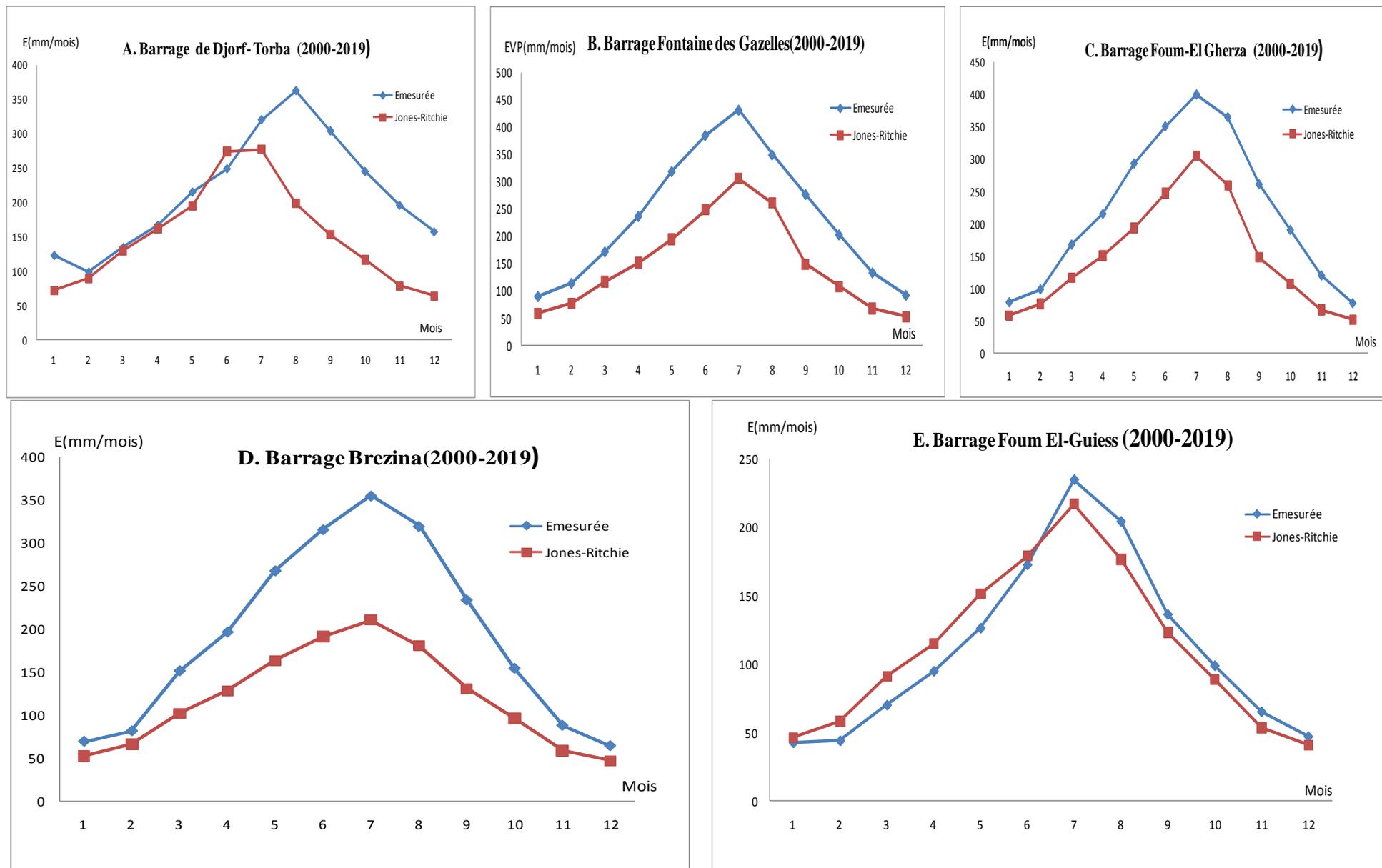


Figure III. 2. 4. 8. Comparaison des résultats d'évaporation obtenus par le modèle Ritchie (1990) et l'évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 2. 4. 41. Résultats obtenus par le modèle de Allen (1993) –Barrage Djorf-Torba- Béchar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
E_{Allen} (mm)	41,73	52,03	80,60	101,51	124,90	138,81	152,16	132,41	96,38	71,57	46,22	36,36	1074,70
Erreur (%)	-66%	-50%	-39%	-38%	-42%	-45%	-53%	-63%	-68%	-71%	-76%	-76%	-58%

Tableau III. 2. 4. 42. Résultats obtenus par le modèle de Allen (1993) –Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{Allen} (mm)	31,36	42,53	68,67	92,12	122,22	143,30	155,73	135,18	90,67	63,44	37,31	27,69	1010,22
Erreur (%)	-67%	-64%	-62%	-61%	-63%	-62%	-64%	-65%	-67%	-69%	-72%	-72%	-65%

Tableau III. 2. 4. 43. Résultats obtenus par le modèle de Allen (1993) –Barrage Foug El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{Allen} (mm)	31,36	42,53	68,67	92,12	122,22	143,30	155,73	135,18	90,67	63,44	37,31	27,69	1010,22
Erreur (%)	-60%	-57%	-59%	-57%	-58%	-59%	-61%	-63%	-65%	-67%	-69%	-65%	-61%

Tableau III. 2. 4. 44 Résultats obtenus par le modèle de Allen (1993) – Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
E_{Allen} (mm)	25,96	33,86	56,44	74,83	100,28	124,01	137,65	117,21	79,79	54,93	30,20	22,62	857,78
Erreur (%)	-69%	-66%	-68%	-69%	-70%	-69%	-69%	-71%	-73%	-72%	-73%	-72%	-70%

Tableau III. 2. 4. 45. Résultats obtenus par le modèle de Allen (1993) –Barrage Foug El-Guiss– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
E_{Allen} (mm)	24,84	32,47	54,74	72,76	101,68	127,93	149,81	126,57	81,43	56,22	31,05	22,20	881,69
Erreur (%)	-42%	-27%	-22%	-24%	-20%	-26%	-36%	-38%	-40%	-43%	-53%	-53%	-34%

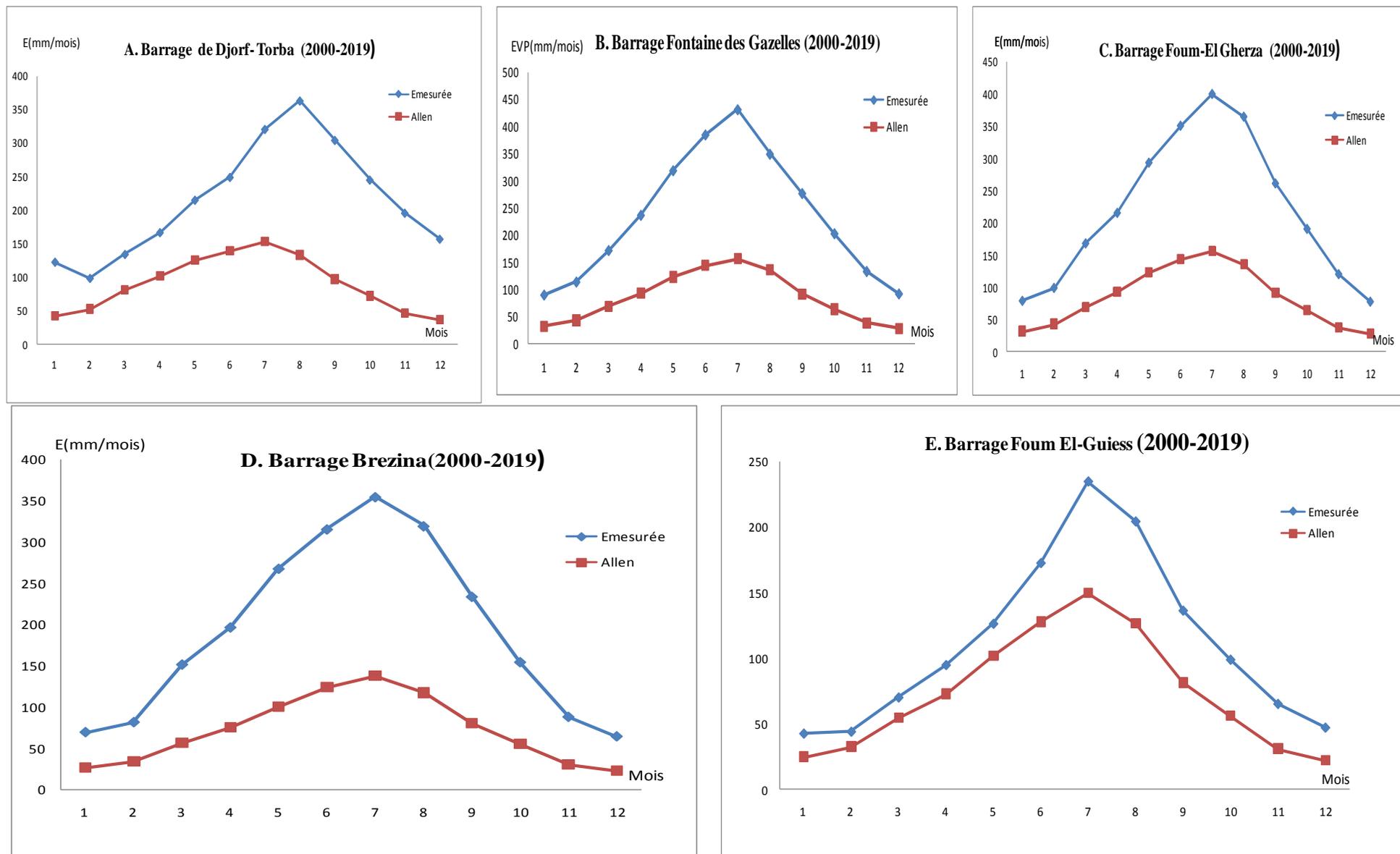


Figure III. 2. 4. 9. Comparaison des résultats d'évaporation obtenus par le modèle Allen (1993) et l'évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 2. 4. 46. Résultats obtenus par le modèle de Abtew (1996) –Barrage Djorf-Torba- Béchar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
E_{Berti} (mm)	51,23	67,69	111,02	148,57	190,87	222,48	247,39	216,56	154,05	108,28	63,67	45,87	1627,66
Erreur (%)	-59%	-35%	-16%	-9%	-11%	-13%	-24%	-40%	-49%	-56%	-67%	-70%	-37%

Tableau III. 2. 4. 47. Résultats obtenus par le modèle de Abtew (1996) -Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{Abtew} (mm)	40,94	57,08	97,85	137,64	190,58	230,43	256,89	224,94	148,75	99,93	54,62	37,38	1577,04
Erreur (%)	-57%	-51%	-45%	-42%	-42%	-39%	-40%	-42%	-46%	-51%	-59%	-62%	-45%

Tableau III. 2. 4. 48. Résultats obtenus par le modèle de Abtew (1996) -Barrage Foug El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{Abtew}(mm)	40,94	57,08	97,85	137,64	190,58	230,43	256,89	224,94	148,75	99,93	54,62	37,38	1577,04
Erreur (%)	-48%	-43%	-42%	-36%	-35%	-34%	-36%	-38%	-43%	-48%	-55%	-52%	-40%

Tableau III. 2. 4. 49. Résultats obtenus par le modèle de Abtew (1996) – Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
E_{Abtew} (mm)	25,79	35,97	68,91	98,89	142,23	185,28	213,90	181,73	120,29	78,27	36,95	23,73	1211,94
Erreur (%)	-69%	-64%	-61%	-59%	-57%	-53%	-51%	-54%	-59%	-59%	-67%	-71%	-57%

Tableau III. 2. 4. 50. Résultats obtenus par le modèle de Abtew (1996) –Barrage Foug El-Guieess– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
E_{Abtew} (mm)	26,79	35,90	67,09	94,81	139,48	182,67	218,61	184,92	118,89	78,58	39,04	24,82	1211,60
Erreur (%)	-38%	-19%	-5%	0%	10%	6%	-7%	-10%	-13%	-21%	-40%	-48%	-10%

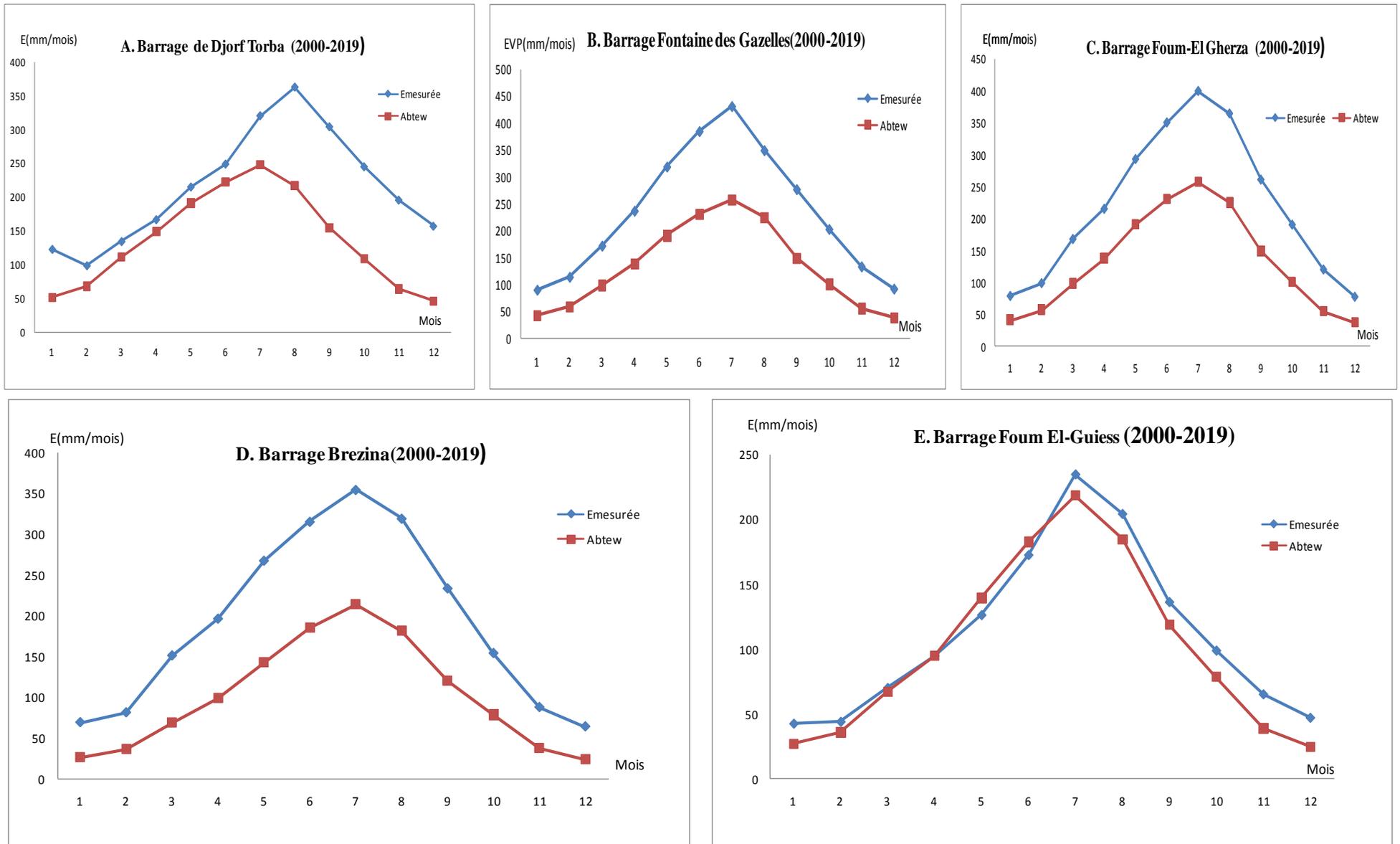


Figure III. 2. 4. 10. Comparaison des résultats d'évaporation obtenus par le modèle Abtew (1996) et l'évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 2. 4. 51. Résultats obtenus par le modèle de Droogers - Allen (2002) –Barrage Djorf-Torba- Béchar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
E_{Droogers} (mm)	41,75	52,31	82,41	104,41	129,56	145,02	160,22	138,66	99,84	73,45	46,63	36,17	1110,43
Erreur (%)	-66%	-50%	-37%	-36%	-40%	-43%	-51%	-61%	-67%	-70%	-76%	-77%	-57%

Tableau III. 2. 4. 52. Résultats obtenus par le modèle de Droogers - Allen (2002) -Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{Droogers} (mm)	30,85	42,22	69,42	94,24	126,42	149,92	163,56	141,18	93,43	64,60	37,22	27,15	1040,20
Erreur (%)	-68%	-64%	-61%	-60%	-62%	-61%	-62%	-63%	-66%	-68%	-72%	-72%	-64%

Tableau III. 2. 4. 53. Résultats obtenus par le modèle de Droogers - Allen (2002) -Barrage Foum El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{Droogers} (mm)	30,85	42,22	69,42	94,24	126,42	149,92	163,56	141,18	93,43	64,60	37,22	27,15	1040,20
Erreur (%)	-61%	-58%	-59%	-56%	-57%	-57%	-59%	-61%	-64%	-66%	-69%	-65%	-60%

Tableau III. 2. 4. 54. Résultats obtenus par le modèle de Droogers - Allen (2002) – Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
E_{Droogers} (mm)	24,54	32,43	55,55	75,06	102,42	128,98	144,26	122,25	81,63	54,99	29,13	21,29	872,54
Erreur (%)	-71%	-67%	-68%	-69%	-69%	-68%	-67%	-69%	-72%	-72%	-74%	-74%	-69%

Tableau III. 2. 4. 55. Résultats obtenus par le modèle de Droogers - Allen (2002) –Barrage Foum El-Guiess– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
E_{Droogers} (mm)	24,11	31,86	55,11	74,58	106,31	136,43	161,63	135,72	85,19	57,91	31,00	21,63	921,47
Erreur (%)	-44%	-28%	-22%	-22%	-16%	-21%	-31%	-34%	-38%	-42%	-53%	-54%	-31%

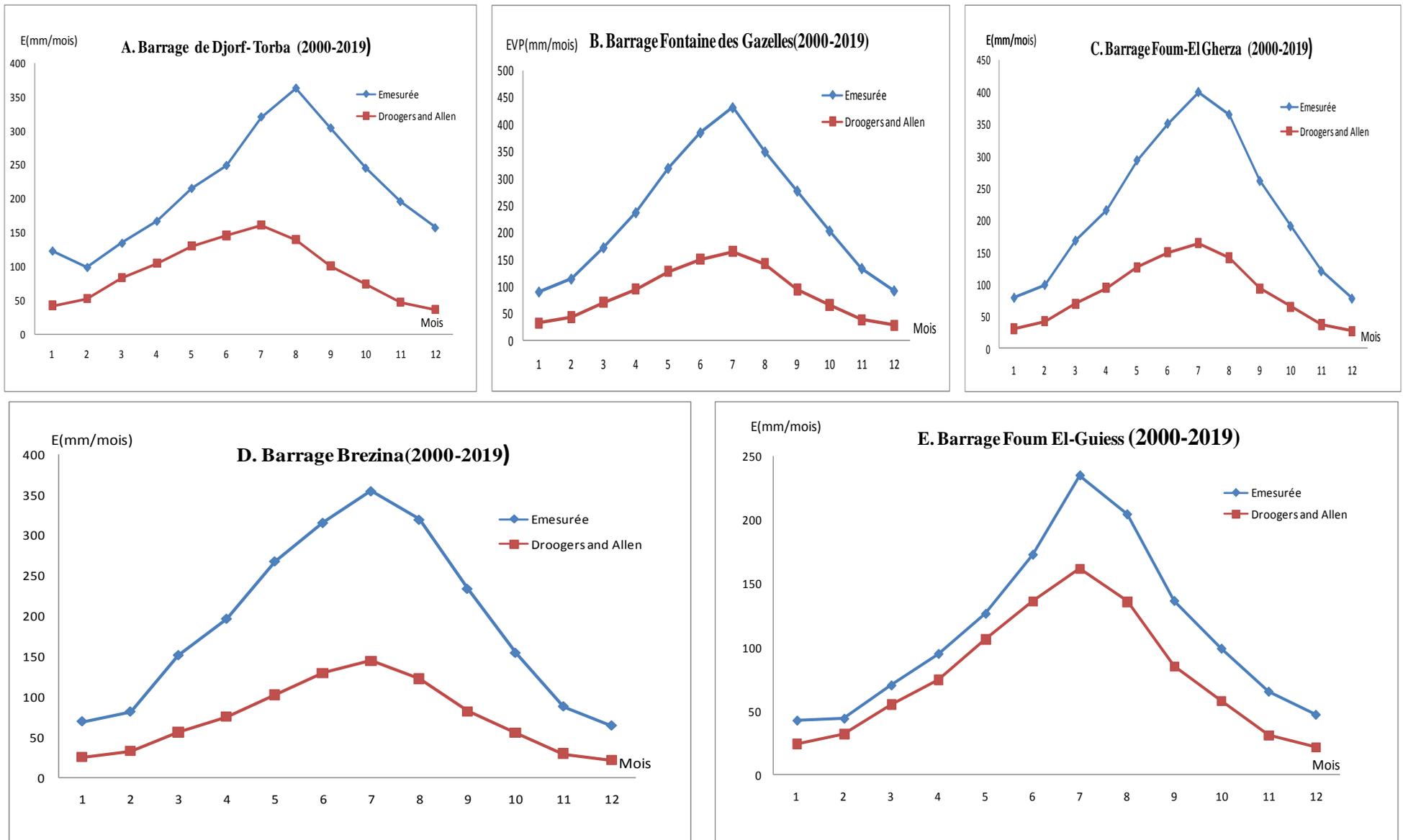


Figure III. 2. 4. 11. Comparaison des résultats d'évaporation obtenus par le modèle Droogers - Allen (2002) et l'évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 2. 4. 56. Résultats obtenus par le modèle d'Irmak *et al* -1 (2003) –Barrage Djorf-Torba- Béchar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
E_{Irmak} (mm)	66,76	82,37	119,43	142,99	167,03	177,92	190,14	175,25	140,68	113,65	78,36	61,39	1515,97
Erreur (%)	-46%	-21%	-9%	-13%	-22%	-30%	-42%	-51%	-53%	-54%	-59%	-60%	-41%

Tableau III. 2. 4. 57. Résultats obtenus par le modèle d'Irmak *et al* -1 (2003) -Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{Irmak} (mm)	57,97	73,89	109,42	135,11	166,03	181,43	194,23	179,08	138,01	108,68	71,53	54,33	1469,74
Erreur (%)	-39%	-37%	-39%	-43%	-50%	-52%	-55%	-54%	-50%	-46%	-47%	-44%	-49%

Tableau III. 2. 4. 58. Résultats obtenus par le modèle d'Irmak *et al*-1 (2003) -Barrage Foug El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{Irmak} (mm)	57,97	73,89	109,42	135,11	166,03	181,43	194,23	179,08	138,01	108,68	71,53	54,33	1469,74
Erreur (%)	-27%	-26%	-35%	-37%	-43%	-48%	-51%	-51%	-47%	-43%	-41%	-30%	-44%

Tableau III. 2. 4. 59. Résultats obtenus par le modèle d'Irmak *et al*-1 (2003) – Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
E_{Irmak} (mm)	45,30	60,03	94,52	116,53	143,98	162,54	175,55	157,87	121,60	93,83	56,15	40,96	1268,86
Erreur (%)	-46%	-39%	-46%	-52%	-57%	-59%	-60%	-60%	-58%	-51%	-49%	-50%	-55%

Tableau III. 2. 4. 60. Résultats obtenus par le modèle d'Irmak *et al*-1 (2003) –Barrage Foug El-Guies– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
E_{Irmak} (mm)	39,42	52,43	84,72	105,59	134,83	153,97	170,99	153,75	115,48	88,28	52,98	36,01	1188,46
Erreur (%)	-8%	18%	20%	11%	7%	-11%	-27%	-25%	-15%	-11%	-19%	-24%	-11%

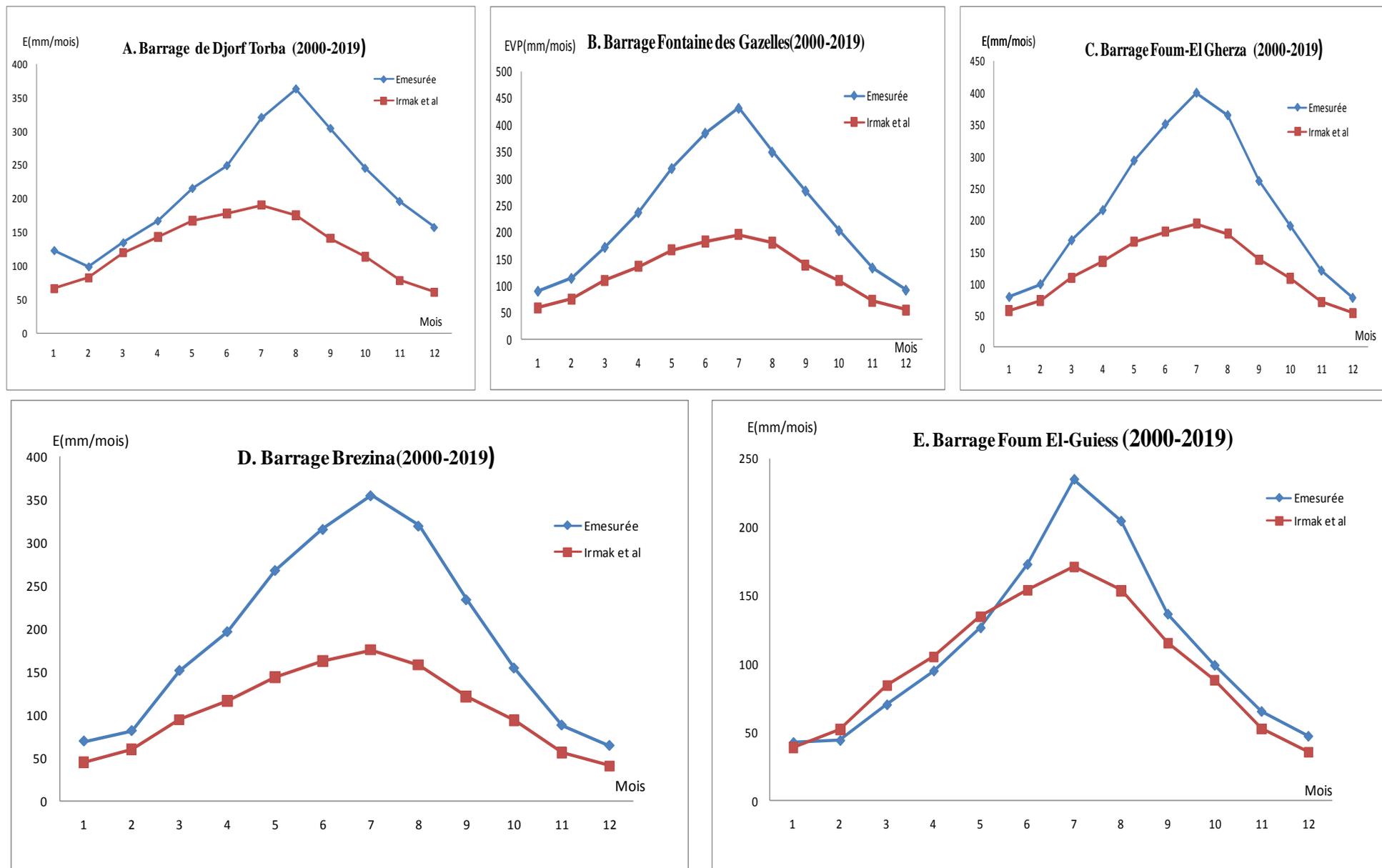


Figure III. 2. 4. 12. Comparaison des résultats d'évaporation obtenus par le modèle Irmak *et al* -1(2003) et l'évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 2. 4. 61. Résultats obtenus par le modèle d'Irmak *et al* -2 (2003) - Barrage Djorf-Torba- Béchar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
E_{Irmak-2}(mm)	87,27	100,87	136,04	156,64	179,14	187,31	197,64	182,80	149,66	125,45	93,02	79,59	1675,44
Erreur (%)	-29%	-3%	3%	-4%	-16%	-26%	-40%	-49%	-50%	-49%	-51%	-48%	-35%

Tableau III. 2. 4. 62. Résultats obtenus par le modèle d'Irmak *et al*-2 (2003) -Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{Irmak-2}(mm)	72,71	88,11	123,69	147,88	177,73	190,97	202,33	186,73	145,67	118,36	83,02	67,75	1604,96
Erreur (%)	-23%	-25%	-31%	-38%	-46%	-50%	-53%	-52%	-47%	-42%	-38%	-31%	-44%

Tableau III. 2. 4. 63. Résultats obtenus par le modèle d'Irmak *et al* -2 (2003) -Barrage Foum El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{Irmak-2}(mm)	72,71	88,11	123,69	147,88	177,73	190,97	202,33	186,73	145,67	118,36	83,02	67,75	1604,96
Erreur (%)	-8%	-11%	-27%	-31%	-39%	-46%	-49%	-49%	-44%	-38%	-31%	-13%	-39%

Tableau III. 2. 4. 64. Résultats obtenus par le modèle d'Irmak *et al*-2 (2003) – Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
E_{Irmak-2}(mm)	62,90	76,79	112,42	133,66	160,54	176,66	187,84	170,20	133,96	107,22	70,38	56,61	1449,16
Erreur (%)	-24%	-22%	-36%	-44%	-52%	-56%	-57%	-57%	-54%	-44%	-36%	-30%	-49%

Tableau III. 2. 4. 65. Résultats obtenus par le modèle d'Irmak *et al* -2 (2003) –Barrage Foum El-Guiss– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
E_{Irmak-2}(mm)	59,76	71,87	105,70	125,64	155,53	173,15	190,13	171,66	132,05	105,95	70,31	55,08	1416,83
Erreur (%)	39%	62%	50%	32%	23%	0%	-19%	-16%	-3%	7%	7%	16%	6%

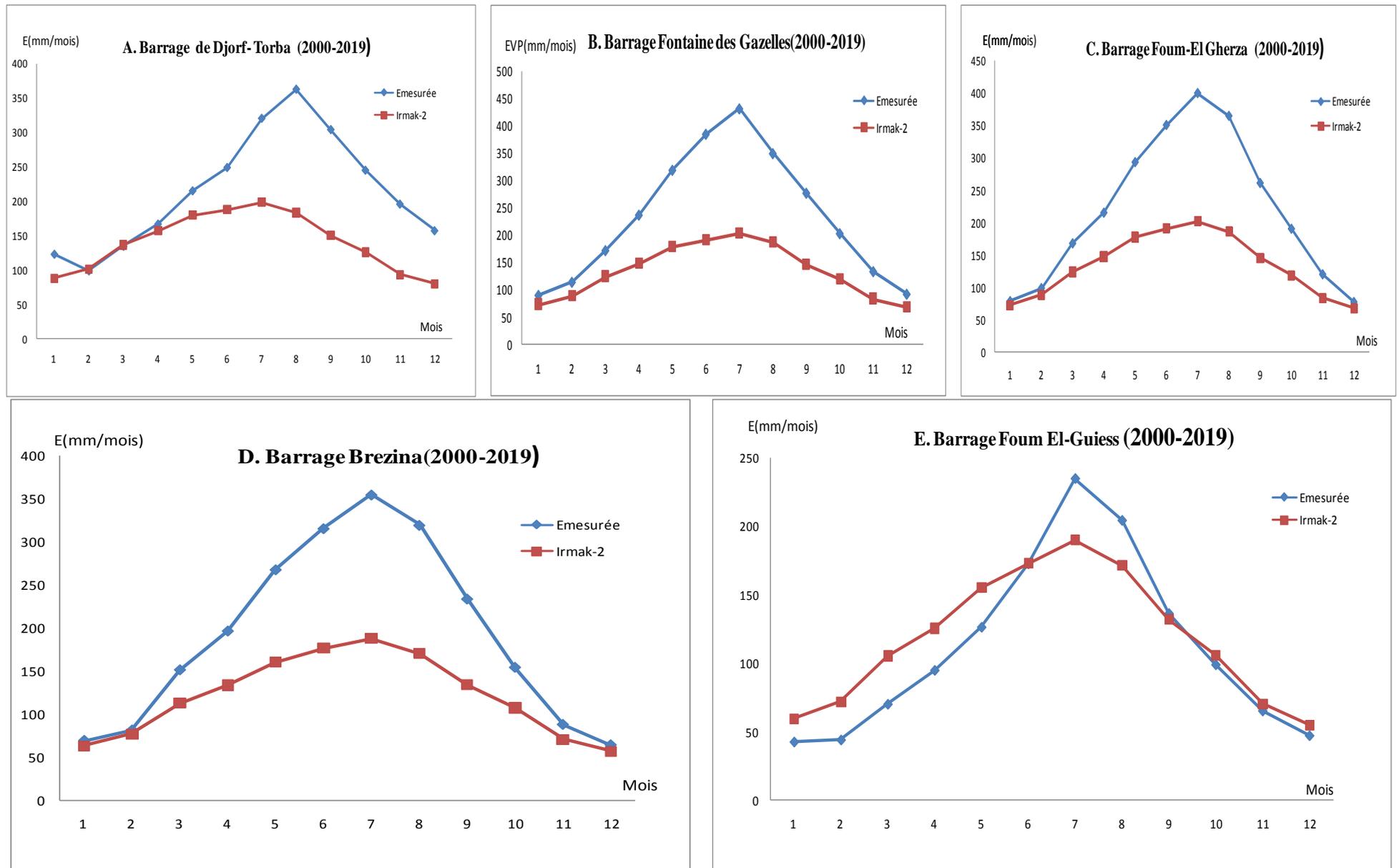


Figure III. 2. 4. 13. Comparaison des résultats d'évaporation obtenus par le modèle Irmak *et al*-2 (2003) et l'évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 2. 4. 66. Résultats obtenus par le modèle d'Oudin-2 (2005) –Barrage Djorf-Torba- Béchar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
E_{Oudin-2}(mm)	61,27	82,74	143,44	196,80	254,56	297,28	331,68	290,17	205,71	143,17	82,51	57,03	2146,35
Erreur (%)	-50%	-21%	9%	20%	19%	17%	1%	-19%	-32%	-42%	-57%	-63%	-16%

Tableau III. 2. 4. 67. Résultats obtenus par le modèle d'Oudin-2 (2005) -Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{Oudin-2}(mm)	54,16	75,18	129,45	183,02	253,89	307,02	342,53	300,52	200,09	134,01	73,17	50,10	2103,13
Erreur (%)	-43%	-36%	-28%	-23%	-23%	-19%	-21%	-22%	-27%	-34%	-45%	-49%	-27%

Tableau III. 2. 4. 68. Résultats obtenus par le modèle d'Oudin-2 (2005) -Barrage Foum El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{Oudin-2}(mm)	54,16	75,18	129,45	183,02	253,89	307,02	342,53	300,52	200,09	134,01	73,17	50,10	2103,13
Erreur (%)	-32%	-24%	-23%	-15%	-13%	-12%	-14%	-18%	-23%	-30%	-39%	-36%	-20%

Tableau III. 2. 4. 69. Résultats obtenus par le modèle d'Oudin-2 (2005) – Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
E_{Oudin-2}(mm)	34,58	47,98	90,38	128,81	185,23	242,35	280,91	238,11	158,97	104,61	50,60	33,13	1595,67
Erreur (%)	-58%	-51%	-48%	-46%	-44%	-39%	-36%	-40%	-46%	-46%	-54%	-59%	-44%

Tableau III. 2. 4. 70. Résultats obtenus par le modèle d'Oudin-2 (2005) –Barrage Foum El-Guiss– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
E_{Oudin-2}(mm)	31,86	43,04	80,99	115,57	170,01	223,81	267,77	228,23	147,65	96,97	48,53	30,29	1484,72
Erreur (%)	-26%	-3%	15%	21%	34%	30%	14%	12%	8%	-2%	-26%	-36%	11%

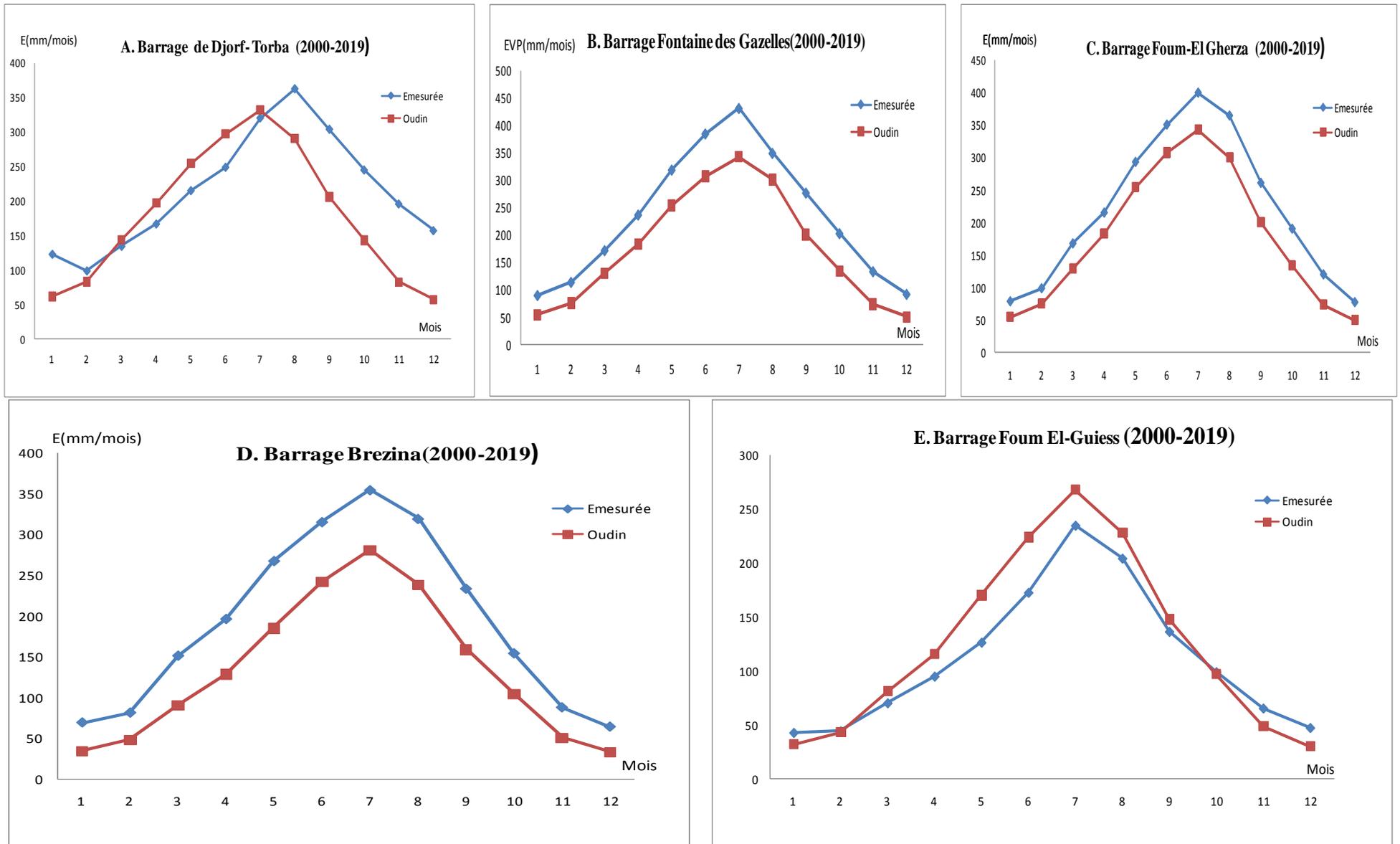


Figure III. 2. 4. 14. Comparaison des résultats d'évaporation obtenus par le modèle Oudin-2 (2005) et l'évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 2. 4. 71. Résultats obtenus par le modèle de Trajkovic (2007) –Barrage Djorf-Torba- Béchar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
E_{Trajkovi}(mm)	35,49	44,45	69,59	88,15	109,05	121,80	134,05	116,42	84,27	62,18	39,71	30,92	936,08
Erreur (%)	-71%	-57%	-47%	-46%	-49%	-52%	-59%	-68%	-72%	-75%	-79%	-80%	-64%

Tableau III. 2. 4. 72. Résultats obtenus par le modèle de Trajkovic (2007) –Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{Trajkovi}(mm)	26,65	36,29	59,16	79,90	106,67	125,82	137,10	118,79	79,22	55,06	32,02	23,54	880,22
Erreur (%)	-72%	-69%	-67%	-66%	-68%	-67%	-68%	-69%	-71%	-73%	-76%	-76%	-69%

Tableau III. 2. 4. 73. Résultats obtenus par le modèle de Trajkovic (2007) –Barrage Foug El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{Trajkovi}(mm)	26,65	36,29	59,16	79,90	106,67	125,82	137,10	118,79	79,22	55,06	32,02	23,54	880,22
Erreur (%)	-66%	-63%	-65%	-63%	-64%	-64%	-66%	-67%	-70%	-71%	-73%	-70%	-66%

Tableau III. 2. 4. 74. Résultats obtenus par le modèle de Trajkovic (2007) -Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
E_{Trajkovi}(mm)	21,55	28,30	47,84	64,05	86,67	108,21	120,70	102,55	69,22	47,16	25,44	18,80	740,50
Erreur (%)	-74%	-71%	-73%	-73%	-74%	-73%	-72%	-74%	-76%	-76%	-77%	-77%	-74%

Tableau III. 2. 4. 75. Résultats obtenus par le modèle de Trajkovic (2007) –Barrage Foug El-Guies– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
E_{Trajkovi}(mm)	20,80	27,32	46,67	62,62	88,36	112,25	132,19	111,44	71,00	48,62	26,44	18,65	766,35
Erreur (%)	-52%	-38%	-34%	-34%	-30%	-35%	-44%	-45%	-48%	-51%	-60%	-61%	-43%

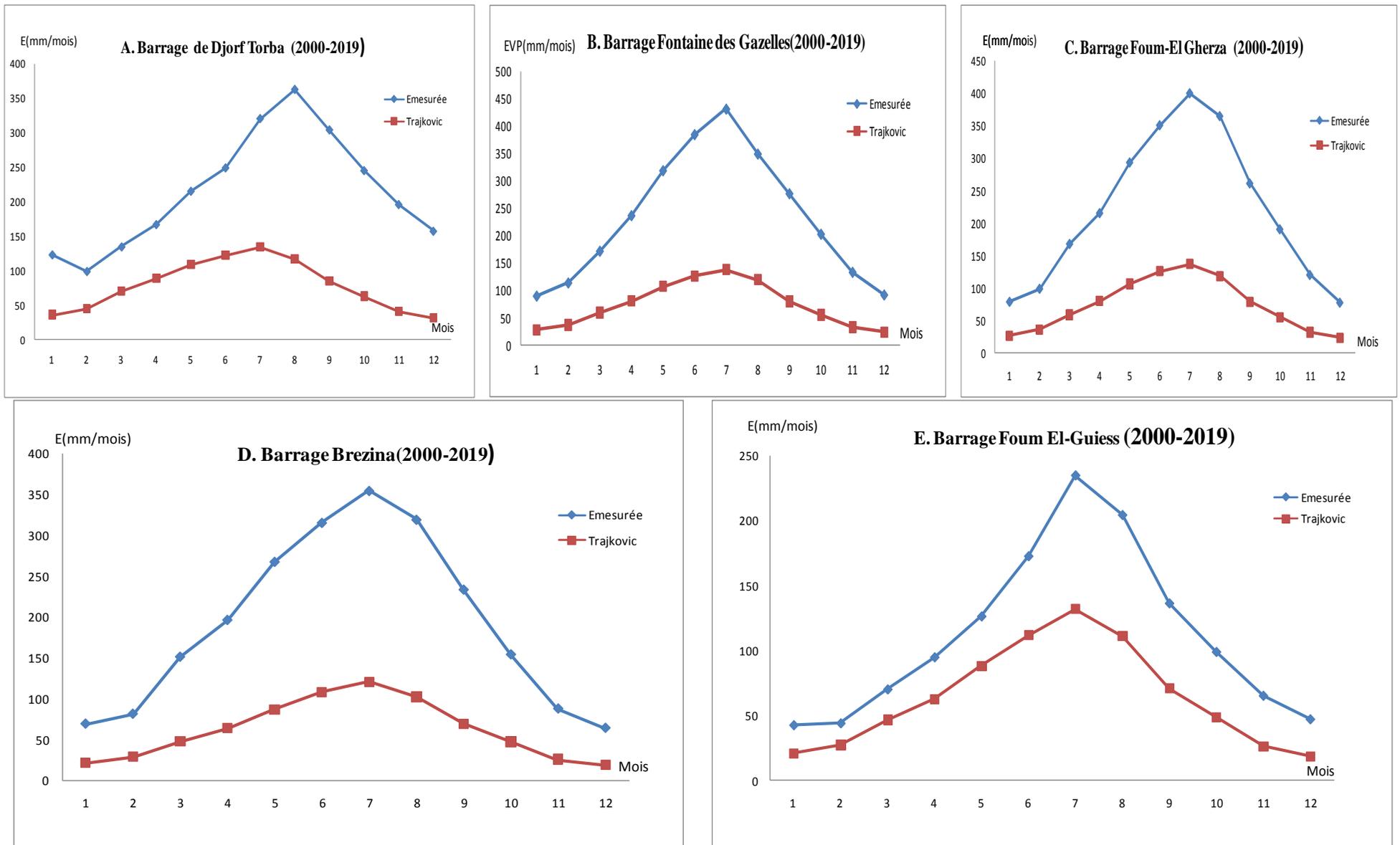


Figure III. 2. 4. 15. Comparaison des résultats d'évaporation obtenus par le modèle Trajkovic (2007) et l'évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 2. 4. 76. Résultats obtenus par le modèle de Tabari - Talae (2011) –Barrage Djorf-Torba- Béchar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
E_{Tabari-Talae} (mm)	62,89	78,51	111,30	132,12	151,29	156,50	161,93	147,14	117,56	94,81	67,12	55,01	1336,19
Erreur (%)	-49%	-25%	-16%	-19%	-29%	-38%	-50%	-59%	-61%	-61%	-65%	-64%	-48%

Tableau III. 2. 4. 77. Résultats obtenus par le modèle de Tabari - Talae (2011) -Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{Tabari-Talae} (mm)	48,97	66,29	98,81	122,70	149,29	159,83	166,93	151,10	113,06	86,91	56,38	43,23	1263,49
Erreur (%)	-48%	-43%	-45%	-48%	-55%	-58%	-61%	-61%	-59%	-57%	-58%	-56%	-56%

Tableau III. 2. 4. 78. Résultats obtenus par le modèle de Tabari -Talae (2011) -Barrage Foug El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{Tabari-Talae} (mm)	48,97	66,29	98,81	122,70	149,29	159,83	166,93	151,10	113,06	86,91	56,38	43,23	1263,49
Erreur (%)	-38%	-33%	-41%	-43%	-49%	-54%	-58%	-59%	-57%	-54%	-53%	-45%	-52%

Tableau III. 2. 4. 79. Résultats obtenus par le modèle de Tabari - Talae (2011) – Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
E_{Tabari-Talae} (mm)	46,59	61,80	94,53	114,68	137,80	150,47	156,54	138,58	106,67	82,40	51,44	39,80	1181,30
Erreur (%)	-44%	-37%	-46%	-52%	-59%	-62%	-64%	-65%	-64%	-57%	-54%	-51%	-58%

Tableau III. 2. 4. 80. Résultats obtenus par le modèle de Tabari - Talae (2011) –Barrage Foug El-Guies– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
E_{Tabari-Talae} (mm)	38,22	52,23	82,68	101,61	127,54	141,38	153,10	134,68	99,90	74,99	45,38	32,39	1084,12
Erreur (%)	-11%	18%	17%	7%	1%	-18%	-35%	-34%	-27%	-24%	-31%	-32%	-19%

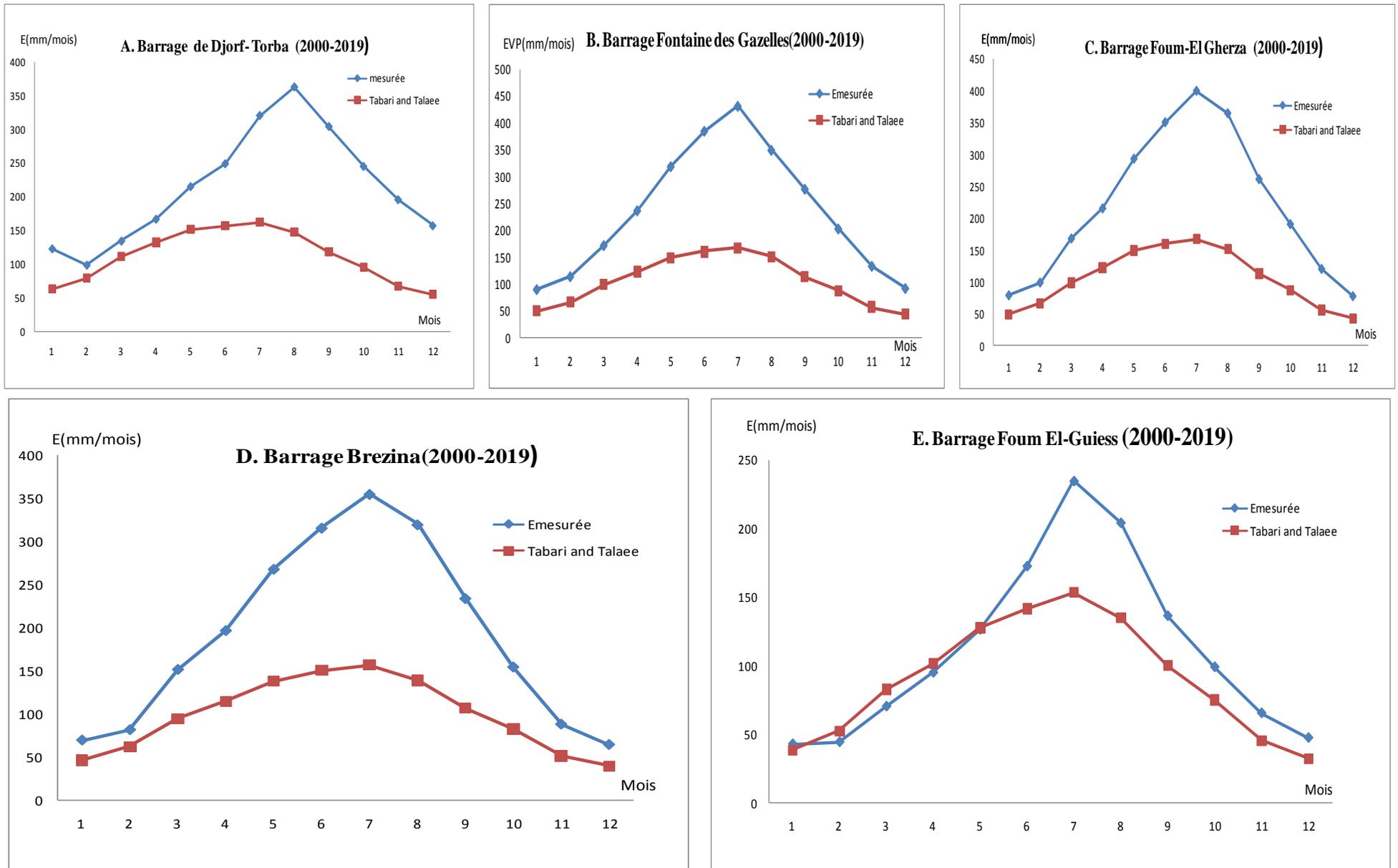


Figure III. 2. 4. 16. Comparaison des résultats d'évaporation obtenus par le modèle Tabari - Talae (2011) et l'évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 2. 4. 81. Résultats obtenus par le modèle de Berti et *al* (2014) –Barrage Djorf-Torba- Béchar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
E_{Berti} (mm)	85,71	107,03	167,78	211,73	262,07	292,60	322,93	279,44	201,51	148,74	94,94	74,05	2248,54
Erreur (%)	-31%	2%	27%	29%	22%	15%	-1%	-22%	-33%	-39%	-50%	-52%	-13%

Tableau III. 2. 4. 82. Résultats obtenus par le modèle de Berti et *al* (2014) -Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{Berti} (mm)	62,91	85,99	141,00	190,90	255,50	302,47	329,53	284,33	188,29	130,50	75,46	55,26	2102,14
Erreur (%)	-34%	-26%	-21%	-19%	-22%	-20%	-24%	-26%	-32%	-36%	-44%	-43%	-27%

Tableau III. 2. 4. 83. Résultats obtenus par le modèle de Berti et *al* (2014) -Barrage Foug El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{Berti} (mm)	62,91	85,99	141,00	190,90	255,50	302,47	329,53	284,33	188,29	130,50	75,46	55,26	2102,14
Erreur (%)	-21%	-13%	-16%	-11%	-13%	-14%	-18%	-22%	-28%	-32%	-37%	-29%	-20%

Tableau III. 2. 4. 84. Résultats obtenus par le modèle de Berti et *al* (2014) – Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
E_{Berti} (mm)	50,52	66,64	113,63	153,07	208,18	261,40	291,72	247,29	165,35	111,64	59,47	43,68	1772,59
Erreur (%)	-39%	-32%	-35%	-36%	-37%	-34%	-33%	-38%	-44%	-42%	-46%	-46%	-38%

Tableau III. 2. 4. 85. Résultats obtenus par le modèle de Berti et *al* (2014) –Barrage Foug El-Guiss– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
E_{Berti} (mm)	49,74	65,65	113,10	152,61	217,00	277,83	328,72	275,95	173,25	118,06	63,47	44,52	1879,89
Erreur (%)	16%	48%	61%	60%	71%	61%	40%	35%	27%	19%	-3%	-6%	40%

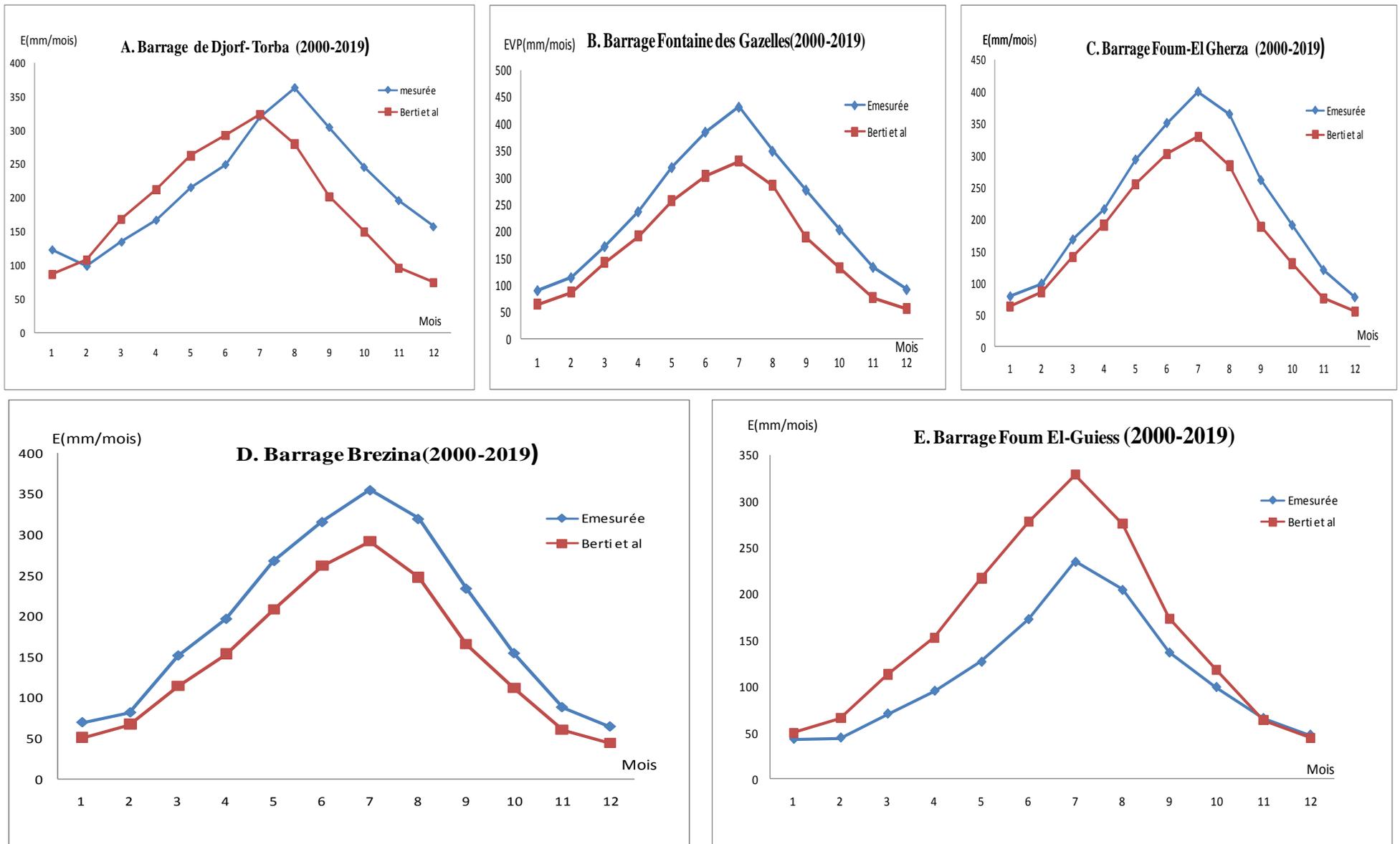


Figure III. 2. 4. 17. Comparaison des résultats d'évaporation obtenus par le modèle Berti et al (2014) et l'évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 2. 4. 86. Résultats obtenus par le modèle de Djori et al (2016) –Barrage Djorf-Torba- Béchar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
E_{Djori} (mm)	32,12	39,32	58,23	71,51	85,84	93,18	100,24	88,06	65,79	50,33	34,14	27,99	746,75
Erreur (%)	-74%	-62%	-56%	-56%	-60%	-63%	-69%	-75%	-78%	-79%	-82%	-82%	-71%

Tableau III. 2. 4. 87. Résultats obtenus par le modèle de Djori et al (2016) -Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{Djori} (mm)	24,26	32,31	50,09	65,23	84,10	95,93	102,89	90,09	62,08	44,78	27,67	21,38	700,81
Erreur (%)	-74%	-72%	-72%	-72%	-74%	-75%	-76%	-77%	-77%	-78%	-79%	-78%	-76%

Tableau III. 2. 4. 88. Résultats obtenus par le modèle de Djori et al (2016) -Barrage Foug El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{Djori} (mm)	24,26	32,31	50,09	65,23	84,10	95,93	102,89	90,09	62,08	44,78	27,67	21,38	700,81
Erreur (%)	-69%	-67%	-70%	-70%	-71%	-73%	-74%	-75%	-76%	-77%	-77%	-73%	-73%

Tableau III. 2. 4. 89. Résultats obtenus par le modèle de Djori et al (2016) – Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
E_{Djori} (mm)	21,98	27,96	44,06	56,11	72,12	85,51	92,81	79,79	56,46	40,67	24,18	19,08	620,73
Erreur (%)	-74%	-72%	-75%	-77%	-78%	-79%	-79%	-80%	-81%	-79%	-78%	-77%	-78%

Tableau III. 2. 4. 90. Résultats obtenus par le modèle de Djori et al (2016) –Barrage Foug El-Guies– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
E_{Djori} (mm)	20,31	26,07	41,68	53,29	71,45	86,10	98,32	83,86	56,34	40,31	23,79	17,94	619,46
Erreur (%)	-53%	-41%	-41%	-44%	-44%	-50%	-58%	-59%	-59%	-59%	-64%	-62%	-54%

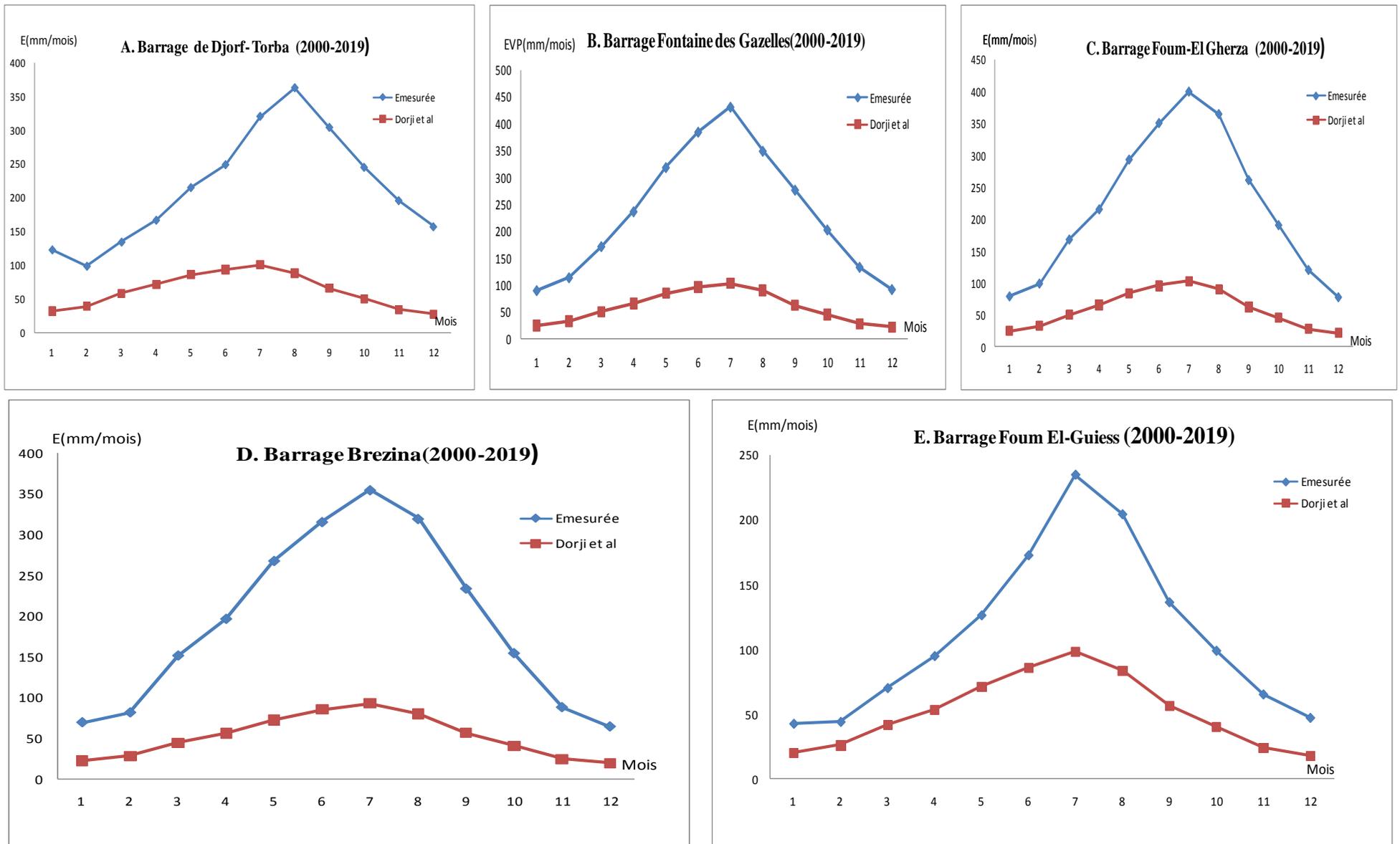


Figure III. 2. 4. 18. Comparaison des résultats d'évaporation obtenus par le modèle Djori et al (2016) et l'évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 3. Résultats statistiques des modèles sélectionnés d'évaporation basés sur le rayonnement solaire et l'évaporation mesurée

Modèles Barrages	JENSEN - HAISE (1963)						STEPHENS-STEWART (1963)						MAKKINK (1967)					
	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang
Fouf El-Gherza	0,83	45,70	13,19	0,98	0,42	3	0,20	98,52	28,44	0,99	0,90		-0,16	118,32	34,15	0,96	1,08	
Fontaine des Gazelles	0,95	26,89	7,76	0,99	0,32	2	-0,07	119,00	34,35	1,00	1,03		-0,44	138,11	39,87	0,97	1,20	
Brézina	1,00	32,33	9,33	0,99	0,04	1	0,96	161,81	46,71	0,99	0,20	13	0,97	152,30	43,97	0,98	0,19	11
Fouf El-Guies	-1,46	97,07	28,02	0,94	1,57		0,75	31,09	8,98	0,98	0,50	9	0,82	26,59	7,68	0,90	0,43	8
Djorf-Torba	0,36	92,72	26,77	0,58	0,80		0,26	99,83	28,82	0,66	0,86		0,15	107,03	30,90	0,49	0,92	
Modèles Barrages	MCGUINNESS - BORDNE (1972)						CAPRIO (1974)						DOORENBOS-PRUITT (1977)					
	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang	NSE	NSE	MBE	R ²	RSR	Rang	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang
Fouf El-Gherza	0,70	59,92	17,30	0,99	0,54		0,74	56,37	16,27	0,99	0,51		0,75	54,84	15,83	0,94	0,50	5
Fontaine des Gazelles	0,52	80,14	23,13	1,00	0,70		0,56	76,55	22,10	1,00	0,66		0,60	73,09	21,10	0,95	0,63	
Brézina	0,97	132,88	38,36	0,99	0,16	7	0,98	128,07	36,97	0,99	0,16	6	0,99	95,84	27,67	0,98	0,12	3
Fouf El-Guies	0,90	19,99	5,77	0,98	0,32	4	0,90	19,62	5,66	0,98	0,32	3	0,68	35,21	10,16	0,91	0,57	
Djorf-Torba	0,56	76,65	22,13	0,66	0,66		0,59	74,16	21,41	0,66	0,64		0,66	68,12	19,66	0,46	0,59	
Modèles Barrages	HARGREAVES - SAMANI (1982)						RITCHIE (1990)						ALLEN (1993)					
	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang
Fouf El-Gherza	0,95	25,10	7,25	0,98	0,23	1	0,50	77,64	22,41	0,97	0,71		-0,86	150,01	43,30	0,98	1,36	
Fontaine des Gazelles	0,87	41,66	12,02	0,98	0,36	1	0,28	97,65	28,19	0,97	0,85		-1,18	170,19	49,13	0,98	1,48	
Brézina	0,99	76,03	21,95	0,99	0,09	2	0,97	138,73	40,05	0,99	0,17	8	0,95	187,58	54,15	0,99	0,23	16
Fouf El-Guies	-0,76	82,19	23,73	0,95	1,33		0,93	16,42	4,74	0,93	0,27	2	0,48	44,63	12,88	0,94	0,72	
Djorf-Torba	0,69	64,43	18,60	0,55	0,55	1	0,43	87,43	25,24	0,48	0,75		-0,40	137,23	39,62	0,55	1,18	

Suite Tableau III. 3. Résultats statistiques des modèles sélectionnés d'évaporation basés sur le rayonnement solaire et l'évaporation mesurée

Modèles Barrages	ABTEW (1996)						DROOGERS - ALLEN (2002)						IRMAK ET AL (2003)-1					
	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang
Foum El-Gherza	0,27	94,07	27,16	0,99	0,85		-0,77	146,54	42,30	0,98	1,33		-0,08	114,57	33,07	0,98	1,04	
Fontaine des Gazelles	0,01	114,39	33,02	0,99	0,99		-1,10	166,75	48,14	0,98	1,45		-0,36	134,32	38,77	0,98	1,17	
Brézina	0,97	149,81	43,25	0,99	0,18	10	0,95	185,26	53,48	0,99	0,23	15	0,96	154,59	44,63	0,98	0,19	12
Foum El-Guiness	0,93	16,38	4,73	0,96	0,26	1	0,58	40,03	11,56	0,95	0,65		0,82	26,35	7,61	0,91	0,43	7
Djorf-Torba	0,36	92,98	26,84	0,62	0,80		-0,33	134,03	38,69	0,56	1,15		0,20	103,73	29,94	0,57	0,89	
Modèles Barrages	IRMAK ET AL (2003)-2						OUDIN-2 (2005)						TRAJKOVIC (2007)					
	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang
Foum El-Gherza	0,06	106,61	30,78	0,97	0,97		0,83	45,32	13,08	0,99	0,41	2	-1,16	161,85	46,72	0,98	1,47	
Fontaine des Gazelles	-0,19	125,86	36,33	0,97	1,09		0,68	65,25	18,84	1,00	0,57		-1,50	182,07	52,56	0,98	1,58	
Brézina	0,97	142,82	41,23	0,97	0,17	9	0,98	112,87	32,58	0,99	0,14	5	0,94	198,28	57,24	0,99	0,24	17
Foum El-Guiness	0,84	24,62	7,11	0,90	0,40	6	0,84	24,99	7,22	0,97	0,40	5	0,22	54,76	15,81	0,95	0,88	
Djorf-Torba	0,34	94,54	27,29	0,52	0,81		0,66	67,44	19,47	0,63	0,58		-0,63	148,37	42,83	0,56	1,28	
Modèles Barrages	TABARI - TALAE (2011)						BERTI ET AL (2014)						DJORI ET AL (2016)					
	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang
Foum El-Gherza	-0,45	132,47	38,24	0,94	1,20		0,80	48,71	14,06	0,98	0,44	4	-1,68	180,09	51,99	0,97	1,64	
Fontaine des Gazelles	-0,75	152,28	43,96	0,95	1,32		0,65	67,99	19,63	0,98	0,59		-2,02	200,27	57,81	0,98	1,74	
Brézina	0,96	164,22	47,40	0,95	0,20	14	0,99	99,62	28,76	0,99	0,12	4	0,93	211,57	61,08	0,98	0,26	18
Foum El-Guiness	0,67	35,83	10,34	0,86	0,58		0,12	58,04	16,76	0,95	0,94		-0,30	70,56	20,37	0,92	1,14	
Djorf-Torba	-0,07	120,01	34,64	0,45	1,03		0,69	64,56	18,64	0,55	0,56	2	-1,02	165,22	47,69	0,51	1,42	

III. 2. 4. 19. Interprétation des résultats d'évaporation obtenus par les méthodes basées sur le rayonnement solaire

Après les calculs par les dix-huit modèles choisis, nous avons constaté ce qui suit :

a) Barrage-réservoir de Foum El-Gherza-Biskra :

Selon les critères de Nash NSE et RSR, les modèles qui convergent beaucoup plus avec les valeurs de l'évaporation mesurée sont classées comme suit (Voir tableau III. 3) :

- 1) Hargreaves-Samani (1982) : NSE= 0,95 ; RSR=0,23 ;
Erreur (mensuelle) \leq -28% ; Erreur (annuelle) = -8% ;
- 2) Oudin-2 (2005) : NSE= 0,83 ; RSR=0,41 ;
Erreur (mensuelle) \leq -39% ; Erreur (annuelle) = -20% ;
- 3) Jensen-Haise (1963) : NSE= 0,83 ; RSR=0,42 ;
Erreur (mensuelle) \leq 30% ; Erreur (annuelle) = 17% ;
- 4) Berti et al (2014) : NSE= 0,80 ; RSR=0,44 ;
Erreur (mensuelle) \leq -37% ; Erreur (annuelle) = -20%.

Nous notons que, le critère de Nash varie entre 0,80 et 0,95 et le RSR entre 0,23 jusqu'au 0,44 ce qui explique leurs fiabilités. Mais, les calculs des erreurs montrent que les modèles de Hargreaves - Samani (1982) ; Oudin-2 (2005) ; Berti et al (2014) donnent des sous-estimations de l'évaporation mensuelle aussi l'erreur de l'évaporation annuelle est de l'ordre de -20% comme une erreur maximale. Alors que, le modèle de Jensen-Haise donne des sur-estimations de l'évaporation mensuelle (30%) et de l'évaporation annuelle de l'ordre 17%. Graphiquement, la figure (2. 4. 19. A) montre que seule la courbe du modèle de Hargreaves - Samani (1982) qui est presque proche de la courbe mesurée de l'évaporation du barrage de Foum El-Gherza.

b) Barrage-réservoir de Fontaine des Gazelles -Biskra :

On ce qui concerne les modèles qui donnent de bons résultats statistiques pour le barrage-réservoir de Fontaine des Gazelles sont seulement deux modèles (Voir tableau III. 3) :

- 1) Hargreaves- Samani (1982) : NSE= 0,87 ; RSR=0,36 ;
Erreur (mensuelle) \leq -36% ; Erreur (annuelle) = -16% ;
- 2) Jensen-Haise (1963) : NSE= 0,95 ; RSR=0,32 ;
Erreur (mensuelle) \leq 17% ; Erreur (annuelle) = 7%.

Graphiquement, la figure (III. 2. 4. 19. B) montre que la courbe tracée par les estimations de l'évaporation par le modèle de Jensen-Haise (1963) est plus proche que celle de Hargreaves - Samani (1982) puisque cette dernière présente des sous-estimations inférieure ou égale -36% pour l'évaporation mensuelle et -16% pour l'évaporation annuelle.

c) Barrage-réservoir de Brézina :

Pour le barrage-réservoir de Brézina, nous constatons que tous les modèles convergent très bien avec les valeurs mesurées de l'évaporation. Le critère de Nash varie entre 0,93-1,00 et le RSR varie de 0,04 -0,26 ($< 0,5$). Mais, Tous les modèles sous-estiment l'évaporation du fait que les six bons modèles ont des erreurs mensuelles/annuelles négatives :

- 1) Jensen-Haise (1963) : NSE= 1,00 ; RSR=0,04 ;
Erreur (mensuelle) \leq -18% ; Erreur (annuelle) = -11%.
- 2) Hargreaves - Samani (1982) : NSE= 0,99 ; RSR=0,09 ;
Erreur (mensuelle) \leq -38% ; Erreur (annuelle) = -29%.
- 3) Berti et al (2014) : NSE= 0,99 ; RSR=0,12 ;

- Erreur (mensuelle) \leq -46% ; Erreur (annuelle) = -38%.
- 4) Oudin-2 (2005) : NSE= 0,98 ; RSR=0,14 ;
Erreur (mensuelle) \leq -59% ; Erreur (annuelle) = -44%.
 - 5) Caprio (1974) : NSE= 0,98 ; RSR=0,16 ;
Erreur (mensuelle) \leq -75% ; Erreur (annuelle) = -51%.
 - 6) McGuinness-Bordne (1972): NSE= 0,97; RSR=0,16;
Erreur (mensuelle) \leq -80% ; Erreur (annuelle) = -53%.

Graphiquement, la figure (III. 2. 4. 19. C) montre que seul le modèle de Jensen-Haise est proche de la courbe de l'évaporation mesurée. Et les autres modèles présentent des grandes sous-estimations.

d) Barrage-réservoir de Foum El-Guies :

Les modèles qui convergent mieux pour l'estimation de l'évaporation du barrage-réservoir de Foum El-Guies sont les suivants :

- 1) Abtew (1996): NSE= 0,93; RSR=0,26;
Erreur (mensuelle) \leq -48% ; Erreur (annuelle) = -10%.
- 2) Ritchie (1990) : NSE= 0,93 ; RSR=0,27 ;
Erreur (mensuelle) \leq 31% ; Erreur (annuelle) = 0%.
- 3) Caprio (1974) : NSE= 0,90 ; RSR=0,32 ;
Erreur (mensuelle) \leq -57% ; Erreur (annuelle) = -2%
- 4) McGuinness - Bordne (1972): NSE= 0,90; RSR=0,32;
Erreur (mensuelle) \leq -63% ; Erreur (annuelle) = -6%
- 5) Oudin-2 (2005) : NSE= 0,84 ; RSR=0,40 ;
Erreur (mensuelle) \leq -36% ; Erreur (annuelle) = 11%.
- 6) Irmak et al (2003) -1 : NSE= 0,82 ; RSR=0,43 ;
Erreur (mensuelle) \leq -27% ; Erreur (annuelle) = -11%.

Graphiquement, on ne constate que les courbes des modèles de Caprio, Abtew, McGuinness-Bordne et Oudin-2 sont proches de la courbe de l'évaporation mesurée du barrage-réservoir de Foum El-Guies. Mais, les plus proches courbes sont celles de Caprio et McGuinness-Bordne (Figure III. 2. 4. 19. D).

e) Barrage-réservoir de Djorf-Torba :

En ce qui concerne le barrage-réservoir de Djorf-Torba, la majorité des méthodes basées sur le rayonnement solaire ne donnent pas des résultats tolérables, seules deux méthodes sont acceptables :

- 1) Hargreaves - Samani (1982) : NSE= 0,69 ; RSR=0,55 ;
Erreur (mensuelle) \leq -45% ; Erreur (annuelle) = 0%.
- 2) Berti et al (2014) : NSE= 0,69 ; RSR=0,56 ;
Erreur (mensuelle) \leq -52% ; Erreur (annuelle) = -13%.

On remarque que l'estimation annuelle de l'évaporation par Hargreaves -Samani est la même que l'évaporation mesurée du fait que l'erreur est de l'ordre 0%.

Graphiquement, nous observons un décalage entre les courbes de l'évaporation estimée et celle mesurée. Alors que les courbes de deux modèles de Hargreaves - Samani et Berti et al. Sont très proches de celles tracées par l'évaporation mesurée (Figure III. 2. 4. 19. E).

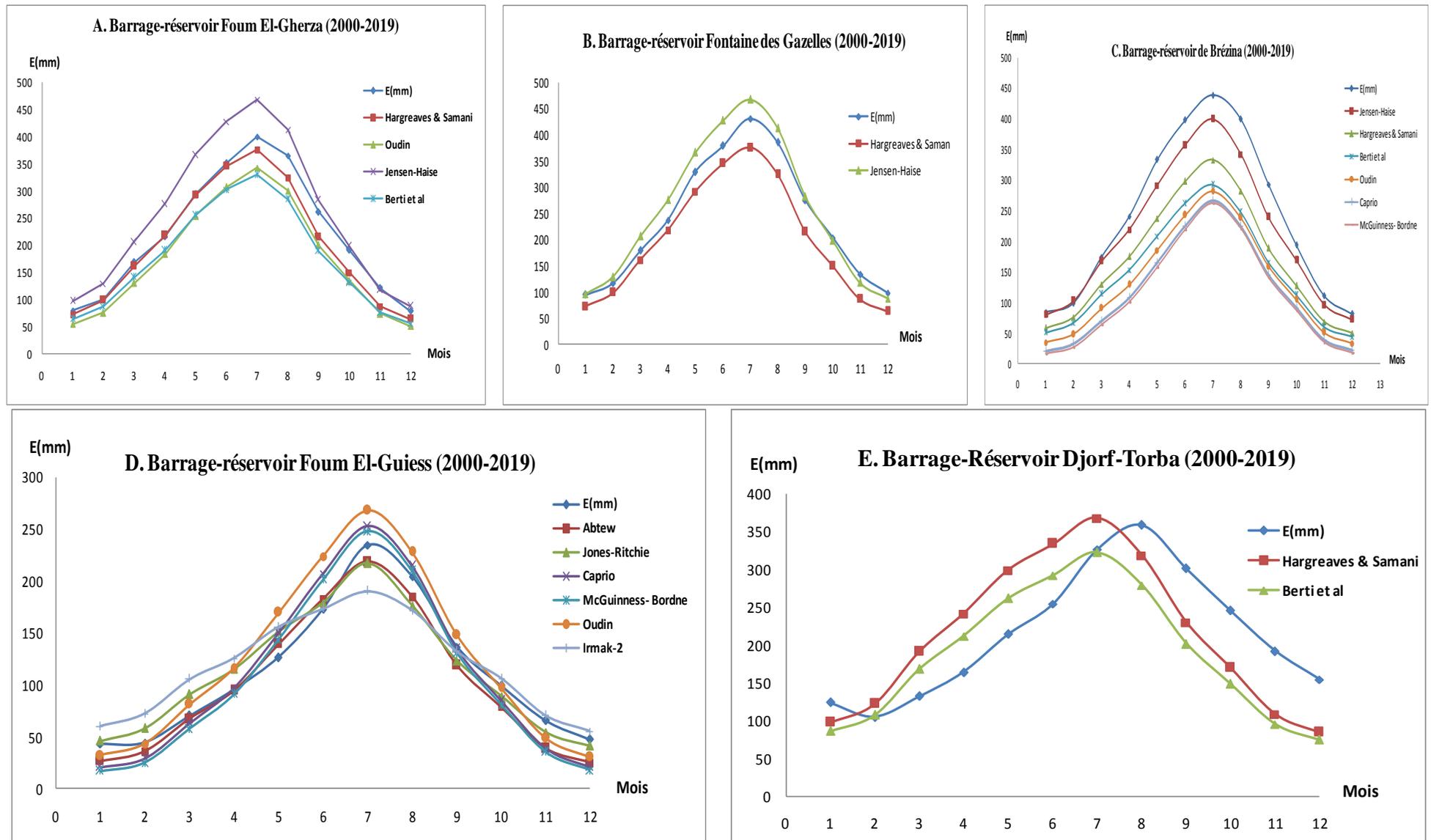


Figure III. 2. 4. 19. Représentations graphiques des modèles adéquats basés sur le rayonnement solaire pour l'estimation de l'évaporation pour les cinq barrages-réservoirs étudiés.

III. 2. 5. Méthodes basées sur la température de l'air

Les méthodes de calcul de l'évapotranspiration ou l'évaporation sont basées sur la température sont généralement simples et utilisent des coefficients obtenus empiriquement. Ces formules permettent de s'affranchir de la collecte d'informations climatiques supplémentaires, qui limite généralement en nombre et en diversité les stations climatiques utilisées. Ainsi, ces méthodes ont la particularité d'avoir été largement critiquées mais très utilisées. Les modèles basés sur la température prennent généralement la forme suivante (Xu et Singh, 2001 ; Oudin, 2004) :

$$E = c t_a^\alpha \quad (\text{III.58})$$

Ou bien sous la forme :

$$E = c_1 \cdot D \cdot T_a \cdot (c_2 - c_3 R_h) \quad (\text{III.59})$$

Où T_a est la température de l'air, D est la durée moyenne d'insolation, R_h est l'humidité relative de l'air, c , c_1 , c_2 , c_3 et α sont des constantes.

III. 2. 5. 1. Modèle de Blaney-Criddle (1959)

Blaney-Criddle (1959) a décrit sa méthode comme un moyen rapide de transférer les résultats des mesures d'évapotranspiration vers d'autres zones au climat similaire. En bref, il a corrélé les données d'évaporation mensuelles mesurées avec la température moyenne mensuelle multipliée par le pourcentage d'heures de la lumière du jour au cours de l'année afin de développer un coefficient d'évaporation empirique mensuel. La formule de Blaney-Criddle est donnée comme suit (Schertzer et Taylor, 2008 ; Majidi et al, 2015) :

$$E = 25,4(0,0173 T_a - 0,314)T_a \frac{D}{DTA} \quad (\text{III.60})$$

Où

T_a : est la température de l'air en ($^{\circ}\text{F}$) ; D : est les heures de la lumière du jour (Heures) et DTA est le total annuel des heures de la lumière du jour (Heures).

III. 2. 5. 2. Modèle de Papadakis (1961)

L'équation de Papadakis (1961) ne tient pas compte du flux de chaleur qui se produit dans le lac pour déterminer l'évaporation (Winter et al. 1995 ; Finch et Calver 2008). L'équation dépend des différences de pression de vapeur saturée au-dessus de la masse d'eau aux températures maximales et minimales de l'air. L'évaporation est définie par l'équation suivante (Majidi et al, 2015) :

$$E = 0,5625[e_{s\max} \times 10^{-2} - (e_{s\min} \times 10^{-2} - 2)] \quad (\text{III.61})$$

Où

E : est l'évaporation de l'eau (mm/jour) ; $e_{s\max}$ et $e_{s\min}$ sont les pressions de vapeur saturées au maximum et minimale des températures de l'air (KPa).

III. 2. 5. 3. Modèle de Hamon (1961)

Hamon (1961) a dérivé une méthode pour estimer l'évapotranspiration potentielle basée sur la température de l'air moyen. Elle est exprimée comme suit :

$$E = 0,55 \times D^2 \times P_t \quad (\text{III.62})$$

Où

E : est l'évaporation (en pouce/jour), D : est les heures de lumière du jour (en unités de 12 h) et P_t est un terme de densité de vapeur d'eau saturée calculé par :

$$P_t = \frac{4,95 e^{0,062 T_{air}}}{100} \quad (III.63)$$

T_{air} : est la température moyenne quotidienne de l'air (en °C).

III. 2. 5. 4. Modèle de Hamon (1963)

Hamon (1963) a formulé une expression simplifiée basée sur la relation entre l'évapotranspiration potentielle, l'énergie radiante entrante maximale possible et la capacité de rétention d'humidité de l'air à la température ambiante. Il est souvent utilisé pour estimer l'évaporation du lac ou l'évaporation potentielle du bassin versant en raison de sa simplicité (Yao et Creed, 2005). L'expression est représentée par l'équation (Majidi et al, 2015) :

$$E=0,63 D \times 10^{(7,5+T_{air})/(T_{air}+273)} \quad (III.64)$$

Où

D : est les heures de lumière du jour (Heures) ; T_{air} : est la température moyenne de l'air (°C).

III. 2. 5. 5. Modèle de Szász (1973)

Le modèle de Szász est donné par l'expression suivante (Majidi et al, 2015) :

$$E = 0,00536 (T_a+21)^2 (1+H_r)^{2/3} f(u) \quad (III.65)$$

Avec :

$$f(u) = 0,0519 U + 0,905 \quad (III.65. a)$$

E : est l'évaporation en (mm par jour) ; U : est la vitesse moyenne du vent en (m/s) ; T_a : est la température moyenne de l'air en (°C) et H_r est l'humidité relative mensuelle en (%).

III. 2. 5. 6. Modèle de Linacre (1977)

Linacre (1977) a proposé la formule simplifiée suivante (Efthimiou et al ; 2013) :

$$E = \frac{\frac{500 T_h}{100 - \phi} + 15(T_a - T_d)}{80 - T_a} \quad (III.66)$$

Avec $T_h = T_a + 0,0067 Z$ (III. 66. a)

E : est l'évaporation (en mm/ jour) ; Z : est l'élévation du cite ; ϕ : Laltitude en radian ; T_a et T_d sont respectivement la température moyenne de l'air et du point de rosée en (°C).

III. 2. 5. 7. Modèle de Kharrufa (1985)

Kharrufa (1985) a dérivé une équation par corrélation de ET en fonction de P et T sous la forme de :

$$E=0,34 P (T_a)^{1,3} \quad (III.67)$$

Où

E est l'évaporation de Kharrufa (en mm/ mois) ; T_a et P sont la température moyenne de l'air (°C) et le pourcentage du nombre total d'heures de jour pour la période utilisée (quotidienne ou mensuelle).

III. 2. 5. 8. Modèle de Boutoutaou (2011)

Boutoutaou (1995) a proposé un modèle simple pour estimer l'évaporation dans les barrages-réservoirs situés dans les régions arides et semi-arides - Algérie. Le modèle nécessite trois données climatiques disponibles qui sont : la température de l'air, l'humidité relative et la vitesse du vent.

$$E = 0,403 n D^{0,73} (1 + 0,39 U) \quad (\text{III.68})$$

Où

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) ; U : vitesse du vent, il est considéré les moyennes mensuelles (m/s). D : déficit de saturation de l'air en millibars (mb), est donné par la relation suivante :

$$D = 0,0632 (100 - R_h) e^{0,0632 (T_a)} \quad (\text{III. 68.1.a})$$

R_h : moyenne mensuelle de l'humidité de l'air (%),

T_a : moyenne mensuelle de la température de l'air (°C).

III. 2. 5. 9. Modèle de Liu et al (2016)

Liu et al (2016) ont proposé une équation pour l'estimation de l'évaporation dans les régions arides situées au Chine. Le modèle peut être exprimé comme suit :

$$E = (0,0345 + 0,002U^{0,5}) (42,6824 - 0,0122R_h^{1,5}) (2,66 + 0,08T_a) \quad (\text{III.69})$$

Où

E est l'évaporation en (mm par jour) ; U est la vitesse moyenne du vent en (m/s) ; T_a est la température moyenne de l'air en (°C) et R_h est l'humidité relative en (%).

Les résultats numériques et les représentations graphiques des modèles cités précédemment sont regroupés dans les tableaux et les figures suivants :

Tableau III. 2. 5. 1. Résultats obtenus par le modèle de Blaney-Criddle (1959) –Barrage Djorf-Torba- Béchar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
E_{Blaney-Criddle} (mm)	49,37	60,35	103,11	143,71	201,37	259,19	315,43	281,29	199,24	139,71	78,91	52,61	1884,29
Erreur (%)	-60%	-42%	-22%	-12%	-6%	2%	-4%	-22%	-34%	-43%	-59%	-66%	-27%

Tableau III. 2. 5. 2. Résultats obtenus par le modèle de Blaney-Criddle (1959) -Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{Blaney-Criddle} (mm)	58,09	66,37	106,15	145,62	209,02	269,75	319,98	288,59	208,56	147,79	86,67	61,00	1967,59
Erreur (%)	-39%	-43%	-41%	-38%	-37%	-29%	-26%	-25%	-24%	-27%	-35%	-37%	-31%

Tableau III. 2. 5. 3. Résultats obtenus par le modèle de Blaney-Criddle (1959) -Barrage Foum El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{Blaney-Criddle} (mm)	58,09	66,37	106,15	145,62	209,02	269,75	319,98	288,59	208,56	131,63	131,63	61,00	1996,39
Erreur (%)	-27%	-33%	-37%	-32%	-29%	-23%	-20%	-21%	-20%	-31%	9%	-22%	-24%

Tableau III. 2. 5. 4. Résultats obtenus par le modèle de Blaney-Criddle (1959) – Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
E_{Blaney-Criddle} (mm)	28,39	34,36	59,33	84,63	130,55	184,72	236,74	208,59	140,15	93,97	46,97	31,47	1279,86
Erreur (%)	-66%	-65%	-66%	-65%	-61%	-54%	-46%	-48%	-52%	-51%	-58%	-61%	-55%

Tableau III. 2. 5. 5. Résultats obtenus par le modèle de Blaney-Criddle (1959) –Barrage Foum El-Guies– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
E_{Blaney-Criddle} (mm)	31,11	35,65	60,53	85,71	129,31	181,62	227,53	204,46	138,22	97,38	52,74	34,29	1278,56
Erreur (%)	-28%	-20%	-14%	-10%	2%	5%	-3%	0%	1%	-2%	-20%	-28%	-5%

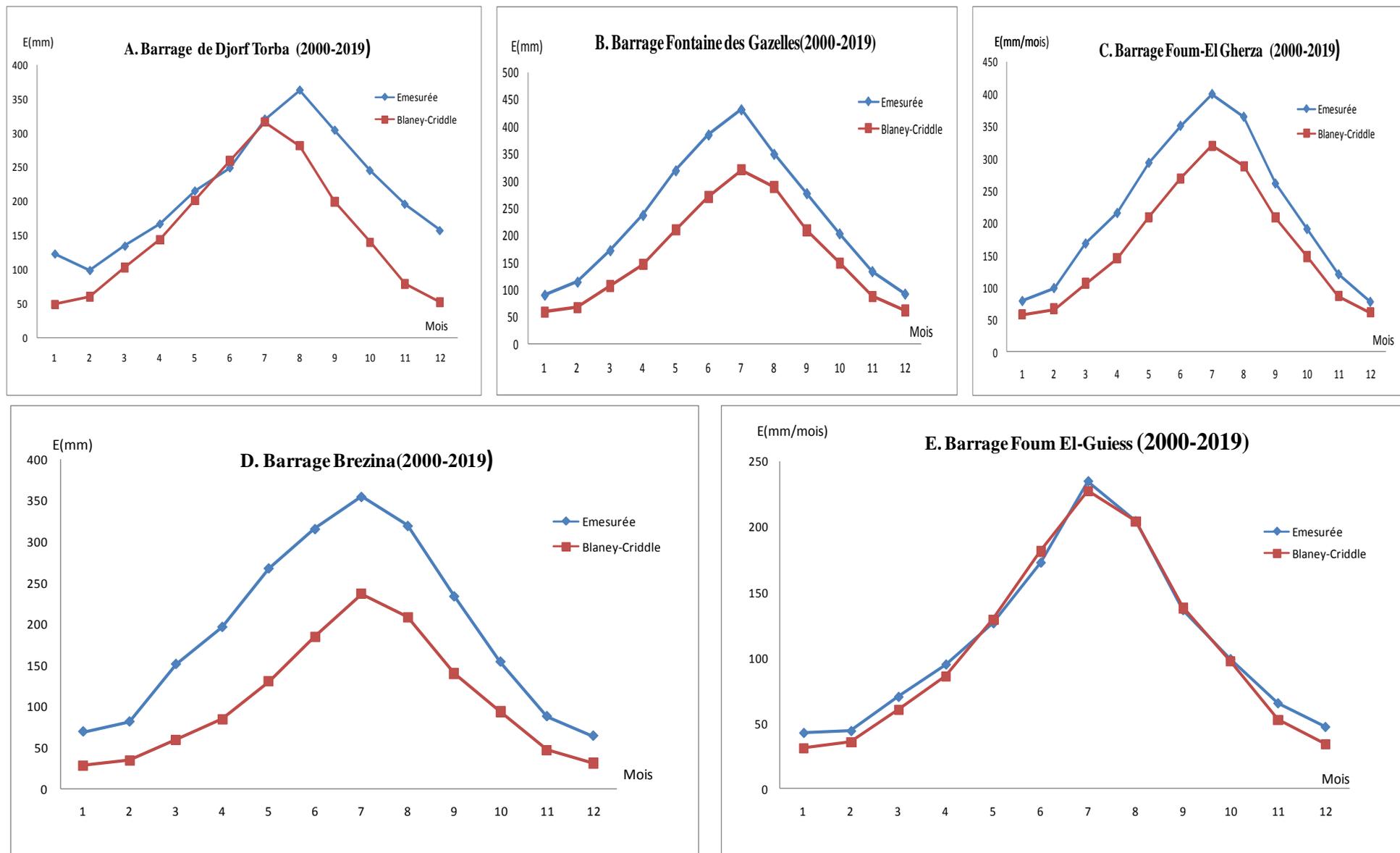


Figure III. 2. 5. 1. Comparaison des résultats d'évaporation obtenus par le modèle Blaney-Criddle (1959) et l'évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 2. 5. 6. Résultats obtenus par le modèle de Papadakis (1961) –Barrage Djorf-Torba- Béchar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
$E_{\text{Mesurée}} \text{ (mm)}$	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
$E_{\text{Papadakis}} \text{ (mm)}$	238,48	242,78	327,54	376,82	481,11	596,32	756,56	688,70	508,49	400,72	274,39	230,63	5122,55
Erreur (%)	93%	132%	149%	130%	124%	134%	131%	92%	69%	64%	43%	49%	99%

Tableau III. 2. 5. 7. Résultats obtenus par le modèle de Papadakis (1961) -Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
$E_{\text{Mesurée}} \text{ (mm)}$	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
$E_{\text{Papadakis}} \text{ (mm)}$	212,33	220,30	302,60	363,94	482,06	615,77	747,66	687,36	500,03	390,21	260,70	211,23	4994,18
Erreur (%)	124%	89%	69%	54%	46%	62%	73%	78%	82%	92%	94%	117%	74%

Tableau III. 2. 5. 8. Résultats obtenus par le modèle de Papadakis (1961) -Barrage Foug El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
$E_{\text{Mesurée}} \text{ (mm)}$	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
$E_{\text{Papadakis}} \text{ (mm)}$	212,33	220,30	302,60	363,94	482,06	615,77	747,66	687,36	500,03	390,21	260,70	211,23	4994,18
Erreur (%)	168%	122%	80%	69%	64%	76%	87%	88%	91%	105%	116%	171%	90%

Tableau III. 2. 5. 9. Résultats obtenus par le modèle de Papadakis (1961) – Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
$E_{\text{Mesurée}} \text{ (mm)}$	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
$E_{\text{Papadakis}} \text{ (mm)}$	142,89	147,58	204,78	248,46	337,60	455,15	585,04	536,14	369,21	271,84	167,67	138,92	3605,28
Erreur (%)	72%	50%	17%	3%	1%	14%	34%	34%	26%	41%	51%	71%	27%

Tableau III. 2. 5. 10. Résultats obtenus par le modèle de Papadakis (1961) –Barrage Foug El-Guiss– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
$E_{\text{Mesurée}} \text{ (mm)}$	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
$E_{\text{Papadakis}} \text{ (mm)}$	179,00	181,29	250,75	303,00	416,50	570,78	750,77	685,22	458,33	361,09	229,03	184,72	4570,46
Erreur (%)	316%	308%	256%	218%	229%	230%	220%	235%	236%	264%	249%	289%	241%

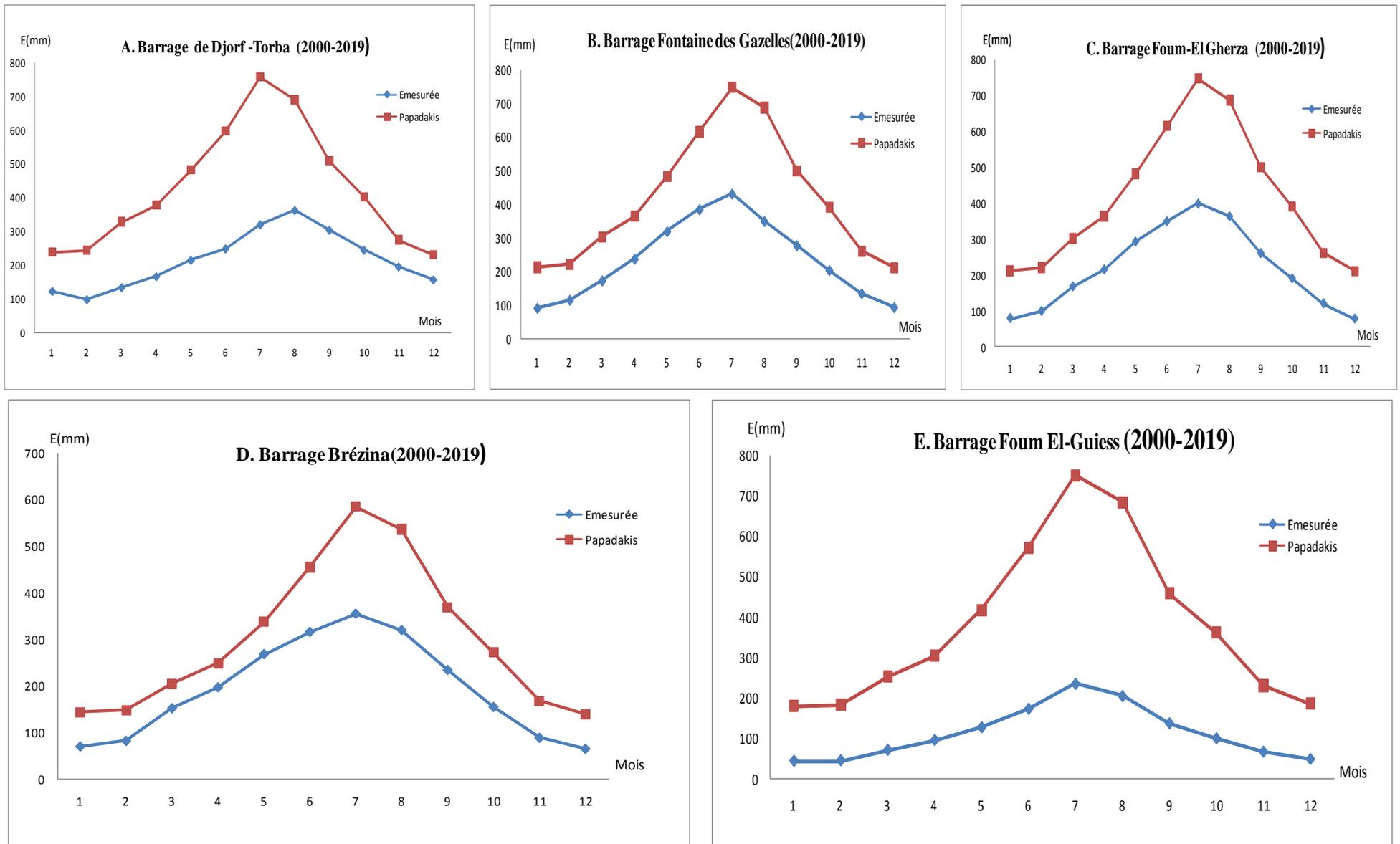


Figure III. 2. 5. 2. Comparaison des résultats d'évaporation obtenus par le modèle Papadakis (1961) et l'évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 2. 5. 11. Résultats obtenus par le modèle de Hamon (1961) –Barrage Djorf-Torba- Béchar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
E_{Hamon}(mm)	28,98	36,02	61,28	91,83	140,41	198,94	256,64	211,28	128,37	79,19	42,40	29,48	1304,80
Erreur (%)	-77%	-66%	-54%	-44%	-34%	-22%	-21%	-41%	-57%	-68%	-78%	-81%	-49%

Tableau III. 2. 5. 12. Résultats obtenus par le modèle de Hamon (1961) -Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{Hamon}(mm)	31,68	37,89	63,03	93,98	148,86	213,43	265,85	221,68	137,23	83,73	45,12	31,96	1374,45
Erreur (%)	-67%	-68%	-65%	-60%	-55%	-44%	-38%	-42%	-50%	-59%	-66%	-67%	-52%

Tableau III. 2. 5. 13. Résultats obtenus par le modèle de Hamon (1961) -Barrage Foum El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{Hamon}(mm)	31,68	37,89	63,03	93,98	148,86	213,43	265,85	221,68	137,23	83,73	45,12	31,96	1374,45
Erreur (%)	-60%	-62%	-63%	-56%	-49%	-39%	-34%	-39%	-47%	-56%	-63%	-59%	-48%

Tableau III. 2. 5. 14. Résultats obtenus par le modèle de Hamon (1961) – Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
E_{Hamon}(mm)	20,49	24,88	39,76	57,21	90,20	132,74	175,40	144,21	86,30	53,35	28,13	21,17	873,84
Erreur (%)	-75%	-75%	-77%	-76%	-73%	-67%	-60%	-64%	-71%	-72%	-75%	-74%	-69%

Tableau III. 2. 5. 15. Résultats obtenus par le modèle de Hamon (1961) –Barrage Foum El-Guies– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
E_{Hamon}(mm)	21,17	25,07	40,33	57,84	90,15	131,99	168,88	141,74	85,13	55,12	30,05	21,61	869,09
Erreur (%)	-51%	-44%	-43%	-39%	-29%	-24%	-28%	-31%	-38%	-44%	-54%	-55%	-35%

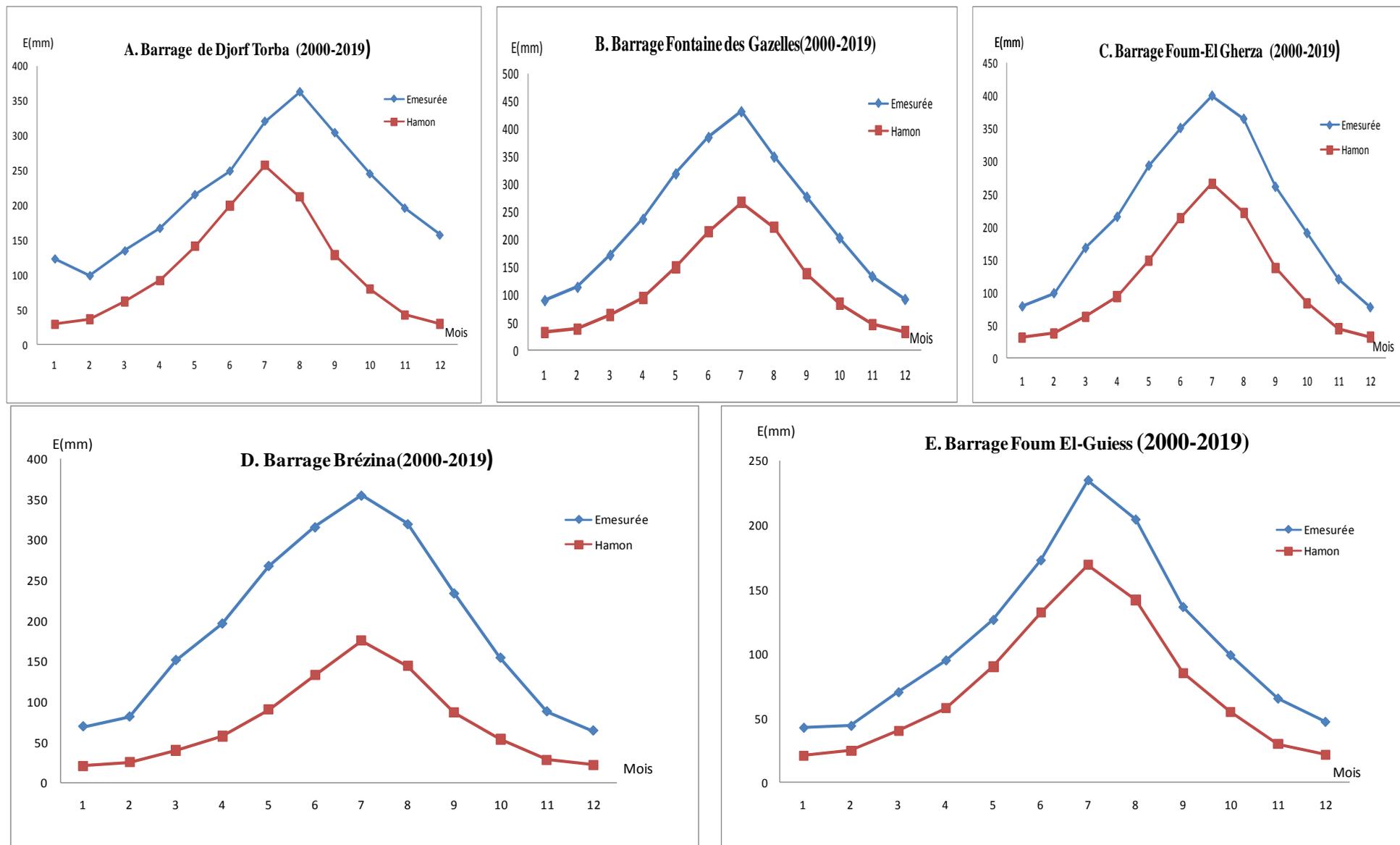


Figure III. 2. 5. 3. Comparaison des résultats d'évaporation obtenus par le modèle de Hamon (1961) et l'évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 2. 5. 16. Résultats obtenus par le modèle de Hamon (1963) –Barrage Djorf-Torba- Bechar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
E_{Hamon}(mm)	76,94	90,84	108,54	131,67	153,09	167,95	167,57	149,69	125,56	103,60	85,07	74,50	1435,01
Erreur (%)	-38%	-13%	-18%	-20%	-29%	-34%	-49%	-58%	-58%	-58%	-56%	-52%	-44%

Tableau III. 2. 5. 17. Résultats obtenus par le modèle de Hamon (1963) -Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{Hamon}(mm)	75,15	88,52	108,90	133,84	158,10	175,70	174,75	154,55	128,31	102,64	82,86	72,38	1455,68
Erreur (%)	-21%	-24%	-39%	-43%	-52%	-54%	-59%	-60%	-53%	-49%	-38%	-26%	-49%

Tableau III. 2. 5. 18. Résultats obtenus par le modèle de Hamon (1963) -Barrage Foug El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{Hamon}(mm)	75,15	88,52	108,90	133,84	158,10	175,70	174,75	154,55	128,31	102,64	82,86	72,38	1455,68
Erreur (%)	-5%	-11%	-35%	-38%	-46%	-50%	-56%	-58%	-51%	-46%	-31%	-7%	-44%

Tableau III. 2. 5. 19. Résultats obtenus par le modèle de Hamon (1963) – Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
E_{Hamon}(mm)	71,18	85,41	103,05	126,31	149,40	164,78	165,11	147,60	121,89	97,47	78,28	69,76	1380,24
Erreur (%)	-15%	-13%	-41%	-48%	-55%	-59%	-62%	-63%	-58%	-50%	-29%	-14%	-51%

Tableau III. 2. 5. 20. Résultats obtenus par le modèle de Hamon (1963) –Barrage Foug El-Guies– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
E_{Hamon}(mm)	70,25	84,14	103,23	126,47	151,30	168,79	168,61	149,29	121,71	97,84	77,60	67,75	1386,97
Erreur (%)	-63%	-89%	-46%	-33%	-20%	2%	28%	27%	11%	1%	-18%	-43%	-3%

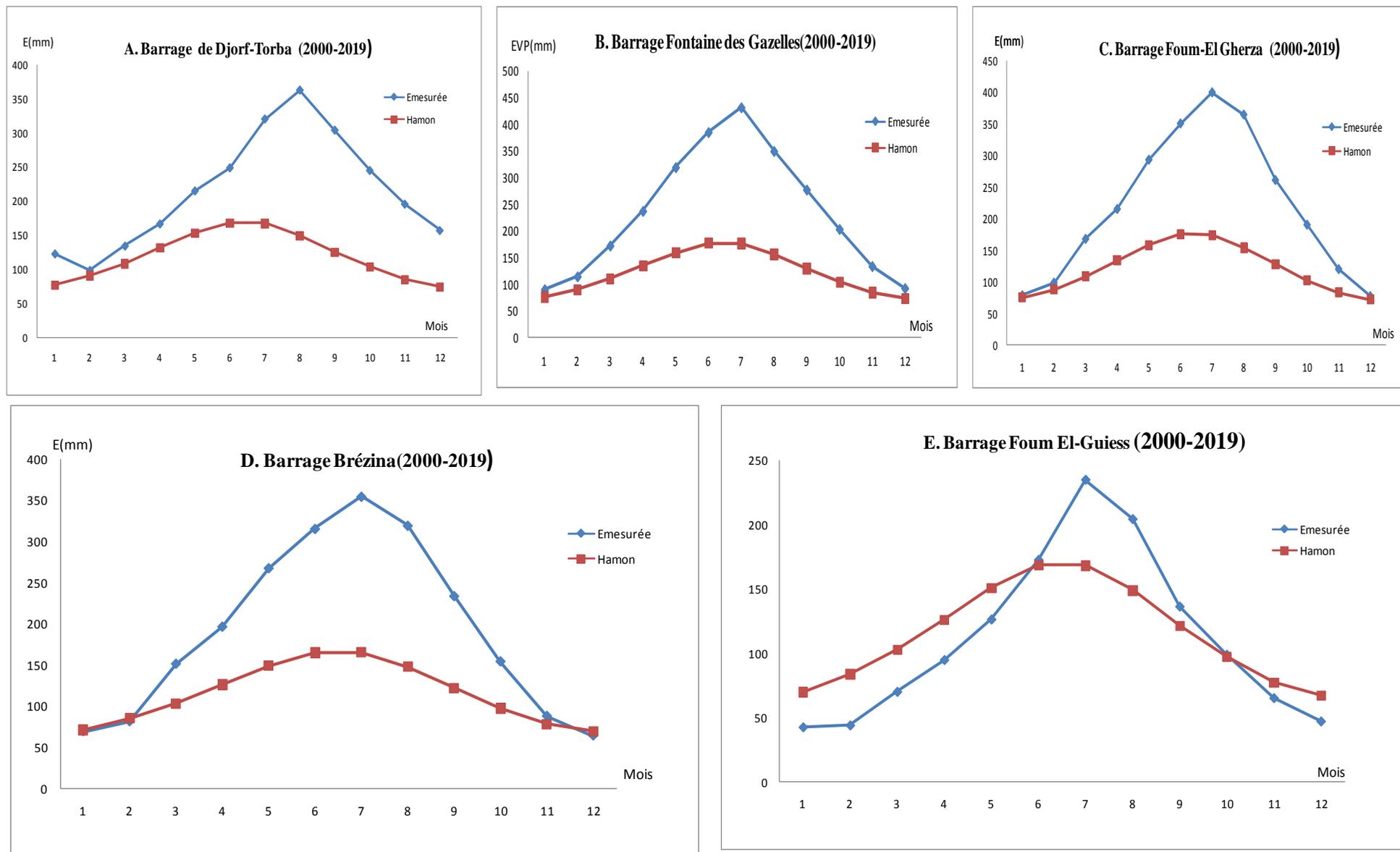


Figure III. 2. 5. 4. Comparaison des résultats d'évaporation obtenus par le modèle Hamon (1963) et l'évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 2. 5. 21. Résultats obtenus par le modèle de Szász (1973) –Barrage Djorf-Torba- Bechar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
E_{Szász} (mm)	162,88	213,15	386,28	537,78	702,69	902,50	1 163,27	996,18	658,99	422,13	240,15	171,10	6557,11
Erreur (%)	32%	104%	193%	228%	228%	255%	256%	178%	119%	72%	25%	11%	155%

Tableau III. 2. 5. 22. Résultats obtenus par le modèle de Szász (1973) –Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{Szász} (mm)	116,10	133,71	201,67	250,27	334,92	402,76	471,42	432,43	318,12	238,15	155,40	112,68	3167,63
Erreur (%)	22%	14%	13%	6%	2%	6%	9%	12%	16%	17%	16%	15%	11%

Tableau III. 2. 5. 23. Résultats obtenus par le modèle de Szász (1973) –Barrage Foug El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{Szász} (mm)	116,10	133,71	201,67	250,27	334,92	402,76	471,42	432,43	318,12	238,15	155,40	112,68	3167,63
Erreur (%)	46%	35%	20%	16%	14%	15%	18%	19%	22%	25%	29%	44%	21%

Tableau III. 2. 5. 24. Résultats obtenus par le modèle de Szász (1973) –Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
E_{Szász} (mm)	55,58	67,61	109,65	141,55	201,46	280,45	371,98	326,90	222,35	155,11	80,81	53,34	2066,80
Erreur (%)	-33%	-31%	-37%	-41%	-40%	-30%	-15%	-18%	-24%	-20%	-27%	-34%	-27%

Tableau III. 2. 5. 25. Résultats obtenus par le modèle de Szász (1973) –Barrage Foug El-Guiss– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
E_{Szász} (mm)	54,45	65,53	100,53	124,14	170,31	246,23	326,02	294,32	191,00	146,06	86,20	56,30	1861,08
Erreur (%)	27%	48%	43%	30%	35%	42%	39%	44%	40%	47%	31%	18%	39%

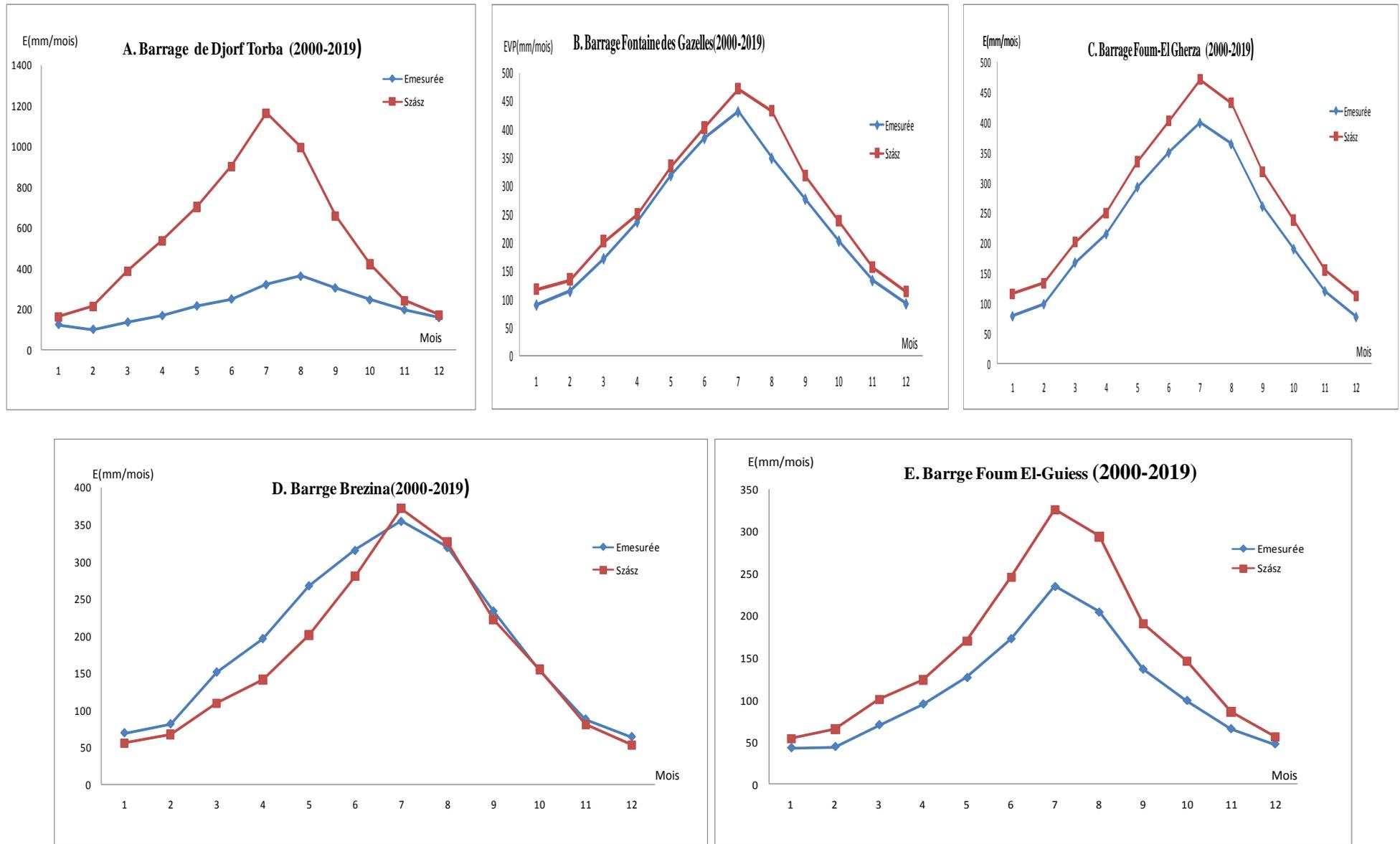


Figure III. 2. 5. 5. Comparaison des résultats d'évaporation obtenus par le modèle de Szász (1973) et l'évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 2. 5. 26. Résultats obtenus par le modèle de Linacre (1977) –Barrage Djorf-Torba- Béchar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
E_{Linacre}(mm)	102,18	117,17	176,53	216,59	271,70	345,29	443,09	383,03	261,31	196,56	128,39	94,23	2736,07
Erreur (%)	-17%	12%	34%	32%	27%	36%	36%	7%	-13%	-20%	-33%	-39%	6%

Tableau III. 2. 5. 27. Résultats obtenus par le modèle de Linacre (1977) -Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{Linacre}(mm)	86,75	100,68	145,20	200,72	230,24	294,75	360,56	322,68	224,67	170,05	111,53	85,33	2333,15
Erreur (%)	-9%	-14%	-19%	-15%	-30%	-22%	-16%	-16%	-18%	-16%	-17%	-13%	-18%

Tableau III. 2. 5. 28. Résultats obtenus par le modèle de Linacre (1977) -Barrage Foug El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{Linacre}(mm)	86,75	100,68	145,20	200,72	230,24	294,75	360,56	322,68	224,67	170,05	111,53	85,33	2333,15
Erreur (%)	9%	1%	-14%	-7%	-22%	-16%	-10%	-12%	-14%	-11%	-8%	9%	-11%

Tableau III. 2. 5. 29. Résultats obtenus par le modèle de Linacre (1977) – Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
E_{Linacre} (mm)	61,61	70,83	104,50	127,16	173,18	238,51	324,83	278,33	186,79	137,53	80,01	58,68	1841,94
Erreur (%)	-26%	-28%	-40%	-47%	-48%	-40%	-26%	-30%	-36%	-29%	-28%	-28%	-35%

Tableau III. 2. 5. 30. Résultats obtenus par le modèle de Linacre (1977) –Barrage Foug El-Guies– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
E_{Linacre}(mm)	53,82	62,14	88,88	103,92	135,53	190,51	249,70	223,43	149,12	120,23	77,37	56,51	1511,17
Erreur (%)	25%	40%	26%	9%	7%	10%	6%	9%	9%	21%	18%	19%	13%

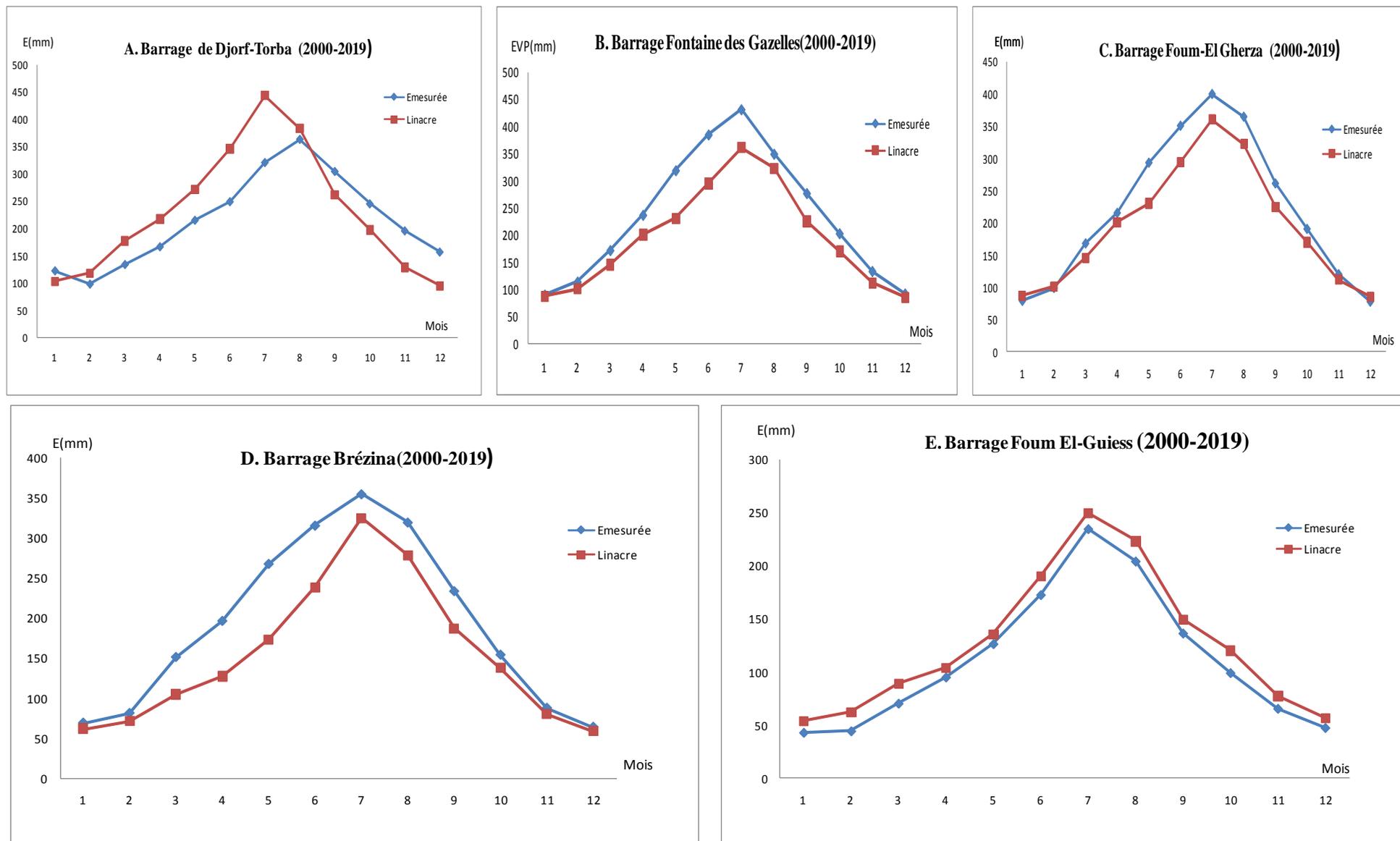


Figure III. 2. 5. 6. Comparaison des résultats d'évaporation obtenus par le modèle de Linacre (1977) et l'évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 2. 5. 31. Résultats obtenus par le modèle de Kharrufa (1985) –Barrage Djorf-Torba- Béchar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
E_{Kharrufa}(mm)	47,48	62,09	114,20	161,55	225,25	284,50	339,42	304,99	221,08	157,07	86,14	52,26	2056,03
Erreur (%)	-62%	-41%	-13%	-1%	5%	12%	4%	-15%	-27%	-36%	-55%	-66%	-20%

Tableau III. 2. 5. 32. Résultats obtenus par le modèle de Kharrufa (1985) - Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{Kharrufa}(mm)	59,62	70,30	117,91	163,71	233,51	295,48	344,53	312,44	230,72	166,00	95,96	63,81	2153,99
Erreur (%)	-37%	-40%	-34%	-31%	-29%	-22%	-20%	-19%	-16%	-18%	-28%	-35%	-25%

Tableau III. 2. 5. 33. Résultats obtenus par le modèle de Kharrufa (1985) -Barrage Foug El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{Kharrufa}(mm)	59,62	70,30	117,91	163,71	233,51	295,48	344,53	312,44	230,72	166,00	95,96	63,81	2153,99
Erreur (%)	-25%	-29%	-30%	-24%	-20%	-16%	-14%	-14%	-12%	-13%	-20%	-18%	-18%

Tableau III. 2. 5. 34. Résultats obtenus par le modèle de Kharrufa (1985) – Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
E_{Kharrufa}(mm)	18,55	26,61	58,01	90,27	145,61	207,37	262,60	232,57	157,57	103,65	44,68	23,23	1370,72
Erreur (%)	-78%	-73%	-67%	-62%	-56%	-48%	-40%	-42%	-46%	-46%	-60%	-71%	-52%

Tableau III. 2. 5. 35. Résultats obtenus par le modèle de Kharrufa (1985) –Barrage Foug El-Guies– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
E_{Kharrufa}(mm)	22,65	28,66	59,66	91,69	144,05	204,04	253,33	228,32	155,39	107,83	52,72	27,62	1375,95
Erreur (%)	-47%	-35%	-15%	-4%	14%	18%	8%	12%	14%	9%	-20%	-42%	3%

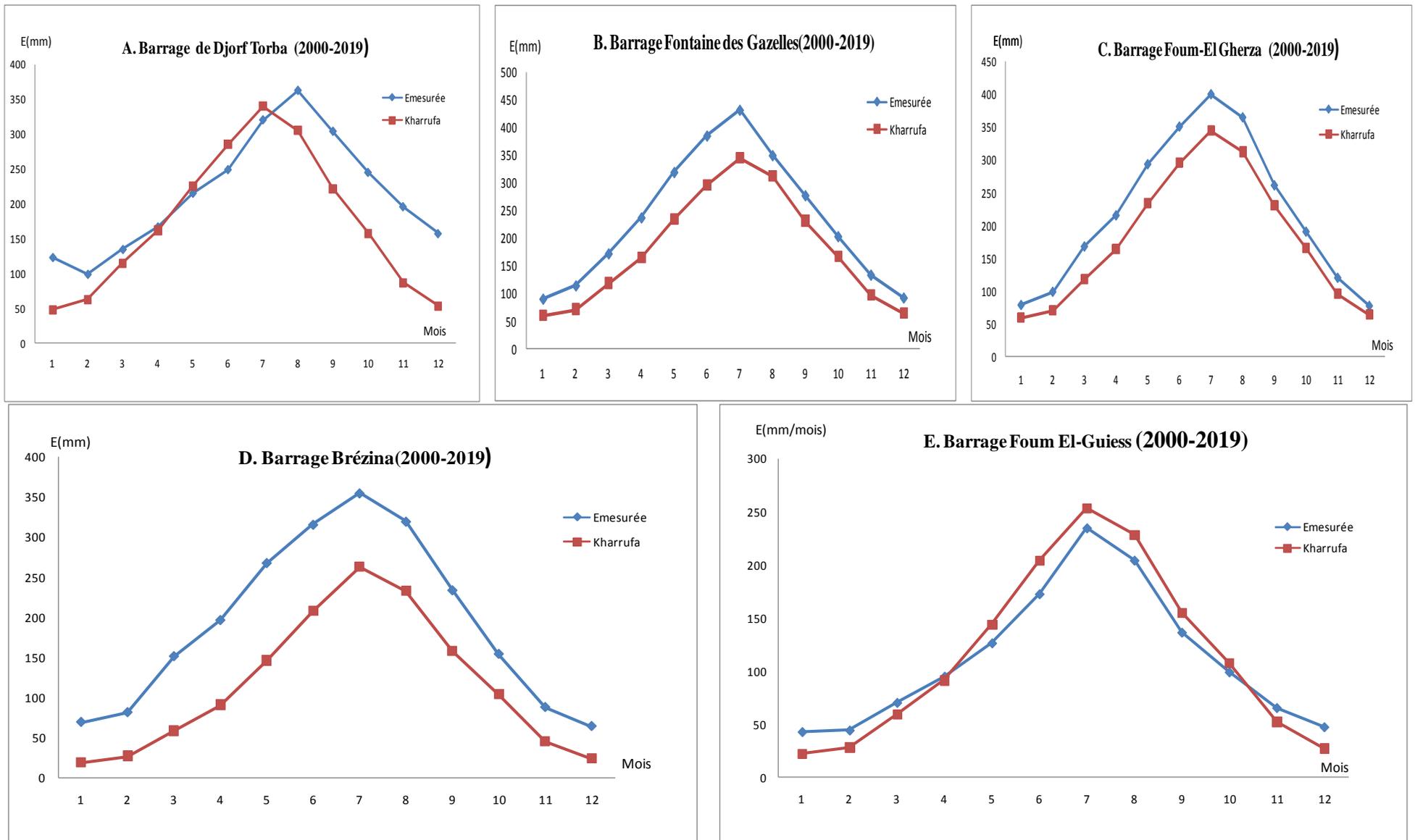


Figure III. 2. 5. 7. Comparaison des résultats d'évaporation obtenus par le modèle de Kharrufa (1985) et l'évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 2. 5. 36. Résultats obtenus par le modèle de Boutoutaou (2011) –Barrage Djorf-Torba- Béchar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
$E_{\text{Mesurée}} \text{ (mm)}$	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
$E_{\text{Boutoutaou}} \text{ (mm)}$	95,48	125,04	208,60	287,32	362,82	446,31	562,95	482,88	330,46	218,39	132,11	85,87	3338,22
Erreur (%)	-23%	20%	58%	75%	69%	75%	72%	35%	10%	-11%	-31%	-44%	30%

Tableau III. 2. 5. 37. Résultats obtenus par le modèle de Boutoutaou (2011) -Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
$E_{\text{Mesurée}} \text{ (mm)}$	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
$E_{\text{Boutoutaou}} \text{ (mm)}$	117,50	137,35	212,77	269,05	362,97	414,86	474,11	418,75	298,13	207,32	145,15	103,40	3161,37
Erreur (%)	24%	18%	19%	14%	10%	9%	10%	9%	8%	2%	8%	6%	10%

Tableau III. 2. 5. 38. Résultats obtenus par le modèle de Boutoutaou (2011) -Barrage Foum El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
$E_{\text{Mesurée}} \text{ (mm)}$	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
$E_{\text{Boutoutaou}} \text{ (mm)}$	117,50	137,35	212,77	269,05	362,97	414,86	474,11	418,75	298,13	207,32	145,15	103,40	3161,37
Erreur (%)	48%	38%	26%	25%	24%	18%	19%	15%	14%	9%	20%	33%	21%

Tableau III. 2. 5. 39. Résultats obtenus par le modèle de Boutoutaou (2011) – Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
$E_{\text{Mesurée}} \text{ (mm)}$	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
$E_{\text{Boutoutaou}} \text{ (mm)}$	55,55	70,50	110,62	137,63	186,01	252,89	340,58	285,08	190,00	129,43	73,70	50,39	1882,37
Erreur (%)	-33%	-29%	-37%	-43%	-44%	-36%	-22%	-29%	-35%	-33%	-33%	-38%	-34%

Tableau III. 2. 5. 40. Résultats obtenus par le modèle de Boutoutaou (2011) –Barrage Foum El-Guieess– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
$E_{\text{Mesurée}} \text{ (mm)}$	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
$E_{\text{Boutoutaou}} \text{ (mm)}$	56,37	71,66	102,53	119,85	157,83	230,33	316,50	277,90	170,01	128,15	80,96	53,23	1765,32
Erreur (%)	31%	61%	45%	26%	25%	33%	35%	36%	24%	29%	23%	12%	32%

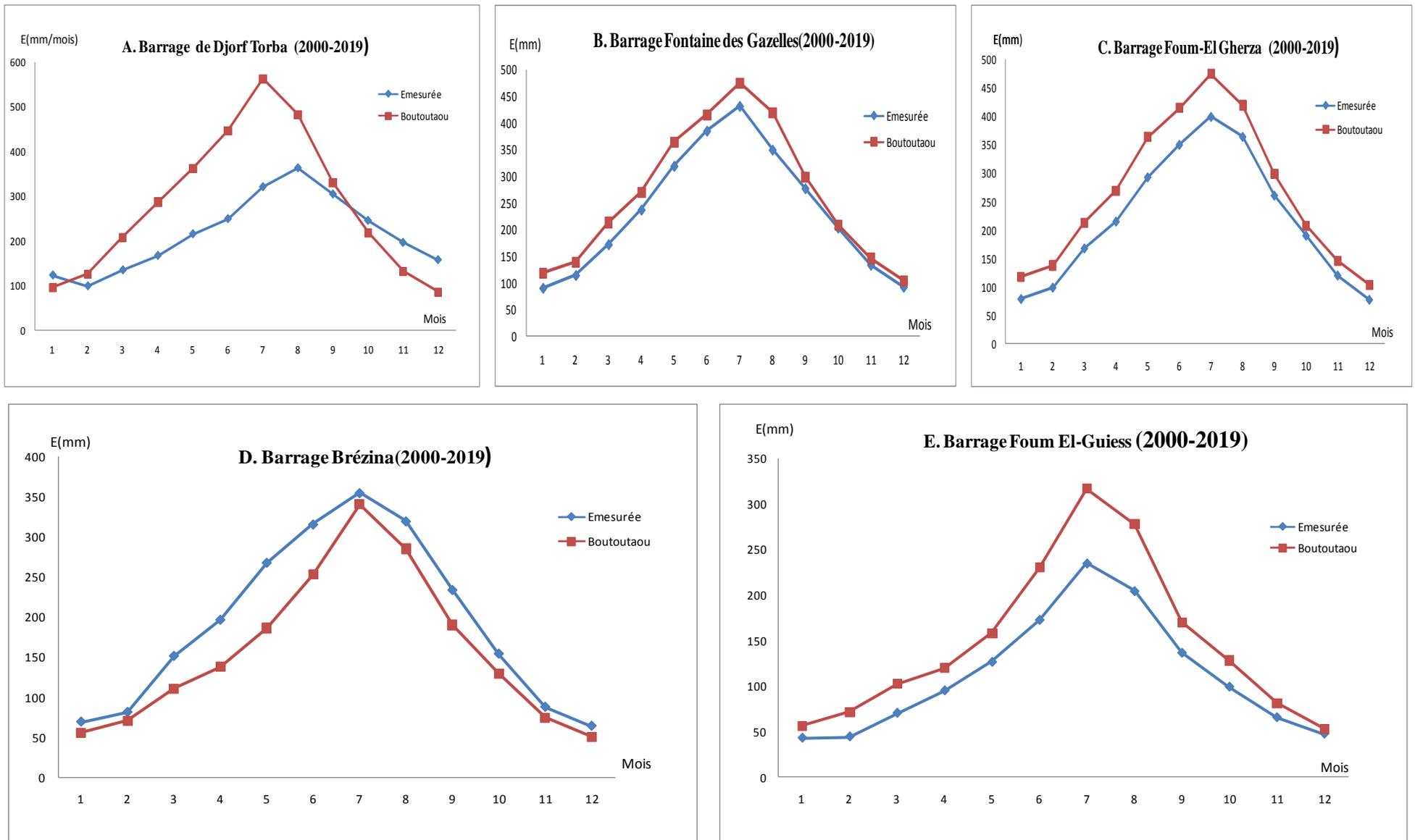


Figure III. 2. 5. 8. Comparaison des résultats d'évaporation obtenus par le modèle de Boutoutaou (2011) et l'évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 2. 5. 41. Résultats obtenus par le modèle de Liu et al (2016) –Barrage Djorf-Torba- Béchar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
E_{Liu et al} (mm)	155,80	158,26	195,06	209,55	234,61	248,72	274,59	265,28	231,29	210,57	172,96	154,94	2511,61
Erreur (%)	26%	51%	48%	28%	9%	-2%	-16%	-26%	-23%	-14%	-10%	0%	-2%

Tableau III. 2. 5. 42. Résultats obtenus par le modèle de Liu et al (2016) -Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{Liu et al} (mm)	162,03	161,37	193,83	205,21	233,26	245,93	267,31	259,86	228,17	209,88	176,22	161,66	2504,73
Erreur (%)	71%	38%	8%	-13%	-29%	-35%	-38%	-33%	-17%	3%	31%	66%	-13%

Tableau III. 5. 43. Résultats obtenus par le modèle de Liu et al (2016) -Barrage Foug El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{Liu et al} (mm)	162,03	161,37	193,83	205,21	233,26	245,93	267,31	259,86	228,17	209,88	176,22	161,66	2504,73
Erreur (%)	104%	62%	15%	-5%	-20%	-30%	-33%	-29%	-13%	10%	46%	107%	-4%

Tableau III. 2. 5. 44. Résultats obtenus par le modèle de de Liu et al (2016) – Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
E_{Liu et al} (mm)	128,60	129,46	157,82	168,30	194,54	214,33	242,30	232,24	198,79	179,47	142,09	128,85	2116,80
Erreur (%)	54%	31%	-10%	-30%	-42%	-46%	-45%	-42%	-32%	-7%	28%	58%	-26%

Tableau III. 2. 5. 45. Résultats obtenus par le modèle de Liu et al (2016) –Barrage Foug El-Guiss– Khenchela.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
E_{Liu et al} (mm)	129,70	129,31	154,88	163,10	186,08	206,61	233,03	225,58	191,13	177,79	146,23	131,75	2075,17
Erreur (%)	202%	191%	120%	71%	47%	20%	-1%	10%	40%	79%	123%	177%	55%

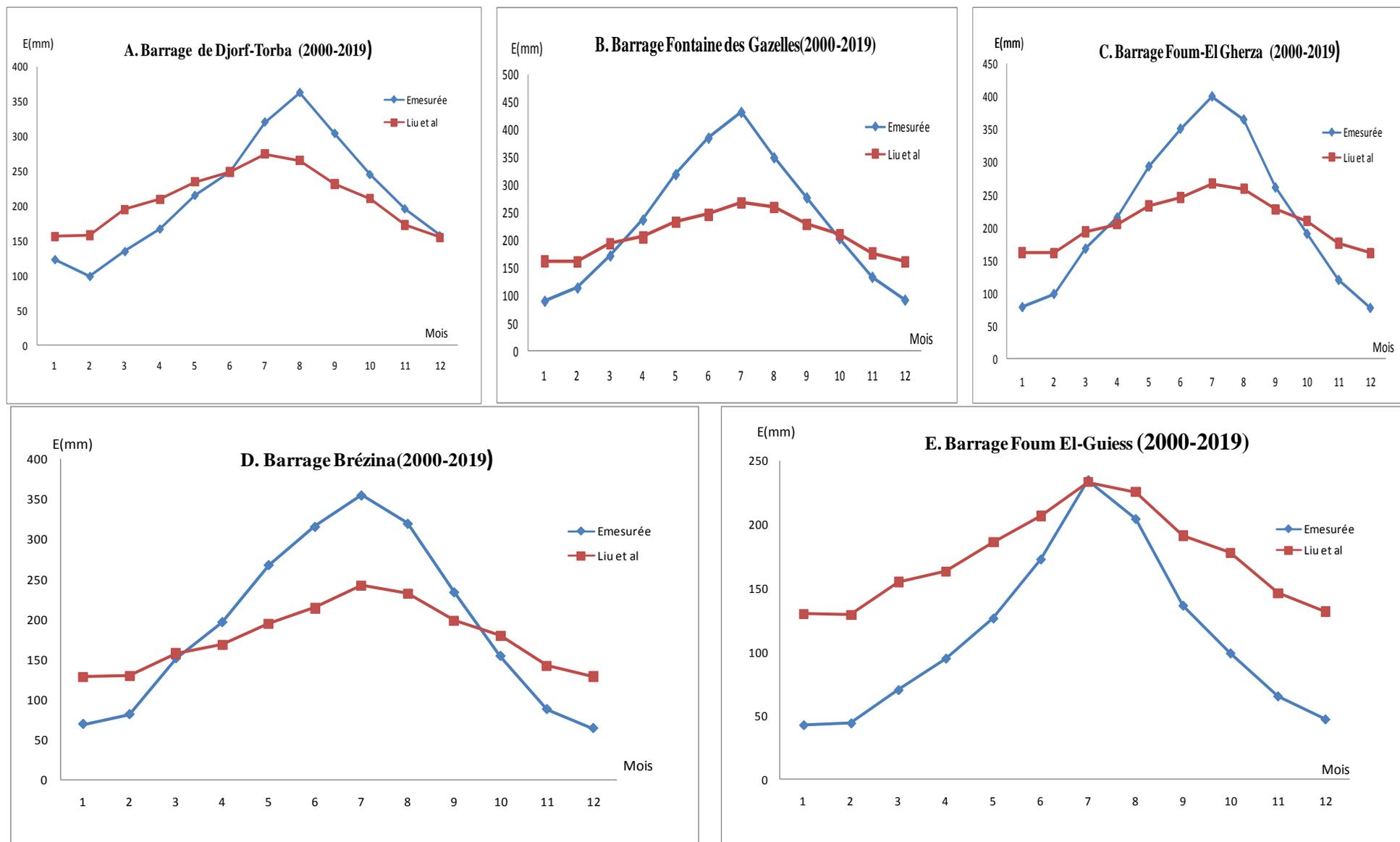


Figure III. 2. 5. 9. Comparaison des résultats d'évaporation obtenus par le modèle de Liu et al (2016) et l'évaporation mesurée (référence).

Tableau III. 4. Résultats statistiques des modèles sélectionnés d'évaporation et l'évaporation mesurée (référence)

Modèles Barrages	BLANEY-CRIDDLE (1958)						PAPADAKIS (1961)						HAMON (1961)					
	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang
Foum El-Gherza	0,71	59,29	17,12	0,99	0,54	5	-2,70	211,64	61,10	0,97	1,92		0,00	109,81	31,70	0,97	1,00	
Fontaine des Gazelles	0,52	80,02	23,10	0,98	0,69		-1,77	191,70	55,34	0,96	1,66		-0,28	130,32	37,62	0,97	1,13	
Brézina	0,97	143,68	41,48	0,96	0,18	7	0,99	75,93	21,92	0,94	0,09	2	0,95	181,90	52,51	0,95	0,22	9
Foum El-Guiness	0,98	8,62	2,49	0,99	0,14	1	-22,3	298,63	86,21	1,00	4,82		0,54	41,81	12,07	0,99	0,68	
Djorf-Torba	0,63	70,41	20,32	0,79	0,61		-3,19	237,65	68,60	0,82	2,05		0,05	113,33	32,72	0,74	0,98	
Modèles Barrages	HAMON (1963)						SZÁSZ (1973)						LINACRE(1977)					
	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang
Foum El-Gherza	-0,25	122,80	35,45	0,94	1,12		0,81	47,34	13,67	1,00	0,43	3	0,91	33,08	9,55	0,99	0,30	1
Fontaine des Gazelles	-0,52	141,87	40,95	0,95	1,23		0,94	28,30	8,17	0,99	0,25	2	0,79	52,44	15,14	0,98	0,46	3
Brézina	0,96	153,81	44,40	0,96	0,19	8	0,99	73,33	21,17	0,95	0,09	1	0,99	97,12	28,04	0,94	0,12	4
Foum El-Guiness	0,71	33,20	9,58	0,82	0,54	4	0,31	51,35	14,82	1,00	0,83		0,94	14,82	4,28	1,00	0,24	2
Djorf-Torba	0,06	112,80	32,56	0,50	0,97		0,24	101,06	29,17	0,77	0,87		0,74	59,59	17,20	0,74	0,51	2
Modèles Barrages	KHARRUFA (1985)						BOUTOUTAOU (2011)						LIU ET AL (2016)					
	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang	NSE	RMSE	MBE	R ²	RSR	Rang
Foum El-Gherza	0,85	42,06	12,14	0,99	0,38	2	0,81	48,33	13,95	0,99	0,44	4	0,55	74,22	21,42	0,98	0,67	
Fontaine des Gazelles	0,70	62,91	18,16	0,99	0,55	4	0,94	27,62	7,97	1,00	0,24	1	0,46	84,44	24,38	0,97	0,73	
Brézina	0,97	132,15	35,15	0,96	0,16	6	0,99	90,54	26,14	0,96	0,11	3	0,98	107,95	31,16	0,96	0,13	5
Foum El-Guiness	0,91	18,18	5,25	0,99	0,29	3	0,54	41,94	12,11	0,99	0,68		-0,18	67,29	19,43	0,97	1,09	
Djorf-Torba	0,71	63,01	18,19	0,79	0,54	3	0,00	116,28	33,57	0,70	1,00		0,83	48,56	14,02	0,78	0,42	1

III. 2. 5. 10. Interprétation des résultats d'évaporation obtenus par les méthodes basées sur la température de l'air

D'après les calculs numériques et les indexes statistiques mentionnés dans les tableaux précédents nous allons interpréter les résultats de l'évaporation de chaque barrage-réservoir étudié comme suit :

a) Barrage-réservoir de Foum El-Gherza :

Selon les critères de Nash NSE et RSR, les modèles qui convergent beaucoup plus avec les valeurs de l'évaporation mesurée pour le barrage-réservoir de Foum El-Gherza sont classés comme suit (Voir les tableaux III : 3 et 2. 5. 28 ; 2. 5. 33 ; 2. 5. 23 ; 2. 5. 38 ; 2. 5. 3) :

- 1) Linacre (1977) : NSE= 0,91 ; RSR=0,30 ;
Erreur (mensuelle) \leq 9% ; Erreur (annuelle) = -11%.
- 2) Kharrufa (1985) : NSE= 0,85 ; RSR=0,38 ;
Erreur (mensuelle) \leq -30% ; Erreur (annuelle) = -18%.
- 3) Szász (1973) : NSE= 0,81 ; RSR=0,43 ;
Erreur (mensuelle) \leq 46% ; Erreur (annuelle) = 21%.
- 4) Boutoutaou (2011) : NSE= 0,81 ; RSR=0,44 ;
Erreur (mensuelle) \leq 48% ; Erreur (annuelle) = 21%.
- 5) Blaney-Criddle (1958) : NSE= 0,71 ; RSR=0,54 ;
Erreur (mensuelle) \leq -37% ; Erreur (annuelle) = -24%.

Graphiquement, nous constatons que les modèles de Linacre, Kharrufa et Blaney-Criddle sous-estiment l'évaporation de ce barrage-réservoir tandis que les modèles de Boutoutaou et Szász surestiment l'évaporation. Graphiquement, les deux derniers modèles sont peu loin de l'évaporation mesurée (référence) (Figure III. 2. 5. 10. A).

b) Barrage-réservoir de Fontaine des Gazelles :

Les meilleurs modèles sont classés comme suit (Voir les tableaux : III. 3 et 2. 5. 37 ; 2. 5. 22 ; 2. 5. 27 ; 2. 5. 38 ; 2. 5. 32) :

- 1) Boutoutaou (2011) : NSE= 0,94 ; RSR=0,24 ;
Erreur (mensuelle) \leq 24% ; Erreur (annuelle) = 10%.
- 2) Szász (1973) : NSE= 0,94 ; RSR=0,25 ;
Erreur (mensuelle) \leq 22% ; Erreur (annuelle) = 11%.
- 3) Linacre (1977) : NSE= 0,79 ; RSR=0,46 ;
Erreur (mensuelle) \leq -30% ; Erreur (annuelle) = -18%.
- 4) Kharrufa (1985) : NSE= 0,70 ; RSR=0,55 ;
Erreur (mensuelle) \leq -40% ; Erreur (annuelle) = -25%.

Nous constatons que les deux modèles de Boutoutaou (2011) et Szász (1973) surestiment l'évaporation totale pour ce barrage-réservoir. Alors que, les deux modèles de Linacre (1977) et Kharrufa (1985) sous-estiment l'évaporation. Donc, on opte les modèles de Boutoutaou (2011) et Szász (1973) comme meilleurs modèles adéquats pour l'estimation de l'évaporation du barrage-réservoir de Fontaine des Gazelles. Graphiquement, on voit clairement que les deux derniers modèles choisis sont proches de la courbe de l'évaporation mesurée de ce barrage-réservoir (Figure III. 2. 5. 10. B).

f) Barrage-réservoir de Brézina :

Pour le barrage-réservoir de Brézina, nous constatons que tous les modèles ont de très bonnes performances. Le critère de Nash varie entre 0,93-1,00 et le RSR varie de 0,04 à 0,26 ($<$ 0,5). Mais, tous les modèles sous-estiment l'évaporation du fait que les six bons modèles ont des erreurs annuelles négatives sauf le modèle de Papadakis. Nous citons que :

- 1) Szász (1973) : NSE= 0,99 ; RSR=0,09 ;
Erreur (mensuelle) \leq -41% ; Erreur (annuelle) = -27%.
- 2) Papadakis (1961) : NSE= 0,99 ; RSR=0,09 ;
Erreur (mensuelle) \leq 72% ; Erreur (annuelle) = 27%.
- 3) Boutoutaou (2011) : NSE= 0,99 ; RSR=0,11 ;
Erreur (mensuelle) \leq -44% ; Erreur (annuelle) = - 34%.
- 4) Linacre (1977) : NSE= 0,99 ; RSR=0,12 ;
Erreur (mensuelle) \leq -48% ; Erreur (annuelle) = - 35%.
- 5) Liu et al (2016) : NSE= 0,98 ; RSR=0,13 ;
Erreur (mensuelle) \leq 58% ; Erreur (annuelle) = - 26%.
- 6) Kharrufa (1972): NSE= 0,97; RSR=0,16;
Erreur (mensuelle) \leq -78% ; Erreur (annuelle) = - 52%.

Graphiquement, la figure (Figure III. 2. 5. 10. C) montre qu'aucune courbe des modèles est très proche de la courbe de l'évaporation mesurée.

g) Barrage-réservoir de Foum El-Guiness :

Les modèles qui convergent mieux avec l'évaporation mesurée pour l'estimation de l'évaporation du barrage-réservoir de Foum El-Guiness selon les indexes statistiques sont les trois modèles suivants :

- 1) Blaney-Criddle (1958) : NSE= 0,98 ; RSR=0,14 ;
Erreur (mensuelle) \leq 28% ; Erreur (annuelle) = 5%.
- 2) Linacre (1977) : NSE= 0,94 ; RSR=0,24 ;
Erreur (mensuelle) \leq 40% ; Erreur (annuelle) = 13%.
- 3) Kharrufa (1972): NSE= 0,91; RSR=0,29;
Erreur (mensuelle) \leq -47% ; Erreur (annuelle) = 3%

Graphiquement, sur la figure (III. 2. 5. 10. D) on ne constate que les courbes des modèles de Blaney-Criddle, Linacre et Kharrufa sont proches de la courbe de l'évaporation mesurée de ce barrage-réservoir. Mais, la plus proche de ces courbes et celle de Blaney-Criddle.

h) Barrage-réservoir de Djorf-Torba :

En ce qui concerne le barrage-réservoir de Djorf-Torba, la majorité des méthodes basées sur le rayonnement solaire ne donnent pas des résultats tolérables seuls les trois modèles suivants sont acceptés :

- 1) Liu et al (2016) : NSE= 0,83 ; RSR=0,42 ;
Erreur (mensuelle) \leq 51% ; Erreur (annuelle) = -2%.
- 2) Linacre (1977) : NSE= 0,74 ; RSR=0,51 ;
Erreur (mensuelle) \leq -39% ; Erreur (annuelle) = 6%.
- 3) Kharrufa (1972) NSE= 0,71 ; RSR=0,54 ;
Erreur (mensuelle) \leq -66% ; Erreur (annuelle) = -20%.

Le seul modèle que ces indexes statistiques sont très bonnes est celui de Liu et al (2016). Graphiquement, sur la figure (III. 2. 5. 10. E) nous observons des décalages importants entre les courbes de l'évaporation estimée et celle mesurée. Aucune courbe estimée n'est vraiment très proche de celle mesurée.

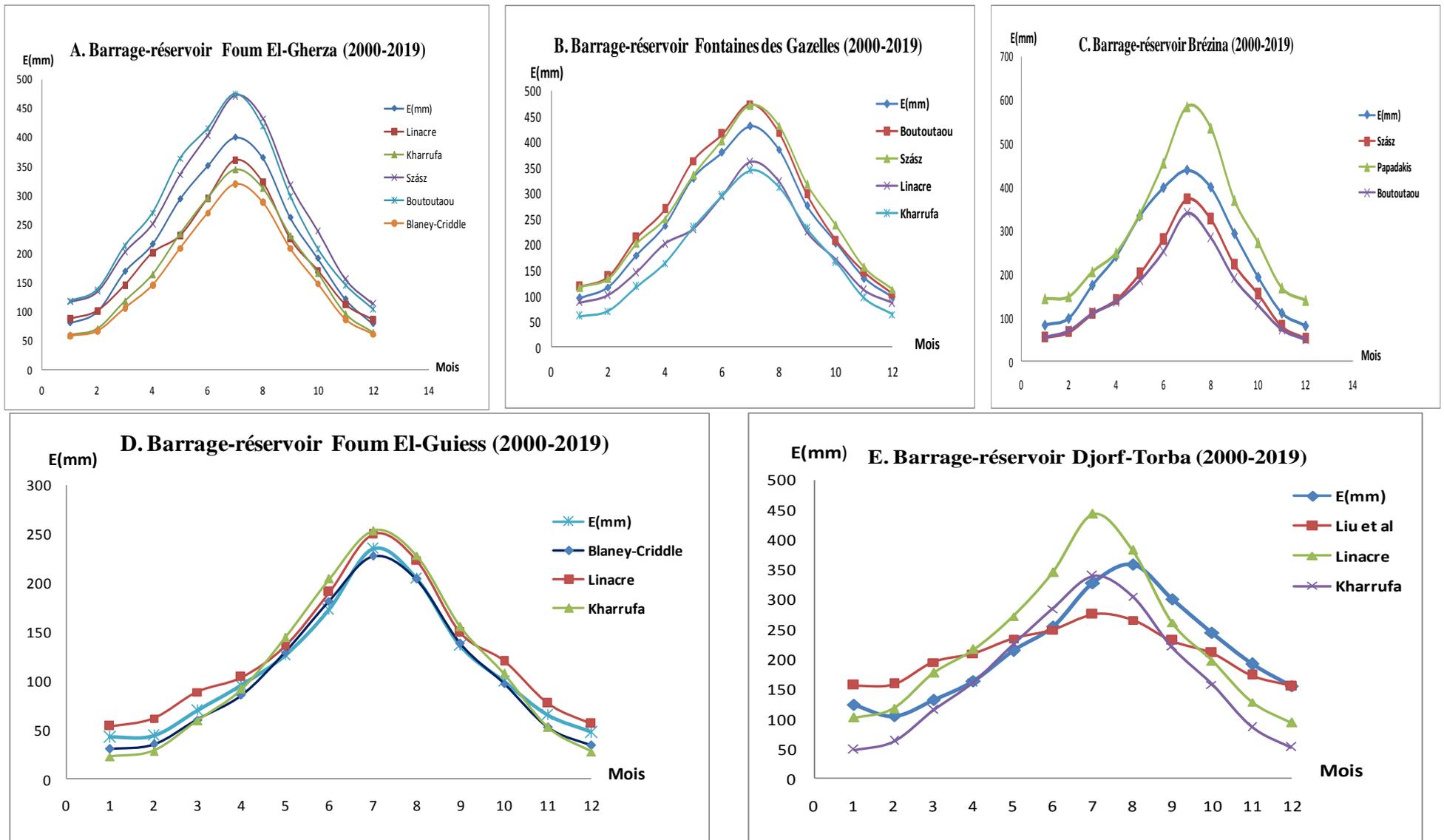


Figure III. 2. 5. 10. Représentations graphiques des modèles adéquats basés sur la température de l'air pour l'estimation de l'évaporation pour les cinq barrages-réservoirs étudiés.

III. 3. CONCLUSIONS

Dans ce chapitre, nous avons essayé de présenter les différents modèles existants pour l'estimation de l'évaporation des plans d'eau. Nous avons montré que parmi les bons modèles qui ont donné des résultats adéquats sont :

-Les méthodes combinatoires : le modèle de Penman-Monteith FAO (1998) donne des excellents résultats numériques et graphiques pour les trois barrages-réservoirs suivants : Fontaine des Gazelles, Foug-el-Gherza et Brézina. Nous notons que ce modèle présente les indexes statistiques suivants : $0,95 \leq NSE \leq 0,99$; $0,98 \leq R^2 \leq 0,99$; $0,08 \leq RSR \leq 0,23$.

Graphiquement les courbes tracées avec les estimations par ce modèle et l'évaporation mesurée sont pratiquement identiques. Ce qui confirme que ce modèle est très fiable pour l'estimation de l'évaporation sachant que les erreurs maximales annuelles de l'évaporation de ces barrages-réservoirs sont respectivement -1%, 19% et -21%.

Les deux modèles Stewart-Rouse (1976) et Debruin (1978) sont parfaits pour le barrage-réservoir de Brézina du fait que les indexes statistiques : $NSE=1,00$; $R^2=0,98$ et $0,03 \leq RSR \leq 0,06$. Graphiquement, la courbe de l'évaporation estimée et celle mesurée par ces modèles sont presque identiques et sachant que les erreurs maximales annuelles de l'évaporation de ces barrages-réservoirs sont respectivement -6% et -17%. Pour les deux barrages-réservoirs de Foug El-Guiss et Djorf-Torba, aucun modèle n'est adéquat.

-Les méthodes de transfert de masse : ont montré que seul le modèle de Dalton (1802) est parfait pour les cinq barrages-réservoirs. Les indexes statistiques montre une très bonne performance :

$$0,72 \leq NSE \leq 0,98 ; 0,78 \leq R^2 \leq 0,99 ; 0,15 \leq RSR \leq 0,53.$$

Graphiquement, les tracés de l'évaporation estimée sont très proches des courbes de l'évaporation mesurée pour les cas de Barrage-réservoir Foug El-Guiss et Barrage-réservoir Fontaine des Gazelles et pour les autres barrages-réservoirs on remarque un petit décalage de la courbe estimée. Les erreurs annuelles de l'évaporation varient entre - 1% et - 48%.

Les modèles Kuzmin (1957), WMO (1966) et Harbeck et *al.* (1958) montrent une excellente performance pour les quatre barrages-réservoirs : Foug El-Gherza, Fontaine des Gazelles, Brézina et Foug El-Guiss. Les indexes statistiques varient comme suit :

$$0,77 \leq NSE \leq 0,98 ; 0,95 \leq R^2 \leq 0,99 ; 0,13 \leq RSR \leq 0,48.$$

Graphiquement, seules les courbes du modèle de Harbeck et *al.* (1958) sont un peu proche des courbes de l'évaporation mesurée des barrages-réservoirs de Fontaine des Gazelles et Foug El-Gherza. Le tracé du modèle de WMO est proche aussi de celui de l'évaporation mesurée de Foug El-Guiss. Aucune courbe des modèles cités au-dessus n'est très proche de la courbe de l'évaporation mesurée de Brézina.

- Les méthodes basées sur le rayonnement solaire ont montré que les bons modèles à retenir pour l'estimation de l'évaporation des cinq barrages-réservoirs étudiés sont :

Pour le barrage réservoir de Foug El-Gherza : Le meilleur modèle est celui d'Hargreaves - Samani (1982). Les indexes statistiques sont : $NSE= 0,95$; $RSR=0,23$; Erreur (mensuelle) $\leq -28\%$; Erreur (annuelle) $\leq -8\%$. Le tracé du modèle de Hargreaves & Samani (1982) est presque proche de la courbe mesurée de l'évaporation du barrage de Foug El-Gherza.

Pour le barrage-réservoir de Fontaine des Gazelles : Le modèle adéquat est celui de Jensen-Haise (1963), ces indexes statistiques sont : $NSE= 0,83$; $RSR=0,42$ et les erreurs : Erreur (mensuelle) $\leq 17\%$; Erreur (annuelle) = 7%.

Même chose pour le barrage de Brézina, le bon modèle c'est bien de Jensen-Haise (1963), ces indexes statistiques sont : $NSE= 1,00$; $RSR=0,04$ et les erreurs : Erreur (mensuelle) $\leq -18\%$;

Erreur (annuelle) = -11%. Les courbes du modèle de Jensen-Haise et celles mesurées sont proches pour les deux barrages-réservoirs de Fontaine des Gazelles et Brézina.

Pour le barrage-réservoir de Foum El-Guiness, deux modèles donnent de bons résultats numériquement et graphiquement sont :

- ✓ Modèle de Caprio (1974) : $NSE= 0,90$; $RSR=0,32$;
 - Erreur (mensuelle) $\leq -57\%$; Erreur (annuelle) = -2%
- ✓ Modèle de McGuinness and Bordne (1972) : $NSE= 0,90$; $RSR=0,32$;
 - Erreur (mensuelle) $\leq -63\%$; Erreur (annuelle) = -6%

Pour le barrage-réservoir de Djorf-Torba, les deux acceptables modèles sont d'Hargreaves-Samani (1982) et Berti et *al* (2014) :

- ✓ Hargreaves & Samani (1982) : $NSE= 0,69$; $RSR=0,55$;
 - Erreur (mensuelle) $\leq -45\%$; Erreur (annuelle) = 0%.
- ✓ Berti et *al* (2014) : $NSE= 0,69$; $RSR=0,55$;
 - Erreur (mensuelle) $\leq -52\%$; Erreur (annuelle) = -13%.

Graphiquement, les deux courbes des modèles cités présentent un petit décalage avec la courbe de l'évaporation mesurée de ce barrage-réservoir.

- Pour les modèles basés sur la température de l'air, on ne constate que seuls les deux modèles de Kharrufa (1985) et Linacre (1977) vérifient les conditions statistiques des cinq barrages-réservoirs étudiés, les indexes statistiques sont :

- Kharrufa (1985) : $0,70 \leq NSE \leq 0,97$; $0,79 \leq R^2 \leq 0,99$; $0,16 \leq RSR \leq 0,54$.
- Linacre (1977) : $0,74 \leq NSE \leq 0,99$; $0,74 \leq R^2 \leq 1,00$; $0,12 \leq RSR \leq 0,51$

Alors que, les modèles de Szász (1973) et Boutoutaou (2011) vérifient les conditions statistiques « une très bonne performance » pour des barrages-réservoirs de Foum El-Gherza, Fontaine des Gazelles et Brézina.

- Botoutaou (2011) : $0,81 \leq NSE \leq 0,99$; $0,96 \leq R^2 \leq 1,00$; $0,11 \leq RSR \leq 0,44$.
- Szász (1973) : $0,81 \leq NSE \leq 0,99$; $0,95 \leq R^2 \leq 1,00$; $0,09 \leq RSR \leq 0,43$.

Aussi, le modèle de Blaney-Criddle (1958) donne des bons résultats statistiques pour les barrages de Foum El-Gherza, Brézina et Foum El-Guiness.

- Blaney-Criddle (1958) : $0,71 \leq NSE \leq 0,98$; $0,96 \leq R^2 \leq 0,99$; $0,14 \leq RSR \leq 0,54$.

Graphiquement, les courbes tracées par Szász (1973), Botoutaou (2011) et celle de l'évaporation mesurée des deux barrages-réservoirs de Foum El-Gherza et Fontaine des Gazelles sont très proche. Pour le barrage de Foum El-Guiness, la courbe tracée par Blaney-Criddle (1958) est très proche de la courbe mesurée. Pour les barrages-réservoirs Brézina et Djorf-Torba on constate un décalage entre les courbes mesurées et estimées.

A la fin des conclusions de ce chapitre, nous avons proposé un tableau Récapitulatif permettant de savoir les sous- estimations / sur-estimations des modèles étudiés pour les cinq barrages-réservoirs étudiés (Tableau III. 5).

Tableau III. 5. Récapitulatif des modèles adéquats selon leurs indexes statistiques

N°	MODELES ETUDIES	BARRAGE FOU M GHERZA	BARRAGE FONTAINE DES GAZELLES	BARRAGE BREZINA	BARRAGE FOU M EL-GUIESS	BARRGE DJORF- TORBA
1	PENMAN (1948)			Sous-estimer		
2	SLATYER-MCILROY (1961)			Sous-estimer		
3	PRIESTLEY-TAYLOR (1972)			Sous-estimer		
4	STEWART-ROUSE (1976)			Sous-estimer		
5	DEBRUIN (1978)			Sous-estimer		
6	DEBRUIN-KEIJMAN (1979)			Sous-estimer		
7	BRUTSAERT-STRICKER (1979)			Sur-estimer		
8	PENMAN-BRUTSAERT (1982)			Sous-estimer		
9	PENMAN-MONTEITH FAO (1998)	Sur-estimer	Sous-estimer	Sous-estimer		
10	Kuzmin (1957)	Sur-estimer	Sur-estimer	Sous-estimer	Sur-estimer	
11	ROMANENKO (1961)	Sur-estimer	Sur-estimer	Sous-estimer		
12	MEYER (1915)			Sous-estimer		
13	ROHER (1931)			Sous-estimer		
14	PENMAN (1948)			Sous-estimer		
15	KONSTANTINOV(1968)			Sur-estimer		
16	DALTON (1802)	Sous-estimer	Sous-estimer	Sous-estimer	Sous-estimer	
17	MAHRINGER (1970)		Sur-estimer	Sous-estimer		
18	VIKULINA (1979)		Sur-estimer	Sous-estimer		
19	WMO(1966)	Sous-estimer	Sous-estimer	Sous-estimer		
20	TRABERT(1896)			Sous-estimer		
21	MEYER (1926)			Sous-estimer		
22	LOUDIN-1 (2005)					
23	BAIER-ROBERTSON (1965)	Sur-estimer	Sur-estimer	Sous-estimer	Sur-estimer	Sur-estimer
24	HORTON (1917)			Sous-estimer		
25	RAYAN-HARLEMAN (1973)			Sur-estimer		
26	SHULIAKOVSKI (1969)			Sous-estimer		
27	HARBECK ET AL (1958)	Sur-estimer	Sur-estimer	Sous-estimer	Sur-estimer	

Suite Tableau III. 5. Récapitulatif des modèles adéquats selon leurs indexes statistiques

N°	MODELES ETUDIES	BARRAGE FOUM GHERZA	BARRAGE FONTAINE DES GAZELLES	BARRAGE BREZINA	BARRAGE FOUM EL-GUEISS	BARRAGE DJORF-TORBA
28	JENSEN AND HAISE (1963)	Sur-estimer	Sur-estimer	Sous-estimer		
29	STEPHENS-STEWART (1963)			Sous-estimer	Sous-estimer	
30	MAKKINK (1967)			Sous-estimer	Sous-estimer	
31	MCGUINNESS-BORDNE (1972)			Sous-estimer	Sous-estimer	
32	CAPRIO (1974)			Sous-estimer	Sous-estimer	
33	DOORENBOS-PRUITT (1977)	Sous-estimer		Sous-estimer		
34	HARGREAVES & SAMANI (1982)	Sous-estimer	Sous-estimer	Sous-estimer		Très proche
35	RITCHIE (1990)			Sous-estimer	Très proche	
36	ALLEN (1993)			Sous-estimer		
37	ABTEW (1996)			Sous-estimer	Sous-estimer	
38	DROOGERS ET ALLEN (2002)			Sous-estimer		
39	IRMAK ET AL (2003)-1			Sous-estimer	Sous-estimer	
40	IRMAK ET AL (2003)-2			Sous-estimer	Sur -estimer	
41	LOUDIN-2 (2005)	Sous-estimer		Sous-estimer	Sur -estimer	
42	TRAJKOVIC (2007)			Sous-estimer		
43	TABARI ET TALAEE (2011)			Sous-estimer		
44	BERTI ET AL (2014)	Sous-estimer		Sous-estimer		Sous-estimer
45	DJORI ET AL (2016)			Sous-estimer		
46	BLANEY-CRIDDLE (1958)	Sous-estimer		Sous-estimer	Sous-estimer	
47	PAPADAKIS (1961)			Sur-estimer		
48	HAMON (1961)			Sous-estimer		
49	HAMON (1963)			Sous-estimer	Sur -estimer	
50	SZÁSZ (1973)	Sur-estimer	Sur-estimer	Sous-estimer		
51	LINACRE(1977)	Sous-estimer	Sous-estimer	Sous-estimer	Sur -estimer	Sur -estimer
52	KHARRUFA (1985)	Sous-estimer	Sous-estimer	Sous-estimer	Sur -estimer	Sous-estimer
53	BOUTOUTAOU (2011)	Sur-estimer	Sur-estimer	Sous-estimer		
54	LIU ET AL (2016)			Sous-estimer		Très proche

CHAPITRE IV

MODELES PROPOSES POUR LES CINQ BARRAGES-RESERVOIRS ETUDIES

-Formules /Résultats Numériques / Résultats Graphiques -

IV. 1. INTRODUCTION

L'appartenance de notre pays à la catégorie bioclimatique aride et semi-aride, fait qu'une gestion efficace des ressources en eau soit primordiale pour le maintien des populations dans ces régions. Rappelons que, l'évaporation est un facteur très important en hydrologie et climatologie. Quand on prend en compte la surface entière de la planète, on constate que la majeure partie de l'énergie solaire est consommée dans ce processus. En hydrologie, il n'y a pratiquement pas d'accord précis sur l'approche qui convient le mieux pour estimer l'évaporation. Par conséquent, un effort considérable a été développé pour la compréhension et la quantification de l'évaporation (Parlange *et al.*, 1995 ; Sartori, 2000 ; Belaribi, 2007). Il est nécessaire de prendre en compte le taux de perte d'eau des plans d'eau lors de la conception et de l'exploitation des barrages/autres structures hydrauliques pour l'irrigation et la gestion des ressources en eau (Moazenzadeh, Mohammadi, Shamshirband, & Chau, 2018 ; Qasem *et al.*, 2019).

La modélisation et les méthodes empiriques/semi-empiriques sont alors aujourd'hui les plus sophistiquées pour des estimations des paramètres hydrologiques en utilisant des données mesurées/expérimentées ou disponibles. De nombreux modèles d'estimation de l'évaporation ont été proposés récemment par des chercheurs comme : Boutoutaou (1995, 2011), Fekih *et al.* (2013), Liu *et al.* (2016)etc. Le développement de ces méthodes indirectes d'estimation sont basées sur l'utilisation de différentes variables météorologiques telles que les heures d'ensoleillement, la vitesse du vent, l'humidité relative, les précipitations et les températures minimales, moyennes et maximales est souvent suggéré pour l'estimation de l'évaporation, en particulier avec des modèles empiriques et semi-empiriques (Ali Ghorbani *et al.*, 2018 ; Lueta, 2018 ; Mundher Yaseen *et al.*, 2020).

Dans ce chapitre, nous présenterons des modèles que nous allons proposer pour l'estimation de taux d'évaporation à partir des approches basées sur une Modélisation Linéaire « ML » pour les cinq barrages-réservoirs étudiés et situés dans des régions arides/semi-arides.

IV. 2. MODELES PROPOSES POUR LES CINQ BARRAGES-RESERVOIRS

Nous avons opté pour des modèles de régression linéaire multiple pour les cinq barrages étudiés en raison que les méthodes de combinaison nécessitent une combinaison au moins de deux modèles. Nous rappelons que le modèle de régression linéaire multiple est une généralisation du modèle de régression simple lorsque les variables explicatives sont en nombre quelconque. Nous supposons donc que les données collectées suivent le modèle suivant (Arnaud Guyader, 2013) :

$$y_i = \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_p x_{ip} + \varepsilon_i, \quad i = 1, \dots, n \quad (IV. 1)$$

Où :

i : représente de numéro du modèle.

x_{ij} : sont les différents modèles explicatifs. Ils sont généralement supposés linéairement indépendants (aucun n'est combinaison linéaire des autres), ce qui ne veut pas dire qu'elles sont statistiquement indépendantes. Cette hypothèse signifie que chaque variable doit apporter une information nouvelle par rapport aux autres. Plus les modèles sont corrélés, moins bien les paramètres associés seront estimés.

β_i : sont appelés coefficients de régression". Un β_i s'interprète comme l'accroissement de y_i correspondant à l'accroissement d'une unité du modèle x_i associé quand les autres sont maintenues constantes.

ε_i : est le vecteur de dimension n des erreurs.

Comme pour toutes les analyses de modèle linéaire multiple, avant de regarder les résultats, il faut vérifier que les hypothèses du modèle sont satisfaites pour cela des résultats graphiques ont été nécessaire pour discuter et valider les modèles.

IV. 2. 1. Modèle proposé pour le barrage de Djorf-Torba (Béchar)

Le modèle proposé pour estimer l'évaporation mensuelle du barrage de Djorf –Torba est de type ML, c'est une approche obtenue par la combinaison des deux modèles de Kharrufa (1985) et Oudin (2005) durant une période qui s'étale de 2000-2019. Les données utilisées pour élaborer ce modèle nécessitent la connaissance des trois paramètres suivants : le rayonnement solaire (I), la température moyenne de l'air (T_{air}) et la lumière du jour mensuelle (D). Or, on sait qu'un excès de variables produit des modèles peu robustes. Rappelons que, l'évaporation présente une corrélation de 0,297 avec le rayonnement solaire, 0,829 avec la température de l'air et 0,402 avec la durée de la lumière du jour.

Les données statistiques montrent une corrélation linéaire entre l'évaporation mesurée et celle estimée par Oudin (2005) de l'ordre de 0,795. Tandis que, l'évaporation estimée par le modèle de Kharrufa (1985) et celle mesurée avec le bac ont une corrélation de 0,888. Le modèle proposé présente une corrélation linéaire de l'ordre 0,979 (Voir Tableau IV. 1). Les deux modèles choisis (Kharrufa et Oudin) présentent une tolérance de 0,032 (Voir Tableau IV. 4). Afin d'aboutir à une adéquate équation d'estimation pour ce barrage-réservoir, les paramètres statistiques de l'équation du modèle ont été calculés par le logiciel XLSTAT cités dans les tableaux (IV. 1, 2, 3, 4, 5, 6 et 7).

Tableau IV. 1. Les coefficients d'ajustement du modèle-1 selon le logiciel XLSTAT (2019)

Observations	12	Le nombre d'observations prises en compte dans les calculs
Somme des poids	12	La somme des poids des observations prises en compte dans les calculs.
DDL	9	Le nombre de degrés de liberté pour le modèle retenu (correspondant à la partie erreurs).
R²	0,979	Le coefficient de détermination du modèle. Le R ² s'interprète comme la proportion de la variabilité de la variable dépendante expliquée par le modèle. Plus le R ² est proche de 1, meilleur est le modèle. L'inconvénient du R ² est qu'il ne prend pas en compte le nombre de variables utilisées pour ajuster le modèle.
R² ajusté	0,974	Le coefficient de détermination ajusté du modèle. Le R ² ajusté peut être négatif si le R ² est voisin de zéro. Le R ² ajusté est une correction du R ² qui permet de prendre en compte le nombre de variables utilisées dans le modèle.
MCE	180,158	La moyenne des carrés des erreurs.
RMCE	13,422	La racine de la moyenne des carrés des erreurs (RMCE) est la racine carrée de la MCE.
DW	1,744	Le coefficient de Durbin-Watson. Ce coefficient correspond au coefficient d'auto-corrélation d'ordre 1 et permet de vérifier que les résidus du modèle ne sont pas auto-corrélés, sachant que l'indépendance des résidus est l'une des hypothèses de base de la régression linéaire. La statistique DW prend ses valeurs entre 0 (auto-corrélation linéaire positive) et 4 (auto-corrélation linéaire négative).

- Le coefficient de détermination du modèle est de 0,979 cela explique que le modèle est exhaustif (97,4% de la dispersion est expliquée par le modèle de régression). Notons que, le R² ne permet pas de juger de la qualité prédictive du modèle.
- Le coefficient de détermination ajusté du modèle est de 0,974 tient compte du nombre de prédicteurs dans le modèle.
- Le degré de liberté de notre modèle est de 9 cela signifie que neuf valeurs maximales telles qu'aucune d'entre elle n'est calculable à partir des autres.

- La statistique DW à une valeur de 1,744 proche de 2 indique que les résidus du modèle ne sont pas auto-corrélés, sachant que l'indépendance des résidus est l'une des hypothèses de base de la régression linéaire.

Tableau IV. 2. Statistiques descriptives des données mensuelles de l'évaporation du Barrage Djorf-Torba durant (2000-2019)

Variable	Observations	Obs. avec données manquantes	Obs. sans données manquantes	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
$E_{\text{mesurée}}(\text{mm})$	12	0	12	104,473	358,434	214,151	83,829
$E_{\text{Oudin}}(\text{mm})$	12	0	12	57,032	331,676	178,744	98,413
$E_{\text{Kharrufa}}(\text{mm})$	12	0	12	47,502	339,606	171,534	103,382

Tableau IV. 3. Matrice de corrélation entre les deux modèles d'Oudin, Kharrufa et l'évaporation mesurée.

Variabiles	$E_{\text{Oudin}}(\text{mm})$	$E_{\text{Kharrufa}}(\text{mm})$	$E_{\text{mesurée}}(\text{mm})$
$E_{\text{Oudin}}(\text{mm})$	1,000	0,984	0,795
$E_{\text{Kharrufa}}(\text{mm})$	0,984	1,000	0,888
$E_{\text{mesurée}}(\text{mm})$	0,795	0,888	1,000

Tableau IV. 4. Statistiques de multi-colinéarité entre les modèles d'Oudin et Kharrufa

Statistique	Oudin	Kharrufa
Tolérance	0,032	0,032
VIF	31,027	31,027

Où :

La tolérance vaut $(1-R^2) = 0,032$. VIF : Variance Inflation Factor qui est égal à l'inverse de la tolérance égale 31,027. Où les VIF sont élevés peuvent être ignorés en toute sécurité sans souffrir de multi-colinéarité (La multi-colinéarité augmente la variance et l'erreur).

Tableau IV. 5. Analyse de la variance du Modèle -1 :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	2	75679,723	37839,862	210,037	< 0,0001
Erreur	9	1621,422	180,158		
Total corrigé	11	77301,145			

Tableau IV. 6. Paramètres du modèle-1 proposé –Barrage Djorf Torba-

Source	Valeur	Erreur standard	t	Pr > t	Borne inférieure (98%)	Borne supérieure (98%)
Constante	128,257	8,792	14,587	< 0,0001	103,433	153,082
Oudin	-2,074	0,229	-9,057	< 0,0001	-2,721	-1,428
Kharrufa	2,662	0,218	12,210	< 0,0001	2,047	3,278

Tableau IV. 7. Coefficients normalisés pour les deux modèles Oudin et Kharrufa.

Source	Valeur	Erreur standar d	t	Pr > t	Borne inférieure (98%)	Borne supérieure (98%)
Oudin	-2,435	0,269	-9,057	<0,001	-3,195	-1,676
Kharrufa	3,283	0,269	12,20	<0,001	2,524	4,043

Après les calculs, les résultats ont abouti à l'équation finale du modèle-1 suivant :

$$E(\text{mm}) = 128,2573 - 2,07447[I (T_{\text{moy}} + 5)/100]N + 2,66241 [0,34(100D_{\text{TA}}/\Sigma D_{\text{TA}})(T_{\text{moy}}^{1/3})] \quad (\text{IV. 2})$$

Avec :

E : Evaporation mensuelle en (mm)

I : Le rayonnement solaire (MJ/m²/j)

T_{moy} : La température moyenne de l'air en (°C)

D_{TA} : La lumière du jour pendant le mois considéré (Heures)

ΣD_{TA}: La Somme de la lumière du jour au cours de l'année considérée (Heure)

La présentation graphique du modèle-1 proposé sur la figure (IV. 1) montre que les deux courbes de l'évaporation mesurée et estimée par le modèle sont très proches. Les indexes calculés de ce modèle expliquent une très bonne performance du fait que :

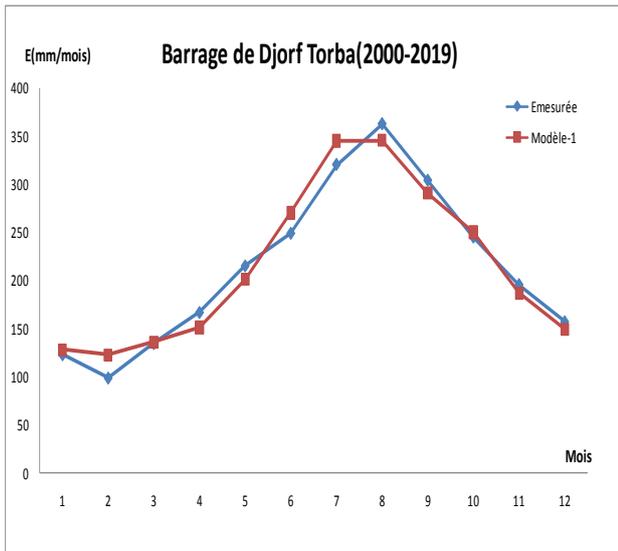
$$\text{NSE}=0,99; \text{RMSE}= 11,62; \text{MBE}=3,36; \text{R}^2=0,98; \text{RSR}=0,10$$

Autrement dit, le modèle-1 de régression linéaire donne des résultats relativement très satisfaisants.

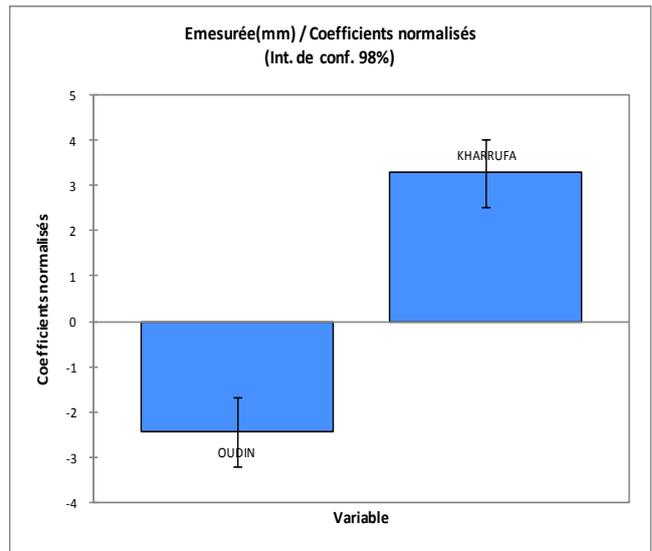
Interprétation :

Dans la figure (IV. 1), les présentations graphiques montrent que :

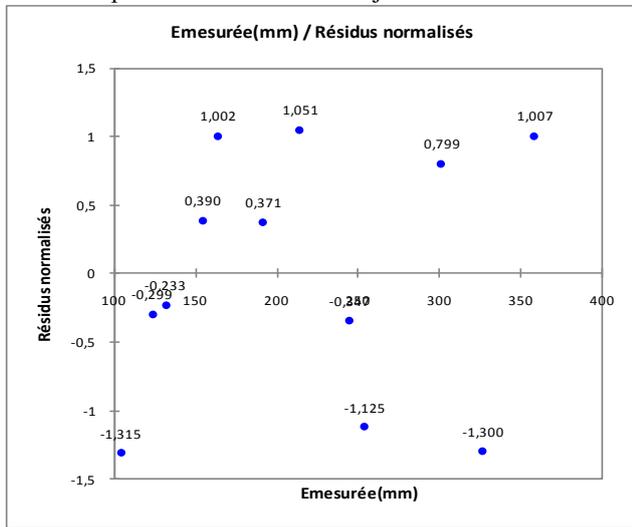
- ✓ La courbe de l'évaporation mesurée et celle estimée sont presque proches ce qui explique la convergence du modèle (Figure IV. 1. a).
- ✓ Le coefficient normalisé du modèle de Kharrufa est plus élevé et a plus d'impact que le modèle d'Oudin. Ce dernier est situé au-dessous de la ligne centrale ce qui explique qu'il est associé d'une manière négative (Figure IV. 1. b). Cela signifie, que 98% des résidus se trouvent en dehors de l'intervalle [-1.96, 1.96] est révélatrice des données suspectes.
- ✓ La visualisation de la distribution des résidus pour E_{mesurée} et E_{calculée} sont distribués de manière presque de même distance autour de l'axe des abscisses. Aucune tendance ou d'une forme à signaler au niveau du modèle (Figure IV. 1. c et d).
- ✓ La figure (e) montre que les points suivent un motif linéaire, ce qui indique que le modèle ajuste bien les données et prévoit la réponse de façon pertinente.
- ✓ Les résidus normalisés sur le diagramme (Figure IV. 1. f) permet rapidement de constater si un nombre anormal de données sort de l'intervalle] -2, 2[sachant que cet intervalle, sous hypothèse de la normalité, doit contenir environ 95% des données. Dans notre cas, pas de données anormales est donc pas de données suspectes.
- ✓ Étant donné que la probabilité associée de « F » appelée Test de Fisher est dans ce cas inférieure à 0,0001, cela signifie que l'on prend un risque de se tromper de moins de 0,01% et que les variables du modèle-1 proposé apportent une quantité d'information significative au modèle-1 (Tableau IV. 5).
- ✓ L'erreur annuelle obtenue par le modèle-1 proposé est nulle alors que les erreurs mensuelles varient de 2 % à 17% (Tableau IV. 43).



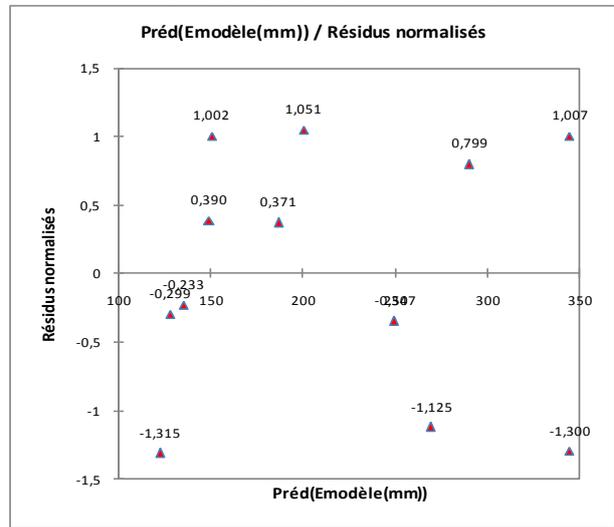
a) Représentation graphique du modèle d'estimation de l'évaporation mensuelle de Djorf-Torba-Béchar.



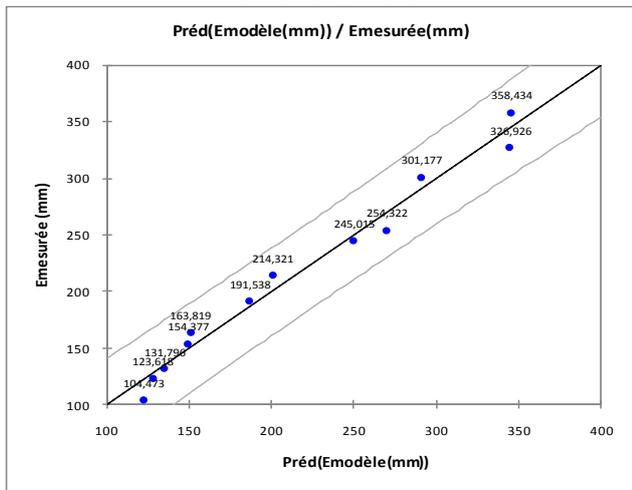
b) Présentation graphique des coefficients normalisés pour les modèles d'Oudin et Kharrufa.



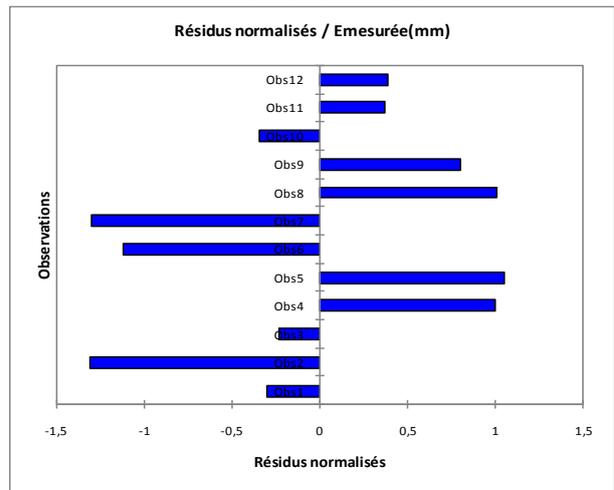
c) Représentation graphique d' $E_{mesurée}$ en fonction de résidus normalisés.



d) Représentation graphique d' $E_{modèle-1}$ en fonction de résidus normalisés.



e) Corrélation de l'évaporation mesurée et estimée.



f) Diagramme des résidus normalisés

Figure IV. 1. Représentations graphiques des paramètres statistiques de l' $E_{mesurée}$ et $E_{modèle-1}$ du Barrage de Djorf-Torba –Béchar-.

IV. 2. 2. Modèle-2 proposé pour le deux barrages-réservoirs de Fontaine des Gazelles et Foug El-Gherza (Biskra)

Pour les deux barrages de Fontaines des Gazelles et Foug-El-Gherza, on a élaboré un modèle-2 commun de type ML et on l’a obtenu par une combinaison de deux modèles d’Ivanov (1970) et Vikulina (1979) en utilisant les données s’étalent de l’année 2000 à 2019. Le modèle-2 proposé ne nécessite que la connaissance des données suivantes : Température moyenne de l’air et de l’eau, l’humidité relative et la vitesse du vent. Les deux modèles ont des fortes corrélations de l’ordre de 0,987 (Tableau IV. 10). Le modèle est exprimé comme suit :

$$E = [0,00056448 (25+T_{moy})^2 (100-H_r)] + [0,0763756 (1+0,74V) (e_s-e_r) N] + 18,1330 \quad (IV. 3)$$

Avec :

$$e_s = 0,6108 \text{Exp} \left(\frac{17,27 * T_{moy}}{T_{moy} + 237,3} \right) \text{ (Allen et al., 2006)} \quad ; \quad e_r = \frac{e_s * H_r}{100} \text{ (Aldomany, 2017)}$$

T_{moy} : La température moyenne de l’air (°C)

H_r : L’humidité relative en (%)

e_s : La pression de vapeur saturante correspondant à la température de l’eau (mbar)

e_r : La pression partielle de vapeur d'eau dans l’air (mbar)

V : La vitesse du vent en (m/s)

N : nombre de jours du mois considéré

Les paramètres statistiques qui aboutissent à ce modèle sont regroupés dans les tableaux (IV. 8, 9, 10, 11, 12, 13 et 14).

Tableau IV. 8. Les coefficients d'ajustement du modèle-2

Observations	23
Somme des poids	23
DDL	20
R²	0,987
R² ajusté	0,986
MCE	52,363
RMCE	7,236
DW	1,767

Tableau IV. 9. Statistiques descriptives des données mensuelles de l’évaporation des deux Barrages Fontaine des Gazelles et Foug El-Gherza durant (2000-2019)

Variable	Observations	Obs. avec données manquantes	Obs. sans données manquantes	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
E_{mesurée}(mm)	24	0	24	78,022	431,319	228,519	115,521
E_{Ivanov}(mm)	24	0	24	105,702	486,019	263,028	130,422
E_{Vikulina}(mm)	24	0	24	79,451	462,451	244,187	131,268

Tableau IV. 10. Matrice de corrélation entre les modèles d’Ivanov, Vikulina et l’évaporation du bac.

Variables	E _{Ivanov} (mm)	E _{Vikulina} (mm)	E _{mesurée} (mm)
E_{Ivanov}(mm)	1,000	0,980	0,989
E_{Vikulina}(mm)	0,980	1,000	0,989
E_{mesurée}(mm)	0,989	0,989	1,000

Tableau IV. 11. Statistiques de multi-colinéarité

Statistique	Ivanov	Vikulina
Tolérance	0,040	0,040
VIF	25,157	25,157

Où :

La tolérance vaut $(1-R^2) = 0,040$ et la Variance Inflation Facteur est égale à 25,157.

Tableau IV. 12. Analyse de la variance du modèle -2 proposé

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle-2	2	81798,807	40899,404	781,074	< 0,0001
Erreur	20	1047,261	52,363		
Total corrigé	22	82846,068			

Tableau IV. 13. Paramètres du modèle-2 proposé pour les deux barrages- Fontaine des Gazelles et Foug El-Gherza-Biskra

Source	Valeur	Erreur standard	t	Pr > t	Borne inférieure (98%)	Borne supérieure (98%)
Constante	18,183	9,239	9,219	0,295	-0,232	7,996
Ivanov	0,314	0,077	4,057	0,001	0,152	0,475
Vikulina	0,546	0,076	7,157	< 0,0001	0,387	0,705

Coefficient d'auto-corrélation : $\rho = 0,787$

Tableau IV. 14. Coefficients normalisés des modèles d'Ivanov et Vikulina

Source	Valeur	Erreur standard	t	Pr > t	Borne inférieure (98%)	Borne supérieure (98%)
Ivanov	0,363	0,089	4,057	0,001	0,176	0,549
Vikulina	0,640	0,089	7,157	< 0,0001	0,454	0,827

La présentation graphique du modèle-2 proposé sur la figure (IV. 2. a) montre que les deux courbes de l'évaporation mesurée et estimée par le modèle sont presque identiques pour les deux barrages. Les indexes de performance de ce modèle expliquent une très bonne performance du modèle du fait que :

- Barrage Fontaine des Gazelles : NSE=0,99 ; RMSE= 9,79 ; MBE=2,83 ; $R^2=1,00$; RSR=0,09.
- Barrage Foug El-Gherza : NSE=0,97 ; RMSE= 17,50 ; MBE=5,05 ; $R^2=0,99$; RSR=0,16

Selon ces derniers indexes statistiques, le modèle-2 proposé donne de très excellents résultats (Figure IV. 2. a).

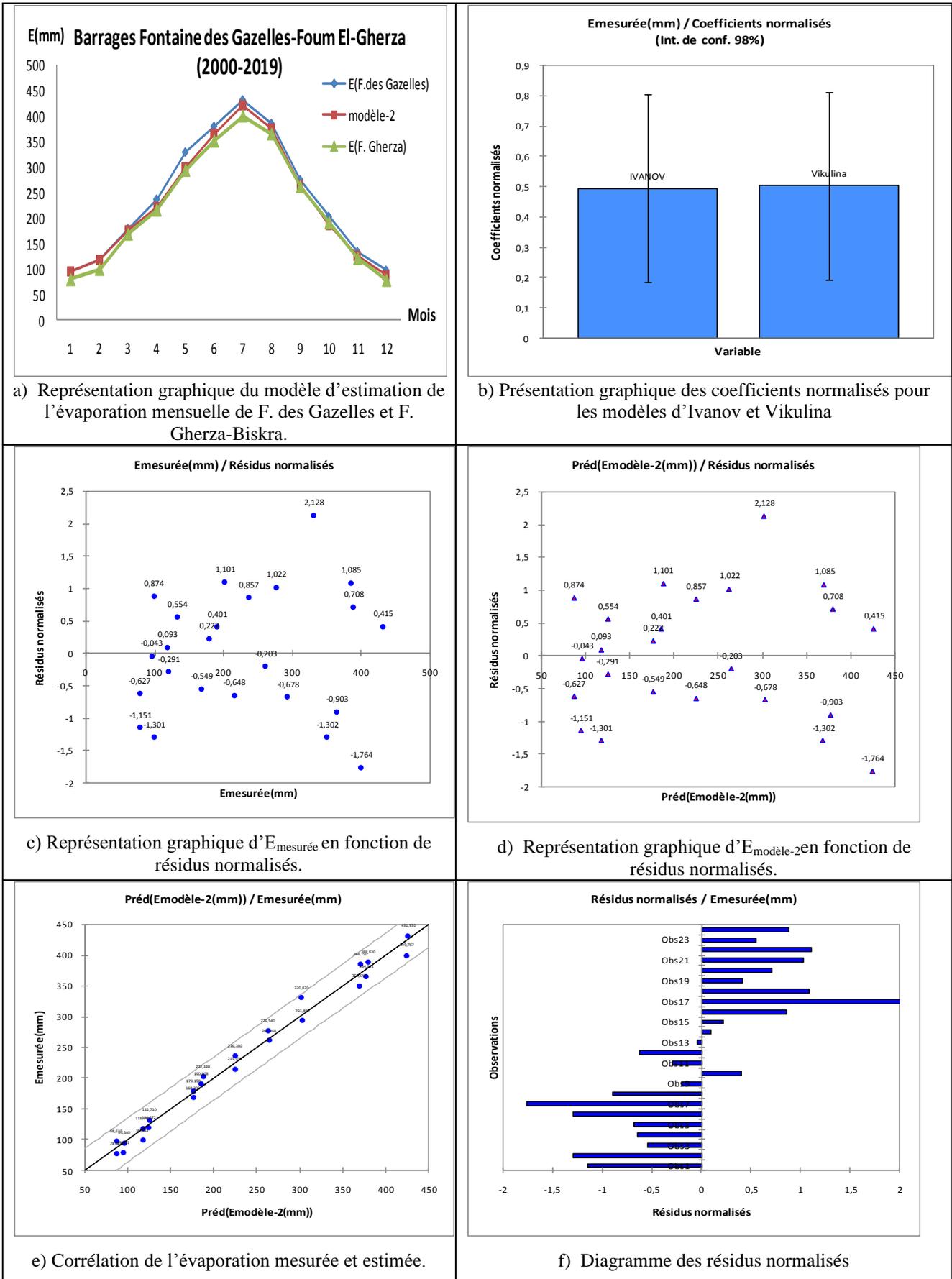


Figure IV. 2. Représentations graphiques des paramètres statistiques de l' $E_{\text{mesurée}}$ et $E_{\text{modèle-2}}$ des Barrages de Fontaine des Gazelles et F. Gherza –Biskra

Interprétation :

De la figure (IV. 2), les représentations graphiques montrent que :

- ✓ Les courbes de l'évaporation mesurée pour les deux barrages et celle estimée sont presque identiques ce qui explique une très bonne performance du modèle-2 (Figure IV. 2. a).
- ✓ Les coefficients normalisés du modèle d'Ivanov et Vikulina sont plus élevés et ont des impacts positifs sur le modèle. Les deux modèles sont situés au-dessus de la ligne centrale ce qui explique qu'ils sont associés d'une manière positive et présentent des similitudes. (Figure IV. 2. b).
- ✓ La visualisation de la distribution des résidus pour $E_{\text{mesurée}}$ et $E_{\text{calculée}}$ sont distribués de manière presque de même distance autour de l'axe des abscisses. Aucune tendance ou d'une forme à signaler au niveau du modèle-2 (Figure IV. 2. c et d).
- ✓ La figure (IV. 2. e) montre que les points suivent une régression linéaire, ce qui indique que le modèle est adéquat.
- ✓ Les résidus normalisés sur la forme du diagramme (Figure IV. 2. f) nous a permis de détecter qu'un seul nombre anormal de données sort de l'intervalle $[-2, 2]$ et celui du barrage de Foug El-Gherza ($E=330,82$ mm enregistrée au mois de Mai). Le résidu normalisé est de 2,128.
- ✓ Le pourcentage de l'erreur obtenu par ce modèle-2 varie de 2 % à 20 % pour le barrage de Foug El-Gherza. Pour le barrage de Fontaine des Gazelles, l'erreur varie entre -11% et 1 % (Voir Tableaux IV. 44 et IV. 45).

IV. 2. 3. Modèle-3 proposé pour le barrage-réservoir de Brézina (Al-Bayadh)

Le modèle proposé pour le barrage de Brézina est obtenu par une combinaison et une modification des deux modèles de Hamon (1963) et Schendel (1967). Le modèle nécessite la connaissance des trois paramètres suivants : La température moyenne de l'air (T_{moy}), l'humidité relative (H_r) et la durée de la lumière du jour (D). Le modèle est exprimé comme suit :

$$E = (4,14723 \times (6,3D^2) \times (T_{\text{moy}} / (T_{\text{moy}} + 273))) - (0,15469 (16 \times (T_{\text{moy}} / H_r) \times N)) + 40,99221 \quad (\text{VI. 4})$$

Où :

N : Nombre du jour du mois considéré.

T_{moy} : La température moyenne de l'air en ($^{\circ}\text{C}$)

H_r : L'humidité relative en (%)

D : la lumière du jour en (Heures)

Les paramètres statistiques calculés pour ce modèle-3 sont regroupés dans les tableaux (4 : 15, 16, 17, 18, 19, 20 et 21)

Tableau IV. 15. Les coefficients d'ajustement du modèle-3

Observations	12
Somme des poids	12
DDL	9,000
R²	0,993
R² ajusté	0,992
MCE	140,082
RMCE	11,836
DW	1,479

Tableau IV. 16. Statistiques descriptives des données mensuelles de l'évaporation du Barrage Brézina-El Bayadh (2000-2019)

Variable	Observations	Obs. avec données manquantes	Obs. sans données manquantes	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
$E_{\text{mesurée}}(\text{mm})$	12	0	12	83,837	441,143	239,148	132,357
$E_{\text{Hamon}}(\text{mm})$	12	0	12	11,173	119,148	55,816	38,619
$E_{\text{Schendel}}(\text{mm})$	12	0	12	35,791	631,133	215,435	191,762

Tableau IV. 17. Matrice de corrélation des modèles de Hamon, Schendel et l'évaporation du bac.

Variables	$E_{\text{Hamon}}(\text{mm})$	$E_{\text{Schendel}}(\text{mm})$	$E_{\text{mesurée}}(\text{mm})$
$E_{\text{Hamon}}(\text{mm})$	1,000	0,961	0,995
$E_{\text{Schendel}}(\text{mm})$	0,961	1,000	0,938
$E_{\text{mesurée}}(\text{mm})$	0,995	0,938	1,000

Tableau IV. 18. Statistiques de multi-colinéarité du modèle-3

Statistique	Schendel	Vikulina
Tolérance	0,077	0,077
VIF	12,966	12,966

La tolérance vaut $(1-R^2) = 0,077$. VIF : Variance Inflation Factor qui est égal à l'inverse de la tolérance égale 12,966.

Tableau IV. 19. Analyse de la variance du Modèle-3

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	2	191441,243	95720,622	683,320	< 0,0001
Erreur	9	1260,735	140,082		
Total corrigé	11	192701,978			

Tableau IV. 20. Paramètres du modèle-3 proposée du Barrage Brézina-El Bayadh durant (2000-2019)

Source	Valeur	Erreur standard	t	Pr > t	Borne inférieure (98%)	Borne supérieure (98%)
Constante	40,992	7,062	5,805	0,000	21,054	60,931
Hamon	4,147	0,333	12,464	< 0,0001	3,208	5,087
Schendel	-0,155	0,067	-2,309	0,046	-0,344	0,035

Tableau IV. 21. Coefficients normalisés des deux modèles d'Hamon et Schendel

Source	Valeur	Erreur standard	t	Pr > t	Borne inférieure (98%)	Borne supérieure (98%)
Hamon	1,210	0,097	12,464	< 0,0001	0,936	1,484
Schendel	-0,224	0,097	-2,309	0,046	-0,498	0,050

La présentation graphique du modèle-3 proposé sur la figure (IV. 3. a) montre que les deux courbes de l'évaporation mesurée et estimée par le modèle-3 sont très proches. Les indexes de performance expliquent une très bonne performance du fait que :

$$\text{NSE}=1,00; \text{RMSE}= 10,78; \text{MBE}=3,11; \text{R}^2=0,99; \text{RSR}=0, 01$$

Autrement dit, le modèle-3 proposé du barrage-réservoir de Brézina donne d'excellents résultats (Figure IV. 3).

Interprétation

Sur la figure (IV. 3), les présentations graphiques montrent que :

- ✓ La courbe de l'évaporation mesurée pour du barrage-réservoir de Brézina et celle estimée sont uniformes ce qui explique une très bonne convergence du modèle-3 (Figure IV. 3. a).
- ✓ Le coefficient normalisé du modèle de Hamon est plus élevé et il a plus d'impact sur le modèle-3. Alors que le modèle de Schendel est situé au-dessous de la ligne centrale ce qui explique qu'il est associé d'une manière négative (Figure IV. 3. b).
- ✓ La visualisation de la distribution des résidus d' $E_{\text{mesurée}}$ et $E_{\text{calculée}}$ sont distribués de manière presque de même distance autour de l'axe des abscisses. Aucune tendance ou d'une forme à signaler au niveau du modèle-3 (Figure IV. 3. c et d).
- ✓ La figure (Figure IV. 3. e) montre que les points s'ajustent sur la droite de régression linéaire, ce qui indique que le modèle-3 est très satisfaisant.
- ✓ Les résidus normalisés sur la forme du diagramme (Figure IV. 3. f) nous a permis de détecter les points anormaux de données qui sort de l'intervalle] -2, 2[. Celui du barrage de Brézina ne présente aucun point en dehors de cet intervalle.
- ✓ Le pourcentage de l'erreur mensuelle obtenue par le modèle-3 varie de -11 % à 10%. L'erreur annuelle de l'évaporation du barrage-réservoir de Brézina est estimée de 0% (Voir Tableau IV. 46).

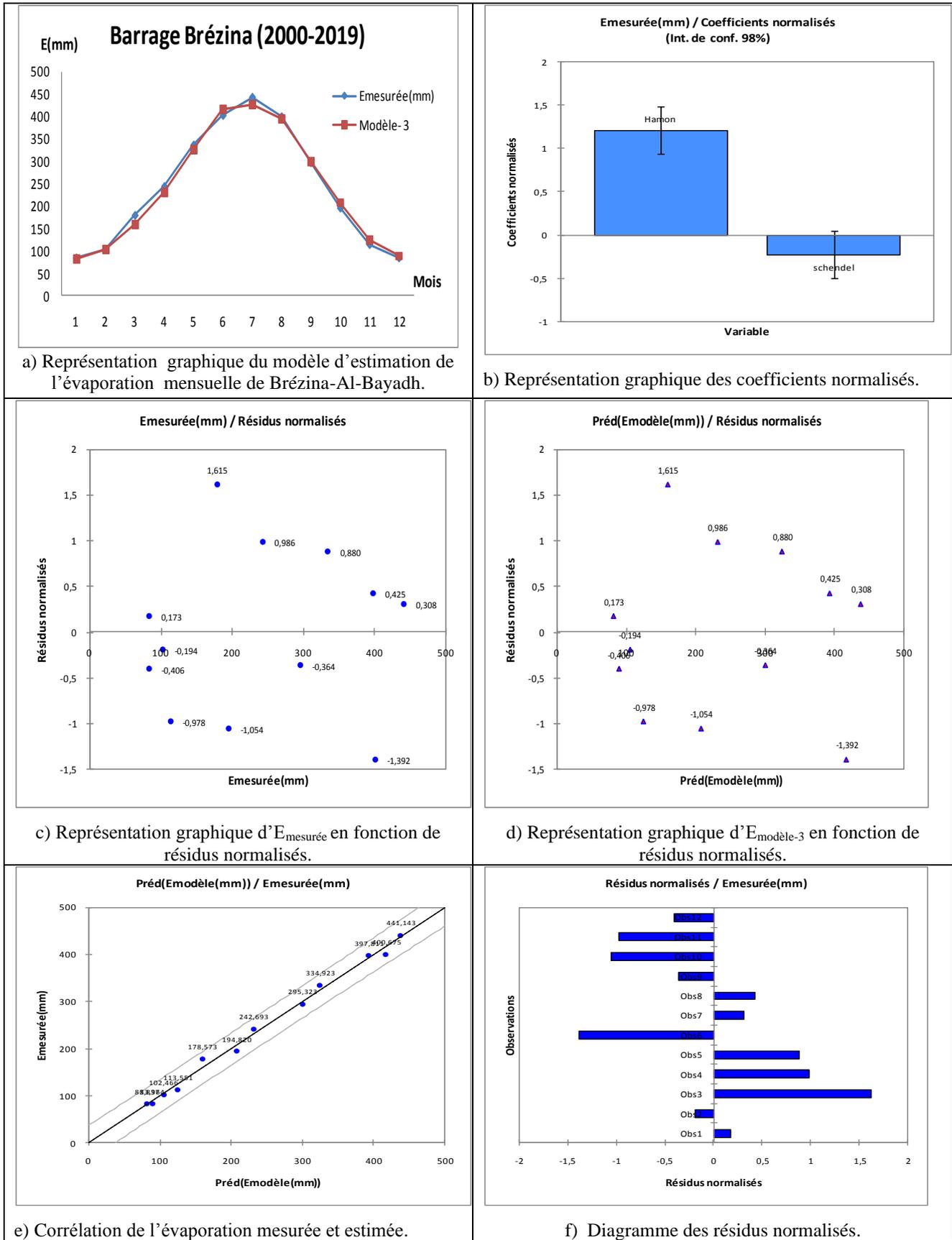


Figure IV. 3. Représentations graphiques des paramètres statistiques de l' $E_{\text{mesurée}}$ et $E_{\text{modèle-3}}$ du Barrage de Brézina-Al-Bayadh-

IV. 2. 4. Modèle-4 proposé pour le barrage-réservoir de Foum El-Guiess (Khenchela)

Pour le barrage de Foum El-Guiess (Khenchela), on a élaboré un modèle de type ML et on l'a obtenu par une combinaison de deux modèles de Horton (1917) et Vikulina (1979). Le modèle proposé ne nécessite que la connaissance des quatre données suivantes : Température moyenne de l'air et de l'eau, l'humidité relative et la vitesse du vent. Le modèle-4 est exprimé comme suit :

$$E \text{ (mm)} = 10,2137464 \times ((2 - \exp(-2(V/0,44704))) \times ((e_{sw} - e_{air})/3,386389)N) - 0,0447454 \times ((1 + 0,74V) \times (e_a - e_{sw}) 10N) + 6,72128 \quad (\text{IV. 5})$$

V : La vitesse du vent (m/s)

e_{sw} : La pression de vapeur saturante correspondant à la température de l'eau (Pouce de Hg)

e_{air} : La pression partielle de vapeur d'eau dans l'air (Pouce de Hg)

N : Nombre du jour du mois considéré.

Les paramètres statistiques de ce modèle-4 ont été calculés et regroupés dans les tableaux (4 : 22, 23, 24, 25, 26, 27 et 28).

Table IV. 22. Les coefficients d'ajustement du modèle - 4

Observations	12	Observations	12
Somme des poids	12	R² ajusté	0,988
DDL	9	MCE	49,791
R²	0,990	RMCE	7,056
		DW	1,723

Tableau IV. 23. Statistiques descriptives des données mensuelles de l'évaporation du Barrage Foum-El Guiess (2000-2019)

Variable	Observations	Obs. avec données manquantes	Obs. sans données manquantes	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
$E_{mesurée} \text{ (mm)}$	12	0	12	42,980	234,960	111,734	64,666
$E_{Horton} \text{ (mm)}$	12	0	12	54,681	322,675	144,350	90,228
$E_{Vikulina} \text{ (mm)}$	12	0	12	39,639	294,189	125,469	82,679

Tableau IV. 24. Matrice de corrélation des deux modèles d'Horton, Vikulina et l'évaporation du bac.

Variables	$E_{Horton} \text{ (mm)}$	$E_{Vikulina} \text{ (mm)}$	$E_{mesurée} \text{ (mm)}$
$E_{Horton} \text{ (mm)}$	1,000	0,998	0,995
$E_{Vikulina} \text{ (mm)}$	0,998	1,000	0,991
$E_{mesurée} \text{ (mm)}$	0,995	0,991	1,000

Tableau IV. 25. Statistiques de multi-colinéarité du modèle-4

Statistique	Horton	Vikulina
Tolérance	0,004	0,004
VIF	268,685	268,685

La tolérance vaut $(1 - R^2) = 0,004$. VIF : Variance Inflation Factor qui est égal à l'inverse de la tolérance égale 268,685. Où les VIF sont élevés peuvent être ignorés en toute sécurité sans souffrir de multi-colinéarité (La multi-colinéarité augmente la variance et l'erreur).

Tableau IV. 26. Analyse de la variance du modèle -4

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	2	45550,511	22775,256	457,420	< 0,0001
Erreur	9	448,117	49,791		
Total corrigé	11	45998,628			

Tableau IV. 27. Paramètres du modèle-4 proposé pour le Barrage de Foum El-Guiness (2000-2019)

Source	Valeur	Erreur standard	t	Pr > t	Borne inférieure (98%)	Borne supérieure (98%)
Constante	6,721	4,836	1,390	0,198	-6,932	20,374
Horton	1,005	0,387	2,601	0,029	-0,086	2,097
Vikulina	-0,320	0,422	-0,758	0,468	-1,511	0,871

Tableau IV. 28. Coefficients normalisés des deux modèles d'Horton et Vikulina

Source	Valeur	Erreur standard	t	Pr > t	Borne inférieure (98%)	Borne supérieure (98%)
Horton	1,403	0,539	2,601	0,029	-0,120	2,925
Vikulina	-0,409	0,539	-0,758	0,468	-1,931	1,114

La présentation graphique du modèle-4 proposé sur la figure (IV. 4) montre que les deux courbes de l'évaporation mesurée et estimée par le modèle sont très proches. Les indexes de performance de ce modèle explique une très bonne performance du modèle du fait que :

$$NSE= 0,99; RMSE= 6,11; MBE=1,76; R^2=0,99; RSR= 0,10.$$

Autrement dit, le modèle-4 proposé du barrage-réservoir du Foum El-Guiness donne de très excellents résultats (Figure IV. 4).

Interprétation

Sur la figure (IV. 4), les représentations graphiques montrent que :

- ✓ Les courbes de l'évaporation mesurée et celle estimée par le modèle-4 de Foum El-Guiness sont pratiquement identiques ce qui explique une très bonne convergence du modèle-4 (Figure IV. 4. a).
- ✓ Le coefficient normalisé du modèle d'Horton est plus élevé et il a plus d'impact sur le modèle-4. Alors que le modèle de Vikulina est situé au-dessous de la ligne centrale ce qui explique qu'il est associé d'une manière négative (Figure IV. 4. b).
- ✓ La distribution des résidus d' $E_{mesurée}$ et $E_{calculée}$ sont distribués de manière presque de même distance autour de l'axe des abscisses. Aucune tendance ou une forme à signaler au niveau du modèle - 4 (Figure IV. 4. c et d).
- ✓ La figure (Figure IV. 4. e) montre que les points sont alignés autour de la droite de régression linéaire, ce qui indique que le modèle-4 est très satisfaisant.
- ✓ Les résidus normalisés sur la forme du diagramme (Figure IV. 4. f) nous a permis de détecter les points anormaux de données qui sort de l'intervalle] -2, 2[celui du barrage de Foum El-Guiness ne présente aucun point en dehors de cet intervalle.
- ✓ Le pourcentage de l'erreur mensuelle obtenue par le modèle-4 varie de -10 % à 16%. L'erreur annuelle de l'évaporation du barrage de Foum El Guiness est estimée de 0%.

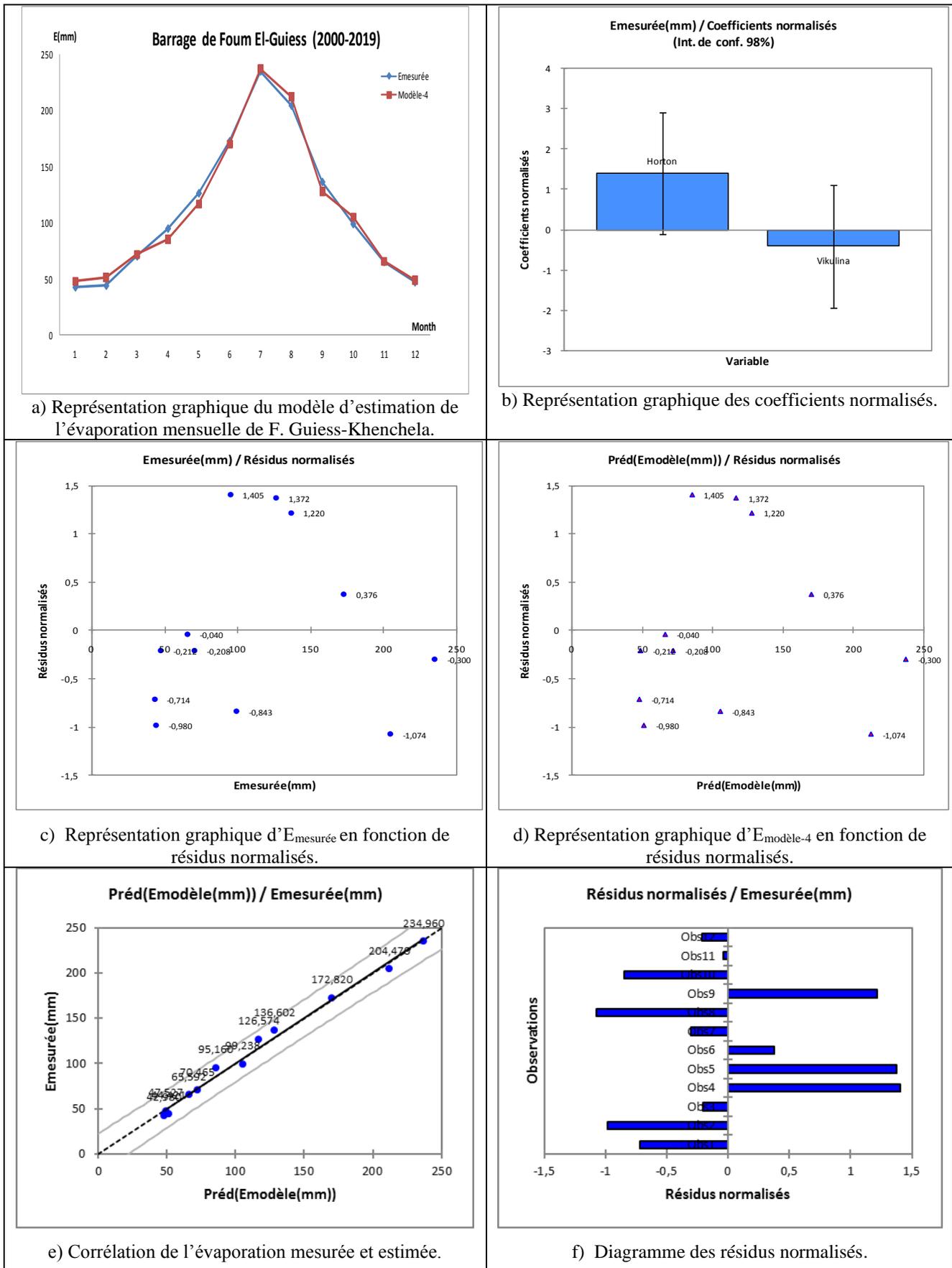


Figure IV. 4. Représentations graphiques des paramètres statistiques de l' $E_{mesurée}$ et $E_{modèle-4}$ du Barrage de Fom El-Guieiss –Khenchela-.

IV. 2. 5. Modèles proposés pour le cinq barrages-réservoirs étudiées

Après des applications numériques de plusieurs modèles proposés par des chercheurs cités au troisième chapitre, nous avons essayé d'élaborer des modèles adéquats qui peuvent estimer l'évaporation mensuelle pour les cinq barrages étudiés. Le premier modèle-A proposé est de type ML approche et il résulte de la combinaison des deux modèles de Blaney-Criddle et de Priestley-Taylor modifié, exprimé comme suit :

$$E = 27,91 + T_{moy} \left[0,47 T_{moy} - 8,18 \left(\frac{D_{TA}}{ED_{TA}} \right) \right] + \left[0,072 \left(\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) \left(\frac{I}{\lambda} \right) \right] \quad (IV. 6)$$

Où E est l'évaporation de l'eau (mm/mois), I est l'ensoleillement mensuel moyen sur une surface horizontale (MJ/m²/jour), T_{moy} est la température de l'air (°F), D est la lumière du jour (heures), Δ est la pente de saturation (kPa/°C), D est le nombre total d'heures de la lumière par jour, D_{TA} est le nombre total d'heures de lumière du jour durant le mois considéré (heures), λ la chaleur latente de vaporisation (MJ/kg) et γ est le coefficient psychométrique (kPa/°C).

Les variables qui apparaissent dans la formule (IV. 6) peuvent être calculées par les formules suivantes :

$$I = 0,7V + 1,06D - 10,25 \quad (IV. 7)$$

$$D_{TA} = D \times N \quad (IV. 8)$$

$$D = 0,15T_{moy} - 0,154P_{atm} + 23,1 \quad (IV. 9)$$

$$\Delta = \frac{4098e_s}{(237,3 + T_a)^2} \quad (IV. 10)$$

$$\lambda = 2,501 - T_{moy} \times 2,361 \times 10^{-3} \quad (IV. 11)$$

$$\gamma = 0,0016286 \frac{P_{atm}}{\lambda} \quad (IV. 12)$$

$$e_s = 0,6108 \text{Exp} \left(\frac{17,27 \times T_{moy}}{(T_{moy} + 237,3)} \right) \quad (IV. 13)$$

Où I est la moyenne mensuelle de l'ensoleillement incident sur une surface horizontale (KWh/m²/jour), D est la lumière du jour mensuelle (heures), N est le nombre de jours pour chaque mois, V est la vitesse du vent à 2 m (en m/s), T_{moy} est la température de l'air (°C), P_{atm} est la pression atmosphérique (kPa) ; e_s est la pression de vapeur saturante (kPa). Ce modèle est obtenu grâce aux estimations de quelques paramètres statistiques mentionnées dans les tableaux ci-dessous par le logiciel XLSTAT.

Tableau IV. 29. Les coefficients d'ajustement du modèle-A proposé pour les cinq barrages étudiés

Observations	60	R² ajusté	0,858
Somme des poids	60	MCE	1605,571
DDL	57	RMCE	40,070
R²	0,863	DW	0,248

Tableau IV. 30. Statistiques descriptives des données mensuelles de l'évaporation des cinq Barrages

Variable	Observations	Obs. avec données manquantes	Obs. sans données manquantes	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
E_{mesurée} (mm)	60	0	60	46,790	431,350	195,377	106,442
E_{Blaney-criddle} (mm)	60	0	60	29,059	319,152	139,598	86,641
E_{Priestley-Taylor modifié}	60	0	60	85,610	433,456	243,115	103,559

Tableau IV. 31. Matrice de corrélation entre les modèles de Blaney-Cridlle, Priestley-Taylor modifié et l'évaporation du bac.

Variables	E _{Blaney-cridlle} (mm)	E _{Priestley-Taylor modifié} (mm)	E _{mesurée} (mm)
E _{Blaney-cridlle} (mm)	1,000	0,764	0,928
E _{Priestley-Taylor modifié} (mm)	0,764	1,000	0,738
E _{mesurée} (mm)	0,928	0,738	1,000

Tableau IV. 32. Statistiques de multi-colinéarité des deux modèles Blaney-Cridlle et Priestley-Taylor modifié

Statistique	Blaney-Cridlle	Priestley-Taylor modifié
Tolérance	0,417	0,417
VIF	2,398	2,398

Où :

La tolérance vaut $(1-R^2) = 0,417$. VIF : Variance Inflation Factor qui est égal à l'inverse de la tolérance égale 2,398.

Tableau IV. 33. Analyse de la variance du modèle -A proposé pour les cinq barrages étudiés

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle-A	2	576945,644	288472,822	179,670	< 0,0001
Erreur	57	91517,552	1605,571		
Total corrigé	59	668463,197			

Tableau IV. 34. Paramètres du modèle-A proposé pour les cinq barrages étudiés

Source	Valeur	Erreur standard	t	Pr > t	Borne inférieure (98%)	Borne supérieure (98%)
Constante	27,909	13,375	2,087	0,041	-4,104	59,923
Blaney-Cridlle	1,074	0,093	11,523	< 0,0001	0,851	1,297
Priestley-Taylor modifié	0,072	0,078	0,923	0,360	-0,115	0,259

Tableau IV. 35. Coefficients normalisés du modèle -A des cinq barrages étudiés

Source	Valeur	Erreur standard	t	Pr > t	Borne inférieure (98%)	Borne supérieure (98%)
Blaney-Cridlle	0,874	0,076	11,523	< 0,0001	0,693	1,056
Priestley-Taylor modifié	0,070	0,076	0,923	0,360	-0,112	0,252

Interprétation

Les présentations graphiques de l'évaporation estimée par le modèle-A proposé et l'évaporation mesurée sur la figure (IV. 5) sont proportionnellement proches. Les indexes de performance de ce modèle-A montrent de très bonnes performances du fait que :

- ✓ Barrage Fontaine des Gazelles : NSE=0,83 ; RMSE=47,82 ; MBE=13,80 ; R²=0,94 ; RSR=0,41.

- ✓ Barrage Foum El-Gherza : NSE=0,92 ; RMSE= 30,30 ; MBE=8,75 ; R²=0,95 ; RSR=0,27
- ✓ Barrage Djorf-Torba: NSE=0,86; RMSE= 43,53; MBE=12,57; R²=0,84; RSR=0,38
- ✓ Barrage Brézina: NSE=0,99; RMSE= 60,59; MBE=17,49; R²=0,90; RSR=0,09
- ✓ Barrage Foum El-Guiness : NSE=0,70 ; RMSE= 32,94 ; MBE=9,51 ; R²=0,98 ; RSR=0,54

Selon ces indexes statistiques on peut dire que le modèle-A proposé pour les cinq barrages donne de très bons résultats et excellente performance (Figure IV. 5).

Interprétation

D'après le tableau (IV. 29), nous avons utilisé 60 observations (évaporations moyennes mensuelles) pour les cinq barrages étudiés, le degré de liberté DDL montre qu'on dispose de 57 données considérées comme aléatoires, le coefficient de corrélation du modèle-A proposé est de 0,863 et celui ajusté vaut 0,858 cela explique une forte corrélation. Le coefficient de Durbin-Watson « DW » est estimé de 0,248 cela confirme une auto-corrélation linéaire positive. Le tableau (IV. 30), présente les écarts types des deux modèles celui de Blaney-Criddle est de 86,641 et de Priestley-Taylor modifié 103,559 et de l'évaporation mesurée est de 106,442. Le coefficient de corrélation des deux modèles est de 0,764, celui de l'évaporation mesurée et les deux modèles varient entre 0,738 et 0,928 (Tableau IV. 31). Le VIP des deux modèles est de valeur 2,398 indique une corrélation modérée (Tableau IV. 32). Certains auteurs suggèrent un niveau plus conservateur de 2,5 ou plus. L'analyse de la variance du modèle-A (Tableau IV. 33) montre que la probabilité associée au test de Fisher « F » est dans ce cas inférieure à 0,0001, cela signifie que l'on prend un risque de se tromper de moins de 0,01% donc les deux modèles apportent une quantité d'information significative au modèle proposé. Nous voyons que pour l'intervalle de confiance 98%, le modèle de Priestley-Taylor tend vers zéro ce qui confirme son faible impact sur le modèle-A (Tableau IV. 34). Les coefficients normalisés de Blaney-Criddle varient entre 0,693-1,056 et ceux de Priestley-Taylor -0,112 et 0,252 (Tableau IV. 35).

Sur la figure (IV. 5), les représentations graphiques montrent que :

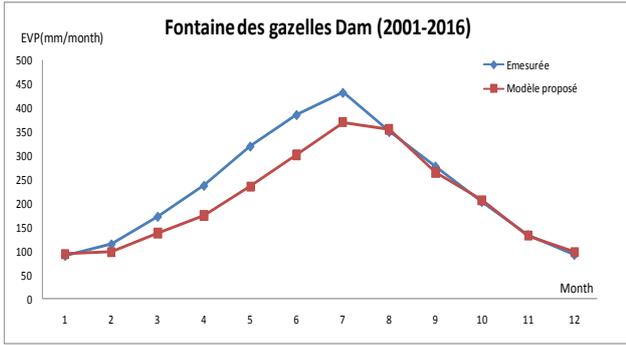
Les représentations des courbes mesurées et estimées pour les cinq barrages (a, b, c, d et e) montrent que les estimations de l'évaporation des cinq barrages-réservoirs par le modèle-A proposé sont très proches nous citons : les deux Barrages de Foum El-Gherza et Fontaine des Gazelles, Barrage Foum El-Guiness et Barrage Djorf-Torba alors que le barrage de Brézina, les évaporations sont sous estimées.

La représentation graphique des coefficients normalisés des deux modèles formant le modèle-A proposé (Figure IV. 5. f) montre que le modèle de Blaney-Criddle est plus significative que celui de Priestley-Taylor. Et on constate que ce dernier comprend la valeur zéro donc il n'est pas assez significatif dans le modèle-A proposé.

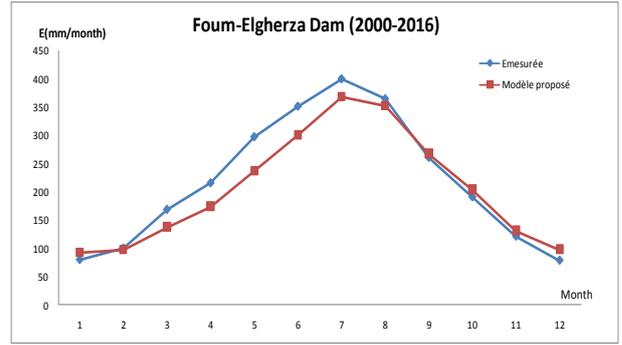
Les graphes (Figure IV. 5. g, h) permettent de visualiser les résidus normalisés en fonction de l'évaporation mesurée et estimée. On principe les résidus doivent être distribués de manière aléatoire autour de l'axe des abscisses. Pour le cas de l'évaporation mesurée, on voit clairement une forme d'entonnoir des résidus normalisés ce qui explique une hétéroscédasticité. En d'autres termes, la qualité de la prévision se dégrade pour les valeurs élevées de l'évaporation. Alors que, le graphe (h) témoigne de la bonne qualité du modèle-A proposé : Les résidus sont relativement répartis et homogène et les nuages ne présentent pas une légère forme signifiant que les composantes non linéaires du modèle-A ont été prises en compte.

Le graphe (Figure IV. 5. i) permet de visualiser la corrélation des points de l'évaporation mesurée et estimée. On voit clairement une forte corrélation des points et cela est justifié par sa valeur 0,863 (voir Tableau IV. 29).

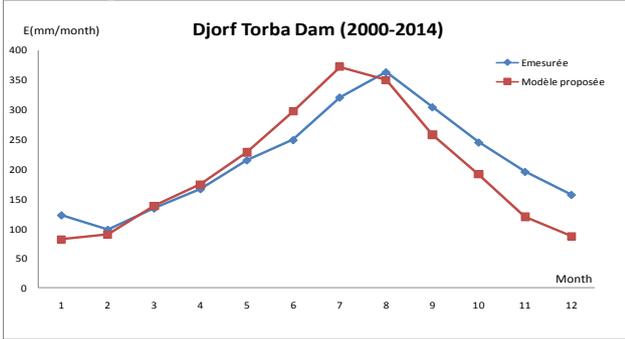
Le graphe (Figure IV. 5. j) nous a permis de détecter les points anormaux de données qui sort de l'intervalle] -2, 2[des cinq barrages : Deux observations (l'une est enregistrée au barrage de Foum El-Guiness (Obs42=168,21 mm) et la seconde au barrage de Djorf-Torba (Obs 54=248,79 mm) sont en dehors de cet intervalle.



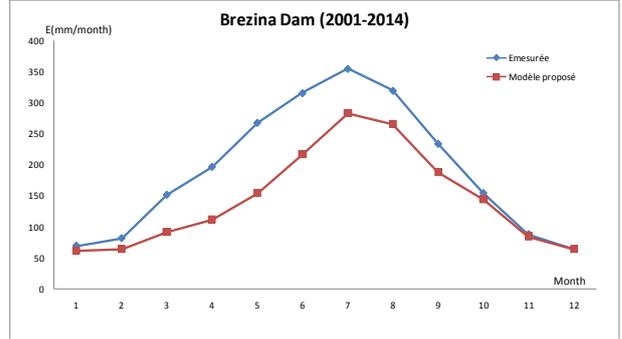
a) Représentation graphique du modèle d'estimation de l'évaporation mensuelle de F. des Gazelles -Biskra



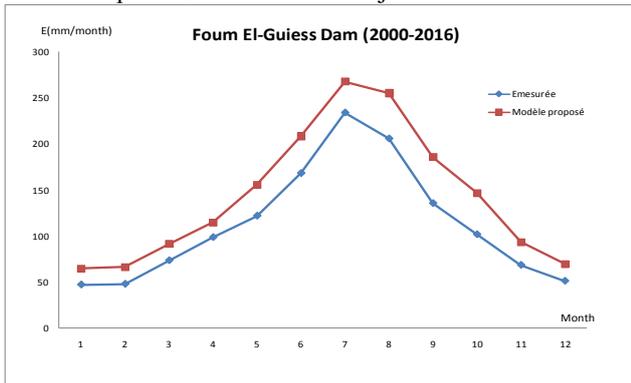
b) Représentation graphique du modèle d'estimation de l'évaporation mensuelle de F. El-Gherza -Biskra



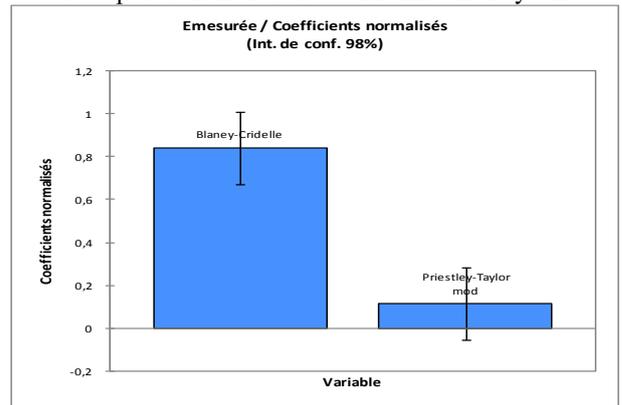
c) Représentation graphique du modèle d'estimation de l'évaporation mensuelle de Djorf-Torba -Bechar



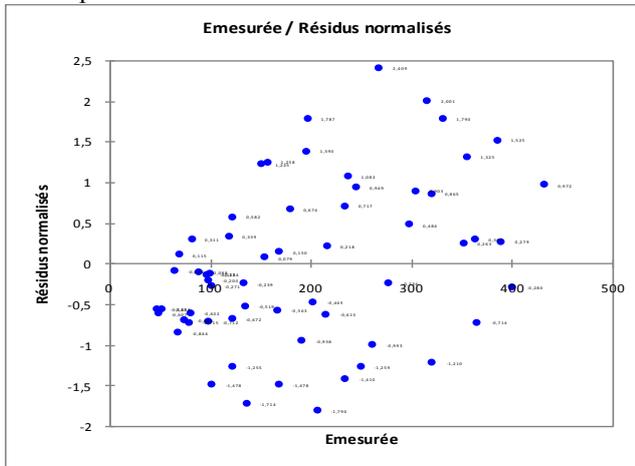
d) Représentation graphique du modèle d'estimation de l'évaporation mensuelle de Brézina-El-Bayadh



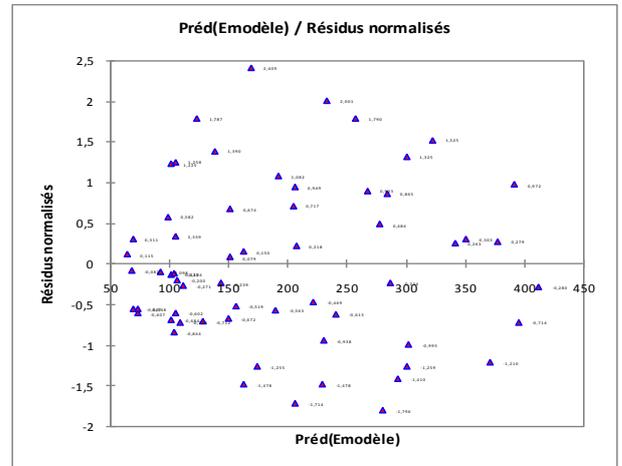
e) Représentation graphique du modèle d'estimation de l'évaporation mensuelle de Fom El-Guiss -Khenchela



f) Représentation graphique des coefficients normalisés

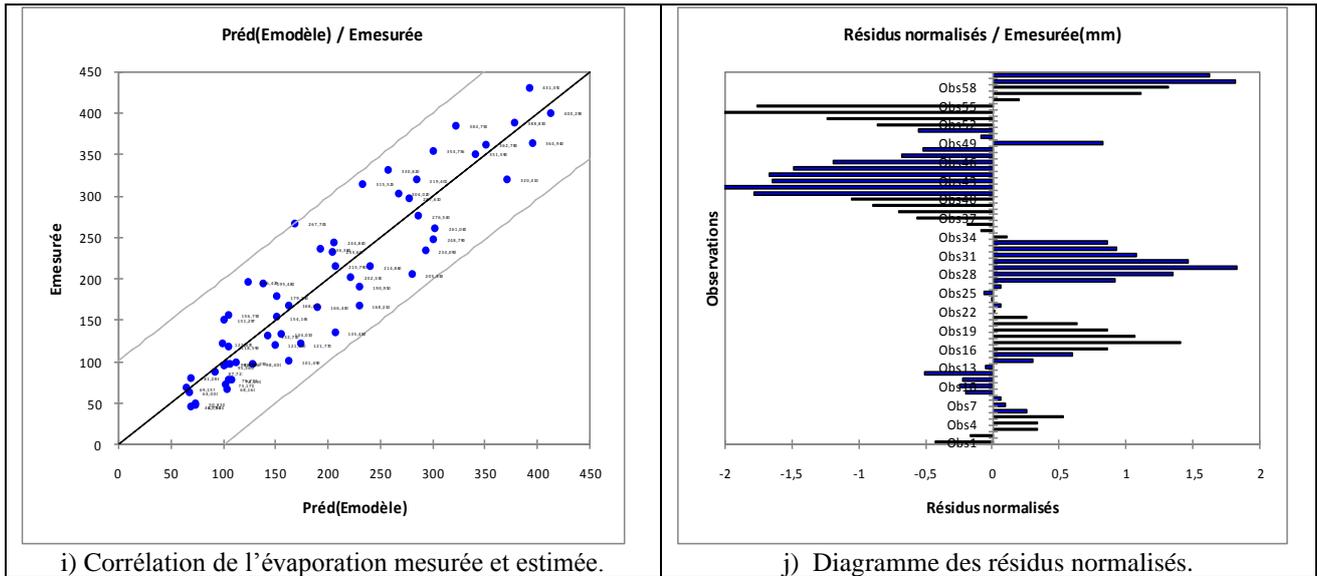


g) Représentation graphique d' $E_{mesurée}$ en fonction de résidus normalisés.



h) Représentation graphique d' $E_{modèle-A}$ en fonction de résidus normalisés.

Figure IV. 5. Représentations graphiques des paramètres statistiques de l' $E_{mesurée}$ et $E_{modèle-A}$ des cinq barrages-réservoirs étudiés.



Suite figure IV. 5. Représentations graphiques des paramètres statistiques de l'Emesurée et Emodèle-A des cinq barrages étudiés.

Le deuxième modèle-B proposé est le résultat d'une combinaison de deux modèles Mahringer (1970) et Ivanov (1970). On a essayé d'élaborer un modèle très puissant que le premier et qui nécessite que la connaissance des données climatiques disponibles aux stations des barrages-réservoirs étudiés pour une série de donnée qui s'étale de 2000 jusqu'au 2019. Ces paramètres climatiques sont : la température de l'air, la température de l'eau, la vitesse du vent et l'humidité relative. Le deuxième modèle-B est exprimé comme suit :

$$E \text{ (mm)} = 12,15677 - 0,978881184[(3,6V)^{0,5} (e_s - e_{s(w)})N] + 0,002528406 [(25 + T_{\text{moy}})^2(100 - H_r)] \quad (\text{IV. 14})$$

Avec :

$$e_s = 6,108 \text{Exp} \frac{(17,27 * T_{\text{moy}})}{(T_{\text{moy}} + 237,3)} ; e_{s(w)} = 6,108 \text{Exp} \frac{(17,27 * T_{\text{eau}})}{(T_{\text{eau}} + 237,3)}$$

T_{moy} : La température moyenne de l'air (°C). T_{eau} : La température moyenne de l'eau (°C).

H_r : L'humidité relative en (%).

e_s : La pression de vapeur saturante correspondant à la température de l'air (mbar).

$e_{s(w)}$: La pression de vapeur saturante correspondant à la température de l'eau (mbar).

V : La vitesse du vent en (m/s).

N : Nombre de jours du mois considéré.

Les paramètres statistiques du deuxième modèle-B ont été calculés et estimés par le logiciel XLSTAT sont regroupés dans les tableaux suivants : Tableau (IV. 36, 37, 38, 39, 40, 41 et 42)

Tableau IV. 36. Les coefficients d'ajustement du modèle proposé-B :

Observations	60	R² ajusté	0,884
Somme des poids	60	MCE	1312,648
DDL	57	RMCE	36,230
R²	0,888	DW	0,395

Le modèle -B proposé présente un coefficient de corrélation de l'ordre 0,888 et un coefficient ajusté de 0,884. Le degré de liberté est de 57. Le coefficient de Durbin-Watson « DW » est estimé de 0,395 ce qui explique une auto-corrélation linéaire positive.

Tableau IV. 37. Statistiques descriptives des données mensuelles de l'évaporation des cinq Barrages étudiés durant (2000-2019)

Variable	Observations	Obs. avec données manquantes	Obs. sans données manquantes	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
E _{mesurée} (mm)	60	0	60	42,980	431,319	194,836	106,455
E _{Mahringer} (mm)	60	0	60	40,966	610,485	214,485	141,898
E _{Ivanov} (mm)	60	0	60	47,355	546,243	229,223	135,596

Tableau IV. 38. Matrice de corrélation entre les modèles de Mahringer, Ivanov et l'évaporation du bac.

Variables	E _{Mahringer} (mm)	E _{Ivanov} (mm)	E _{mesurée} (mm)
E _{Mahringer} (mm)	1,000	0,989	0,904
E _{Ivanov} (mm)	0,989	1,000	0,933
E _{mesurée} (mm)	0,904	0,933	1,000

Tableau IV. 39. Statistiques de multi-colinéarité des deux modèles Mahringer et Ivanov

Statistique	MAHRINGER	IVANOV
Tolérance	0,022	0,022
VIF	45,081	45,081

Où :

La tolérance vaut $(1-R^2) = 0,022$. VIF : Variance Inflation Factor qui est égal à l'inverse de la tolérance égale 45,081. Où les VIF sont élevés peuvent être ignorés en toute sécurité sans souffrir de multi-colinéarité (La multi-colinéarité augmente la variance et l'erreur).

Tableau IV. 40. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle-B	2	593299,515	296649,758	225,993	< 0,0001
Erreur	57	74820,957	1312,648		
Total corrigé	59	668120,472			

Tableau IV. 41. Paramètres du modèle-B proposé pour les cinq barrages étudiés

Source	Valeur	Erreur standard	t	Pr > t	Borne inférieure (98%)	Borne supérieure (98%)
Constante	12,157	10,543	1,153	0,254	-13,080	37,393
Mahringer	-0,649	0,223	-2,910	0,005	-1,184	-0,115
Ivanov	1,405	0,234	6,014	< 0,0001	0,846	1,964

Tableau IV. 42. Coefficients normalisés

SOURCE	Valeur	Erreur Standard	T	PR > T	BORNE INFÉRIEURE (98%)	BORNE SUPÉRIEURE (98%)
MAHRINGER	-0,866	0,298	-2,910	0,005	-1,578	-0,154
IVANOV	1,790	0,298	6,014	< 0,0001	1,078	2,502

La présentation graphique du modèle-B proposé sur la figure (IV. 6) montre que les deux courbes de l'évaporation mesurée et estimée sont très proches. Les indexes statistiques de ce modèle-B expliquent une très bonne performance du modèle-B du fait que :

- ✓ Barrage Fontaine des Gazelles : NSE=0,89 ; RMSE=38,16 ; MBE=11,02 ; $R^2=0,95$; RSR=0,33.
- ✓ Barrage Foug El-Gherza : NSE=0,94 ; RMSE= 25,98 ; MBE=7,50 ; $R^2=0,96$; RSR=0,24.
- ✓ Barrage Djorf-Torba: NSE=0,83; RMSE= 47,28; MBE=13,65; $R^2=0,80$; RSR=0,41.
- ✓ Barrage Brézina: NSE=1,00; RMSE= 35,91; MBE=10,37; $R^2=0,94$; RSR=0,05.
- ✓ Barrage Foug El-Guiss : NSE=0,81 ; RMSE= 27,25 ; MBE=7,87 ; $R^2=0,99$; RSR=0,44.

Selon les indexes statistiques, le modèle-B proposé pour les cinq barrages-réservoirs donne d'excellents résultats (Figure IV. 6).

Interprétation

Le tableau (IV. 36) montre que le coefficient de corrélation du modèle B proposé est de 0,888 et celui ajusté vaut 0,884 qui explique une très bonne corrélation. Le coefficient de Durbin-Watson (DW) est estimé de 0,395 cela signifie une auto-corrélation linéaire positive. Les écarts types de l'évaporation mesurée, ceux de Mahringer et Ivanov sont respectivement : 106,415 mm ; 141,898 mm et 135,596 mm (Tableau IV. 37). Les coefficients de corrélations des valeurs de l'évaporation mesurées et estimées par les deux modèles de Mahringer et Ivanov sont 0,904 et 0,933 (Tableau IV. 38). Cela signifie que les deux modèles ont une corrélation linéaire positive. Le VIP est élevé de l'ordre de 45, 081 donc absence de multi-colinéarité permettra de diminuer les erreurs (Tableau IV. 39). La probabilité associée au test de Fisher « F » pour ce modèle -B est dans ce cas inférieure à 0,0001 (Tableau IV. 40) cela explique que les deux modèles d'Ivanov et Mahringer sont significatifs pour le modèle-B. Pour l'intervalle de confiance 98%, on constate que le modèle de Mahringer a un faible impact sur le modèle-B bien que le modèle d'Ivanov obtient plus de quantité d'information significative (Tableau IV. 41).

Concernant les coefficients normalisés et d'après le tableau (Tableau IV. 42), nous constatons qu'ils varient entre - 0,866 et 1,790.

Sur la Figure (IV. 6), les représentations graphiques montrent que :

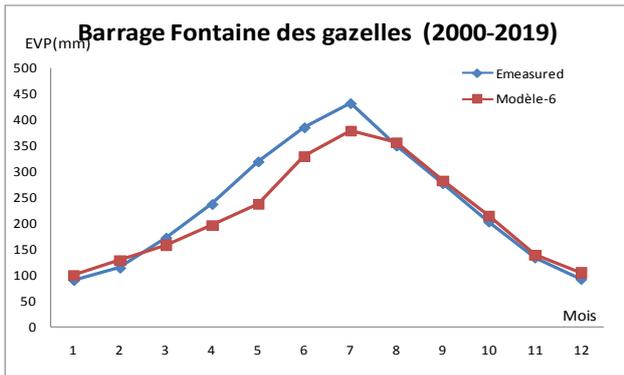
Les graphes (a, b, c, d et e), nous voyons que la majorité des courbes tracées par le modèle-B et les courbes mesurées pour les cinq barrages-réservoirs étudiés sont très proches et ils ont presque la même forme de l'évaporation mesurée.

Le graphe (IV. 6. f) des coefficients normalisés, montre que le modèle d'Ivanov influe de manière positive sur le modèle- B proposé plus que le modèle de Mahringer du fait qu'il ne comprend pas la valeur zéro.

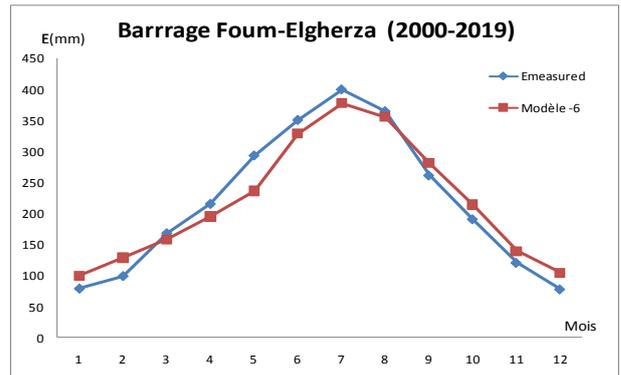
Les résidus normalisés de l'évaporation mesurée et estimée se situent dans le même intervalle (Figure IV. 6. g, h). Ainsi, que leurs formes globales n'ont pas de tendance ce qui explique l'indépendance des résidus. Nous signalons quelques points qui se situent en dehors de l'intervalle [-2, 2]. Nous signalons aussi que pour les deux modèles proposés, les valeurs de l'évaporation mesurées ont des résidus normalisés sous forme d'entonnoir ce qui indique l'hétéroscédasticité. Par contre, les résidus du modèle-B proposé sont distribués de manière aléatoire autour de l'axe des abscisses et n'ont aucune forme.

Le graphe (Figure IV. 6. i) montre que les valeurs estimées de l'évaporation ne sortent pas de l'intervalle de confiance, ce qui prouve une excellente corrélation de l'ordre de 0,888 (Tableau 4. 36).

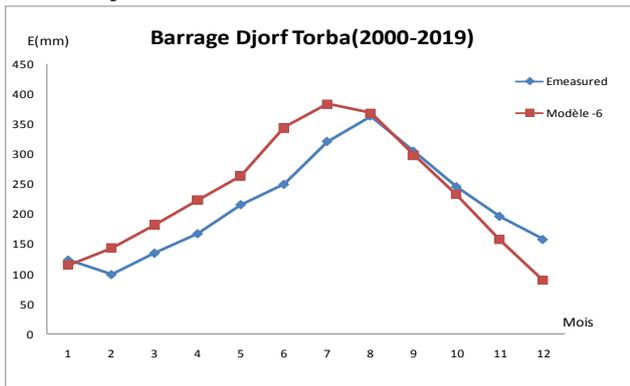
Du graphe (Figure IV. 6. j), on voit clairement que nous avons trois observations (Obs 19=329,380 mm, Obs29=267,70 mm, Obs54= 254,32 mm) anormaux qui sort de l'intervalle] -2, 2[des cinq barrages-réservoirs étudiés. Il s'agit des barrages-réservoirs de Fontaine des Gazelles, Brézina et Djorf-Torba.



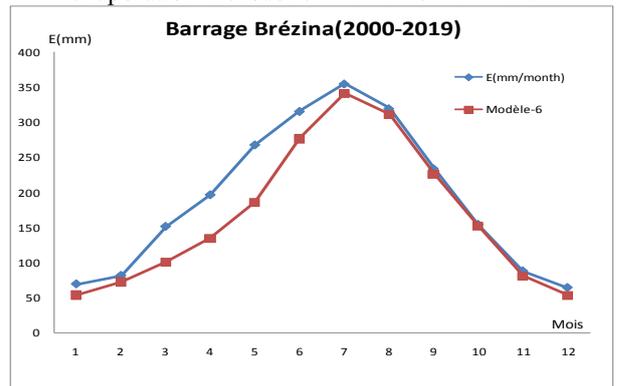
a) Représentation graphique du modèle d'estimation de l'évaporation mensuelle de F. des Gazelles -Biskra



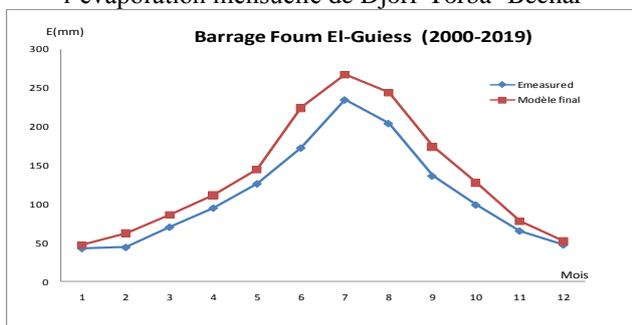
b) Représentation graphique du modèle d'estimation de l'évaporation mensuelle de F. El-Gherza -Biskra



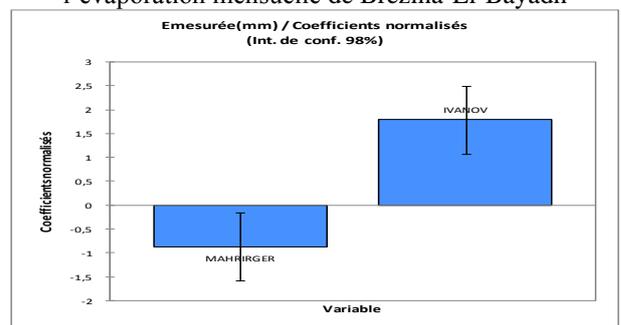
c) Représentation graphique du modèle d'estimation de l'évaporation mensuelle de Djorf-Torba -Bechar



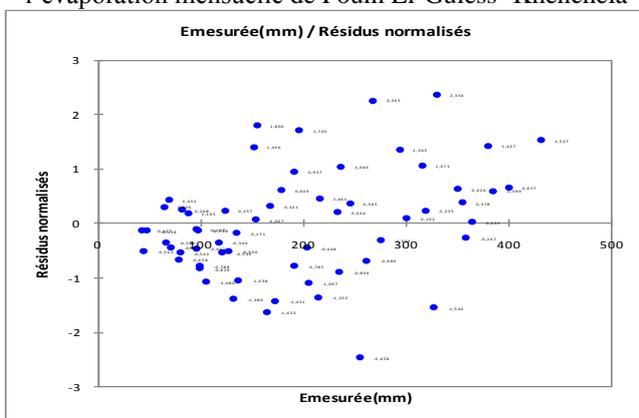
d) Représentation graphique du modèle d'estimation de l'évaporation mensuelle de Brézina-El-Bayadh



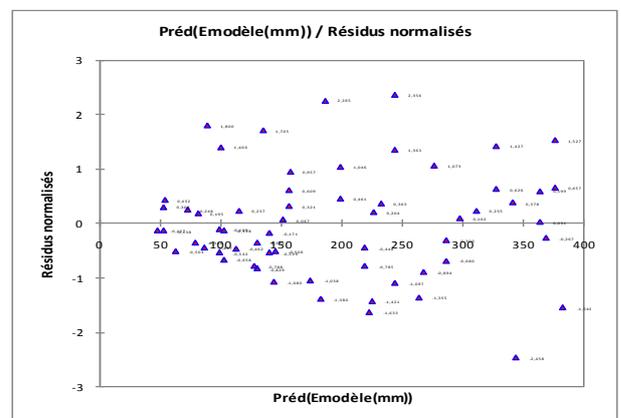
e) Représentation graphique du modèle d'estimation de l'évaporation mensuelle de Foug El-Guieiss -Khenchela



f) Représentation graphique des coefficients normalisés

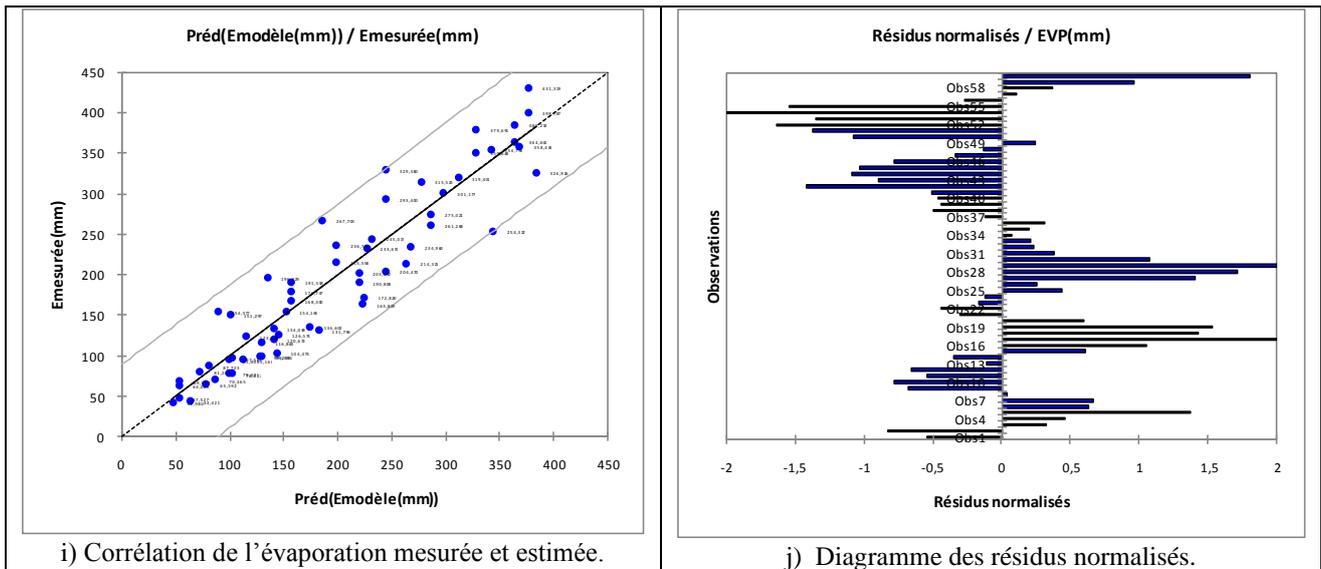


g) Représentation graphique d' $E_{mesurée}$ en fonction de résidus normalisés.



h) Représentation graphique d' $E_{modèle-B}$ en fonction de résidus normalisés.

Figure IV. 6. Représentations graphiques des paramètres statistiques de l' $E_{mesurée}$ et $E_{modèle-B}$ des cinq barrages-réservoirs étudiés.



Suite Figure IV. 6. Représentation graphique des paramètres statistiques de l' $E_{\text{mesurée}}$ et $E_{\text{modèle-B}}$ des cinq barrages étudiés.

Le tableau (4. 48) montre que les erreurs mensuelles entre les valeurs mesurées et estimées de l'évaporation par le modèle proposé-A des cinq barrages-réservoirs sont comme suit :

- Djorf-Torba $-44 \% \leq E_r \leq +19\%$.
- Fontaine des Gazelles $-8 \% \leq E_r \leq +10\%$.
- Foum El-Gherza $-2 \% \leq E_r \leq +32\%$.
- Brézina $-43 \% \leq E_r \leq -1 \%$.
- Foum El-Guiss $+14 \% \leq E_r \leq +44 \%$.

La comparaison montre que l'erreur mensuelle entre les valeurs calculées par le modèle-A proposé et mesurées au niveau des différents barrages ne dépasse pas $\pm 44\%$. L'erreur annuelle pour les cinq barrages-réservoirs ne dépasse pas 27%.

Le tableau (IV. 49) montre que les erreurs mensuelles entre les valeurs mesurées et estimées de l'évaporation par le modèle proposé-B des cinq barrages-réservoirs sont comme suit :

- Djorf-Torba $-42 \% \leq E_r \leq +38\%$.
- Fontaine des Gazelles $-28 \% \leq E_r \leq +10\%$.
- Foum El-Gherza $-19 \% \leq E_r \leq +35\%$.
- Brézina $-2 \% \leq E_r \leq -34 \%$.
- Foum El-Guiss $+11 \% \leq E_r \leq +41 \%$.

La comparaison montre que l'erreur entre les valeurs calculées par le modèle-B proposé et les valeurs mesurées au niveau des différents barrages ne dépasse pas $\pm 41\%$. L'erreur annuelle pour les cinq barrages-réservoirs ne dépasse pas 21%.

CHAPITRE IV : Modèles Proposés des Cinq Barrages-Réservoirs Étudiés

Tableau IV. 43. Erreurs obtenues par le modèle-1 –Barrage Djorf-Torba- Béchar

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	123,62	104,47	131,80	163,82	214,32	254,32	326,93	358,43	301,18	245,01	191,54	154,38	2569,82
E_{Modèle.1}(mm)	127,63	122,12	134,92	150,36	200,22	269,42	344,38	344,92	290,45	249,68	186,56	149,15	2569,82
Erreur (%)	3%	17%	2%	-8%	-7%	-6%	5%	-4%	-4%	2%	-3%	-3%	0%

Tableau IV. 44. Erreurs obtenues par le modèle-2 –Barrage Fontaine des Gazelles - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{Modèle.2}(mm)	95,52	117,66	177,26	224,90	303,67	370,47	425,96	379,41	265,37	186,81	126,19	87,01	2760,23
Erreur (%)	1%	1%	-1%	-5%	-8%	-2%	-1%	-2%	-4%	-8%	-6%	-11%	-4%

Tableau IV. 45. Erreurs obtenues par le modèle-2 –Barrage Foum El-Gherza - Biskra

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{Modèle.2}(mm)	95,52	117,66	177,26	224,90	303,67	370,47	425,96	379,41	265,37	186,81	126,19	87,01	2760,23
Erreur (%)	20%	18%	5%	4%	3%	6%	7%	4%	2%	-2%	5%	12%	5%

Tableau IV. 46. Erreurs obtenues par le modèle-3 –Barrage Brézina – El-Bayadh

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	83,84	102,47	178,57	242,69	334,92	400,67	441,14	397,81	295,32	194,82	113,55	83,96	2869,78
E_{Modèle.3}(mm)	81,89	104,30	159,78	230,68	325,20	416,23	426,93	394,13	299,08	207,79	125,00	88,91	2859,93
Erreur (%)	-2%	2%	-11%	-5%	-3%	4%	-3%	-1%	1%	7%	10%	6%	0%

Tableau IV. 47. Erreurs obtenues par le modèle- 4 –Barrage Foum El-Guiss – Khenchela

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	42,98	44,42	70,47	95,16	126,57	172,82	234,96	204,47	136,60	99,24	65,59	47,53	1340,81
E_{Modèle.4}(mm)	48,02	51,34	71,93	85,25	116,89	170,17	237,08	212,05	128,00	105,19	65,88	49,02	1 340,81
Erreur (%)	12%	16%	2%	-10%	-8%	-2%	1%	4%	-6%	6%	0%	3%	0%

Tableau IV. 48. Erreurs obtenues par le modèle-A proposé pour les cinq barrages étudiés

Barrage Djorf-Torba-Béchar-													
Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	122,47	98,29	134,01	166,43	214,86	248,79	320,41	362,78	304,02	244,84	195,48	156,75	2569,13
E_{Modèle-A} (mm)	81,90	89,59	137,81	173,95	228,12	296,95	371,70	349,61	257,39	191,12	119,66	87,17	2384,97
Erreur (%)	-33%	-9%	3%	5%	6%	19%	16%	-4%	-15%	-22%	-39%	-44%	-7%
Barrage Fontaine des Gazelles-Biskra-													
Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{Modèle-A} (mm)	104,53	124,89	185,40	232,25	311,55	370,68	422,88	375,75	263,68	187,80	132,51	94,68	2806,59
Erreur (%)	10%	7%	4%	-2%	-5%	-2%	-2%	-2%	-4%	-8%	-1%	-3%	-2%
Barrage Foum El-Gherza-Biskra-													
Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{Modèle-A} (mm)	104,53	124,89	185,40	232,25	311,55	370,68	422,88	375,75	263,68	187,80	132,51	94,68	2806,59
Erreur (%)	32%	26%	10%	8%	6%	6%	6%	3%	1%	-2%	10%	21%	7%
Barrage Brézina-Al Bayadh-													
Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	69,16	81,29	151,30	196,43	267,70	315,53	354,76	319,40	233,66	154,17	87,72	64,00	2295,10
E_{Modèle-A} (mm)	61,35	64,03	91,50	111,52	153,91	216,93	283,14	265,89	187,58	143,60	84,31	63,55	1727,30
Erreur (%)	-11%	-21%	-40%	-43%	-43%	-31%	-20%	-17%	-20%	-7%	-4%	-1%	-25%
Barrage Foum El-Guiech-Khenchela-													
Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	46,79	47,54	73,17	98,40	121,77	168,21	234,09	205,85	135,45	101,49	68,16	50,83	1351,75
E_{Modèle-A} (mm)	64,56	66,23	91,21	114,31	155,56	208,25	267,52	254,95	185,56	146,53	93,32	69,13	1717,12
Erreur (%)	38%	39%	25%	16%	28%	24%	14%	24%	37%	44%	37%	36%	27%

Tableau IV. 49. Erreurs obtenues par le modèle-B proposé pour les cinq barrages étudiés

Barrage Djorf-Torba-Béchar-													
Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	122,47	98,29	134,01	166,43	214,86	248,79	320,41	362,78	304,02	244,84	195,48	156,75	2569,13
E_{Modèle-B} (mm)	115,03	143,61	181,80	222,99	263,40	343,39	382,96	368,12	297,47	231,88	156,87	89,16	2796,67
Erreur (%)	-7%	37%	38%	36%	23%	35%	17%	3%	-1%	-5%	-18%	-42%	9%
Barrage Fontaine des Gazelles-Biskra-													
Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	95,00	116,86	178,75	236,73	329,38	379,69	431,32	385,23	275,02	203,03	134,04	97,56	2862,62
E_{Modèle-B} (mm)	100,10	129,05	158,15	195,54	236,79	328,77	377,71	355,40	281,53	214,27	139,12	104,99	2621,42
Erreur (%)	5%	10%	-12%	-17%	-28%	-13%	-12%	-8%	2%	6%	4%	8%	-8%
Barrage Foum El-Gherza-Biskra-													
Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	79,32	99,38	168,30	215,56	293,40	350,65	399,79	364,66	261,27	190,81	120,67	78,02	2621,83
E_{Modèle-B} (mm)	100,10	129,05	158,15	195,54	236,79	328,77	377,71	355,40	281,53	214,27	139,12	104,99	2621,42
Erreur (%)	26%	30%	-6%	-9%	-19%	-6%	-6%	-3%	8%	12%	15%	35%	0%
Barrage Brézina-Al Bayadh-													
Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	69,16	81,29	151,30	196,43	267,70	315,53	354,76	319,40	233,66	154,17	87,72	64,00	2295,10
E_{Modèle-B} (mm)	53,51	72,29	100,35	134,66	185,65	276,65	341,06	310,89	226,26	151,72	80,66	52,90	1986,61
Erreur (%)	-23%	-11%	-34%	-31%	-31%	-12%	-4%	-3%	-3%	-2%	-8%	-17%	-13%
Barrage Foum El-Guiech-Khenchela-													
Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
E_{Mesurée} (mm)	46,79	47,54	73,17	98,40	121,77	168,21	234,09	205,85	135,45	101,49	68,16	50,83	1351,75
E_{Modèle-B} (mm)	47,56	62,64	86,29	111,91	144,90	224,29	267,35	244,21	174,21	127,80	78,06	52,52	1621,75
Erreur (%)	11%	41%	22%	18%	14%	30%	14%	19%	28%	29%	19%	11%	21%

IV. 3. VERIFICATION DE LINEARITE DES MODELES PROPOSES POUR LES CINQ BARRAGES-RESERVOIRS ETUDIES

Un échantillon de variables aléatoires, et plus particulièrement dans le contexte de la régression linéaire ou de l'étude de séries chronologiques, implique une série de complications dans l'estimation et l'interprétation d'un modèle quantitatif. Elle décrit le cas où la variance des erreurs du modèle n'est pas la même pour toutes les observations, alors que souvent, c'est l'une des hypothèses de base en modélisation. L'hétéroscédastique est un indice d'inefficacité des paramètres de régression calculés avec la méthode moindres carrés ordinaires, aussi auto-corrélation, hétérogénéité et par conséquent la nécessité d'évaluer ces paramètres avec des tests plus précis. Pour cela, plusieurs tests ont été effectués pour les modèles proposés afin de confirmer leurs linéarités.

IV. 3. 1. Tests de linéarité pour le modèle-1 proposé pour le barrage-réservoir de Djorf-Torba :

Afin de vérifier la linéarité du modèle-1 proposé pour l'estimation de l'évaporation mensuelle du barrage de Djorf-Torba, un test d'hétéroscédastique de White (Wooldridge) et d'autres tests de : normalité, auto-corrélation et d'homogénéité sont nécessaires sur 12 observations moyennes mensuelles estimées pendant 19 ans (2000- 2019) (Tableau 4. 50). Voici les résultats obtenus cités ci-dessous :

Tableau IV. 50. Statistiques descriptives des valeurs estimées et mesurées de l'évaporation.

Variable	Observations	Obs. avec données manquantes	Obs. sans données manquantes	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
$E_{\text{modèle-1}}(\text{mm})$	12	0	12	122,124	344,919	214,151	82,946
$E_{\text{mesurée}}(\text{mm})$	12	0	12	104,473	358,434	214,151	83,829
Résidu	12	0	12	-17,652	14,102	0,000	12,141

Tableau IV. 51. Test de d'hétéroscédastique de White– Tests de normalité de Shapiro-Wilk- de Jarque-Bera et d'auto-corrélation Durbin-Watson

	Test de White ($E_{\text{modèle-1}}$)	Test de Durbin-Watson ($E_{\text{modèle-1}}$)	Test de Shapiro-Wilk ($E_{\text{modèle-1}}$)	Test de Jarque-Bera ($E_{\text{modèle-1}}$)
LM (Valeur estimée)	2,721			JB (Valeur observée)
LM (Valeur critique)	5,991			JB (Valeur critique)
DDL	2	U	1,744	W
p-value (bilatérale)	0,257	p-value (bilatérale)	0,324	p-value
alpha	0,05	alpha	0,05	alpha
			0,887	DDL
			0,108	p-value
				alpha

Interprétation du test d'éteroscedastique de White :

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de seuil de signification $\alpha=0,05$ (Tableau 4. 51), on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H_0 . Cela signifie que la variance des résidus est constante. Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est de 25,65%.

H_0 : Les résidus sont homoscedastiques.

H_a : Les résidus sont hétéroscédastiques.

Interprétation du test d'auto-corrélation Durbin-Watson :

H_0 : Les résidus ne sont pas auto-corrélés.

H_a : Les résidus décrivent un processus AR (1).

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de seuil de signification $\alpha=0,05$, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H_0 . Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est de 32,36%.

Interprétation des tests de normalité de Shapiro-Wilk et Jarque-Bera

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de seuil de signification $\alpha=0,05$ (Tableau 4. 51), on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H_0 .

Shapiro-Wilk ($E_{\text{modèle-1}}$), le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est de 10,77%.

Jarque-Bera ($E_{\text{modèle-1}}$), le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est inférieur à 58,94%.

H_0 : La variable dont provient l'échantillon suit une loi Normale.

H_a : La variable dont provient l'échantillon ne suit pas une loi Normale.

Tableau IV. 52. Tests d'homogénéité de Pettitt-Test d'homogénéité normal standard (SNHT)- Test de Buishand-Test de Von Neumann

	Test de Pettitt ($E_{\text{modèle-1}}$)	Test SNHT ($E_{\text{modèle-1}}$)	Test de Buishand ($E_{\text{modèle-1}}$)	Test de Von Neumann ($E_{\text{modèle-1}}$)			
K	15,000	T0	2,063	Q	2,562		
t	3	t	7	t	7	N	1,744
p-value (bilatérale)	<u>0,625</u>	p-value (bilatérale)	<u>0,713</u>	p-value (bilatérale)	<u>0,463</u>	p-value (bilatérale)	<u>0,332</u>
alpha	<u>0,05</u>	alpha	<u>0,05</u>	alpha	<u>0,05</u>	alpha	<u>0,05</u>

Interprétation des Tests d'homogénéité

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de seuil de signification $\alpha=0,05$ (Tableau IV. 52), on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H_0 .

H_0 : Les données sont homogènes

H_a : Il y a une date à partir de laquelle il y a un changement dans les données

- ✓ Pour le test de Pettit, le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est de 62,51%.
- ✓ Pour le test d'homogénéité normal standard (SNHT), le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est de 71,29%.
- ✓ Pour le test de Buishand, le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est de 46,29 %.
- ✓ Pour le test de Von Neumann, le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est de 33,19%.
- ✓ La Figure (IV. 4. 7) présente les graphes de PP-plot et QQ-plot des résidus du modèle-1. Nous remarquons sur les graphiques P-P plot et Q-Q plot des écarts importants indiquant que la distribution n'est probablement pas normale. Alors que, les deux tests de normalité de Shapiro-Wilk et Jarque-Bera ont montré l'inverse (Voir Tableau IV. 50).

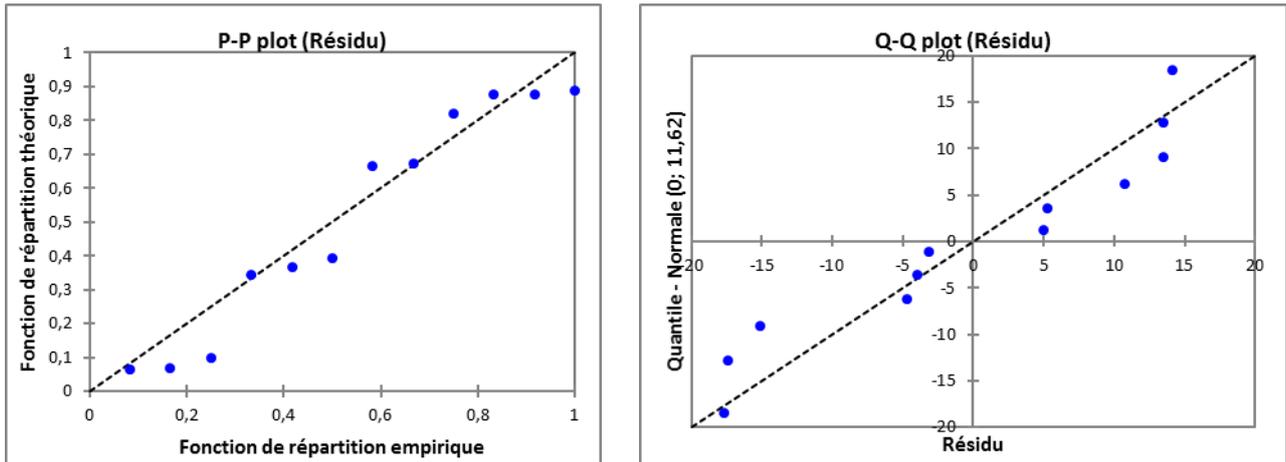


Figure IV. 7. Présentations graphiques P-P plot et Q-Q plot des Résidus (Modèle-1).

IV. 3. 2. Test de linéarité pour le modèle-2 proposé pour les deux barrages-réservoirs de Fontaine des Gazelles et Fom El-Gherza :

Afin de vérifier la linéarité du modèle-2 proposé pour l'estimation de l'évaporation mensuelle des deux barrages-réservoirs de Fontaine des Gazelles et Fom El-Gherza, les tests d'hétéroscédasticité, de normalité, d'homogénéité et auto-corrélation (indépendance) sont effectués sur 12 observations mensuelles moyennes (19 ans) (Tableau IV. 53). Voici les résultats dans les tableaux ci-dessous :

Tableau IV. 53. Statistiques descriptives des valeurs estimées et mesurées de l'évaporation

Variable	Observations	Obs. avec données manquantes	Obs. sans données manquantes	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Préd $E_{\text{modèle-2}}(\text{mm})$	24	0	24	86,597	425,670	229,060	115,207
$E_{\text{mesurée}}(\text{mm})$	24	0	24	78,022	431,319	228,519	115,511
Résidu	24	0	24	-23,336	27,894	0,000	12,721

Tableau IV. 54. Test d'hétéroscédasticité de White– Tests de normalité de Shapiro-Wilk- de Jarque-Bera et d'auto-corrélation Durbin-Watson

	Test de White ($E_{\text{modèle-2}}$)	Test de Durbin-Watson ($E_{\text{modèle-2}}$)	Test de Shapiro-Wilk ($E_{\text{modèle-2}}$)	Test de Jarque-Bera ($E_{\text{modèle-2}}$)
LM (Valeur estimée)	1,385			JB (Valeur observée) 0,252
LM (Valeur critique)	5,991			JB (Valeur critique) 5,991
DDL	2	U 1,767	W 0,984	DDL 2
p-value (bilatérale)	<u>0,500</u>	p-value (bilatérale) <u>0,294</u>	p-value <u>0,958</u>	p-value <u>0,881</u>
alpha	<u>0,05</u>	alpha <u>0,05</u>	alpha <u>0,05</u>	alpha <u>0,05</u>

Interprétation du test White :

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de seuil de signification $\alpha=0,05$ (Tableau IV. 54), on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H_0 . Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est de 50,03%.

H_0 : Les résidus sont homoscedastiques

H_a : Les résidus sont hétéroscedastiques

Interprétation du test d'auto-corrélation Durbin-Watson :

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de seuil de signification $\alpha=0,05$, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H_0 . Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est inférieur à 29,40%.

H_0 : Les résidus ne sont pas auto-corrélés

H_a : Les résidus décrivent un processus AR (1)

Interprétation des tests de normalité de Shapiro-Wilk et Jarque-Bera

Le test de Shapiro-Wilk montre que la p-value calculée est supérieure au niveau de seuil de signification $\alpha=0,05$, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H_0 . Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est inférieur à 95,81%. De même, le test de Jarque-Bera montre que le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est de 88,14%.

H_0 : La variable dont provient l'échantillon suit une loi Normale.

H_a : La variable dont provient l'échantillon ne suit pas une loi Normale.

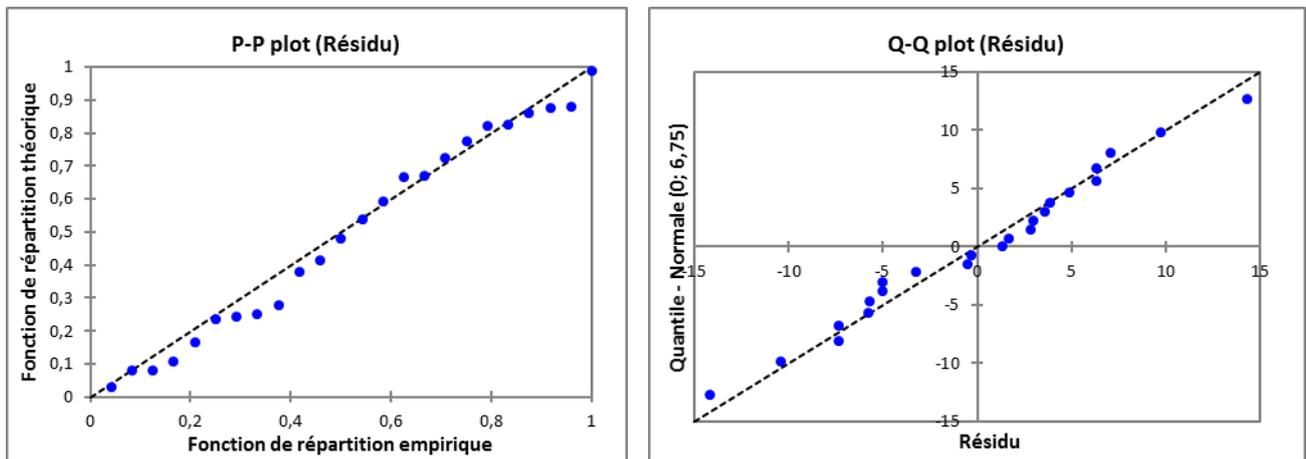


Figure IV. 8. Présentations graphiques des P-P plot et Q-Q plot (Résidu (Modèle-2)).

Nous observons sur les graphiques P-P plot Q-Q plot (Figure IV. 8) les points sont presque alignés avec la première bissectrice du plan. Dans ce cas le modèle-2 est issu d'une distribution normale.

Tableau IV. 55. Tests d'homogénéité de Pettitt-Test d'homogénéité normal standard (SNHT)- Test de Buishand-Test de von Neumann

Test de Pettitt ($E_{\text{modèle-2}}$)	Test SNHT ($E_{\text{modèle-2}}$)	Test de Buishand ($E_{\text{modèle-2}}$)	Test de von Neumann ($E_{\text{modèle-2}}$)
K 52,000	T0 2,747	Q 4,051	
t 6	t 6	t 11	N 1,767
p-value (bilatérale) <u>0,362</u>	p-value (bilatérale) <u>0,616</u>	p-value (bilatérale) <u>0,337</u>	p-value (bilatérale) <u>0,279</u>
alpha <u>0,05</u>	alpha <u>0,05</u>	alpha <u>0,05</u>	alpha <u>0,05</u>

Interprétation des Tests d'homogénéité

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de seuil de signification $\alpha=0,05$ (Tableau IV. 55), on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H_0 .

- ✓ Pour le test de Pettit, le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est de 36,17%.
- ✓ Pour le test d'homogénéité normal standard (SNHT), le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est de 61,62%.
- ✓ Pour le test de Buishand, le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est de 33,71 %.
- ✓ Pour le test de Von Neumann, le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est de 27,88 %.

H_0 : Les données sont homogènes.

H_a : Il y a une date à partir de laquelle il y a un changement dans les données.

IV. 3. 3. Test Tests de linéarité pour le modèle-3 proposé pour le barrage-réservoir de Brézina :

Afin de vérifier la linéarité du modèle-3 proposé pour l'estimation de l'évaporation mensuelle du barrage-réservoir de Brézina (Tableau IV. 56), les mêmes tests de linéarité utilisés précédemment sont effectués sur le modèle-3 et sont regroupés dans les tableaux ci-dessous :

Tableau IV. 56. Statistiques descriptives

Variable	Observations	Obs. avec données manquantes	Obs. sans données manquantes	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
$E_{\text{modèle-3}}(\text{mm})$	12	0	12	81,791	437,495	239,148	131,923
$E_{\text{mesurée}}(\text{mm})$	12	0	12	83,837	441,143	239,148	132,257
Résidu	12	0	12	-16,472	19,112	0,000	10,706

Tableau IV. 57. Test d'hétéroscédasticité de White– Tests de normalité de Shapiro-Wilk- de Jarque-Bera et d'auto-corrélation Durbin-Watson

	Test de White ($E_{\text{modèle-3}}$)		Test de Durbin-Watson ($E_{\text{modèle-3}}$)		Test de Shapiro-Wilk ($E_{\text{modèle-3}}$)		Test de Jarque-Bera ($E_{\text{modèle-3}}$)
LM (Valeur estimée)	1,268					JB (Valeur observée)	0,419
LM (Valeur critique)	5,991					JB (Valeur critique)	5,991
DDL	2	U	1,479	W	0,977	DDL	2
p-value (bilatérale)	<u>0,531</u>	p-value (bilatérale)	<u>0,173</u>	p-value	<u>0,970</u>	p-value	<u>0,811</u>
alpha	<u>0,05</u>	alpha	<u>0,05</u>	alpha	<u>0,05</u>	alpha	<u>0,05</u>

Interprétation du test de White :

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de seuil de signification $\alpha=0,05$ (Tableau IV. 57), on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H_0 . Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est de 53,05%.

H_0 : Les résidus sont homoscédastiques

H_a : Les résidus sont hétéroscédastiques

Interprétation du test d'auto-corrélation Durbin-Watson :

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de seuil de signification $\alpha=0,05$, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H_0 . Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est inférieur à 17,29 %.

H_0 : Les résidus ne sont pas auto-corrélés
 H_a : Les résidus décrivent un processus AR (1)

Interprétation des tests de normalité de Shapiro-Wilk et Jarque-Bera

Le test de Shapiro-Wilk montre que la p-value calculée est supérieure au niveau de seuil de signification $\alpha=0,05$ (Tableau 4. 57), on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H_0 . Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est inférieur à 96,97%. De même, le test de Jarque-Bera montre que le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est de 81,08%.

H_0 : La variable dont provient l'échantillon suit une loi Normale.
 H_a : La variable dont provient l'échantillon ne suit pas une loi Normale.

Tableau IV. 58. Tests d'homogénéité de Pettitt-Test d'homogénéité normal standard (SNHT)- Test de Buishand-Test de von Neumann

	Test de Pettitt ($E_{\text{modèle-3}}$)	Test SNHT ($E_{\text{modèle-3}}$)	Test de Buishand ($E_{\text{modèle-3}}$)	Test de von Neumann ($E_{\text{modèle-3}}$)			
K	27,000	T0	5,020	Q	3,997		
t	5	t	5	t	5	N	1,479
p-value (bilatérale)	<u>0,067</u>	p-value (bilatérale)	<u>0,072</u>	p-value (bilatérale)	<u>0,063</u>	p-value (bilatérale)	<u>0,180</u>
alpha	<u>0,05</u>	alpha	<u>0,05</u>	alpha	<u>0,05</u>	alpha	<u>0,05</u>

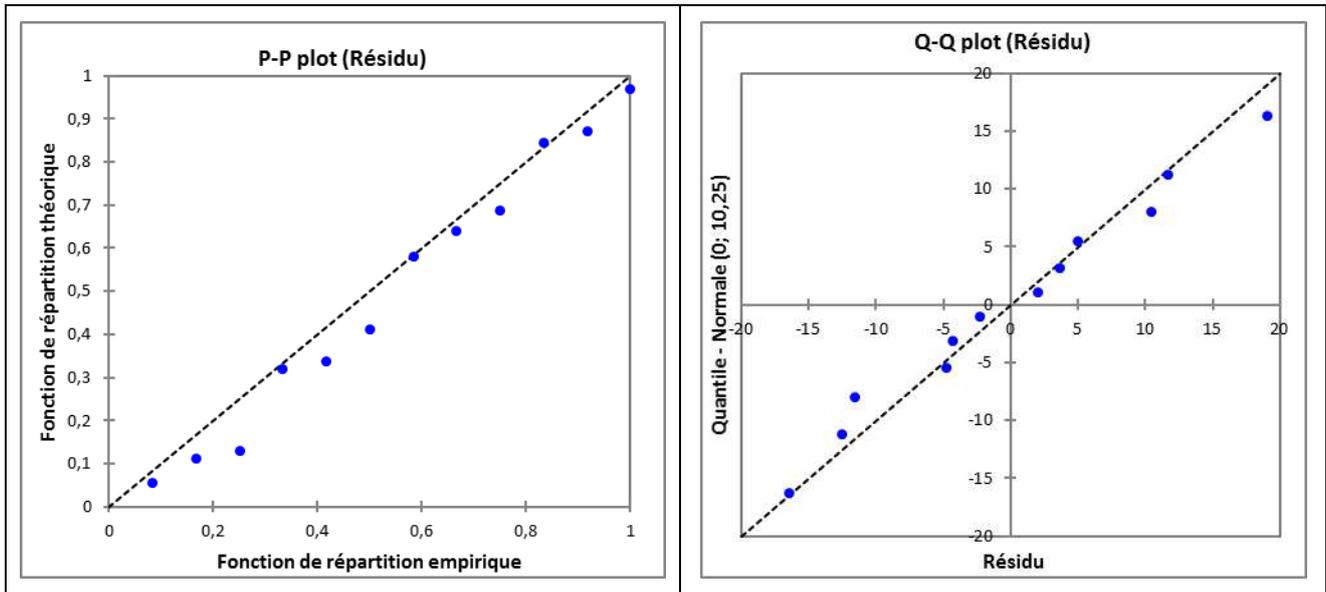


Figure IV. 9. Présentations graphiques des P-P plot et Q-Q plot des Résidus (Modèle-3).

Sur la figure (IV. 9), nous voyons sont proches avec la première bissectrice du plan ce qui confirme la normalité du modèle -3.

Interprétation des Tests d'homogénéité

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de seuil de signification $\alpha=0,05$, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H_0 .

- ✓ Pour le test de Pettit, le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est de 6,66%.

- ✓ Pour le test d'homogénéité normal standard (SNHT), le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est de 7,24%.
- ✓ Pour le test de Buishand, le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est de 6,28%.
- ✓ Pour le test de von Neumann, le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est de 18,03%.

H_0 : Les données sont homogènes

H_a : Il y a une date à partir de laquelle il y a un changement dans les données

IV. 3. 4. Test de linéarité pour le modèle-4 proposé pour le barrage-réservoir de Foug El-Guies :

Afin de vérifier la linéarité du modèle-4 proposé pour l'estimation de l'évaporation mensuelle du barrage-réservoir de Foug El-Guies, des tests de linéarité ont été fait. Voici les résultats regroupés dans les tableaux ci-dessous :

Tableau IV. 59. Statistiques descriptives des valeurs estimées et mesurées de l'évaporation

Variable	Observations	Obs. avec données manquantes	Obs. sans données manquantes	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
$E_{\text{modèle-4}}(\text{mm})$	12	0	12	48,021	237,078	111,734	64,350
$E_{\text{mesurée}}(\text{mm})$	12	0	12	42,980	234,960	111,734	64,666
Résidu	12	0	12	-7,578	9,913	0,000	6,383

Tableau IV. 60. Test d'hétéroscédasticité de White– Tests de normalité de Shapiro-Wilk- de Jarque-Bera et d'auto-corrélation Durbin-Watson

Test de White ($E_{\text{modèle-4}}$)		Test de Durbin-Watson ($E_{\text{modèle-4}}$)		Test de Shapiro-Wilk ($E_{\text{modèle-4}}$)		Test de Jarque-Bera ($E_{\text{modèle-4}}$)	
LM (Valeur estimée)	3,083					JB (Valeur observée)	1,160
LM (Valeur critique)	5,991					JB (Valeur critique)	5,991
DDL	2	U	1,723	W	0,884	DDL	2
p-value (bilatérale)	0,214	p-value (bilatérale)	0,312	p-value	0,098	p-value	0,560
alpha	0,05	alpha	0,05	alpha	0,05	alpha	0,05

Interprétation du test de White :

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de seuil de signification $\alpha=0,05$ (Tableau IV. 60), on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H_0 . Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est de 21,40%.

H_0 : Les résidus sont homoscedastiques

H_a : Les résidus sont hétéroscédastiques

Interprétation du test d'auto-corrélation Durbin-Watson :

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de seuil de signification $\alpha=0,05$, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H_0 . Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est inférieur à 31,24%.

H_0 : Les résidus ne sont pas auto-corrélés

H_a : Les résidus décrivent un processus AR (1)

Interprétation des tests de normalité de Shapiro-Wilk et Jarque-Bera

Le test de Shapiro-Wilk montre que la p-value calculée est supérieure au niveau de seuil de signification $\alpha=0,05$ (Tableau IV. 60), on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H_0 . Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est inférieur à 9,83%. Alors que, le test de Jarque-Bera montre que le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est de 55,99%.

H_0 : La variable dont provient l'échantillon suit une loi Normale.

H_a : La variable dont provient l'échantillon ne suit pas une loi Normale.

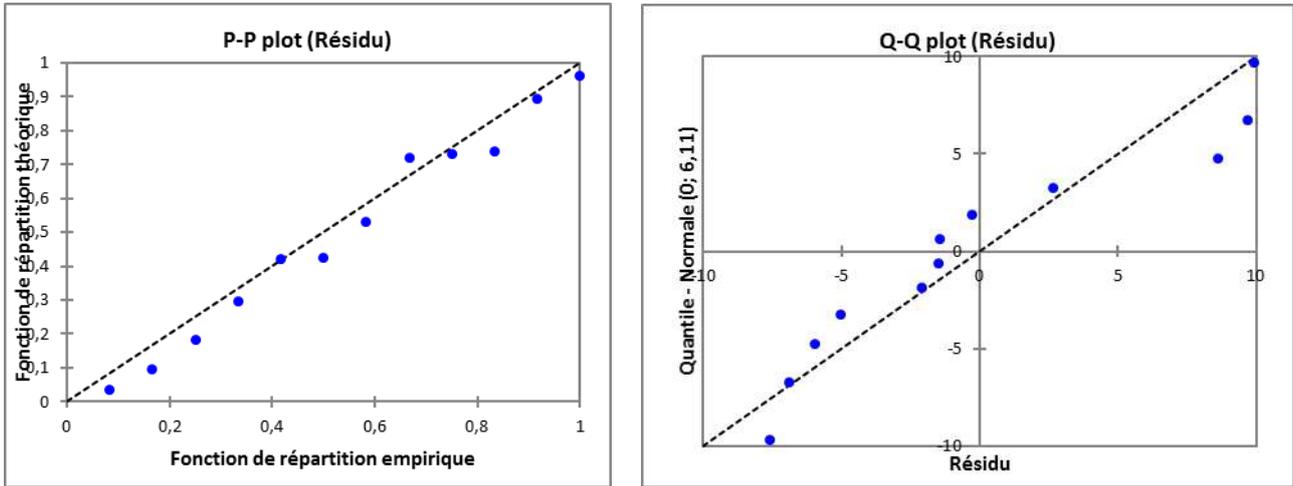


Figure IV. 10. Présentations graphiques des P-P plot et Q-Q plot des Résidus (Modèle-4).

Malheureusement, les présentations graphiques des P-P et Q-Q plots sur la figure (IV. 10) ne sont pas très distinctifs, car il y a peu de données et nous comparons une vraie distribution de normalité théorique correcte, donc il n'y a rien de spécial à voir ni au centre ni aux queues de la distribution.

Tableau IV. 61. Tests d'homogénéité de Pettitt-Test d'homogénéité normal standard (SNHT)- Test de Buishand-Test de Von Neumann

	Test de Pettitt ($E_{\text{modèle-4}}$)	Test SNHT ($E_{\text{modèle-4}}$)	Test de Buishand ($E_{\text{modèle-4}}$)	Test de Von Neumann ($E_{\text{modèle-4}}$)
K	14,000	T0	2,106	Q
t	2	t	2	t
p-value (bilatérale)	0,684	p-value (bilatérale)	0,709	p-value (bilatérale)
alpha	0,05	alpha	0,05	alpha
				N
				1,723
				p-value (bilatérale)
				0,310
				alpha
				0,05

Interprétation des Tests d'homogénéité

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil $\alpha=0,05$ (Tableau IV. 61), on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H_0 .

H_0 : Les données sont homogènes

H_a : Il y a une date à partir de laquelle il y a un changement dans les données.

- ✓ Pour le test de Pettitt, le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est de 68,37%.
- ✓ Pour le test d'homogénéité normal standard (SNHT), le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est de 70,94%.
- ✓ Pour le test de Buishand, le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est de 62,19 %.

- ✓ Pour le test de Von Neumann, le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est de 31,01 %.

IV. 3. 4. Test de linéarité pour le modèle-A proposé pour les cinq barrages étudiés :

Afin de vérifier la linéarité du modèle-A proposé pour l'estimation de l'évaporation moyenne mensuelle des cinq barrages-réservoirs étudiés, des tests de linéarité ont été utilisés sur 60 observations moyennes mensuelles pendant 19 ans (Tableau IV. 62). Voici les résultats des tests regroupés dans les tableaux ci-dessous :

Tableau IV. 62. Statistiques descriptives des valeurs estimées et mesurées de l'évaporation

Variable	Observations	Obs. avec données manquantes	Obs. sans données manquantes	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
$E_{\text{modèle-A}}(\text{mm})$	60	0	60	68,586	398,164	195,441	98,851
$E_{\text{mesurée}}(\text{mm})$	60	0	60	46,790	431,350	195,441	106,98
Résidu	60	0	60	-81,285	76,633	0,000	39,333

Tableau IV. 63. Test d'hétéroscédasticité de White- Tests de normalité de Shapiro-Wilk- de Jarque-Bera et d'auto-corrélation Durbin-Watson

Test de White ($E_{\text{modèle-A}}$)		Test de Durbin-Watson ($E_{\text{modèle-A}}$)		Test de Shapiro-Wilk ($E_{\text{modèle-A}}$)		Test de Jarque-Bera ($E_{\text{modèle-A}}$)	
LM (Valeur estimée)	9,276					JB (Valeur observée)	1,064
LM (Valeur critique)	5,991					JB (Valeur critique)	5,991
DDL	2	U	0,232	W	0,979	DDL	2
p-value (bilatérale)	0,010	p-value (bilatérale)	< 0,0001	p-value	0,372	p-value	0,587
alpha	0,05	alpha	0,05	alpha	0,05	alpha	0,05

Interprétation du test de White :

Etant donné que la p-value calculée est inférieure au niveau de seuil de signification $\alpha=0,05$ (Tableau IV. 63), on doit rejeter l'hypothèse nulle H_0 , et retenir l'hypothèse alternative H_a . Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est de 0,97%.

H_0 : Les résidus sont homoscedastiques

H_a : Les résidus sont hétéroscédastiques

Interprétation du test d'auto-corrélation Durbin-Watson :

Etant donné que la p-value calculée est inférieure au niveau de seuil de signification $\alpha=0,05$ (Tableau IV. 63), on doit rejeter l'hypothèse nulle H_0 , et retenir l'hypothèse alternative H_a . Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est inférieur à 0,01%.

H_0 : Les résidus ne sont pas auto-corrélés

H_a : Les résidus décrivent un processus AR (1)

Interprétation des tests de normalité de Shapiro-Wilk et Jarque-Bera

Le test de Shapiro-Wilk montre que la p-value calculée est supérieure au niveau de seuil de signification $\alpha=0,05$, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H_0 . Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est inférieur à 37,22 %. Alors que, le test de Jarque-Bera montre que le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est de 58,74%.

H_0 : La variable dont provient l'échantillon suit une loi Normale.

H_a : La variable dont provient l'échantillon ne suit pas une loi Normale.

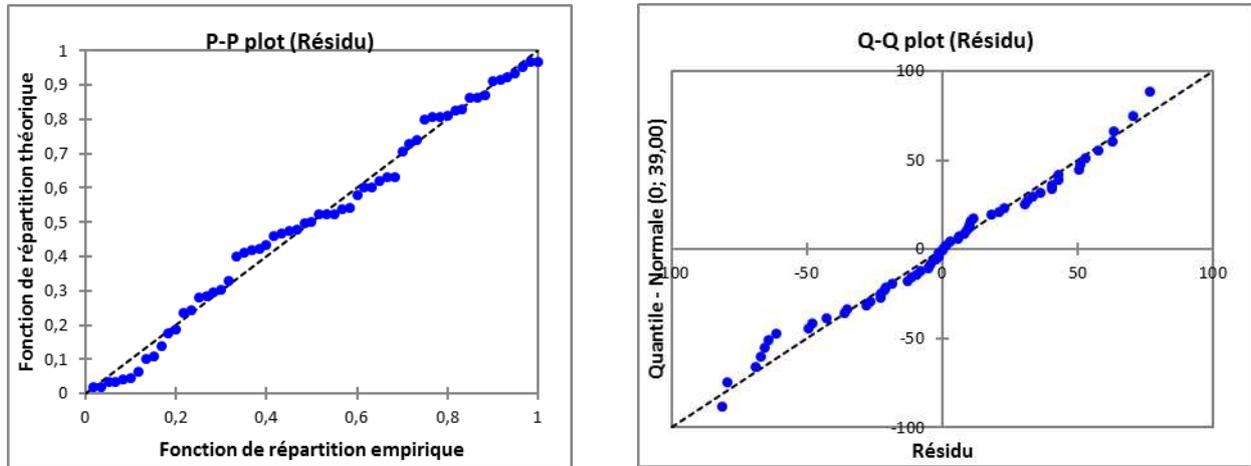


Figure IV. 11. Présentations graphiques de P-P plot et Q-Q plot des Résidus (Modèle-A).

Les graphes de P-P plot et Q-Q plot des Résidus sur la figure (IV. 11) montre que le Modèle-A suit une distribution normale.

Tableau IV. 64. Tests d'homogénéité de Pettitt- Test d'homogénéité normal standard (SNHT)- Test de Buishand-Test de Von Neumann

	Test de Pettitt ($E_{\text{modèle-A}}$)	Test SNHT ($E_{\text{modèle-A}}$)	Test de Buishand ($E_{\text{modèle-A}}$)	Test de Von Neumann ($E_{\text{modèle-A}}$)			
K	304,000	T₀	4,666	Q	8,131		
t	22	t	22	t	22	N	0,279
p-value (bilatérale)	<u>0,111</u>	p-value (bilatérale)	<u>0,322</u>	P-value (bilatérale)	<u>0,167</u>	p-value (bilatérale)	<u><0,0001</u>
alpha	<u>0,05</u>	alpha	<u>0,05</u>	alpha	<u>0,05</u>	alpha	<u>0,05</u>

Interprétation des Tests d'homogénéité

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de seuil de signification $\alpha=0,05$ (Tableau IV. 64), on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H_0 .

H_0 : Les données sont homogènes

H_a : Il y a une date à partir de laquelle il y a un changement dans les données

- ✓ Pour le test de Pettit, le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est de 11,13%.
- ✓ Pour le test d'homogénéité normal standard (SNHT), le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est de 32,17%.
- ✓ Pour le test de Buishand, le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est de 16,68 %.

Etant donné que la p-value calculée est inférieure au niveau de seuil de signification $\alpha=0,05$, on doit rejeter l'hypothèse nulle H_0 , et retenir l'hypothèse alternative H_a .

- ✓ Pour le test de Von Neumann, le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est inférieur à 0,01%.

IV. 3. 5. Test de linéarité pour le modèle-B proposé pour les cinq barrages étudiés :

Afin de vérifier la linéarité du modèle-B proposé pour l'estimation de l'évaporation mensuelle des cinq barrages étudiés, les mêmes tests sont effectués sur le modèle- B (Tableau 4. 65). Voici les résultats regroupés dans les tableaux ci-dessous :

Tableau IV. 65. Statistiques descriptives des valeurs estimées et mesurées de l'évaporation

Variable	Observations	Obs. avec données manquantes	Obs. sans données manquantes	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart -typ :
$E_{\text{modèle-B}}$ (mm)	60	0	60	47,564	382,952	194,836	100,279
$E_{\text{mesurée}}$ (mm)	60	0	60	42,980	431,319	194,836	106,415
Résidu	60	0	60	-89,062	85,372	0,000	35,61

Tableau IV. 66. Test d'hétéroscédasticité de White– Tests de normalité de Shapiro-Wilk- de Jarque-Bera et d'auto-corrélation Durbin-Watson

	Test de White ($E_{\text{modèle-B}}$)		Test de Durbin-Watson ($E_{\text{modèle-B}}$)		Test de Shapiro-Wilk ($E_{\text{modèle-B}}$)		Test de Jarque-Bera ($E_{\text{modèle-B}}$)
LM (Valeur estimée)	4,890						JB (Valeur observée)
LM (Valeur critique)	5,991						JB (Valeur critique)
DDL	2	U	0,395	W	0,986		DDL
p-value (bilatérale)	0,087	p-value (bilatérale)	<0,0001	p-value	0,746		p-value
alpha	0,05	alpha	0,05	alpha	0,05		alpha

Interprétation du test de White :

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil $\alpha = 0,05$, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H_0 . Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est de 8,67%.

- H_0 : Les résidus sont homoscédastiques
- H_a : Les résidus sont hétéroscédastiques

Interprétation du test d'auto-corrélation Durbin-Watson :

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification $\alpha=0,05$ on doit rejeter l'hypothèse nulle H_0 , et retenir l'hypothèse alternative H_a . Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est inférieur à 0,01%.

- H_0 : Les résidus ne sont pas auto-corrélés
- H_a : Les résidus décrivent un processus AR (1)

Interprétation des tests de normalité de Shapiro-Wilk et Jarque-Bera

Le test de Shapiro-Wilk montre que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil $\alpha=0,05$, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H_0 . Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est inférieur à 74,60%. Alors que, le test de Jarque-Bera montre que le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est de 74,42%.

- H_0 : La variable dont provient l'échantillon suit une loi Normale.
- H_a : La variable dont provient l'échantillon ne suit pas une loi Normale.

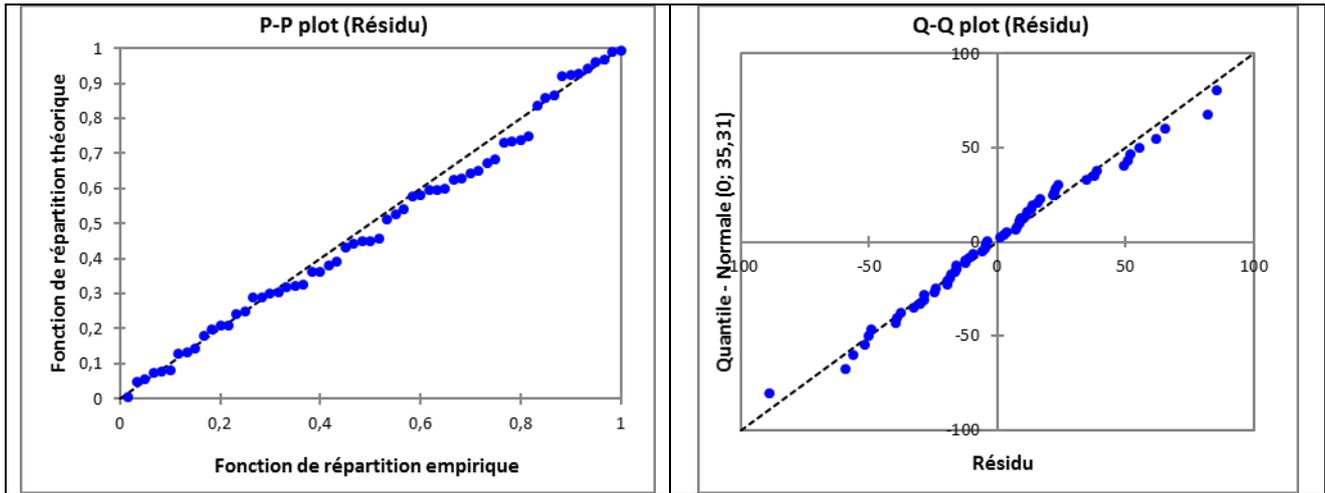


Figure IV. 12. Présentations graphiques des P-P plot et Q-Q plot des Résidus (Modèle-B).

Les graphes de P-P plot et Q-Q plot des Résidus sur la figure (IV. 12) montre que le Modèle-B suit une distribution normale.

Tableau IV. 67. Tests d'homogénéité de Pettitt-Test d'homogénéité normal standard (SNHT)- Test de Buishand-Test de von Neumann

	Test de Pettitt ($E_{\text{modèle-B}}$)	Test SNHT ($E_{\text{modèle-B}}$)	Test de Buishand ($E_{\text{modèle-B}}$)	Test de von Neumann ($E_{\text{modèle-B}}$)			
K	260,000	T₀	4,734	Q	7,610		
t	22	t	52	t	22	N	0,277
p-value (bilatérale)	<u>0,242</u>	p-value(bilatérale)	<u>0,312</u>	p-value(bilatérale)	<u>0,225</u>	p-value (bilatérale)	<u>< 0,000</u>
alpha	<u>0,05</u>	alpha	<u>0,05</u>	alpha	<u>0,05</u>	alpha	<u>0,05</u>

Interprétation des Tests d'homogénéité

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil $\alpha=0,05$, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H_0 .

- ✓ Pour le test de Pettit, le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est de 24,17%.
- ✓ Pour le test d'homogénéité normal standard (SNHT), le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est de 31,16%.
- ✓ Pour le test de Buishand, le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est de 22,46 %.

Etant donné que la p-value calculée est inférieure au niveau de signification $\alpha=0,05$, on doit rejeter l'hypothèse nulle H_0 , et retenir l'hypothèse alternative H_a .

- ✓ Pour le test de Von Neumann, le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est de 0,01 %.

H_0 : Les données sont homogènes

H_a : Il y a une date à partir de laquelle il y a un changement dans les données

IV. 4. CONCLUSIONS

Rappelons que les modèles proposés pour l'estimation de l'évaporation des cinq barrages – réservoirs sont de type linéaire. Les résultats statistiques permettant de vérifier les hypothèses de la régression linéaire sont : L'homoscédasticité, la non auto-corrélation (l'indépendance), la normalité et l'homogénéité.

Les tests statistiques effectués sur le modèle-1 proposé pour l'estimation de l'évaporation du barrage-réservoir de Djorf-Torba montrent que ce modèle-1 vérifie les hypothèses suivantes :

- Les résidus sont homoscédastiques du fait que le p-value calculé par le test de White vaut 0,257 supérieur au seuil de significativité $\alpha=0,05$.
- D'après le test de Durbin-Watson, les résidus ne sont pas auto-corrélés du fait que le p-value est égal à 0,324 supérieur au seuil de significativité $\alpha=0,05$.
- D'après les tests de Shapiro-Wilk et Jarque-Bera, l'échantillon suit une loi normale les p-value calculés ont de valeurs respectivement 0,108 et 0,589 supérieures au seuil de significativité $\alpha=0,05$.
- D'après les tests de Pettitt, SNHT, Buishand et Von Newmann, on confirme que les données sont homogènes (p-value calculés varient entre 0,332 et 0,713 > 0,05).

Nous pouvons conclure que le modèle-1 est un modèle de régression linéaire multiple, peut être utilisé pour l'estimation du barrage-réservoir de Djorf-Torba du fait que les indexes statistiques sont excellentes :

$$\text{NSE}=0,99; \text{RMSE}= 11,62; \text{MBE}=3,36; \text{R}^2=0,98; \text{RSR}=0,10$$

Pour le modèle-2 proposé pour l'estimation de l'évaporation des deux barrages-réservoirs de Foug El-Gherza et Fontaine des Gazelles, les tests de la régression linéaire multiple montrent que :

- Les résidus sont homoscédastiques du fait que le p-value est égal 0,500 calculé par le test de White.
- D'après le test de Durbin-Watson, les résidus ne sont pas auto-corrélés du fait que le p-value est égal à 0,294.
- D'après les tests de Shapiro-Wilk et Jarque-Bera, l'échantillon suit une loi normale les p-value calculés ont de valeurs respectivement 0,958 et 0,881.
- D'après les tests de Pettitt, SNHT, Buishand et Von Newmann, on confirme que les données sont homogènes (p-value calculés varient entre 0,279 et 0,616 > 0,05).

Nous concluons, que le modèle-2 est un modèle de régression linéaire multiple puisque les hypothèses sont validées et on le considère comme un excellent modèle pour l'estimation de l'évaporation des deux barrages-réservoirs : Fontaine des Gazelles et Foug El-Gherza du fait que les résultats numériques et statistiques obtenus sont très bons :

- Barrage Fontaine des Gazelles : $\text{NSE}=0,99$; $\text{RMSE}= 9,79$; $\text{MBE}=2,83$; $\text{R}^2=1,00$; $\text{RSR}=0,09$.
- Barrage Foug El-Gherza : $\text{NSE}=0,97$; $\text{RMSE}= 17,50$; $\text{MBE}=5,05$; $\text{R}^2=0,99$; $\text{RSR}=0,16$

Le modèle-3 proposé pour l'estimation du barrage-réservoir de Brézina est un modèle régression linéaire multiple :

- Les résidus sont homoscédastiques du fait que le p-value calculé est égal à 0,531 par le test de White.
- D'après le test de Durbin-Watson, les résidus ne sont pas auto-corrélés puisque le p-value calculé est égal à 0,173.

- D'après les tests de Shapiro-Wilk et Jarque-Bera, l'échantillon suit une loi normale et les p-value calculés ont de valeurs respectivement 0,970 et 0,811.
- Les tests de Pettitt, SNHT, Buishand et Von Newmann confirment que les données sont homogènes (p-value calculés varient entre 0,063 et 0,180 > 0,05).

Le modèle-3 proposé peut être utilisé pour l'estimation de l'évaporation du barrage-réservoir de Brézina (El-Bayadh). Ces résultats graphiques et numériques sont très bons.

$$\text{NSE}=1,00 ; \text{RMSE}= 10,78 ; \text{MBE}=3,11 ; \text{R}^2=0,99 ; \text{RSR}=0, 01$$

Le modèle-4 proposé pour l'estimation de l'évaporation du barrage-réservoir de Foum El-Guiss, ce modèle est un modèle de régression linéaire multiple :

- Les résidus sont homoscedastiques du fait que le p-value calculé est égal 0,214>0,05 par le test de White.
- D'après le test de Durbin-Watson, les résidus ne sont pas auto-corrélés puisque le p-value calculé est égal à 0,312> 0,05.
- D'après les tests de Shapiro-Wilk et Jarque-Bera, l'échantillon suit une loi normale les p-value calculés ont de valeurs respectivement 0,098 et 0,560 >0,05.
- Les tests de Pettitt, SNHT, Buishand et Von Newmann confirment que les données sont homogènes (p-value calculés varient entre 0,310 et 0,709 > 0,05).

D'après les résultats numériques des tests cités ci-dessus nous pouvons conclure que le modèle-4 proposé pour l'estimation de barrage-réservoir de Foum El-Guiss (Khenchela) est un modèle à régression linéaire multiple, il peut être considéré pour l'estimation de l'évaporation de ce barrage-réservoir. Il présente d'excellente performance.

$$\text{NSE}= 0,99 ; \text{RMSE}= 6,11 ; \text{MBE}=1,76 ; \text{R}^2=0,99 ; \text{RSR}= 0,10.$$

Le modèle -A proposé pour l'estimation de l'évaporation des cinq barrages-réservoirs de Foum El-Gherza, Fontaine de Gazelles, Brézina, Foum El-Guiss et Djorf-Torba montre des très bonnes performances de fait que :

- ✓ Barrage Fontaine des gazelles : NSE=0,83 ; RMSE=47,82 ; MBE=13,80 ; R²=0,94 ; RSR=0,41
- ✓ Barrage Foum El-Gherza : NSE=0,92 ; RMSE= 30,30 ; MBE=8,75 ; R²=0,95 ; RSR=0,27
- ✓ Barrage Djorf-Torba: NSE=0,86; RMSE= 43,53; MBE=12,57; R²=0,84; RSR=0,38
- ✓ Barrage Brézina: NSE=0,99; RMSE= 60,59; MBE=17,49; R²=0,90; RSR=0, 09
- ✓ Barrage Foum El-Guiss : NSE=0,70 ; RMSE= 32,94 ; MBE=9,51 ; R²=0,98 ; RSR=0,54

Les tests de linéarité montrent que les estimations du modèle-A suit une distribution normale et homogène mais les résidus sont hétéroscédastiques et auto-corrélés :

- Les résidus sont hétéroscédastiques du fait que le p-value calculé est égal 0,010<0,05 par le test de White.
- D'après le test de Durbin-Watson, les résidus sont auto-corrélés puisque le p-value calculé est <0,0001.
- D'après les tests de Shapiro-Wilk et Jarque-Bera, l'échantillon suit une loi normale les p-value calculés ont de valeurs respectivement 0,372 et 0,587 >0,05.
- Les tests de Pettitt, SNHT et Buishand confirment que les données sont homogènes (p-value calculés varient entre 0,111 - 0,322 > 0,05). Seul le test de Von Newmann, le p-value est inférieur de 0, 0001 ce qui explique une hétérogénéité des données.

Selon les résultats des tests de linéarité, nous confirmons que le modèle-A n'est pas un modèle de régression multiple.

Le modèle-B proposé pour l'estimation de l'évaporation des cinq barrages étudiés montre aussi des excellents résultats numériques, statistiques et graphiques :

- ✓ Barrage Fontaine des gazelles : NSE=0,89 ; RMSE=38,16 ; MBE=11,02 ; $R^2=0,95$; RSR=0,33.
- ✓ Barrage Foum El-Gherza : NSE=0,94 ; RMSE= 25,98 ; MBE=7,50 ; $R^2=0,96$; RSR=0,24.
- ✓ Barrage Djorf-Torba: NSE=0,83; RMSE= 47,28; MBE=13,65; $R^2=0,80$; RSR=0,41.
- ✓ Barrage Brézina: NSE=1,00; RMSE= 35,91; MBE=10,37; $R^2=0,94$; RSR=0,05.
- ✓ Barrage Foum El-Guiness : NSE=0,81 ; RMSE= 27,25 ; MBE=7,87 ; $R^2=0,99$; RSR=0,44.

Ces résultats confirment une très bonne performance de ce modèle-B. Les tests de linéarité montrent les résultats suivants :

- Les résidus sont homoscedastiques du fait que le p-value calculé est égal à $0,087 < 0,05$ par le test de White.
- D'après le test de Durbin-Watson, les résidus sont auto-corrélés puisque le p-value calculé est $< 0,0001$.
- D'après les tests de Shapiro-Wilk et Jarque-Bera, l'échantillon suit une loi normale les p-value calculés ont de valeurs respectivement 0,746 et 0,744 $> 0,05$.
- Les tests de Pettitt, SNHT et Buishand confirment que les données sont homogènes (p-value calculés varient entre 0,222 - 0,312 $> 0,05$). Seul le test de Von Newmann, le p-value est inférieur à 0,0001 (C'est -à dire nous avons une hétérogénéité des données).

Puisque l'indépendance n'est pas vérifiée ou bien nous avons une hétéroscedasticité, on ne peut pas considérer ce modèle-B comme modèle de régression multiple. Nous rappelons que l'homoscedasticité et l'indépendance des résidus (termes d'erreur) sont des hypothèses clés de la régression linéaire.

CONCLUSION GENERALE



RECOMMANDATIONS

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

Nous rappelons que l'évaporation des plans d'eau dans les régions-arides et semi-arides est un phénomène naturel et au même temps un problème majeur qui provoque des grandes pertes d'eau surtout dans les pays africains notamment l'Algérie. La connaissance des taux d'évaporation est nécessaire pour les études de bilan hydrique et d'énergie, pour la conception des bassins de lagunage, dans l'épuration des eaux usées, dans la conception des ouvrages hydrauliques et les systèmes d'irrigation, aussi pour la modélisation des eaux souterraines et la simulation du cycle hydrologique à grande échelle. Donc, l'évaporation joue un rôle primordial pour la gestion des ressources en eau. Elle est mesurée par des différents types de bacs d'évaporation existants et installés au niveau des stations météorologiques ou climatologiques.

L'Algérie a disposé d'un réseau hydro climatique composé de 200 stations hydrométriques, 800 postes pluviométriques, 200 postes pluviographiques et 50 stations climatologiques d'après l'ANRH. Aujourd'hui le nombre des stations augmente avec l'accroissance du nombre des barrages d'exploitation. L'objectif de ces stations est de collecter le maximum des données climatiques servant à la détermination de bilan hydrique de n'importe quelle région. Toutes les régions subissent des variations des taux d'évaporation selon les conditions climatiques de la région concernée. Mais, les régions les plus concernées par un taux élevé d'évaporation sont celles qui se caractérisent par un climat aride et semi-aride.

Notons que les régions arides occupent une superficie de $112 \cdot 10^3 \text{ Km}^2$, elles sont caractérisées par des précipitations faibles (100 à 150 mm/an), une température moyenne de l'air variant de -5°C à 50°C , l'évaporation atteint 1500 mm. Tandis que, les régions semi-arides occupent une superficie $98 \cdot 10^3 \text{ Km}^2$, elles sont caractérisées par des faibles précipitations (200 à 400 mm/an), la température moyenne de l'air varie de 0°C et en dépassant les 40°C en été.

D'après les données climatiques (2000-2019), les cinq barrages-réservoirs (Foum El-Gherza, Fontaine des Gazelles, Brézina, Foum El-Guiss et Djorf-Torba) situés aux régions arides et semi-arides montrent que :

- Les précipitations moyennes annuelles varient de 91,58 à 324,59 mm ce qui permet de les classer comme régions à faibles pluies ;
- Les amplitudes thermiques de ces régions varient de $23,32^\circ\text{C}$ à $25,51^\circ\text{C}$;
- Selon l'échelle de Beaufort, les régions de Béchar, Biskra et Khenchela sont classées comme des régions à faible vent au cours de l'année avec une vitesse en nœuds 7-10. Tandis que, les régions d'El-Bayadh comme région à vent légère brise avec une vitesse moyenne en nœud 4-6 et à vent faible avec une vitesse moyenne en nœud 7-10 durant toute l'année ;
- Les humidités relatives moyennes mensuelles des régions varient de 22,56 % à 72,93% ;
- Les pressions atmosphériques moyennes mensuelles varient entre 89,91 kPa et 97,94 kPa ;
- Les rayonnements solaires moyens mensuels varient entre 4,86 kWh/m²/Jour et 5,61 kWh/m²/Jour ;
- Les lumières moyennes mensuelles du jour varient entre 9,78-14 heures ;
- Les évaporations maximales mensuelles des cinq barrages-réservoirs varient entre 234,96 mm et 431,32 mm.

Parmi les méthodes indirectes d'estimation de l'évaporation des plans d'eau, nous pouvons conclure que pas tous les modèles donnent des résultats satisfaisants en raison des conditions climatiques des régions ou le modèle a été élaboré et parfois l'absence de quelques données climatologiques. Nous concluons que parmi les 54 modèles que nous avons testés, peu de modèles se rapprochent des données réelles de l'évaporation mesurée (référence). Nous les citons :

Parmi les méthodes combinatoires, le modèle de Penman-Monteith FAO (1998) est très fiable pour l'estimation de l'évaporation des barrages- réservoirs de : Fontaine des Gazelles, Fom El-Gherza et Brézina. Les résultats numériques et graphiques sont excellents. L'erreur annuelle pour ces trois barrages-réservoirs varie entre 6%-17%. Les indexes statistiques montrent une excellente performance : $0,95 \leq NSE \leq 0,99$; $0,98 \leq R^2 \leq 0,99$; $0,08 \leq RSR \leq 0,23$.

Les méthodes de transfert de masse, seul le modèle de Dalton (1802) est adéquat pour les cinq barrages-réservoirs étudiés. En raison, que les indexes statistiques montrent des très bonnes performances : $0,72 \leq NSE \leq 0,98$; $0,78 \leq R^2 \leq 0,99$; $0,15 \leq RSR \leq 0,53$. L'erreur de l'évaporation annuelle des cinq barrages varie entre 1% et 48%. Les tracés graphiques de l'évaporation mesurée et estimée sont très proches pour les deux barrages-réservoirs Fom El-Guiss et Fontaine des Gazelles. Les autres barrages-réservoirs, on voit des décalages entre les deux courbes estimée/mesurée.

Les modèles de Kuzmin (1957), WMO (1966) et Harbeck et al (1958) sont adéquats pour les quatre barrages-réservoirs suivants : Fom El-Gherza, Fontaine des Gazelles, Brézina et Fom El-Guiss. Selon les indexes statistiques, le modèles sont considérés comme bons : $0,77 \leq NSE \leq 0,98$; $0,95 \leq R^2 \leq 0,99$; $0,13 \leq RSR \leq 0,48$.

Le modèle de Harbick et al (1958) converge très bien avec les deux barrages-réservoirs de Fontaines des Gazelles et Fom El-Gherza. Celui de WMO donne de bons résultats pour le barrage-réservoir de Fom El-Guiss. Malgré leurs bonnes performances aucun des tracés de ces trois modèles ne sont pas proche du tracé de l'évaporation mesurée du Barrage-réservoir Brézina.

- Les méthodes basées sur le rayonnement solaire montrent que l'estimation de l'évaporation des cinq- barrages réservoirs donne des bons résultats pour quelques barrages-réservoirs et d'autres non. Prenons l'exemple des deux barrages-réservoirs de Fontaine des Gazelles et Fom El-Gherza situés dans la même région de Biskra. On constate que le modèle de Hargreaves-Samani (1982) estime très bien l'évaporation pour le barrage-réservoir de Fom El-Gherza ($NSE=0,95$, $RSR =0,23$) mais pour le barrage Fontaine des Gazelles, le modèle de Jensen-Haise (1903) qui estime mieux l'évaporation ($NSE=0,83$, $RSR =0,42$) avec une erreur de l'évaporation annuelle de 7%. Le même modèle est très bon pour l'estimation de l'évaporation du barrage-réservoir de Brézina ($NSE=1$, $RSR =0,04$). Tandis que, le Barrage-réservoir de Fom El-Guiss, on a trouvé que seuls les deux modèles de Caprio (1974) et McGuinness-Bordone (1972) sont adéquats avec une erreur maximale de l'évaporation annuelle de 6%. Le dernier barrage-réservoir, peu de modèles donnent acceptables résultats nous les citons : Hargreaves-Samani (1982) et Berti et al (2014) avec une erreur maximale de l'évaporation annuelle de 13% ($NSE=0,69$, $RSR =0,55$).

- Les méthodes basées sur la température de l'air, nous avons conclu que parmi les neuf modèles seuls les cinq modèles suivants donnent des bons résultats : les modèles de Kharrufa (1985) et Linacre (1977) sont applicable pour l'estimation de l'évaporation des cinq barrages-réservoirs avec de très bonnes résultats :

- Kharrufa (1985) : $0,70 \leq NSE \leq 0,97$; $0,79 \leq R^2 \leq 0,99$; $0,16 \leq RSR \leq 0,54$.
- Linacre (1977) : $0,74 \leq NSE \leq 0,99$; $0,74 \leq R^2 \leq 1,00$; $0,12 \leq RSR \leq 0,51$

Bien que, les modèles de Boutoutaou (2011) et Szász (1973) sont parfait pour l'estimation des trois barrages-réservoirs de Fontaine des Gazelles, Fom El-Gherza et Brézina :

- Botoutaou (2011) : $0,81 \leq NSE \leq 0,99$; $0,96 \leq R^2 \leq 1,00$; $0,11 \leq RSR \leq 0,44$.
- Szász (1973) : $0,81 \leq NSE \leq 0,99$; $0,95 \leq R^2 \leq 1,00$; $0,09 \leq RSR \leq 0,43$.

- Les modèles proposés pour les cinq barrages-réservoirs : Djorf-Torba (Modèle-1), Fontaine des Gazelles et Foum El-Gherza (Modèle-2), Brézina (Modèle-3), Foum – El-Guiess (Modèle-4) et aussi pour les cinq barrages-réservoirs (Deux modèles A et B) montrent que :

-**Le modèle-1** : est un modèle de régression linéaire multiple, donne des excellentes estimations de l'évaporation du barrage-réservoir de Djorf-Torba (Béchar). L'évaporation annuelle estimée égale à celle mesurée 2569,82. Les tracés des deux courbes sont presque identiques. Les indexes statistiques montrent une excellente performance : $NSE=0,99$; $RMSE= 11,62$; $MBE=3,36$; $R^2=0,98$; $RSR=0,10$.

-**Le modèle-2** : est aussi un modèle à régression linéaire multiple, donne des excellentes estimations de l'évaporation des deux barrages-réservoirs de Fontaine des Gazelles et Foum El-Gherza (Biskra). Les erreurs de l'évaporation annuelles estimées sont de -4% et 5%. Leurs indexes statistiques montrent des excellentes performances :

- Barrage Fontaine des Gazelles : $NSE=0,99$; $RMSE= 9,79$; $MBE=2,83$; $R^2=1,00$; $RSR=0,09$.
- Barrage Foum El-Gherza : $NSE=0,97$; $RMSE= 17,50$; $MBE=5,05$; $R^2=0,99$; $RSR=0,16$.

-**Le modèle-3** : est aussi un modèle à régression linéaire multiple, donne des excellentes estimations de l'évaporation pour le barrage-réservoir de Brézina (El-Bayadh). Ces résultats graphiques et numériques sont très satisfaisants. L'erreur de l'évaporation annuelle estimée est de 0%.

$$NSE=1,00; RMSE= 10,78; MBE=3,11; R^2=0,99; RSR=0, 01$$

-**Le modèle-4** : ce modèle est proposé pour l'estimation de l'évaporation du barrage-réservoir de Foum El-Guiess (Khenchela) est un modèle à régression linéaire multiple, il peut être considéré pour l'estimation de l'évaporation de ce barrage-réservoir. L'erreur de l'évaporation annuelle estimée est de 0%. Ce modèle à une très bonne performance :

$$NSE= 0,99; RMSE= 6,11; MBE=1,76; R^2=0,99; RSR= 0,10.$$

-**Le modèle-A** : ce modèle est proposé pour l'estimation de l'évaporation des cinq barrages-réservoirs : Djorf-Torba, Fontaine des Gazelles, Foum El-Gherza, Brézina et Foum El-Guiess. Ce modèle –A- suit une distribution normale et homogène. L'erreur maximale de l'évaporation annuelle est de 27%. Les indexes statistiques pour chaque barrage-réservoir montrent de bonnes performances / très bonnes performances :

- Barrage Fontaine des Gazelles : $NSE=0,83$; $RMSE=47,82$; $MBE=13,80$; $R^2=0,94$; $RSR=0,41$;
- Barrage Foum El-Gherza : $NSE=0,92$; $RMSE= 30,30$; $MBE=8,75$; $R^2=0,95$; $RSR=0,27$;
- Barrage Djorf-Torba: $NSE=0,86$; $RMSE= 43,53$; $MBE=12,57$; $R^2=0,84$; $RSR=0,38$;
- Barrage Brézina: $NSE=0,99$; $RMSE= 60,59$; $MBE=17,49$; $R^2=0,90$; $RSR=0, 09$;
- Barrage Foum El-Guiess : $NSE=0,70$; $RMSE= 32,94$; $MBE=9,51$; $R^2=0,98$; $RSR=0,54$.

-**Le modèle-B** : c'est un deuxième modèle proposé avec plus de précision pour les estimations de l'évaporation des cinq barrages-réservoir étudiés. Ce modèle suit aussi une distribution normale et homogène. L'erreur maximale annuelle de l'estimation de l'évaporation est de 21%. Les indexes statistiques montrent une très bonne performance et de très bon résultats graphiques :

- Barrage Fontaine des gazelles : $NSE=0,89$; $RMSE=38,16$; $MBE=11,02$; $R^2=0,95$; $RSR=0,33$;
- Barrage Foum El-Gherza : $NSE=0,94$; $RMSE= 25,98$; $MBE=7,50$; $R^2=0,96$; $RSR=0,24$;
- Barrage Djorf-Torba: $NSE=0,83$; $RMSE= 47,28$; $MBE=13,65$; $R^2=0,80$; $RSR=0,41$;
- Barrage Brézina: $NSE=1,00$; $RMSE= 35,91$; $MBE=10,37$; $R^2=0,94$; $RSR=0,05$;
- Barrage Foum El-Guiess : $NSE=0,81$; $RMSE= 27,25$; $MBE=7,87$; $R^2=0,99$; $RSR=0,44$.

A titre de comparaison avec les deux modèles de Linacre (1977) et Kharrufa (1985) qui donnent des bons résultats numériques avec les cinq barrages-réservoirs on constate que les deux modèles A et B proposés sont aussi adéquats.

Nous recommandons l'utilisation des deux modèles proposés pour chaque un des barrages-réservoirs pour l'estimation de l'évaporation : Modèle- 1, Modèle-2, Modèle-3 et modèle-4 puisqu'ils donnent des excellentes résultats numériques et graphiques. En ce qui concernant, les deux-modèles A et B. On suggère de choisir le deuxième modèle (B) puisque sa fiabilité a été approuvée numériquement et graphiquement. Ces deux modèles peuvent être un sujet expérimental d'une amélioration numérique des constantes des équations proposées.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abtew W., 1996. Evapotranspiration measurement and modeling for three wetland systems in South Florida. *Water Resources Bulletin*, vol. 32, n° 3, p. 465-473.
- Abdesselam S., 1999. Contribution à l'étude des sols gypseux au Nord-Est du Sahara Algérien : Caractérisation et Genèse. Cas des oasis de Tolga (Région des Zibans). Thèse Mag., I.N.A., El-Harrach, 147p.
- Aubert Georges, 1960. Les sols de la zone aride. Etude de leur formation, de leurs caractères, de leur utilisation et de leur conservation. Colloque général sur les problèmes de la zone aride. 11-12 Mai, Paris. France.
- Ashikur Rahman, Md. Mizanur Rahman, Noor AjianMohd. Lair, Chi Ming Chu., 2015. Preliminary Data of Evaporation Characteristics for an Open Pond in East Malaysia. *Journal of Applied Science and Agriculture* ISSN 1816-9112. 10(5) Special 2015, Pages: 6-12.
- ANAT, 2004. ANAT (Agence Nationale de l'Aménagement du Territoire), 2004. Carte bioclimatique de l'Algérie [Bioclimatic map of Algeria].
- ANBT (Agence National de barrages et transferts), 2019. Monthly reports of evaporation measurements by pan (Foum El-Guiness dam (Khenchela), Foum El-Gherza, Fontaine des Gazelles Dams (Biskra), Djorf-Torba Dam (Bechar) and Brezina Dam (El-Bayadh), Algeria.
- ANRH (Agence National des Ressources hydriques), 2012. Une agence au service du développement du secteur de l'eau. Communication présentée par Taibi Rashid. Morocco.
- Aquastat, Algérie, 2015. Aquastat Program, Dams and agriculture in Africa.
- Blaney HF., 1959. Monthly consumptive use requirements for irrigated crops, *J Irrig Drain Div Amer Soc Civil Eng* 85(IR1):1-12.
- Boutoutaou D., 2011. Note sur l'évaporation des plans d'eau (barrage, lac, cours d'eau, chott, sebkha, etc) en Algérie, 1er Séminaire International sur la Ressource en eau au Sahara : Evaluation, Economie et Protection, le 19 et 20 janvier 2011, Ouargla, PP 294-302.
- Boutoutaou D., Saker M. L., Daddi Bouhoun M., Saggai S. et Ould El Hadj M. D., 2012. Détermination de l'évaporation des surfaces des plans d'eau pour les conditions climatiques de l'Algérie. *Algerian journal of arid environment*, vol 2, No.2, pp. 94-10.
- Belkhouja K., 1970. - Origine, évolution et caractères de la salinité dans les sols de la plaine de Kairouan. Thèse doct. Ing., Toulouse. Bull. Division des Sols No. 4 DRES Tunis.
- Benslimane M., Hamimed A., El Zerey W., Khaldi A. et Mederbal K., 2008. « Analyse et suivi du phénomène de la désertification en Algérie du nord », *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Volume 8 Numéro 3 | décembre 2008, mis en ligne le 18 février 2009, consulté le 31 mai 2021.
- Boudjellal lazhar, 2009. Rôle de l'oasis dans la création de l'îlot de fraîcheur dans les zones chaudes et arides. « Cas de l'oasis de Chetma -Biskra -Algérie ». Mémoire de Magister. Option : Architecture Bioclimatique. Université de Constantine.
- Benchetrit M., 1956. Les sols d'Algérie. In : *Revue de géographie alpine*, tome 44, n°4, 1956. pp. 749-761 ; doi : 10.3406/rga.1956.1790.
- Berti, A., Tardivo, G., Chiaudani, A., Rech, F. & Borin, M., 2014. Assessing reference evapotranspiration by the Hargreaves method in north-eastern Italy. *Agr Water Manage* 140, 20-25, doi : 10.1016/j.agwat.2014.03.015.
- Bouteyre Guy, Loyer Jean-Yves. (1992). Sols salés, eaux saumâtres des régions arides tropicales et méditerranéennes : principaux faciès, conséquences pour l'agriculture.
- Brockamp, B.; Wenner, H., 1963. Verdunstungsmessungen auf den Steiner see bei münster. *Dt Gewässerkundl Mitt*, 7, 149-154.
- Brutsaert, W., & Stricker, H. (1979). An advection-aridity approach to estimate actual regional evapotranspiration. *Water resources research*, 15(2), 443-450.

- Doorenbos, J., Pruitt, W.O., 1977. "Guidelines to Crop water requirements". Irrigation and Drainage. Paper No. 24 (revised), FAO, Rome, Italy, 144. pp.
- BIM, 2014. Bulletin d'information mensuel. Reconnaissance, préservation et aménagement des sols calcaires, gypseux et salés en Algérie. BMI n°21. Février. 2014.
- Caprio, J.M. 1974. The solar thermal unit concept in problems related to plant development and potential evapotranspiration. In Phenology and Seasonality Modeling; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, pp. 353–364.
- CNULD, 2011. Une désertification. Une synthèse visuelle. Zoi Environnement Network. ISBN 978-92-95043-51-0. Kit d'informations CNULD - en français.
- Christian Floret & Roger Pontanier., 1948. Aridité climatique, aridité édaphique, Bulletin de la Société Botanique de France. Actualités Botaniques, 131 :2-4, 265-275, DOI : 10.1080/01811789.1984.10826667.
- Cherbuy B., 1991. Les sols salés et leur réhabilitation. Etude bibliographique. Cemagraf, école. Nat. Renne, 170 p.
- Chehma A., 2011. Caractéristiques floristiques et nutritionnelles faces aux variations climatiques. Effet du Changement Climatique sur l'élevage et la gestion durable des parcours dans les zones arides et semi-arides du Maghreb ». Université Kasdi Merbah - Ouargla- Algérie, du 21 au 24 Novembre 2011.
- Cluis D., 1972. INRS-EAU. Relation entre la température de l'eau d'une rivière et la température de l'air ambiant. Rapport scientifique n°3. Université du Québec. Canada.
- Dalton, J. (1802). Experimental Essays on the Constitution of Mixed Gases: On the Force of Steam or Vapour from Water or Other Liquids in Different Temperatures, Both in a Torricelli Vacuum and in Air; on Evaporation; and on Expansion of Gases by Heat. Memoirs of the Literary and Philosophical Society of Manchester, 5, 536-602.
- Daoud Y et Halitim A., 1994. Irrigation et Salinisation au Sahara Algérien. Sécheresse. 3 (5), pp : 151- 160. argileux. Thèses doctorat d'état. INA. Alger, 193 p.
- Darwish M., 1998. Process-based aerodynamic roughness model for evaporation predictions from free water surfaces. Thèse de doctorat en Ingénierie interdisciplinaire, Texas Tech Université, 209 p.
- Denden M., Bettaieb T., Sahli A., Mathlouthi M., 2005. Effet de la salinité sur la fluorescence chlorophyllienne, la teneur en proline et la production florale de trois espèces ornementales. Tropicultura. Vol. 23 N°4, pp 220-226.
- DeBruin, H. A. R., 1978. A simple model for shallow lake evaporation, J. Applied Meteorology, 17: 1132-1134.
- DeBruin, H.A.R.; Keijman, J.Q. The Priestley-Taylor evaporation model applied to a large, shallow lake in the Netherlands. J. Appl. Meteorol. 1979, 18, 898–903.
- Durand J.H., 1954. Les sols d'Algérie. Service des études scientifiques. Pédologie, N°2. Nouvelle édition, 140p.
- Daoud Y., Halitim A., 1994. Irrigation et Salinisation au Sahara Algérien. Sécheresse. 3 (5), pp : 151- 160.
- Delleule M., 2016. Évolution des systèmes d'élevage dans les steppes du Maghreb : Enjeux et perspectives. Essai présenté au Centre universitaire de formation en environnement et développement durable. Université de Sherbrooke. Corpus ID : 166013260.
- Djabri L., Hani A. et Foufou A. 2010. La ressource en eau dans le sud algérien. Revue des Régions Arides – Numéro spécial – 24 (2/2010) Actes du 3ème Meeting International "Aridoculture et Cultures Oasisennes : Gestion et Valorisation des Ressources et Applications Biotechnologiques dans les Agrosystèmes Arides et Sahariens" Jerba (Tunisie) 15-16-17/12/2009.

- Djellouli Y, 2016. Ressources en eau des zones arides et semi-arides au Maghreb. Université du Maine. France. Publication Maroc. 1-14 pp.
- Deramchi, 2014. Domaines de coopération proposés par l'agence nationale de gestion intégrée des ressources en eau « Agire ». International Integrated Basin Management Workshop 24th of February 2014. Algeria.
- Demmak, 2012. La gouvernance des eaux souterraines l'exemple de l'Algérie. Regional consultation resources gouvernance in arab states region. October 2012. Amman. Jordan.
- Djili K., 2000. Contribution à la connaissance des sols du Nord de l'Algérie : Création d'une banque de données informatisées et l'utilisation d'un système d'information géographique pour la spatialisation et la vectorisation des données pédologique. Thèse doc. INA. Alger. 384p.
- Derouiche G, 2007. Les risqué climatiques et agriculture algérienne. Séminaire sur les risques agricoles assurances et réassurances. Alger. 10 Juin 2007.
- Droogers, P. and Allen, R.G., 2002. Estimating Reference Evapotranspiration under Inaccurate Data Conditions. Irrigation Drainage System, 16, 33-45.
- Doorenbos, J., and Pruitt, W.O., 1977. "Guidelines for predicting crop water requirements." FAO Irrig. and Drain. Paper No. 24, 2nd ed, Food and Agriculture Organization, United Nations, Rome, Italy. 156 pp.
- Dooge J.-C.-I., 1974. The development of hydrological concepts in Britain and Ireland between 1674 and 1874. Hydrological Sciences Bulletin, 19 : 3, 279-302.
- DTCSRC, 2015. La Direction Technique Chargée des Statistiques Régionales et de la Cartographie. Statistiques sur l'environnement. Office National des Statistiques - ALGER -Statistique sur l'Environnement / Office National des Statistiques.
- El Mahi A., (2002), Déficit pluviométrique des dernières décennies en Algérie du Nord et son impact sur les ressources en eau. Mémoire de Magister, Centre Universitaire de Mascara, 120 p.
- Fekih M., Bourabaa A and Saighi M., 2013. Evaluation of two methods for estimation of evaporation from Dams water in arid and semi arid areas in Algeria, International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAIEEM), Volume 2, Issue 1, January 2013, ISSN 2319 – 4847, PP376-381.
- F.A.O, 2005. Annuaire statistique de la FAO.
- F.A.O. 2014. The Near East and North Africa (NENA)Soil Partnership Conference. 17th - 19th June 2014 Quality Suites Amman Hotel, Amman, Jordan. P 07.
- Gianniou S.K., Antonopoulos V. Z., 2000. Evaporation and energy budget in Lake Vegoritis, Greece. Journal of Hydrology, 345, 212– 223.
- Hadeid M., 2009. Politiques de développement régional dans les Hautes Plaines occidentales algériennes : un bilan mitigé. Varia (2004-2010).
<https://doi.org/10.4000/developpementdurable.8190>.
- Haddouche I., Saidi S., et Toutain B., 2009. La télédétection et la dynamique des paysages en milieu aride en Algérie : le cas de la région de Naâma. Séminaire « énergies, changements climatiques et développement durable ». Hammamet (Tunisie), 15,16 et 17 juin 2009.
- Hamon, W.R., 1961. Estimating potential evapotranspiration. J. Hydraul. Div. Proc Am. Soc. Civ. Eng. 87, 107–120.
- Hamon, W.R., 1963. Computation of direct runoff amounts from storm rainfall. Intl. Assoc. Scientific Hydrol. Publ. 63, 52–62.
- Hargreaves, G.H., Samani, Z.A., (1982). "Reference crop evapotranspiration from temperature", Applied Engineering in Agriculture, Vol.1 No.2: 96-99.
- Harbeck, G. E., et al., 1985. `Water loss investigations, Lake Mead studies', U.S. Geological Survey Professional Paper 298. US Government Printing Office, Washington, D.C.

- Hypatie Nassopoulos, 2012. Les impacts du changement climatique sur les ressources en eaux en Méditerranée. Economies et nuances. Université Paris-Est, 2012. Français.
- Houamel, 2018. Les steppes d'armoise blanche (*Artemisia herba-alb* Asso) dans l'Est Algérien : répartition actuelle, biodiversité, dynamique et conditions de durabilité. Thèse de doctorat. Université de Biskra.
- Halitim A., 1988. Les sols des régions arides d'Algérie. Ed. OPU., 361p.
- Hamdi A, 1999. Saline irrigation and management for sustainable use In: Advanced Short Course on saline irrigation Proceeding, Agadir.152-227.
- Hammia I., 2012. Impact de l'irrigation sur la salinisation des sols dans les palmeraies d'Oued Righ. Mém. Ing. Agro, université d'Ouargla, p18.
- Hufty A., 2001. Introduction à la climatologie. Le rayonnement et la température, l'atmosphère, l'eau, le climat et l'activité humaine. Editions De Boeck Supérieur, 542 p.
- Izady A., Sanikhani H., Abdalla O., Chen M and Kisi O., 2017. Impurity effect on clear water evaporation: toward modelling wastewater evaporation using ANN, ANFIS-SC and GEP techniques, Hydrological Sciences Journal.
- Jensen ME, and Haise HR., 1963. Estimating evapotranspiration from solar radiation, J Irrig Drain Div ASCE 89 :15-41.
- Jabi. N et Rousselle. J, 1990. Hydrologie fondamentale, .2^e édition revue et corrigée département de génie civil Ecole Polytechnique de Montréal. Canada.
- Khadraoui A., 2015. Gestion des ressources en eau souterraines au Sahara Algérien. ABH Sahara. Algérie.
- Kerrache G., 2011. Caractéristiques et gestion des formations forestières en Algérie. Cours en ligne. Université de Tlemcen.
- Kumar. P. G, Rasul. D, Kumar., 2013. Evaporation Estimation from Climatic Factors, Pakistan Journal of Meteorology, Vol, 9, Issue 18, PP 51-57.
- Kuzmin, P.O., 1957: «Hydrological investigation of land waters». *Bulletin of the International Association of Scientific Hydrology*, Volume 3, p. 468-478.
- Kabour A et al, 2011. Évaluation et gestion des ressources hydriques dans une zone aride. Cas de la ville de Béchar (sud ouest algérien). Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 09, Décembre 2011, pp. 7-19.
- Kharrufa, N.S. (1985) Simplified equation for evapotranspiration in arid regions. *Beiträge zur Hydrologie*. Sonderheft 5(1), 39-47.
- Konstantinov, A. R. 1968. Evaporation in Nature. Leningrad.
- Lacoste Y., 2003. De la géopolitique au paysage, dictionnaire de la géographie, Paris, A. Colin, 413p.
- Liu H, Blanken P D, Weidinger T, Nordbo A and Vesala T., 2011. Variability in cold front activities modulating cool-season evaporation from a southern inland water in the USA, *Environ, Res, Lett*, 6 024022.
- Zhao, X., Liu, Y., 2014. Lake fluctuation effectively regulates wetland evapo-transpiration: A case study of the largest Freshwater Lake in China, *Water* 2014, 6, 2482-2500.
- Linacre, E. T. 1977. A simple formula for estimating evaporation rates in various climates, using temperature data alone. *Agricultural Meteorology*, 18(6), 409-424. [https://doi.org/10.1016/0002-1571\(77\)90007-3](https://doi.org/10.1016/0002-1571(77)90007-3).
- Liu Xiao, Jingjie Yu, Ping Wang, Yichi Zhang and Chaoyang Du., 2016. Lake Evaporation in a Hyper-Arid Environment, Northwest of China—Measurement and Estimation. *Water Journal*, 8, 527; doi:10.3390/w8110527.
- Mahringer W., 1970. Verdunstungsstudien am Neusiedler See. *Archiv für Meteorologie Geophysik und Bioklimatologie*, série B, n° 18, p. 1-20.

- Massuel, S., J. Perrin, C. Mascré, W. Mohamed, A. Boisson and S. Ahmed, 2014. Managed aquifer recharge in South India: What to expect from small percolation tanks in hard rock. *J. Hydrol.*, 512:157-167.
- McGuinness JL, Bordne EF. 1972. A Comparison of Lysimeter-derived Potential Evapotranspiration with Computed Values. Technical Bulletin 1452, Agricultural Research Service, US Department of Agriculture: Washington, DC; 71 pp.
- Manière R. et Chamignon C., 1986 - Cartographie de l'occupation des terres en zones arides méditerranéennes par télédétection spatiale. Exemple d'application sur les hautes plaines sud oranaises ; Mécheria au 1/200.000^{ème}.
- Martínez-Granados, D, Maestre-Valero, J. F., Calatrava, J. Martínez-Alvarez, V., 2011. The economic impact of water evaporation losses from water reservoirs in the Segura Basin, SE Spain, *Water Resour. Manage.*, 25, 3153–3175, <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-011-9850-x>.
- Marvin E J, 2010. Estimating evaporation from water surfaces, CSU/ARS Evapo-transpiration Workshop, Fort Collins, CO, 15-Mar-2010, PP 1.
- Mus A., HIGY C., 2004, *Hydrologie (1. Une science de la nature)*, Presses polytechniques et universitaires romandes, (21), 314 p.
- MRE. 2012. Le ministère des ressources en eaux. Atelier technique. Utilisation des technologies spatiales au service des ressources en eau. Utilisation des technologies spatiales au service du secteur de l'eau. 22 novembre 2012. Alger.
- MADRP, 2015. Country Summary Report outline: Towards achieving Land Degradation Neutrality: turning the concept into practice. Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et de la Pêche. Algérie.
- MATE, 2015. Etude diagnostique sur la Biodiversité & les changements climatiques en Algérie. Rapport final. Février 2015. PROJET MATE-PNUD-FEM. Algérie.
- Madani D., 2008. Relation entre le couvert végétal et les conditions édaphiques en zone a déficit hydrique. Thèse de Magistère. Université de Batna. Algérie.
- Majidi, M., A. Alizadeh, A. Farid and M. Vazifedoust, 2015. Estimating evaporation from lakes and reservoirs under limited data condition in a semi-arid region. *Water Resour. Manage.*, 29 :3711-3733.
- Mediouni K., 1997 Organisation et potentialités de la diversité biologique Algérienne. Min. Envi., Tome II, Projet Alg. / 97/ G31/ FEM/PNUD.
- McCuen, R. H., 1998. *Hydrologic analysis and design*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- Meyer, A. F. 1915. 'Computing run from rainfall and other physical data', *Trans. Am. Soc. Civ. Eng.*, 79, 1055±1155.
- Meyer, A., 1926. Üeber einige zusammenhänge zwischen klima und boden in Europa. *ETH Zur.* 1926, 2, 209–347.
- Milly, P.C.D., 1991. Moisture and heat transport in hysteretic, inhomogeneous porous media: amatric head-based formulation and numerical model. *Water Resour. Res.* 18(3): 489–498.
- Musy A, 2004. Cours hydrologie générale chapitre 1, Ecole polytechnique Fédérale Lausanne.
- Mohammad Aldomany. 2017. L'évaporation dans le bilan hydrologique des étangs du Centre-Ouest de la France (Brenne et Limousin). Géographie. Université d'Orléans. Français.
- Moriasi D, N et al., 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations, *Transactions of the ASABE*, 50 (3), 885–900.
- Moulla, A.S., Guendouz, A.H., Cherchali, M.E.H., Chaid, Z., Ouarezki, S., 2012. Updated geochemical and isotopic data from the Continental Intercalaire aquifer in the Great Occidental Erg sub-basin (south-western Algeria). *Quat. Int.* 257, 64–73. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2011.08.038>.
- Nash, J, E, & Sutcliffe, J, V., 1970. River flow forecasting through conceptual models: Part I – a discussion of principle, *Journal of Hydrology*, 10, 282–290.

- Nasa Prediction of Worldwide Energy Resources, 2019. Solar and meteorological data sets from NASA research for support of renewable energy, building energy efficiency and agricultural needs. Site web: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>.
- Needham J., 1959. Science and civilization in China. Vol 3: Mathematics and the sciences of the Heavens and Earth. Cambridge Univ. Press, Boston, 897 p.
- NOAA. 2019. Données du rayonnement solaire et la lumière du jour : <https://www.ncdc.noaa.gov/cdo-web/datatools> (accessed on 2019).
- Ould Baba SY, M., 2005. Recharge et paléorecharge du système aquifère du Sahara septentrional, Thèse de doctorat de Géologie, Université de Tunis, 261p.
- Oudin L., 2004. Recherche d'un modèle d'évapotranspiration potentielle pertinent comme entrée d'un modèle pluie-débit global. Thèse de doctorat. L'Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et Forêts. Paris.
- Oudin, L., Hervieu, F., Michel, C., Perrin, C., Andréassian, V., Anctil, F., Loumagne, C., 2005. Which potential evapotranspiration input for a lumped rainfall-runoff model: Part 2— Towards a simple and efficient potential evapotranspiration model for rainfall-runoff modelling. *Journal of hydrology*, 303(1), 290-306.
- Oudja et al., 2016. Perte de capacité dans les barrages situés dans les zones arides et semi-arides. Cas des barrages de Gagar. *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n°25, Mars 2016, pp. 183-201.
- ONS, 2015. Office National des Statistiques – février 2015. Statistiques sur l'environnement. La Direction Technique Chargée des Statistiques Régionales et de la Cartographie Alger, Office National des Statistiques – février 2015.
- Oulhaci D., 2016. Ruissellement interannuel en Algérie septentrionale (relation entre, ruissellement pluie et évaporation). Thèse de doctorat en aménagement et construction hydraulique. Algérie.
- OSS, 2003. North-Western Sahara Aquifer System, Joint Management of a Transboundary Basin, Volume 2: Hydrogeology. Sahara and Sahel Observatory (OSS), Tunis, p. 151. http://www.oss-online.org/sites/default/files/publications/OSS-SASS-resultats_1e_phase_En.pdf.
- Papadakis J., 1961. Climatic tables for the world, Buenos Aires, (Original not seen, cited in Grassi, 1964).
- Penman HL. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass, *Proc R Soc* 193:120–145.
- Penman HL D., 1963. Vegetation and hydrology, Tech, Comm., No. 53, Common wealth Bureau of Soils, Happened, 125 pp.
- Prasad S., Mahajan Lomesh S., Bhagat S, R., Pore S, M., 2017. Estimation of Evaporation, *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, Volume 6, Special Issue 1, PP, 685-689, ISSN (Online): 2319 – 8753.
- Priestley CHB, Taylor RJ, 1972. On the assessment of the surface heat flux and evaporation using large-scale parameters, *Mon, Water Rev*, 100:81-92.
- Piri, J., et al., 2009. Daily pan evaporation modeling in a hot and dry climate, *Journal of Hydrologic Engineering*, 14 (8), 803–811, Doi: 10.1061/(ASCE)HE,1943-5584.0000056.
- Philibert J., 1985. Diffusion et transport de matière dans les solides, *Monographies de Physique*. Les éditions de physique, 472 p.
- Penman HL D., 1963. Vegetation and hydrology, Tech, Comm., No. 53, Common wealth Bureau of Soils, Happened, 125 pp.
- Pédélaborde, P., 1968. Les bilans hydriques. *Cahiers de géographie du Québec*, 12 (25), 5–23. <https://doi.org/10.7202/020784ar>

- Prasad S., Mahajan Lomesh S., Bhagat S, R., Pore S, M., 2017. Estimation of Evaporation, International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, Volume 6, Special Issue 1, PP, 685-689, ISSN (Online): 2319 – 8753.
- Raju R.T., Jinno K. et Wada S.I., 1993. Exchange process at the land surface for a range of space and time scales proceedings of an international symposium held at Yokohama, Japon, 13-16 July 1993.
- Rechachi Z., 2010. *Impact de la qualité des eaux d'irrigation sur la salinisation*. Chap 3 *Les sols de la plaine d'El Outaya*. Magister : Université Mohamed Khider. Biskra.
- Remini B., Leduc C and Hallouche W., 2010. Evolution des grands barrages en régions arides : quelques exemples algériens, Sécheresse Journal, P 98, France.
- Remini B., Bensafia D., 2016. Envasement des barrages dans les régions arides exemples algériens, Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°27, Sept 2016, pp, 63-90.
- Remini B., 2017. Une nouvelle approche de gestion de l'envasement des barrages. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°31, Sept 2017, pp. 51-81
- Ritchie, J. T. (Ed.), 1990. Crop growth models: management of farm irrigation system, in G. J. Hoffman, T. A. Howel, K. H. Solomon (Eds.). ASAE monograph No. 9, ASAE. St. Joseph, Mich., 63–89.
- Ramade F., 1991. Pollution thermique des eaux en éléments d'écologie. Paris. McGraw Hill, 578 p. 299-316.
- Ryan PJ, Harleman DRF., 1973. An analytical and experimental study of transient cooling pond behavior, R, M, Parsons Laboratory, Technical Report No, 161, MIT.
- Roche M. et Dubreuil P. 1961. Résultats obtenus sur les bacs Colorado de l'Afrique de l'Ouest d'expression française. Annuaire hydrologique p. 19 à 26. ORSTOM, Paris, 1961.
- Rohwer, C., 1931. Evaporation from Free Water Surfaces; US Department of Agriculture: Washington, DC, USA.
- Rosenberry D.-O., Stannard D.-I., Winter T.-C., Martinez M.-L., 2004, Comparison of 13 equations for determining evapotranspiration from a prairie wetland, Cottonwood Lake area, North Dakota, USA. *Wetlands*, Vol. 24, No. 3, 483–497.
- Rosenberry D.-O., Winter T.-C., Buso D.-C, Likens G.-E., 2007, Comparison of 15 evaporation methods applied to a small mountain lake in the northeastern USA. *Journal of Hydrology*. 340, 149– 166.
- Salamani M., Kadi Hanifi H., Hirche A., Nedjraoui D., 2012. Évaluation de la sensibilité à la désertification en Algérie. *Rev. Écol. (Terre Vie)*, vol. 67.
- Saadoune, F Z., 2016. Effets de l'amendement en gypse et en DS sur les caractéristiques physico-chimiques et hydriques d'un sol salé d'El-Hmadena. Relizane.
- Saggai S., Boutoutaou D., Manamani R., 2015. Effet des monocouches d'Hexadecanol utilisées pour réduire l'évaporation des plans d'eau sur la spiruline (Résultats préliminaires). *Revue « Nature & Technologie »*. B- Sciences Agronomiques et Biologiques, n° 13/ Juin 2015, Pages 28 à 34.
- Schiffers H., 1971. *Die Sahara und ihre randgebiete*, Ed Weltforum Verlac-Munchen, 674 p.
- Slatyer, R. O. and I. C. McIlroy., 1961. *Practical Microclimatology: with Special Reference to the Water Factor in the Soil-Plant-Atmosphere Relationships*, UNESCO.
- Stewart, R.B., and Rouse, W.R. (1977). "Substantiation of the Priestley-Taylor parameter $\alpha = 1.26$ for potential evaporation at high latitudes." *J. Applied Meteorol.*, 16:649-650.
- Szász, G. (1973): A potenciális párolgás meghatározásának új módszere. [New method for calculating potential evapotranspiration] *Hidrológiai Közlöny*. 435–442. (in Hungarian).
- Schertzer WM., Taylor B., 2009. Report to the Okanagan water supply and demand study on Lake Evaporation: assessment of the capability to compute Lake Evaporation from Lake Okanagan and its Mainstem Lakes using the existing database (Draft Report), Prepared for the Okanagan basin Water Board.

- Shnitnikov A, V., 1974. Current methods for the study of evaporation from water surfaces and evapotranspiration, hydrological sciences bulletin, 19:1, 85-97.
- Schendel U., 1967. Vegetations wasserverbrauch und -wasserbedarf. Habilitation, Kiel. 137 p.
- Shuliakovski, L. G., 1969. Formula for computing evaporation with allowance for the temperature of the free water surface soviet hydrology, selected papers 6.
- Singh, J., Knapp H, V., and Demissie M., 2004. Hydrologic modeling of the Iroquois River watershed using HSPF and SWAT, ISWS CR 2004-08, Champaign, Ill: Illinois State Water Survey.
- Sredazgiprovodkhlopok. 1970. Calculated mean of irrigation norms of agricultural crops in the Syr-Darya and Amu-Darya River basins. Tashkent : SIC. pp. 292.
- Sid Ahmed Bellal et al., 2015. Ressources, usagers et gestionnaires de l'eau en zone semi-aride : Le cas de la wilaya d'Oran (Ouest Algérien). Territoire en mouvement Revue de géographie et aménagement. Gestions alternatives de la ressource en eau : Approches territoriales p 25-26.
- Tabari H. et Talae P.H. 2011. - Local calibration of the Hargreaves and Priestley-Taylor equations for Estimating reference evapotranspiration in arid and cold climates of Iran based on the Penman-Monteith model. Journal of Hydrologic Engineering, vol. 16, n° 10, p.837-845.
- Talia A., Meddi M. 2015. Etude des crues d'oued Seggueur (Sud-Ouest algérien). Conference : Conférence internationale sur sur l'Hydrologie des grands bassins africains At : Hammamet, Tunisie.
- Terra M., 2013. Les réalisations de l'Algérie dans le secteur de l'eau de 1962 à 2012. Journée d'étude, 14 Février Tamenrasset.
- Toumi A., Remini B., 2004. Barrage de Foum El-Gherza face au problème de fuites d'eau. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 03, Juin 2004, pp.25-38
- Toumi A., Remini B., 2018. Perte de la capacité de stockage d'eau au barrage de Beni Haroun, Algérie. Loss of water storage capacity at the Beni Haroun dam, Algeria. SAGREN Vol 02, No 1, pp 80-97.
- Trabert, W., 1896. Neue Beobachtungenuber Verdampfungsgeschwindigkeiten. [New Observations on Evaporation Rates.] Meteorologische Zeitschrift, 13, 261-263.
- Trajkovic S., 2007. Hargreaves versus penman-Monteith under humid conditions. J Irrig Drain Eng ASCE 133(1):38-42.
- Vikulina, Z. A., 1979. Evaluation of the Penman method for the computation of evaporation from water bodies using observed data. *Hydrology of Lakes*, pp. 263-268: IARS Publ, No. 109.
- Valipour, M., 2015. Importance of Solar Radiation, Temperature, Relative Humidity, and Wind Speed for Calculation of Reference. Archives of Agronomy and Soil Science, 6, 239-255.
- Vuglinsky V.-S., 2009. (In) Shiklomanov I.A., 2009. Hydrological Cycle Volume II, Eolss Publishers, 364 p.
- Winter, T. C., 1981. Uncertainties in estimating the water balance of lakes water resour. Bull,17, 82-115.
- Winter, T.C.; Rosenberry, D. O.; Sturrock, A.M. Evaluation of 11 equations for determining evaporation for a small lake in the north central United States. Water Resour. Res. 1995, 31, 983-993.
- WMO, 1966. Measurement and estimation of evaporation and evapotranspiration. *Technical Note* No. 83.
- Wyn Jones G., Gunston H., 1991. Complettement a ryor conflicting approaches to Salinity DDU. Bulletin n 23, pp 7-9.
- Xiao Liu, Jingjie Yu, Ping Wang, Yichi Zhang and Chaoyang Du., 2016. Lake Evaporation in a Hyper-Arid Environment, Northwest of China-Measurement and Estimation, Journal Water 2016, 8, 527.
- Yagoubi Mohamed. ; Temar Toufik., 2008. L'impact du phénomène de la désertification sur le développement durable. Revue Des économies nord Africaines N°5. P 73.

- Yaël Kouzmine, 2008. Dynamiques et mutations territoriales du Sahara algérien vers de nouvelles approches fondées sur l'observation. Géographie. Université de Franche-Comité. Français.
- ONM, 2008. Office Nationale de la Météorologie, <http://www.meteo.dz/>
- Irmak, S., Irmak, A., Allen, R.G., Jones, J.W., 2003. Solar and net radiation-based equations to estimate refer-ence evapotranspiration in humid climates. J. Irrig. Drain. Eng. ASCE 129 (5), 336–347, [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2003\)129:5\(336\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2003)129:5(336)).