

La capacité peut être définie comme la quantité de production qu'un système est capable d'atteindre sur une période donnée.

des opérations doivent tenir compte à la fois des ressources utilisées et des produits obtenus. À des fins de planification, la capacité réelle (ou effective) dépend de ce qui doit être produit.

Alors que de nombreuses industries mesurent et déclarent leur capacité en termes de production, celles dont la gamme de produits est très incertaine expriment souvent leur capacité en termes d'intrants.

La capacité doit être indiquée par rapport à une certaine période de temps :

- Longue portée (supérieure à un an). Lorsque les ressources productives (telles que les bâtiments, les équipements ou les installations) prennent beaucoup de temps à acquérir ou à éliminer
- Gamme intermédiaire (plans mensuels ou trimestriels pour les 6 à 18 prochains mois). La capacité peut être modifiée par des alternatives telles que l'embauche, les licenciements, de nouveaux outils, l'achat de petits équipements et la sous-traitance.
- À court terme (moins d'un mois). Ce type de projet est lié au processus de planification quotidienne ou hebdomadaire et implique des ajustements pour éliminer l'écart entre les résultats prévus et réels.

L'objectif de la planification stratégique des capacités est de fournir une approche permettant de déterminer le niveau global de capacité des ressources à forte intensité de capital (installations, équipements et taille globale de la main-d'œuvre) qui soutient le mieux la stratégie concurrentielle à long terme de l'entreprise. Le niveau de capacité choisi a un

Le meilleur niveau de fonctionnement est le niveau de capacité pour lequel le processus a été conçu et constitue donc le volume de production auquel le coût unitaire moyen est minimisé.

Le taux d'utilisation des capacités révèle à quel point une entreprise est proche de son meilleur niveau d'exploitation :

$$\frac{\textit{Capacity used}}{\textit{Best operating level}}$$

Exercice potentiel à  
l'examen

Le taux d'utilisation des capacités est exprimé en pourcentage.

Économies d'échelle : une usine devient plus grande et le volume augmente, le coût moyen par unité de production diminue.

À un moment donné, la taille d'une usine devient trop importante et les déséconomies d'échelle deviennent un problème.

Par exemple :

- maintenir la demande nécessaire pour maintenir l'activité de la grande installation peut nécessiter une remise importante sur le produit
- en utilisant quelques équipements de grande capacité.

### Focus sur la capacité

Une installation de production fonctionne mieux lorsqu'elle se concentre sur un ensemble assez limité d'objectifs de production.

Une entreprise doit sélectionner un ensemble limité de tâches qui contribuent le plus aux objectifs de l'entreprise. En règle générale, l'usine ciblée produirait un produit spécifique ou un groupe de produits connexes. Une usine ciblée permet de concentrer la capacité sur la production de ces articles spécifiques.

Plante dans la plante (PWP) est une zone dans une installation plus grande qui est dédiée à un objectif de production spécifique (par exemple, groupe de produits). Cela peut être utilisé pour opérationnaliser le concept d'usine ciblée.

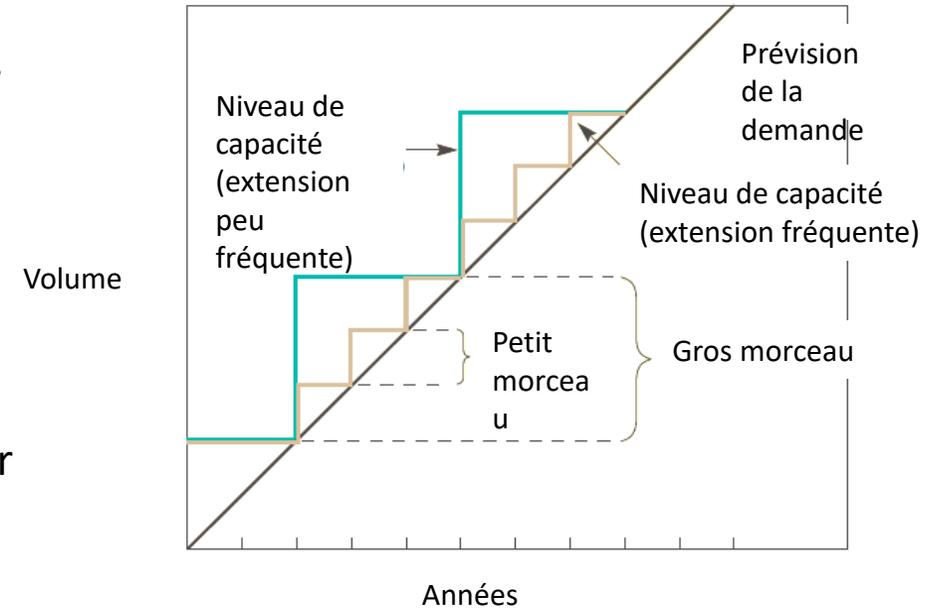
### Flexibilité des capacités

La capacité d'augmenter ou de diminuer rapidement les niveaux de production, ou de transférer rapidement la capacité de production d'un produit ou d'un service à un autre. Cela peut être réalisé grâce à :

- Des plantes flexibles
- Des processus flexibles, réunis par des systèmes de fabrication flexibles d'une part et des équipements simples et faciles à mettre en place d'autre part
- Travailleurs flexibles
- Stratégies qui utilisent la capacité d'autres organisations

Questions à prendre en compte lors de l'ajout ou de la diminution de capacité :

- Maintenir l'équilibre du système. Dans une usine parfaitement équilibrée, la production d'une étape est la production de la suivante. Cependant, les niveaux de fonctionnement optimaux pour chaque étape diffèrent généralement et il peut y avoir une variabilité dans la demande de produits. Pour gérer le déséquilibre :
  - Ajoutez de la capacité aux étapes qui constituent des goulots d'étranglement
  - Inclure des stocks tampons avant l'étape du goulot d'étranglement pour garantir qu'il y a toujours quelque chose sur quoi travailler
  - Augmenter les moyens d'un département dont un autre dépend
- Fréquence des ajouts de capacité. Les mises à niveau trop fréquentes et trop peu fréquentes sont coûteuses
- Sources externes d'opérations et capacité d'approvisionnement. Deux stratégies courantes utilisées par les organisations sont l'externalisation et le partage des capacités.
- Diminution de la capacité. La réduction de la capacité en réponse à une baisse de la demande peut créer des problèmes importants pour



Pour estimer les besoins en capacité, les demandes pour les lignes de produits individuelles, les capacités individuelles des usines et la répartition de la production dans l'ensemble du réseau d'usines doivent être traitées selon les étapes suivantes :

- Utiliser des techniques de prévision pour prédire les ventes de produits individuels au sein de chaque gamme de produits.
- Calculez les besoins en équipement et en main-d'œuvre pour répondre aux prévisions de la gamme de produits.
- Disponibilités de main d'œuvre et d'équipement du projet sur l'horizon de planification.

Un coussin de capacité est une quantité de capacité supérieure à la demande prévue.

Lorsque la capacité nominale d'une entreprise est inférieure à la capacité requise pour répondre à sa demande, on dit qu'elle dispose d'une marge de capacité négative.

Exemple

A produit deux marques de vinaigrettes : Paul's et Newman's. Chacune est disponible en bouteilles et en sachets plastiques à portion individuelle. La direction souhaite déterminer les besoins annuels en équipement et en main-d'œuvre pour son activité de conditionnement.

	Année 1	Année 2	3e année	4e année	Année 5
Paul					
Bouteilles	60000	100000	150000	200000	250000
Sacs en plastique	1000	200000	300000	400000	500000
Newman					
Bouteilles	75000	85000	95000	97000	98000
Sacs en plastique	200000	400000	600000	650000	680000

Exercice potentiel à l'examen

L'entreprise possède :

- trois machines pouvant emballer chacune 150 000 bouteilles par an (chaque machine a deux opérateurs)
- cinq machines pouvant emballer chacune 250 000 sacs en plastique par an (chacune de ces machines a trois opérateurs)

L'entreprise disposera-t-elle d'une capacité d'emballage annuelle suffisante pour répondre à la demande future ?

- Étape 1. Utilisez des techniques de prévision pour prédire les ventes de produits individuels au sein de chaque gamme de produits (dans le tableau précédent).
- Étape 2. Calculez les besoins en équipement et en main-d'œuvre pour répondre aux prévisions de la gamme de produits. Actuellement, 15 opérateurs de machines à sacs en plastique sont disponibles. Les prévisions totales de la gamme de produits peuvent être calculées à partir du tableau précédent en additionnant la demande annuelle de bouteilles et de sacs en plastique.

	Année 1	Année 2	3e année	4e année	Année 5
Bouteilles	135000	185000	245000	297000	348000
Sacs en plastique	300000	600000	900000	1050000	1180000

Exercice potentiel à l'examen

Calculer les besoins en matériel et en main d'oeuvre pour l'année en cours :

- La capacité totale disponible pour le conditionnement des bouteilles est de 450 000/an (3 machines × 150 000 chacune)
- $135\ 000/450\ 000 = 0,3$  ou 30 pour cent de la capacité disponible est utilisée pour l'année en cours, ou  $135\ 000/150\ 000 = 0,9$  machine
- $300\ 000/1\ 250\ 000 = 0,24$  ou 24 pour cent de la capacité disponible pour les sacs en plastique sont nécessaires pour l'année en cours, soit  $300\ 000/250\ 000 = 1,2$  machine.
- Les besoins en main d'oeuvre pour l'année 1 sont :  $0,9$  machine à bouteilles × 2 opérateurs = 1,8 opérateurs et  $1,2$  machine à sacs × 3 opérateurs = 3,6 opérateurs

	1	2	3	4	5
<b>Bouteille Opération</b>					
Pourcentage machine capacité utilisé	30%	41%	54,4%	66%	77,3%
Machine exigence	0,9	1.23	1,63	1,98	2.32
Travail exigence	1.8	2.46	3.26	3,96	4.64
<b>Plastique Sac Opération</b>					
Pourcentage machine capacité utilisé	24%	48%	72%	84%	94%
Machine exigence	1.2	2.4	3.6	4.2	4.7
Travail exigence	3.6	7.2	10.8	12.6	14.1

Exercice potentiel à  
l'examen

- Étape 3. Prévoir la disponibilité de la main-d'œuvre et des équipements sur l'horizon de planification (5 ans)

Il existe une marge de capacité positive pour les cinq années par rapport à la disponibilité des machines, car la capacité disponible pour les deux opérations dépasse toujours la demande prévue.

Un arbre de décision est un modèle schématique de la séquence des étapes d'un problème et des conditions et conséquences de chaque étape :

- Le format arborescent aide non seulement à comprendre le problème mais aussi à trouver une solution.
- Les arbres de décision sont composés de nœuds de décision avec des branches qui s'étendent vers et depuis eux. Les carrés représentent les points de décision et les cercles représentent les événements aléatoires. Les branches des points de décision montrent les choix disponibles pour le décideur ; les branches des événements aléatoires montrent les probabilités de leur occurrence.
- Pour résoudre les problèmes d'arbre de décision :
  - travailler de la fin de l'arbre vers le début de l'arbre
  - calculer les valeurs attendues à chaque étape.
  - Une fois les calculs effectués, élaguez l'arbre en éliminant de chaque point de décision toutes les branches sauf celle qui présente le gain le plus élevé.
  - ce processus se poursuit jusqu'au premier point de décision.

### Exemple

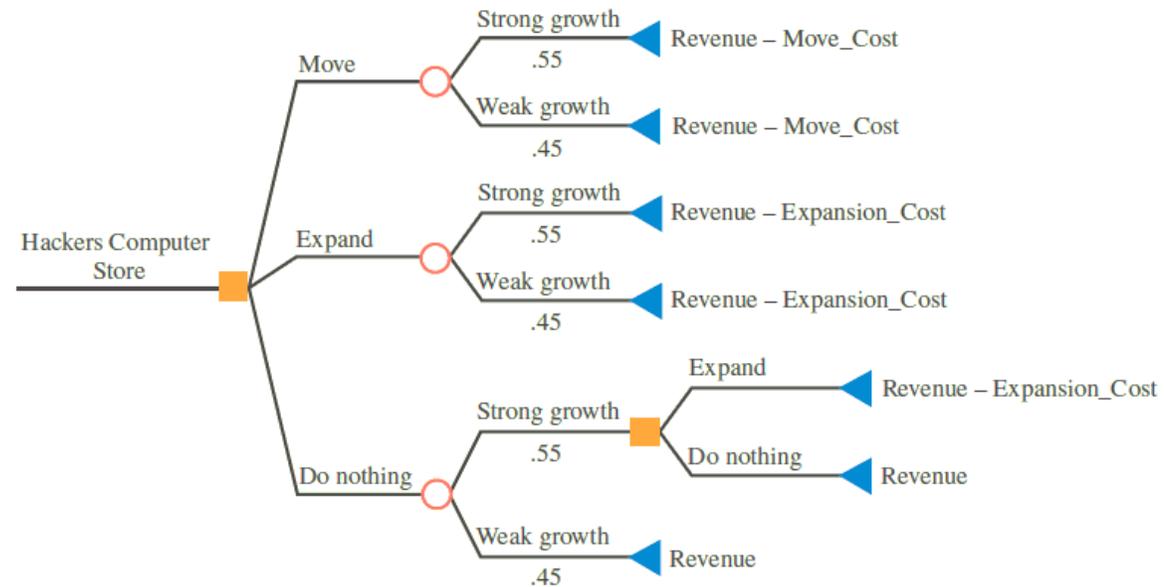
L'entreprise propriétaire d'un magasin d'informatique doit décider de l'une des interventions suivantes pour les cinq prochaines années :

- agrandir son magasin actuel
- s'implanter sur un nouveau site
- Attends et ne fais rien.

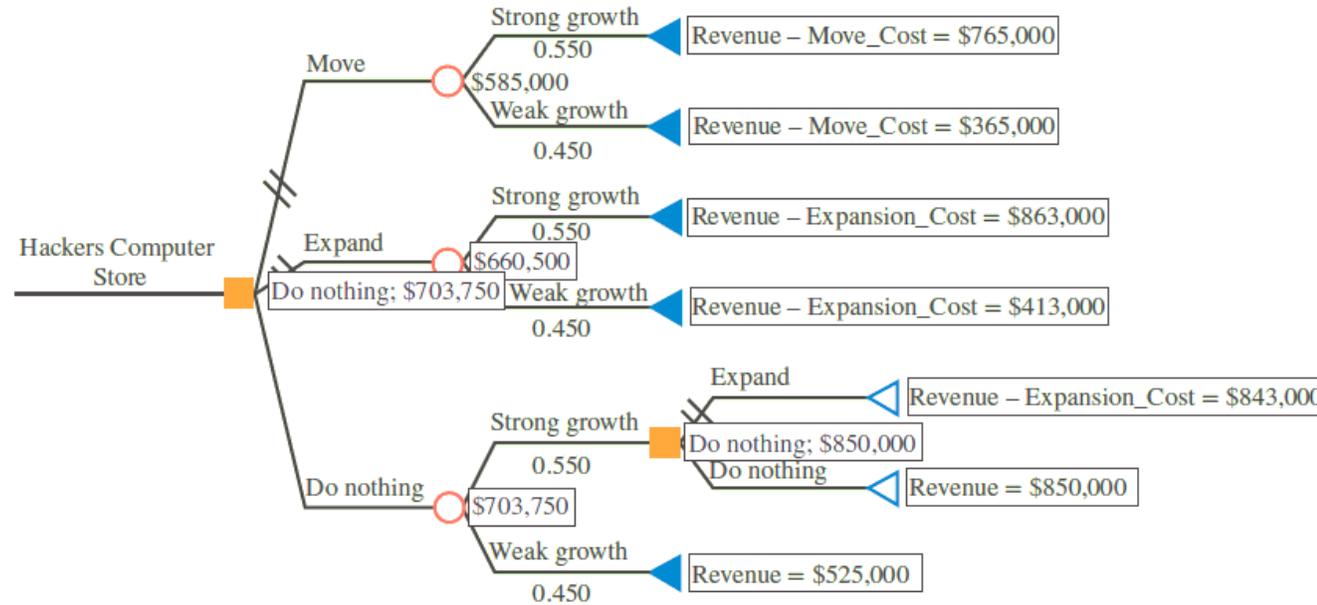
Les hypothèses et conditions sont les suivantes :

- Une forte croissance résultant de l'augmentation de la population de fanatiques d'informatique provenant de la nouvelle firme d'électronique a une probabilité de 55 pour cent.
- Une forte croissance avec un nouveau site donnerait un rendement annuel de 195 000 \$ par an. Une faible croissance avec un nouveau site donnerait un rendement annuel de 115 000 \$.
- Une forte croissance accompagnée d'une expansion donnerait un rendement annuel de 190 000 \$ par an. Une faible croissance accompagnée d'une expansion donnerait un rendement annuel de 100 000 \$.
- Dans le magasin existant, sans changement, il y aurait des retours de 170 000 \$ par année en cas de forte croissance et de 105 000 \$ par année en cas de croissance faible.
- L'agrandissement du site actuel coûterait 87 000 \$.
- Le déménagement vers le nouveau site coûterait 210 000 \$.
- Si la croissance est forte et que le site existant est agrandi au cours de la deuxième année, le coût serait toujours de 87 000 \$.
- Les coûts d'exploitation pour toutes les options sont égaux.

Un arbre de décision est construit. Il comprend deux points de décision (représentés par des nœuds carrés) et trois occurrences aléatoires (nœuds ronds).



Alternative	Revenu	Coût	Valeur
Se déplacer à nouveau emplacement, fort croissance	195 000 \$ × 5 ans	210 000 \$	765 000 \$
Se déplacer à nouveau emplacement, faible croissance	115 000 \$ × 5 ans	210 000 \$	365 000 \$
Développer magasin, fort croissance	190 000 \$ × 5 ans	87 000 \$	863 000 \$
Développer magasin, faible croissance	100 000 \$ × 5 ans	87 000 \$	413 000 \$
Faire rien maintenant, fort croissance, développer suivant année	170 000 \$ × 1 an + 190 000 \$ × 4 ans	87 000 \$	843 000 \$
Faire rien maintenant, fort croissance, faire pas développer suivant année	170 000 \$ × 5 ans	0 \$	850 000 \$
Faire rien maintenant, faible croissance	105 000 \$ × 5 ans	0 \$	525 000 \$



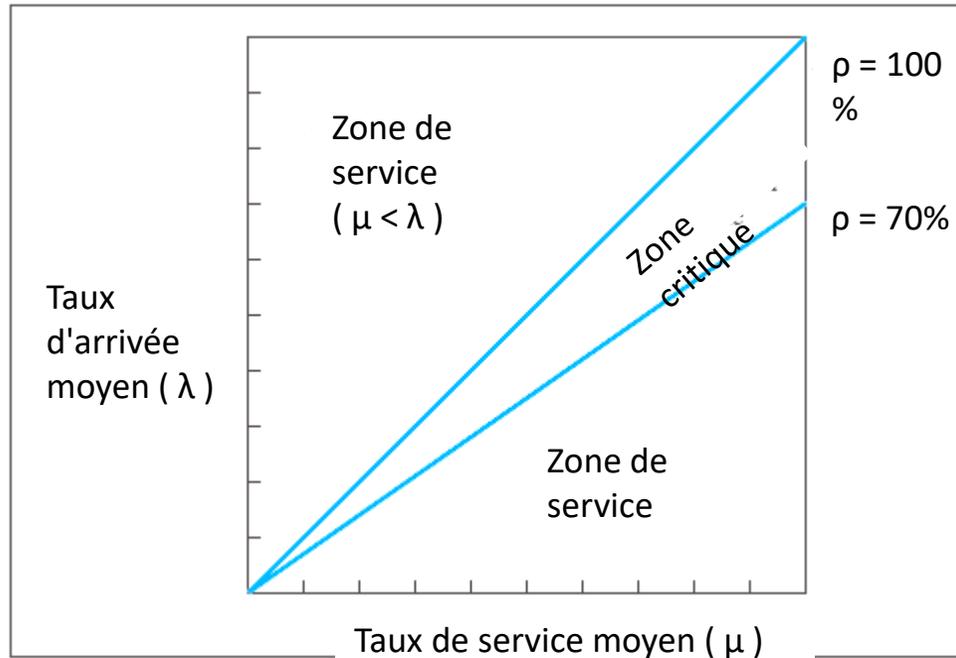
En partant des alternatives les plus à droite, qui sont associées à la décision d'agrandir ou non, l'alternative de ne rien faire a une valeur plus élevée que l'alternative d'agrandir. Nous éliminons donc l'agrandir dans les alternatives de la deuxième année.

Les valeurs attendues associées aux alternatives de décision actuelles sont calculées en multipliant la valeur de l'alternative par sa probabilité et en additionnant les valeurs.

La planification de la capacité de service est soumise à bon nombre des mêmes problèmes que la planification de la capacité de fabrication, et le dimensionnement des installations peut être effectué de la même manière. Toutefois, la capacité de service dépend davantage du temps et de l'emplacement, elle est soumise à des fluctuations de la demande plus volatiles et l'utilisation a un impact direct sur la qualité du service :

- Contrairement aux biens, les services ne peuvent pas être stockés pour une utilisation ultérieure. Ainsi, dans le domaine des services, les gestionnaires doivent considérer le temps comme l'une de leurs ressources. La capacité doit être disponible pour produire un service au moment où il est nécessaire.
- La capacité de fournir le service doit d'abord être distribuée au client (soit physiquement, soit par le biais d'un moyen de communication), puis le service peut être produit.
- La volatilité de la demande sur un système de prestation de services est beaucoup plus élevée que celle d'un système de production manufacturière puisque :
  - les services ne peuvent pas être stockés (les stocks ne peuvent pas lisser la demande comme dans le secteur manufacturier).
  - les clients interagissent directement avec le système de production et ont des besoins différents, des niveaux d'expérience différents avec le processus et peuvent nécessiter un nombre différent de transactions. Cela contribue à une plus grande variabilité du temps de traitement requis pour chaque client et donc à une plus grande variabilité de la capacité minimale requise.

La planification des niveaux de capacité des services doit tenir compte de la relation quotidienne entre l'utilisation des services et la qualité des services.



- Le taux d'arrivée est le nombre moyen de clients qui se présentent dans un établissement pendant une période donnée.
- Le taux de service correspond au nombre moyen de clients pouvant être traités au cours de la même période lorsque l'installation fonctionne à sa capacité maximale.
- Le meilleur point de fonctionnement se situe à près de 70 % de la capacité maximale ( assez pour occuper les serveurs mais laisse suffisamment de temps pour servir les clients individuellement et garder suffisamment de capacité en réserve pour ne pas créer trop de maux de tête de gestion).
- Dans la zone critique, les clients sont traités par le système, mais la qualité du service diminue.
- Au-dessus de la zone critique, où les clients arrivent à un rythme plus rapide qu'ils ne peuvent être servis, la file d'attente s'allonge et il est probable que de nombreux clients ne seront jamais servis.
- Le taux d'utilisation optimal dépend du contexte. Des taux bas sont appropriés lorsque le degré d'incertitude et les enjeux sont élevés. Les services relativement prévisibles peuvent prévoir un

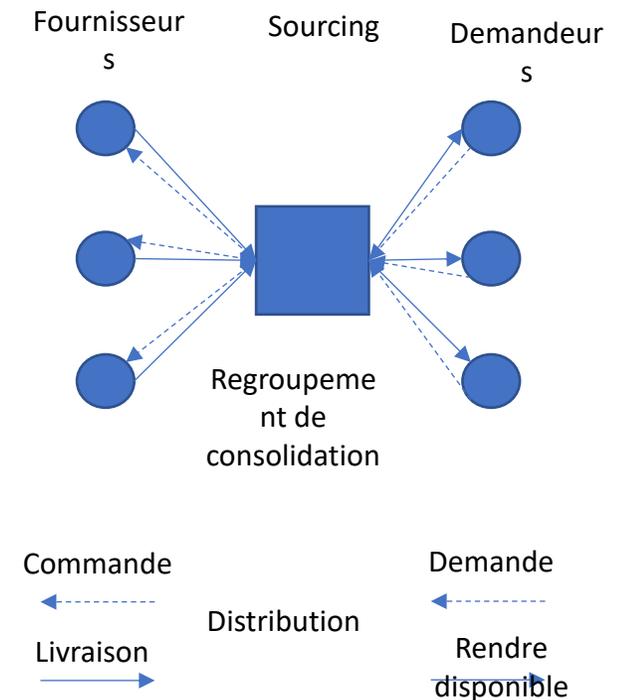
L'achat est le processus consistant à se procurer le produit approprié, au moment opportun, au coût le plus bas possible auprès d'une source fiable.

Les achats couvrent à la fois les acquisitions auprès de tiers et auprès de fournisseurs internes.

L'approvisionnement est le développement et la gestion des relations avec les fournisseurs pour acquérir des biens et des services d'une manière qui contribue à répondre aux besoins immédiats de l'entreprise.

Le processus d'approvisionnement relie l'offre à la demande. Le contenu et les objectifs des activités d'approvisionnement sont les suivants :

- Détermination des besoins en matériaux
- Gestion des commandes
- Recherche, observation et analyse de la base de fournisseurs
- Prendre ou acheter des décisions
- Gestion des fournisseurs



### Fabriquer ou acheter

Le choix de la fabrication ou de l'achat est une décision stratégique qui détermine si les objets d'approvisionnement sont fabriqués en interne ou en externe. De telles décisions stratégiques peuvent également être liées à la question des compétences de base.

Elle est étroitement liée aux décisions concernant la stratégie de production. L'équipe d'approvisionnement devra décider en collaboration avec les experts de la fabrication si l'achat externe (« acheter ») peut être la solution économiquement préférable ou si la pièce concernée doit être produite en interne (« fabriquer »).

### Externalisation

L'externalisation consiste à transférer certaines activités internes et la responsabilité des décisions d'une entreprise à des prestataires extérieurs. Contrairement aux contrats d'achat et de conseil, non seulement les activités sont transférées, mais également les ressources qui permettent la réalisation de ces activités, notamment les personnes, les installations, l'équipement, la technologie, d'autres actifs, ainsi que les responsabilités de prise de décision sur certains éléments des activités.

Les stratégies d’approvisionnement peuvent être classées selon trois caractéristiques fondamentales :

- Nombre de fournisseurs (approvisionnement simple, double et multiple). La tâche consiste à gérer la base de fournisseurs dans le but de déterminer le nombre adéquat de fournisseurs. En réduisant la base de fournisseurs, des volumes plus importants peuvent être commandés auprès d'un fournisseur (stratégie d'approvisionnement unique) dans le but de générer des effets de regroupement de volumes (échelle). Cependant, une stratégie d'approvisionnement multiple permet à la fois de mieux équilibrer les flux mondiaux de matériaux et de réduire les risques.
- Répartition géographique des fournisseurs (sourcing local, national, international et global). Il existe deux extrêmes, à commencer par le sourcing local (nombre limité de fournisseurs, mais mêmes normes, langue, devise, distance la plus courte et donc temps de réaction le plus rapide en cas de changement) par rapport au sourcing global (offrant la base de fournisseurs la plus large, mais souffrant par exemple de longues distances, de devises différentes, de normes standards).
- Entre ces deux extrêmes, il existe également des possibilités de suivre différents principes de sourcing (sourcing sur stock, juste-à-temps, sourcing particulier).

	Locale approvisionnement	Mondial approvisionnement
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Même normes/standards</li> <li>• Facile à atteindre/court distances</li> <li>• Même culture, même devise, même politique climat</li> <li>• Bien base pour JIT livraisons</li> <li>• Inférieur perturbation risques pour dans l'ensemble SC</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Le plus large variété de disponible vendeurs</li> <li>• Le plus grand portefeuille de produits ou services</li> <li>• Meilleure opportunités à comparer et négocier avec fournisseurs exigible à la plus large fournisseur base</li> </ul>
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (Très) limité fournisseur base ou Non fournisseur base</li> <li>• Peut-être limité négociation pouvoir de l'acheteur car de limites sur fournisseur côté</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plus long voyage et transport fois</li> <li>• Plus long réponse fois dans le événement de changements</li> <li>• Peut-être plus grand parcelle tailles</li> <li>• Potentiellement différent normes/standards</li> <li>• Différent cultures, devises, et politique incertitude</li> <li>• Plus haut perturbation risques pour dans l'ensemble SC</li> </ul>

### Coût total de possession

Il s'agit d'une estimation du coût d'un article qui comprend tous les coûts liés à son acquisition et à son utilisation, y compris tous les coûts liés à l'élimination de l'article lorsqu'il n'est plus utile.

Les coûts peuvent être classés en trois grandes catégories :

- coûts d'acquisition. Il s'agit des coûts initiaux associés à l'achat de matériaux, de produits et de services.
- Coûts de propriété. Ils sont engagés après l'achat initial et sont associés à l'utilisation continue du produit ou du matériel.
- coûts après acquisition. Ils comprennent la valeur de récupération et les coûts d'élimination.

Ces coûts peuvent être estimés comme des entrées de trésorerie (vente d'équipements usagés, etc.) ou des sorties de trésorerie (comme les prix d'achat, la démolition d'une installation obsolète, etc.).

## Exemple : achat d'une photocopieuse

- coût initial : 120 000 \$
- Revenu : 40 000 \$ par année.
- Fournitures : 7 000 \$ par an
- Il doit être révisé au cours de la troisième année, pour un coût de 9 000 \$.
- Sa valeur de récupération est de 7 500 \$ lorsqu'il est vendu au bout de 6 ans.

L'étalement de ces coûts dans le temps peut conduire à l'utilisation d'une analyse de la valeur actuelle nette pour évaluer la décision (facteur d'actualisation de 20 %).

Année	Maintenant	1	2	3	4	5	6
Initial Investissement – 120 000 \$							
Fabricant requis révision – 9 000 \$							
Espèces entrées depuis en utilisant le machine		\$ 40 000	\$ 40 000	\$ 40 000	\$ 40 000	\$ 40 000	\$ 40 000
Fournitures nécessaire à utiliser le machine		-7 000 \$	-7 000 \$	-7 000 \$	-7 000 \$	-7 000 \$	-7 000 \$
Sauver valeur							\$ 7 500
Total de annuel flux	-120 000 \$	\$ 33 000	\$ 33 000	\$ 24 000	\$ 33 000	\$ 33 000	\$ 40 500
Rabais facteur depuis Appendice C 1/(1 + .2) Année	1.000	0,833	0,694	0,579	0,482	0,402	0,335
Présent valeur – annuel	-120 000 \$	\$ 27 500	\$ 22 917	\$ 13 889	\$ 15 914	\$ 13 262	\$ 13 563
Présent valeur	-12 955 \$						

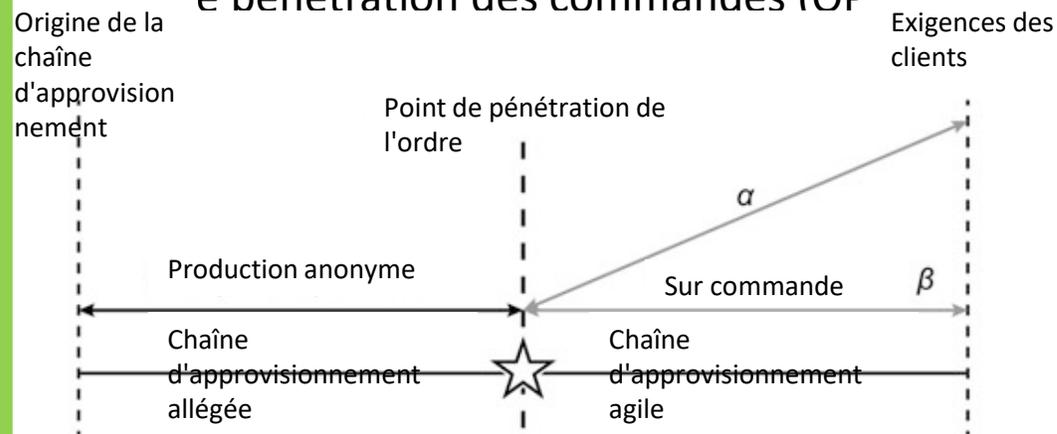
L'objectif est de déterminer la stratégie de production adéquate pour la chaîne logistique afin de combiner les avantages de la production de masse et de la personnalisation. Afin d'améliorer la réactivité sans détenir d'énormes stocks de produits finis, le report et la modularisation peuvent être utilisés :

- Le report est un concept organisationnel selon lequel certaines activités de la chaîne d'approvisionnement ne sont pas exécutées avant la réception des commandes des clients. La différenciation d'un produit générique en un produit final spécifique est rapprochée du consommateur en reportant les changements d'identité, tels que l'assemblage ou l'emballage, jusqu'au dernier emplacement possible de la chaîne d'approvisionnement. Cela permet de conserver un stock de sécurité sous la forme d'un seul produit générique au lieu de plusieurs produits finaux spécifiques. Le report entraîne une réduction des besoins en stock de sécurité et un moindre risque d'obsolescence des produits finaux.
- La modularisation consiste à construire un produit ou un processus complexe à partir de sous-systèmes plus petits qui peuvent être conçus indépendamment mais qui fonctionnent ensemble comme un tout.

Selon la vision push/pull, les processus de la chaîne d'approvisionnement peuvent être divisés en deux catégories selon qu'ils sont exécutés en réponse à une commande client (chaîne d'approvisionnement en aval) ou en prévision des commandes client (fabrication sur stock, chaîne d'approvisionnement en amont) :

- Les processus Pull sont initiés en réponse à une commande client. Les avantages du Pull sont la réactivité et un degré élevé d'individualisation des produits orientés client.
- Les processus push sont initiés et exécutés en prévision des commandes des clients. Les avantages de cette approche sont les suivants : économie d'échelle (faibles coûts de fabrication et de transport), flexibilité (niveau de stock élevé) et délais d'approvisionnement courts.

L'idée principale derrière le report est de retarder la différenciation du produit à un point plus proche du client appelé **Point de pénétration des commandes (OPP)**



En cas de demande ou de commande d'un client, les marchandises peuvent être livrées à partir d'une unité de stockage générale (trajectoire  $\alpha$ ) ou personnalisées en fonction de la demande ou de la commande (trajectoire  $\beta$ ). En amont de l'OPP, les processus sont conçus pour être allégés. En aval, les processus sont conçus pour être agiles.

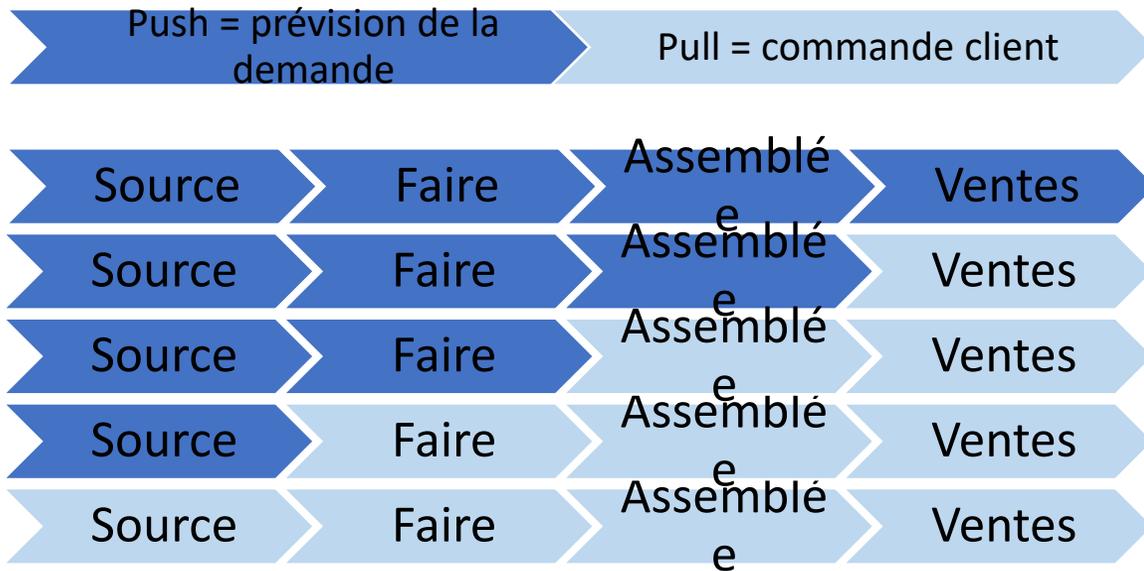
Trois catégories sont principalement pertinentes pour l'emplacement de la Police provinciale de l'Ontario :

- Retard de la différenciation des produits (report )
- Concevoir et développer des produits configurables standards ou génériques, personnalisables rapidement (modularisation des produits)
- Mise en œuvre de stratégies spécifiques de collaboration, de stratégies d'inventaire, de tampons, etc. pour atteindre les objectifs de niveau de service (agilité).

En pratique, la localisation de l'OPP est déterminée par une stratégie de report choisie. Plus l'OPP est située en amont de la SC, plus les activités de fabrication et de logistique sont reportées. En général, l'objectif est de reporter autant que possible la fabrication et la logistique et de maintenir des normes de service client élevées.

- Dans les processus pull, l'exécution est lancée en réponse à une commande client. Par conséquent, au moment de l'exécution d'un processus pull, la demande du client est connue avec certitude,
- Dans le cas des processus push, l'exécution est initiée en prévision des commandes des clients. Par conséquent, au moment de l'exécution d'un processus push, la demande n'est pas connue et doit être prévue.

La frontière push/pull est le lieu de l'OPP qui sépare les processus push des processus pull. Un produit est conservé le plus longtemps possible dans un état générique.



Selon l'emplacement de l'OPP, les stratégies de production suivantes peuvent être déterminées :

- Fabrication sur stock (MTS)
- Distribution sur commande (DTO)/Configuration sur commande (CTO)
- Assemblage sur commande (ATO)
- Fabrication sur commande (MTO)
- Ingénieur sur commande (ETO).

- La stratégie MTS est typique de la production en série de produits standards (sucre, chaussettes, etc. ). Les avantages de la stratégie MTS sont les faibles coûts unitaires de production et une meilleure utilisation des capacités en raison de l'effet d'échelle et de la flexibilité quantitative face aux fluctuations de la demande résultant de la standardisation des produits. Les inconvénients de la stratégie MTS sont des stocks plus élevés et une moindre flexibilité de production.
- Les stratégies DTO ou CTO permettent un certain degré d'individualisation du client. Il peut s'agir d'un emballage spécifique au client (comme dans l'industrie pharmaceutique) ou de certains éléments individuels ajoutés à un produit fabriqué standard. Les avantages de la DTO sont une plus grande flexibilité concernant la structure du produit et des stocks plus faibles.
- L'ATO suppose un degré plus élevé d'individualisation du produit (directement au sein de la fabrication). L'assemblage est effectué individuellement pour chaque client à partir d'un ensemble de modules standard. Les avantages et les inconvénients de l'ATO sont similaires à ceux du DTO/CTO, mais avec des investissements plus importants dans le processus, une plus grande flexibilité du produit et des stocks plus faibles.
- La stratégie MTO suppose également une possibilité d'individualisation des clients au niveau des modules/composants (les modules et composants peuvent également être fabriqués individuellement pour chaque client particulier). Les avantages et les inconvénients du MTO sont similaires à ceux de l'ATO, mais avec des investissements encore plus importants en matière de flexibilité et des stocks plus faibles.
- ETO offre le plus haut degré de personnalisation du client. ETO est raisonnable pour les produits complexes de grande valeur où la personnalisation du client est cruciale.

L'analyse des ventes perdues est utilisée pour étudier la question de savoir comment déterminer quelle est la bonne stratégie de production et l'emplacement OPP dans la chaîne d'approvisionnement.

Deux stratégies sont envisagées :

- MTS et livraison à partir d'une unité de stockage d'inventaire général et
- introduction de la partie MTO agile en aval de l'unité générale de tenue des stocks.

L' emplacement de l'OPP peut être déterminé en comparant les résultats financiers des deux stratégies (avec et sans OPP). Une estimation quantitative de l'emplacement de l'OPP peut être trouvée en reliant les stratégies mentionnées ci-dessus entre elles :

$$D = \frac{R_a k_a - (C_u^a + C_d^a + P^a + L^a)}{R - (C + kP + kL)} \rightarrow \max[t_0; T]$$

Différents emplacements OPP peuvent être étudiés et le meilleur avec la valeur maximale  $D > 1$  est sélectionné sur la base de la formule.

D est l'indice permettant de caractériser l'efficacité de l'emplacement de l'OPP,

R est le chiffre d'affaires en cas de fabrication sur stock,

$R_a$  est le revenu lorsque l'agilité est introduite en aval de l'unité de stockage des stocks généraux,

C sont les coûts de la chaîne d'approvisionnement en cas de fabrication sur stock,

$C_u^a$  sont les coûts de la chaîne d'approvisionnement en amont de l'OPP lorsque l'agilité est introduite,  $C_d^a$

sont les coûts SC en aval de l'OPP lorsque l'agilité est introduite, P sont les pénalités des contrats non exécutés en cas de fabrication sur stock,

$P_a$  sont des pénalités de contrats non exécutés lorsque l'agilité est introduite,

L sont des pertes dues aux demandes clients rejetées en cas de fabrication sur stock,

Les pertes dues aux demandes de clients rejetées lorsque l'agilité est introduite,

k,  $k_a$  sont des coefficients correcteurs pour prendre en compte les augmentations futures des ventes dues à une augmentation de la réactivité lorsque l'agilité est introduite,

t représente les instants de temps dans l'ensemble du cycle SC  $[t_0; T]$ .

### Objectif de la prévision :

- Prévisions stratégiques Prévisions à moyen et long terme utilisées pour les décisions relatives à stratégie et demande globale.
- Prévisions tactiques Prévisions à court terme utilisées pour prendre des décisions quotidiennes liées à répondre à la demande.

Il est pratiquement impossible d'établir une prévision parfaite, car de nombreux facteurs de l'environnement économique ne peuvent être prédits avec certitude. Par conséquent, plutôt que de rechercher la prévision parfaite, il est bien plus important d'établir la pratique d'une révision continue des prévisions et d'apprendre à vivre avec des prévisions inexactes.

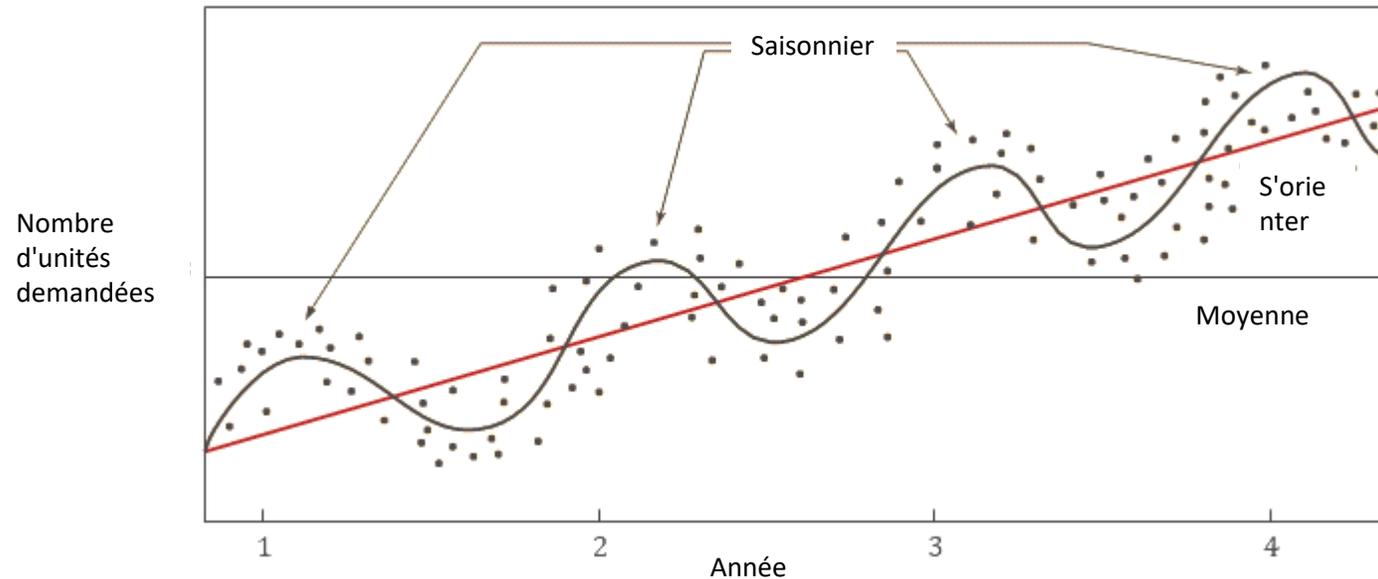
Lors de l'élaboration de prévisions, une bonne stratégie consiste à utiliser deux ou trois méthodes et à les considérer selon un point de vue de bon sens.

### Méthodes de prévision :

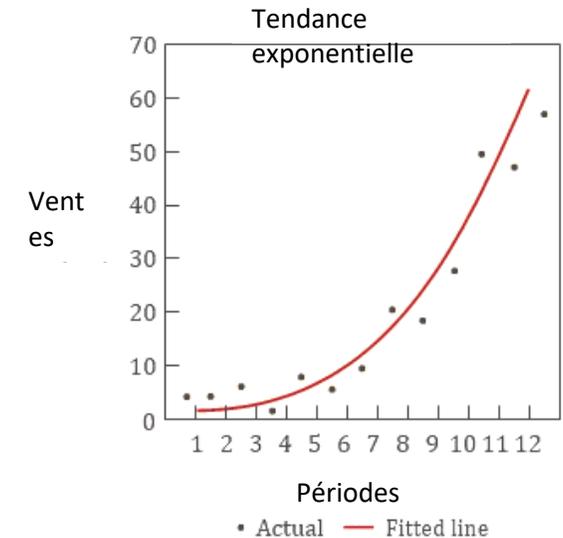
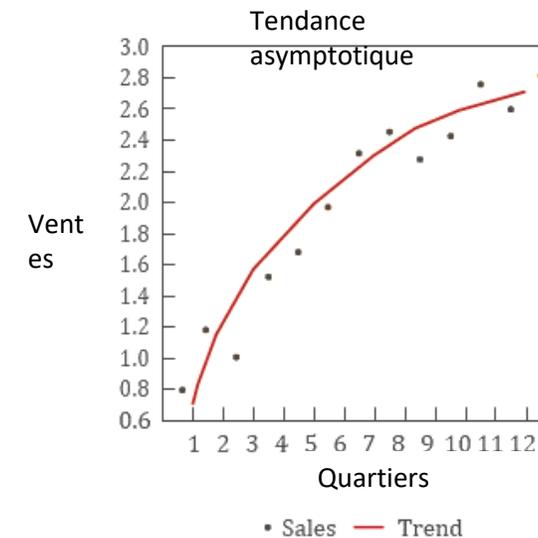
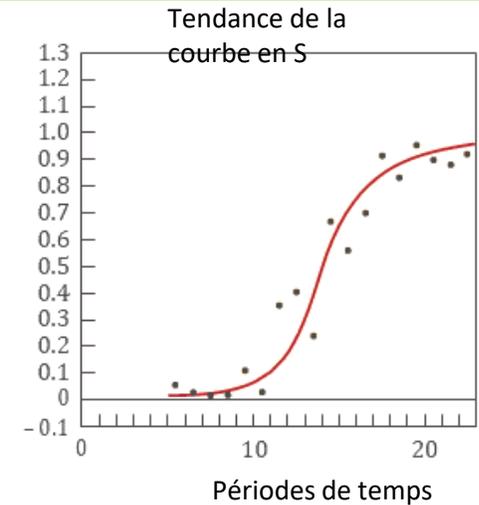
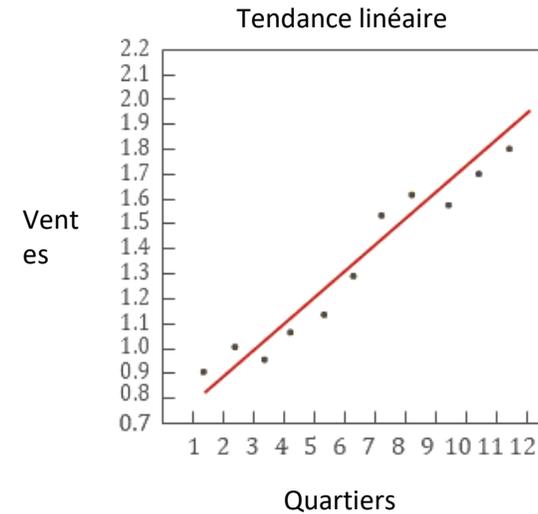
- Qualitatif. Ces prévisions sont essentiellement subjectives et reposent sur le jugement humain. Elles sont particulièrement adaptées lorsque peu de données historiques sont disponibles ou lorsque les experts disposent d'informations sur le marché susceptibles d'influer sur les prévisions.
- Séries chronologiques . Elles utilisent la demande historique pour établir une prévision. Elles se basent sur l'hypothèse selon laquelle l'historique de la demande passée est un bon indicateur de la demande future.
- Causalité. Ils supposent que la prévision de la demande est fortement corrélée à certains facteurs de

### Composantes de la demande :

- Partie systématique :
  - demande moyenne pour la période
  - Éléments cycliques. Les facteurs cycliques sont plus difficiles à déterminer car la durée peut être inconnue ou la cause du cycle peut ne pas être prise en compte. L'influence cyclique sur la demande peut provenir d'événements tels que des élections politiques, une guerre, des conditions économiques ou des pressions sociologiques.
  - autocorrélation. Elle dénote la persistance de l'occurrence (la valeur attendue à tout moment est fortement corrélée à :



- élément saisonnier. Les fluctuations saisonnières prévisibles de la demande
- une tendance. Il s'agit du taux de croissance ou de baisse de la demande pour la période suivante. Une méthode de prévision largement utilisée trace les données, puis recherche le modèle de courbe (par exemple linéaire, en S, asymptotique ou exponentiel) qui correspond le mieux
- Variation aléatoire. Il s'agit de la partie inexpliquée de la demande et on suppose qu'elle est purement aléatoire. Tout ce qu'une entreprise peut prédire, c'est la taille et la variabilité de la composante aléatoire, ce qui fournit une mesure de l'erreur de prévision qui mesure la différence entre la demande prévue et la demande réelle. En moyenne, une bonne méthode de prévision comporte une erreur dont la taille est comparable à la composante aléatoire de la demande.



Étapes de la prévision de la demande :

- Comprendre l'objectif de la prévision (par exemple, quelle quantité d'un produit particulier fabriquer, quelle quantité stocker et quelle quantité commander)
- Intégrer la planification et la prévision de la demande tout au long de la chaîne d'approvisionnement.
- Identifiez les principaux facteurs qui influencent les prévisions de la demande :
  - Du côté de la demande, une entreprise doit déterminer si la demande augmente, diminue ou suit un modèle saisonnier.
  - Du côté de l'offre, une entreprise doit prendre en compte les sources d'approvisionnement disponibles pour décider de la précision des prévisions souhaitées.
  - Du côté des produits, une entreprise doit connaître le nombre de variantes d'un produit vendu et si ces variantes se substituent ou se complètent.
- Prévision au niveau d'agrégation approprié. Il est important de prévoir à un niveau d'agrégation approprié, compte tenu de la décision de la chaîne d'approvisionnement qui est motivée par la prévision.
- Établir des mesures de performance et d'erreur pour les prévisions. Ces mesures doivent être liées aux objectifs des décisions commerciales basées sur ces prévisions.

## Analyse des séries chronologiques

Les modèles de prévision de séries chronologiques tentent de prédire l'avenir sur la base de données passées.

L'horizon temporel est relatif au contexte dans lequel ils sont utilisés :

- court terme (moins de trois mois) ; pour des décisions tactiques telles que le réapprovisionnement des stocks ou la planification des employés à court terme. Ils sont particulièrement utiles pour mesurer la variabilité actuelle de la demande
- moyen terme (trois mois à deux ans) ; pour planifier une stratégie visant à répondre à la demande au cours des six mois à un an et demi à venir. Elles sont utiles pour saisir les effets saisonniers
- à long terme (supérieur à deux ans). Ils détectent les tendances générales et sont particulièrement utiles pour identifier les principaux tournants

Prévision Méthode	Montant de Historique Données	Données Modèle	Prévision Horizon
Simple mobile moyenne	6 à 12 mois; hebdomadaire données sont souvent utilisé	Stationnaire seulement (c'est-à-dire, Non s'orienter ou saisonnalité)	Court
Pondéré mobile moyenne et simple exponentiel lissage	5 à 10 observations nécessaire pour commencer	Stationnaire seulement	Court
Exponentiel lissage avec s'orienter	5 à 10 observations nécessaire pour commencer	Stationnaire et s'orienter	Court
Linéaire régression	10 à 20 observations	Stationnaire, s'orienter, et saisonnalité	Court à moyen
S'orienter et saisonnier modèles	2 à 3 observations par saison	Stationnaire, s'orienter, et saisonnalité	Court à moyen

Le choix du modèle de prévision dépend de :

- Horizon temporel de prévision
- Disponibilité des données
- Précision requise
- Taille du budget de prévision
- Disponibilité de personnel qualifié

## Moyenne mobile simple

Lorsque la demande d'un produit ne connaît ni croissance ni baisse rapide et qu'il ne présente pas de caractéristiques saisonnières, une moyenne mobile peut être utile pour éliminer les fluctuations aléatoires à des fins de prévision. L'idée ici est simplement de calculer la demande moyenne sur les périodes les plus récentes. Chaque fois qu'une nouvelle prévision est établie, la période la plus ancienne est écartée de la moyenne et la période la plus récente

Exercice potentiel à l'examen

Semaine	Demande	3 Semaine	9 Semaine
1	800		
2	1 400		
3	1 000		
4	1 500	1 067	
5	1 500	1 300	
6	1 300	1 333	
7	1 800	1 433	
8	1 700	1 533	
9	1 300	1 600	
10	1 700	1 600	1 367
11	1 700	1 567	1 467
12	1 500	1 567	1 500
13	2 300	1 633	1 556
14	2 300	1 833	1 644
15	2 000	2 033	1 733

Semaine	Demande	3 Semaine	9 Semaine
16	1 700	2 200	1 811
17	1 800	2 000	1 800
18	2 200	1 833	1 811
19	1 900	1 900	1 911
20	2 400	1 967	1 933
21	2 400	2 167	2 011
22	2 600	2 233	2 111
23	2 000	2 467	2 144
24	2 500	2 333	2 111
25	2 600	2 367	2 167
26	2 200	2 367	2 267
27	2 200	2 433	2 311
28	2 500	2 333	2 311
29	2 400	2 300	2 378
30	2 100	2 367	2 378

- Le choix de la durée de la période doit dépendre de la manière dont la prévision va être utilisée ( dans le cas d'une prévision à moyen terme de la demande pour la planification d'un budget, des périodes mensuelles peuvent être plus appropriées, tandis que si la prévision est utilisée pour une décision à court terme liée au réapprovisionnement des stocks, une prévision hebdomadaire peut être plus appropriée).
- Le nombre de périodes à utiliser dans la prévision peut également avoir un impact majeur sur la précision de la prévision. À mesure que la période de la moyenne mobile se raccourcit, que moins de périodes sont utilisées et que l'oscillation est plus importante, la tendance est mieux suivie. À l'inverse, une période plus longue donne une réponse plus fluide, mais retarde la tendance.
- La formule est :

$$F_t = \frac{A_{t-1} + A_{t-2} + A_{t-3} + \dots + A_{t-n}}{n}$$

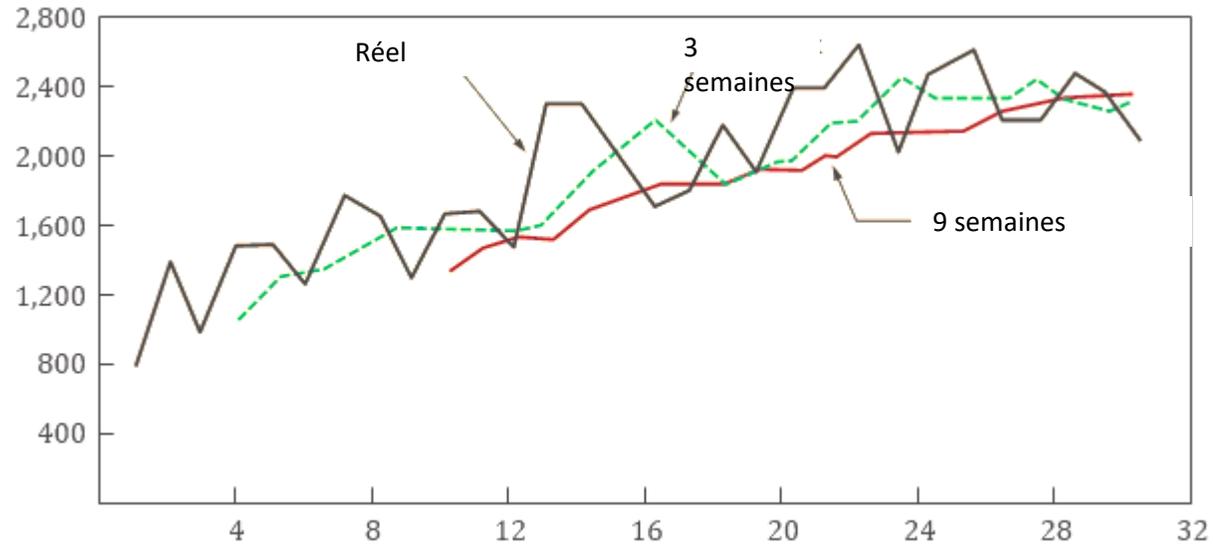
Exercice potentiel à  
l'examen

$F_t$  = Prévision pour le à venir période

$n$  = Nombre de périodes à être en moyenne

$A_{t-1}$  = Réel occurrence dans le période passée

$A_{t-2}$ ,  $A_{t-3}$ , et  $A_{t-n}$  = Réel événements deux périodes il y a, trois périodes il y a, et donc sur, en haut à  $n$  il y a des périodes



- La tendance de croissance se stabilise vers la 23e semaine. La moyenne mobile sur trois semaines réagit mieux à ce changement que la moyenne sur neuf semaines, même si dans l'ensemble, la moyenne sur neuf semaines est plus régulière.

Le principal inconvénient du calcul d'une moyenne mobile est que tous les éléments individuels doivent être transportés sous forme de données, car une nouvelle période de prévision implique l'ajout de nouvelles données et la suppression des données les plus anciennes.

### Moyenne mobile pondérée

Une prévision réalisée à partir de données passées, où les données les plus récentes ont plus d'importance que les données plus anciennes. Alors que la moyenne mobile simple attribue une importance égale à chaque composant de la base de données de moyennes mobiles, une moyenne mobile pondérée permet d'attribuer n'importe quel poids à chaque élément, à condition, bien sûr, que la somme de tous les poids soit égale à 1.

Exemple : un grand magasin peut constater que, sur une période de quatre mois, la meilleure prévision est obtenue en utilisant 40 % des ventes réelles du mois le plus récent, 30 % des ventes d'il y a deux mois, 20 % des ventes d'il y a trois mois et 10 % des ventes d'il y a quatre mois.

Mois 1	Mois 2	Mois 3	Mois 4	Mois 5
100	90	105	95	?

Exercice potentiel à  
l'examen

Les prévisions pour le mois 5 seraient

$$F_5 = 0.40(95) + 0.30(105) + 0.20(90) + 0.10(100) = 38 + 31.5 + 18 + 10 = 97.5$$

La formule d'une moyenne mobile pondérée est :

$$F_t = w_1 A_{t-1} + w_2 A_{t-2} + \dots + w_n A_{t-n}$$

$w_1$  = Poids à donner à l'occurrence réelle pour la période  $t - 1$

$w_2$  = Poids à donner à l'occurrence réelle pour la période  $t - 2$

$n$  = Poids à donner à l'occurrence réelle pour la période  $t - n$

$n$  = Total nombre de avant périodes dans le prévision

La somme de tous les poids doit être égale à 1 :

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

Exercice potentiel à  
l'examen

Exemple : Supposons que les ventes du mois 5 s'élèvent en réalité à 110. Les prévisions pour le mois 6 seraient alors les suivantes :

$$F_6 = 0.40(110) + 0.30(95) + 0.20(105) + 0.10(90) = 44 + 28.5 + 21 + 9 = 102.5$$

L'expérience et les essais et erreurs sont les moyens les plus simples de choisir les pondérations. En règle générale, le passé le plus récent est l'indicateur le plus important de ce à quoi on peut s'attendre dans le futur et, par conséquent, il doit bénéficier d'une pondération plus élevée.

### Lissage exponentiel

Une technique de prévision de séries chronologiques utilisant des poids qui diminuent de manière exponentielle  $(1 - \alpha)$  pour chaque période passée.

L'idée est que l'importance des données diminue à mesure que le passé devient plus lointain.

Le lissage exponentiel est la plus utilisée de toutes les techniques de prévision :

- Les modèles exponentiels sont étonnamment précis.
- Formuler un modèle exponentiel est relativement facile.
- L'utilisateur peut comprendre comment fonctionne le modèle.
- Peu de calculs sont nécessaires pour utiliser le modèle.
- Les besoins de stockage informatique sont faibles en raison de l'utilisation limitée des données.
- Les tests de précision quant aux performances du modèle sont faciles à calculer.

Exercice potentiel à  
l'examen

Trois données sont nécessaires pour prévoir l'avenir :

- les prévisions les plus récentes
- la demande réelle qui s'est produite pour cette période de prévision
- une constante de lissage alpha ( $\alpha$ ). Elle contrôle la vitesse de réaction aux différences entre les prévisions et la demande réelle. La valeur de la constante est déterminée à la fois par la nature du produit et par le sentiment du gestionnaire quant à ce qui constitue un bon taux de réponse :
  - Si une entreprise produisait un article standard avec une demande relativement stable, le taux de réaction aux différences entre la demande réelle et la demande prévue aurait tendance à être faible (5 ou 10 points de pourcentage).
  - si l'entreprise était en croissance, il serait souhaitable d'avoir un taux de réaction plus élevé (15 à 30 points de pourcentage), pour donner plus d'importance à l'expérience de croissance récente.
  - Plus la croissance est rapide, plus la vitesse de réaction doit être élevée.
  - Pour que les prévisions restent à peu près identiques à celles de la moyenne mobile simple ,  $\alpha$  est approximé par  $2 \div (n + 1)$ , où n est le nombre de périodes de temps dans la moyenne mobile simple correspondante.

Exercice potentiel à  
l'examen

L'équation pour une prévision de lissage exponentiel unique est :

$$F_t = F_{t-1} + \alpha(A_{t-1} - F_{t-1})$$

$F_t$  = Le exponentiellement lissé prévision pour période  $t$

$F_{t-1}$  = Le exponentiellement lissé prévision fait pour le avant période

$A_{t-1}$  = Le réel demande dans le avant période

$\alpha$  = Le voulu réponse taux, ou lissage constante

Cette équation stipule que la nouvelle prévision est égale à l'ancienne prévision plus une partie de l'erreur (la différence entre la prévision précédente et ce qui s'est réellement produit).

Exercice potentiel à  
l'examen

Exemple : la demande à long terme pour le produit étudié est relativement stable et une constante de lissage ( $\alpha$ ) de 0,05 est considérée comme appropriée.

Dernier mois prévision ( $F_{t-1}$ ) était 1 050 unités.

Si 1 000 en fait étaient exigé, plutôt que 1 050, le prévision pour ce mois serait être:

$$F_t = F_{t-1} + \alpha(A_{t-1} - F_{t-1}) = 1050 + 0.05(1000 - 1050) = 1050 + 0.05(-50) = 1047.5 \text{ units}$$

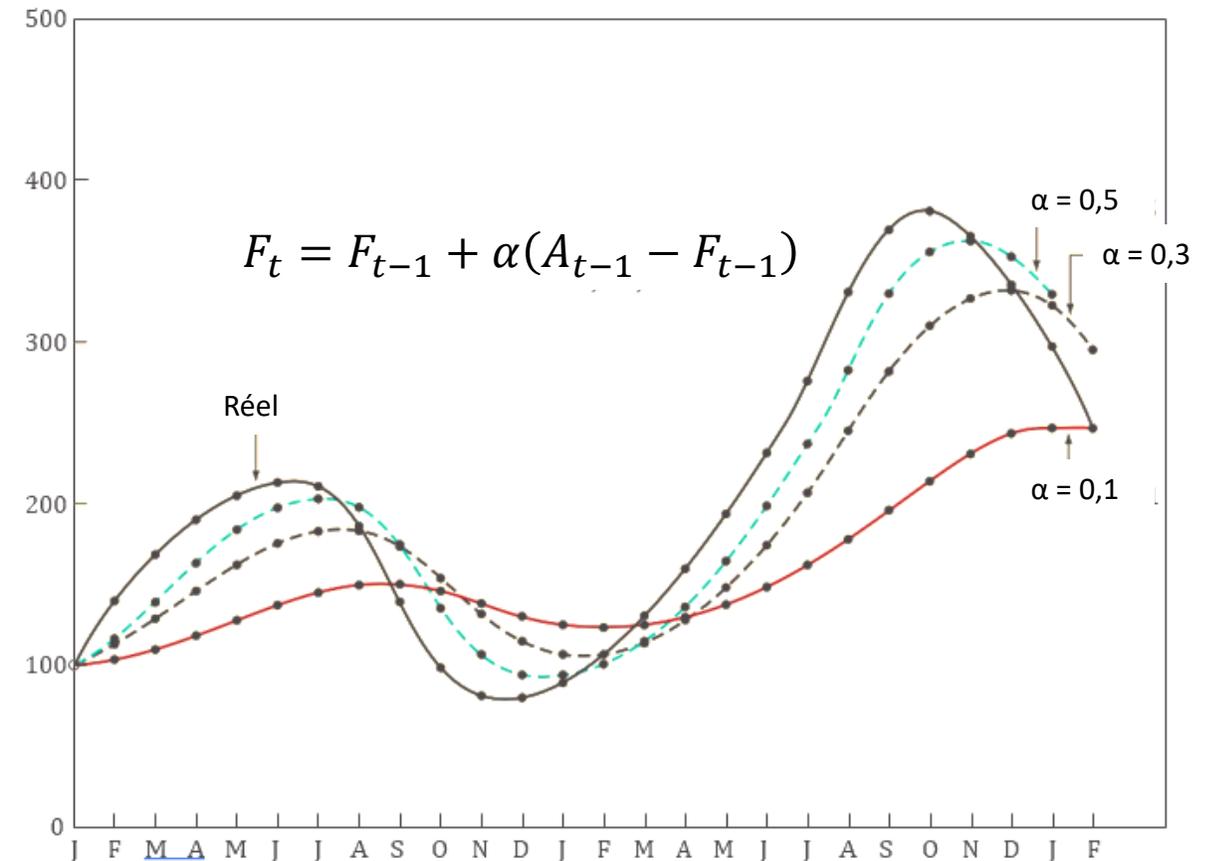
Étant donné que le coefficient de lissage est faible, la réaction de la nouvelle prévision à une erreur de 50 unités est de diminuer la prévision du mois suivant de seulement 2½ unités.

Exercice potentiel à  
l'examen

Lorsqu'un lissage exponentiel est utilisé pour la première fois pour un élément, une prévision initiale peut être obtenue en utilisant une estimation simple, comme la demande de la première période, ou en utilisant une moyenne des périodes précédentes, comme la moyenne des deux ou trois premières périodes.

Le lissage exponentiel simple présente l'inconvénient de retarder les changements de demande :

- Les prévisions sont décalées en cas d'augmentation ou de diminution, mais sont dépassées lorsqu'un changement de direction se produit.
- Plus la valeur de l'alpha est élevée, plus la prévision suit la réalité.
- Pour suivre plus précisément la demande réelle, un facteur de tendance peut être ajouté. L'ajustement de la valeur alpha peut également être utile (prévision adaptative).



## Lissage exponentiel avec tendance

Les prévisions lissées de manière exponentielle peuvent être quelque peu corrigées en ajoutant un ajustement de tendance. Pour corriger la tendance, deux constantes de lissage sont nécessaires :

- la constante de lissage  $\alpha$
- une constante de lissage delta ( $\delta$ ).

L'alpha et le delta réduisent tous deux l'impact de l'erreur qui se produit entre la valeur réelle et la prévision.

Pour que l'équation de tendance fonctionne, la première fois qu'elle est utilisée, la valeur de tendance doit être saisie manuellement (il peut s'agir d'une estimation éclairée ou d'un calcul basé sur des données passées observées).

Équations pour calculer la prévision incluant la tendance (FIT) :

$$\begin{aligned}
 1. F_t &= FIT_{t-1} + \alpha(A_{t-1} - FIT_{t-1}) & FIT_t &= F_t + T_t \\
 2. T_t &= T_{t-1} + \delta(F_t - FIT_{t-1})
 \end{aligned}$$

$F_t$  = Le exponentiellement lissé prévision que fait pas inclure s'orienter pour période  $t$   
 $T_t$  = La tendance exponentiellement lissée pour la période  $t$

AJUSTEMENT  $t$  = Le prévision  $y$  compris s'orienter pour période  $t$

AJUSTEMENT  $t-1$  = Les prévisions incluant tendance faite pour le précédent période

$A_{t-1}$  = Le réel demande pour le avant période

$\alpha$  = Lissage constante (alpha)

$\delta$  = Lissage constante (delta)

### Mesures:

- Étape 1 : À l'aide de l'équation 1, établissez une prévision qui n'est pas ajustée en fonction de la tendance. Cette prévision utilise la prévision précédente et la demande réelle précédente.
- Étape 2 : À l'aide de l'équation 2, mettez à jour l'estimation de la tendance en utilisant l'estimation de la tendance précédente, la prévision non ajustée qui vient d'être effectuée et la prévision précédente.
- Étape 3 : Créez une nouvelle prévision qui inclut la tendance en utilisant les résultats des étapes 1 et 2.

Le lissage exponentiel nécessite que les constantes de lissage aient une valeur comprise entre 0 et 1 (dans la plage de 0,1 à 0,3). Les valeurs dépendent de l'ampleur de la variation aléatoire de la demande et de la stabilité du facteur de tendance. Les mesures d'erreur peuvent être utiles pour choisir les valeurs appropriées pour ces paramètres.

Exemple : Supposons une prévision antérieure, comprenant une tendance de 110 unités, une estimation de la tendance antérieure de 10 unités, un alpha de 0,20 et un delta de 0,30. Si la demande réelle s'avère être de 115 au lieu de la prévision de 110, la prévision pour la période suivante est : calculée comme suit :

- La valeur réelle de  $A_{t-1}$  est 115. Par conséquent,

$$F_t = FIT_{t-1} + \alpha(A_{t-1} - FIT_{t-1}) = 110 + 0.2(115 - 110) = 111.0$$

$$T_t = T_{t-1} + \delta(F_t - FIT_{t-1}) = 10 + 0.3(111 - 110) = 10.3$$

$$FIT_t = F_t + T_t = 111.0 + 10.3 = 121.3$$

- Si, au lieu de 121,3, le chiffre réel était de 120, la séquence se répéterait et la prévision pour la période suivante serait :

$$F_{t+1} = 121.3 + 0.2(120 - 121.3) = 121.04$$

$$T_{t+1} = 10.3 + 0.3(121.04 - 121.3) = 10.22$$

$$FIT_{t+1} = 121.04 + 10.22 = 131.26$$

### Analyse de régression linéaire

Une technique de prévision que convient un droit doubler à passé demande données.

La droite de régression linéaire est de la forme :

$$Y = a + bt$$

Y est la valeur de la variable dépendante pour laquelle nous résolvons

a est l'ordonnée à l'origine

b est la pente

t est un indice pour la période de temps.

La régression linéaire est utile pour la prévision à long terme des événements majeurs et la planification globale.

La principale restriction à l'utilisation des prévisions par régression linéaire est, comme son nom l'indique, que les données passées et les projections futures sont supposées se situer sur une ligne droite (utilisée pour une courte période).

- Lorsque la variable dépendante change en fonction du temps, il s'agit d'une analyse de séries chronologiques.
- Si une variable change en raison du changement d'une autre variable, il s'agit d'une relation de cause à effet.

Exercice potentiel à  
l'examen

Exemple:

Ventes d'une entreprise pour une gamme de produits au cours des 12 trimestres des trois dernières années :

Quart	Ventes		Quart	Ventes
1	600		7	2 600
2	1 550		8	2 900
3	1 500		9	3 800
4	1 500		10	4 500
5	2 400		11	4 000
6 3 100			12 4 900	

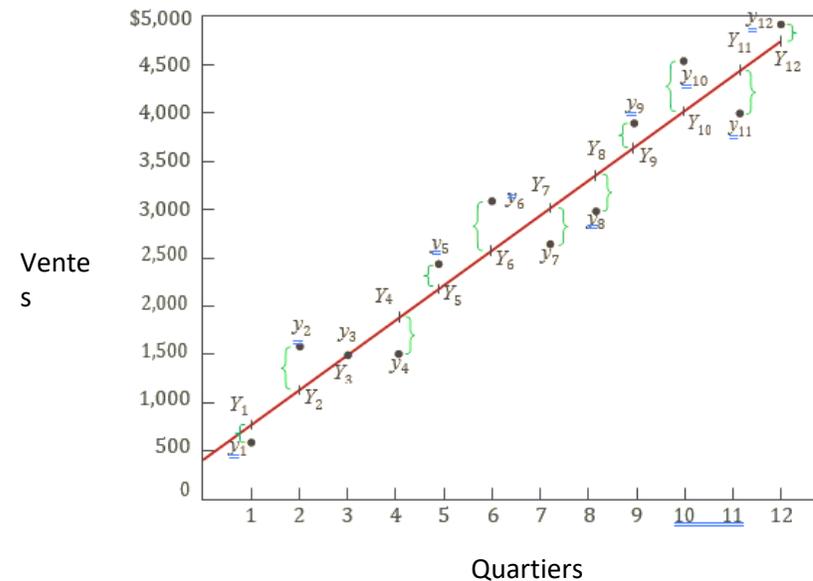
Exercice potentiel à  
l'examen

L'entreprise souhaite prévoir chaque trimestre de la quatrième année ( trimestres 13, 14, 15 et 16).

$$Y = a + bt$$

La méthode des moindres carrés tente d'ajuster la ligne aux données qui minimise la somme des carrés de la distance verticale entre chaque point de données et son point correspondant sur la ligne.

Si une ligne droite est tracée à travers la zone générale des points, la différence entre le point et la ligne est  $y - Y$ .



La somme des carrés des différences entre les points de données tracés et les points de ligne est :

$$(y_1 - Y_1)^2 + (y_2 - Y_2)^2 + \dots + (y_{12} - Y_{12})^2$$

La meilleure ligne à utiliser est celle qui minimise ce total.

Les équations pour a et b sont :

$$b = \frac{\sum ty - n\bar{t}\bar{y}}{\sum t^2 - n\bar{t}^2}$$

$$a = \bar{y} - b\bar{t}$$

Exercice potentiel à  
l'examen

$a$  = Y intercepter

$b$  = Pente de la droite

$\bar{t}$  = Moyenne de tous  $t$

$\bar{y}$  = Moyenne de tous  $y$

$t$  = valeur  $t$  à chaque point de données

$y$  = valeur  $y$  à chaque point de données

$n$  = Nombre de données points

$Y$  = Valeur de le dépendant variable calculé avec le régression équation

Exercice  
potentiel  
à  
l'examen

(1) (2) merci	(3) t × et	(4) t <sup>2</sup>	(5) y <sup>2</sup>	(6) et
1 600	600	1	360 000	801,3
2 1 550	3 100	4	2 402 500	1 160,9
3 1 500	4 500	9	2 250 000	1 520,5
4 1 500	6 000	16	2 250 000	1 880,1
5 2 400	12 000	25	5 760 000	2 239,7
6 3 100	18 600	36	9 610 000	2 599,4
7 2 600	18 200	49	6 760 000	2 959,0
8 2 900	23 200	64	8 410 000	3 318,6
9 3 800	34 200	81	14 440 000	3 678,2
10 4 500	45 000	100	20 250 000	4 037,8
11 4 000	44 000	121	16 000 000	4 397,4
12 4 900	58 800	144	24 010 000	4 757,1
78 33 350	268 200	650	112 502 500	
$\bar{t} = 6.5$ $b = 359.6154$				
$\bar{y} = 2,779.17$ $un = 441.6667$				
Donc, $Y = 441,67 + 359,6 t$				
$S_{yt} = 363,9$				

La pente montre que pour chaque changement d'unité en t, Y change de 359,6.  $Y_{13} = 441.67 + 359.6(13) = 5116.5$   
 Strictement basées sur l'équation, les prévisions pour les périodes 13 à 16 seraient

$$Y_{14} = 441.67 + 359.6(14) = 5476.1$$

$$Y_{15} = 441.67 + 359.6(15) = 5835.7$$

$$Y_{16} = 441.67 + 359.6(16) = 6195.3$$

L'erreur standard d'estimation, ou la mesure dans laquelle la ligne s'adapte aux données, est :

$$S_{yt} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - Y_i)^2}}{n - 2}$$

$$S_{yt} = \frac{\sqrt{(600 - 801.3)^2 + \dots + (4900 - 4757.1)^2}}{10} = 363.9$$

## Décomposition d'une série temporelle

Le processus d'identification et de séparation des données de séries chronologiques en composants fondamentaux tels que la tendance et la saisonnalité.

Deux types de variation saisonnière :

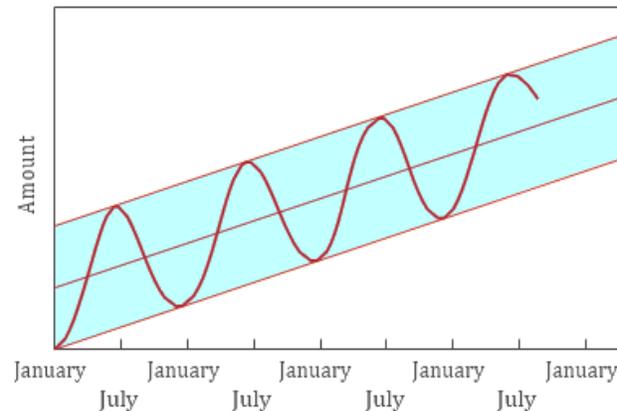
- La variation saisonnière additive suppose simplement que la quantité saisonnière est une constante, quelle que soit la tendance ou la quantité moyenne :

Prévisions incluant tendance et saisonnalité = Tendance + Saisonnalité

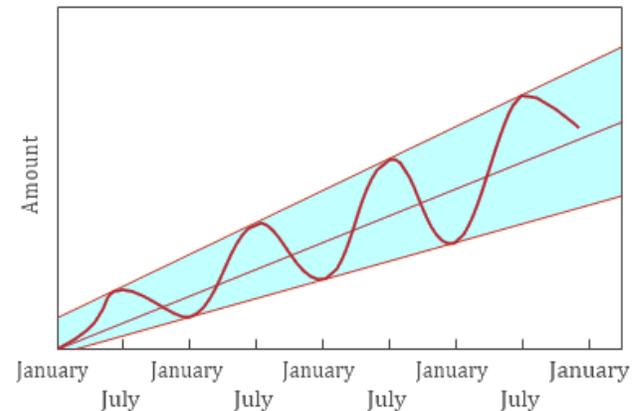
- Dans la variation saisonnière multiplicative, la tendance est multipliée par les facteurs saisonniers.

Pré

Additif saisonnier



Saisonnier multiplicatif



r

**Exemple:**

Au cours des dernières années, une entreprise vendait en moyenne 1 000 unités d'une gamme de produits donnée chaque année. En moyenne, 200 unités étaient vendues au printemps, 350 en été, 300 en automne et 150 en hiver.

Le facteur saisonnier (ou indice) est le rapport entre la quantité vendue au cours de chaque saison divisée par la moyenne de toutes les saisons.

Le montant annuel divisé également sur toutes les saisons est de  $1\ 000 \div 4 = 250$ .

Les facteurs saisonniers sont donc :

	Ventes passées	Moyenne Ventes pour Chaque (1 100/4) Saison	Facteur saisonnier
Printemps	200	250	$200/250 = 0,8$
Été	350	250	$350/250 = 1.4$
Automne	300	250	$300/250 = 1.2$
Hiver	<u>150</u>	250	$150/250 = 0,6$
Total	1 000		

En utilisant ces facteurs, si la demande pour l'année prochaine est estimée à 1 100 unités, la demande est prévue comme suit :

	Attendu Demande pour Suivant Année	Moyenne Ventes pour Chaque (1 100/4) Saison		Facteur saisonnier		L'année prochaine Prévisions saisonniers
Printemps		275	×	0,8	=	220
Été		275	×	1.4	=	385
Automne		275	×	1.2	=	330
Hiver		275	×	0,6	=	165
<b>Total</b>	<b>1 100</b>					

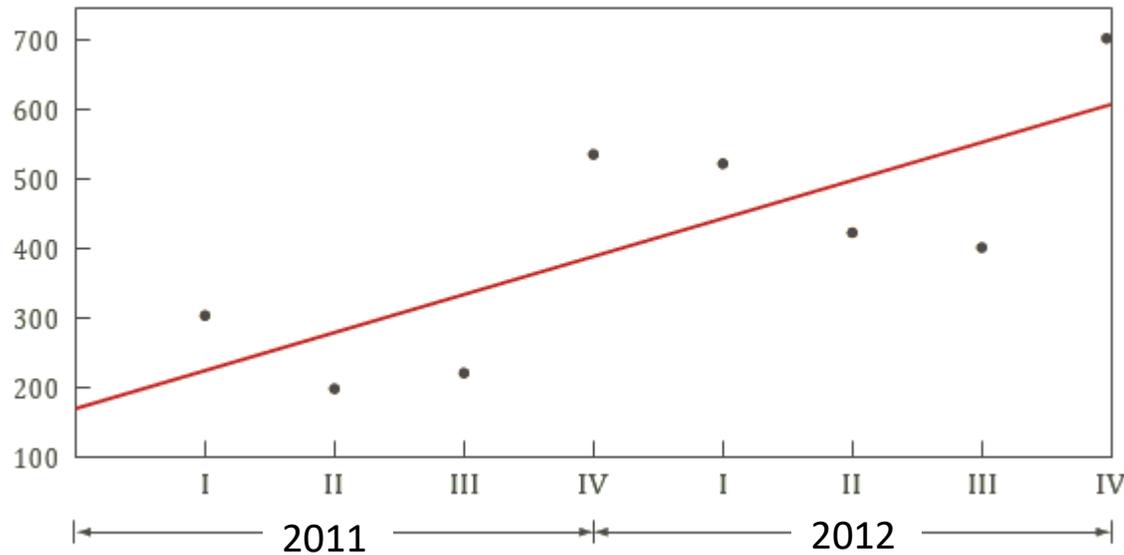
Le facteur saisonnier peut être mis à jour périodiquement à mesure que de nouvelles données sont disponibles.

Exemple:

Prévoyez la demande pour chaque trimestre de l'année prochaine en utilisant des facteurs de tendance et saisonniers.

La demande pour les deux dernières années est :

Quart	Montant	Quart	Montant
1	300	5	520
2	200	6	420
3	220	7	400
4	530	8	700



$$\text{Forecast Including Trend (FIT)} = 176.1 + 52.3t$$

Ensuite, un indice saisonnier peut être dérivé en comparant les données réelles avec la ligne de tendance.

Le facteur saisonnier a été développé en faisant la moyenne des mêmes trimestres de chaque année.

Quart	Réel montant	l'équation	Ratio réel + tendance	Saisonnier facteur ( moyenne des mêmes trimestres dans les deux années )
2011				
je	300	228,3	1.31	
II	200	280,6	0,71	
III	220	332,9	0,66	Je 1,25
IV	530	385.1	1.38	II 0,79
2012				III 0,70
je	520	437,4	1.19	IV 1.28
II	420	489,6	0,86	
III	400	541,9	0,74	
IV	700	594,2	1.18	

Les prévisions pour 2013 sont  $FITS_t = FIT \times seasonal$

calculées en tenant compte des facteurs de tendance et

$$I - 2013FITS_9 = (176.1 + 52.3(9))1.25 = 808$$

$$III - 2013FITS_{11} = (176.1 + 52.3(11))0.70 = 526$$

saisonniers (FITS) :

$$II - 2013FITS_{10} = (176.1 + 52.3(10))0.79 = 502$$

$$IV - 2013FITS_{12} = (176.1 + 52.3(12))1.28 = 1029$$

## Erreurs de prévision

La différence entre la demande réelle et ce qui était prévu.

Sources d'erreurs Les erreurs peuvent provenir de diverses sources, par exemple la projection de tendances passées dans le futur. Les erreurs peuvent être classées comme suit :

- Les erreurs de biais se produisent lorsqu'une erreur constante est commise.
- Les erreurs aléatoires peuvent être définies comme celles qui ne peuvent pas être expliquées par le modèle de prévision utilisé.

## Mesure de l'erreur

- L'écart absolu moyen (MAD) est la moyenne de la valeur absolue de l'erreur de prévision réelle. Il mesure la dispersion d'une valeur observée par rapport à une valeur attendue. L'MAD est calculé en utilisant les différences entre la demande réelle et la demande prévue sans tenir compte du signe :

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^n |A_t - F_t|}{n}$$

$t$  = Période nombre

$A_t$  = Demande réelle pour la

période  $t$   $F_t$  = Prévision

demande pour le période  $t$   $n$  =

Total nombre de périodes

$|$  = UN symbole utilisé à indiquer le absolu valeur négligeant positif et négatif signes

Exercice potentiel à  
l'examen

Lorsque les erreurs qui se produisent dans la prévision sont distribuées normalement (cas habituel), l'écart absolu moyen est lié à l'écart type des termes d'erreur :

$$\text{a standard deviation} \cong MAD \sqrt{\frac{\pi}{2}} \text{ or } 1.25MAD$$

- L'erreur absolue moyenne en pourcentage (MAPE) est l'erreur moyenne mesurée en pourcentage de la demande moyenne.

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|A_t - F_t|}{A_t}$$

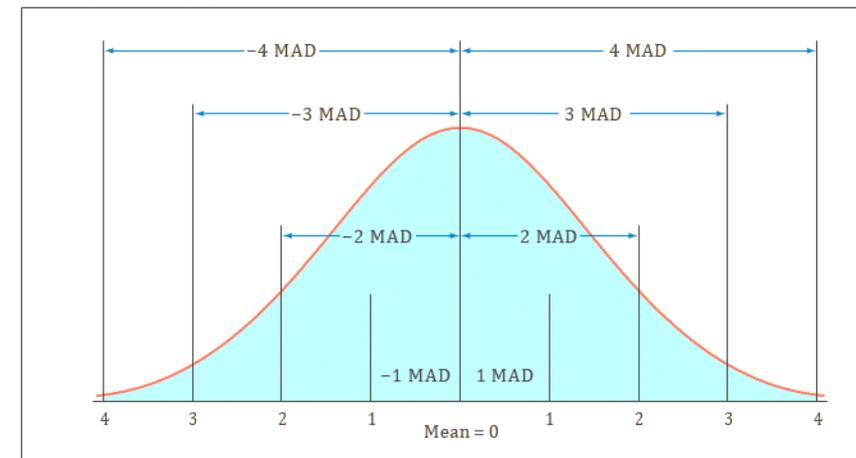
La véritable valeur du MAPE est qu'il permet de comparer les prévisions entre des produits qui ont une demande moyenne très différente.

Exercice potentiel à  
l'examen

- Le signal de suivi est une mesure permettant de savoir si les prévisions suivent le rythme des changements réels à la hausse ou à la baisse de la demande. Il est utilisé pour détecter les biais de prévision

$$TS = \frac{RSFE}{MAD}$$

RSFE = La somme cumulée des erreurs de prévision, compte tenu de la nature de l'erreur.



Exercice potentiel à l'examen

Mois	Demande Prévision	Réel	Déviaton	RSFE	Abdos Dév.	Somme de Abdos Dév.	FOU (% Erreur)*	TS = $\frac{RSFE^\dagger}{FOU}$
1	1 000	950	-50	-50	50	50	50 (5,26%)	-1
2	1 000	1 070	+70	+20	70	120	60 (5,61%)	.33
3	1 000	1 100	+100	+120	100	220	73,3 (6,67%)	1,64
4	1 000	960	-40	180	40	260	65 (6,77%)	1.2
5	1 000	1 090	+90	+170	90	350	70 (6,42%)	2.4
6	1 000	1 050	+50	+220	50	400	66,7 (6,35%)	3.3

\*Dans l'ensemble, FOU =  $400 \div 6 = 66,7$ . CARTE =  $(5.26 + 5.61 + 6.67 + 6.77 + 6.42 + 6.35) / 6 = 6,18\%$

†Dans l'ensemble, TS =  $\frac{RSFE}{66,7 MAD} = 3.3$  Les MAD.

Si la demande réelle ne tombe pas en dessous des prévisions pour compenser le RSFE positif continu, le signal de suivi continuerait d'augmenter et nous concluons que supposer une demande de 1 000 est une mauvaise prévision.

## Techniques de prévision qualitative

Elles font généralement appel aux connaissances des experts et nécessitent beaucoup de discernement. Ces techniques impliquent généralement des processus bien définis pour ceux qui participent à l'exercice de prévision :

- Étude de marché. Elle est surtout utilisée pour la recherche de produits dans le sens de la recherche de nouvelles idées de produits, des goûts et des dégoûts des produits existants, des produits concurrents préférés dans une catégorie particulière, etc. Les méthodes de collecte de données sont principalement des enquêtes et des entretiens.
- Consensus de panel. Il repose sur l'idée qu'un panel de personnes issues de différents horizons peut élaborer des prévisions plus fiables qu'un groupe plus restreint. Les prévisions de panel sont élaborées dans le cadre de réunions ouvertes avec un libre échange d'idées entre tous les niveaux de direction et les individus.
- Analogie historique. Un produit existant ou un produit générique est utilisé comme modèle pour prévoir la demande d'un nouveau produit
- Méthode Delphi
  1. Choisissez les experts qui participeront. Il doit y avoir une variété de personnes compétentes dans différents domaines.
  2. Au moyen d'un questionnaire (ou d'un courrier électronique), obtenez des prévisions (et d'éventuelles prémisses ou qualifications pour les prévisions) de tous les participants.
  3. Résumez les résultats et redistribuez-les aux participants accompagnés de nouvelles questions appropriées.
  4. Résumez à nouveau, affinez les prévisions et les conditions, et développez à nouveau de nouvelles questions.
  5. Répétez l'étape 4 si nécessaire. Distribuez les résultats finaux à tous les participants.

Le rôle de la gestion des stocks est de trouver un équilibre entre l'investissement dans les stocks et le service client.

Exemples de fonctions d'inventaire :

- pour découpler l'entreprise et la chaîne d'approvisionnement des fluctuations de la demande et détenir un stock de marchandises qui offrira un choix aux clients ;
- pour augmenter la flexibilité de la chaîne d'approvisionnement en plaçant les stocks aux bons endroits ;
- pour se prémunir contre les perturbations des installations en cas de catastrophes naturelles ;
- découpler ou séparer différentes parties du processus de production ;
- pour profiter de remises quantitatives et se protéger contre l'inflation.

L'inventaire est classé selon les types suivants :

- Matière première : articles achetés mais non transformés ;
- Travaux en cours (WIP) : éléments qui ont subi des modifications, mais qui ne sont pas terminés ;
- Maintenance/réparation/exploitation (MRO) : éléments nécessaires pour maintenir la productivité des machines et des processus ;
- Produits finis : produit fini en attente d'expédition.

Lors du calcul des quantités de stock, les coûts suivants sont généralement pris en compte :

- Coûts de détention (variables) : coûts de détention des stocks au fil du temps ;
- Frais de commande (fixes) : les frais de passation d'une commande et de réception des marchandises ;
- Coûts d'installation (fixes) : les coûts de préparation d'une machine ou d'un processus pour la fabrication d'une commande ;
- Coûts de rupture de stock (variables) : coûts des commandes clients perdues résultant d'une pénurie de produits, coûts de perte de clientèle.

Selon les fonctions et les types d'inventaire, l'inventaire peut être utilisé pour gérer :

- Économie d'échelle. (stock cyclique). Le stock cyclique résulte de la production ou de l'achat en gros lots (quantité qu'une étape de la chaîne d'approvisionnement produit ou achète à la fois). La chaîne d'approvisionnement peut exploiter les économies d'échelle et commander en gros lots pour réduire les coûts fixes.
- Incertitude ( inventaire de sécurité). L'inventaire de sécurité est réalisé pour satisfaire la demande soumise à des fluctuations imprévisibles de la demande et pour réduire les pénuries de produits. Le choix d'un inventaire de sécurité implique de faire un compromis entre les coûts liés à un inventaire trop important et les coûts liés à la perte de ventes en raison d'une pénurie de stocks.

Les stocks saisonniers sont constitués pour faire face à la variabilité prévisible de la demande. Les entreprises qui utilisent des stocks saisonniers les constituent en période de faible demande et les stockent pour les périodes de forte demande, lorsqu'elles n'auront pas la capacité de produire tout ce qui est demandé.

## Analyse des matériaux

### Analyse ABC

L'analyse ABC divise l'inventaire en trois classes en fonction du volume annuel en dollars :

- Classe A : volume annuel en dollars élevé
- Classe B : volume annuel moyen en dollars
- Classe C : faible volume annuel en dollars

L'analyse ABC est utilisée pour établir des politiques qui se concentrent sur les quelques éléments critiques et non sur les nombreux éléments triviaux.

Exercice potentiel à l'examen

Exemple:

- deux blocs rouges (1\$ chacun)
- trois blocs verts (0,1\$ chacun)
- cinq blocs bleus (0,01 \$ chacun)

Coûts totaux de l'inventaire : 2,35 \$ .

Deux blocs rouges ne représentent que 20 % du montant total de l'inventaire, mais ils génèrent 85 % des coûts de l'inventaire.

Il s'agit d'éléments essentiels du groupe A.

	UN	B	C
			0,01\$
		0,1\$	0,01\$
1\$	0,1\$	0,01\$	0,01\$
1\$	0,1\$	0,01\$	0,01\$
2\$	0,3\$	0,05\$	
85%	12,8%	2,2%	

## Exemple:

Une entreprise qui vend des lampes de table.

Pour déterminer quelles lampes de table appartiennent à la catégorie A, B ou C :

- les dépenses annuelles sont estimées :

$$\text{Annual expenditure} = \text{annual demand} \times \text{cost per lamp}$$

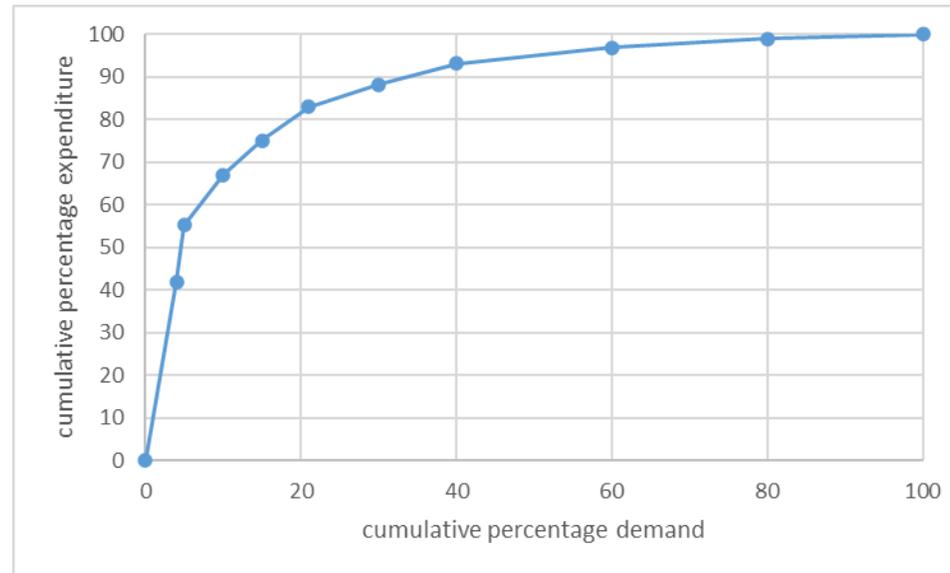
- Les dépenses cumulées et le pourcentage correspondant sont calculés
- les différents types de lampes de table sont classés en articles A, B et C en fonction de leurs dépenses annuelles, en supposant que la classification est 80:15:5

Exercice potentiel à l'examen

Tableau lampe	Demande annuelle	Coût par unité	Annuel dépense
X1	100	0,5	50
X2	200	0,05	10
X3	50	1,65	82,5
Y1	40	10,75	430
Y2	200	0,11	22
Y3	200	0,19	38
Y4	50	2.4	120
T1	90	0,6	54
T2	10	13.6	136
T3	60	1,35	81

Tableau lampe	Annuel demande	Coût par unité	Annuel dépense	Cumulatif dépense	Pourcentage dépense	Catégorie
Y1	40	10,75	430	430	42.0	UN
T2	10	13.6	136	566	55.3	UN
Y4	50	2.4	120	686	67,0	UN
X3	50	1,65	81	768,5	75.1	UN
T3	60	1,35	81	849,5	83,0	B
T1	90	0,6	54	903,5	88,3	B
X1	100	0,5	54	953,5	93,2	B
Y3	200	0,19	38	991,5	96,9	C
Y2	200	0,11	22	1013,5	99,0	C
X2	200	0,05	10	1023,5	100,0	C

150 lampes de table génèrent environ 80 % des coûts d’inventaire (A), tandis que 600 lampes de table ne génèrent que 5 % des coûts d’inventaire (C).



Exercice potentiel à  
l'examen

On constate que 80 % des dépenses sont créées par seulement 20 % de la demande.

## Analyse XYZ

Outre la valeur monétaire de l'engagement de capital, d'autres critères peuvent être utilisés pour classer les articles (analyse XYZ). Une option consiste à diviser les stocks en trois classes en fonction de différents modèles de demande :

- Classe X : demande constante et non variable ;
- Classe Y : demande ni constante ni sporadique (demande fluctuante) ;
- Classe Z : demande sporadique ou fortement fluctuante.

Les variations de la demande permettent de déterminer la précision de prédiction de chaque classe de stock.

L'analyse XYZ peut être utilisée pour améliorer l'analyse ABC.

### Volume annuel en dollars

Évolution de la demande

	UN	B	C
X	Volume élevé Demande constante	Volume moyen Demande constante	Faible volume Demande constante
Y	Volume élevé Demande fluctuante	Volume moyen Demande fluctuante	Faible volume Demande fluctuante
Z	Volume élevé Demande sporadique	Volume moyen Demande sporadique	Faible volume Demande sporadique
	En cas de besoin	Juste à temps	Orienté

Exemple:

Magasin qui a besoin de réduire l'espace dans son entrepôt de 50% et les coûts de 70%.

	Quantité	Coût par unité (\$)	Annuel dépense	Volume par unité(dm <sup>3</sup> )	Volume total(dm <sup>3</sup> )
Chemisiers	120	200	24 000	1,00	120
Tailleurs-pantalons	420	200	84 000	1,00	420
Jeans	50	200	10 000	2,00	100
Robes etjupes	450	500	225 000	2,00	900
Costumes	280	1000	280 000	2,00	560
Fourrure manteaux	120	10 000	1 200 000	10,00	1200
Sport pantalon	10	80	800	2,00	20
T-shirts	1200	80	96 000	0,50	600
Écharpes	100	50	5000	0,40	40
Sous-vêtement	500	75	37 500	0,02	10
Ceintures	600	95	57 000	0,05	30
<b>Total</b>	<b>3850</b>		<b>2 019 300</b>		<b>4000</b>

	Quantité	Fréquent utiliser	Rarement utiliser	Non utiliser	% de non-utilisation de quantité
Chemisiers	120	30	30	60	50,00
Tailleurs-pantalons	420	100	120	200	47,62
Jeans	50	20		30	60,00
Robes etjupes	450	10	20	420	93,33
Costumes	280	20	30	230	82,14
Fourrure manteaux	120	5	15	100	83,33
Sport pantalon	10	4	2	4	40,00
T-shirts	1200	300	400	500	41,67
Écharpes	100	30	30	40	40,00
Sous-vêtement	500	200	100	200	40,00
Ceintures	600	200	200	200	33,33

- les articles sont triés en fonction de leur volume

	Quantité	Volume par unité(dm <sup>3</sup> )	Volume total(dm <sup>3</sup> )	Pourcentage	Cumulatifpourcentage
Fourrure manteaux	120	10	1200	30	30
Robes etjupes	450	2	900	22,5	52,5
T-shirts	1200	0,5	600	15	67,5
Costumes	280	2	560	14	81,5
Tailleurs-pantalons	420	1	420	10.5	92
Chemisiers	120	1	120	3	95
Jeans	50	2	100	2.5	97,5
Écharpes	100	0,4	40	1	98,5
Ceintures	600	0,05	30	0,75	99,25
Sport pantalon	10	2	20	0,5	99,75
Sous-vêtement	500	0,02	10	0,25	100
<b>Total</b>	<b>3850</b>	<b>20,97</b>	<b>4000</b>	<b>100,00</b>	<b>100</b>

- L'analyse ABC est effectuée

	Quantité	Coût parunité (\$)	Annuel dépense	Cumulatif dépense	Pourcentage dépense	Catégorie
Fourrure manteaux	120	10 000	1 200 000	1 200 000	59,4	UN
Costumes	280	1000	280 000	1 480 000	73,3	UN
Robes et jupes	450	500	225 000	1 705 000	84,4	B
T-shirts	1200	80	96 000	1 801 000	89,2	B
Tailleurs-pantalons	420	200	84 000	1 885 000	93,4	B
Ceintures	600	95	57 000	1 942 000	96,2	C
Sous-vêtement	500	75	37 500	1 979 500	98,0	C
Chemisiers	120	200	24 000	2 003 500	99,2	C
Jeans	50	200	10 000	2 013 500	99,6	C
Écharpes	100	50	5000	2 018 500	99,7	C
Sportpantalon	10	80	800	2 019 300	100	C
<b>Total</b>	<b>3850</b>		<b>2 019 300</b>	<b>2 019 300</b>	<b>100</b>	

- les articles sont triés selon la classification XYZ afin de voir quel est le potentiel de réduction de l'espace (les articles X et le pourcentage d'articles X jamais utilisés, qui sont les principaux candidats pour quitter la garde-robe sont identifiés).
- En parallèle, les éléments A sont identifiés, puisque le deuxième objectif de cette tâche est également de réduire les dépenses à 70 %.

	Quantité	% de jamaisutilisé articles	Cumulatif pourcentage(volume)	Espace économie(%)	abc	Coût économie
Fourrure manteaux	120	50,00	30	25,00	UN	1 000 000
Robes et jupes	450	47,62	52,5	21h00	B	210 000
T-shirts	1200	60,00	67,5	6.25	B	40 000
Costumes	280	93,33	81,5	11,50	UN	230 000
Tailleurs-pantalons	420	82.14	92	5,00	B	40 000
Chemisiers	120	83,33	95	1,50	C	12 000
Jeans	50	40,00	97,5	1,50	C	6000
Écharpes	100	41,67	98,5	0,40	C	2000
Ceintures	600	40,00	99,25	0,25	C	19 000
Sportpantalon	10	40,00	99,75	0,20	C	3200
Sous-vêtement	500	33,33	100	0,10	C	15 000
<b>Total</b>	<b>3850</b>		<b>100</b>	<b>100</b>		<b>1 577 200</b>

On peut observer qu'en raison de la valeur élevée, du volume élevé et du pourcentage élevé d'articles jamais utilisés ( les manteaux de fourrure, les robes, les jupes et les costumes) sont essentiels pour atteindre les deux objectifs, à savoir une réduction de valeur de 70 % et une réduction de l'espace de 50 %.

## Modèles déterministes

Ces modèles déterminent les quantités commandées en tenant compte des articles avec une demande déterministe indépendante et un délai d'exécution (c'est-à-dire le temps écoulé entre la commande et la réception) dans le but d'exploiter les économies d'échelle et de commander en gros lots pour réduire les coûts de commande fixes.

Les modèles suivants sont présentés :

- Quantité économique de base à commander (EOQ)
- Modèle de remise quantitative
- Quantité économique de commande de production (EPQ)
- Point de commande (ROP).

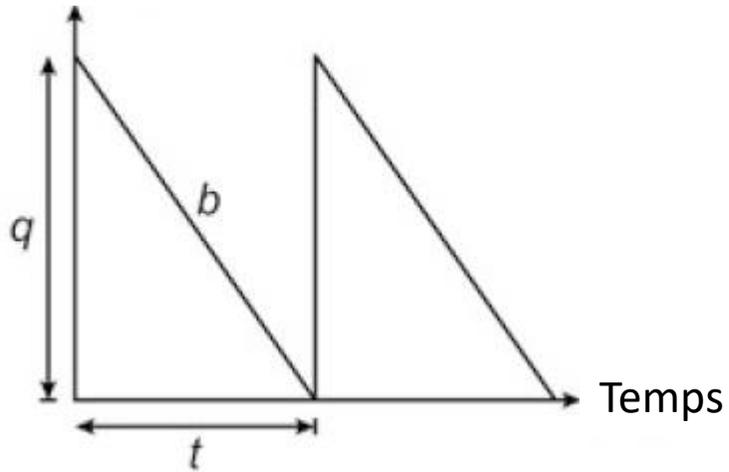
### Modèle EOQ

Considérez le système qui présente les caractéristiques suivantes :

- La demande et les délais sont connus et constants ;
- La réception de l'inventaire est instantanée et complète ;
- Les remises quantitatives ne sont pas possibles ;
- Les seuls coûts variables sont ceux de l'installation et de la maintenance ;
- Les ruptures de stock peuvent être évitées.

Exercice potentiel à  
l'examen

Inventaire



- $q$  est le nombre d'unités par commande ;
- $q^*$  est le nombre optimal d'unités par commande (EOQ) ;
- $b$  est la demande annuelle en unités pour l'article en stock ;
- $f$  est le coût d'installation ou de commande pour chaque commande ;
- $c$  est le coût de détention ou de transport par unité et par an.

Dans l'hypothèse d'une consommation linéaire des stocks, les stocks cycliques et les tailles de lots sont liés comme suit :  $Cycle\ inventory = q/2$

Les coûts annuels de détention des stocks sont :  $cq/2$

Le nombre de commandes par an :  $b/q$

Les coûts fixes annuels de commande sont les suivants :  $fb/q$

Exercice potentiel à  
l'examen

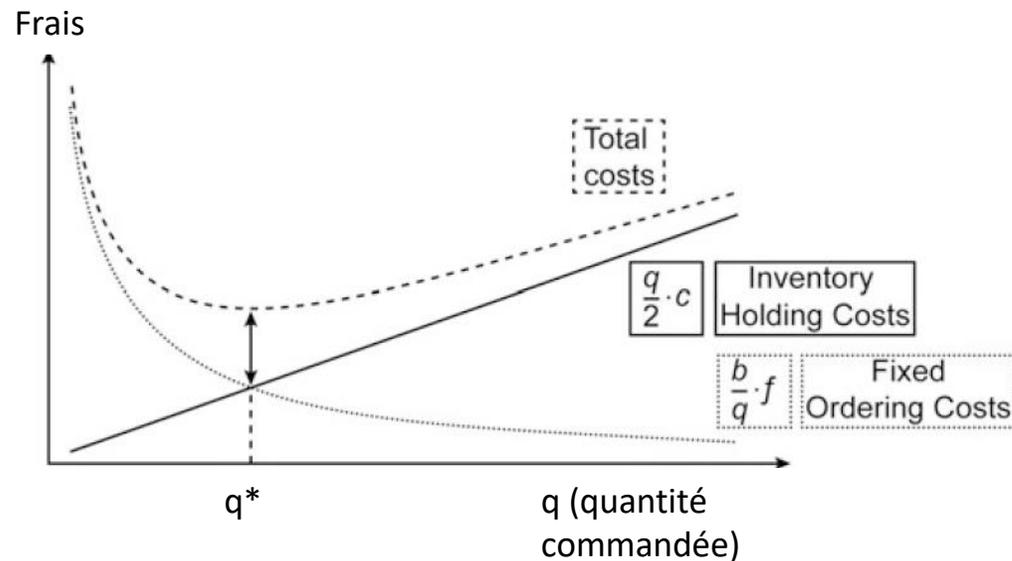
La quantité de commande optimale est trouvée lorsque les coûts de commande annuels sont égaux aux coûts de stockage annuels :

$$\frac{cq}{2} = \frac{fb}{q^*}$$

La formule EOQ est obtenue en résolvant l'équation pour  $q^*$  :

$$q^* = \sqrt{\frac{2bf}{c}}$$

Exercice potentiel à l'examen



- le plus petit coût total (la courbe supérieure) est la somme des deux courbes situées en dessous.
- les coûts totaux minimaux sont atteints au point d'intersection des courbes de coûts fixes et variables ( point EOQ  $q^*$ ).
- La fonction de coût total est assez plate dans la région minimale. Cela signifie que des changements modérés de la quantité de commande n'influeront pas sur une augmentation significative des coûts totaux par tendance.

Le nombre de commandes prévu par an est de :

$$N = \frac{b}{q^*}$$

Le temps prévu entre les commandes est :

$$T = \frac{365}{N}$$

Le coût annuel total est de :

$$TC = \frac{cq^*}{2} + \frac{fb}{q^*}$$

Exercice potentiel à  
l'examen

## Exemple:

- La demande pour un téléviseur dans un magasin est de 3 200 unités par trimestre.
- Le magasin facture des frais fixes de 2 500 \$ par commande.
- Les coûts de détention annuels par téléviseur sont de 80 \$.

Calculez le nombre de téléviseurs que le directeur du magasin doit commander par réapprovisionnement.

- La demande annuelle est  $b=3200 \times 4 = 12800$  unités ;
- Le coût de la commande par commande est de  $f=2500\$$
- Le coût de détention par unité et par an est de :  $c=80\$$

- En utilisant la formule EOQ, la quantité de commande optimale est :  $q^* = \sqrt{\frac{2 \cdot 12800 \cdot 2500}{80}} = 895$
- Le cycle inventaire est :  $895/2=448$  unités
- Nombre de commandes par an :  $N = 12\ 800/895 = 14,3$
- Délai prévu entre les commandes :  $T = 365/14,3 = 25,5$  jours
- Coût total :  $TC = 80 \times 895/2 + 2500 \times 12\ 800/895 = 71\ 554 \$$
- Le coût total pour 1 an est de 71 554 \$ pour 14,3 commandes avec 895 téléviseurs dans chaque commande.

Exercice potentiel à  
l'examen

L'EOQ n'est pas optimal pour le contexte intégré d'inventaire et de transport.

Exemple:

Le nombre de pièces commandées est de 40 unités. Cela correspond à 25 livraisons par an, pour une demande annuelle de 1000 modules. Pour déterminer les frais de transport, il faut tenir compte de la procédure suivante : 400 € par livraison + 4 € par module. Il est possible de transporter jusqu'à 100 unités à la fois.

- Analyse des coûts pour 100 unités :
  - Frais de transport : 10 livraisons x (400 + 4 x 100)=8 € par unité
  - Inventaire des cycles :  $(100/2) \times 29 + (1000/100) \times 23,2=1682$  €
  - Inventaire de sécurité :  $1,65 \times 4 \times 10=66$  articles x 29=1914 €
  - Coût total par module : 11,6 €
- Analyse des coûts pour 40 unités :
  - Frais de transport : 25 livraisons x (400 + 4 x 40)=14 € par unité
  - Inventaire des cycles :  $(40/2) \times 29 + (1000/40) \times 23,2=1160$  €
  - Inventaire de sécurité :  $1,65 \times 4 \times 10=66$  unités x 29=1914 €
  - Coût total par module : 17,1 €

Exercice potentiel à  
l'examen

### Modèle EOQ avec remises

Les coûts d'inventaire peuvent également être calculés sur la base des prix unitaires  $p$  (c'est-à-dire les coûts réels du matériel acheté) comme suit :

$$Cost(q) = p_1(1 - r_1)b + \frac{q}{2}p_1(1 - r_1)I + \frac{bf}{q}$$

Pour calculer l'EOQ :

$$q^* = \sqrt{\frac{2bf}{pI}}$$

où  $I$  est le taux d'intérêt (engagement en capital) et  $p$  est le prix unitaire.

La formule permet d'appliquer le modèle EOQ à différents prix (par exemple, dans des situations avec des remises quantitatives). Des prix réduits sont souvent disponibles lorsque de plus grandes quantités sont achetées. Dans ce cas, le compromis se situe entre la réduction des coûts des articles et l'augmentation des coûts de stockage.

L'algorithme de calcul de l'EOQ avec remises comprend les étapes suivantes :

1. Pour chaque remise, calculez  $q^*$  ;
2. Si  $q^*$  ne donne pas droit à une remise, choisissez la plus petite taille de commande possible pour obtenir la remise ;
3. Calculez le coût total pour chaque  $q^*$  ou valeur ajustée de l'étape 2 ;
4. Sélectionnez le  $q^*$  qui donne le coût total le plus bas.

Exemple:

Une chocolaterie où :

- Le coût d'une unité de chocolat est de 5,00 \$, mais une remise quantitative est offerte par le fabricant :

Rabais quantité en unités	Rabais (%)	Rabais prix p (\$)
0-999	0	5,00
1000-1999	4	4.80
2000-10 000	10	4,50

- La demande annuelle de chocolat est de 10 000 unités
- Le coût d'installation par commande est de 50\$. Le taux d'intérêt est de 20%.

- Pour une remise de 0% :  $q^* = \sqrt{\frac{2 \cdot 10000 \cdot 50}{5 \cdot 0.2}} = 1000$  et  $Cost(1000) = 5 \cdot (1 - 0) \cdot 10000 + \frac{1000}{2} \cdot 5 \cdot (1 - 0) \cdot 0.2 + \frac{10000}{1000} \cdot 50 = 51000\$$
- Pour une remise de 4% :  $q^* = \sqrt{\frac{2 \cdot 10000 \cdot 50}{4.8 \cdot 0.2}} = 1021$  et ( $q^* \in [1000-1999]$ , il peut donc être utilisé pour calculer le coût)  $Cost(1000) = 5 \cdot (1 - 0.04) \cdot 10000 + \frac{1021}{2} \cdot 5 \cdot (1 - 0.04) \cdot 0.2 + \frac{10000}{1021} \cdot 50 = 48980\$$
- Pour une remise de 10% :  $q^* = \sqrt{\frac{2 \cdot 10000 \cdot 50}{4.58 \cdot 0.2}} = 1054$  et ( $q^* \ni [2000-10000]$ , donc la plus petite taille de commande possible pour obtenir la remise de 10% est utilisée pour le coût)  $Cost(1000) = 5 \cdot (1 - 0.1) \cdot 10000 + \frac{2000}{2} \cdot 5 \cdot (1 - 0.1) \cdot 0.2 + \frac{10000}{2000} \cdot 50 = 46150\$$
- $N = 10000/2000 = 5$
- $T = 365/5 = 73$

### Modèle EPQ

Elle est appliquée à la fabrication et est utilisée lorsque :

- l'inventaire s'accumule au fil du temps après qu'une commande a été passée ;
- les unités sont produites et vendues simultanément.

La réception des stocks est autorisée sur une période donnée.

détention sont calculés en fonction du rapport entre la production et la demande :

$$\frac{cq}{2} \left(1 - \frac{d}{r}\right)$$

- $r$  est le taux de production journalier ;
- $d$  est la demande quotidienne ;
- $t$  est la durée du cycle de production en jours.

La formule EPQ est :

$$q^* = \sqrt{\frac{2bf}{\left(1 - \frac{d}{r}\right)c}}$$

Le niveau de stock maximal dans le système est :

$$I^{max} = q \left(1 - \frac{b}{r}\right)$$

Exemple:

Une entreprise fabrique des robots culinaires de haute qualité. Elle vend 18 000 robots par an et est capable de produire 125 machines par jour. Elle travaille 250 jours par an. Les coûts d'exploitation annuels par robot culinaire sont de 18 \$ et les coûts d'installation sont de 800 \$.

La quantité de production économique de l'entreprise et le niveau de stock maximal peuvent être estimés comme suit :

$$d = \frac{18000}{250} = 72 \text{ units per day}$$

$$q^* = \sqrt{\frac{2 \cdot 18000 \cdot 800}{\left(1 - \frac{72}{125}\right) \cdot 18}} = 1943$$

$$I_{max} = 1943 \cdot \left(1 - \frac{72}{125}\right) = 824$$

### Point de réapprovisionnement

Le modèle EOQ répond à la question « combien ? ». Le point de commande (ROP) indique « quand » commander. Le ROP est introduit pour prendre en compte le délai d'exécution, c'est-à-dire le temps entre la passation et la réception d'une commande. En supposant une demande constante et un délai de livraison défini, le ROP est calculé comme suit :

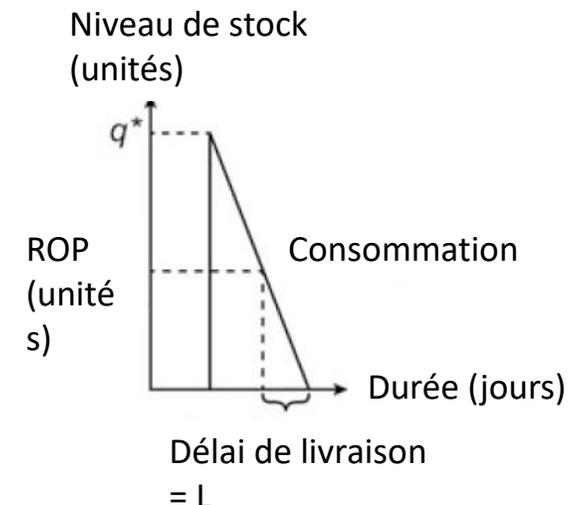
$$ROP = dL$$

où  $d$  est la demande quotidienne et  $L$  est le délai d'exécution.

### Exemple:

Une entreprise connaît une demande annuelle de 8500 couteaux par an (250 jours ouvrés). Le délai de livraison d'une commande est de 5 jours ouvrés.

$$\begin{aligned} \text{Daily demand} &= \frac{8500}{250} = 34 \text{ units} \\ ROP &= 34 \cdot 5 = 170 \text{ units} \end{aligned}$$



Exercice potentiel à  
l'examen

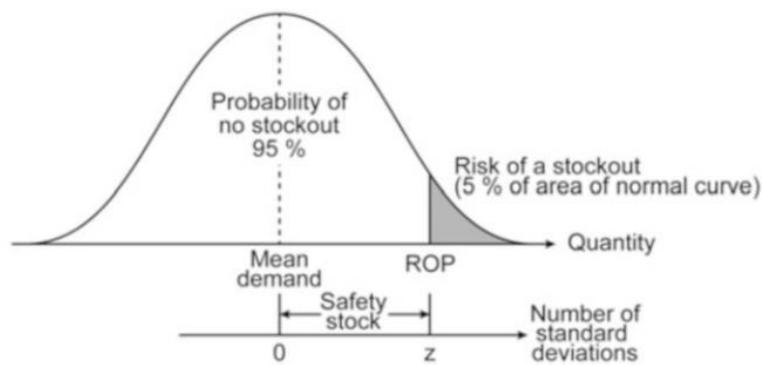
## Modèles stochastiques

Dans de nombreux cas pratiques, la demande et les délais de livraison fluctuent. Leurs valeurs ne sont pas connues, mais elles peuvent être estimées sur la base de probabilités.

L'incertitude de la demande rend nécessaire le maintien d'un certain niveau de service client ou de disponibilité du produit (la fraction de la demande qui est satisfaite à temps à partir d'un produit détenu en stock) pour éviter les ruptures de stock :

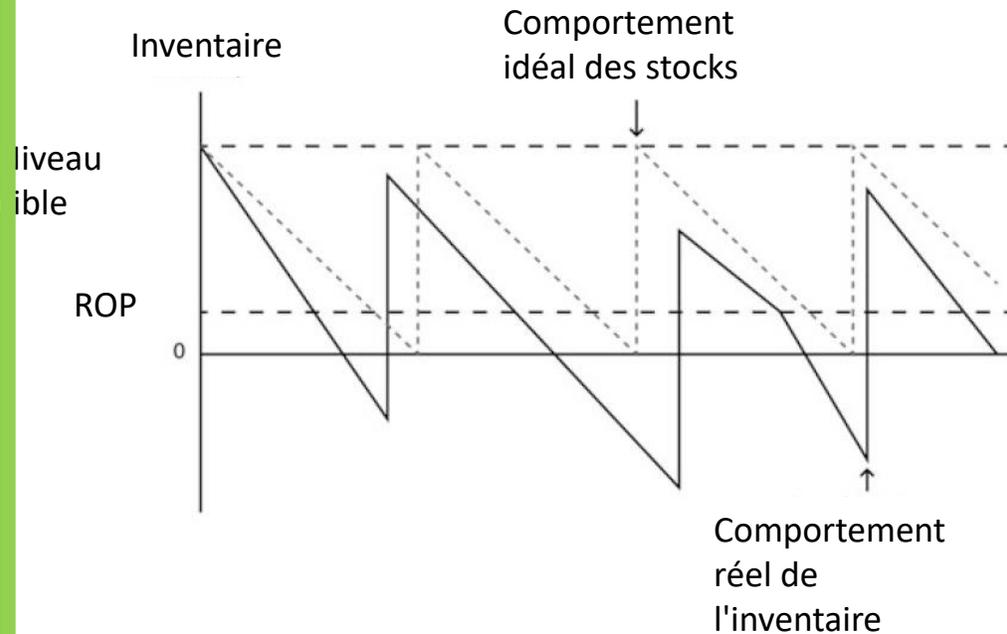
- Un niveau élevé de disponibilité des produits assure un niveau élevé de réactivité, mais augmente les coûts car de nombreux stocks sont conservés, mais rarement utilisés.
- Un faible niveau de disponibilité des produits réduit le coût de stockage des stocks, mais se traduit par une proportion plus élevée de clients qui ne sont pas servis à temps.

Le compromis de base lors de la détermination du niveau de disponibilité du produit se situe entre le coût de l'inventaire pour augmenter la disponibilité du produit et la perte due au fait de ne pas servir les clients à temps.

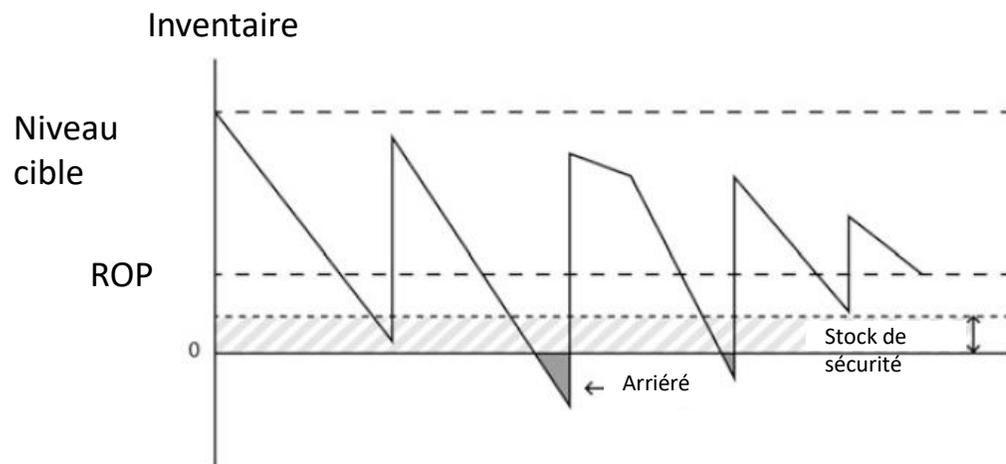


Par exemple, une probabilité de rupture de stock de 0,05 correspond à un niveau de service de 95 % . Plus le niveau de service est élevé, plus la réactivité de la chaîne d'approvisionnement est élevée, mais aussi plus les coûts de stock sont élevés.

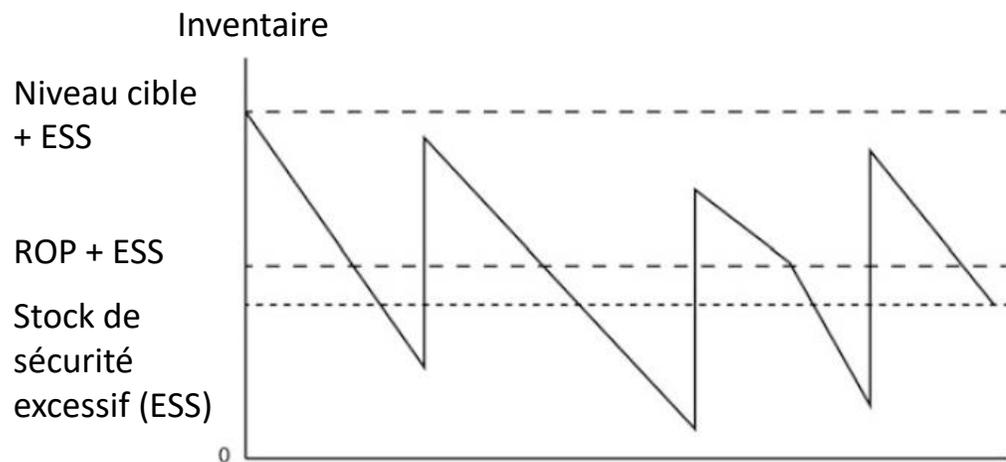
Dans une situation d'incertitude de la demande, un stock de sécurité est introduit dans le but de garantir la disponibilité du produit même en cas de fluctuations de la demande.



- Le comportement idéal des stocks signifie dans ce cas que toutes les hypothèses des modèles EOQ et ROP sont respectées, c'est-à-dire que la demande et le délai sont constants.
- En réalité, ce n'est pas le cas. La demande et les délais de livraison fluctuent, ce qui entraîne un comportement réel des stocks différent du comportement idéal.
- Afin de faire face à cette situation, le ROP devrait être augmenté du stock de sécurité.



ROP avec stock de sécurité et arriérés



ROP avec un stock de sécurité excessif et sans arriérés

Le ROP est augmenté du stock de sécurité.

Le stock de sécurité permet de faire face aux fluctuations de la demande dans certains cas et, dans d'autres cas, il existe un backlog (la demande n'est pas satisfaite dans la période où elle apparaît, mais est reportée sur les périodes futures).

Le ROP est à nouveau augmenté par un stock de sécurité excessif (ESS). L'ESS est si élevé que les fluctuations de la demande n'entraîneraient jamais de retard (une disponibilité de produit de 100 % en stock entraînant un niveau de service de 100 %).

Cependant, l'inventaire est beaucoup plus élevé, ce qui entraîne des coûts d'inventaire plus élevés.

Pour calculer le stock de sécurité en fonction d'un niveau de service souhaité :

$$SS = z\sigma_{dLT}$$

Où:

- $ss$  est le stock de sécurité
- $\sigma_{dLT}$  est l'écart type de la demande pendant la période de livraison. Il peut être obtenu à partir de l'analyse des prévisions de la demande et des ventes réelles dans le passé ( $\sigma=1,25$  MAD est une valeur typique).
- $z$  est le nombre d'écarts types. Il peut être déterminé à partir du tableau de distribution normale.

Exemple:

Si l'écart type de la demande pendant le délai de livraison est de 10 :

- pour un niveau de service de 99%,  $z=2,33$ ,  $ss=23,3$
- pour un niveau de service de 95 %,  $z=1,65$ ,  $ss=16,5$
- pour un niveau de service de 90 %,  $z=1,28$ ,  $ss=12,8$

Exercice potentiel à  
l'examen

Le ROP est :

$$ROP = \bar{d}L + ss$$

Pour calculer le ROP, quatre situations sont possibles :

- la demande est supposée être distribuée normalement pendant le délai de livraison :

$$ROP = \bar{d}L + z\sigma_{dLT}$$

- la distribution journalière de la demande est donnée (c'est-à-dire que la demande est variable) et le délai d'exécution est constant :

$$ROP = \bar{d}L + z\sigma_d\sqrt{L}$$

Exercice potentiel à  
l'examen

- la demande quotidienne est constante et le délai de livraison est variable :

$$ROP = \bar{d}L + z\bar{d}\sigma_L$$

- la demande et les délais sont tous deux variables :

$$ROP = \bar{d}L + z\sqrt{L\sigma_d^2 + \bar{d}^2\sigma_L^2}$$

Exemple:

La demande moyenne de brosses à dents est de 35 unités par jour. L'écart type de la demande normalement distribuée pendant le délai de livraison est de dix brosses à dents par jour. Le délai de livraison est de 3 jours. Le niveau de service est de 95 %.

$$ROP = 35 \cdot 3 + 1.65 \cdot 10 = 122 \text{ units}$$

$$ss = 1.65 \cdot 10 = 16.5 \text{ units}$$

Si une distribution quotidienne de la demande est donnée au lieu de l'écart type de la demande normalement distribuée pendant le délai de livraison. Et l'écart type quotidien de la demande est de 10 unités :

$$ROP = 35 \cdot 3 + 1.65 \cdot 10 \cdot \sqrt{3} = 134 \text{ units}$$

Si la demande est constante, mais que le délai de livraison peut fluctuer avec un écart type de 1

$$ROP = 35 \cdot 3 + 1.65 \cdot 35 \cdot 1 = 163 \text{ units}$$

Exercice potentiel à  
l'examen

Si la demande et le délai sont tous deux variables :

$$ROP = 35 \cdot 3 + 1.65 \cdot \sqrt{3 \cdot 10^2 + 35^2 \cdot 1^2} = 170 \text{ units}$$

Le problème du vendeur de journaux est un modèle mathématique permettant de calculer le niveau optimal de stock pour une période donnée. Un vendeur de journaux qui doit décider chaque jour du nombre de quotidiens qu'il souhaite stocker pour le lendemain est confronté à une demande incertaine et à la certitude que les exemplaires invendus n'auront quasiment plus de valeur le lendemain.

Elle est caractérisée par les conditions suivantes :

- prix fixe pour chaque unité,
- produit périssable,
- demande incertaine,
- pas de livraison supplémentaire dans la période  $t$ ,
- délai d'achat court.

La notation suivante est utilisé :

$c$  est le prix d'achat ;  $r$  est le prix de détail ;  $v$  est le prix de récupération ;

$c_o$  est le coût excédentaire ;  $c_u$  est le coût insuffisant ;

$z$  est le nombre d'écart types ;  $\sigma$  est l'écart type de la demande ;  $\mu$  est l'espérance de la demande ;

$S$  est la quantité commandée ;

$S^*$  est la quantité optimale à commander ;

$Z(S^*)$  est le coût attendu pour une quantité de commande optimale ;

$\Pi(S^*)$  est le profit espéré pour une quantité de commande optimale.

Pour calculer les coûts excédentaires et insuffisants :

$$c_o = c - v$$

$$c_u = r - c$$

Le rapport critique (CR) est utilisé pour trouver la valeur  $z$  à partir du tableau de distribution normale :

$$CR = \frac{c_u}{c_u + c_o} \rightarrow F(CR) = z$$

Pour calculer  $S^*$  :

$$S^* = \mu + z\sigma$$

Le coût prévu est :

$$Z(S^*) = (c_o + c_u)f_{01}(z)\sigma$$

( la valeur de  $f_{01}(z)$  peut être extraite de la version complète d'un tableau de distribution normale).

Le bénéfice pour une quantité de commande optimale est :

$$\Pi(S^*) = c_u(\mu - Z(S^*))$$

Exemple:

Un café achète des croissants à une petite boulangerie. La boulangerie vend des croissants au chocolat à 0,70 \$ chacun. Le magasin les vend à ses clients à 2,40 \$. Les croissants invendus peuvent être retournés à la boulangerie pour 0,15 \$ chacun. Sur la base des derniers mois, le magasin s'attend à une demande distribuée normale pour les croissants au chocolat. La demande s'attend à 14 croissants par jour avec un écart type de quatre par jour.

$$c_o = 0.70 - 0.15 = 0.55\$$$

$$c_u = 2.40 - 0.70 = 1.70\$$$

$$CR = \frac{1.70}{1.70 + 0.55} = 0.75 \rightarrow F(0.7556) = 0.7 = z$$

$$S^* = 14 + 0.7 \cdot 4 = 17 \text{ units}$$

$$Z(S^*) = (0.55 + 1.70)f_{01}(0.7)4 = 2.81\$/day$$

$$\Pi(S^*) = 1.70 (14 - 2.81) = 2.99\$/day$$

### Étude de cas

Cette étude de cas se concentre sur l'impact d'un concept de transport global sur la gestion des stocks en utilisant l'exemple d'une compagnie maritime.

Le trajet maritime entre deux ports dure en moyenne 30 jours ; désormais, un départ de navire est proposé chaque jour au lieu d'une fois par semaine. Nous supposons une demande constante de 10 unités par jour, un niveau de service de 98 % et un délai de livraison normalement distribué du port d'origine au port de destination. Le stock de sécurité (ss) à destination peut être calculé comme suit :

$$ss = z\bar{d}\sigma_L$$

où z est le nombre d'écart types, d est la demande quotidienne et  $\sigma_L$  est l'écart type du délai de livraison.

En supposant un niveau de service de 98 % et une demande quotidienne de 10 unités, le stock de sécurité peut être calculé comme suit :

$$ss(\text{weekly departure}) = 2.055 \cdot 10 \cdot 2.0 = 41.1 \text{ units}$$

$$ss(\text{daily departure}) = 2.055 \cdot 10 \cdot 0.3 = 6.2 \text{ units}$$

Grâce au concept de l'entreprise, le niveau de stock de sécurité diminue considérablement : il ne nécessite que 6,2 unités en stock contre 41,1 unités pour un service hebdomadaire. Cela se traduit par des coûts de stockage plus faibles pour les clients directs ou les intermédiaires, comme les transitaires, aux points de destination et offre un avantage mesurable aux clients.

## Politiques de contrôle des stocks

La politique de contrôle des stocks est une procédure qui permet de définir la quantité et le moment de la commande. La révision peut avoir lieu périodiquement (par exemple, à la fin d'un mois) ou en continu (c'est-à-dire en suivant chaque article et en mettant à jour les niveaux de stock à chaque fois qu'un article est retiré de l'inventaire). Quatre paramètres doivent être modélisés :

- intervalle de réapprovisionnement ( $t$ )
- quantité commandée ( $q$ );
- point(s) de réapprovisionnement ;
- niveau d'inventaire cible ( $S$ ).

Elles peuvent être fixés ou modifiés (ajustés) de manière dynamique en fonction des changements de l'offre et de la demande. Par conséquent, des vues statiques et dynamiques sur les politiques de contrôle des stocks peuvent être envisagées.

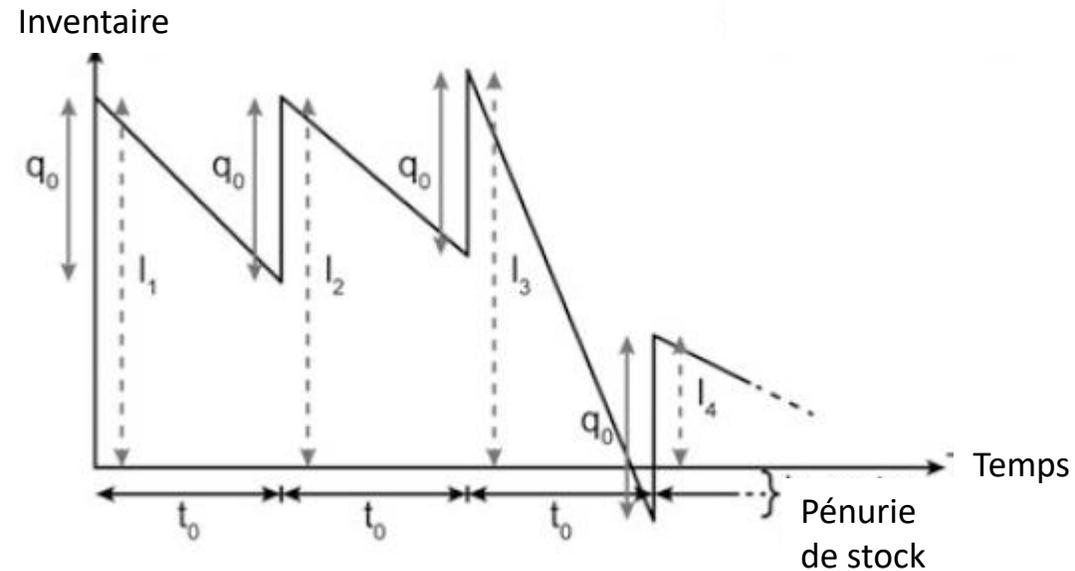
		Intervalle de commande	
		Fixé	Variable
Quantité de commande	Fixé	( $t, q$ )- politique	( $s, q$ )- politique
	Variable	( $t, s$ )- politique	( $s, S$ )- politique

La quantité commandée et les intervalles de réapprovisionnement peuvent être à la fois fixes et variables. Par conséquent, quatre politiques de contrôle des stocks de base peuvent être classées.

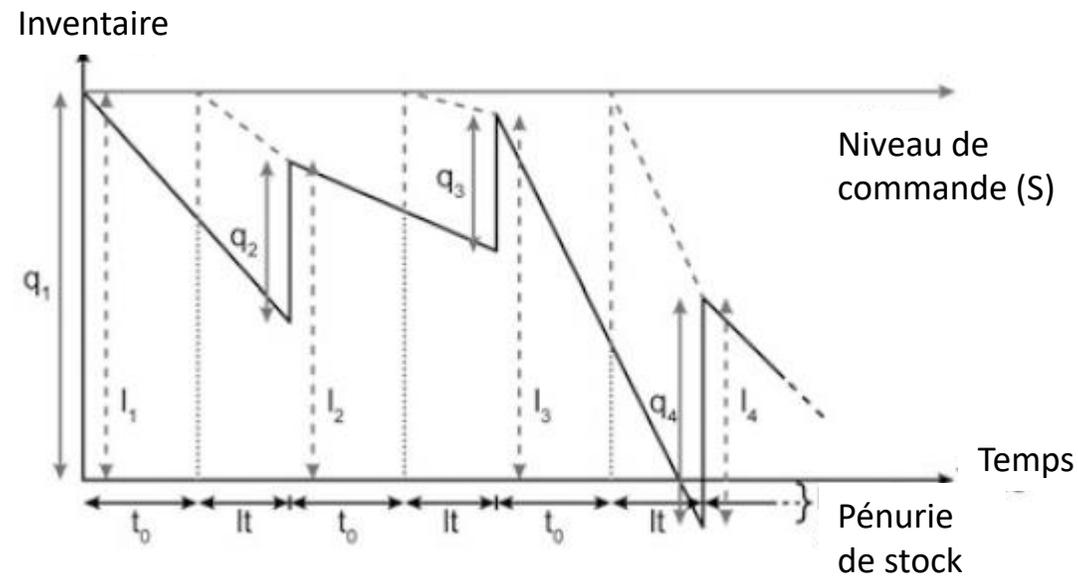
### Paramètres fixes

Lorsque l'intervalle de réapprovisionnement, la quantité commandée, le ROP et les niveaux de stock cibles sont fixes, les politiques suivantes peuvent être classées.

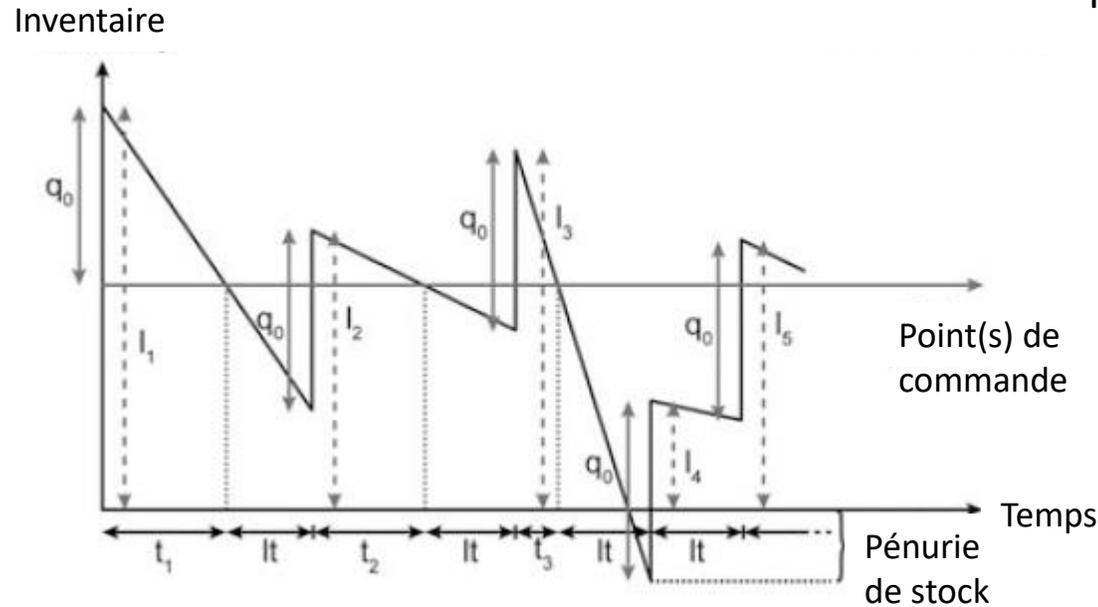
- Politique 1 :  $t, q$ . Une quantité fixe ( $q$ ) est commandée pour une période de temps fixe entre deux commandes ( $t$ ). Il est recommandé de mettre en œuvre cette politique dans des conditions de demande constante, car elle ne peut pas être ajustée en cas d'incertitude ou de fluctuation de la demande.



- Politique 2 :  $t, S$ . La quantité commandée ( $q$ ) est variable et  $q$  est passée à un moment fixe ( $t$ ). Une certaine quantité de stock doit être commandée pour atteindre la quantité souhaitée  $S$  sous réserve du délai de livraison ( $l_t$ ). La quantité commandée est calculée comme le niveau cible  $S$  : stock disponible.

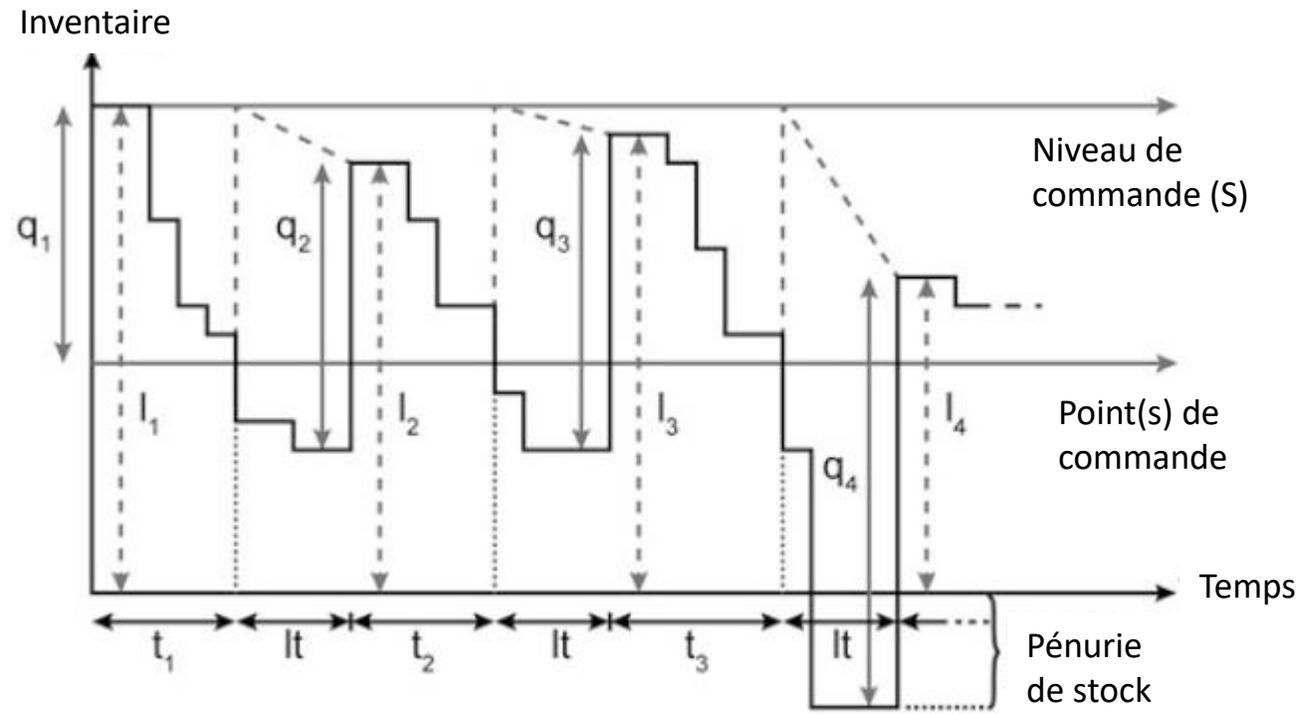


- Politique 3 :  $s, q$  . Ce modèle fonctionne lorsque la quantité commandée ( $q$ ) est fixe et que l'intervalle ( $t$ ) entre les commandes peut varier. Dans ce cas, le point de commande ( $s$ ) est défini comme ROP ( $ROP = d(T + L) + z\sigma\sqrt{(T + L)}$ ). Chaque commande arrive pour réapprovisionner l'inventaire après un délai de livraison. Le délai de livraison est supposé connu et constant. Il existe une possibilité de pénurie au cours d'un cycle de commande, c'est-à-dire lorsque le niveau de stock tombe en dessous de zéro (événement de rupture de stock). Chaque fois que l'inventaire est extrait, ce qui reste est comparé à  $s$ . Si le niveau de stock est inférieur à  $s$ , alors une commande au taux de  $q$  est passée. Similairement à la politique ( $t, q$ ), dans la politique ( $s, q$ ), on fait également référence à la quantité de commande optimale.



- Stratégie 4 :  $s, S$  . Cette stratégie est utilisée pour définir la baisse de la quantité commandée  $s$  après chaque utilisation du stock. Dans ce cas, le stock doit être réapprovisionné pour augmenter la position du stock au niveau  $S$  :

$$S = ROP + q$$



Exemple:

- demande par jour (j) : 100 unités ;
- écart type journalier de la demande ( $\sigma$ ) : 20 unités ;
- coûts de détention annuels (h) : 10 \$ par unité;
- frais de commande fixes (f) : 100 \$ par commande;
- intervalle de commande (T) : 4 semaines ;
- Délai de livraison (L) : 2 semaines.

Pour déterminer les paramètres et les coûts de détention annuels pour la politique (s, S) pour un niveau de service de 95 % :

$$ss = z\sigma\sqrt{T+L} = 1.65 \cdot 20 \cdot \sqrt{4+2} = 81 \text{ units}$$

$$ROP = 100(4+2) + 81 = 681 \text{ units}$$

$$q^* = \sqrt{\frac{2 \cdot 36500 \cdot 100}{10}} = 855 \text{ units} \rightarrow S = 681 + 855 = 1536 \text{ units}$$

La politique est (681;1536). La position moyenne des stocks est  $(681+1536)/2=1108$ .

$$Costs = 1108 \cdot 10 = 11082\$$$

### Vue dynamique

Lorsque l'intervalle de réapprovisionnement, la quantité commandée, le ROP et les niveaux de stock cibles ne sont pas fixes, mais changent de dynamique en fonction des variations de la demande, les modifications suivantes des politiques mentionnées ci-dessus doivent être prises en compte : demande, stock actuel et projeté, quantités en transit ainsi que livraisons prévues.

## Agrégation des stocks

Dans de nombreux cas, de nombreux marchés sont réapprovisionnés à partir du même entrepôt.

- Un intervalle de réapprovisionnement plus long entraîne des besoins de stock de sécurité plus élevés
- Un intervalle de réapprovisionnement plus petit signifie un niveau de stock inférieur dans l'entrepôt et donc un entrepôt plus petit est utile.
- Un intervalle de réapprovisionnement plus court entraîne probablement des coûts de main-d'œuvre plus élevés en raison d'une plus grande manutention des matériaux.

Si deux entrepôts doivent être fusionnés afin de réduire les coûts fixes et d'exploitation de l'entrepôt, le niveau adéquat de stock de sécurité dans le nouvel entrepôt plus grand peut être déterminé comme suit :

- Si les deux entrepôts desservent auparavant le même marché, le stock de sécurité devrait rester inchangé, selon la formule :  $SS = Z\sigma_{dLT}$
- Si les deux entrepôts desservent auparavant des marchés différents :  $\sigma_{new} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$

## Exemple:

Une entreprise qui vend du lait possède deux entrepôts. Ils desservent des régions différentes.

La demande pour le marché A est de 12 000 unités avec un écart type de 4 600 unités.

Le marché B a une demande de 14 300 unités avec un écart type de 6 200 unités.

Le prix d'achat d'une unité de lait est de 1,12 € et le prix de détail est de 3,65 €. Les unités de lait non vendues peuvent être revendues à une industrie pour 0,31 € par unité.

L'entreprise envisage de fusionner les deux marchés. Cette fusion entraînerait des coûts de transport supplémentaires de 22 500 €, mais une réduction des coûts fixes de 20 000 €.

Pour calculer le volume de commande optimal, les coûts et bénéfices attendus pour chaque marché, et décider si la fusion des deux marchés est une idée rentable :

$$c_o = 1.12 - 0.31 = 0.81\text{€}$$

$$c_u = 3.65 - 1.12 = 2.53\text{€}$$

$$CR = \frac{2.53}{2.53 + 0.81} = 0.76 \rightarrow F(0.76) = 0.71 = z$$

$$f(0.71) = 0.31$$

$$S_A^* = 14300 + 0.71 \cdot 6200 = 18702$$

$$S_B^* = 12000 + 0.71 \cdot 4600 = 15266$$

Coût prévu pour A et B :

$$Z(S_A^*) = (0.81 + 2.53) \cdot 0.31 \cdot 6200 = 6420\text{€}$$

$$Z(S_B^*) = (0.81 + 2.53) \cdot 0.31 \cdot 4600 = 4763\text{€}$$

Bénéfice attendu pour A, B et le total :

$$\Pi(S_A^*) = 2.53 \cdot 14300 - 6420 = 29759\text{€}$$

$$\Pi(S_B^*) = 2.53 \cdot 12000 - 4763 = 25597\text{€}$$

$$\Pi(\text{total}) = 25597 + 29759 = 55356\text{€}$$

Si A et B sont fusionnés :

$$\mu_{new} = \mu_A + \mu_B = 14300 + 12000 = 26300$$

$$\sigma_{new} = \sqrt{6200^2 + 4600^2} = 7720$$

$$S_{new}^* = 26300 + 0.71 \cdot 7720 = 31781$$

$$Z(S_{new}^*) = (0.81 + 2.53) \cdot 0.31 \cdot 7720 = 7993\text{€}$$

Comparaison entre les deux solutions :

$$Z(S_A^*) + Z(S_B^*) - Z(S_{new}^*) = 6420 + 4763 - 7993 = 3190\text{€}$$

$$\Pi(S_{new}^*) = 2.53 \cdot 26300 - (7993 + 2500) = 56046\text{€}$$

La fusion des deux entrepôts est une solution rentable.

L'incertitude est une propriété du système caractérisant l'incomplétude de nos connaissances sur le système et les conditions de son développement.

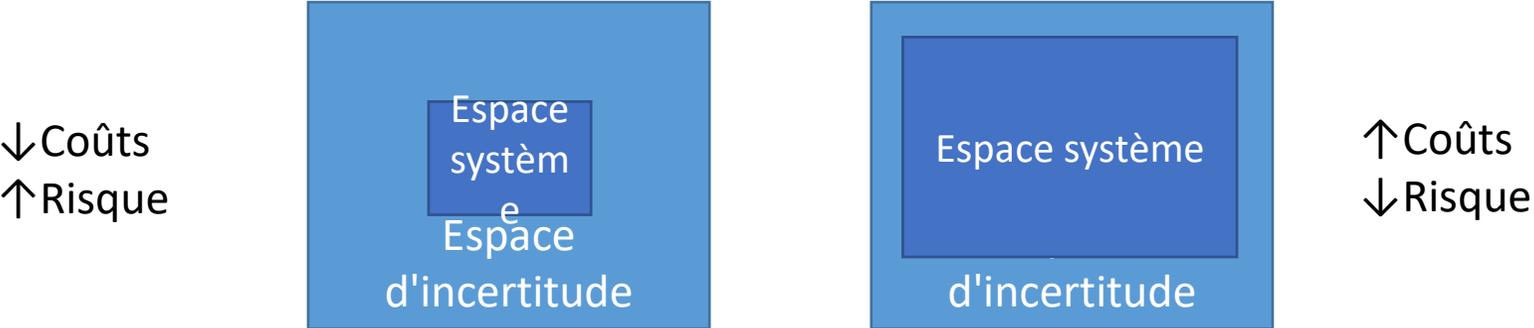
Le risque est une mesure de l'ensemble des résultats possibles (négatifs) d'une décision rationnelle unique et de leurs valeurs probabilistes. Le terme « risque » est également remplacé par « vulnérabilité », qui signifie « à risque ».

- L'incertitude est la propriété générale d'un environnement système qui existe indépendamment de nous pour tout système d'un degré de complexité sensible.
- Le risque naît de l'incertitude. Les risques peuvent être identifiés, analysés, contrôlés et réglementés.
- Une perturbation (impact de perturbation) est la conséquence de risques.
- Cela peut entraîner une déviation (perturbation) dans la chaîne d'approvisionnement ou non
- Les écarts opérationnels (ou perturbations graves) sont le résultat d'influences perturbatrices. Ils peuvent affecter les opérations, les processus, les plans, les objectifs ou les stratégies. Pour ajuster la chaîne d'approvisionnement en cas d'écarts, des mesures d'adaptation doivent être prises.

Pour le domaine de la gestion de la chaîne d'approvisionnement, les facteurs d'incertitude et les mesures pour leur gestion peuvent être distingués comme suit

Décision-fabrication niveau	Incertainete facteurs	Manutention mesures
<b>Stratégique</b>	Gestion multipleobjectifs Terrorisme, piratage Financier et politiquecrises Naturel catastrophes	<b>Multicritères analyse techniques fournir chaînesécurité gestion</b> <b>Liquide actifs réserves Stratégique</b> <b>matériel inventaires</b> <b>Marché diversification et externalisation</b> <b>Produit lignes' flexibilité et modularité</b>
<b>Tactique et opérationnel</b>	<b>Faible coordination Sans stock processus Faible contrôle de cargaison sécurité Technologique pauses Humain erreurs</b>	<b>Sécurité actions et tampons de temps</b> <b>Réserves de capacités de la chaîne d'approvisionnement</b> <b>coordination, surveillance, et événement gestion</b>

Le problème d'un système sous contrôle et incertitude est lié à une zone sous contrôle et une zone sous incertitude :



En élargissant la zone de contrôle (figure de droite) et en rétrécissant la zone d'incertitude ou inversement (figure de gauche), le contrôle du système peut être adapté.

Exemple de classification des risques :

- Perturbations (par exemple catastrophes naturelles, terrorisme, guerre, etc.),
- Retards (par exemple, manque de flexibilité de la source d'approvisionnement),
- Systèmes (par exemple panne de l'infrastructure d'information),
- Prévision (par exemple, prévision inexacte, effet coup de fouet, etc.),
- Propriété intellectuelle (par exemple intégration verticale),
- Achats (par exemple, risque de change),
- Créances (par exemple nombre de clients),
- Inventaire (par exemple, coût de stockage, incertitude de l'offre et de la demande, etc.),
- Capacité (par exemple coût de la capacité).

- Risques externes qui traitent des menaces provenant d'une perspective externe de la chaîne d'approvisionnement et qui peuvent être causées par des raisons économiques, sociopolitiques ou géographiques.
- Risques de temps liés aux retards dans les processus SC
- Risques liés à l'information, par exemple, rupture de communication au sein de l'équipe de projet, complications liées à l'infrastructure de l'information, informations déformées et fuites d'informations
- Risques financiers, par exemple, l'inflation, le niveau des taux d'intérêt, les fluctuations monétaires et les demandes des parties prenantes
- Risques d'approvisionnement, c'est-à-dire risques liés aux fournisseurs, par exemple faillite du fournisseur, fluctuations de prix, qualité et quantité instables des intrants
- Risques opérationnels, causés par des problèmes au sein des limites organisationnelles d'une entreprise, par exemple des changements de conception et de technologie, des accidents et des conflits du travail

La gestion des risques est une approche méthodologique de gestion des résultats incertains.

Les gens ne recherchent pas une garantie de résultat à 100 % : ils ont tendance à prendre des risques consciemment.

- Le facteur de risque est une catégorie globale qui caractérise un système au niveau de l'orientation vers un objectif (par exemple, perturbation du plan de production, rupture de livraison, etc.).
- Les sources de risque prennent en compte certains événements susceptibles de provoquer des facteurs de risque.
- La situation dangereuse caractérise l'état d'un système lorsque la probabilité d'apparition de sources de risque et leur influence directe sur ce système est élevée.
- La situation de risque désigne une condition dans laquelle les influences actives des sources de risque provoquent des perturbations et des écarts dans le fonctionnement du système.

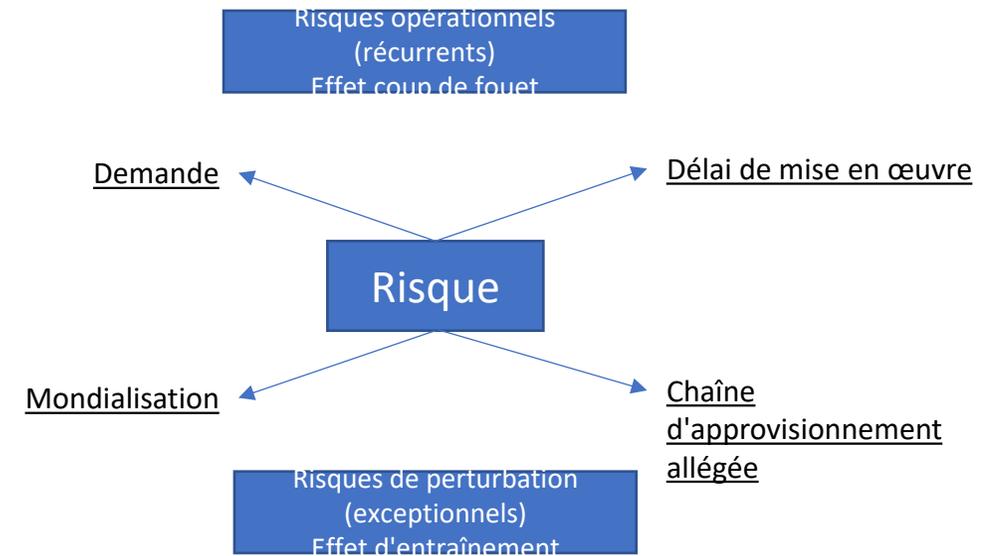
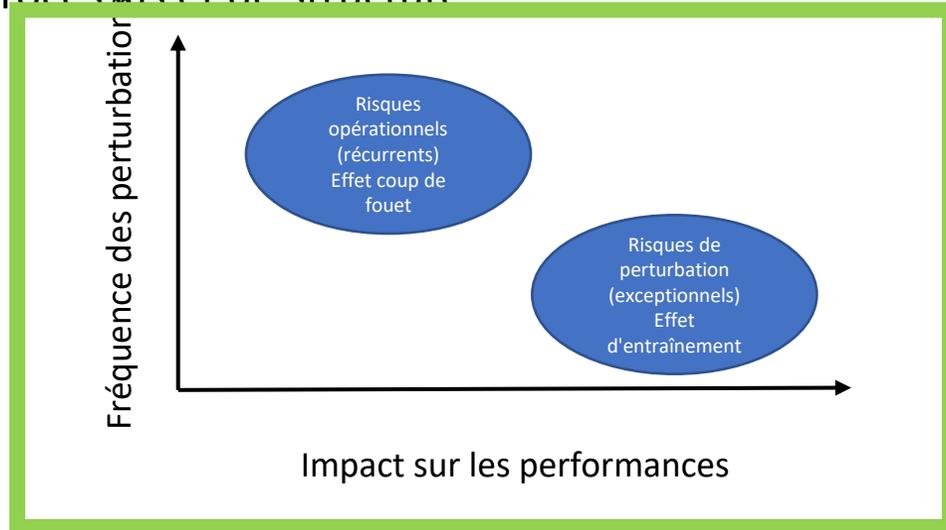
La problématique du fonctionnement de la chaîne d'approvisionnement en termes de risque comprend les principales phases suivantes :

- identification des facteurs de risque
- identification des sources de risques et des situations dangereuses
- identification des interdépendances entre l'apparition d'une situation de risque et les changements des paramètres de fonctionnement du système
- prise de décision sur le compromis lors de la configuration de la chaîne d'approvisionnement par aggravation de certains critères d'objectif
- élaboration de décisions de contrôle afin de compenser d'éventuelles perturbations dans le fonctionnement du système causées par des situations à risque développement d'un système de surveillance des objets gérés.

Les incertitudes et les risques dans la chaîne d'approvisionnement peuvent être classés comme suit :

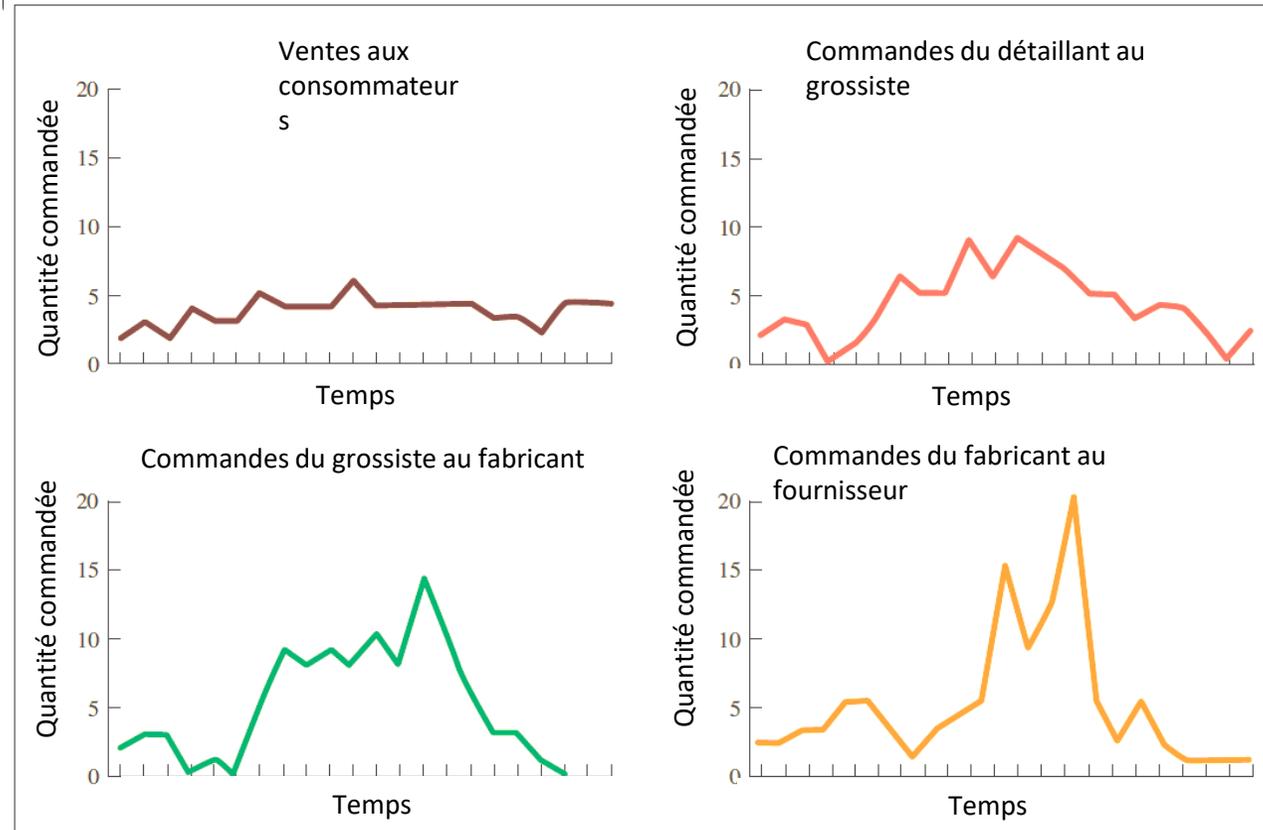
- incertitude aléatoire (risques de fluctuation de la demande)
- incertitude des dangers (risque d'événements inhabituels à fort impact)
- incertitude profonde (risques de perturbations graves)

Les différents types de risques dans la chaîne d'approvisionnement peuvent être classés en domaines de demande, d'offre, de processus et de structure



L'effet Bullwhip considère les fluctuations hebdomadaires/quotidiennes de la demande et des délais comme les principaux moteurs des changements dans la chaîne d'approvisionnement qui se produisent au niveau paramétrique et peuvent être éliminés dans une perspective à court terme.

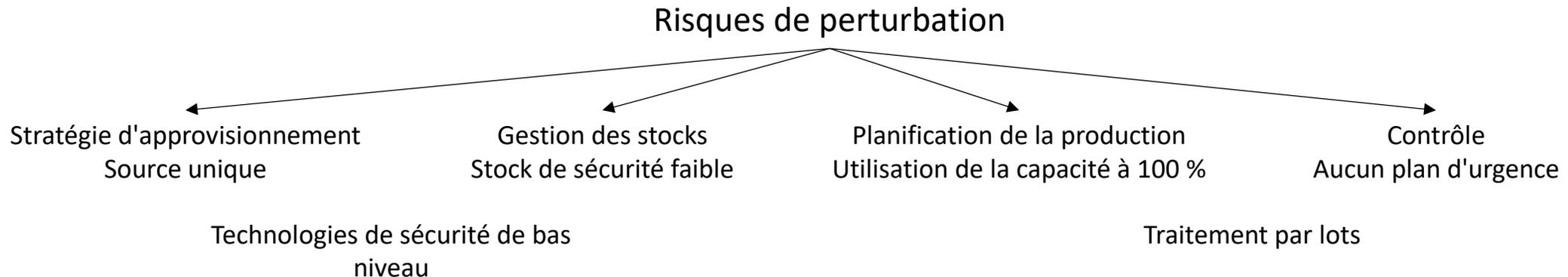
L'effet coup de fouet considère les fluctuations hebdomadaires/quotidiennes de la demande et des délais comme les principaux facteurs de changement dans la chaîne d'approvisionnement qui se produisent au niveau paramétrique et peuvent être éliminés dans une perspective à court terme. Il fait référence à une situation dans laquelle la variabilité de la demande est amplifiée en passant du client au producteur dans la chaîne d'approvisionnement



L'effet d'entraînement dans la chaîne d'approvisionnement :

- se produit si une perturbation ne peut pas être localisée et se répercute en aval, impactant les performances de la chaîne d'approvisionnement telles que les ventes, le retour des stocks, le niveau de service et les coûts.
- décrit la propagation des perturbations dans la chaîne d'approvisionnement, l'impact d'une perturbation sur les performances de la chaîne d'approvisionnement et la portée des changements dans les structures et les paramètres de la chaîne d'approvisionnement en fonction des perturbations.

L'ampleur de l'effet d'entraînement et son impact sur la performance économique dépendent à la fois des réserves de robustesse (par exemple, des redondances telles que des stocks ou des tampons de capacité) et de la rapidité et de l'ampleur des mesures de relance.



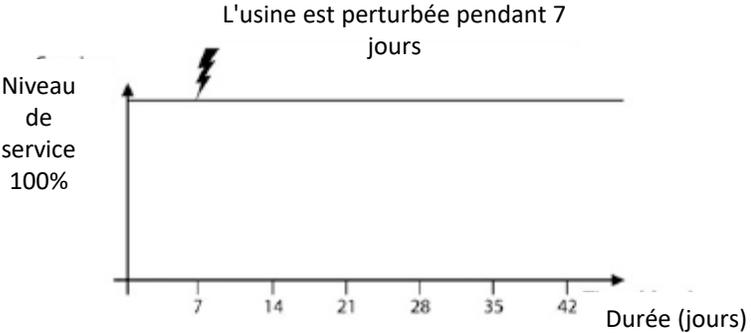
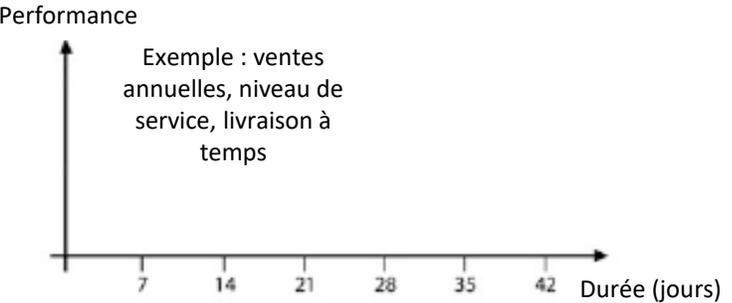
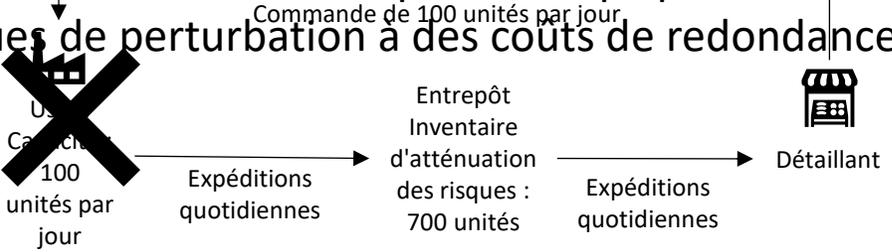
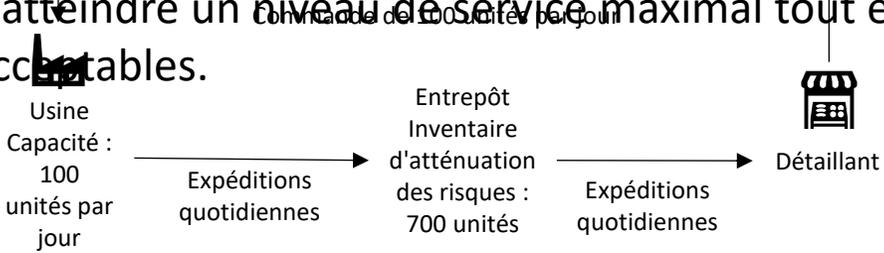
La résilience de la chaîne d'approvisionnement est la capacité à maintenir, exécuter et récupérer (adapter) l'exécution planifiée ainsi qu'à atteindre la performance planifiée (ou adaptée, mais toujours acceptable) est donc la prochaine propriété objective de la chaîne d'approvisionnement.

Les chaînes d'approvisionnement doivent être planifiées pour être suffisamment stables, robustes et résilientes pour :

- conserver leurs propriétés de base et assurer l'exécution
- être capable d'adapter son comportement en cas de perturbations afin d'atteindre les performances prévues à l'aide d'actions de rétablissement.
- La robustesse des chaînes d'approvisionnement est une caractéristique complexe de fonctionnement sans défaillance, de durabilité, de récupérabilité et de maintien des processus de la chaîne d'approvisionnement et de la chaîne d'approvisionnement dans son ensemble. Cela est lié à la création d'un système de réserves (introduction d'excès de ressources) pour la prévention des défaillances et des écarts dans les processus de la chaîne d'approvisionnement.
- La flexibilité des chaînes d'approvisionnement est une propriété concernant leur capacité à se modifier rapidement, structurellement et fonctionnellement en fonction de l'état d'exécution actuel et à atteindre les objectifs de gestion de la chaîne d'approvisionnement par un changement des structures et du comportement de la chaîne d'approvisionnement . Cela est lié à la création d'un système d'adaptation (en ce qui concerne les opérations et les ressources) pour la prévention, l'amélioration ou l'acquisition de nouvelles caractéristiques pour la réalisation des objectifs dans les conditions environnementales actuelles variant dans le temps.

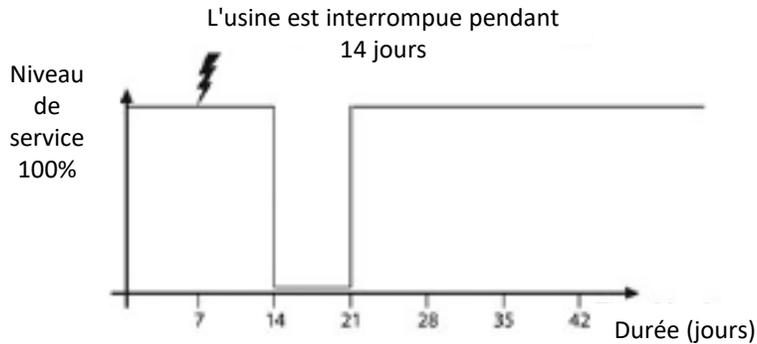
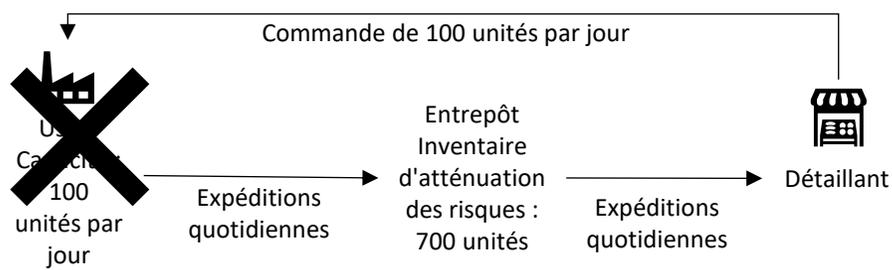
L'augmentation des stocks, des capacités de production supplémentaires et des méthodes de transport alternatives ou des installations de secours augmenteraient les coûts. Dans le même temps, ces éléments dits redondants pourraient potentiellement conduire à une augmentation des ventes et du niveau de service. Les éléments de robustesse réduiraient également le risque de perturbations qui peuvent influencer l'exécution du planning.

L'état résilient d'une chaîne d'approvisionnement nécessite une robustesse et une flexibilité équilibrées qui permettent d'atteindre un niveau de service maximal tout en tenant compte des risques de perturbation à des coûts de redondance acceptables.

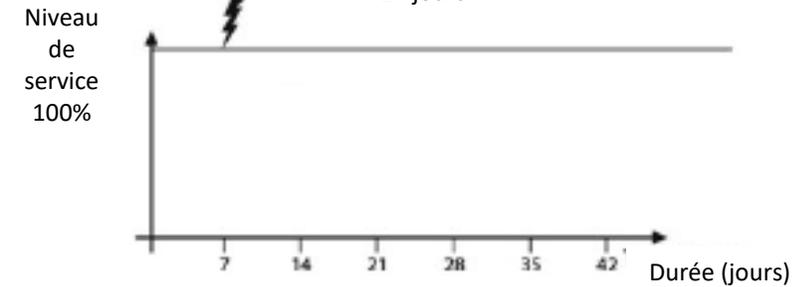
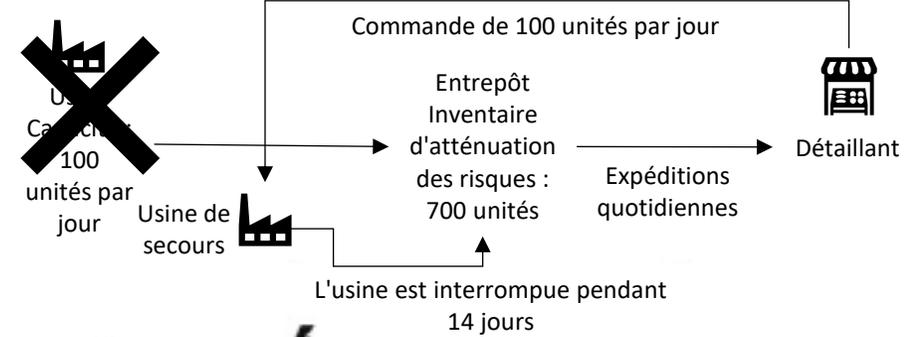


L'usine commande chaque jour 100 unités d'un produit, ce qui correspond à la capacité de production quotidienne de 100 unités. Des expéditions quotidiennes sont supposées. L'entrepôt détient un stock d'atténuation des risques de 700 unités dans le cadre d'une politique de résilience proactive.

L'usine est perturbée pendant 7 jours. Compte tenu du stock de 700 unités pour atténuer les risques et de la demande quotidienne de 100 unités, cette perturbation n'affecte pas les performances de la chaîne



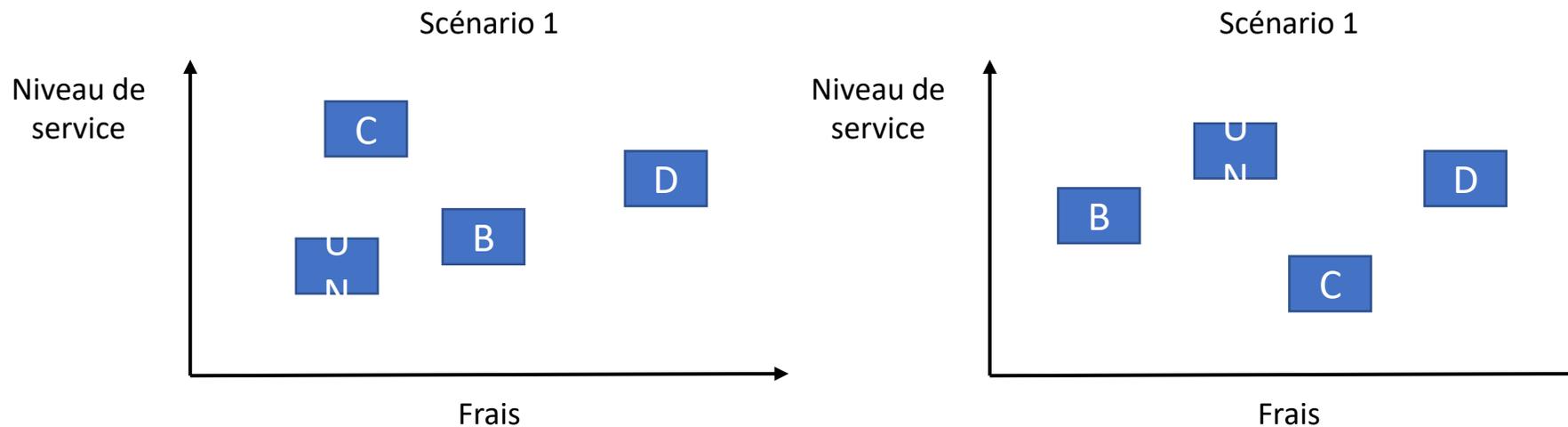
L'usine arrête de produire pendant 14 jours, les niveaux de service seront perturbés car l'inventaire d'atténuation des risques ne servirait qu'à 1 semaine.



L'utilisation d'une usine de secours atténue l'effet d'entraînement et la baisse des performances. Cependant, les stocks d'atténuation des risques et une capacité de secours augmentent les coûts de la chaîne d'approvisionnement.

L'équilibre des éléments de flexibilité et de robustesse dans les boucles de contrôle proactives et réactives, les différentes constellations de niveaux de service, les coûts et la stabilité doivent être analysés.

Les combinaisons de stratégies d'atténuation proactives et de politiques de reprise réactives peuvent différer en termes de coûts et d'impacts sur le niveau de service selon les scénarios de perturbation. La tâche des méthodes d'analyse quantitative est de décider quelles politiques proactives et réactives doivent être sélectionnées.



La quantification du risque de la chaîne d'approvisionnement repose sur des indicateurs clés de performance (ICP) qui peuvent être classés en ICP de risque opérationnel et de risque de perturbation en ce qui concerne les effets coup de fouet et d'entraînement, respectivement :

### Risque opérationnel

- Le ratio de variance des stocks peut être utilisé pour quantifier l'ampleur de l'effet coup de fouet en tant que relation entre la variance des stocks et le ratio de variance de la demande au niveau d'un nœud générique :

$$InvVarR = \frac{\sigma_{inventory}^2 / \mu_{inventory}}{\sigma_{demand}^2 / \mu_{demand}}$$

où  $\sigma$  sont les variances de la demande et des stocks, et  $\mu$  sont les valeurs moyennes de la demande et des stocks.

- Le ratio de variation du taux de commande est calculé comme suit :

$$OrdVarR = \frac{\sigma_{order}^2 / \mu_{order}}{\sigma_{demand}^2 / \mu_{demand}}$$

$$\sigma_{demand}^2 = \frac{\sum (x_{demand} - \mu_{demand})^2}{n - 1} \sigma_{order}^2 = \frac{\sum (x_{order} - \mu_{order})^2}{n - 1}$$

où  $x$  est la demande ou les commandes sur une période,  $\mu$  est la demande ou les commandes moyennes et  $n$  est le nombre de périodes. Si la mesure du ratio de variance est  $> 1$ , alors une amplification de la variance est présente et le risque d'apparition de l'effet coup de fouet apparaît. Si la mesure du ratio de variance est 1, alors aucune amplification de l'effet coup de fouet n'est présente. Si la mesure du ratio de variance est  $< 1$ , alors un lissage ou un amortissement se produit.

### Risque de perturbation

- L'impact sur les performances par effet d'entraînement représente la relation entre le KPI prévu (par exemple, le chiffre d'affaires ou les ventes) en mode sans perturbation et le KPI réel en cas de perturbation :

$$PI = \frac{sales_{plan}}{sales_{disruption}}$$

Idéalement, l'IP doit être égal à 1. Si l'IP est  $> 1$ , la perturbation réduit les performances de la chaîne d'approvisionnement. Si l'IP est  $< 1$ , la planification de la chaîne d'approvisionnement a été effectuée de manière non optimale.

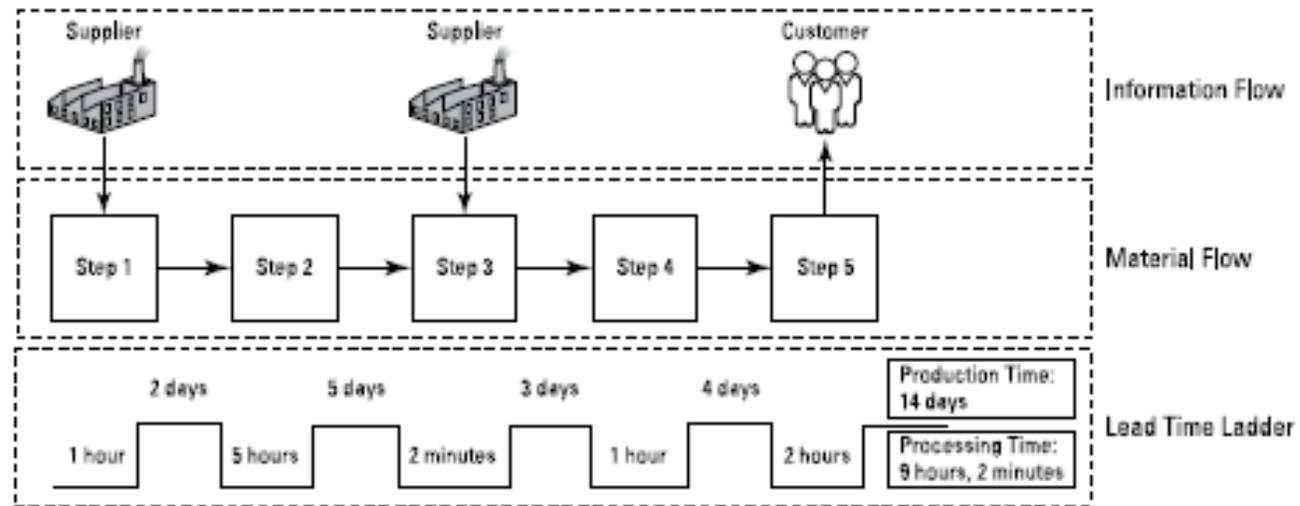
- Fiabilité du fournisseur :

$$SR = \frac{quantity_{received}}{quantity_{ordered}}$$

- Le temps de survie est le temps maximal pendant lequel la chaîne d'approvisionnement peut fonctionner et faire correspondre l'offre à la demande après une perturbation.
- Temps de récupération c'est le temps qu'il faudrait pour qu'un nœud particulier retrouve toutes ses fonctionnalités après une interruption

Dans un réseau de chaîne logistique, l'objectif de l'optimisation est de fournir une valeur maximale au moindre coût. Une façon d'atteindre cet objectif est de modifier les nœuds et les liens.

L'optimisation du réseau consiste à apporter des modifications aux liens et aux nœuds. L'une des approches de l'optimisation du réseau est appelée cartographie de la chaîne de valeur (VSM).



Les chaînes d'approvisionnement sont constituées de personnes, de processus et de technologies. Ces trois éléments doivent s'améliorer au fil du temps pour qu'une chaîne d'approvisionnement reste compétitive. Les personnes s'améliorent grâce à l'éducation, à la formation et à l'expérience. La technologie s'améliore grâce aux améliorations du matériel et des logiciels. Les processus s'améliorent grâce à l'innovation et à l'amélioration des processus.

Trois approches d'amélioration des processus sont particulièrement utiles dans la gestion de la chaîne d'approvisionnement : Lean, la théorie des contraintes et Six Sigma.

Méthode	Se concentrer
Maigre	Réduire les déchets
Sigma	Réduire la variabilité
Théorie des contraintes	Soulager les goulots d'étranglement

## Maigre

L'idée derrière la méthode Lean est de minimiser le temps, les efforts et les ressources nécessaires pour maintenir un flux fluide et équilibré dans une chaîne d'approvisionnement. La meilleure façon d'atteindre cet objectif est d'avoir des processus logiques et disciplinés et d'excellentes communications.

Tous les membres de l'entreprise doivent travailler ensemble pour éliminer trois facteurs d'inefficacité :

- Déchets
- Inégalité ou variabilité des opérations
- Surcharge de personnel et d'équipement

Dans le cadre de l'approche Lean, les entreprises doivent continuellement éliminer huit types de gaspillage de leurs processus et de leurs chaînes d'approvisionnement :

- Transport
- Inventaire
- Mouvement
- En attendant
- Surproduction
- Surtraitement
- Défauts
- Compétences inexploitées et créativité des employés

## Six Sigma

Six Sigma est une méthode d'amélioration des processus basée sur les statistiques. Des processus cohérents permettent d'obtenir un niveau de qualité élevé pour les produits. L'objectif est d'avoir un nombre très réduit de défauts, c'est-à-dire une qualité améliorée, grâce à une diminution des variations des processus.

La variation d'un processus est décrite en termes de quantité d'écart par rapport à une valeur moyenne ( $\sigma$ ). Tout ensemble de données sur un processus présente un certain écart, et moins l'écart est important, plus le processus est stable. La base statistique du Six Sigma est de réduire la variabilité du processus à un niveau tel que les défauts n'apparaissent qu'au sixième sigma ( $6\sigma$ ).

Étapes pour appliquer Six Sigma comme méthodologie d'amélioration des processus :

- La première étape consiste à définir clairement le processus à améliorer et pourquoi cette amélioration est nécessaire (pourquoi le projet est important et quelles ressources sont nécessaires pour le mener à bien).
- La deuxième étape consiste à mesurer le processus à améliorer. Comme Six Sigma est une approche mathématique, des données doivent être collectées pour mesurer le fonctionnement du processus et calculer le degré de variation.
- Dans la troisième étape, les données sont analysées pour identifier les variations dans un processus, montrer comment ces variations affectent la qualité de vos produits et comprendre les facteurs à l'origine de la variabilité afin de rechercher des moyens d'améliorer le processus.
- Au cours de la quatrième étape, des changements visant à améliorer le processus sont apportés. Ces changements peuvent être mis en œuvre en une seule fois ou au fil du temps. Généralement, cette phase comprend des études pilotes pour confirmer que les changements apportent les avantages escomptés avant de les mettre en œuvre tout au long d'un processus.
- La cinquième étape consiste à établir un système pour garantir que les améliorations apportées deviennent permanentes.

### Théorie des contraintes

L'idée de base est que chaque processus est limité par une sorte de contrainte. La théorie des contraintes consiste à adapter l'ensemble de la chaîne logistique pour qu'elle fonctionne au même rythme que l'étape la plus lente du processus. L'étape la plus restrictive d'un processus est celle qui contraint l'ensemble du système. Cette approche concentre les efforts d'amélioration sur les contraintes, car c'est là que l'effet le plus important sur la chaîne logistique peut être produit.

Lorsque des contraintes sont détectées, deux approches peuvent être appliquées :

- Ralentissez toutes les autres étapes afin qu'elles s'exécutent à la même vitesse que l'étape contraignante. Cette option empêche l'accumulation de stock entre les étapes du processus.
- Améliorez la contrainte de façon à ce que l'ensemble du système évolue plus rapidement. Au fur et à mesure que l'amélioration des contraintes se poursuit, la contrainte cesse d'être l'étape la plus lente du processus et cesse d'être une contrainte. Une autre étape devient la contrainte qui limite le processus, et le cycle recommence .

### Références:

- Watson, M., Lewis, S., Cacioppi, P., & Jayaraman, J. (2013). Conception du réseau de la chaîne logistique : application de l'optimisation et de l'analyse à la chaîne logistique mondiale. Pearson Education.
- Chopra, S. et Meindl, P. (2016). Gestion de la chaîne logistique : stratégie, planification et exploitation. Boston, MA : Pearson.
- Jacobs, FR, Chase, RB et Lummus, RR (2014). Gestion des opérations et de la chaîne d'approvisionnement. New York, NY : McGraw-Hill/Irwin.
- Ivanov, D., Tsipoulanidis, A., & Schönberger, J. (2019). Gestion globale de la chaîne d'approvisionnement et des opérations : une introduction à la création de valeur orientée vers la décision (Vol. 2). Cham, Suisse : Springer International Publishing.