

**Chapitre 6, exercice 5**  
**Instructions pour employer CH06EX05.XLS**  
**et la série CHAMPC du répertoire CH06EX05**

*Le fichier CH06EX05.XLS et le répertoire CH06EX05 comportent un exercice de base destiné à tous les apprenants et un exercice avancé réservé aux seuls apprenants de la version avancée du cours.*

**Exercice de base (Pour tous les utilisateurs du cours)**

**Préalable**



Le chapitre 6 du cours de base doit avoir été suivi jusqu'à la page 73 pour les parties 1 à 3.

**Objectif**



Le but est de présenter une compétition entre deux méthodes de lissage exponentiel : (1) le lissage exponentiel simple sur les données de base, et (2) le lissage exponentiel simple sur les données corrigées des variations saisonnières. La méthode (1) n'emploie pas la saisonnalité de la série. La méthode (2) emploie la décomposition saisonnière vue au chapitre 5. L'exercice peut être considéré comme un exercice récapitulatif sur les chapitres 5 et 6.

*Remarque.* La compétition est poursuivie dans la partie avancée du cours avec la méthode (A) qui inclut un traitement de la saisonnalité différent de celui étudié au chapitre 5.

**Données**



Il s'agit des ventes mensuelles de champagne en France entre janvier 1962 et septembre 1970, en millions de bouteilles (Wheelwright et Makridakis (1977)). La série a déjà été utilisée dans les exercices 2 et 3 du chapitre 4, et dans les exercices 6 à 10 du chapitre 5. Nous l'emploierons encore dans plusieurs chapitres du cours.

### *Structure de l'exercice*

L'exercice comporte trois parties :

- Dans la partie 1, le but est de présenter l'application du lissage exponentiel simple sur la série des ventes de champagne en France. La méthode n'emploie pas la saisonnalité de la série.
- Dans la partie 2, le but est de présenter l'application du lissage exponentiel simple sur la série des ventes de champagne en France corrigée des variations saisonnières, et de restituer ensuite la saisonnalité aux prévisions. La méthode emploie la décomposition saisonnière vue au chapitre 5.
- Dans la partie 3, le but est de présenter l'utilisation d'un logiciel, Time Series Expert for Windows, pour résoudre rapidement les questions des deux premières parties.

**Partie 1** Dans les exercices 6 à 9 du chapitre 5, nous avons appliqué une méthode élémentaire de décomposition saisonnière à la série des ventes de champagne. Dans les exercices 6 à 8 du chapitre 5, nous avons calculé des prévisions pour les mois d'avril à septembre 1970, en remarquant que la méthode emploie les données jusqu'en septembre 1970. Dans l'exercice 9, nous n'avons utilisé les données que jusqu'en décembre 1969.

Le but de cette partie 1 de l'exercice est de présenter l'application du lissage exponentiel simple sur la série des ventes de champagne en France. La méthode n'emploie pas la saisonnalité de la série.

### 1.1 APPLICATION DU LISSAGE EXPONENTIEL SIMPLE

- ⇒ Enfoncez "F5" et choisissez SESMOOTH ou cliquez au début de la zone "Lissage Exponentiel Simple" en haut de la feuille.
- ⇒ Vous pouvez vérifier la valeur de la constante de lissage  $\alpha$ . À cette fin, enfoncez "F5" et choisissez ALPHA.
- ⇒ Si ce n'est pas 0,5, cliquez sur le menu Tools, commande Scenarios et choisissez SES0.5. Cliquez sur le bouton Show. La constante de lissage reçoit la valeur 0.5.

Le but est d'abord d'appliquer le lissage exponentiel simple d'après sa définition. Nous avons introduit la formule de base. Nous avons effectué le choix suivant de la valeur initiale  $S_0$  : la moyenne des données de la première année.



Descendez pour vérifier le contenu de la cellule X39. Notez-le.



*1.1.1 Votre réponse*



Vérifiez une des valeurs lissées. Par exemple celle de la cellule X40 est la prévision pour février 1963.



*1.1.2 Votre réponse*

**?**

Descendez jusqu'en janvier 1970. La valeur lissée utilise-t-elle bien l'information jusqu'en décembre 1969 ?

*1.1.3 Votre réponse*

**?**

Les prévisions d'horizon 2, 3, ... obtenues par lissage exponentiel simple sont égales à la prévision d'horizon 1. Expliquez dès lors le contenu des lignes de février à décembre 1970.

*1.1.4 Votre réponse*

La colonne Y contient les valeurs absolues des erreurs de prévision. Les valeurs des critères MSE, MAE et MAPE sur l'année 1970 ont été calculées, dans les cellules X138 à X140 (en-tête : prévisions). De même, leurs valeurs ont été calculées sur les années 1963 à 1969, dans les cellules Y138 à Y140 (en-tête : ajustement).

**?**

Vérifiez les valeurs absolues des erreurs et notez tous les critères.

*1.1.5 Votre réponse*



Vous pouvez modifier la valeur de la constante de lissage  $\alpha$ .

## 1.2 ESTIMATION DE LA CONSTANTE DE LISSAGE OPTIMALE

En employant le module Solver, nous avons bâti un scénario SESOptim qui permet de changer de manière optimale la valeur de la constante de lissage  $\alpha$ , sur la base du critère MSE sur les années 1963 à 1969.



⇒ Cliquez sur le menu Tools, commande Scenarios et choisissez SESOptim. Cliquez sur le bouton Show. La constante de lissage reçoit la valeur optimale au lieu de 0.5 qui avait servi à vérifier les calculs.

? Comparez les valeurs des critères MSE, MAE et MAPE dans les cellules X138 à X140 avec ce que vous avez noté. Y a-t-il une amélioration ?

*1.2.1 Votre réponse*

## SYNTHÈSE

Dans cette partie, nous avons appliqué le lissage exponentiel simple aux données de ventes de champagne en France. Nous avons obtenu des prévisions que nous avons évaluées à l'aide des critères MSE, MAE et MAPE. Visiblement, ce dernier n'est pas très satisfaisant. On peut évidemment invoquer la présence de saisonnalité dans la série qui n'est pas employée dans la méthode.

**Partie 2**

Le but de cette partie 2 de l'exercice est de présenter l'application du lissage exponentiel simple sur la série des ventes de champagne en France corrigée des variations saisonnières, et de restituer ensuite la saisonnalité aux prévisions. La méthode emploie la décomposition saisonnière vue au chapitre 5.

Dans l'exercice 6 du chapitre 5, où nous avons appliqué une méthode élémentaire de décomposition saisonnière à la série des ventes de champagne, nous avons employé toutes les données, jusqu'en septembre 1970. Dans l'exercice 9 du chapitre 5, nous avons repris l'analyse en n'utilisant que les données jusqu'en décembre 1969. Nous ferons de même ici. De ce fait, les valeurs obtenues pour les coefficients saisonniers et pour les données corrigées des variations saisonnières sont celles de l'exercice 9 du chapitre 5, légèrement différentes de celles de l'exercice 6 du chapitre 5.

**2.1 RÉCAPITULATION DE LA DÉCOMPOSITION SAISONNIÈRE**

Les calculs sont effectués dans un tableau.



⇒ Pour atteindre ce tableau dans la feuille Main, pressez F5 et sélectionnez COMPO (vous pouvez aussi cliquer sur le lien prévu en haut de la feuille « Les composantes »).

Voici les contenus des premières colonnes :

E, intitulée MA(12) : les moyennes mobiles d'ordre 12

F, intitulée CMA(12) : les moyennes mobiles centrées d'ordre 12

G, intitulée Rapport : les rapports des données aux moyennes mobiles centrées d'ordre 12

H, intitulée Tendance : les valeurs de tendance

J, intitulée Cycle : les rapports des moyennes mobiles centrées d'ordre 12 aux valeurs de tendance

K, intitulée Saisonnier : les facteurs saisonniers obtenus par moyenne élaguée

L, intitulée Résidu : les rapports des données aux valeurs de la colonne suivante

M, intitulée TxCxS : les valeurs ajustées

N, intitulée Désaisonn : les données corrigées des variations saisonnières

Rappelons aussi que les rapports sont disposés sous forme matricielle avec les mois en colonnes et les années en lignes. Nous retrouvons un tableau similaire à celui de l'exercice CH05EX06, excepté que les rapports des 6 derniers mois de 1969 et ceux de 1970 sont cachés et que les facteurs saisonniers provisoires sont obtenus par application de moyennes élaguées.

⇒ Pour atteindre ce tableau, pressez F5 et sélectionnez SEAS (vous pouvez aussi cliquer sur le lien prévu en haut de la feuille « Les coefficients saisonniers »).

Un graphique reprend ces facteurs saisonniers en fonction du mois.

⇒ Cliquez sur l'onglet SEAS pour visualiser ces facteurs saisonniers.

## 2.2 DÉTERMINATION DES DONNÉES CORRIGÉES DES VARIATIONS SAISONNIÈRES DES VENTES DE CHAMPAGNE

Un graphique représente les estimations des données corrigées des variations saisonnières en fonction du temps.

⇒ Cliquez sur l'onglet SADJ pour visualiser ces estimations.

## 2.3 APPLICATION DU LISSAGE EXPONENTIEL SIMPLE

Le but est d'abord d'appliquer le lissage exponentiel simple d'après sa définition mais sur les données corrigées des variations saisonnières (recopiées dans la colonne AB) au lieu des données.

- ⇒ Enfoncez "F5" et choisissez SESonSADJ ou cliquez au début de la zone "SES sur données désaisonnalisées" en haut de la feuille.
- ⇒ Vous pouvez vérifier la valeur de la constante de lissage  $\alpha$ . À cette fin, enfoncez "F5" et choisissez ALPHAS, et non ALPHA.
- ⇒ Si ce n'est pas 0,5, cliquez sur le menu Tools, commande Scenarios et choisissez EWS0.5. Cliquez sur le bouton Show. La constante de lissage ALPHAS reçoit la valeur 0.5.

*Remarque*



Notez que la constante de lissage s'appelle ici ALPHAS et non ALPHA, pour distinguer la constante de lissage de la méthode de lissage exponentiel simple avec correction pour la saisonnalité de celle du lissage exponentiel simple sans cette correction.

Nous avons introduit la formule de base. Nous avons effectué le choix suivant de la valeur initiale  $S_0$  : la première donnée.



Descendez pour vérifier le contenu de la cellule AC27.

*2.3.1 Votre réponse*



Vérifiez une des valeurs lissées. Par exemple celle dans la cellule AC28 est la prévision pour février 1962.

*2.3.2 Votre réponse*



Les prévisions d'horizon 2, 3, ... obtenues par lissage exponentiel simple sont égales à la prévision d'horizon 1. Expliquez dès lors le contenu des lignes de février à décembre 1970, colonne AC.

*2.3.3 Votre réponse*



L'étape la plus importante est ici. Les prévisions n'incorporent pas la saisonnalité de la série. Il faut donc la restituer. À cette fin, multipliez chaque prévision par le facteur saisonnier du mois. Les résultats sont repris dans la colonne AD.



Vérifiez les prévisions des 3 premiers mois et notez-les.





### 2.3.4 Votre réponse

La colonne AE contient les valeurs absolues des erreurs de prévision. Les valeurs des critères MSE, MAE et MAPE sur l'année 1970 ont été calculées, dans les cellules AD138 à AD140 (en-tête : prévisions). De même, leurs valeurs ont été calculées sur les années 1962 à 1969, dans les cellules AE138 à AE140 (en-tête : ajustement).



Vérifiez les valeurs absolues des erreurs et notez tous les critères.



### 2.3.5 Votre réponse



Vous pouvez modifier la valeur de la constante de lissage  $\alpha$ .

## 2.4 ESTIMATION DE LA CONSTANCE DE LISSAGE OPTIMALE

En employant le module Solver, nous avons bâti un scénario EWSOptim qui permet de changer de manière optimale la valeur de la constante de lissage  $\alpha$ .



Cliquez sur le menu Tools, commande Scenarios et choisissez EWSOptim. Cliquez sur le bouton Show. La constante de lissage ALPHAS reçoit la valeur optimale au lieu de 0.5 qui avait servi à vérifier les calculs.



Comparez les valeurs des critères MSE, MAE et MAPE dans les cellules AB138 à AB140 avec ce que vous avez noté. Y a-t-il une amélioration ?



### 2.4.1 Votre réponse

## 2.5 COMPARAISON AVEC LE LISSAGE EXPONENTIEL SIMPLE



Comparez les valeurs des critères MSE, MAE et MAPE avec ce que vous aviez obtenu pour le lissage exponentiel simple.



### 2.5.1 Votre réponse

## 2.6 COMPARAISON AVEC LA DÉCOMPOSITION SAISONNIÈRE

Dans l'exercice 9 du chapitre 5, nous avons employé la méthode de décomposition saisonnière à des fins de prévision. Le principe était de prévoir chaque composante et de combiner les prévisions. Dans le cas d'un modèle multiplicatif, on calcule donc les prévisions par la formule :

$$\hat{y} = \hat{T} \times \hat{C} \times \hat{S}$$

- Les prévisions de la tendance  $T$  sont identiques à celles de l'exercice 9 du chapitre 5 (et donc de l'exercice 6 du même chapitre).
- Pour la prévision du cycle conjoncturel  $C$ , nous avons considéré deux scénarios, l'un avec la valeur du cycle fixée à sa valeur en fin de la série, ici en juin 1969 au lieu de mars 1970, l'autre en supposant que le cycle n'existe pas et vaut donc 1.
- Pour la prévision de la composante saisonnière  $S$ , nous utilisons les facteurs saisonniers de l'exercice 9 du chapitre 5, légèrement différents de ceux de l'exercice 6 du même chapitre.
- Pour la composante d'erreur, on se contente d'estimer la distribution ; elle diffère légèrement du fait qu'on emploie moins de résidus.

### Remarque



Dans le cours avancé on avait aussi traité de la prévision en distribution en expliquant l'obtention des intervalles de prévision à 80 %. Le détail est fourni dans le tableau DISTR .

⇒ Pour atteindre le tableau des prévisions dans la feuille Main, pressez F5 et sélectionnez FORECAST (vous pouvez aussi cliquer sur le lien prévu en haut de la feuille « Les prévisions »).

Les prévisions ont été calculées pour les années 1970 et 1971. Nous avons déterminé des intervalles de prévision à 80%, à titre d'exemple.

Un graphique représente les données de janvier à septembre 1970 et les prévisions correspondantes réalisées en décembre 1969, accompagnées des intervalles de prévision à 80% que nous avons déterminés.

⇒ Cliquez sur l'onglet Chap5 Forcst pour le visualiser.

⇒ Pour le calcul des critères, descendez vers la fin du tableau. Vous pouvez voir les trois critères MSE, MAE et MAPE calculés sur les erreurs de prévision dans chacun des deux scénarios.

Voici ce qu'on trouve.

	Prévisions cas (1)	Prévisions cas (2)
<b>MSE</b>	0.1751984	0.2577342
<b>MAE</b>	0.3242637	0.4007222
<b>MAPE%</b>	11.160709	13.41391



Qu'en pensez-vous ?



2.6.1 Votre réponse

## 2.7 COMPARAISON AVEC D'AUTRES MÉTHODES

Sur la même période de janvier à septembre 1970, les méthodes basées sur les moyennes mobiles de prévision ont fourni par exemple des MAPE donnés dans le tableau suivant (voir chapitre 4, exercice 3).

Critères	méthode	MA(1)	PRECYR	MA(4)	MA(7)	MA(12)	MA(15)
MSE		71.258	0.105	32.478	13.151	5.311	5.217
MAE		8.357	0.298	5.563	3.428	1.956	1.904
MAPE		244.1	7.9	168.7	109.1	71.5	69.6

On voit que les critères varient entre 61% et 244%, selon les cas. La meilleure méthode, consistant à projeter les données de l'année précédente, sans plus, avait donné un MAPE de 7,9%.



?

Que trouve-t-on ici, mieux ou moins bien ?

*2.7.1 Votre réponse*

## SYNTHÈSE

Dans cette partie, nous avons appliqué le lissage exponentiel simple aux données de ventes de champagne en France corrigées des variations saisonnières et nous avons ensuite restitué la saisonnalité aux prévisions. Nous avons obtenu des prévisions que nous avons évaluées à l'aide des critères MSE, MAE et MAPE. Les résultats sont maintenant très bons surtout si nous les comparons à ce que nous avons obtenu par d'autres méthodes.

**Partie 3** Nous reprenons l'étude des parties 1 et 2 au moyen du logiciel Time Series Expert for Windows (TSE). Ceci permettra d'appliquer la même étude sur d'autres séries, sans avoir besoin d'employer des formules.

### 3.1 INTRODUCTION

- ⇒ Pour démarrer le logiciel, suivez les instructions données en annexe de l'introduction du cours.
- ⇒ Choisissez le répertoire de données approprié sur votre disque (pas sur le CD-ROM): menu File ⇒ Open. Choisissez DATA puis CHAP06 puis CH06EX05.



#### Remarque

Des instructions plus détaillées ont été données sous forme de remarques lors de l'exercice 3 du chapitre 4. Prière de s'y référer.

- ⇒ Chargez le problème déjà préparé : CHSES. Vous devez alors voir dans le bas de l'écran que la variable dépendante est CHAMPC, que l'échantillon d'estimation est 1962.01 – 1969.12 et que les prévisions seront calculées jusqu'en 1970.09.
- ⇒ Pour visualiser le tableau des données : menu Data ⇒ Spreadsheet. Pressez la touche fonction F3 pour charger une série dans la colonne A du tableau. Sélectionnez CHAMPC. Quittez le tableur par le menu File ⇒ Exit TSE Spreadsheet.
- ⇒ Pour visualiser graphiquement la série : menu Graphics ⇒ Series. Choisissez CHAMPC et cliquez Open. Cliquez OK pour obtenir le graphique et fermez le graphique après examen pour revenir au menu.

### 3.2 LISSAGE EXPONENTIEL SIMPLE

Nous allons reprendre l'application du lissage exponentiel simple sur les données brutes mais cette fois avec TSE.



#### Remarque

TSE utilise une approche générale du lissage exponentiel qui exploite la présentation par la forme ARIMA. De ce fait, les calculs ne sont pas identiques. Par exemple, on ne calcule pas explicitement les valeurs lissées

comme nous l'avons fait dans la partie 1.

⇒ Pour l'application du lissage exponentiel, menu Methods ⇒ Exponential smoothing ⇒ Forecasting.

L'écran doit se présenter comme suit. Notez que la rubrique Level & Trend contient l'option Level, ce qui correspond au lissage exponentiel simple. La rubrique Power transformation contient None. Les noms des séries de résidus, prévisions et valeurs ajustées sont respectivement : RESSES, FORSES et FITSES. La probabilité pour les intervalles de prévision est de 80 %.

Exponential Smoothing

Level and trend: Level

Seasonality: None

Normalised transformation: None

☐ Parameter/deterministic seasonality

Select Initial Values/Options?

Trend: No mean

Deterministic seasonality: No additional seasonality

Initial alpha (level): 0.5

Initial gamma (trend slope): 0.1

Initial delta (seasonality): 0.1

Initial phi (damping trend): 0.5

☐ ANSECH command

Leadtime for fit: 1

☒ Forecasting interval probability % : 80

Add... Interventions

Save residuals : RESSES

Save forecasts or predictions : FORSES

Save fitted values : FITSES

OK Cancel

⇒ Cochez la case en face de la rubrique Parameter/Deterministic seasonality. Vous avez None pour Deterministic seasonality.

Vous pouvez voir une fenêtre de dialogue (qui sera montrée plus loin) qui comporte notamment la valeur initiale de la constante de lissage  $\alpha$  soit 0,5.

C'est à partir de cette valeur que la recherche sera effectuée.

- ⇒ Cliquez OK pour lancer le programme. Nous allons consulter la sortie.
- ⇒ Descendez dans le fichier. Vers la fin, vous verrez le titre "Forecasting from DEC1969".

?

Notez la valeur de la prévision pour août 1970. Notez aussi la valeur du critère MAPE, par exemple. Comparez ce dernier avec le tableau ci-dessous, extrait du fichier CH06EX05.XLS, dans la colonne prévision. Le résultat est-il identique?



### 3.2.1 Votre réponse

Lissage		
exponentiel	Prévisions	Ajustement
simple		
<b>MSE</b>	65.593	7.024
<b>MAE</b>	8.011	1.818
<b>MAPE%</b>	234.7%	45.0%
Constantes	0.89019745	
de lissage	ALPHA	

Dans les instructions précédentes, nous avons déjà demandé le calcul des prévisions et nous avons sauvegardé celles-ci dans un fichier. Commençons par regarder le graphique.

- ⇒ Pour visualiser graphiquement les prévisions et les données : menu Graphics ⇒ Predictions/Forecasts. Cliquez OK. Fermez-le.

Vous pouvez vous limiter aux dernières années en recommençant mais cette fois en changeant la date de début.

- ⇒ Recommencez. Descendez le curseur sur la deuxième ligne, pressez la barre d'espace, déplacez le curseur sur le chiffre des unités 2 et tapez par exemple 7. Validez en cliquant OK. Focalisez sur des points choisis pour répondre à la question suivante.



?

Notez les valeurs de la prévision pour août 1970 et les limites de l'intervalle de prévision. Notez-les et comparez la prévision à la réponse 3.2.1. Qu'en pensez-vous ?

3.2.2 Votre réponse



Pour visualiser graphiquement les données et les valeurs ajustées, c'est-à-dire les prévisions d'horizon égal à 1 mois : menu Graphics  $\Rightarrow$  Fitted values. Cliquez OK.



?

Que pensez-vous de ces prévisions à un mois ?

3.2.3 Votre réponse



### Remarque

Nous examinerons la série des résidus RESSES dans un chapitre ultérieur.

## 3.3 LISSAGE EXPONENTIEL AVEC CORRECTION POUR SAISONNALITÉ

?

Vous rappelez-vous pourquoi nous avons choisi un modèle multiplicatif pour cette série ?



3.3.1 Votre réponse



Chargez le problème déjà préparé: CHEWS. Le bas de l'écran est inchangé.



⇒ Pour l'application du lissage exponentiel, menu Methods ⇒ Exponential smoothing ⇒ Forecasting.

L'écran doit se présenter comme suit. Notez que la rubrique Level & Trend contient toujours l'option Level, ce qui correspond au lissage exponentiel simple. La rubrique Power transformation contient Logarithmic, ce qui correspond à une transformation logarithmique. TSE va en quelque sorte effectuer une décomposition saisonnière sur les logarithmes des données. Les noms des séries de résidus, prévisions et valeurs ajustées sont maintenant : RESEWS, FOREWS et FITEWS, respectivement. La probabilité pour les intervalles de prévision est de 80 %.

⇒ Cochez la case en face de la rubrique Parameter/Deterministic seasonality. Sélectionnez Additive deterministic seasonality.

Vous pouvez voir une fenêtre de dialogue qui comporte la spécification d'une saisonnalité de nature déterministe mais aussi la valeur initiale de la constante de lissage  $\alpha$  soit 0,5. C'est à partir de cette valeur que la recherche sera effectuée.

The screenshot shows the TSE dialog box with the following settings:

- Level and trend:** Level
- Seasonality:** None
- Normalised transformation:** logarithmic
- ☒ **Parameter/deterministic seasonality**
- Select Initial Values/Options?**
  - Trend:** No mean
  - Deterministic seasonality:** Additive deterministic seasonality
  - Initial alpha (level):** 0.5
  - Initial gamma (trend slope):** 0.1
  - Initial delta (seasonality):** 0.1
  - Initial phi (damping trend):** 0.5
  - ☐ **ANSECH command**
- Leadtime for fit:** 1
- ☒ **Forecasting interval probability %:** 80
- Additions:** Add... Interventions
- Save residuals:** RESEWS
- Save forecasts or predictions:** FOREWS
- Save fitted values:** FITEWS

- ⇒ Cliquez OK pour lancer le programme.
- ⇒ Descendez dans le fichier. Vers la fin, vous verrez le titre “Forecasting from DEC1969”.

**?** Notez la valeur de la prévision pour août 1970. Notez aussi la valeur du critère MAPE, par exemple. Comparez ce dernier avec le tableau ci-dessous, extrait du fichier CH06EX05.XLS, dans la colonne prévision. Le résultat est-il identique?



### 3.3.2 Votre réponse

SES sur données		
désaison	Prévisions	Ajustement
nalisées		
<b>MSE</b>	0.172	0.335
<b>MAE</b>	0.325	0.410
<b>MAPE%</b>	10.8%	9.9%
Constantes	0.46741404	
de lissage	ALPHAS	

#### Remarque



On constate que la constante de lissage optimale n'est pas la même. C'est probablement dû au fait que la correction pour les variations saisonnières n'est pas effectuée de la même manière. Non seulement elle est effectuée de manière additive sur les logarithmes des données au lieu d'être appliquée de manière multiplicative, mais la méthode employée utilise une tendance linéaire plutôt que des moyennes mobiles, et la synthèse n'est pas effectuée par des moyennes élaguées mais par des moyennes simples.

Nous avons sauvegardé les prévisions dans un fichier. Commençons par regarder le graphique, en nous limitant aux dernières années.

- ⇒ Pour visualiser graphiquement les prévisions et les données : menu Graphics ⇒ Predictions/Forecasts. Changez la date de début en 1967, par exemple. Cliquez OK. Focalisez sur des points choisis pour répondre à la question suivante.



?

Notez les valeurs de la prévision pour août 1970 et les limites de l'intervalle de prévision. Notez-les et comparez la prévision à la réponse 3.3.2. Qu'en pensez-vous ?

3.3.3 Votre réponse



Pour visualiser graphiquement les données et les valeurs ajustées, c'est-à-dire les prévisions d'horizon égal à 1 mois : menu Graphics  $\Rightarrow$  Fitted values. Cliquez OK.

?

Que pensez-vous de ces prévisions à un mois ? Sont-elles meilleures que ce que vous avez obtenu à la réponse 3.2.3.



3.3.4 Votre réponse



### Remarque

Nous examinerons la série des résidus RESEWS dans un chapitre ultérieur.

## SYNTHÈSE

Nous n'avons pas retrouvé exactement les mêmes résultats que ceux obtenus avec Microsoft Excel dans les parties 1 et 2 de l'exercice. Néanmoins les résultats sont très proches. Il est évidemment aisé de traiter d'autres séries de la même manière.



### Exercice avancé (Pour les utilisateurs de la version avancée du cours)

#### Préalable



Le chapitre 6 du cours de base doit avoir été suivi en entier. Le cours avancé doit avoir été suivi jusqu'à la page 40 pour la partie A, jusqu'à la page 61 pour la partie B et jusqu'à la page 62 pour la partie C. Les exercices 6 et 7 (pour la partie A) et 8 (pour les parties B et C) doivent avoir été effectués préalablement.

#### Objectif



Le but est de présenter une compétition entre trois méthodes de lissage exponentiel : En plus des méthodes (1) et (2) vues dans les parties de l'exercice de base, on introduit ici la méthode (A), le lissage exponentiel de Winters sur les données de base. La méthode (A) inclut un traitement de la saisonnalité différent de celui étudié au chapitre 5.

#### Données



Les mêmes que celles de l'exercice de base.

### *Structure de l'exercice*

L'exercice comporte trois parties :

- Dans la partie A, le but est de présenter l'utilisation d'un logiciel, Time Series Expert for Windows, pour traiter de la méthode de lissage double et de la méthode de Holt et ceci, d'une part, sans tenir compte de la saisonnalité de la série et, d'autre part, en tenant compte de cette saisonnalité.
- Dans la partie B, le but est de présenter l'application du lissage exponentiel de Winters multiplicatif sur la série des ventes de champagne. La méthode inclut un traitement de la saisonnalité différent de celui étudié au chapitre 5.
- Dans la partie C, le but est de présenter l'utilisation d'un logiciel, Time Series Expert for Windows, pour résoudre rapidement les questions de la partie B mais avec la méthode de Winters en version additive sur les logarithmes des données.

**Partie A** **A.a INTRODUCTION**

Nous avons déjà employé Time Series Expert for Windows dans la partie 3 de l'exercice de base. Nous complétons cette étude par l'examen des méthodes de lissage exponentiel double et de lissage exponentiel de Holt. Nous traitons d'abord la série sans nous occuper de la saisonnalité, puis en tenant compte.

**A.b LISSAGE EXPONENTIEL DOUBLE SANS SAISONNALITÉ**

- ⇒ Chargez le problème déjà préparé: CHDOU. Le bas de l'écran est inchangé.
- ⇒ Pour l'application du lissage exponentiel, menu Methods ⇒ Exponential smoothing ⇒ Forecasting.

Notez que la rubrique Level & Trend contient maintenant l'option Level & Linear Trend (BROWN) et que la rubrique Seasonality contient l'option None (add level and trend), ce qui correspond au lissage exponentiel double de Brown. Les noms des séries de résidus, prévisions et valeurs ajustées sont maintenant : RESDOU, FORDOU et FITDOU, respectivement. La probabilité pour les intervalles de prévision est de 80 %.

- ⇒ Cochez la case en face de la rubrique Parameter/Deterministic seasonality. Vous devez avoir None pour Deterministic seasonality.

Vous pouvez voir une fenêtre de dialogue. La valeur initiale de la constante de lissage pour le niveau,  $\alpha$ , soit 0,5.

- ⇒ Cliquez OK pour lancer le programme.
- ⇒ Descendez dans le fichier. Vers la fin, vous verrez le titre "Forecasting from DEC1969".



Notez la valeur de la prévision pour août 1970. Notez aussi la valeur du critère MAPE, par exemple.



*A.b.1 Votre réponse*

Nous avons sauvegardé les prévisions dans un fichier. Commençons par regarder le graphique, en nous limitant aux dernières années.

⇒ Pour visualiser graphiquement les prévisions et les données : menu Graphics ⇒ Predictions/Forecasts. Changez la date de début en 1967, par exemple. Cliquez OK. Focalisez sur des points choisis pour répondre à la question suivante.

? Notez les valeurs de la prévision pour août 1970 et les limites de l'intervalle de prévision. Notez-les et comparez la prévision à la réponse 3.3.2. Qu'en pensez-vous ?



*A.b.2 Votre réponse*

⇒ Pour visualiser graphiquement les données et les valeurs ajustées, c'est-à-dire les prévisions d'horizon égal à 1 mois : menu Graphics ⇒ Fitted values. Cliquez OK.

? Que pensez-vous de ces prévisions à un mois ? Sont-elles meilleures que ce que vous avez obtenu à la réponse 3.2.3.



*A.b.3 Votre réponse*

### **Remarque**



Nous examinerons la série des résidus RESDOU dans un chapitre ultérieur.

**A.c LISSAGE EXPONENTIEL DE HOLT SANS SAISONNALITÉ**

- ⇒ Chargez le problème déjà préparé: CHHOLT. Le bas de l'écran est inchangé.
- ⇒ Pour l'application du lissage exponentiel, menu Methods ⇒ Exponential smoothing ⇒ Forecasting.

Notez que la rubrique Level & Trend contient maintenant l'option Level & Linear Trend (HOLT) et que la rubrique Seasonality contient l'option None (add level and trend), ce qui correspond au lissage exponentiel de Holt. Les noms des séries de résidus, prévisions et valeurs ajustées sont maintenant : RESHOLT, FORHOLT et FITHOLT, respectivement. La probabilité pour les intervalles de prévision est de 80 %.

- ⇒ Cochez la case en face de la rubrique Parameter/Deterministic seasonality. Vous devez avoir None pour Deterministic seasonality.

Vous pouvez voir une fenêtre de dialogue. Outre la valeur initiale de la constante de lissage pour le niveau,  $\alpha$ , soit 0,5, on voit apparaître en surbrillance les valeurs initiales de la constante de lissage pour la pente,  $\gamma$ , soit 0,1.

- ⇒ Cliquez OK pour lancer le programme.
- ⇒ Descendez dans le fichier. Vers la fin, vous verrez le titre "Forecasting from DEC1969".



Notez la valeur de la prévision pour août 1970. Notez aussi la valeur du critère MAPE, par exemple.



*A.c.1 Votre réponse*

Nous avons sauvegardé les prévisions dans un fichier. Commençons par regarder le graphique, en nous limitant aux dernières années.





⇒ Pour visualiser graphiquement les prévisions et les données : menu Graphics ⇒ Predictions/Forecasts. Changez la date de début en 1967, par exemple. Cliquez OK. Focalisez sur des points choisis pour répondre à la question suivante.

? Notez les valeurs de la prévision pour août 1970 et les limites de l'intervalle de prévision. Notez-les et comparez la prévision à la réponse 3.3.2. Qu'en pensez-vous ?

*A.c.2 Votre réponse*



⇒ Pour visualiser graphiquement les données et les valeurs ajustées, c'est-à-dire les prévisions d'horizon égal à 1 mois : menu Graphics ⇒ Fitted values. Cliquez OK.

? Que pensez-vous de ces prévisions à un mois ? Sont-elles meilleures que ce que vous avez obtenu à la réponse 3.2.3.

*A.c.3 Votre réponse*



### Remarque

Nous examinerons la série des résidus RESDOU dans un chapitre ultérieur.

### A.d LISSAGE EXPONENTIEL DOUBLE AVEC SAISONNALITÉ

⇒ Chargez le problème déjà préparé: CHDWS. Le bas de l'écran est inchangé.

⇒ Pour l'application du lissage exponentiel, menu Methods ⇒ Exponential smoothing ⇒ Forecasting.

Notez que la rubrique Level & Trend contient maintenant l'option Level & Linear Trend (BROWN) et que la rubrique Seasonality contient l'option

None (add level and trend), ce qui correspond au lissage exponentiel double de Brown. La rubrique Power transformation contient Logarithmic, ce qui correspond en fait à une transformation logarithmique. TSE va en quelque sorte effectuer une décomposition saisonnière sur les logarithmes des données. Les noms des séries de résidus, prévisions et valeurs ajustées sont maintenant : RESDWS, FORDWS et FITDWS, respectivement. La probabilité pour les intervalles de prévision est de 80 %.

⇒ Cochez la case en face de la rubrique Parameter/Deterministic seasonality. Sélectionnez Additive deterministic seasonality.

Vous pouvez voir une fenêtre de dialogue qui comporte maintenant la présence d'une saisonnalité de nature déterministe. On voit la valeur initiale de la constante de lissage pour le niveau,  $\alpha$ , soit 0,5

⇒ Cliquez OK pour lancer le programme.

⇒ Descendez dans le fichier. Vers la fin, vous verrez le titre "Forecasting from DEC1969".

?

Notez la valeur de la prévision pour août 1970. Notez aussi la valeur du critère MAPE, par exemple.



*A.d.1 Votre réponse*

Nous avons sauvegardé les prévisions dans un fichier. Commençons par regarder le graphique, en nous limitant aux dernières années.

⇒ Pour visualiser graphiquement les prévisions et les données : menu Graphics ⇒ Predictions/Forecasts. Changez la date de début en 1967, par exemple. Cliquez OK. Focalisez sur des points choisis pour répondre à la question suivante.

?

Notez les valeurs de la prévision pour août 1970 et les limites de l'intervalle de prévision. Notez-les et comparez la prévision à la réponse 3.3.2. Qu'en pensez-vous ?



*A.d.2 Votre réponse*

⇒ Pour visualiser graphiquement les données et les valeurs ajustées, c'est-à-dire les prévisions d'horizon égal à 1 mois : menu Graphics ⇒ Fitted values. Cliquez OK.



Que pensez-vous de ces prévisions à un mois ? Sont-elles meilleures que ce que vous avez obtenu à la réponse 3.2.3.



*A.d.3 Votre réponse*



### Remarque

Nous examinerons la série des résidus RESDWS dans un chapitre ultérieur.

### A.e LISSAGE EXPONENTIEL DE HOLT AVEC SAISONNALITÉ

- ⇒ Chargez le problème déjà préparé: CHHWS. Le bas de l'écran est inchangé.
- ⇒ Pour l'application du lissage exponentiel, menu Methods ⇒ Exponential smoothing ⇒ Forecasting.

Notez que la rubrique Level & Trend contient maintenant l'option Level & Linear Trend (HOLT) et que la rubrique Seasonality contient l'option None (add level and trend), ce qui correspond au lissage exponentiel double de Holt. La rubrique Power transformation contient Logarithmic, ce qui correspond en fait à une transformation logarithmique. TSE va en quelque sorte effectuer une décomposition saisonnière sur les logarithmes des données. Les noms des séries de résidus, prévisions et valeurs ajustées sont maintenant : RESHWS, FORHWS et FITHWS, respectivement. La probabilité pour les intervalles de prévision est de 80 %.



Cochez la case en face de la rubrique Parameter/Deterministic seasonality. Sélectionnez Additive deterministic seasonality.

Vous pouvez voir une fenêtre de dialogue qui comporte maintenant la présence d'une saisonnalité de nature déterministe. Outre la valeur initiale de la constante de lissage pour le niveau,  $\alpha$ , soit 0,5, on voit apparaître en surbrillance la valeur initiale de la constante de lissage pour la pente,  $\gamma$ , soit 0,1.



Cliquez OK pour lancer le programme.



Descendez dans le fichier. Vers la fin, vous verrez le titre "Forecasting from DEC1969".



Notez la valeur de la prévision pour août 1970. Notez aussi la valeur du critère MAPE, par exemple.



*A.e.1 Votre réponse*

Nous avons sauvegardé les prévisions dans un fichier. Commençons par regarder le graphique, en nous limitant aux dernières années.



Pour visualiser graphiquement les prévisions et les données : menu Graphics  $\Rightarrow$  Predictions/Forecasts. Changez la date de début en 1967, par exemple. Cliquez OK. Focalisez sur des points choisis pour répondre à la question suivante.



Notez les valeurs de la prévision pour août 1970 et les limites de l'intervalle de prévision. Notez-les et comparez la prévision à la réponse 3.3.2. Qu'en pensez-vous ?



*A.e.2 Votre réponse*



Pour visualiser graphiquement les données et les valeurs ajus-

tées, c'est-à-dire les prévisions d'horizon égal à 1 mois : menu Graphics  $\Rightarrow$  Fitted values. Cliquez OK.

**?** Que pensez-vous de ces prévisions à un mois ? Sont-elles meilleures que ce que vous avez obtenu à la réponse 3.2.3.

*B.b.3 Votre réponse*



### Remarque

Nous examinerons la série des résidus RESHWS dans un chapitre ultérieur.



## SYNTHÈSE

Nous avons repris la démarche de la partie 3 de l'exercice mais cette fois avec le lissage exponentiel double et le lissage exponentiel de Holt. Nous avons commencé par ignorer la saisonnalité de la série, comme dans la partie 3 de l'exercice, puis nous en avons tenu compte en appliquant les deux méthodes sur la série corrigée des variations saisonnières et ensuite, en restituant la saisonnalité aux prévisions ainsi obtenues. Nous avons évidemment obtenu des mauvais résultats sans tenir compte de la saisonnalité et de meilleurs résultats en en tenant compte. Il est évidemment aisé de traiter d'autres séries de la même manière.

**Partie B** Dans la partie 1 de l'exercice de base, nous avons considéré le lissage exponentiel simple sur les données de base. Dans la partie 2 de l'exercice de base, nous avons considéré le lissage exponentiel simple sur les données corrigées des variations saisonnières. Ici nous considérons le lissage exponentiel de Winters sur les données de base. La méthode inclut un traitement de la saisonnalité différent de celui étudié au chapitre 5.

### **B.a LE LISSAGE EXPONENTIEL DE WINTERS DANS LE CAS MULTIPLICATIF**

Le but est maintenant d'appliquer le lissage exponentiel de Winters dans le cas d'un modèle multiplicatif. Comme pour le modèle additif, la méthode est basée sur le lissage exponentiel de Holt avec une relation pour le niveau  $S$  au temps  $t$  et une pour la pente de la tendance  $T$  au temps  $t$ . La seule différence par rapport à la méthode de Holt est que la relation pour le niveau au temps  $t$  emploie la donnée corrigée des variations saisonnières au temps  $t$  au lieu de la donnée au temps  $t$  mais cette fois calculée de manière multiplicative. Une troisième relation de récurrence est ajoutée pour le coefficient saisonnier  $I$  au temps  $t$ . Ces trois relations emploient les données et trois constantes de lissage notées  $\alpha$ ,  $\gamma$  et  $\delta$ .

Outre la mise en œuvre des formules de base, on discute du calcul des critères et de l'optimisation des trois constantes de lissage  $\alpha$ ,  $\gamma$  et  $\delta$  (ce dernier sujet n'a pas été traité dans l'exercice 8 du chapitre 6, partie E).

Nous discutons d'abord des conditions initiales, puis des formules de base. Nous avons effectué le choix de la valeur lissée initiale  $S_0$  comme la moyenne des données de la première année, celle de  $T_0 = 0$  et les facteurs saisonniers de la première année sont obtenus comme rapports entre les données et la valeur lissée initiale.

- ⇒ Enfoncez "F5" et choisissez "WINTERS" ou cliquez au début de la zone "Lissage Exponentiel de Winters" en haut de la feuille.
- ⇒ Vous pouvez vérifier la valeur des constantes de lissage  $\alpha$ ,  $\gamma$  et  $\delta$ . À cette fin, enfoncez "F5" et choisissez ALPHA\_.

#### **Remarque**



Ici, on note la constante de lissage  $\alpha$  avec le nom ALPHA\_ pour ne pas confondre avec ALPHA qui a été employé pour le lissage exponentiel simple. De même, on note de manière similaire GAMMA\_ et DELTA\_.



⇒ Si ce n'est pas 0,5, cliquez sur le menu Tools, commande Scenarios et choisissez "Win0.5/0.2/0.5". Cliquez sur le bouton Show. La constante de lissage ALPHA\_ reçoit la valeur 0.5 tandis que GAMMA\_ reçoit la valeur 0.2 et que DELTA\_ reçoit la valeur 0.5.

? Remontez pour vérifiez le contenu des cellules AG38, AH38 et la plage AI27:AI38.

*B.a.1 Votre réponse*



? Vérifiez une des valeurs lissées dans chacune des trois colonnes intitulées niveau, pente et saisonnier. Par exemple les cellules AG39, AH39 et AI39 pour les valeurs lissées de janvier 1963.

*B.a.2 Votre réponse*

La colonne AJ contient les prévisions d'horizon 1 obtenues par lissage exponentiel de Winters. À partir de janvier 1970, ce sont des prévisions d'horizon  $h = 1, 2, 3, \dots$  qui sont obtenues. La formule est  $\hat{y}_t(h) = [S_t + hT_t]I_{t+h}$ ; avec une simplification évidente si  $h = 1$ .

? Vérifiez les formules de la colonne AJ. Sont-elles correctes ?



*B.a.3 Votre réponse*

La colonne AK contient les valeurs absolues des erreurs de prévision. Les valeurs des critères MSE, MAE et MAPE sur l'année 1970 ont été calculées, dans les cellules AJ138 à AJ140 (en-tête : prévisions). De même, leurs valeurs ont été calculées sur les années 1963 à 1969, dans les cellules AK138 à AK140 (en-tête : ajustement).



Vérifiez les valeurs absolues des erreurs et notez tous les critères.

*B.a.4 Votre réponse*



Vous pouvez modifier la valeur des constantes de lissage  $\alpha$ ,  $\gamma$  et  $\delta$  (respectivement dans les cellules de nom ALPHA\_, GAMMA\_ et DELTA\_).

### **B.b ESTIMATION DES CONSTANTES DE LISSAGE OPTIMALE**

En employant le module Solver, nous avons bâti un scénario WinOptim qui permet de changer de manière optimale la valeur de la constante de lissage  $\alpha$ .



Cliquez sur le menu Tools, commande Scenarios et choisissez WinOptim. Cliquez sur le bouton Show. Les constantes de lissage ALPHA\_, GAMMA\_ et DELTA\_ reçoivent des valeurs optimales au lieu de 0.5, 0.2 et 0.5 qui avaient servi à vérifier les calculs.



Comparez les valeurs des critères MSE, MAE et MAPE dans les cellules AJ138 à AJ140 avec ce que vous avez noté. Y a-t-il une amélioration ?



*A.b.1 Votre réponse*

### **B.c COMPARAISON AVEC LES MÉTHODES DE LISSAGE SIMPLE**

Nous avons noté les valeurs des critères MSE, MAE et MAPE pour le lissage exponentiel simple (partie 1 de l'exercice de base), pour le lissage exponentiel simple sur les données corrigées des variations saisonnières (partie 2 de l'exercice de base) ainsi que la décomposition saisonnière et la prévision par moyenne mobile qui sont mentionnées plus haut (partie 2 de l'exercice de base).



**?**

Comparez les valeurs des critères MSE, MAE et MAPE avec ce que vous aviez obtenu par les autres méthodes.

*B.c.1 Votre réponse*

## SYNTHÈSE

Dans cette partie, nous avons appliqué le lissage exponentiel de Winters, en version multiplicative, aux données de ventes de champagne en France et nous avons comparé les performances de toutes les méthodes rencontrées jusqu'ici quand elles sont utilisées avec la même série.

**Partie C** *C.a INTRODUCTION*

Nous avons déjà employé Time Series Expert dans la partie 3 de l'exercice de base. Nous complétons cette étude par l'examen de la méthode de Winters. Au lieu de la version multiplicative, on emploie la version additive sur les logarithmes des données.

*C.b LISSAGE EXPONENTIEL DE WINTERS*

- ⇒ Chargez le problème déjà préparé: CHWIN. Le bas de l'écran est inchangé.
- ⇒ Pour l'application du lissage exponentiel, menu Methods ⇒ Exponential smoothing ⇒ Forecasting.

L'écran doit se présenter comme suit (à l'exception de la rubrique « User directory »).

Exponential Smoothing

Level & Linear Trend (HOLT) Level and trend

WINTERS (Not normalized) Seasonality

logarithmic Normalised transformation

☒ Parameter/deterministic seasonality

Select Initial Values/Options?

No mean Trend

No additional seasonality Deterministic seasonality

0.5 Initial alpha (level)

0.1 Initial gamma (trend slope)

0.1 Initial delta (seasonality)

0.5 Initial phi (damping trend)

☐ ANSECH command

1 Leadtime for fit

☒ Forecasting interval probability % : 80

Add... Interventions

Save residuals : RESWIN

Save forecasts or predictions : FORWIN

Save fitted values : FITWIN

OK Cancel

Notez que la rubrique Level & Trend contient maintenant l'option Level & Linear Trend (HOLT) et que la rubrique Seasonality contient l'option WINTERS (not normalised), ce qui correspond au lissage exponentiel de Winters. La rubrique Power transformation contient Logarithmic, ce qui correspond en fait à une transformation logarithmique. TSE va recourir à la méthode de Winters additive sur les logarithmes des données. Les noms des séries de résidus, prévisions et valeurs ajustées sont maintenant : RESWIN, FORWIN et FITWIN, respectivement. La probabilité pour les intervalles de prévision est de 80 %.

⇒ Cochez la case en face de la rubrique Parameter/Deterministic seasonality. Sélectionnez None pour Deterministic seasonality.

Vous pouvez voir une fenêtre de dialogue qui comporte maintenant l'absence d'une saisonnalité de nature déterministe. Outre la valeur initiale de la constante de lissage pour le niveau,  $\alpha$ , soit 0,5, on voit apparaître en surbrillance les valeurs initiales de la constante de lissage pour la pente,  $\gamma$ , soit 0,1, et de la constante de lissage pour la saisonnalité,  $\delta$ , soit 0,1.

⇒ Cliquez OK pour lancer le programme.

⇒ Descendez dans le fichier. Vers la fin, vous verrez le titre "Forecasting from DEC1969".

?

Notez la valeur de la prévision pour août 1970. Notez aussi la valeur du critère MAPE, par exemple. Comparez ce dernier avec le tableau ci-dessous, extrait du fichier CH06EX05.XLS, dans la colonne prévision. Le résultat est-il identique ?



*C.b.1 Votre réponse*

	Lissage exponentiel de Winters			Prévisions	Ajustement
	Niveau	Pente	Saisonnier		
<b>MSE</b>				0.113	0.441
<b>MAE</b>				0.259	0.489
<b>MAPE%</b>				7.9%	12.2%
Constantes	0.36862694	0.02237503	0.62756122		
de lissage	ALPHA_	GAMMA_	DELTA_		



### Remarque

On constate que les valeurs optimales des trois constantes de lissage ne sont pas les mêmes. Outre que la méthode de Winters est effectuée de manière additive sur les logarithmes des données au lieu d'être appliquée de manière multiplicative, une raison plausible ici est la faible qualité de l'algorithme d'optimisation du module Solver de Microsoft Excel.

Nous avons sauvegardé les prévisions dans un fichier. Commençons par regarder le graphique, en nous limitant aux dernières années.

⇒ Pour visualiser graphiquement les prévisions et les données : menu Graphics ⇒ Predictions/Forecasts. Changez la date de début en 1967, par exemple. Cliquez OK. Focalisez sur des points choisis pour répondre à la question suivante.

? Notez les valeurs de la prévision pour août 1970 et les limites de l'intervalle de prévision. Notez-les et comparez la prévision à la réponse 3.3.2. Qu'en pensez-vous ?



*C.b.2 Votre réponse*

⇒ Pour visualiser graphiquement les données et les valeurs ajustées, c'est-à-dire les prévisions d'horizon égal à 1 mois : menu Graphics ⇒ Fitted values. Cliquez OK.

? Que pensez-vous de ces prévisions à un mois ? Sont-elles meilleures que ce que vous avez obtenu à la réponse 3.2.3.



*C.b.3 Votre réponse*



**Remarque**

Nous examinerons la série des résidus RESWIN dans un chapitre ultérieur.

**SYNTHÈSE**

Nous n'avons pas retrouvé exactement les mêmes résultats que ceux obtenus avec Microsoft Excel dans la partie A de l'exercice. Néanmoins les résultats sont très proches. Il est évidemment aisé de traiter d'autres séries de la même manière.

[Retour au chapitre 6](#)