

# MODELISATION ET ANALYSE DE LA SERIE CHRONOLOGIQUE DE PRODUCTION D'EAU DE CONSOMMATION PAR LISSAGE EXPONENTIEL

A. MESSAMEH, N. LOUDJANI, M. T. BOUZIANE

Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface LARHYSS  
Faculté des Sciences et de la technologie, Université de Biskra Algérie  
[a.messameh@univ-biskra.dz](mailto:a.messameh@univ-biskra.dz)

## RESUME

L'analyse des séries temporelles et plus particulièrement la prévision à court et moyen terme, a connu un développement important. La prévision est fondamentale dans la mesure où elle est à la base de la prise de décision optimale. Prévoir le comportement futur d'une série chronologique, nécessite l'utilisation de plusieurs méthodes de prévision, car nous avons constaté que la fiabilité d'une méthode de prévision ne dépend pas seulement de sa complexité théorique, mais aussi des données, de l'information disponible et du champs d'application. L'objectif de la modélisation de la série temporelle observée est de prédire son comportement futur à travers la détermination d'un lisseur approprié de la série des données observées. Dans cette étude Le problème de lissage est traité de façon non paramétrique en utilisant les lisseurs exponentiels qui permettent d'accorder un poids plus important aux valeurs récentes de la chronique. Un modèle de prévision de la production d'eau de consommation à partir des champs captant de la ville de Biskra est proposé. Les données hebdomadaires proviennent de l'Algérienne Des Eaux (ADE), couvrent la période de janvier 2009 à Décembre 2011. L'ensemble des résultats a permis de faire la prévision à un horizon donnée après le calage et validation de modèle et de fournir quelques éléments de réponse sur la forme de la série à long terme et sur la série des résidus obtenue (série observée – série lissée).

**MOTS CLÉS:** modélisation, séries chronologique, prévision, lissage exponentiel, Biskra

## ABSTRACT

The time series analysis and forecasting especially the short and medium term, has been an important development. Forecasting is fundamental to the extent that it is based on the optimal decision making. Predict the future behavior of a time series requires the use of several methods of forecasting, because we found the reliability of a prediction method depends not only on its theoretical complexity, but also data, the available information and application fields. The objective of modeling the observed time series is to predict its future behavior by the determination of an appropriate smoothing of the observed series data. In this study the problem of smoothing is treated using exponential smoothing which allows giving more weight to recent values of the time series. A predictive model for the production of drinking water from fields capturing of Biskra city is proposed. Weekly data from the Public authority (ADE) cover the period from January 2009 to December 2011. The results led to the forecast horizon given after calibration and validation model and provide some answers in the form of long-term series and residual series obtained (observed series - smoothed series).

**KEYWORDS:** modeling, time series, forecasting, exponential smoothing, Biskra

## 1 INTRODUCTION

La ville de Biskra est située au Sud-Est de l'Algérie, dans une zone semi-aride. La pluviométrie moyenne annuelle dans la région est faible mais les variations interannuelles sont très fortes. Les Ressources mobilisées proviennent de 58 forages repartaient en deux grands champs captant : Champ captant externe et champ captant interne : (Source ADE)

- Le premier champ captant externe de l'oued Biskra constitué de 12 forages est situé au Nord de la ville de

Biskra. Ce champ alimente 03 zones: centre-ville, El-Alia Nord et zone Ouest. La profondeur varie entre 130 à 150 m.

- Le second champ captant externe (El-Megloub) est constitué de 9 forages plus récent de 8-23 ans, mais contrairement ils sont plus profonds allant jusqu'au 200 m. La totalité de ces forages, desservent la ville de Biskra à partir d'un réservoir de 500 m<sup>3</sup> servant comme une station collectrice, à travers un réseau d'adduction de 38 Km à l'exception des 2 forages desservant les localités de Choucha et de Hadjeb-ville.

- Un champ captant interne comportant 18 forages implantés selon les besoins à l'intérieur de la ville de Biskra, avec une profondeur varie entre 50 – 160 m.
- Deux nouveaux champs ( Droh et Oued Zmor).

L'ADE unité de Biskra, prend en charge la gestion de l'eau du cinq (05) communes en matière : Production, distribution, maintenance, et entretien des réseaux d'AEP.

Elle assure l'approvisionnement en eau potable des 226604 habitants, par l'exploitation de (58) forages de la Wilaya de BISKRA et (31) réservoirs d'une capacité de 65700 m<sup>3</sup>, à travers un réseau d'AEP de 411698 ml dont 104740 ml réseau adduction et 306958 ml réseau distribution.

## 2 DONNEES ET METHODES

### 2.1 Données

Toutes les données utilisées dans cette étude proviennent de l'organisme publique chargé de la gestion et la production d'eau potable l'Algérienne des Eaux (ADE). Pour analyser la demande de l'eau sur le territoire de la wilaya de Biskra, nous avons examiné ces données regroupées dans deux types de bases de données. La première regroupe la raison sociale de l'abonné, son adresse, son code client et son type. La deuxième renferme le code abonné, son type, date de facturation, montant facturé, ancien solde, nouveau solde, quantité trimestrielle consommée, quantités consommées de la première à la quatrième tranche.

Il est important de bien identifier le cycle de l'eau de consommation à l'intérieur de la zone d'étude. La consommation d'eau potable, depuis le captage de l'eau jusqu'à son rejet dans le milieu naturel, se caractérise par un cycle constitué de plusieurs phases : le captage, le traitement, la distribution, l'utilisation et l'évacuation et l'épuration. (Source ADE)

Tout au long du cycle de l'eau de consommation, diverses données sont, dans la majorité des cas, recueillies systématiquement. Parmi celles-ci, on retrouve principalement les volumes de production d'eau potable. Ces données prises quotidiennement forment des séries temporelles. Cette présentation sur le cycle de l'eau de consommation ainsi que sur les modes de gestion actuels démontre que les séries temporelles enregistrées s'inscrivent à l'intérieur d'un processus complexe et que leur analyse mérite une attention particulière.

La simple visualisation des données de production sur une période de plusieurs années amène à constater la présence de tendances et de cycles répétitifs. On peut facilement cibler les périodes de fortes consommations et leurs amplitudes vis-à-vis les périodes de consommations. La figure 01 montre les données de production (volume produit 2009-2010) d'un forage F1 du champ Captant Oued el Hai pour une période de deux ans

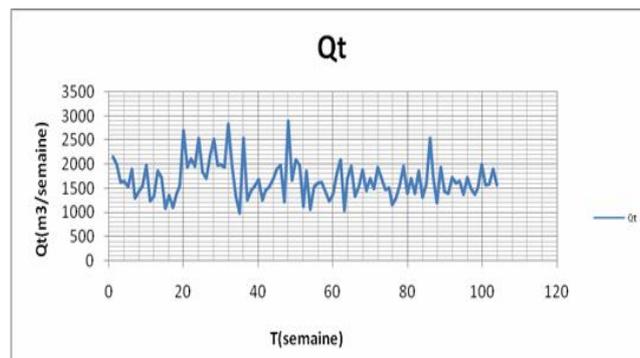


Figure 1: Données de production de l'eau de la Ville de BISKRA (2009-2010) (Forage F1 champ captant oued El Hai)

C'est en visualisant des séries de consommation d'eau potable en fonction du temps que l'idée est venue de considérer comme un processus possédant deux composantes principales; une déterministe et un autre aléatoire. La composante déterministe sera utilisée pour la génération d'un modèle de la consommation d'eau potable. Nous allons essayer de répondre à la question suivante: Quelle est la méthode de prévision la plus adéquate pour prédire la consommation futur?

### 2.2 Méthodes

L'analyse des séries chronologiques est basée sur ces trois éléments : Décrire, Expliquer et Prévoir. L'application sur une série de données de production d'eau potable des diverses techniques conduisant à la génération d'un modèle de consommation. Ce modèle peut être la juxtaposition par addition ou par multiplication des composantes déterministe et stochastique. Autrement dit, de tendance, des variations saisonnières et des variations accidentelles. Ces composantes peuvent être interpréter comme des facteurs expliquant les variations de la variable étudiée [5], [1]

La représentation graphique des observations permet d'apprécier l'évolution de la production d'eau potable hebdomadaire en fonction du temps. Cette représentation est très utile pour le choix d'un modèle, elle peut faire apparaître l'évolution des phénomènes (la tendance, variation saisonnière, variation aléatoire, corrigé des variations saisonnières CVS). A titre d'illustration, considérant le forage F1 du champ captant interne:

Le graphique 02 présente les variations temporelles de la demande de l'eau sur l'ensemble de la période, on observe une forte variation dans l'année 2009-2010

Une première analyse de ces graphiques montre une forte volatilité de la demande d'eau hebdomadaire et un recul de la consommation depuis troisième semaine-2009

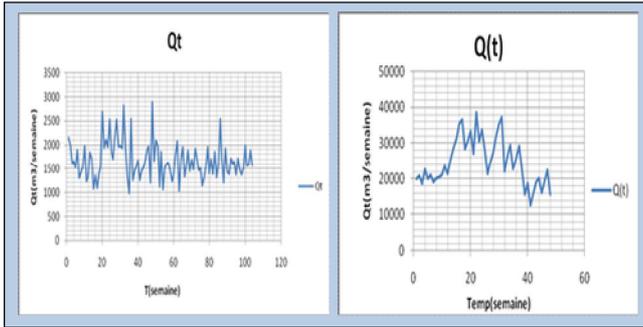


Figure 2: Evolution des volumes d'eau potable produit à BISKRA (Gauche : données 2009 et 2010 Droite : données de 2011, Source ADE BISKRA)

2.2.1 PREVISION PAR LISSAGE EXPONENTIEL

Les techniques de lissage exponentiel datent du début des années soixante (Holt et Winters en 1960, Brown en 1962). Leurs performances qu'elles procurent justifient amplement leur utilisation. Ce type de lissage regroupe l'ensemble des techniques empiriques qui ont pour caractéristiques communes d'accorder un poids plus important aux valeurs récentes de la chronique. Nous avons examiné 03 types de lisseurs : [5], [2]

- Lissage exponentiel simple
- Lissage exponentiel double
- Lissage de Holt-Winters

2.2.2 Le lissage exponentiel simple

Le lissage exponentiel simple permet de faire des prévisions pour des séries chronologiques dont la tendance est constante et sans saisonnalité. L'idée de base est de calculer la prévision pour le temps t+1, comme moyenne pondérée de :

- La dernière observation disponible ( $y_t$ )
- La dernière prévision calculée ( $\hat{y}_{t-1}$ )

Au moyen de la formule suivante :

$$\hat{y}_t = \alpha * y_t + (1 - \alpha) \hat{y}_{t-1} \tag{1}$$

Avec  $\hat{y} = y_1$  pour une prévision initiale. Il faut choisir la constante de lissage  $\alpha$ , comprise entre 0 et 1 qui donne une prévision qui s'ajuste le mieux au sens des moindres carrés pondérés.

2.2.3 LE LISSAGE EXPONENTIEL DOUBLE

Le lissage exponentiel double généralise l'idée du lissage exponentiel simple au cas où la série peut être ajustée par une droite au voisinage de T. On cherche dans ce cas une prévision à l'horizon h,  $Y(h)$  de la forme :

$$\hat{Y}_{T+h} = a_{0t} + a_{1t} h \tag{2}$$

Les formules précédentes permettent de calculer une

prévision pour des séries chronologiques stationnaires, sans tendance. Comme son nom l'indique, la technique du lissage double consiste à effectuer un lissage de la série déjà lissée.

$$S_t = \alpha Y_t + (1 - \alpha) S_{t-1} \tag{3}$$

$$Sst = \alpha S_t + (1 - \alpha) Sst_{t-1} \tag{4}$$

$$a_{1t} = \alpha / (1 - \alpha) * (st - sst) \tag{5}$$

$$a_{0t} = 2st - sst \tag{6}$$

Où

$S_t = \hat{y}_t$  : est la prévision par lissage simple

$Sst$  : est le terme de lissage double

2.2.4 LISSAGE EXPONENTIEL DE HOLT WINTERS

La méthode de lissage exponentiel double permet de traiter des séries présentant une tendance linéaire mais sans saisonnalité. On peut également définir des lissages exponentiels généralisés sur le même principe que les techniques décrites dans les sections précédentes permettant de traiter des séries avec saisonnalité.

Une méthode un peu différente a été introduite par Holt et Winters. Il existe une version non saisonnière de cette méthode, c'est-à-dire adaptée aux séries sans saisonnalité pouvant être ajustées par une droite au voisinage de T (comme pour le lissage exponentiel double). La différence entre la méthode de Holt-Winters et le lissage exponentiel double porte sur les formules de mise à jour. Posant

$$\alpha = 1 - \gamma \text{ et } \beta = 1 - \gamma / (1 + \gamma),$$

La mise à jour des coefficients du lissage exponentiel double s'écrit :

2.2.5 Cas d'un modèle sans saisonnalité Formule de prévision

A l'instant t, à l'horizon h

$$Y_t(h) = S_t + h * T_t \tag{7}$$

Où

$Y_t(h)$  : Prévision de  $Y_{t+h}$ .

$S_t$  : Niveau de la tendance

$T_t$  : pente de la tendance

2.2.6 Formules de lissage

$$S_t = \alpha Y_t + (1 - \alpha) (S_{t-1} + T_{t-1}) \tag{8}$$

$(S_{t-1} + T_{t-1}) = \hat{Y}_t$  : Prévision de  $Y_t$  en t-1

$$T_t = \beta (S_t - S_{t-1}) + (1 - \beta) T_{t-1} \tag{9}$$

Choix des valeurs initiales de  $T_0$  et  $S_0$

$$T_0 = Y_1; S_0 = Y_1 - Y_0$$

Choix des constantes de lissage  $\alpha$  et  $\beta$

$$\hat{Y}_t = S_{t-1} + T_{t-1} = \text{prévision de } Y_t \quad (10)$$

On recherche  $\alpha$  et  $\beta$  minimisant  $\sum (Y_t - \hat{Y}_t)^2$

### 2.2.7 Cas d'un modèle avec tendance et saisonnalité

Le modèle de Holt–Winters présente l'avantage d'intégrer une composante saisonnière et donc de réaliser le calcul de la prévision en un seul traitement. C'est ce modèle multiplicatif qui est employé le plus couramment dans les progiciels de prévision des volumes d'eau potable. Trois lissages distincts sont effectués :

- le lissage de la moyenne avec un coefficient de lissage  $\alpha$ , avec  $\alpha \in [0 ; 1]$ ,
- le lissage de la tendance avec un coefficient de lissage  $\beta$ , avec  $\beta \in [0 ; 1]$ ,
- le lissage de la saisonnalité avec un coefficient de lissage  $\gamma$  avec  $\gamma \in [0 ; 1]$ ,

Le modèle utiliser pour évaluer la fonction de la demande en eau potable s'écrit :

$$\bar{Y}(h) = (S_t + h.T_t).I_{t+h-s} \quad (11)$$

### 2.2.8 Formules de lissage

$$S_t = \alpha \times \left( \frac{Y_t}{I_{t-s}} \right) + (1 - \alpha) \times (S_{t-1} + T_{t-1}) \quad (12)$$

$$T_t = \beta \times (S_t - S_{t-1}) + (1 - \beta) \times T_{t-1} \quad (13)$$

$$I_t = \gamma \times \left( \frac{Y_t}{S_t} \right) + (1 - \gamma) \times I_{t-s} \quad (14)$$

Pour les valeurs initiales des paramètres, on utilise les mêmes valeurs pour  $T_0$  et  $S_0$  que précédemment.

Choix des constantes de lissage  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$

$$\hat{Y}_t = (S_{t-1} + T_{t-1}) \times I_{t-s} = \text{prévision de } Y_t \text{ calculée à l'instant } t-1$$

On recherche  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  minimisant  $\sum (Y_t - \hat{Y}_t)^2$

## 3 RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats de l'analyse des séries temporelles des

données de production de la ville de Biskra sont représentés graphiquement pour quelques forages. Nous présentons les résultats obtenus en appliquant les différentes méthodes de lissage exponentiel. Les données de série en 2011 ont servi pour le calage du modèle, tandis que les données de la série temporelle de 2012 sont utilisées dans l'étape de validation du modèle de prévision.

### 3.1 CALAGE DU MODELE DE PREVISION

#### 3.1.1 Application de lissage simple pour quelques forages

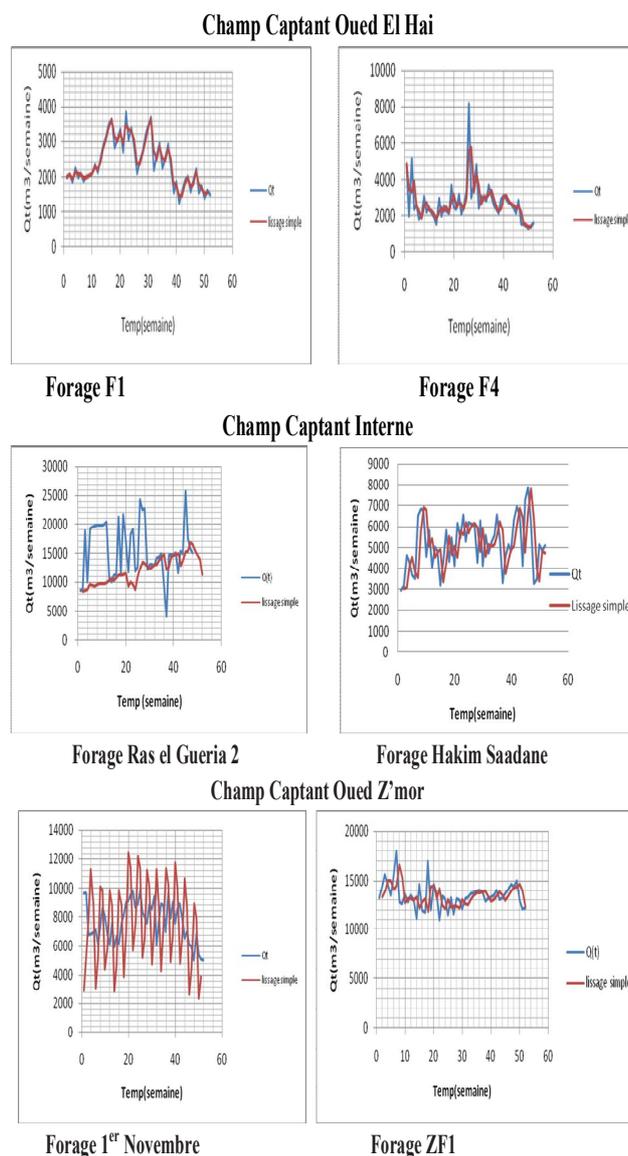


Figure 3: lissage simple de la série de production de l'eau potable de la ville de Biskra de 2011

#### 3.1.2 Application de lissage exponentiel double

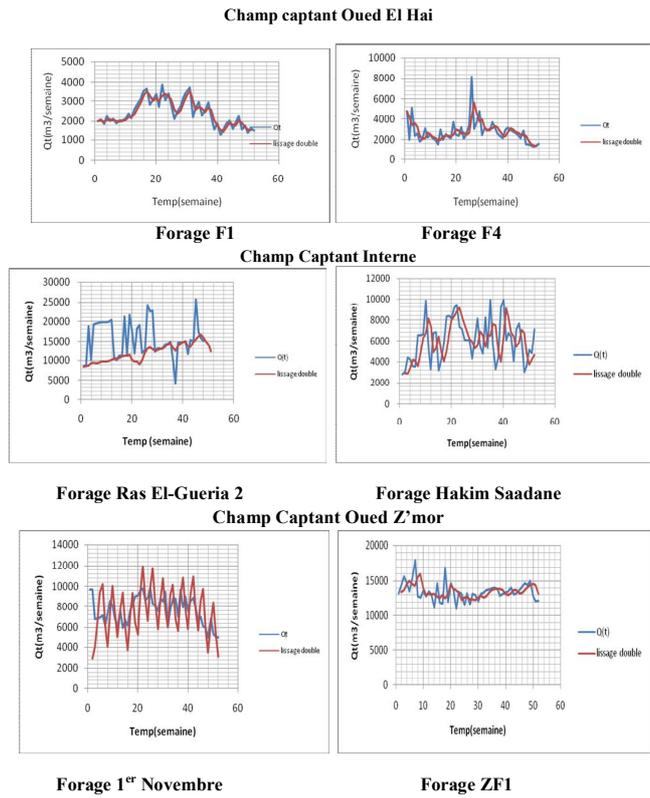


Figure 4: Production de l'eau de consommation (2011), prévision par lissage exponentiel double

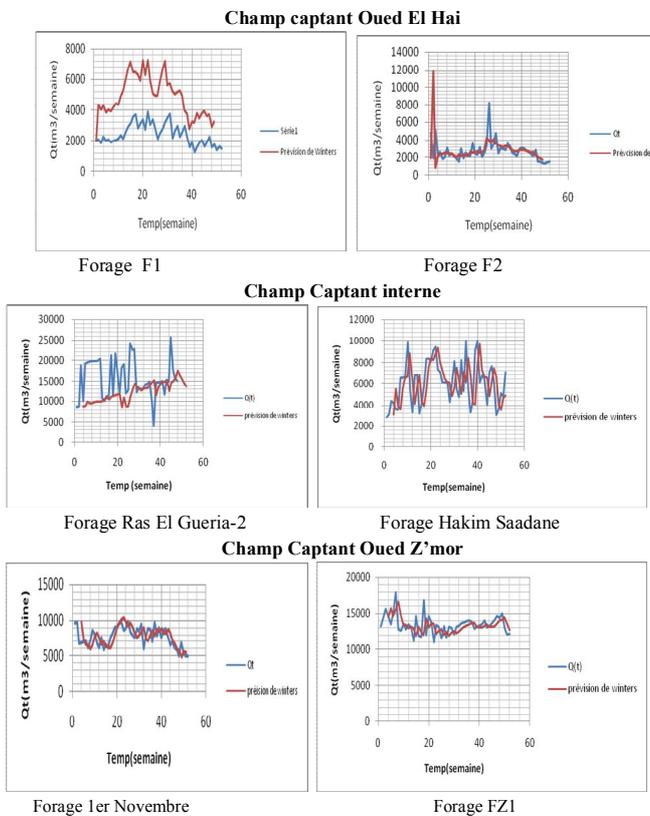


Figure 5: Production de l'eau de consommation (2011), prévision par lissage exponentiel double

### 3.1.3 VALIDATION DU MODELE DE PREVISION

Après la détermination des différentes composantes de la série de production de l'eau potable et après l'optimisation des différents coefficients utilisés par les 03 méthodes de lissage exponentiel par le solveur d'Excel basé sur la méthode de Simplex. La prévision de la série des données de production réalisée semble donner de bons résultats, comme illustrer dans les graphes suivants :

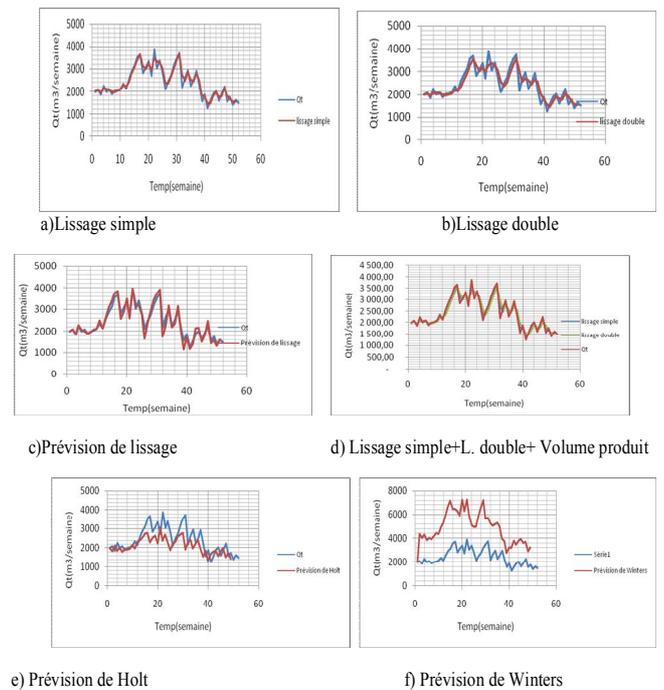


Figure 06: Prévision par lissage exponentiel 2012 du forage1 (Champ captant Oued el Hai)

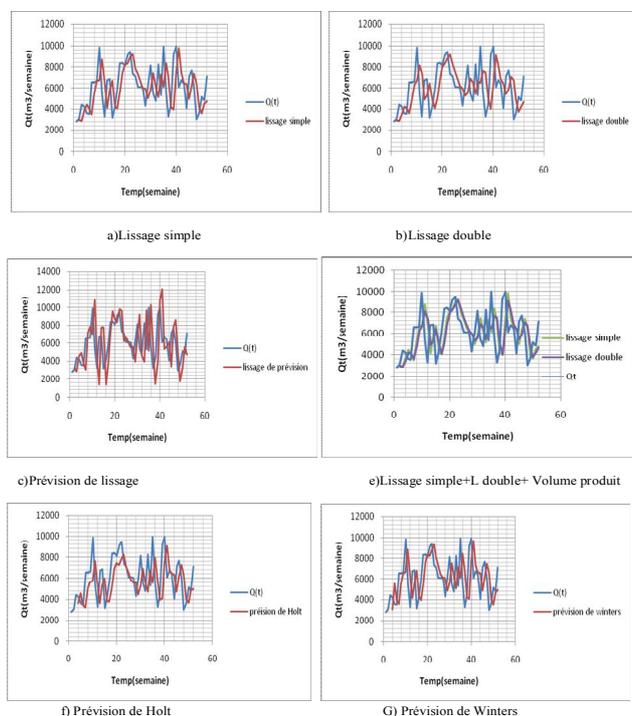
La figure 06 illustre une comparaison de demande de l'eau potable observée de l'année 2012 et la prévision hebdomadaire obtenue par lissage exponentiel, les valeurs des constantes de lissage de la méthode de Holt-Winters sont obtenues par solveur d'Excel en minimisant l'erreur quadratique. Les paramètres optimaux doivent être comprise entre 0 et 1:  $\alpha = 0,65619255$ ,  $\beta = 0,17339757$ ,  $\gamma = 0,5873188$

### 3.1.4 Forage Hakim Saadane

Malgré que les méthodes de lissage exponentiel soient faciles à mettre en œuvre après l'identification des différentes composantes de la série des données brutes : la tendance, la composante saisonnière et la composante accidentelle. Cependant le choix des paramètres de lissage n'est pas toujours facile à faire.

En examinant les courbes de lissage et de prévision, nous pouvons dire que la qualité de prévision est satisfaisante pour les deux méthodes : lissage exponentiel simple et double.

Les figures 3 et 4 montrent une excellente qualité de prévision notamment pour les forages 1 et 4. Par contre, les prévisions données par la méthode de Holt-Winters sont moins bonnes (voir la figure 6 – graphique G).



**Figure 07 : Prévission de production de l'eau par lissage exponentiel 2012 avec  $\alpha=0,68149709$ ,  $\beta=0,0033548$ ,  $\gamma=0,26075884$**

#### 4 CONCLUSION

Notre étude a porté sur l'analyse et la modélisation des séries chronologiques représentant l'évolution de la production d'eau de la consommation hebdomadaire de la ville de Biskra. L'utilisation des différentes techniques pour l'analyse des séries temporelles permet de mieux

comprendre les mécanismes du processus de consommation d'eau potable.

L'analyse par les séries chronologiques permet de reconnaître les variations cycliques et tendances dans les habitudes de consommation des habitants.

Après avoir obtenu les résultats de prévision par les trois méthodes, nous avons constaté que la qualité de prévisions donnée par la méthode de lissage simple est mieux que la méthode de Holt-Winters. Donc la fiabilité d'une méthode de prévision ne dépend pas seulement de sa complexité théorique, mais aussi des données, de l'information disponible et des champs d'application. L'application de lissage exponentiel sur les séries corrigées des variations saisonnières pourrait améliorer davantage la qualité de prévision.

#### REFERENCES

- [1] BOURBONNAIS, R. et TERRAZA, M. (2004). *Analyse des séries temporelles*, Dunod, Paris.
- [2] MÉLARD, G. (1990a). *Méthodes de prévision à court terme*, Editions de l'Université de Bruxelles, Bruxelles, et Editions Ellipses, Paris.
- [3] MÉLARD, G. (1990b). Méthodes numériques dans la modélisation de séries chronologiques, *Cahiers du Centre d'Etudes de Recherche Opérationnelle* **32**, 153-180.
- [4] Delignières, D., Ramdani, S., Lemoine, L., Torre, K., Fortes, M. & Ninot, G. (2006). Fractal analysis for short time series: A reassessment of classical methods. *Journal of Mathematical Psychology*, *50*, 525-544.
- [5] R. Azencott and D. Dacunha-Castelle. *Séries d'observations irrégulières. Modélisation et prévision*. Masson, 1984.