

Prévision des demandes

Niveau : Master 1 Génie Industriel

Les procédures de la planification de production

- Etude du marché : stratégie industrielle
- Préparation du budget de la production
- Définition des types de machines et d'équipements, (L2 : planification)
- Conception de la disposition de l'installation, (L2 : planification)
- Prévion des demandes des clients, (M1 : TP Planification de la prod...)
- Planification agrégée, (M1 : Planification de la prod...)
- Planification détaillée, (L2 : GPAO)
- Ordonnancement de la production (L2 : Ordonnancement I , M1 : Ordonnancement avancé),
- Contrôle des ateliers de production, (M1 : Pilotage et optimisation des flux de production, Ordonnancement avancé, Maintenance et sureté de fonctionnement),

Prévision des demandes

- Types, objectifs et contraintes de la prévision
- Les méthodes de prévision
 - ✓ Les méthodes quantitatives
 - ❖ Les méthodes d'extrapolation dans le temps
 - La méthode de régression linéaire
 - Les méthodes de moyenne mobile : simple et pondérée
 - La méthode à moyenne échelonnées
 - La méthode des coefficients saisonniers
 - Les méthodes de lissage exponentiel (simple, Holt, Holt-winter)
 - La méthode ARIMA (travail personnel)
 - ❖ La prévision basée sur la régression (Causale)
- ✓ Les méthodes qualitatives (travail personnel)

Que signifie-elle la prévision ?



- La prévision signifie essentiellement la prédiction des événements futurs sur la base des événements et de données historiques,
- Au secteur industriel et commercial, elle concerne les demandes pour un produit fini, une matière première, une pièce de rechange où même un nombre de client (en terme d'un service), aussi la consommation d'une machine (en terme d'utilisation d'énergie) etc,
- Cette demande peut être journalière, mensuelle, trimestrielle ou même annuelle,

Prévision des demandes : **Types et objectifs**

- Prévision à long terme (supérieur à trois ans)
 - ❖ Pour prendre des décisions stratégiques :
 - Lancement d'un nouveau produit,
 - Localisation d'un nouveau site de production,
 - Grand investissement en équipements...
- Prévision à moyen terme (de six mois à deux ans)
 - ❖ Pour définir les capacités globales de production et d'approvisionnement
 - Acquisition d'une nouvelle machine,
 - Embauche du personnel,
 - Approvisionnement de la matières premières à long terme d'acquisition,...

Prévision des demandes : **Types et objectifs**

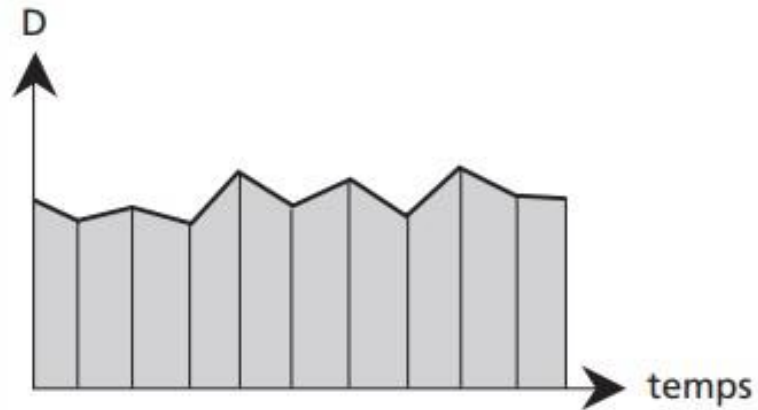
- Prévision à court terme (quelques semaines)
 - ❖ Serviront à l'activité opérationnelle de production :
 - Gestion du stock,
 - Ordonnancement,
 - Affectation du personnel...

Prévision des demandes : **Les sources des données**

- Historique (dans ce cas, on utilise **des méthodes quantitatives**)
 - fondées sur des données relevées dans le passé, que l'on modélise pour faire une projection dans le futur,
 - L'utilisation de ce type de données pour la prévision est conditionnée par l'existence d'un lien entre l'évolution des demandes passées (historique) et celle de la demande future.
- Données prédictives (**Méthodes qualitatives**)
 - Faites par des experts interrogés ou résultant d'interviews de clients dans le cadre des études de marché.
 - Elles sont difficiles à interpréter.
 - Elles constituent un complément sûr à un historique

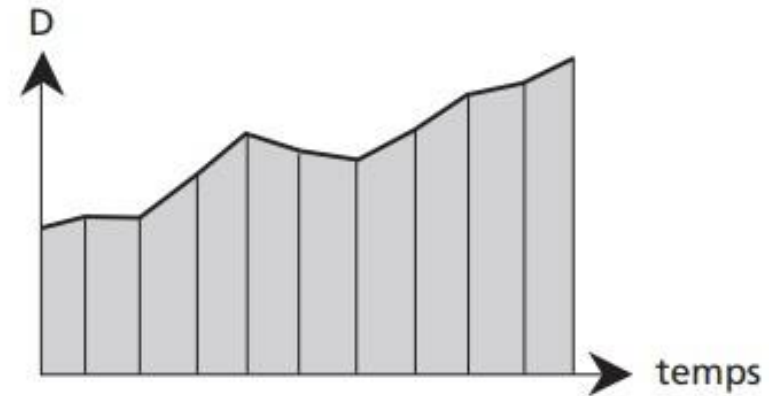
Prévision des demandes : **Typologie de la demande**

A. Demande constante



Elle oscille statistiquement autour d'une valeur moyenne constante dans le temps : $D = f(t)$ est une droite horizontale.

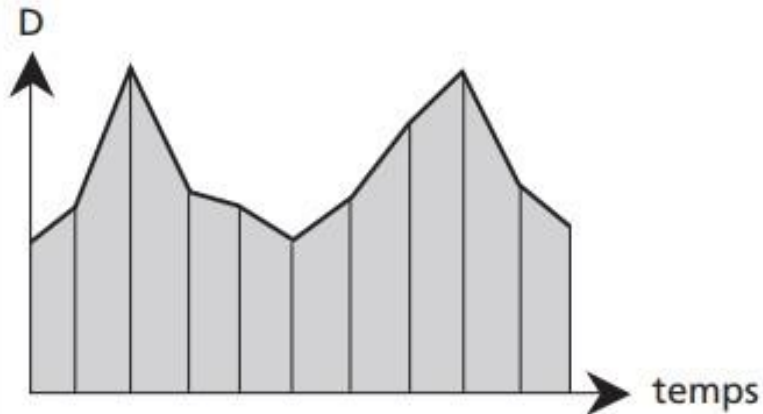
B. Demande à tendance



Elle oscille autour d'une valeur croissante ou décroissante dans le temps, $D = f(t)$ est une droite à pente positive ou négative.

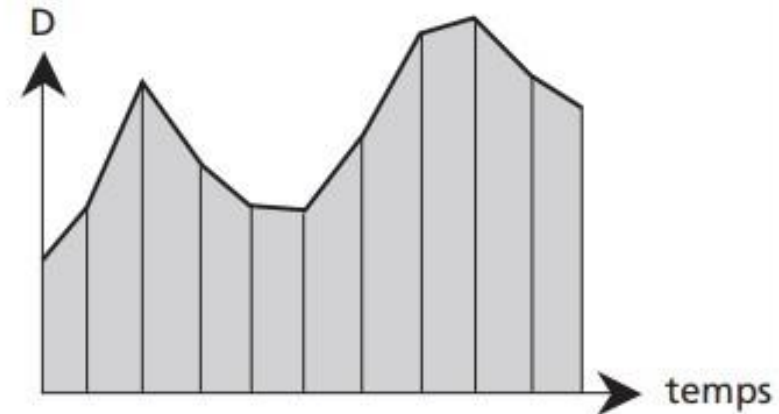
Prévision des demandes : **Typologie de la demande**

C. Demande saisonnière



Elle présente des variations nettement plus importantes, en hausse et en baisse, d'une manière périodique. Il peut s'agir d'un pic de la demande en hiver (lié à la neige par exemple) ou en été (vacances),

D. Demande saisonnière à tendance



Si les pics et les creux sont disposés autour d'une droite non horizontale,

E. demande erratique : si les valeurs sont totalement aléatoires dans le temps.

Méthodes de prévision : Quantitatives

Les méthodes par extrapolation dans le temps

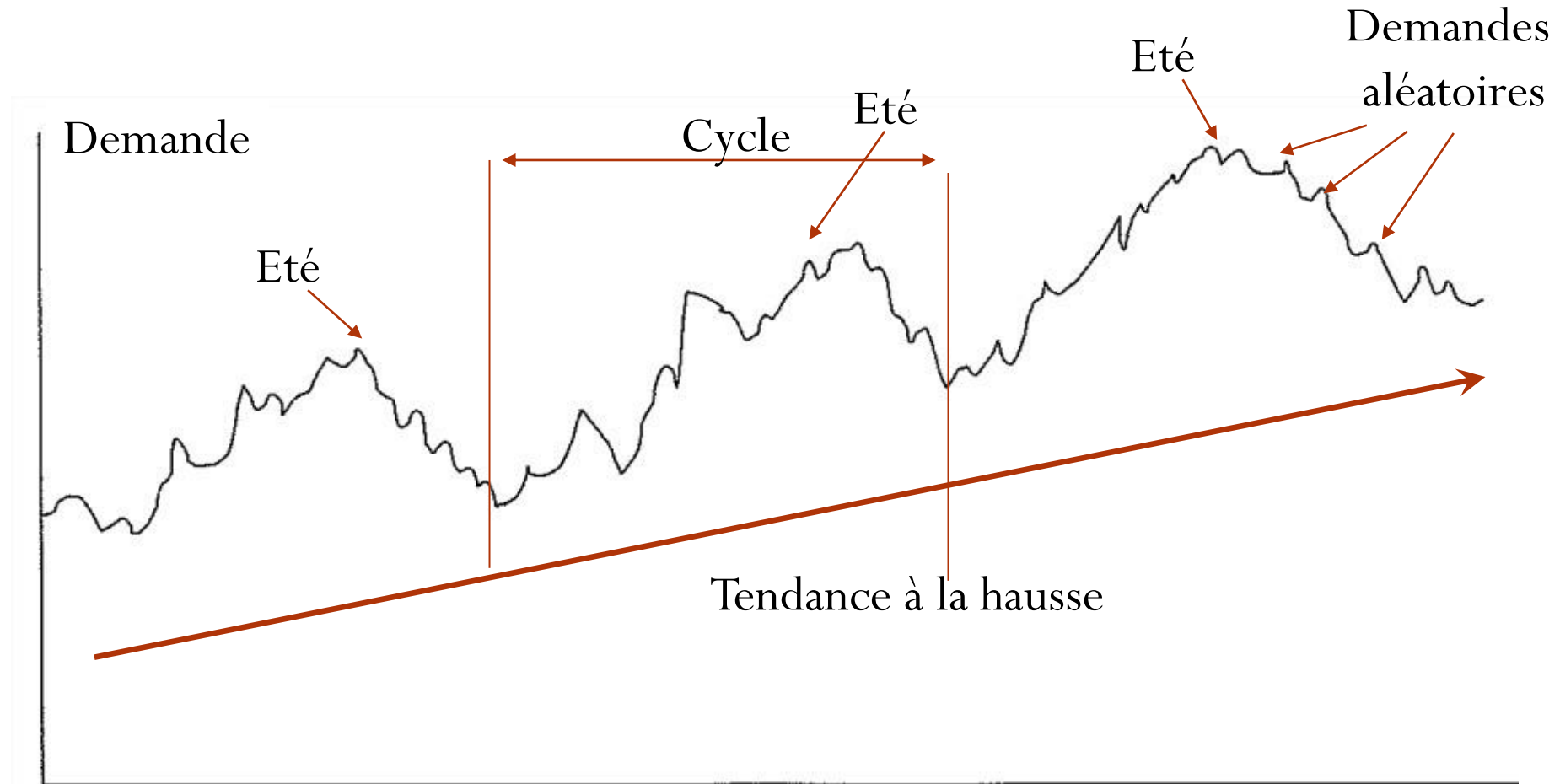
(Time-series forecasting)

- Prévision basée sur les demandes passées.
- Il s'agit de déduire d'une série chronologique passée connue, les valeurs prévisibles à venir.
- **Série chronologique** ou **série temporelle** ou **chronique** : est une suite d'observations **régulièrement** espacées dans le temps ($t_1 = t_2 - t_1 = t_3 - t_2 = \dots = t_T - t_{T-1}$)
- Prévoir par extrapolation consiste à prolonger l'évolution passée dans le futur.
- La plupart des modèles de prévision par extrapolation dans le temps tentent de saisir les composantes d'une série (de la demande passée).
 - ❖ La composante aléatoire,
 - ❖ La composante de tendance,
 - ❖ La composante de saisonnalité,
 - ❖ La composante cyclique.

Méthodes de prévision : Quantitatives

Les méthodes par extrapolation dans le temps

(Time-series forecasting)



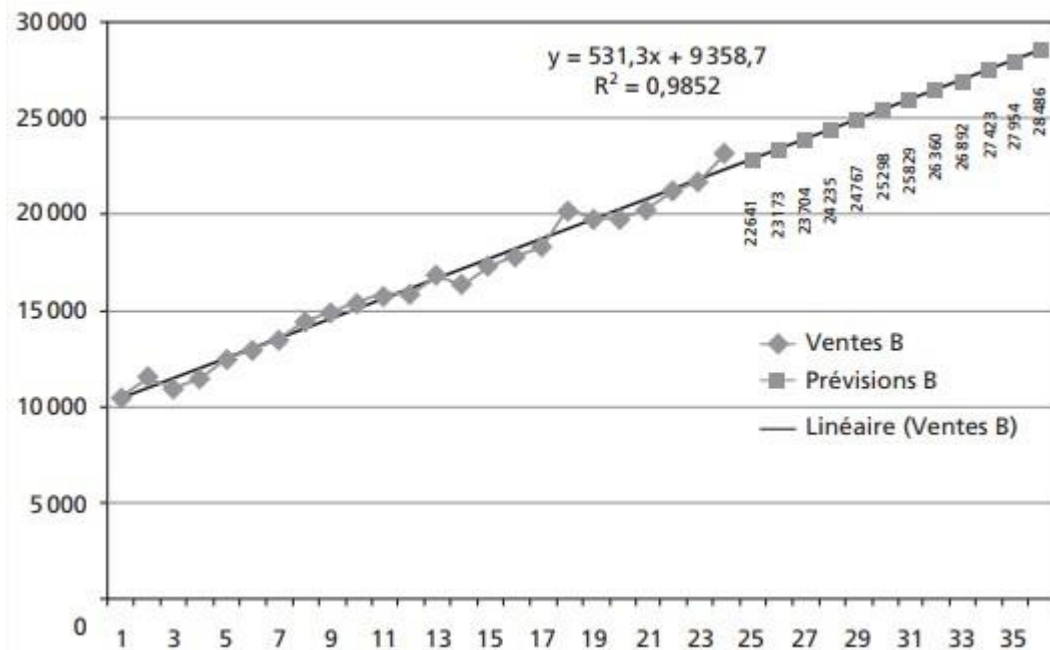
Méthodes de prévision : Quantitatives

1 - Les méthodes par extrapolation dans le temps

Méthode de la régression linéaire

- Elle permet de prolonger dans le futur une série de valeur du passé qui suivent une tendance en utilisant la méthode des moindres carrés,
- Nous allons rechercher l'équation de la droite qui passe au mieux dans le nuage des points constitué par l'historique. On appelle cette droite « la

droite de tendance ». Elle a pour équation $y = a \cdot x + b$



Représentation graphique de l'historique de la demande et des prévisions de ventes

Méthodes de prévision : Quantitatives

Les méthodes par extrapolation dans le temps

Méthode de la régression linéaire

Exemple

Historique						
Période	1	2	3	4	5	6
Demande	26	28	29	31	32	35

$$a = ?$$

$$b = ?$$

$$a = 1,68$$
$$b = 24,26$$

2 méthodes

- Optimisation manuelle
- Optimisation par Excel
- Optimisation manuelle : On résout un problème d'optimisation de la somme des erreurs au carré.
- Optimisation par Excel
 - $a = \text{DROITEREG}(Y1:Yn, X1:Xn)$
 - $b = \text{ORDONNEE.ORIGINE}(Y1:Yn ; X1:Xn)$

Méthodes de prévision : Quantitatives

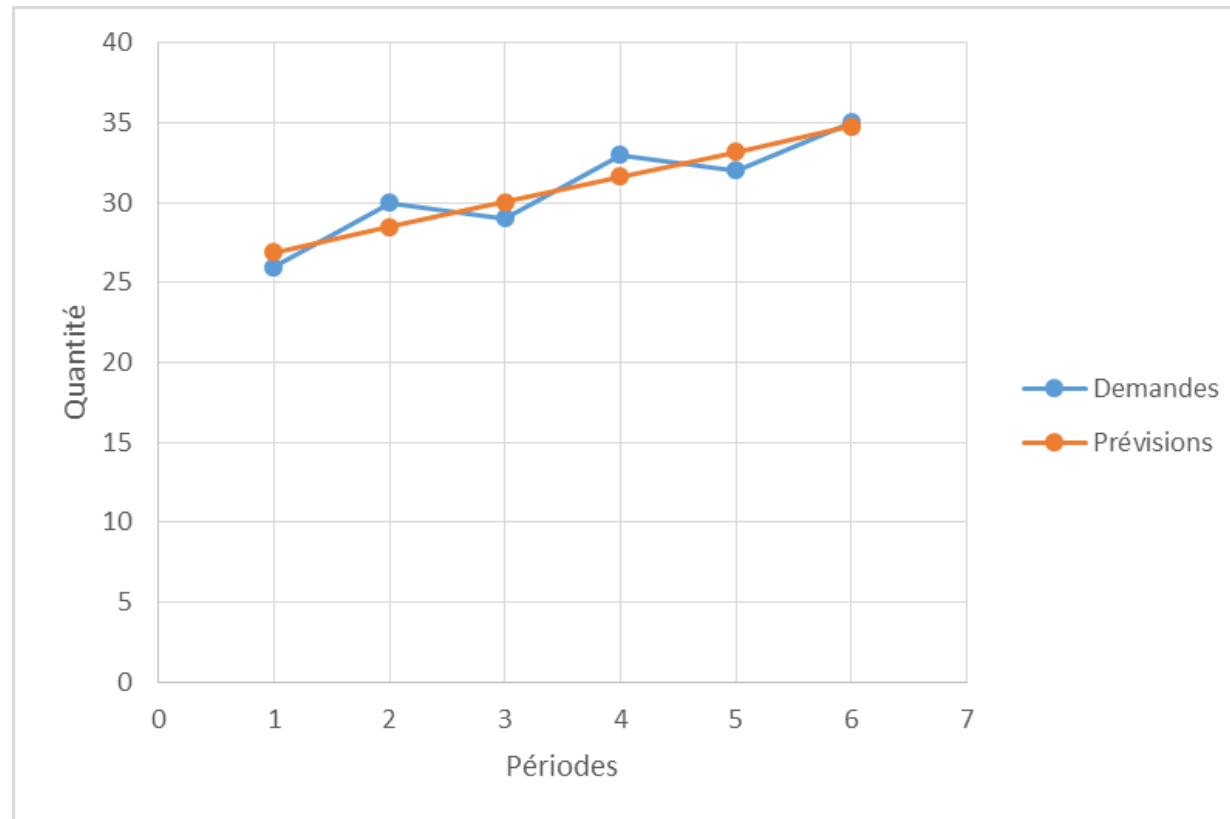
Les méthodes par extrapolation dans le temps

Méthode de la régression linéaire

Exemple

Historique						
Période	1	2	3	4	5	6
Demande	26	28	29	31	32	35

$$a = 1,68$$
$$b = 24,26$$



Méthodes de prévision : Quantitatives

Les méthodes par extrapolation dans le temps

Méthode de la moyenne mobile

- On estime la prévision de la demande pour une certaine période à partir des valeurs connues pour les quelques périodes précédentes.
- Cette méthode est bonne pour **une demande stable**
- Elle n'est pas bonne pour **une demande avec tendance ou avec saisonnalité**

Méthodes de prévision : Quantitatives

Les méthodes par extrapolation dans le temps

Méthode de la moyenne mobile

On suppose que nous sommes actuellement à la fin de la période t et que nous souhaitons utiliser les données (demandes) jusqu'à cette période c.à.d., $Y_1, Y_2, \dots, Y_{t-1}, Y_t$ pour prédire les demandes $F_{t+1}, F_{t+2}, \dots, F_{t+m}$ pour les périodes $t + 1, t + 2, \dots, t + m$.

$$F_{t+1} = \frac{1}{k} \sum_{i=t-k+1}^t Y_i$$

- k est le nombre des périodes utilisées,
- **Exemple 1 : On est dans la période $t = 3$ et on voudrait prédire la demande de la période 4 ($k = 3$)**

$$F_4 = \frac{1}{3} \sum_{i=3-3+1}^3 Y_i = \frac{Y_1 + Y_2 + Y_3}{3}$$

Méthodes de prévision : Quantitatives

Les méthodes par extrapolation dans le temps

Méthode de la moyenne mobile

Identifiant	Année	Période	Demande (Y)	Prévision (F)
1	2010	Juillet	3000	/
2	2010	Aout	3100	/
3	2010	Septembre	2950	/
4	2010	Octobre	3000	/
5	2010	Novembre	3050	/
6	2010	Décembre	2900	/
7	2011	Janvier		?

- Exemple 2 : Prédire la demande de la période 7 ($t = 6, k = 3$)

$$Prév\ Jan\ 2011 = F_7 = \frac{1}{3} \sum_{i=6-3+1}^6 Y_i = \frac{Y_4 + Y_5 + Y_6}{3} = 2983,33$$

Méthodes de prévision : Quantitatives

Les méthodes par extrapolation dans le temps

Méthode de la moyenne mobile

- On peut aussi utiliser cette méthode pour prédire les demandes de plusieurs périodes en utilisant les prévisions des périodes précédentes

Identifiant	Année	Période	Demande (Y)	Prévision (F)
1	2010	Juillet	3000	/
2	2010	Aout	3100	/
3	2010	Septembre	2950	/
4	2010	Octobre	3000	/
5	2010	Novembre	3050	/
6	2010	Décembre	2900	/
7	2011	Janvier		2983,33
8	2011	Février		$(3050 + 2900 + 2983,33) / 3 = 2977,77$
9	2011	Mars		$(2900 + 2983,33 + 2977,77) / 3 = 2953,7$

Méthodes de prévision : Quantitatives

Les méthodes par extrapolation dans le temps

Méthode de la moyenne mobile pondérée

- Lors d'une prévision, on peut affecter des poids différents aux données afin de favoriser les plus récentes, au lieu de mettre sur le même plan les diverses valeurs.
- Elle donne une prévision acceptable pour les demandes **avec tendance**
- On suppose que nous sommes actuellement à la période t et que nous souhaitons utiliser les données (demandes) jusqu'à cette période c.à.d., $Y_1, Y_2, \dots, Y_{t-1}, Y_t$ pour prédire les prévisions $F_{t+1}, F_{t+2}, \dots, F_{t+m}$ pour les périodes $t + 1, t + 2, \dots, t + m$.

$$F_{t+1} = \sum_{i=t-k+1}^t a_i Y_i$$

a_i : Poids affecté à la période i
Dr. BENSMAILY.

La somme des a_i est égale à 1

27/02/2025

Méthodes de prévision : Quantitatives

Les méthodes par extrapolation dans le temps

Méthode de la moyenne mobile pondérée

Identifiant	Année	Période	Demande (Y)	Prévision (F)
4	2010	Octobre	3000	/
5	2010	Novembre	3050	/
6	2010	Décembre	2900	/
7	2011	Janvier		2965

- **Exemple : Prédire la demande de la période 7 ($t = 6, k = 3$)**
Prenons : $a_t = 0.5, a_{t-1} = 0.3$ et $a_{t-2} = 0.2$ quelque soit t

$$\begin{aligned} \text{Prév Jan 2011} = F_7 &= \sum_{i=6-3+1}^6 a_i Y_i \\ &= 0.2 * Y_4 + 0.3 * Y_5 + 0.5 * Y_6 = 2965 \end{aligned}$$

Méthodes de prévision : Quantitatives

Les méthodes par extrapolation dans le temps

Méthode de la moyenne mobile échelonnée

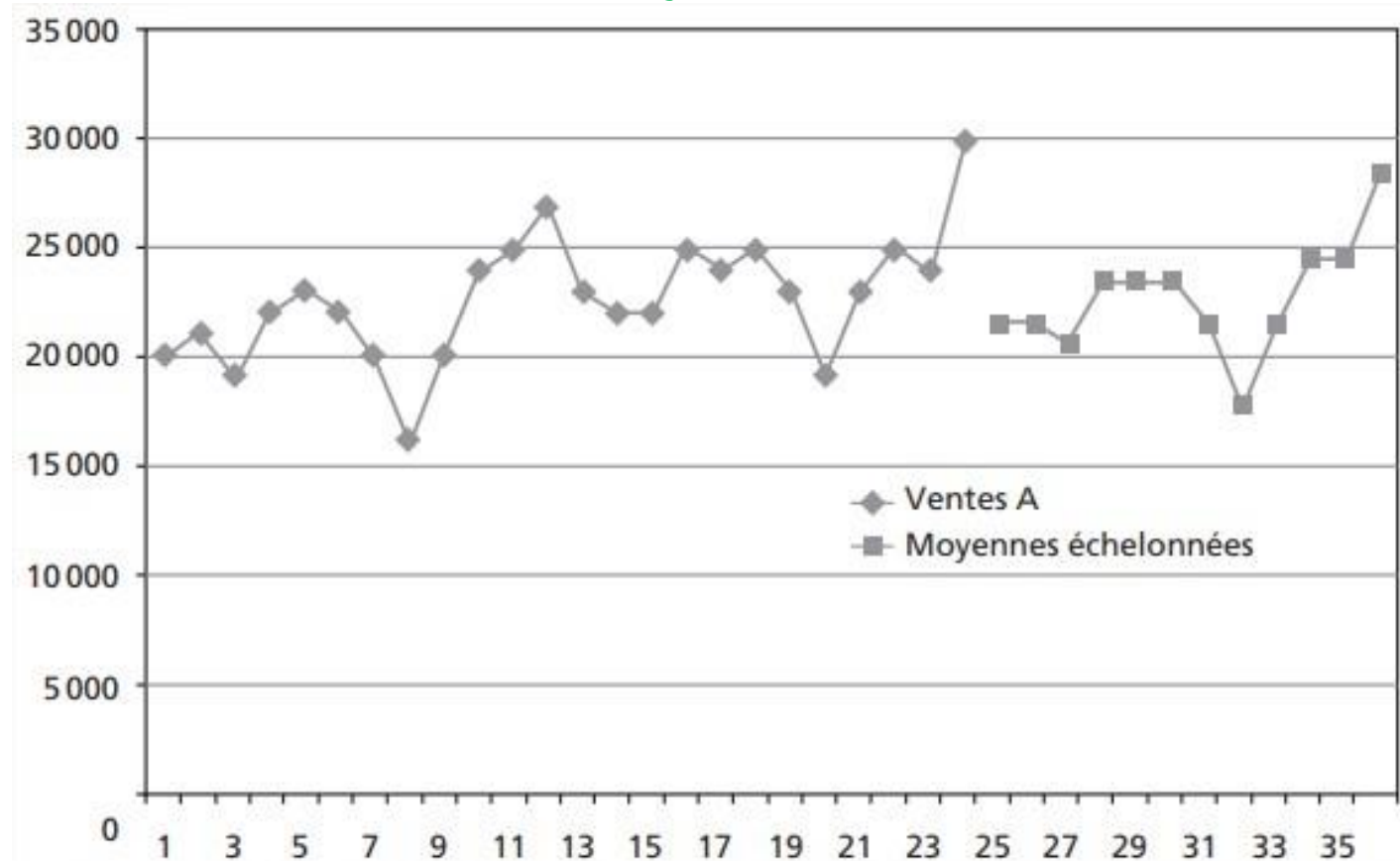
Périodes	Ventes 2009	Ventes 2010	Prévisions 2011
Janvier	20000	23000	21500
Février	21000	22000	21500
Mars	19000	22000	20500
Avril	22000	25000	23500
Mai	23000	24000	23500
Juin	22000	25000	23500
Juillet	20000	23000	21500
Aout	16000	19000	17500
Septembre	20000	23000	21500
Octobre	24000	25000	24500
Novembre	25000	24000	24500
Décembre	27000	30000	28500

Elle consiste à faire la moyenne des ventes d'un même mois de plusieurs années différentes (à utiliser dans le cas des ventes avec composante **de la saisonnalité**)

Méthodes de prévision : Quantitatives

Les méthodes par extrapolation dans le temps

Méthode de la moyenne mobile échelonnée



Cette méthode donne une bonne prévision pour le cas des demandes **saisonnnières régulières** d'un cycle à un autre (cycle = année par exemple)

Méthodes de prévision : Quantitatives

Les méthodes par extrapolation dans le temps

Méthodes du lissage exponentiel

- Les méthodes de lissage exponentiel sont des méthodes de prévision à **court terme**.
- Ces méthodes donnent un poids favorisant les valeurs récentes : les coefficients de pondération décroissent exponentiellement en remontant dans le temps ;
- Pour une série sans saisonnalité, un historique d'au moins 12 observations est nécessaire ;
- Pour une série avec saisonnalité, un historique d'au moins 4 années est nécessaire (au moins 16 observations pour une série trimestrielle, au moins 48 observations pour une série mensuelle).
- Chacune des méthodes dépend d'un ou plusieurs paramètres compris entre 0 et 1.
- Le poids de chacune des valeurs passées se calcule à partir de ces paramètres.
- La méthode de lissage exponentiel simple a été introduite par Brown en 1962.
- Elle a ensuite été généralisée par Holt et Winters.
- Ces méthodes sont largement diffusées et utilisées (simplicité, qualité de prévision).

Méthodes de prévision : Quantitatives

Les méthodes par extrapolation dans le temps

Méthodes du lissage exponentiel

- **Le lissage exponentiel simple** : dépend d'un seul paramètre de lissage, celui du niveau.
- **Le lissage de Holt** : dépend de deux paramètres : l'un relatif au niveau, l'autre à la tendance,
- **Le lissage de Holt-Winters** : dépend de trois paramètres : l'un relatif au niveau, un autre relatif à la tendance, et le dernier à la saisonnalité.

Tendance	Saisonnalité	Méthode
Non	Non	Lissage simple
Oui	Non	Lissage de Holt
Oui	Oui	Lissage de Holt-Winters

- **Avant de choisir une méthode de prévision, il importe de bien analyser la série : composante tendance, composante saisonnière.**
- Une bonne connaissance de l'historique de la série est indispensable pour un choix pertinent de la méthode de prévision.

Les méthodes par extrapolation dans le temps

Méthodes du lissage exponentiel : Le lissage exponentiel simple

- Le lissage exponentiel simple (LES) s'applique à des séries chronologiques **sans saisonnalité** et **sans tendance remarquable**.
- La prévision pour la période n est celle de la période $n-1$ corrigée proportionnellement à l'écart $D_{n-1} - P_{n-1}$ (l'écart entre la demande réelle et la prévision qui avait été faite pour la période précédente),

$$P_n = P_{n-1} + \alpha(D_{n-1} - P_{n-1}) \rightarrow P_n = \alpha D_{n-1} + (1 - \alpha)P_{n-1}$$

- α est un coefficient du lissage du niveau entre 0 et 1,
- Si $\alpha = 0$, on considère que la prévision de n est la même que celle de $n-1$.

$$P_n = P_{n-1}$$

- Si $\alpha = 1$, on prend comme prévision de la période n , la demande réelle de la période $n-1$,

$$P_n = P_{n-1} + D_{n-1} - P_{n-1}$$

- Une valeur de α qui se rapproche à 1 conduit donc à donner une grande importance aux demandes réelles récentes,

Méthodes de prévision : Quantitatives

Les méthodes par extrapolation dans le temps

Méthodes du lissage exponentiel : Le lissage exponentiel simple

Mois	Demandes réelles (D_i)	Prévisions (P_i)
1	492	?
2	470	492 ?
3	485	485.4 ?
4	493	485.28 ?
5	498	487.6 ?
6	492	490.72 ?
7		491.1 ?

$$P_2 = D_1 \quad \text{Initialisation}$$

$$P_3 = P_2 + a(D_2 - P_2)$$

$$P_4 = P_3 + a(D_3 - P_3)$$

$$P_7 = P_6 + a(D_6 - P_6)$$

Nous avons besoin :

1. Facteur de pondération ou de lissage (prenons $\alpha=0.3$).
2. La demande réelle pour les périodes précédentes.

Méthodes de prévision : Quantitatives

Les méthodes par extrapolation dans le temps

Méthodes du lissage exponentiel : Le lissage exponentiel simple

- La méthode du lissage exponentiel effectue donc une **moyenne mobile pondérée** où les coefficients affectés aux données passées sont reliés par une loi de décroissance exponentielle.
- Une petite démonstration :

$$P_n = a \sum_{i=1}^{n-2} (1-a)^{i-1} D_{n-i} + (1-a)^{n-2} D_1$$

$$P_n = P_{n-1} + \alpha(D_{n-1} - P_{n-1}) = \alpha D_{n-1} + (1-\alpha)P_{n-1}$$

$$\text{or } P_{n-1} = P_{n-2} + \alpha(D_{n-2} - P_{n-2}) = \alpha D_{n-2} + (1-\alpha)P_{n-2}$$

$$\text{donc } P_n = \alpha D_{n-1} + \alpha(1-\alpha)D_{n-2} + (1-\alpha)^2 P_{n-2}$$

$$P_n = \alpha D_{n-1} + \alpha(1-\alpha)D_{n-2} + \alpha(1-\alpha)^2 D_{n-3} + \alpha(1-\alpha)^3 D_{n-4} + \dots + (1-\alpha)^{n-2} D_1$$

Période	n-1	n-2	n-3	n-4	n-5
Poids	a	$\alpha(1-a)$	$a(1-a)^2$	$a(1-a)^3$	$a(1-a)^4$
$a = 0,9$	0,9	0,09	0,009	0,0009	0,00009
$a = 0,4$	0,4	0,24	0,144	0,0864	0,05184
$a = 0,1$	0,1	0,09	0,081	0,0729	0,06561

Méthodes de prévision : Quantitatives

Les méthodes par extrapolation dans le temps

Méthodes du lissage exponentiel : Le lissage exponentiel simple



Méthodes de prévision : Quantitatives

Les méthodes par extrapolation dans le temps

Méthodes du lissage exponentiel : Le lissage exponentiel simple

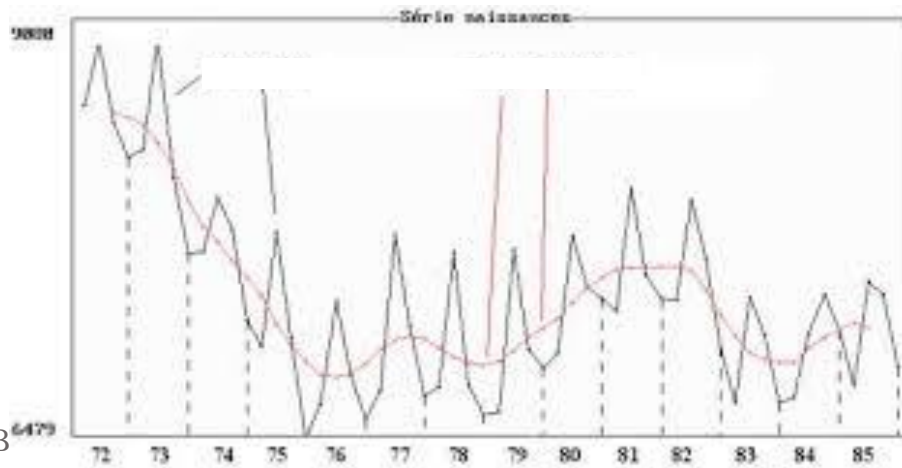
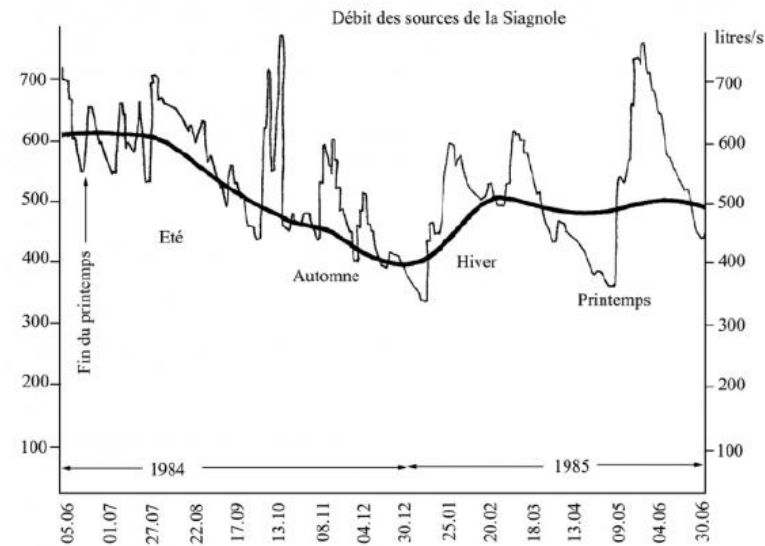
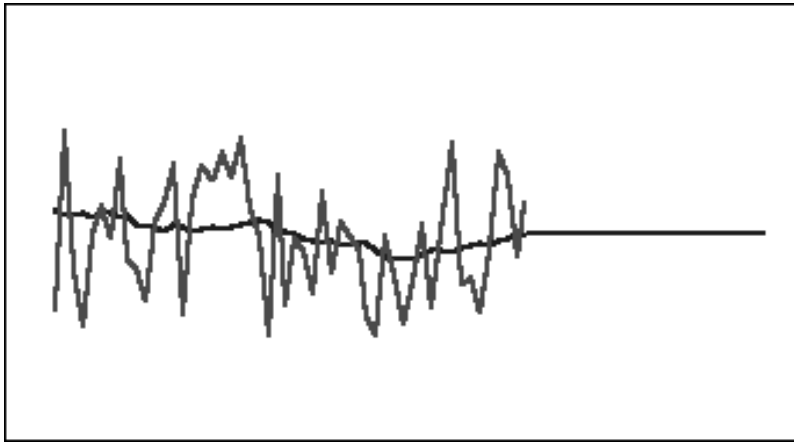
- Si $\alpha = 0,9$, on s'adapte beaucoup plus vite au changement de niveau que pour un paramètre $\alpha = 0,4$,
- Choix du paramètre : Ils peuvent être ajustés manuellement ou optimisés en minimisant l'erreur de prévision (ex. MSE, MAPE, RMSE).
- La grosse limite de cette méthode est qu'elle ne permet de faire une prévision fiable **que pour la période suivante**, donc une prévision à très court terme ou alors très globale.
- Pour un horizon de h périodes futures **qui suit la période T actuelle**, nous pouvons nous contenter par une prévision approximative constante :

$$P_{T+h} = P_{T+1}$$

Méthodes de prévision : Quantitatives

Les méthodes par extrapolation dans le temps

Méthodes du lissage exponentiel : Le lissage exponentiel simple



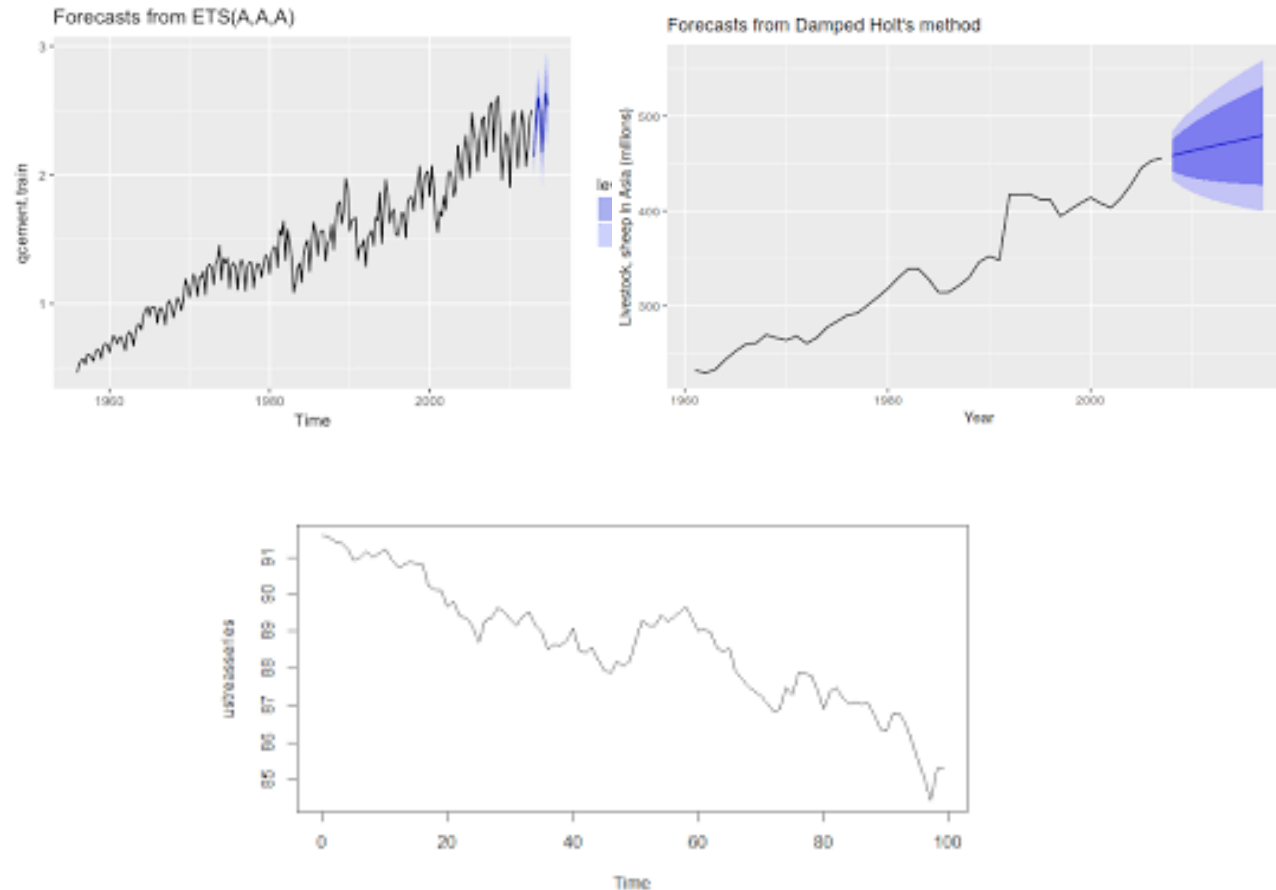
Méthodes de prévision : Quantitatives

Les méthodes par extrapolation dans le temps

Méthodes du lissage exponentiel : Le lissage exponentiel de Holt

- S'applique aux séries chronologiques **sans composante saisonnière** et à **tendance à la hausse ou à la baisse**.

Remarque : L'avantage du modèle de **Holt** par rapport au modèle de **régression linéaire** est que pour chaque période t la pente b_t varie, contrairement au modèle de régression linéaire où la pente est constante sur toutes les périodes.



Méthodes de prévision : Quantitatives

Les méthodes par extrapolation dans le temps

Méthodes du lissage exponentiel : Le lissage exponentiel de Holt

- α : Coefficient de lissage du niveau ($0 < \alpha < 1$)
- β : Coefficient de lissage de la tendance ($0 < \beta < 1$)
- a_n est l'indice du niveau qui représente la valeur lissée jusqu'à la dernière donnée incluse

Mise à jour du niveau :
$$a_n = \alpha D_n + (1 - \alpha)P_n$$

- Comme la variation est croissante ou décroissante, on doit associer à chaque niveau une droite de pente définie par b_n .

Mise à jour de la tendance :
$$b_n = \beta(a_n - a_{n-1}) + (1 - \beta)b_{n-1}$$

- La pente de la ligne jusqu'à la dernière donnée incluse est donnée par l'indice de la pente b_n
- **Préparation** : puisque les méthodes du lissage exponentiel sont récursives, nous devons d'abord calculer les prévisions de la période 2 jusqu'à la période T actuelle. Ces calculs sont nécessaires pour effectuer les

prévisions futures :
$$P_{n+1} = a_n + b_n$$

- Les **prévision** pour un **horizon de h périodes qui suit la période T actuelle** sont calculées comme

suit:
$$P_{T+h} = a_T + h \cdot b_T$$

Méthodes de prévision : Quantitatives

Les méthodes par extrapolation dans le temps

Méthodes du lissage exponentiel : Le lissage exponentiel de Holt

Interprétation des paramètres α et β

- α élevé : donne plus d'importance aux observations récentes, ce qui rend le modèle plus réactif mais aussi plus sensible aux variations brusques.
- β élevé : met à jour rapidement la tendance, utile si la tendance change souvent.
- Valeurs faibles de α et β : donnent une prévision plus stable mais réagissent lentement aux changements de tendance.
- Choix des paramètres : Ils peuvent être ajustés manuellement ou optimisés en minimisant l'erreur de prévision (ex. MSE, MAPE, RMSE).

Méthodes de prévision : Quantitatives

Les méthodes par extrapolation dans le temps

Méthodes du lissage exponentiel : Le lissage exponentiel de Holt

Exemple

On est à la fin de la période $T=6$, et on cherche à prédire la demande des périodes 7 et 8. On prend $\alpha = 0,2$ et $\beta=0,3$

Périodes	D_n	a_n	b_n	P_n
1	26	26	1,8	
2	28	27,84	1,81	27,8
3	29	29,52	1,77	29,65
4	31	31,23	1,75	31,29
5	32	32,79	1,69	32,99
6	35	34,59	1,72	34,49
7				36,32

Initialisation

On met $a_1 = D_1 = 26$

On prend b_1 la pente approximative de la ligne joignant les points D_1 et D_6
 $\rightarrow b_1 = (D_6 - D_1)/5 = 1,8$

Procédures

Par conséquent : $P_2 = a_1 + b_1 = 27,8$

$a_2 = \alpha D_2 + (1 - \alpha)P_2 = 27,84$

$b_2 = \beta(a_2 - a_1) + (1 - \beta)b_1 = 1,812$

On suit cette procédure jusqu'à l'obtention de $P_{T=6}$

$$P_6 = a_5 + b_5 = 34.49$$

Pour calculer la prévision pour les périodes futures 7 et 8, on utilise la formule : $P_{6+h} = a_6 + h \cdot b_6$

$$P_7 = a_6 + 1 \cdot b_6 = 36.32$$

$$P_8 = a_6 + 2 \cdot b_6 = 38.04$$

Méthodes de prévision : Quantitatives

Les méthodes par extrapolation dans le temps

Présence de la saisonnalité

L'exemple de la saisonnalité des ventes ou des commandes trouve de nombreux exemples dans le commerce et les services :

- Les ventes des rafraichissant durant l'été par rapport à l'automne et l'hiver
- Les ventes des climatiseurs dans les mois de l'été par rapport aux autres saisons de l'année
- Les ventes des chauffages durant l'hiver par rapport aux autres saisons de l'année
- En termes de service, on peut parler de l'exemple de la billetterie d'avion pendant les mois liés aux vacances scolaires.
- Ou bien les ventes des billets de bateaux pendant la saison estivale.

Méthodes de prévision : Quantitatives

Les méthodes par extrapolation dans le temps

Présence de la saisonnalité : Méthodes des coefficients saisonniers

Soit l'exemple des commandes
suivant où la saison désigne un
trimestre :

<i>D</i>	Année i=1	i=2	i=3	Totaux	Importance de chaque trimestre par rapport à l'année
Trim 1	53	58	62	173	$0.333 = 173 / 519$
Trim 2	22	25	27	74	0.142
Trim 3	37	40	44	121	0.233
Trim 4	45	50	56	151	0.290
Totaux				519	1

Les méthodes par extrapolation dans le temps

Présence de la saisonnalité : Méthodes des coefficients saisonniers

3 – Maintenant, on doit calculer la prévision pour la quatrième année. Pour cela, on applique la méthode de régression linéaire afin de trouver l'équation de la droite $y = at + b$ qui passe au mieux dans le nuage des points constitués par la somme des demandes par année

$\sum_{j=4*i+1}^{4*i+4} D_j$ en utilisant la méthode de régression linéaire :

	1	2	3
Demandes par an	157	173	189

$$y = 16t + 141$$

Par conséquent, la prévision pour l'année 4 se calcule comme suit: $16 * 4 + 141 = 205$

4 – Enfin, en utilisant l'indice de l'importance de chaque trimestre par rapport à l'année et la prévision pour la quatrième année, on calcule la prévision pour chaque trimestre de la quatrième année:

D	i=1	i=2	i=3	Prévisions de l'année 4
Trim j=1	53	58	62	$0,333*205=68.33$
Trim j=2	22	25	27	$0,142*205=29.23$
Trim j=3	37	40	44	$0,233*205=47.79$
Trim j= 4	45	50	56	$0,290*205=59.64$

Méthodes de prévision : Quantitatives

Les méthodes par extrapolation dans le temps

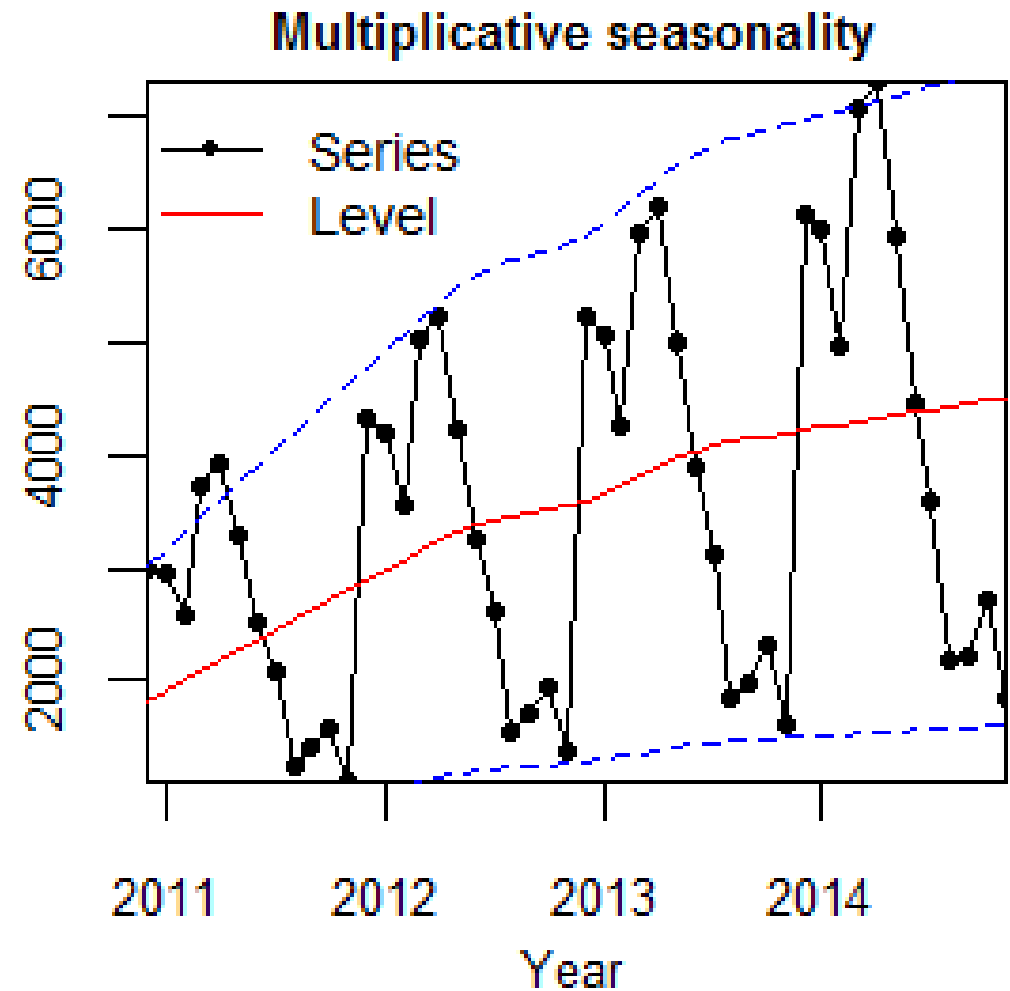
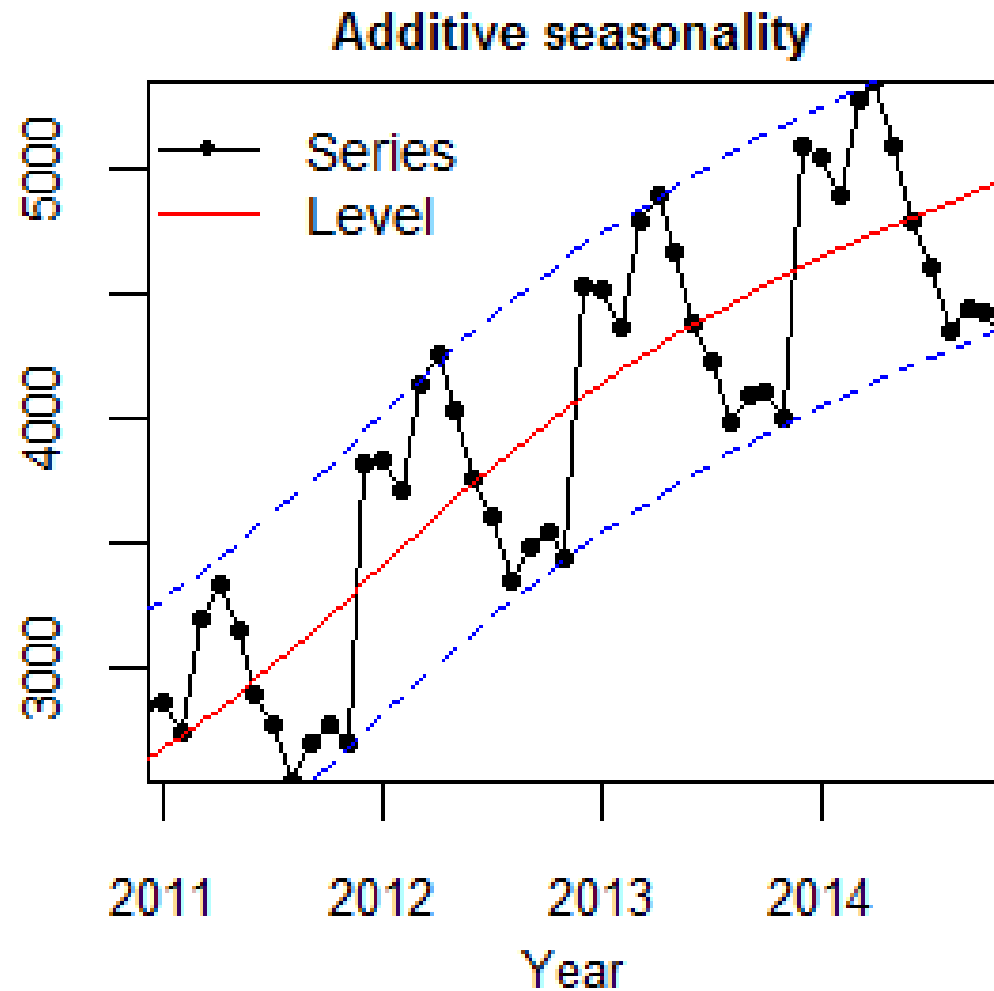
Présence de la saisonnalité : Méthode de Holt-Winters

- Cette méthode est une extension du modèle de Holt avec considération des indices de saisonnalité.
- Elle donne plus d'importance aux saisons les plus récentes.
- Elle existe sous deux formes :
 - ✓ Modèle additif de Holt-Winters : est approprié lorsque la saisonnalité est stable et ne dépend pas du niveau de la série. Cela signifie que l'amplitude des fluctuations saisonnières reste constante au fil du temps.
 - ✓ Modèle multiplicatif de Holt-Winters : est plus adapté lorsque l'amplitude des fluctuations saisonnières varie en fonction du niveau de la série. En d'autres termes, les variations saisonnières sont proportionnelles au niveau de la série.

Méthodes de prévision : Quantitatives

Les méthodes par extrapolation dans le temps

Présence de la saisonnalité : Méthode de Holt-Winters

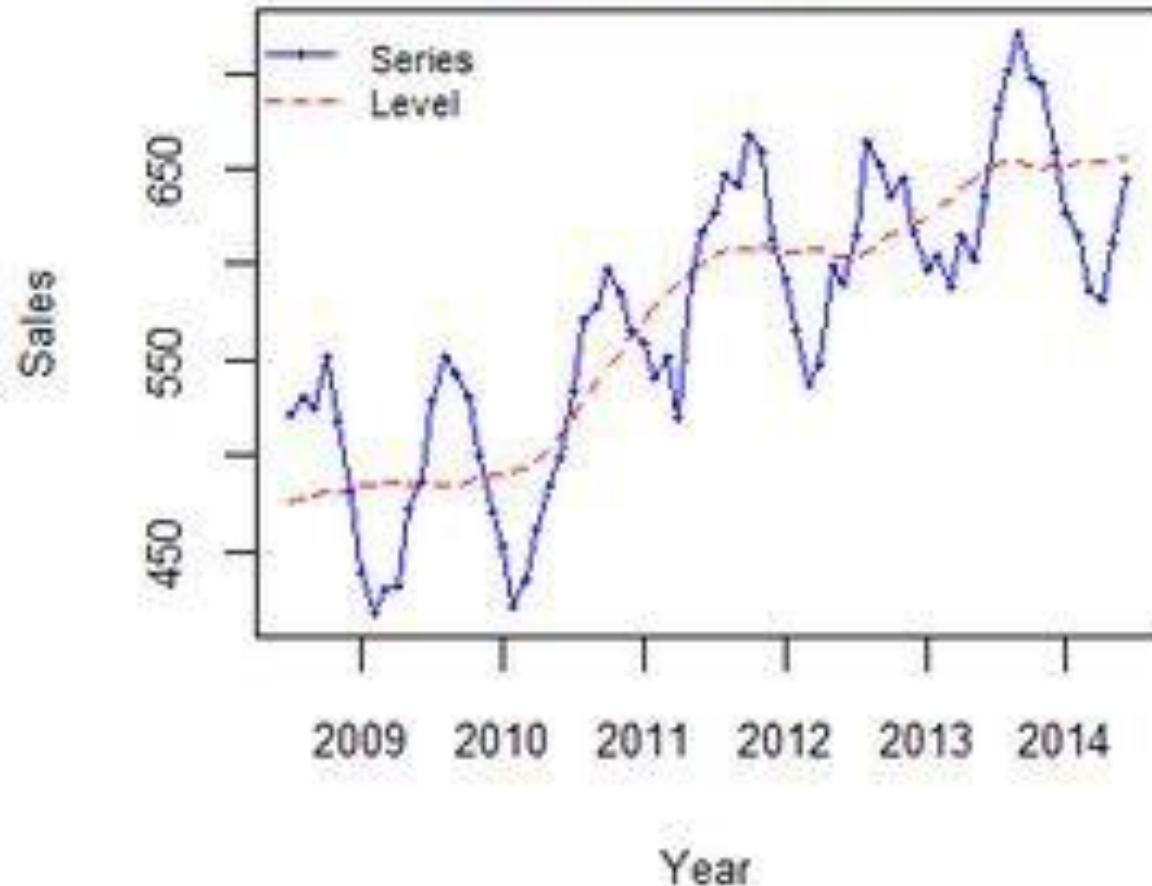


Méthodes de prévision : Quantitatives

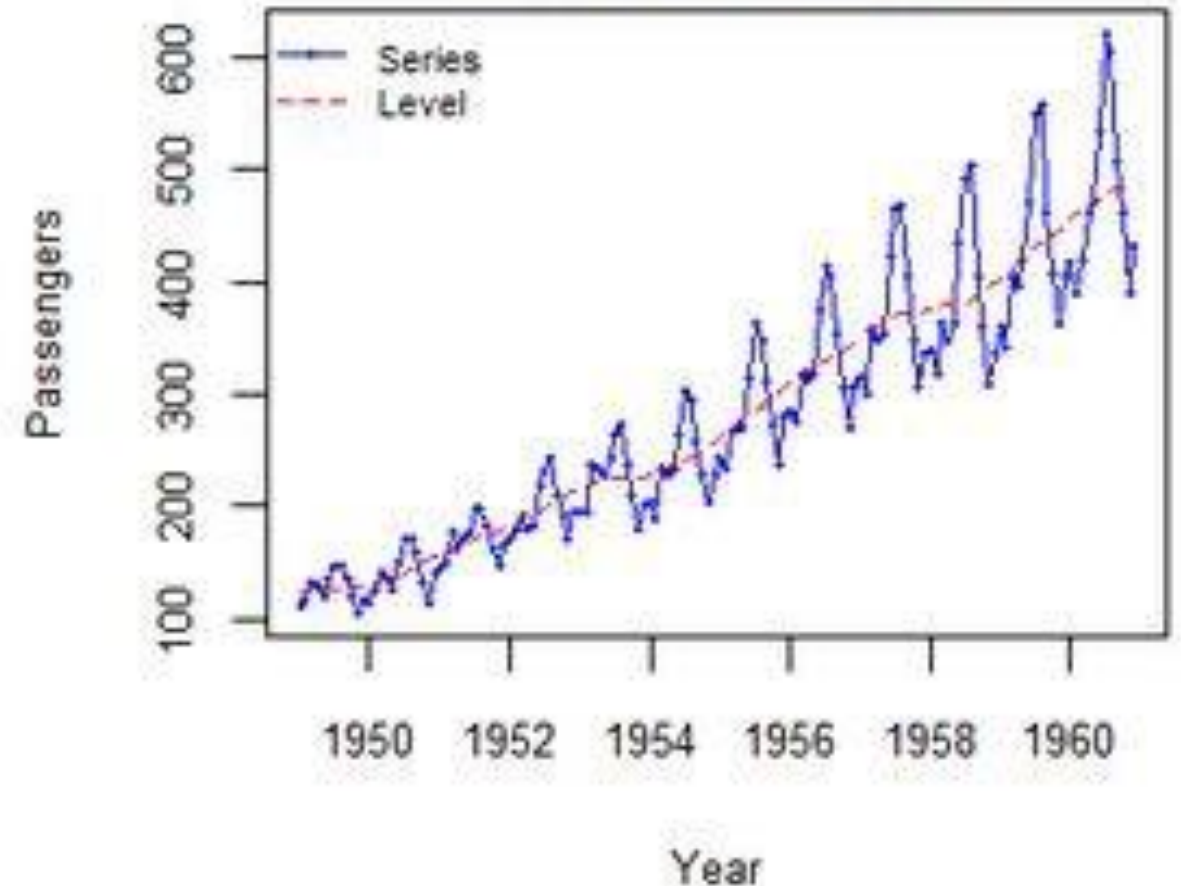
Les méthodes par extrapolation dans le temps

Présence de la saisonnalité : Méthode de Holt-Winters

Additive Seasonality



Multiplicative Seasonality



Présence de la saisonnalité : Méthode de Holt-Winters

- α : Coefficient de lissage du niveau ($0 < \alpha < 1$) β : Coefficient de lissage de la tendance ($0 < \beta < 1$)
- γ : Coefficient de lissage de la saisonnalité ($0 < \gamma < 1$) m : nombre de période par cycle
- **On est à la fin de la période T , et on nous demande de calculer les prévisions prochaines**
- Initialisation :

$$b_m = 0 \quad a_m = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m D_j$$

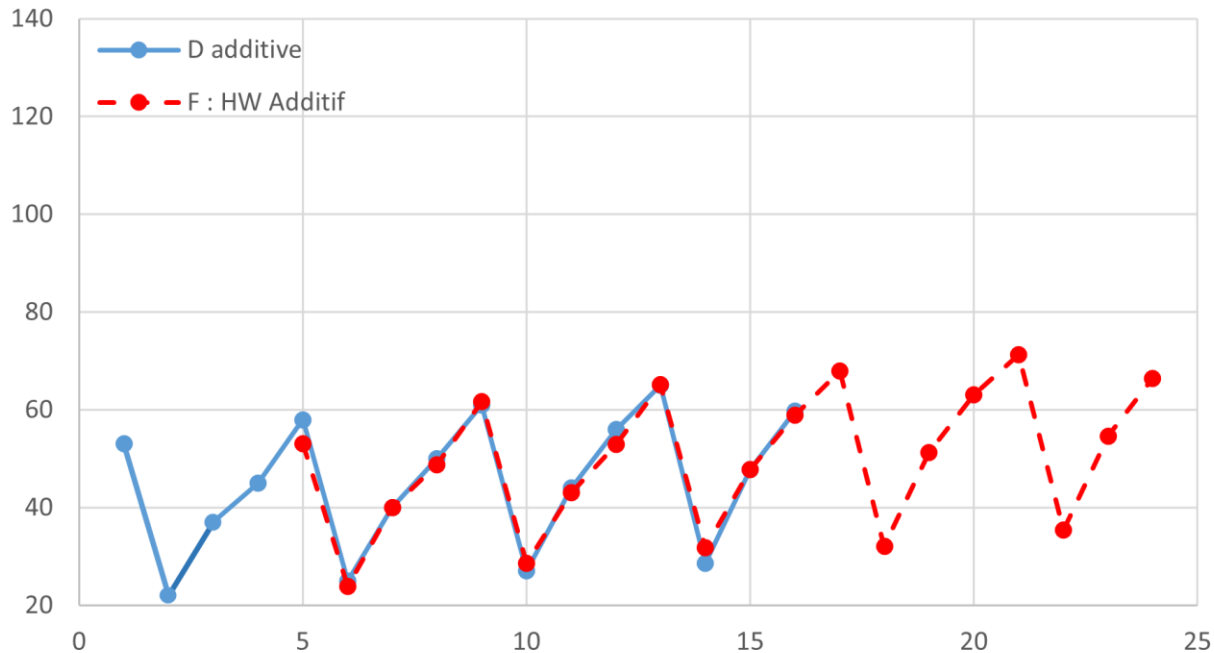
	Modèle additif		Modèle multiplicaf	
Indice du Niveau	$a_t = \alpha(D_t - C_{t-m}) + (1 - \alpha)(a_{t-1} + b_{t-1})$ $t = m + 1, \dots, T$		$a_t = \alpha\left(\frac{D_t}{C_{t-m}}\right) + (1 - \alpha)(a_{t-1} + b_{t-1})$ $t = m + 1, \dots, T$	
Indice de la Pente	$b_t = \beta(a_t - a_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1}$ $t = m + 1, \dots, T$			
Indice de la saisonnalité	$C_t = D_t - a_m,$ $t = 1, 2, \dots, m$	$C_t = \gamma(D_t - a_t) + (1 - \gamma)C_{t-m}$ $t = m + 1, \dots, T$	$C_t = \frac{D_t}{a_m},$ $t = 1, 2, \dots, m$	$C_t = \gamma\left(\frac{D_t}{a_t}\right) + (1 - \gamma)C_{t-m}$ $t = m + 1, \dots, T$
Prévision $m + 1 \leq t \leq T$	$P_t = a_{t-1} + b_{t-1} + C_{t-m}$		$P_t = (a_{t-1} + b_{t-1}). C_{t-m}$	
Prévision P_{T+h}	$a_T + h.b_T + C_{T+h-m}, \quad si \ 1 \leq h \leq m$ $a_T + h.b_T + C_{T+h-2m}, \quad si \ m + 1 \leq h \leq 2m$ ----- $a_T + h.b_T + C_{T+h-Km} \quad si \ (K - 1).m + 1 \leq h \leq Km$		$(a_T + h.b_T). C_{T+h-m}, \quad si \ 1 \leq h < m$ $(a_T + h.b_T). C_{T+h-2m}, \quad si \ m + 1 \leq h < 2m$ ----- $(a_T + h.b_T). C_{T+h-Km} \quad si \ (K - 1).m + 1 \leq h \leq Km$	

Méthodes de prévision : Quantitatives

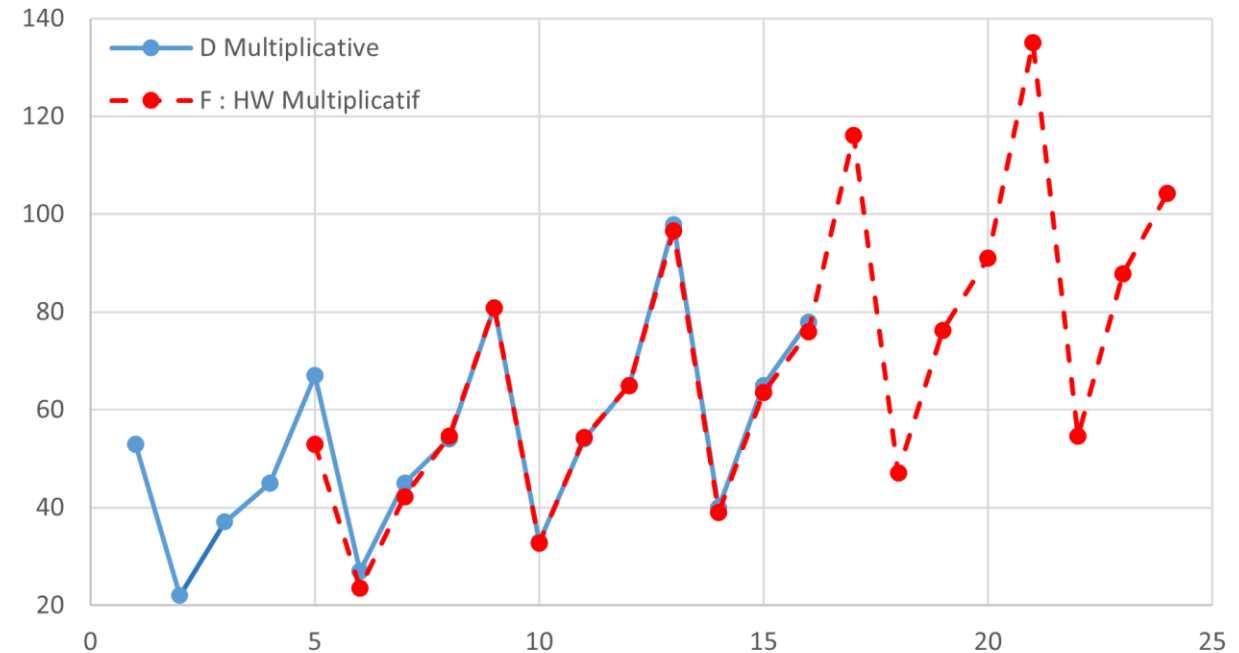
Les méthodes par extrapolation dans le temps

Présence de la saisonnalité : Méthode de Holt-Winters

Modèle additif



Modèle multiplicatif



Méthodes de prévision : Quantitatives

Les méthodes par extrapolation dans le temps

Présence de la saisonnalité : Méthode de Holt-Winters

Application

Appliquer la méthode additive de Holt-Winter sur les données ci-dessous pour prédire les demandes de la **cinquième** et la **sixième** années

<i>D</i>	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4
Trimestre 1	53	58	61	65
Trimestre 2	22	25	27	29
Trimestre 3	37	40	44	48
Trimestre 4	45	50	56	60

Alpha	0.2
Beta	0.3
Gamma	0.25