

I Présentation générale

I-1 Objectifs

- Comprendre les fondements des politiques d'approvisionnement dans une chaîne logistique.
- Comprendre les enjeux de l'organisation et du pilotage de la chaîne logistique.

I-2 Moyens mobilisés

- Heures d'enseignement:
 - 14 séances de 3h30
 - Organisation des séances: 1/3 d'approfondissement de cours (sur la base de documents préalablement étudiés), 2/3 de résolution de cas.
- Les logiciels @Risk, Simul8¹ et XPress dont les fondements ont été vus dans l'UE 310 «Instrumentations d'aide à la décision en management de production».
- Fichier de données «MPPBS.xls».

I-3 Méthodes pédagogiques

- Lectures préalables de parties d'ouvrages ou d'articles.
- Exposés.
- Résolution d'exercices et de mini-cas.

I-4 Bibliographie

- V. Giard, *Gestion de la production et des flux*, Economica, 3e édition, 2003.
- Transparents téléchargeables à l'URL <http://www.lamsade.dauphine.fr/~giard/>.

I-5 Modalités du contrôle continu

- Travaux écrits (propositions de solutions de cas remises avant le TD, note de synthèse, test écrit...): 40%.
- Participation aux séances de TD: 20%.
- Examen final: 40%.

1. Téléchargement à l'URL <http://www.SIMUL8.com/edu/student.htm> Informations demandées:
User Name: vincent.giard@dauphine.fr Password: GMHu2v (case sensitive). Double click sur le fichier téléchargé pour lancer l'installation; le numéro de licence de Dauphine est: 1164-3648-8549.

II Programme résumé

Séances		Thème de la séance	Cas ou exercice à préparer
1	Mardi 8 janvier 13h45 - 17h30	- Interdépendance des décisions dans la chaîne logistique Christine Triomphe	- <i>Beer Game</i> - analyse de l'effet coup de fouet par simulation - Pas de travail préparatoire
2	Jeudi 10 janvier 8h15 - 12 heures	Présentation du <i>Lean Management</i> (1/4) Thomas Houy	- Pas de travail préalable
3	Jeudi 17 janvier 8h15 - 12 heures	- <i>Lean Management</i> (2/4) Thomas Houy - Introduction aux modèles de gestion de stock (1/2) V. Giard	- Exposé + étude de cas - Cas ADUL
4	Jeudi 24 janvier 8h15 - 12 heures	- <i>Lean Management</i> (3/4) Thomas Houy - Introduction aux modèles de gestion de stock (2/2) V. Giard	- Exposé + étude de cas - Cas CEGI
5	Jeudi 31 janvier 8h15 - 12 heures	Approvisionnement dans la chaîne logistique aval	- Cas Casimouth
6	Jeudi 7 février 8h15 - 12 heures	Conception de la chaîne logistique (approvisionnement) + contrôle de réception	- Cas Sourcing-Electror - Cas Mobiphone
7	Jeudi 14 février 8h15 - 12 heures	Approvisionnement calendaire dans la chaîne logistique amont (B2B)	- Cas Scope
8	Jeudi 21 février 8h15 - 12 heures		- Cas Rissan (partie I)
9	Jeudi 28 février 8h15 - 12 heures		- Cas Kanban (production à flux tirés)
10	Jeudi 7 mars 8h15 - 12 heures	Production à la commande	- Cas Moulex (production synchrone)
11	Lundi 18 mars 8h15 - 12 heures		- Cas Rissan (partie II)
12	Lundi 25 mars 8h15 - 12 heures	Interdépendance des décisions dans la chaîne logistique	- Cas CLÉ
13	Mercredi 10 avril 8h15 - 12 heures	- Management des entrepôts	- Cas Drink
14	Mercredi 17 avril 8h15 - 12 heures	- Pilotage d'une chaîne logistique par le système CONWIP	- Cas VEGÉ. - Révision à la demande
lundi 29 avril 8h15 - 12 heures		- Examen	

III Programme détaillé

III-1 **Mardi 8 janvier (13h45 - 17 heures)**

- Séance animée par **Christine Triomphe**
- Objectifs de la séance

Cette séance a pour objectif de vous amener, de manière inductive, à comprendre l'interdépendance temporelle et spatiale des décisions dans une chaîne logistique.

- Travail préparatoire: aucun ¹
- Programme de la séance: travail en groupe sur le *Beer Game*.

III-2 Jeudi 10 janvier (8h15 - 12 heures)

- Séance animée par **Thomas Houy**
- Objectifs des 4 séances consacrées au *Lean Management*

Le *Lean Management* qualifie un ensemble de pratiques managériales inspirées du *Toyota Production System* (TPS). Déployé au sein de nombreuses entreprises industrielles et de services, le *Lean Management* est utilisé pour questionner, décomposer et améliorer les processus de production de biens et de services des organisations. Quatre séances sont consacrées au *Lean Management*. Cette séance sera suivie de deux demi-séances d'application du *lean* à la production de biens (séances des 17 et 24 janvier) et d'une séance d'application du *lean* aux services (28 janvier) dans le cadre de l'UE 226UE4. Ces séances ont pour objectif de sensibiliser les étudiants aux principes fondamentaux et les outils clefs associés à cette démarche. Ces séances alternent entre cours magistraux, études de cas et exposés d'étudiants.

- Organisation de la séance 1/4 (cours magistral)

Cette introduction générale sera l'occasion d'attribuer une définition claire au *Lean Management* et d'évoquer les principales clefs de compréhension de ce paradigme de gestion

- Bibliographie
 - Beauvallet G. & Houy T. (2009), «L'adoption des pratiques de gestion lean. Cas des entreprises industrielles françaises», *Revue Française de Gestion*, Vol. 35, n°197, p. 83-106 (téléchargeable).
 - Liker J. (2004), *The Toyota Way*, Mc Graw-Hill.
 - Womack J. and Jones D. (1996), *Lean Thinking*, Simon and Schuster.

III-3 Jeudi 17 janvier (8h15 - 12 heures)

- Séance animée par **Thomas Houy** (première partie) et **Vincent Giard** (seconde partie)
- Objectifs de la séance
 - Première partie de la séance (8h15-10h15): *lean management* (2/4) et qualité des processus de production.
 - Seconde partie de la séance (10h30-12 heures): compréhension des mécanismes d'approvisionnement basés sur une politique calendaire(1/2).
- Travail préparatoire pour la *première partie* de la séance
 - Préparation d'un *exposé*² sur les outils et modes opératoires portés par le *Lean Management* ayant pour but d'installer, de contrôler et de maintenir la qualité des processus de production d'une organisation. Dans ce cadre, les étudiants discute-

1. Prenez un peu d'avance, en lisant le chapitre X de *Gestion de la production et des flux*; ce chapitre est une présentation générale des fondements scientifiques des politiques d'approvisionnement; vous en aurez besoin pour la séance du 17 janvier.

2. L'exposé se décompose en 30 minutes d'intervention par le groupe de 5 élèves; il est suivi de 15 minutes de discussion collective. Les groupes d'étudiants seront formés lors de la première séance, le 10 janvier 2012.

ront de la production au *Takt Time*, du lien entre stock et visibilité des dysfonctionnements, du management visuel, de l'*Andon*, des *Poka yoke*, du *Right First Time*, du rôle des middle managers.

- **Références** pour l'exposé (articles téléchargeables ¹):
Beauvallet G. (2007), Le meilleur indicateur, c'est l'usine !, *Lean Working Paper*
Womack J. (2004), Créer une stabilité élémentaire, *Lettre du Lean Enterprise Institute*

- Travail préparatoire pour la **seconde partie** de la séance

- Lectures préalables
 - . Chapitre X de *Gestion de la production et des flux*; ce chapitre est une présentation générale des fondements scientifiques des politiques d'approvisionnement. Ce chapitre a normalement été lu la semaine dernière.
 - . Chapitre XI, p. 666-707 de *Gestion de la production et des flux*; cette partie du chapitre XI présente les fondements des politiques de gestion calendaire, dans la «version de base».
- Préparation du cas ADUL, page 10.

- Organisation de la séance

- **Première partie** de la séance:
 - 8h15- 9 heures: exposé du premier groupe de 5 élèves sur les procédures mises en places dans les organisations *lean* pour s'assurer de la qualité de leurs process.
 - 9 heures -10h15: étude de cas ² portant «Le travail standardisé comme outil de contrôle des processus de production», sur la base d'une vidéo.
- **Seconde partie** de la séance: analyse des solutions du cas ADUL.

III-4 Jeudi 24 janvier (8h15 - 12 heures)

- Séance animée par **Thomas Houy** (première partie) et **Vincent Giard** (seconde partie)

- Objectifs de la séance

- Première partie de la séance (8h15-10h15): *lean management* (3/4) et amélioration continue des processus de production: exposé + étude de cas.
- Seconde partie de la séance (10h30-12 heures): compréhension des mécanismes d'approvisionnement basés sur une politique calendaire(2/2).

- Travail préparatoire pour la **première partie** de la séance

- Préparation d'un **exposé** sur les outils et modes opératoires portés par le *Lean Management* ayant pour but d'installer, de contrôler et de maintenir la qualité des processus de production d'une organisation. Dans ce cadre, les étudiants discuteront de la notion de *Kaizen*, de la distinction entre «innovations *bottom-up* - incrémentales» et «innovations *top-down* - drastiques», des liens entre standardi-

1. Des sources spécifiques d'informations pour chaque exposé sont données plus haut. Elles pourront néanmoins être enrichies d'autres documents en faisant des recherches par mots clefs sur Internet. Le site www.lean.enst.fr est également un site à consulter sur chacun des sujets d'exposé

2. Les études de cas seront présentées et corrigées en séance. Aucun travail de préparation des études de cas n'est demandé aux étudiants avant la séance pour ces études de cas.

sation et amélioration continue, des procédures PDCA, du *A3 Problem Solving*, du rôle des *middle managers*, des incitations et des contraintes pouvant être mises en place pour conserver une dynamique pérenne d'amélioration continue.

- **Références** pour l'exposé (articles téléchargeables):
 - . Ballé M. (2008), *Managing by Problem Solving, Lean working Paper*
 - . Beauvallet G. et Ballé M. (2007), *Kaizen et Takt Time, Editorial du Projet Lean Entreprise*
 - . Charraud P. (2009), *Le kaizen du service pièces en concession, Lean Working Paper*
 - . Womack J. (2007), *Un kaizen de retouche, Lettre du Lean Enterprise Institute*
- **Travail préparatoire pour la *seconde partie* de la séance**
 - Lectures préalables (idem que pour la séance précédente)
 - Préparation du cas **CEGI**, [page 12](#).
- **Organisation de la séance**
 - **Première partie** de la séance:
 - 8h15- 8h45: exposé du second groupe de 5 élèves.
 - 8h45-10h00: étude de cas portant sur «Le Système d'Information comme manière d'orienter le comportement des *middle managers*»; cette étude de cas montrera comment les SI peuvent contribuer à l'amélioration continue des processus de production.
 - **Seconde partie** de la séance: analyse des solutions du cas **CEGI**.

III-5 Jeudi 31 janvier (8h15 - 12 heures)

- **Objectifs de la séance**

Cette séance a pour objectif de vérifier la bonne compréhension des mécanismes d'approvisionnement basés sur une politique calendaire dans la chaîne logistique aval.
- **Lectures préalables**

Chapitre XI, p. 708-739 de *Gestion de la production et des flux*; cette partie complète le modèle de base.
- **Travail préparatoire**

Il vous est demandé de préparer le cas **Approvisionnement de Casimouth**, [page 14](#).

III-6 Jeudi 7 février (8h15 - 12 heures)

- **Objectifs de la séance**

Cette séance a comme objectifs:

 - de vous sensibiliser au problème stratégique de localisation des approvisionnements dans les grands groupes, en tenant compte des coûts d'acquisition, de transport, de douane et, le cas échéant, d'investissements d'extension de capacité à financer chez certains fournisseurs;
 - de vous sensibiliser à la gestion contractuelle de la qualité des approvisionnements.

- **Lectures préalables**
 - Revoir la modélisation des problèmes d'optimisation (plus particulièrement la section I du Chapitre VIII et la section II du chapitre XVI de *Gestion de la production et des flux*) et leur résolution par un modèleur.
 - Revoir ce que vous avez appris sur les tests d'hypothèses doubles. Vous pouvez également vous reporter au chapitre V de Statistique appliquée à la gestion (que vous avez pu télécharger avant la rentrée universitaire).
- **Travail préparatoire**

Il vous est demandé de préparer

 - le cas **Sourcing-Electror**, page 19.
 - le cas **Mobiphone**, page 23.

III-7 Jeudi 14 février (8h 15 - 12 heures)

- **Objectifs de la séance**

Cette séance a pour objectif de vérifier la bonne compréhension des mécanismes d'approvisionnement basés sur une politique calendaire dans la chaîne logistique amont. On s'intéresse plus particulièrement ici au problème de détermination de politiques d'approvisionnement d'un client industriel ayant une production de masse de produits diversifiés et un fournisseur lointain (le point de pénétration de commande ne rentrant pas dans ses processus).
- **Lectures préalables :**
 - Reprise des indications bibliographiques des séances 2 et 3.
 - Sur le concept de point de pénétration de commande, lire «*De l'approvisionnement synchrone à la production synchrone dans la chaîne logistique*», Vincent Giard & Gisèle Mendy, *Revue Française de Gestion*, vol. 33, n° 171, p. 65-88, 2007.
- **Travail préparatoire :** il vous est demandé de préparer le cas **Scope**, page 25.

III-8 Jeudi 21 février (8h 15 - 12 heures)

- **Objectifs de la séance**

Cette séance a pour objectif de vous familiariser d'une part avec la prise en compte des problèmes de qualité combinés avec des aléas de délais d'obtention dans les politiques d'approvisionnement calendaires en B2B et, d'autre part, à la surveillance de la stationarité de la structure de la demande de composants alternatifs.
- **Lectures préalables**
 - Examinez la feuille «Binomiale Negative» du classeur MPPBS.xls pour bien comprendre la relation qui existe entre la loi Binomiale (distribution de probabilités du nombre d'événements x pouvant survenir au cours de n épreuves indépendantes et de même type, avec $0 \leq x \leq n$) et la loi Binomiale Négative¹ (distribution de probabilités du nombre n d'épreuves nécessaires pour observer au moins x événements, se produisant dans les conditions d'une loi Binomiale).

1. Si vous ne connaissez pas cette distribution, regardez *Statistique appliquée à la gestion* (8e édition, Economica), p. 140.

- Lisez ensuite la section II (et plus si vous le pouvez) de l'article «**Détermination des stocks de sécurité dans une chaîne logistique-amont dédiée à une production de masse de produits fortement diversifiés**», Carole Camisullis & Vincent Giard, *Journal Européen des Systèmes Automatisés* (APII-JESA) vol. 44, n° 8, 2010, pp. 975-1010. Cette lecture peut être complétée par «**Pilotage d'une chaîne logistique par une approche de type MRP dans un environnement partiellement aléatoire**», Vincent Giard & Mustapha Sali, *Journal Européen des Systèmes Automatisés* (APII-JESA), vol. 46, n° 1, 2012, pp. 73-102.
- **Travail préparatoire**: il vous est demandé de préparer le cas **RESSAN** (partie I), page 30.

III-9 Jeudi 28 février (8h 15 - 12 heures)

- **Objectifs de la séance**

Cette séance a pour objectif d'introduire les approches du Juste À Temps et d'en montrer les limites. Cette approche s'appuiera sur une simulation de ce mode de pilotage sous Simul8.

- **Lectures préalables**

- Chapitre VII, p. 509-526 de *Gestion de la production et des flux*; ce chapitre traite du Juste à Temps et de la méthode Kanban.
- Compléter cette lecture par l'article de la *Revue Française de Gestion Industrielle*¹ (vol. 26, n° 1, 2007), «Production à flux tirés dans une chaîne logistique», Vincent Giard & Gisèle Mendy-Bilek qui discute du concept de flux tirés généralement associé au kanban ainsi que de ses conditions d'application.

- **Cas à préparer**

Il vous est demandé de préparer le cas **Kanban**, page 34. Cette simulation du système kanban est à réaliser à partir du fichier **Mecanor_Kanban_a_completer.S8** à télécharger².

III-10 Jeudi 7 mars (8h 15 - 12 heures)

- **Objectifs de la séance**

Cette séance a pour objectif de montrer l'incidence de la remontée du point de pénétration de commande dans la chaîne logistique sur la coordination du pilotage des flux entre un fournisseur et son client industriel ayant une production de masse de produits diversifiés. On s'intéressera ici à la définition des lancements en production du fournisseur dont le système productif peut ne pas être fiable, dans une perspective de synchronisation des productions dans la chaîne logistique et de détermination de la valeur de l'information dans la chaîne logistique.

- **Lectures préalables**

- Sur le concept de *point de pénétration de commande*, voir «**De l'approvisionne-**

1. Cette revue publie principalement des articles académiques destinés à un public d'industriels, facilitant ainsi un transfert de technologies entre le monde académique et le monde industriel; le plus souvent, l'origine de ces articles est liée à des travaux de recherche demandés par une entreprise (c'est le cas ici).

2. Double clic sur le nom du fichier dans la version pdf de ce syllabus ou utilisation de l'URL http://www.lamsade.dauphine.fr/~giard/Mecanor_Kanban_a_completer.zip

ment synchrone à la production synchrone dans la chaîne logistique», Vincent Giard & Gisèle Mendy, *Revue Française de Gestion*, vol. 33, n° 171, p. 65-88, 2007.

- Sur la *production synchrone*, voir «Amélioration de la synchronisation de la production sur une chaîne logistique», Vincent Giard & Gisèle Mendy, *Revue Française de Génie Industriel*, vol 25, n°1, p. 63-82, 2006. Quelques compléments intéressants peuvent être trouvés dans «Scheduling Coordination in a Supply Chain Using Advance Demand Information», Vincent Giard & Gisèle Mendy, *Production Planning & Control*, vol. XIX, n 7, octobre 2008, p. 655-667.

- **Travail préparatoire**

Il vous est demandé de préparer le cas **Moulex**, page 40, ce cas s'appuie sur l'utilisation des feuilles «Moulex Génération» et «Moulex simulation» du classeur MPPBS.xls.

III-11 Lundi 18 mars (8h15 - 12 heures)

- **Objectifs de la séance**

Cette séance a pour objectif de vous inciter à vous inciter à réfléchir sur la relation existant entre horizon gelé et point de pénétration de commande dans la MRP, à comprendre comment combiner production à la commande et production pour stock dans ce cadre et comment mieux prendre en compte certains facteurs aléatoires.

- **Travail préparatoire** : il vous est demandé de préparer le cas **RESSAN** (partie II), page 46.

III-12 Lundi 25 mars (13h45 - 15h30)

- **Objectifs de la séance**

Cette séance a pour objectif de vous amener à mieux appréhender les interactions décisionnelles observables dans une partie de la chaîne logistique à travers une simulation liant un maillon d'une chaîne logistique - amont aux maillons correspondant à ses principaux fournisseurs.

- **Travail préparatoire**

Préparation du cas **CLÉ**, page 50.

III-13 Mercredi 10 avril (8h15 - 12 heures)

- **Objectifs de la séance**

Cette séance a pour objectif de vous amener à appréhender les problèmes posés par la conception et la gestion des entrepôts

- **Travail préparatoire**

Modélisation / simulation du cas **Drink**, page 53.

- **Organisation de la séance**

Résolution de cas préparé en petit groupe

Identification des classes de problèmes liés au management des entrepôts

III-14 Mercredi 17 avril (8h15 - 12 heures)

- **Objectifs de la séance**
 - Cette séance a pour objectif de vous amener à appréhender le pilotage des flux dans une chaîne logistique avec le système CONWIP.
 - Révision à la demande
- **Travail préparatoire**
Modélisation / simulation du cas **VéGé**, page 56.
- **Organisation de la séance**
Résolution de cas préparé en petit groupe
Compléments à la demande.

III-15 Lundi 29 avril (8h15 - 12 heures): examen final



Master de Sciences de Gestion
Mention: *Management de la performance*

Spécialité: *Management des processus de production de biens et services*
UE 266U2: *Management de la chaîne logistique*
Responsable de l'UE: Vincent Giard

Cas ADUL (Association des Diplômés des Anciens du Master MPPBS)

Cas proposé par Vincent Giard

Objectifs pédagogiques : il s'agit de vous conduire à utiliser le modèle de base de la gestion calendaire et de vous amener à une analyse appropriée des risques encourus par la décision d'approvisionnement. Ce premier cas illustre le fait que ce modèle d'approvisionnement s'applique également à des problèmes de service. Il s'applique aussi à des problèmes de détermination de la capacité optimale de certains équipements.

Le bureau de l'ADUL a décidé lors de sa dernière réunion d'organiser un congrès extraordinaire pour fêter ses 20 ans d'existence. L'Association, très active, comporte 1800 membres, soit environ 10% des diplômés. Le Secrétariat de l'Association a réalisé pendant une journée entière un sondage téléphonique aléatoire qui a porté sur 78 membres; 26 d'entre eux ont fait savoir qu'ils viendraient à ce congrès et qu'ils étaient intéressés pour une réservation d'hôtel, ce qui a permis d'obtenir une estimation ponctuelle de la probabilité ($\hat{p} = 26/78$) pour qu'un diplômé vienne au congrès¹.

Les contacts pris avec la chaîne **Alphatel** conduisent à retenir l'hypothèse d'un coût de 15 dollars liduriens pour des réservations fermes, toute chambre réservée devant être payée, même si elle n'est pas occupée. Étant donné que le congrès de l'ADUL doit se dérouler en même temps qu'une grande manifestation commerciale, il importe d'effectuer immédiatement une réservation ferme et définitive de chambres. Les congressistes qui n'auraient pas de chambre réservée pourraient se loger dans la banlieue d'Alpha-ville, mais à un coût de 25 dollars liduriens (transport compris).

- Combien de chambres doit réserver le Président de l'Association s'il n'accepte de courir au plus qu'une chance sur dix d'avoir des congressistes obligés de se loger en dehors de la ville.

1. Le nombre X de participants au congrès suit donc la loi Binomiale $\mathcal{B}(1800; \hat{p})$, laquelle peut être approximée par une loi Normale avec une très bonne précision. Pour calculer la rupture de stock associée à un stock initial S , vous aurez besoin de la fonction $g(t_S)$ définie par la relation 147 de la page 675. Le plus simple, puisque vous travaillez sous Excel, est de créer une fonction VBA et l'utiliser comme n'importe quelle autre fonction dans la formule d'une cellule. Cette fonction est disponible, avec d'autres fonctions utiles, dans le classeur **MPPBS.xls** et son code, disponible dans le module VBA de ce classeur, est le suivant:

```
Function g (t)
g = (1/Sqr (2 * Application.Pi)) * Exp (-t * t/2) - t * Application.NormDist (-t, 0, 1, 1)
End Function
```

La fonction inverse de g (qui donne t_S pour $g(t_S)$ connu) est tabulée à la page 769 de *Gestion de la Production et des flux*. La fonction disponible dans le classeur est plus sophistiquée car elle calcule directement S . Il s'agit de la fonction **Beta_impose**, dont les arguments sont «loi, Beta, esperance, ecart_type», où loi est "Normal" (ou "Poisson"), Beta est un réel positif inférieur à 1.

- Quel coût moyen des chambres inoccupées résulte de cette politique.
- Combien de chambres doit-on maintenant réserver s'il décide maintenant de satisfaire 99% des congressistes intéressés par la réservation d'une chambre.
- Quelle est la réservation optimale dans le **Alphatel** si l'on tient compte du fait que le budget du congrès devra supporter le coût de l'hébergement quelle qu'en soit la localisation.
- Indiquez le budget moyen du poste «hébergement» qui résulte de cette dernière politique.
- Indiquez, toujours pour cette même politique optimale, le budget maximal qui ait moins de 5% de probabilité d'être dépassé.



Master de Sciences de Gestion
Mention: *Management de la performance*

Spécialité: *Management des processus de production de biens et services*
UE 266U2: *Management de la chaîne logistique*
Responsable de l'UE: Vincent Giard

Cas CEGI (Corpo des Étudiants de Gestion et d'Informatique)

Objectifs pédagogiques : ce cas prolonge les thèmes abordés avec le cas précédent. Il compare des démarches de comparaison de solutions pour en montrer les limites. Il aborde implicitement la problématique du point mort en univers aléatoire et aborde le problème du traitement de variables aléatoires dont les paramètres sont définis en probabilité.

La CEGI envisage, comme à chaque rentrée universitaire, un achat groupé de calculettes dotées des principales fonctions scientifiques, statistiques et financières, d'utilisation courante dans le cursus de ce diplôme.

La machine qui présente le meilleur rapport qualité/prix est la **ST-12**, fabriquée par la société **Smart Technics**, auprès de laquelle des commandes similaires ont déjà été passées au début des trois dernières rentrées universitaires. Cette machine pose cependant un problème de conception au niveau de son clavier et la CEGI a dû retourner 4% des machines au fabricant, dans le cadre de la garantie de 12 mois «pièces et main-d'œuvre», mais est d'une très grande fiabilité par ailleurs. Il se trouve que par la suite les incidents de cette nature se raréfient et que, sur une durée d'utilisation de 4 ans, le pourcentage de calculettes donnant satisfaction soit de 93%; autrement dit, 3% des calculettes doivent être réparées entre leur seconde et leur quatrième année et le coût de réparation (25 \$ lidurien) doit alors être supporté par le propriétaire de la machine. Par ailleurs, on admettra qu'une calculette réparée ne retombe plus jamais en panne sur le reste de la durée d'utilisation de 4 ans. Ce problème préoccupe la CEGI mais les calculettes des autres marques qui offrent au moins la même gamme d'utilisation sont beaucoup plus chères; c'est la raison pour laquelle le choix des **ST-12** est maintenu. Deux solutions caractérisées l'une par une garantie de 1 an et l'autre par une garantie de 4 ans est mise à l'étude. Mais auparavant, la CEGI cherche à mieux «cerner le marché».

Il est bien connu que tant que des arrhes ne sont pas versées, des «intentions d'achat» ne se concrétisent pas toujours. L'expérience passée montre qu'il existe une probabilité de 90% pour qu'une intention d'achat se transforme en un achat définitif. Au cours de la première quinzaine de l'année universitaire, les représentants de la CEGI ont fait circuler des feuilles pour connaître le nombre d'étudiants désireux de passer par la CEGI pour acheter une **ST-12**. Bien entendu, les conditions de vente sont alors spécifiées: le prix n'excédera pas 53 dollars liduriens et la livraison sera effectuée au maximum 15 jours plus tard. Le nombre d'étudiants ayant répondu positivement s'élève à 470. Compte tenu de l'importance prévisionnelle de la commande passée directement auprès de la Société **Smart Technics** un achat à un prix unitaire de 49 dollars liduriens est consenti à la CEGI. Une calculette achetée et non vendue le sera très certainement à la rentrée universitaire suivante, mais l'immobilisation financière

correspondante coûte 10%/an. Par contre, la CEGI met un point d'honneur à satisfaire toutes les demandes «confirmées» et a la possibilité d'acheter quelques machines en plus de la commande ferme qu'elle doit passer, mais les conditions sont alors de 60 \$/calculatrice. Déterminez :

- le nombre de calculatrices que la CEGI doit passer en commande ferme auprès de **Smart Technics**,
- le nombre moyen de calculatrices qui lui restera,
- l'espérance mathématique de la dépense totale d'achat des calculatrices.

En définitive, la CEGI décide d'acheter 460 calculatrices et l'on supposera, pour simplifier, que la demande sera égale à 460. Les conditions normales de vente de la Société **Smart Technics** impliquent une garantie de 1 an (pièces et main-d'œuvre). Deux solutions sont étudiées :

- Dans la première solution envisagée, la CEGI ajoute au coût d'achat unitaire de 49 dollars liduriens, une somme fixe de 2 \$ au titre de «frais divers de gestion», ce qui conduit à un prix de vente de 51 \$.
- La seconde solution consiste à offrir systématiquement une garantie de 4 ans (pièces et main-d'œuvre), mais à un prix majoré de 1 \$ (d'où un prix de vente de 52 \$), étant entendu que la CEGI prend à sa charge le coût des réparations non couvertes par la garantie annuelle.

Calculez la probabilité pour que le supplément de recettes perçu dans la seconde solution ne suffise pas à couvrir les dépenses de réparation à la charge de la CEGI.

Après discussion avec l'ingénieur technico-commercial, **Smart Technics** est prêt à prendre à sa charge la réparation de 25 calculatrices tombées en panne dans les 3 ans qui suivent la première année d'utilisation, mais elle majorerait alors son prix de vente à la CEGI de 0,50 \$ (passant alors à 49,50 \$/unité). En supposant que la CEGI maintienne un prix de vente de 52 \$, la proposition de **Smart Technics** est-elle intéressante? Pour en décider, d'une part on raisonnera en espérance mathématique et, d'autre part, on calculera la probabilité pour que la CEGI soit alors perdante.

Si on suppose maintenant que le nombre de calculatrices vendues est aléatoire et que la CEGI ait décidé d'acheter 430 calculatrices et de retenir la garantie de 4 ans. Calculez maintenant sur tableur avec @Risk l'espérance mathématique de sa marge ainsi que la probabilité pour que la CEGI soit alors perdante. Utilisez ensuite Risk Optimizer pour déterminer la politique optimale d'approvisionnement dans le cadre contractuel retenu.

DAUPHINE
UNIVERSITÉ PARIS

Master de Sciences de Gestion
Mention: *Management de la performance*
Spécialité: *Management des processus de production de biens et services*
UE 266U2: *Management de la chaîne logistique*
Responsable de l'UE: Vincent Giard

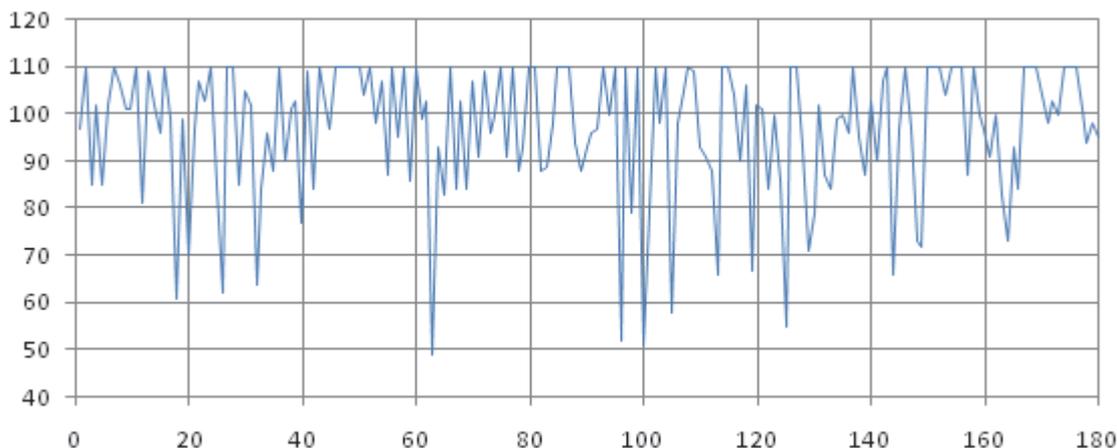
Cas Approvisionnement de Casimouth

Cas proposé par Vincent Giard

Objectifs pédagogiques: Il s'agit ici d'analyser le pilotage des approvisionnements de la *Chaîne Logistique Aval*, pour les derniers maillons (ceux en contact avec le client final), en supposant que ces politiques sont des politiques de gestion calendaires des stocks. On s'intéresse successivement ici à un article non stockable, puis à des articles stockables. On en profitera pour traiter le problème d'identification des caractéristiques de la demande d'un produit par une clientèle potentielle importante (ce problème d'identification de la demande se pose de manière très différente dans la Chaîne Logistique Amont).

I Approvisionnement du rayon *Boulangerie*

L'atelier de boulangerie du supermarché **Casimouth** d'Alphaville fabrique et met en vente chaque matin, du lundi au jeudi¹, 110 «pains de campagne». Les ventes quotidiennes V sont connues par l'exploitation de la saisie des codes à barres par les caisses enregistreuses. Les ventes de cet article au cours des 47 dernières semaines, pour les jours considérés sont analysées. Certaines de ces informations ne sont pas prises en compte en raison de circonstances particulières («pont», actions commerciales, paralysie des transports...), ce qui fait que 180 valeurs sont exploitables. L'historique de ces ventes est retracé dans le graphique ci-dessous et consigné dans la feuille «CASIMOUTH(Q1)» du classeur «MPPBS.xls» (le tableau de données ponctuelles étant complété par un tableau de distribution pour vous faciliter le travail).



1. Ces jours correspondent à des caractéristiques homogènes de comportements d'achat et de fréquentation du supermarché. Le vendredi et le samedi on observe des caractéristiques différentes de la clientèle de ce supermarché.

Il est évident que tant que la demande D ne dépasse pas 110, il y a coïncidence entre la vente quotidienne V et la demande D et que, dans le cas contraire, la vente est limitée à 110. Les informations enregistrées aux caisses correspondent aux ventes ($\bar{V} = 96,81$ $\sigma_V = 14,06$) et non aux demandes; les spécialistes parlent alors de données censurées.

Vérifiez, en vous appuyant sur le tableau de distribution de ces ventes établi dans la feuille «CASIMOUTH(Q1)» du classeur, si l'hypothèse d'une demande normale tient la route, à l'aide d'une droite de Henry établie sur le graphique Gausso-Arithmétique de la page suivante¹ (ce qui semble être le cas). Il vous est demandé ensuite d'estimer graphiquement \bar{D} et σ_D ; vous pouvez également procéder à une estimation par régression linéaire², ce que vous pouvez faire en partant directement des informations détaillées du tableau de données ponctuelles.

Il vous est demandé ensuite

- de déterminer l'espérance mathématique du nombre quotidien de pains de campagne non vendus et celle du nombre quotidien de pains qui n'ont pu être vendus avec la livraison quotidienne de 110 pains de campagne;
- de déterminer la politique optimale d'approvisionnement, si l'on suppose que le coût variable direct d'un «petit pain de campagne» est de 0,2 € et le prix de vente à 1,1 €. Réfléchissez sur les composantes de ce coût et sur les limites implicites de cette démarche d'optimisation qui en découlent.

II Approvisionnement du rayon *Apéritifs*

On s'intéresse maintenant à l'approvisionnement de la bouteille d'un litre du pastis *Rinod*, acheté 12 dollars liduriens et vendu 16 dollars. La demande quotidienne de cet article suit une loi de Poisson, le paramètre de cette loi variant dans la semaine.

Jours de la semaine	lundi, mardi, mercredi, jeudi	vendredi	samedi
Paramètres de Poisson	2	3	5

Le responsable du rayon passe une commande de cet article chaque jeudi soir, correspondant à la différence entre le stock détenu en fin de journée et un niveau de reconstitution S . Le taux de possession utilisé par *Casimouth* est de 26%. Ce magasin est ouvert 6 jours par semaine. La commande passée le jeudi soir est livrée le vendredi matin (ce qui conduit à un délai d'obtention nul). Déterminez le niveau de reconstitution optimal. Calculez le stock résiduel moyen avant livraison, le stock moyen détenu, la marge moyenne annuelle réalisée sur cet article ainsi que le % de demandes non satisfaites (utilisez les fonctions statistiques d'Excel pour automatiser les calculs des variantes de ce cas).

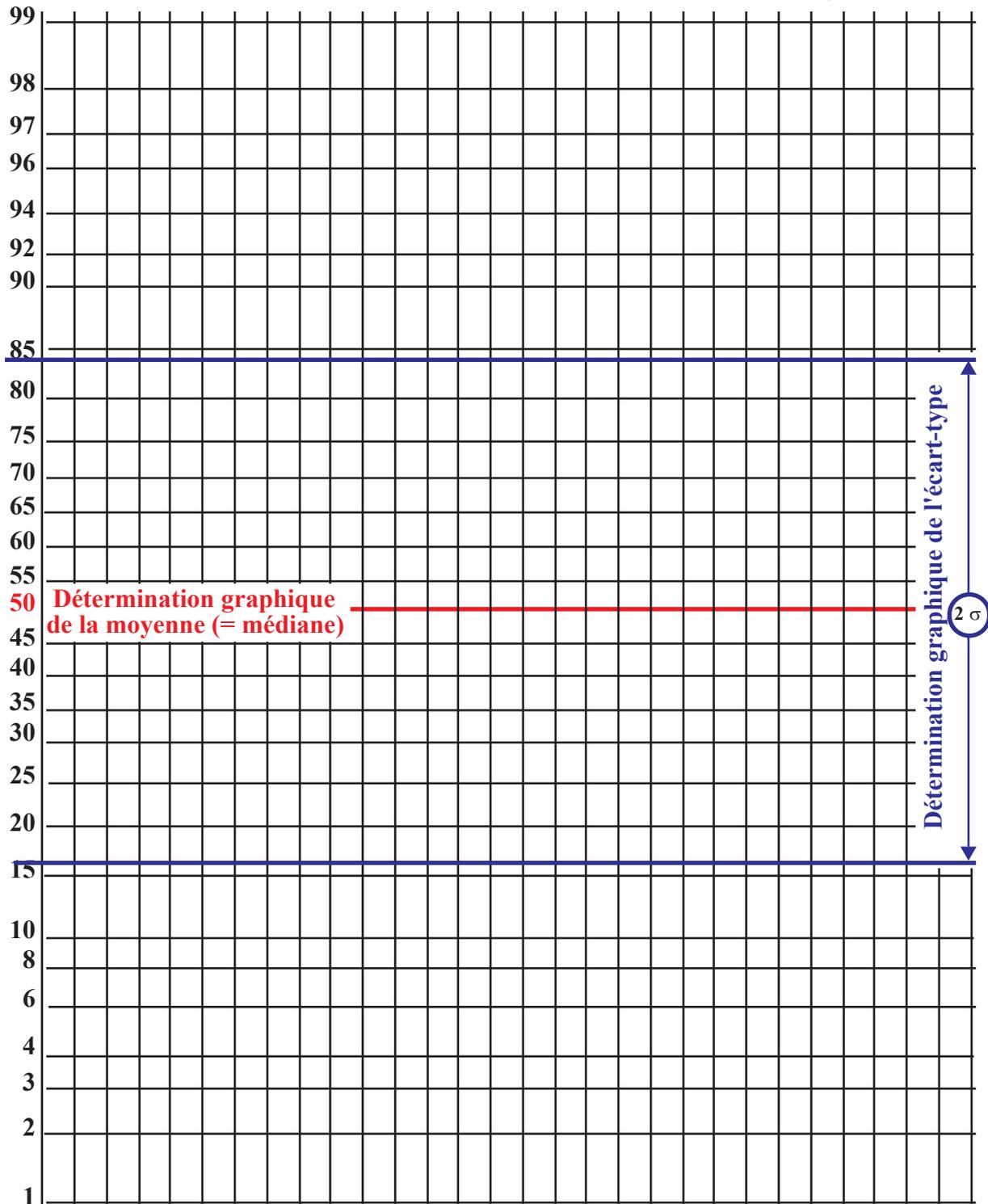
La feuille «Demandes Rinod» du classeur [MPPBS.xls](#) est une simulation des demandes quotidiennes sur 2 ans (104 semaines) par la méthode de Monte Carlo.

- Simulez la politique d'approvisionnement que vous avez trouvée.
- Dans la partie I de ce cas vous avez traité le problème de l'identification des caractéristiques d'une demande censurée; il vous est proposé maintenant d'identifier

1. Pour ceux qui ne connaissent pas ce papier fonctionnel, reportez-vous au § II-1.3 du chapitre III de *Statistique appliquée à la gestion* (Economica, 8e édition) que vous avez téléchargé avant la rentrée universitaire.
 2. Pour ceux qui ne savent pas comment faire, reportez-vous au § I-3.3 du chapitre VI de *Statistique appliquée à la gestion* (Economica, 8e édition).

Fréquences cumulées
(unité %)

Attention : 100 % rejeté à l'infini



Attention : 0 % rejeté à l'infini

les caractéristiques d'une demande non censurée en utilisant le module «Ajuster les distributions» de @Risk. La colonne AU de la feuille Rinod du classeur MPPBS.xls reprend les informations de ventes des 4 premiers jours de la semaine de la première année. Utilisez ce module pour identifier la loi de la demande quotidienne au cours des 4 premiers jours de la semaine ¹.

La politique définie précédemment ne tient pas compte de la contrainte de conditionnement. Les bouteilles de **Rinod** sont conditionnées dans des cartons de 6 bouteilles. Il convient alors d'adapter la politique retenue. La commande porte en effet sur l'arrondi supérieur du quotient de la différence entre le niveau de reapprovisionnement et le stock observé. Le nombre de bouteilles commandées en trop, en raison du lotissement, varie de 1 à 5. Le calcul de l'espérance mathématique du nombre Y ces bouteilles excédentaires est possible mais long; si l'on retient, pour simplifier, l'hypothèse d'équi-répartition, la moyenne \bar{y} de cet excédent est de 3. Une règle simple peut alors être utilisée: elle consiste à diminuer le niveau de reapprovisionnement retenu S , de cet excédent moyen $\rightarrow S' = S - \bar{y}$. Cette règle empirique fait varier le risque de rupture lié à un approvisionnement qui diminue lorsque la somme du stock détenu et du nombre de bouteilles commandées est supérieure à S , et augmente dans le cas contraire. Simulez cette nouvelle politique sur le même jeu de données et comparez la rupture moyenne et le stock moyen détenu.

En fait, deux cycles se superposent dans la réalité, celui de la variation de la demande au cours de la semaine (pris en compte ici) et celui d'une variation saisonnière (ignoré ici): les ventes augmentent de 50% en juillet - août et baissent de 30% en septembre. Indiquez rapidement l'adaptation des consignes d'approvisionnement¹. On suppose enfin que la commande est passée chaque jeudi soir (après la fermeture du magasin) pour être livrée le mardi suivant à l'ouverture du magasin. On ne retiendra pas l'hypothèse d'un conditionnement par 6. Pour simplifier, on retiendra une politique calendaire caractérisée par un niveau de reapprovisionnement laissant moins de 0,5% de chance d'observer une rupture de stock juste avant la livraison. Calculez, pour le niveau de reapprovisionnement correspondant, l'espérance mathématique de la rupture de stock avant livraison, l'espérance mathématique du stock détenu juste avant la livraison et celle après livraison, puis le stock moyen. Calculez enfin le coût hebdomadaire de gestion et la marge annuelle.

III Approvisionnement du rayon *Électricité*

Dans le magasin du **Casimouth** d'Alphaville, le nombre Y de clients achetant une ou plusieurs boîtes d'ampoules à vis (culot E27) de 53 W (halogène équivalente à une ampoule à incandescence de 75 W) au cours d'une journée suit une loi de Poisson de paramètre 3. Le nombre X d'ampoules de ce type achetées par l'un de ces clients suit la distribution du tableau ci-dessous (distribution empiriquement observée²).

x	1	2	3	4	5	6	> 6
$P(X = x)$	25%	35%	18%	12%	6%	4%	0%

Le délai de réapprovisionnement Z de cet article est un nombre entier de jours compris entre 5 jours et 7 jours, suivant la distribution suivante.

Z	5	6	7
$P(Z = z)$	25%	60%	15%

1. Il convient de veiller au paramétrage de ce module d'identification, avec ce type de distribution rencontré (valeurs discrètes non négatives). La distribution Binomiale Négative est l'une des distributions proposées; elle ne peut convenir compte tenu du type de variable aléatoire auquel elle est associée (voir les caractéristiques de cette distribution dans *Statistique appliquée à la gestion*, chap. III, p. 140); on utilisera ultérieurement cette distribution qui est largement illustrée dans l'une des feuilles du classeur MPPBS.xls).

1. La généralisation de cette démarche pour prendre en compte l'incidence de fêtes mobiles, etc. est immédiate.
 2. La distribution discrète correspondante de @Risk est «RiskDiscrete ({1;2;3;4;5;6};{0,25;0,35;0,18;0,12;0,06;0,04})».

Le réapprovisionnement de cet article est déclenché en temps réel lorsque le stock descend en dessous du niveau s , appelé point de commande. Le problème posé est celui de la détermination du point de commande s^* qui soit le plus bas possible et tel que cet article ait une probabilité de 5% au plus de tomber en rupture de stock. On ne se préoccupe pas du problème de la quantité à commander, le fournisseur livrant par carton de 200 ampoules (politique «S, q»). Calculez ensuite une estimation de la rupture de stock observée lors d'un réapprovisionnement.

Le calcul de cette probabilité dépend, bien évidemment, des 3 distributions de probabilité présentées ci-dessus et ne peut se faire qu'avec un tableur doté d'un add-in de type @Risk. Avec celui dont vous disposez, il est judicieux d'utiliser directement la fonction = RiskCompound(*Loi de X*; *Loi de Y*), où *Loi de X* et *Loi de Y* sont à remplacer par les distributions @Risk appropriées; cette fonction additionne X occurrences de Y . Pour bien comprendre le fonctionnement de cette fonction, commencez par lire l'aide sur cette fonction. Faites une simulation avec 10000 itérations pour connaître les caractéristiques de la distribution de cette demande aléatoire durant le délai d'obtention aléatoire et déterminer la valeur de S demandée.



Master de Sciences de Gestion
Mention: *Management de la performance*

Spécialité: *Management des processus de production de biens et services*
UE 266U2: *Management de la chaîne logistique*
Responsable de l'UE: Vincent Giard

Cas Sourcing - Electror

Cas proposé par Vincent Giard

À la fin de l'année 2012, la société **Electror SA** vous demande de l'aider à mieux localiser l'approvisionnement des composants de ses usines d'assemblage final. La localisation actuelle de ces usines résulte de choix passés tenant compte de l'évolution des marchés, des coûts d'acheminement et de conditions douanières. Ces dernières peuvent jouer un rôle important : les échanges entre certains pays ne font l'objet d'aucun droit de douane (par exemple entre pays de l'Union Européenne), tandis que les droits d'importation peuvent être relativement élevés, notamment dans certains pays en voie de développement. Dans l'un de ces pays où est installée une usine, les accords passés font que la totalité de la production est considérée comme importée, si la part des approvisionnements locaux dans la valeur totale de la production est inférieure à un certain seuil.

Pour simplifier, on considérera que cette société a 3 usines (respectivement situées dans les villes A, B et C, situées dans des pays différents) et une seule gamme de produits. Les deux premières usines sont dans l'Union Européenne ; la troisième usine est située dans un «pays émergent». Le programme de production, établi par la Direction Stratégique de la société **Electror SA** pour les 5 ans à venir est donné dans le tableau suivant (toutes les données sont reprises dans la feuille SOURCING du classeur [MPPBS.xls](#), où les informations de l'année dernière (2012) sont données à titre de rappel. Quelle méthode utiliser pour affecter les demandes des différentes régions mondiales aux usines ? Quelles sont les limites de cette approche ?

Année	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Usine A	280000	310000	340000	320000	310000	300000
Usine B	200000	210000	230000	250000	230000	230000
Usine C	300000	320000	350000	370000	410000	420000

La production de ces usines est partiellement exportée (voir tableau ci-après). Les composants importés sont taxés mais les droits de douane sont restitués lors de l'exportation du produit fini.

On ne va s'intéresser ici qu'à une famille de composants homogènes, en supposant que chaque produit fini utilise un seul composant de cette famille¹ ; dans la suite du texte on parlera de composant. Actuellement, ce composant est approvisionné auprès de 3 fournisseurs (deux dans l'Union Européenne et le dernier dans le pays où est

Année	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Usine A	25%	25%	25%	22%	20%	18%
Usine B	30%	30%	28%	28%	26%	25%
Usine C	25%	25%	25%	30%	30%	35%

implantée l'usine C). La capacité des usines des fournisseurs est partout la même : 400000 unités par an. Un quatrième fournisseur est à l'étude dans un pays d'Asie du sud-est¹, mais l'hypothèse de travail est celle d'une ouverture au début de l'année 2014. Les droits de douanes du composant importé dépendent du type produit (mais ici on ne s'intéresse qu'à une famille homogène de composants), du pays dans lequel se situe l'usine du fournisseur et du pays de l'usine qui importe. Le tableau suivant décrit les taux de douanes à appliquer, sans faire référence au pays. Pour simplifier, on supposera que les études politico-économiques laissent penser que ces taux resteront stables sur l'horizon considéré.

	usine A	usine B	usine C
Fournisseur 1	0%	0%	20%
Fournisseur 2	0%	0%	20%
Fournisseur 3	5%	5%	0%
Fournisseur 4 ^a	5%	5%	20%

a. à partir de 2014.

Le transport du composant s'effectue par conteneur de 500 unités. La règle d'approvisionnement retenue par le groupe est d'approvisionner chaque semaine l'usine, ce qui revient à dire que le fournisseur expédie chaque semaine de quoi couvrir les besoins de l'usine d'une semaine à venir (il convient de tenir compte du délai d'acheminement). Pour simplifier, on supposera que la demande est régulière (absence de saisonnalité). Les coûts d'acheminement d'un conteneur (en millier d'euros²) sont donnés dans le tableau suivant (quels sont les inducteurs de coûts et les hypothèses possibles d'organisation de ces transports? ; ils sont supposés stables sur l'horizon économique retenu (hypothèse discutable et donc à discuter). Les coûts unitaires d'achat de ces fournisseurs sont donnés également dans ce tableau. On supposera, pour simplifier que les contrats passés avec les fournisseurs garantissent le maintien de ces prix. En réalité, certains contrats prévoient l'obtention en deux ou trois ans d'un prix optimisé (sur quels fondements peut-on définir ce prix optimisé?).

	Coût d'acheminement d'un conteneur (en milliers d'euros)			Coût d'achat unitaire (en milliers d'euros)
	usine A	usine B	usine C	
Fournisseur 1	0,50	0,40	0,55	0,0095
Fournisseur 2	0,60	0,65	0,60	0,0090
Fournisseur 3	0,95	1,00	0,20	0,0070
Fournisseur 4 ^a	1,20	1,10	0,80	0,0060

a. à partir de 2014.

1. Dans la pratique, on est amené à travailler avec des nomenclatures de planification, adaptées à des regroupements de références de produits finis. Ce travail d'agrégation, indispensable pour une prise de décision stratégique, implique de trouver un compromis sur le niveau de détail pertinent.

1. On parle de LCC, pour *Low Cost Country*.

2. Le raisonnement est implicitement conduit en éliminant l'impact de l'inflation, c'est-à-dire en «Euros constants» (voir *Gestion de la production et des flux*, p. 183-185).

En 2012, l'usine A était approvisionnée en totalité par le fournisseur 3, l'usine B, en totalité par le fournisseur 1 et l'usine C, en totalité par le fournisseur 2. Il vous est d'abord demandé de vérifier que le coût total d'approvisionnement de ce composant (achat + transport + douane) pour l'année 2013 est de 8743975€¹, si ces affectations des fournisseurs aux usines sont maintenues.

On va chercher à définir progressivement la politique optimale d'approvisionnement. Dans un premier temps, on ne s'intéressera qu'à la définition de l'approvisionnement optimal de l'année 2013, autrement dit, on se situe dans une perspective mono-période, dans laquelle une usine peut être approvisionnée par plusieurs fournisseurs.

- définissez le programme linéaire correspondant, en spécifiant bien la signification des indices, paramètres, tableaux et variables utilisés;
- transposez ensuite² cette formulation sur le modèleur XPress et déterminez la solution optimale; commentez les résultats trouvés.

Dans un second temps, on va tenir compte de l'ensemble des informations disponibles et utiliser le mécanisme de l'actualisation³ pour définir la fonction de coût à minimiser (VAN). La Direction Stratégique de la société **Electror SA** utilise un taux annuel d'actualisation de 10%.

Il vous est demandé de commencer par modifier la formulation du programme linéaire «mono-période». Les investissements du fournisseur 4 sont partiellement supportés par la société **Electror SA** qui déboursa, au début de l'année 2014, une somme de 1 million €, à condition que le calcul économique montre que cette opération est rentable; la capacité de production annuelle de ce nouveau fournisseur est de 400000 unités. L'impact de la fiscalité sur cet investissement sera négligé ici. Vous devez veiller, dans la formulation du programme linéaire, à ce que l'approvisionnement d'une ou plusieurs des 3 usines par le fournisseur 4, conduise bien à la prise en compte de cet investissement; bien évidemment, s'il n'est pas fait appel à ce fournisseur, l'investissement n'a pas à être réalisé. Techniquement, cet investissement correspond à des équipements et outillages que le fournisseur ne peut pas utiliser dans la production d'autres produits destinés à d'autres marchés. Une fois cette formulation établie, il vous est demandé d'utiliser XPress pour déterminer la solution optimale. Commentez les résultats trouvés.

Un scénario complémentaire est à l'étude, se traduisant par une modification de la formulation précédente. Il s'agit d'une éventuelle extension de la capacité du fournisseur 3 opérationnelle au début de l'une des 5 années à venir et correspondant à un décaissement effectué en début d'année⁴. Pour une augmentation de la capacité annuelle, de 100000 unités, l'investissement supporté par **Electror SA** se monte à

1. $7045000€ + 1185600€ + 513375€ = 8743975€$

2. Prenez appui sur les exemples développés dans le polycopié *Trans_GIARD_modélisation_PL*. pdf ayant servi de support de cours.

3. Sous X-Press, vous pouvez sans problème, intégrer des paramètres calculés, coefficient d'actualisation par exemple, dans la formulation d'une expression intervenant dans une contrainte ou dans la fonction-objectif.

4. Un tel investissement est réputé possible dès le début de l'année 2013, avec effet immédiat. Une sophistication sur les dates d'investissement et de mise en service ne présente guère d'intérêt ici. Pour X-Press, il est astucieux d'utiliser une

variable booléenne y_t qui vaut 1 si l'investissement est réalisé au début de l'année t ; on notera alors que $\sum_{h=1}^t y_h = 1$

si l'investissement a été réalisé avant. Un tel investissement d'extension de capacité n'est réalisé que s'il se justifie économiquement.

0,5 million € (l'impact de la fiscalité sur cet investissement sera également négligé ici). Modifiez en conséquence la formulation du problème d'optimisation de l'approvisionnement, puis le programme XPress.

Pour terminer, il vous est demandé de réfléchir sur la prise en compte du besoin en fonds de roulement dans la formulation du problème d'optimisation, puis de réfléchir sur la détermination des stocks de sécurité dans les usines ¹, sachant que le composant étudié correspond en réalité à 4 composants alternatifs (structure de la demande supposée identique dans toutes les usines (20%, 30%, 40% et 10%) et stable dans le temps) et que les temps d'acheminements, exprimés en jours sont ceux du tableau suivant..

	Durée d'acheminement d'un conteneur (en jours)		
	usine A	usine B	usine C
Fournisseur 1	2	2	4
Fournisseur 2	3	3	5
Fournisseur 3	8	9	1
Fournisseur 4	25	24	15

1. Inspirez-vous des enseignements tirés du cas *Scope*.



Master de Sciences de Gestion
Mention: *Management de la performance*

Spécialité: *Management des processus de production de biens et services*
UE 266U2: *Management de la chaîne logistique*
Responsable de l'UE: *Vincent Giard*

Cas Mobiphone

Cas proposé par Vincent Giard

Objectifs pédagogiques en *Gestion*: compréhension de mécanismes contractuels de protection d'un client par rapport à son fournisseur, utilisés pour maîtriser le risque encouru de livraisons de lots de produits non conformes.

Objectifs pédagogiques en *Techniques Quantitatives*: application de la théorie des tests d'hypothèse double.

La société **Mobiphone** est la société spécialisée dans la production et la commercialisation de téléphones portables la plus importante en Lidurie. Sa réputation s'est bâtie sur l'innovation technologique et la fiabilité de ses produits, ce qui fait qu'elle a pris une part significative du marché mondial du téléphone portable. Elle est en train d'établir une relation de partenariat avec la société **Wonda** qui est spécialisée dans la production de piles jetables ou rechargeables. Dans ce cadre, il est envisagé de passer un contrat d'approvisionnement hebdomadaire d'environ 15 000 piles rechargeables du nouveau modèle X30. La société **Wonda** certifie que, dans des conditions d'utilisation intensive décrites sans ambiguïté dans une norme technique, la durée d'utilisation d'une pile X30 suit une loi Normale de moyenne égale à 30 heures et d'écart-type égal à 2 heures, avant qu'il soit nécessaire de la recharger.

Dans le cadre des négociations, vous êtes chargé par le Directeur des Approvisionnements de **Mobiphone** de mettre au point le protocole de réception de ces lots de 15 000 piles rechargeables qui doit figurer dans le nouveau contrat d'approvisionnement liant **Mobiphone** et **Wonda**. Le Directeur de la Qualité a donné pour consigne de refuser toute livraison de piles rechargeables dont la durée moyenne d'utilisation avant recharge serait inférieure à 29 heures. Dans votre réflexion, vous considérez cette hypothèse «limite» comme devant être testée contre l'hypothèse du respect des spécifications (30 heures) que vous privilégiez; l'écart-type est alors considéré stable et donc comme étant le même dans toutes les hypothèses. L'échantillon qui sera utilisé au contrôle de réception est décidé d'un commun accord avec votre correspondant chez **Wonda** comme étant de 40 piles, ce qui correspond au nombre d'appareils de contrôle de la durée d'utilisation d'une pile actuellement disponibles dans l'usine de **Mobiphone**. En accord avec la Direction de la qualité, vous décidez de limiter à 2% le risque d'acceptation à tort d'une livraison de piles X30.

a) Déterminez les autres données du protocole (valeur critique du test et risque du vendeur de rejet à tort d'un lot qui serait en réalité conforme), en illustrant votre analyse du problème par un schéma décrivant les réalités envisagées et les décisions possibles. Proposez une rédaction de la clause contractuelle qui résulte de cette analyse.

b) Votre interlocuteur à la Direction de la Qualité se demande si le risque encouru de 2% n'est pas trop fort et s'il ne convient pas de le réduire. Vous rédigez un mémo pour le rassurer. L'argumentaire commence par une affirmation qui constitue la réponse à la question suivante: «Si la réalité se caractérise par une durée de vie inférieure à 29 heures, le risque pris effectivement par **Mobiphone** est-il supérieur ou inférieur au risque contractuel de 2%?». La suite de cet argumentaire consiste en une illustration de cette évolution par deux ou trois valeurs numériques de durée de vie inférieure à 29 heures, du risque pris effectivement par **Mobiphone**.

c) Quelle décision sera prise si un contrôle effectué sur un échantillon aléatoire de 40 piles prélevé dans une livraison de 15 000 piles rechargeables conduit à une durée moyenne observée de 29,5 heures?

d) Après analyse de votre proposition de contrat, votre correspondant chez **Wonda**, trouve que le risque de refus à tort d'une livraison correcte est trop élevé et vous demande de faire une contre-proposition limitant à 5% le risque lié au refus à tort d'une livraison de piles conformes. Bien évidemment, vous n'avez pas de raison particulière de modifier le risque initialement choisi d'acceptation à tort d'un lot non conforme. Proposez une rédaction de la clause contractuelle qui résulterait de l'acceptation de cette demande, en faisant abstraction du nombre d'appareils de contrôle de la durée d'utilisation d'une pile actuellement disponibles.

e) Si vous devez tenir compte de cette contrainte, il est évident que le contrôle doit s'opérer sur un premier lot de 40 piles rechargeables, puis sur un lot complémentaire; proposez une nouvelle rédaction de la clause contractuelle qui respecte les exigences des deux parties et limite au maximum les perturbations qu'occasionnent ces contrôles.



Master de Sciences de Gestion
Mention: *Management de la performance*

Spécialité: *Management des processus de production de biens et services*
UE 266U2: *Management de la chaîne logistique*
Responsable de l'UE: Vincent Giard

Cas Scope

Cas proposé par Vincent Giard

Objectifs pédagogiques: Il s'agit ici d'examiner la politique d'approvisionnement calendaire d'un client industriel auprès de fournisseurs plus ou moins éloignés. Ce fournisseur ne dispose que des informations relatives aux commandes fermes et doit s'organiser pour livrer en temps voulu les commandes passées. Seul le point de vue du client industriel est pris en compte ici, contrairement au cas Moulex où le client industriel envoie à son fournisseur les informations fermes sur les demandes à couvrir, en allant nettement au-delà de la prochaine livraison et où on s'intéressera alors à la définition du programme de production.

La société **Volnault**, société lidurienne de construction automobile, produit quotidiennement 700 véhicules de la gamme **Scope** dans son usine d'Alphaville. Cette production est effectuée sur une ligne d'assemblage travaillant en deux équipes, 5 jours sur 7. La diversité de véhicules que peut produire cette ligne est de plusieurs centaines de milliers; elle est assurée par l'usage d'ensembles de composants alternatifs ou de composants optionnels.

- Le client doit nécessairement choisir un composant dans chaque ensemble de composants alternatifs. Par exemple, dans la gamme **Scope**, un ensemble de 5 moteurs est proposé à la clientèle; lors de la passation de sa commande, le client choisit le moteur à monter sur le véhicule qu'il achète. Le tableau suivant donne la structure de la demande des moteurs la gamme **Scope**, structure que l'on considérera comme stable dans les semaines qui viennent (les fréquences observées seront considérées comme des probabilités dans la suite de ce cas).

Moteur	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅
Part	45%	5%	30%	12%	8%

- Le client peut ou non demander que son véhicule soit équipé d'un composant optionnel (toit ouvrant, par exemple). L'absence d'un composant optionnel n'empêche pas un fonctionnement satisfaisant du véhicule. Pour des raisons de facilité d'assemblage, certains composants optionnels sont montés sur des composants alternatifs (par exemple, le radar d'un pare-chocs utilisé pour la détection d'obstacles lorsque le conducteur gare son véhicule)

On s'intéressera ici à l'approvisionnement des moteurs de cette gamme de véhicules.

- 1) Dans un premier temps, vous simulerez sur Excel la demande quotidienne de moteurs sur 20 jours, pour vous permettre d'apprécier la variabilité de la structure

quotidienne observée, par rapport à la structure théorique¹. Calculez les étendues (= différence entre le maximum et le minimum d'une série) des demandes simulées de chaque moteur.

On s'intéresse ici à la détermination d'une politique d'approvisionnement des moteurs qui sont fabriqués dans l'usine de Bêtaville qui expédie toutes les semaines, le vendredi soir, un train complet vers l'usine d'Alphaville. Entre le départ de l'usine et le moment où les moteurs sont disponibles pour le montage dans l'usine d'Alphaville, s'écoulent trois jours, autrement dit, les moteurs partis le vendredi soir sont disponibles le mardi matin à l'ouverture de l'usine. On va s'intéresser ici à la politique d'approvisionnement actuellement utilisée et ses incidences, puis à une modification de cette politique. Compte tenu de vos connaissances actuelles, ce travail va être guidé.

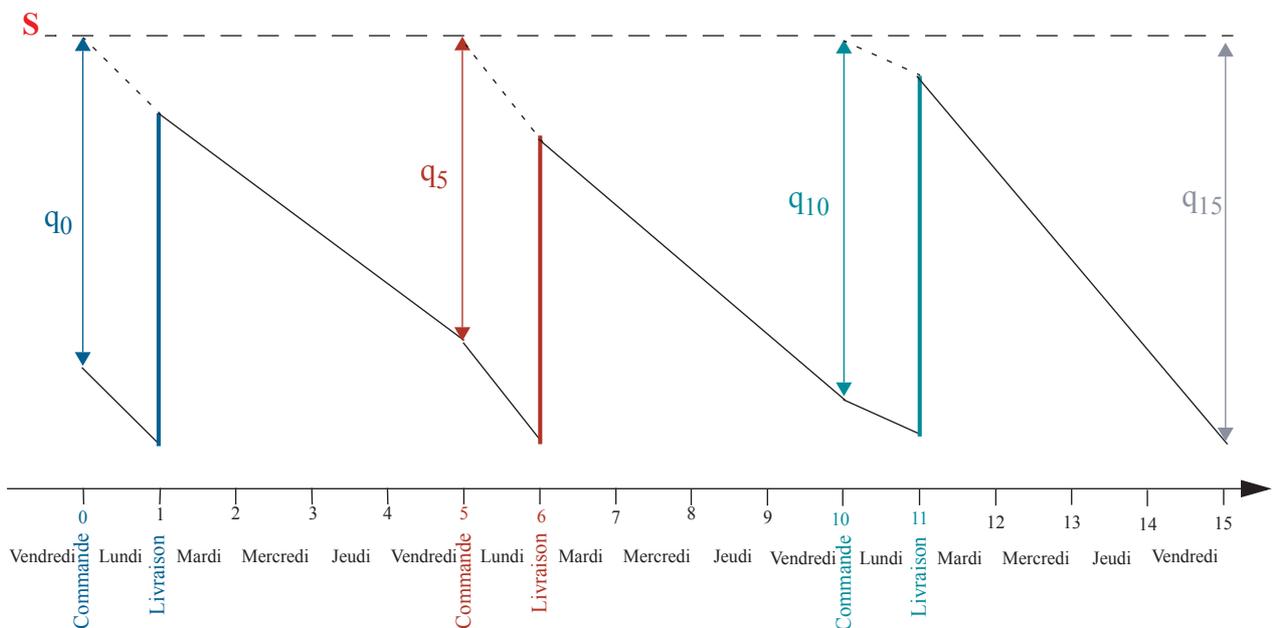
- 2) Déterminez la loi de la demande des moteurs M_1 à M_5 sur k jours consécutifs. Par quelle loi, cette distribution peut-elle être approximée (voir annexe de ce cas)? Donnez l'expression analytique de l'espérance mathématique et de l'écart-type de ces lois.
- 3) Pour une demande aléatoire X suivant la loi Normale $\mathcal{N}(\bar{x}, \sigma)$, établissez la relation analytique liant le stock de sécurité ($S - \bar{x}$) à la demande moyenne \bar{x} , le coefficient de variation σ/\bar{x} et la probabilité de rupture de stock $\alpha = P(X > S)$.
- 4) Dans le cas de l'approximation d'une loi Binomiale par une loi Normale, donnez la relation analytique de calcul du stock de sécurité en fonction du nombre d'épreuves (= nombre de véhicules produits sur k jours consécutifs), de la probabilité p_i d'occurrence de l'événement (choix du moteur M_i).
- 5) On appelle coefficient de sécurité, le coefficient qui, multiplié à la demande moyenne, permet de retrouver le stock de sécurité. Donnez la relation analytique de ce coefficient de sécurité. Construisez ensuite le tableau d'évolution de ce coefficient en fonction du nombre de jours k , pour les probabilités associées aux moteurs M_1 à M_5 , en acceptant une probabilité de rupture de 0,01%². Commentez la pratique souvent utilisée en entreprise, consistant à calculer le stock de sécurité comme le produit d'une même constante (par exemple, 40%) par la demande moyenne pendant la période sur laquelle la protection doit être établie.

1. Deux démarches de simulation sont possibles

- La première consiste à s'inspirer de la démarche décrite dans la feuille «Monte Carlo» du classeur [MPPBS.xls](#). Il s'agit ici de réalisations d'une variable aléatoire Multinomiale (généralisant la variable aléatoire Binomiale). Vous devez donc ici mettre dans la première colonne de la première ligne, la réalisation d'une variable aléatoire uniforme $[0; 1]$ par l'instruction =ALEA(), puis écrire dans les 5 colonnes suivantes l'instruction permettant d'obtenir la valeur 1 si la modalité de la colonne est sélectionnée par cette réalisation de la variable $\mathcal{U}[0; 1]$ et 0 dans le cas contraire. Vous recopiez ensuite la première ligne sur les 699 suivantes puis vous calculez dans la 701e ligne, le cumul des 700 premières lignes pour les colonnes 2 à 6; vous avez alors une réalisation des demandes aléatoires des 5 moteurs, observable pour une journée. Recopiez ces valeurs sur une nouvelle feuille (de synthèse), revenez à la feuille précédente et régénérez les nombres aléatoires (touche F9) puis recopiez ces valeurs... processus à répéter jusqu'à ce que vous ayez les 20 jours de simulation demandés. Cette première démarche est à utiliser au moins sur une journée pour en comprendre le mécanisme.
- La seconde, plus élégante, consiste à utiliser astucieusement en cascade la fonction RiskBinomial, en tenant du fait que l'événement \bar{E} correspond à un ensemble d'événements non pris en compte dans l'événement E . En conséquence, le nombre X_1 d'événements E_1 se produisant au cours de n épreuves (ici nombre de moteurs M_1 dans un ensemble de 700 moteurs à monter) suit la loi $\mathcal{B}(n, p_1)$; le nombre d'événements E_2 se produisant au cours de n épreuves suit la loi $\mathcal{B}(n - X_1; p_2/(1-p_1))$; le nombre d'événements E_3 se produisant au cours de n épreuve suit la loi $\mathcal{B}(n - X_1 - X_2; p_3/(1-p_1-p_2))$; etc.

2. L'usage de la fonction LOI.NORMALE.INVERSE donne une valeur de variable centrée réduite de 3,7191 pour ce risque de 0,01% (via l'instruction «= LOI.NORMALE.INVERSE (0,9999; 0; 1)»).

6) Dans le cas étudié, la politique d’approvisionnement retenue (commande passée tous les $T = 5$ jours ouvrables) sera telle que la rupture de stock est considérée comme fortement improbable; concrètement, on retiendra une probabilité de rupture de stock de 0,01%. Le vendredi soir de la semaine n on passera commande, pour chaque moteur i , d’une quantité q_i , différence entre un niveau de reapprovisionnement S_i et le nombre s_i de moteurs détenus en stock; cette commande est livrée dans la nuit du lundi au mardi de la semaine $n + 1$, ce qui correspond à un délai d’obtention L de 1 jour ouvrable, puisque le transport sur les deux autres journées s’effectue en temps masqué (voir schéma ci-dessous). Dans la mesure où la probabilité d’une rupture de stock est négligeable, le niveau de reapprovisionnement S_i est destiné à couvrir une demande sur $T + L = 5 + 1 = 6$ jours, c’est-à-dire jusqu’au moment où la commande suivante sera livrée. Dans ces conditions, calculez les niveaux de reapprovisionnement de ces moteurs et le niveau moyen du stock de sécurité (en nombre de moteurs) que l’usine d’Alphaville détient avec cette politique d’approvisionnement.



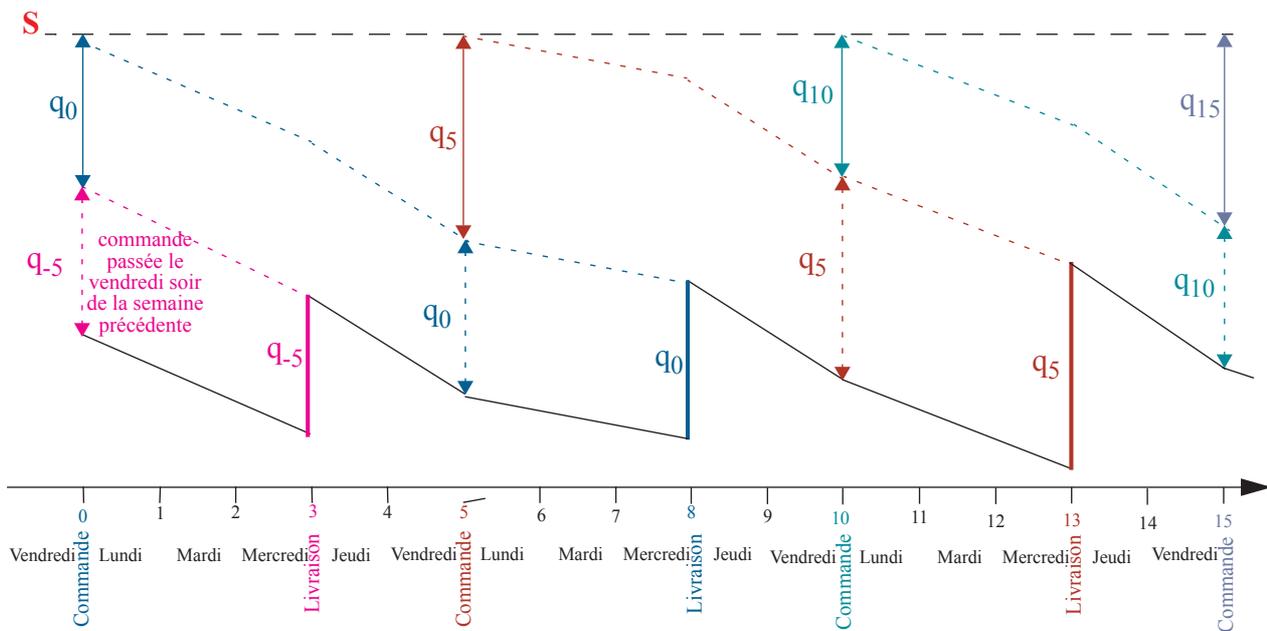
7) Utilisez la simulation des demandes de moteurs sur 20 jours (question 1) pour appliquer la politique d’approvisionnement trouvée, en supposant que les stocks disponibles pour les moteurs M_1 à M_5 , à la passation de commande, sont respectivement de: 450, 70, 340, 150 et 105. Pour cette simulation, utilisez une succession de tableaux du type de celui donné ci-après (pour le premier moteur). Établissez

MOTEUR 1 ($S_i = ***$)				
	Stock début journée	Demande	Stock fin journée	Quantité commandée
Jour 0				
Jour 1				
Jour 2				
.....				

ensuite un tableau du cumul de chacune de ces 4 colonnes sur l’ensemble des

moteurs. Plusieurs observations peuvent être alors faites : à partir de la seconde passation de commande, le cumul des quantités commandées est constant, ce qui n'empêche pas la quantité commandée pour un moteur donné d'être variable ; cette quantité commandée est égale à un cumul de demandes passées (lesquelles ?) ; bien qu'étant en univers aléatoire, l'évolution du stock cumulé à partir de la seconde livraison est parfaitement cyclique (pourquoi ?).

- 8) Le remplacement du fournisseur de Bêtaville par un fournisseur situé à Gammaville est à l'étude. Ce dernier, situé dans un pays LCC (*Low Cost Country*), serait capable d'assurer la même qualité à un coût moindre si **Volnault** accepte de financer des équipements et outillages. Bien évidemment, la contrepartie est une augmentation des coûts de transport et un allongement du temps de transport qui passe de 3 jours à 12 jours, ce qui revient à dire que la commande passée le vendredi de la semaine n sera livrée le jeudi de la semaine $n + 2$, ce qui correspond à un délai d'obtention L , toujours exprimé en nombre de jours ouvrables, égal à 8 jours ouvrables. Le schéma de fonctionnement de cette nouvelle politique d'approvisionnement est décrit ci-après. L'étude économique demandée implique



de prendre en compte les investissements à financer, les économies sur les coûts d'acquisition mais aussi les augmentations de coûts de transport et les coûts associés à l'augmentation du stock de sécurité moyen. On ne s'intéressera ici qu'à l'évaluation de cette l'augmentation du stock de sécurité moyen. Il faut donc d'abord calculer les nouveaux niveaux de rechargement, puis l'accroissement du stock de sécurité qui en résulte. Quels principes adopter pour comparer ces deux alternatives sur le plan économique.

- 9) Utilisez la simulation des demandes de moteurs sur 20 jours (question 1) pour appliquer la politique d'approvisionnement trouvée, en supposant que les stocks disponibles pour les moteurs M_1 à M_5 , à la passation de commande, sont respectivement de : 945, 128, 695, 298 et 211 et qu'au moment de la passation de commande, les commandes en attente de livraison sont respectivement de 1620, 210, 1010, 390 et 275.

Annexe du cas *Scope*

Condition d'approximation d'une loi Binomiale par une loi Normale (Giard, *Statistique appliquée à la gestion*, 8e éd., Economica, p. 158)

$$n > 5 \text{ et } \left| \sqrt{\frac{p}{1-p}} - \sqrt{\frac{1-p}{p}} \right| \frac{1}{\sqrt{n}} < 0,3 \Rightarrow \mathcal{L}(X) = \mathcal{B}(n, p) \cong \mathcal{N}(n \cdot p, \sqrt{n \cdot p \cdot (1-p)})$$

Calcul de $\left| \sqrt{\frac{p}{1-p}} - \sqrt{\frac{1-p}{p}} \right| \frac{1}{\sqrt{n}}$

	M1	M2	M3	M4	M5
	p=45%	p=5%	p=30%	p=12%	p=8%
700	0,0076	0,1561	0,0330	0,0884	0,1170
1400	0,0054	0,1104	0,0233	0,0625	0,0828
2100	0,0044	0,0901	0,0190	0,0510	0,0676
2800	0,0038	0,0780	0,0165	0,0442	0,0585
3500	0,0034	0,0698	0,0148	0,0395	0,0523
4200	0,0031	0,0637	0,0135	0,0361	0,0478
4900	0,0029	0,0590	0,0125	0,0334	0,0442
5600	0,0027	0,0552	0,0117	0,0313	0,0414
6300	0,0025	0,0520	0,0110	0,0295	0,0390
7000	0,0024	0,0494	0,0104	0,0280	0,0370



Master de Sciences de Gestion
Mention: Management de la performance

Spécialité: Management des processus de production de biens et services
UE 266U2: Management de la chaîne logistique
Responsable de l'UE: Vincent Giard

Cas RESSAN (partie I)

Cas proposé par Vincent Giard

Objectifs pédagogiques en Gestion: détermination de lois de demandes «complexes» à utiliser dans des politiques calendaires d'approvisionnement, en particulier dans la chaîne logistique amont (B2B).

Vous êtes chargé de l'approvisionnement de composants alternatifs dans l'usine d'Alphaville du constructeur automobile bien connu, **Ressan**. Cet ensemble comporte 20 références. Le poste de la ligne d'assemblage qui monte ces composants alternatifs utilise obligatoirement l'un de ces composants, choisi en fonction des spécifications données par le client. La production quotidienne de la ligne est de 460 véhicules. La demande quotidienne de ces composants alternatifs est donc de 460 unités. L'historique des consommations de des 30 derniers jours ouvrables est donné dans le tableau de la page suivante, repris dans la feuille «RESSAN» du classeur «MPPBS.xls».

Vous décidez de calculer les niveaux de reapprovisionnement S_i à utiliser pour les références $i = 1$ et $i = 5$, sachant cette demande est définie sur 20 jours ouvrables¹ et que ces niveaux sont tels que $P(X_i > S_i) = 0,1\%$, risque de rupture de stock α considéré comme à ne pas dépasser².

- 1) Déterminez S_1 et S_5 . Comparez ces résultats avec ceux donnés par une approximation normale de la loi Binomiale. Sachant que la quantité commandée est normalement la différence q entre le niveau de reapprovisionnement et la position de stock (somme du stock physiquement détenu et des commandes en attente de livraison), quelle sont les quantités à commander pour les références 1 et 5 si leurs positions de stock sont respectivement de 279 et 1998.
- 2) Ces références sont approvisionnées dans un pays d'Asie et le délai d'obtention est aléatoire, ce qui conduit à travailler sur une durée entière comprise entre 20 et 24 jours. Ces 5 durées sont considérées comme équiprobables³. La demande aléatoire à prendre en compte est donc une loi Binomiale avec un nombre d'épreuve suivant

1. On est donc en présence d'une loi Binomiale $\mathcal{B}(20,460; p_i)$.

2. Sous Excel, vous disposez de la fonction inverse de toutes les distributions de probabilité continues. Pour les distributions discrètes, la difficulté est que la probabilité-cible ne peut être exactement atteinte. Excel fournit la fonction inverse pour la seule distribution binomiale avec la fonction CRITERE.LOI.BINOMIALE qui donne la plus faible valeur de x telle que $P(X > x) > 1 - \alpha$ (pour vous assurer du bon usage de cette fonction utilisez là à l'aide d'une reconstitution d'une distribution de probabilité d'une loi Binomiale).

3. Attention, la convention retenue par @Risk pour les arguments d'une distribution discrète est une liste de nombres mis entre {...} et séparés par des points; par exemple, RiskDuniform({20.21.22.23.24}) décrit la variable aléatoire discrète uniforme bornée par 20 et 24, ces 5 valeurs étant équiprobables. Une convention similaire est retenue pour la distribution empirique de probabilité d'une variable discrète (RiskDiscrete)

période	référence																				Ensemble
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	11	4	7	118	76	33	11	18	24	3	4	39	45	1	1	1	39	1	23	1	460
2	12	9	4	101	70	28	5	19	22	8	8	51	59	1	1	1	21	1	38	1	460
3	35	15	1	76	82	36	3	21	34	5	8	47	47	1	1	1	7	2	36	2	460
4	15	15	2	91	99	21	20	18	18	4	5	41	67	1	2	1	16	1	22	1	460
5	24	12	5	132	92	27	3	14	17	3	12	32	45	2	1	2	6	2	28	1	460
6	8	13	4	86	132	21	2	16	18	11	8	24	57	1	1	1	13	1	42	1	460
7	12	10	2	105	76	80	1	13	21	4	12	45	37	6	2	1	17	1	15	0	460
8	5	10	7	116	107	64	10	28	12	1	9	26	52	1	2	1	2	2	4	1	460
9	5	18	1	122	112	57	5	21	20	3	3	47	32	1	1	0	4	1	6	1	460
10	2	14	7	127	118	47	2	15	33	2	5	37	37	5	1	0	1	1	5	1	460
11	6	15	4	133	104	32	1	8	13	5	7	29	75	1	5	1	2	1	18	0	460
12	14	17	3	141	125	3	3	8	21	6	7	19	65	1	1	0	5	1	18	2	460
13	15	20	1	102	122	6	1	16	27	12	7	57	43	1	2	2	4	1	20	1	460
14	21	12	2	81	133	40	3	20	27	2	2	38	50	1	2	1	2	1	21	1	460
15	21	9	7	90	100	27	14	11	14	1	1	67	79	1	2	1	6	1	7	1	460
16	11	11	4	91	98	35	2	22	33	13	6	40	39	5	1	1	9	2	36	1	460
17	15	18	1	138	89	39	1	22	24	3	6	15	57	1	2	0	4	1	22	2	460
18	13	6	6	87	111	25	6	23	30	3	1	51	73	1	1	3	2	2	16	0	460
19	6	9	2	169	111	16	1	17	23	7	5	7	41	2	2	2	8	1	30	1	460
20	14	7	7	185	49	38	1	8	8	5	7	39	56	1	1	1	8	4	20	1	460
21	6	11	5	73	115	24	8	21	29	1	6	42	72	2	2	1	21	1	19	1	460
22	6	5	3	83	114	43	11	19	15	5	5	37	50	1	1	0	8	1	50	3	460
23	10	8	2	93	131	33	1	16	28	4	6	36	45	1	2	1	12	0	31	0	460
24	14	6	1	88	106	29	3	15	26	7	7	38	68	2	1	1	20	2	25	1	460
25	13	15	3	77	141	24	11	11	27	3	2	27	49	1	2	1	3	1	48	1	460
26	19	7	6	115	103	32	2	16	13	6	2	35	54	2	2	3	5	1	36	1	460
27	14	10	2	104	91	35	8	10	11	8	10	36	71	1	1	1	5	1	40	1	460
28	9	26	8	88	84	16	4	10	15	4	3	40	103	1	5	1	2	2	38	1	460
29	17	9	4	98	112	22	10	19	19	5	9	22	72	2	2	1	6	1	29	1	460
30	9	15	4	62	112	117	4	5	22	5	1	36	19	1	1	1	11	1	33	1	460
Moyenne	12,73	11,86	3,83	105,73	103,83	35	5,23	16	21,46	4,96	5,8	36,67	55,3	1,633	1,7	1,067	8,967	1,3	25,87	1,03	460
%	2,77	2,58	0,83	22,99	22,57	7,61	1,14	3,48	4,67	1,08	1,26	7,97	12,02	0,36	0,37	0,23	1,95	0,28	5,62	0,22	100

une loi aléatoire¹. Déterminez sous @Risk les distributions de probabilité des références 1 et 5, avec une précision suffisante (*sample* de 100000, en raison de la faiblesse du risque accepté), puis déterminez S_1 et S_5 .

1. En pratique, vous exploiterez les résultats de la simulation d'une cellule dans laquelle vous avez saisi = RiskBinomial(A; B), où A est la cellule dans laquelle vous avez rentré «RiskDuniform({20.21.22.23.24})» et B est la cellule dans laquelle figure la probabilité de montage de la référence dont vous cherchez à déterminer la distribution. Après simulation, ouvrez (bouton ) la fenêtre des résultats détaillés de la simulation et examinez la colonne relative à la cellule-cible. Après la reconstitution de la distribution (fractiles par pas de 5%), vous avez la possibilité de chercher (target) la valeur du fractile correspondant à une probabilité cumulée donnée, par exemple 99,99% (mais aussi de faire l'inverse).

- 3) Pour simplifier, on revient sur un délai d'approvisionnement de 20 jours. Supposons maintenant que les composants fabriqués par le fournisseur posent parfois des problèmes détectés au montage par le client et que la probabilité que le composant soit défectueux au montage soit π (par exemple $\pi = 2\%$). Sur q composants livrés en une ou plusieurs fois, le nombre de composants corrects est donné par la loi $\mathcal{B}(q, 1-\pi)$. Pour disposer de q composants corrects avec une probabilité de succès imposée, il faut livrer une quantité q' définie par une loi Binomiale Négative qui peut prendre 2 formes soit celle de la distribution de probabilité du nombre d'épreuves n nécessaires pour avoir x événements ($n \geq x$) soit celle du nombre supplémentaire d'épreuves $z = n - x$ (toujours avec $n \geq x$) nécessaires pour avoir x événements. L'add-in @Risk utilise la seconde convention et utilise comme paramètres x et $(1 - \pi)$. Il s'ensuit que la distribution de probabilités à prendre en compte est celle du nombre de composants corrects augmentée du nombre d'unités additionnelles désirées pour obtenir le nombre de composants corrects désiré. Pour obtenir empiriquement cette distribution¹, il faut dans une cellule a mettre la fonction @Risk décrivant une loi Binomiale, puis dans une cellule b la fonction @Risk décrivant une loi Binomiale Négative, utilisant comme paramètre la cellule a (pour le nombre d'événements) enfin, dans une cellule c , vous faites la somme des cellules a et b . C'est cette dernière cellule qui vous permet, sous @Risk, de trouver la distribution de probabilité recherchée et déterminer les deux niveaux de recombêtement des références 1 et 5, au risque de 0,1%.
- 4) Puisque vous avez compris le mécanisme, vous pouvez maintenant résoudre le même problème avec la durée aléatoire de la question 2.
- 5) On désire maintenant prendre en compte des contraintes de lotissement. Ces références sont conditionnées par conteneurs de 10. On repart sur les hypothèses de la question 1². On a dit que la quantité commandée est normalement la différence q entre le niveau de recombêtement et la position de stock; la contrainte du lotissement implique que la quantité effectivement commandée q' ne puisse être que le multiple de 10 q'_1 immédiatement inférieur à q ou le multiple de 10 q'_2 immédiatement supérieur à q . Dans le premier cas, le risque est majoré, tandis que dans le second il est minoré. On peut prendre comme règle de décision, par exemple, «si le risque majoré reste inférieur à 0,2%, on commande q'_1 sinon on commande q'_2 .». Supposons que les positions de stock pour les références 1 et 5 soient toujours de 279 et 1998 au moment de la passation de commande, quelles commandes doit-on passer.
- 6) Résolvez maintenant le même problème avec les hypothèses de la question 3, en supposant que les positions de stock pour les références 1 et 5 soient maintenant de 315 et 2347 au moment de la passation de commande.
- 7) Vous avez un doute sur la stationnarité de la structure de la demande. Déterminez un intervalle de confiance à 95% du nombre de composants 1 demandé pour un jour

1. Une même quantité $y = x + z$ peut être obtenue par différentes combinaisons possibles de x et z . Le calcul de la probabilité $P(Y > y)$ est le résultat d'un calcul de convolution statistique complexe. La méthode de Monte Carlo permet d'obtenir rapidement cette distribution avec une bonne précision. Dans cette classe de problème, on ne dispose pas de relations analytiques permettant de calculer l'espérance mathématique et la variance des besoins à couvrir, sachant qu'une partie des commandes passées sur la base de ces besoins ne sera pas utilisable pour des raisons de qualité.

2. La prise en compte des hypothèses des questions 2 et/ou 3 ne pose guère de difficulté: les distributions de référence ne sont pas les mêmes mais leurs usages sont identiques.

quelconque, en utilisant comme probabilité l'estimation ponctuelle tirée des observations faites au cours des 30 journées de l'historique. Même demande pour le composant 5. Quelles conclusions tirez-vous ?

- 8) Transformez ensuite le tableau des demandes en un tableau des pourcentages quotidiens de la demande des différents moteurs. Effectuez ensuite un lissage exponentiel simple sur l'historique de la fraction de la demande totale portant sur les références 1 et 5 (prenez, par exemple, un coefficient de lissage de 02). Quelle conséquence opérationnelle peut-on tirer de ce type d'information ?



Master de Sciences de Gestion
Mention: *Management de la performance*

Spécialité: *Management des processus de production de biens et services*
UE 266U2: *Management de la chaîne logistique*
Responsable de l'UE: Vincent Giard

Cas Kanban

Cas proposé par Vincent Giard

Objectifs pédagogiques: la compréhension du fonctionnement du système de pilotage des flux par kanbans est difficile à partir d'une description littéraire de ses mécanismes et des formules de calcul du nombre de kanbans. La modélisation/simulation de ce processus, d'abord en univers certain puis en univers aléatoire, permet de mieux comprendre les hypothèses qui conditionnent le bon fonctionnement du système kanban et donc ses limites d'utilisation.

Ce cas mobilise les concepts suivants :

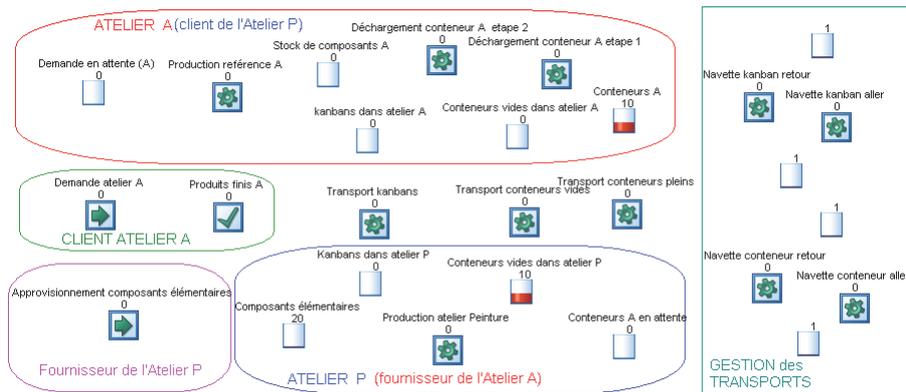
- Initialisation d'un stock; voir chapitre IV, section II, [page 64](#).
- Utilisation de l'option Collect en entrée d'un work center; voir chapitre VI, section I, [page 72](#)
- modification de la taille du lot en sortie d'un work center (duplication d'items en sortie); voir chapitre VI, §II.2, [page 86](#) (et [page 102](#)).
- Prélèvement d'un nombre variable d'items; voir chapitre VI, §I.1.2, [page 74](#).
- Appel à des work centers fictifs pour traiter le problème de l'envoi de 2 lots de tailles différentes vers deux stocks, émis par un work center : chapitre VI, §II.2, [page 86](#).
- Utilisation de l'Information Store pour obtenir une paramétrisation des temps opératoires et de quantités à prélever dans des stocks, [page 99](#).
- Prise en compte des pannes et réparations d'un work center ; voir chapitre VII, §IV.3, [page 91](#).
- KPI ; voir chapitre II, §III.2, [page 48](#).
- Synchronisation de deux processus parallèles; voir chapitre VII, §III.3.1.3, [page 117](#).

I Étude du système kanban en univers certain

L'atelier de peinture (atelier P) de la société Mécanor traite 3 références de couleur différentes (repérées par les nombres 1, 2 et 3), destinées à trois ateliers différents (repérées par les lettres A, B et C). On va traiter progressivement la modélisation/simulation de cette méthode de pilotage des flux, déjà illustrée par quelques exemples dans la base d'exemples du cours de simulation.

Modélisation de base

Dans un premier temps, on va considérer que l'on est en univers certain et que l'atelier P ne traite qu'une seule référence (référence a de l'atelier A). Pour gagner du temps, téléchargez le fichier [Mecanor_Kanban_a_completer.S8](#) qui correspond à une «coquille vide» en ce sens que cette simulation ne comporte aucune gestion des flux laquelle reste donc à faire. Une cartographie de ce modèle est reproduite en haut de la page suivante; elle illustre bien les relations «client-fournisseur» de cette partie de la chaîne logistique.



- Cette modélisation comporte une partie «gestion des transports» qui permet de visualiser l’organisation des navettes d’acheminement des conteneurs et des kanbans: on supposera ici que le temps de transport des conteneurs de l’atelier P à l’atelier A (et réciproquement) est de 30 minutes, avec des départs toutes les heures; pour les kanbans, le temps de transport est de 20 minutes et il y a 2 navettes par heure. Vous trouverez dans l’exemple *Synchro_processus_paralleles.S8* de la base d’exemples du cours de simulation, la description de ce mécanisme de synchronisation. N’oubliez pas de tenir compte du fait qu’une navette peut avoir à emporter plusieurs conteneurs ¹.
- Dans le système kanban, lorsque l’opérateur prélève la première pièce d’un conteneur, il retire en même temps le kanban qu’il dépose à un endroit où il sera enlevé plus tard par l’une des personnes chargées d’assurer le retour du kanban dans l’atelier P. Lorsqu’il prélève la dernière pièce du conteneur, l’opérateur range le conteneur vide dans un endroit où il sera ensuite collecté pour revenir dans l’atelier P (ou tout autre atelier de fabrication utilisant ce type de conteneur). Dans la modélisation proposée, on procédera à une simplification sans importance dans la mesure où l’on ne s’intéressera pas au dimensionnement optimal du parc de conteneurs ²: on supposera que le conteneur est libéré lors du prélèvement de la première pièce qu’il contient, et non de la dernière. Le processus est assuré par une séquence de deux *work centres*, le premier *Dechargement conteneur A étape éclate* le conteneur plein avec kanban en trois parties (à vous de faire le nécessaire): le kanban retiré, le conteneur vide et le contenu du conteneur. Le *work center* *Dechargement conteneur A étape 2* récupère le contenu du conteneur et le démultiplie en autant de pièces qu’en possédait le conteneur, pour les ranger dans le *Stock de composants A*. On supposera que le temps opératoire du premier de ces *work centres* est de 5 minutes et que celui du second est nul (*work center* fictif). Le temps de prélèvement d’un composant par l’atelier A est en réalité inclus dans le temps de gamme (7 minutes), ce qui fait que ces 5 minutes correspondent au travail de manutention du kanban et du conteneur vide.

1. Usage de l’option *Use Label Batching* de l’onglet option du *Routing in*; voir exemple *Routing_in_Use_Label_Batching1.S8* de la base d’exemple du cours de simulation. Le label L compteur est utilisé dans ce mécanisme.

2. Vous pouvez toutefois réfléchir à la modification de cette modélisation pour ne libérer le conteneur qu’au dernier moment.

Les kanbans correspondent à des Ordres de Fabrication de 5 unités. Le système productif étudié est ouvert 8 heures par jour. Les commandes arrivent à l'atelier A à intervalles réguliers de 10 minutes. Le temps unitaire de production par l'atelier P, du composant 1 destiné à l'atelier A, est de 4 minutes et, en univers certain, on suppose qu'il n'y a pas de problème de qualité.

L'initialisation «actuelle» (à 10) du nombre de kanbans est arbitraire et constitue le premier problème à résoudre en univers certain; celle des conteneurs est également arbitraire mais son surdimensionnement est sans grande importance et pourra être révisé ultérieurement. On a également initialisé de manière arbitraire le stock de composants utilisés par l'atelier P. Complétez le modèle de simulation pour assurer la bonne circulation des items dans le système productif. Effectuez une simulation sur 100 jours (48000 minutes) puis examinez sur *TimeView* les résultats des *work centers* Production référence A, Production atelier Peinture et ceux des stocks Conteneurs A, Demande en attente (A) et Kanbans dans atelier P, ainsi que les résultats de KPI judicieusement sélectionnés (en particulier les temps mini, maxi et moyen calculés au point de sortie Produits finis A).

- Indiquez à partir de quel moment le régime de croisière semble être atteint.
- Diminuez le nombre initial de conteneur plein (10) du stock Conteneurs A du nombre minimal de conteneurs observé dans ce stock pendant la simulation, puis recommencez une simulation avec cette nouvelle initialisation du stock Conteneurs A. Conclusions?
- Calculez le temps de cycle d'un kanban pour déterminer le nombre théorique de kanbans nécessaires d'après la formule classique de calcul de ce nombre (voir ci-après). Comparer ce nombre avec celui obtenu précédemment.

Kanban électronique

On décide maintenant de dématérialiser le kanban (*kanban électronique*). Lorsque l'opérateur de l'atelier A prélève la première pièce du conteneur, il scanne un code à barre situé sur le conteneur. L'information est immédiatement transmise dans l'atelier P qui peut alors lancer en fabrication un nouveau lot s'il est libre. L'opérateur de l'atelier P scanne le code à barre du conteneur, lorsqu'il y place la première pièce produite, ce qui met à jour la base de données. Tout ceci revient à supprimer le transport du kanban. Après avoir dupliqué votre premier modèle et recalculé le nombre théorique de kanbans, adaptez la modélisation à ce nouvel environnement. Quelles conclusions tirez-vous?

Introduction de pannes

Créez maintenant des indisponibilités de la machine de production de l'atelier A. Pour voir l'incidence sur le pilotage par kanban de ces indisponibilités, on supposera qu'une panne (ou une opération de maintenance préventive sans prise en compte explicite des opérateurs de maintenance) se produit toutes les 1000 minutes et que la machine est alors indisponible pendant 180 minutes pour réparation (ou maintenance). Observez les résultats de la simulation sur *TimeView*, et comparez les résultats de KPI du point de sortie Produits finis A avec ceux obtenus précédemment. Quelles conclusions tirez-vous?

Introduction d'une demande irrégulière

Pour terminer, en supposant que la machine de production de l'atelier A est toujours disponible, vous allez faire varier les arrivées des commandes au point d'entrée Demande atelier A. La loi de l'intervalle de temps séparant deux arrivées successives n'est alors plus caractérisée par une constante mais par une distribution exponentielle; par ailleurs, on suppose maintenant que le matin (4 premières heures d'une journée de 8 heures), l'intervalle moyen est de 20 minutes et que l'après-midi, il est de 5 minutes, ce qui conduit à un même nombre moyen quotidien de commande. Observez les résultats de la simulation sur *TimeView*, et comparez les résultats de KPI du point de sortie Produits finis A avec ceux obtenus précédemment. Quelles conclusions tirez-vous?

Clients multiples d'un même centre de production

Comme indiqué au début de cette présentation de cas, l'atelier P produit 3 références pour les ateliers A (utilisateur de la référence 1), B (utilisateur de la référence 2) et C (utilisateur de la référence 3). On supposera que l'on reste sur le système du kanban électronique (vous dupliquerez donc le dernier modèle de simulation pour l'adapter). Pour ces références, les informations sont données dans le tableau suivant (celles de la référence 1 étant inchangées)

Atelier	A	B	C
Référence consommée par l'atelier	a	b	c
Demande horaire de l'atelier	6	5	8
Intervalle moyen entre deux demandes	10	12	7,5
Temps opératoire unitaire de l'atelier A, B ou C ^a	7	8	5
Temps opératoire unitaire de l'atelier P ^a	4	3	2
Taille du lot inscrit au kanban	5	8	4
Durée de l'étape 1 de déchargement d'un conteneur ^a	5	5	5
Intervalle de temps entre 2 navettes d'acheminement de conteneurs pleins ^a	60	40	30
Temps d'acheminement des conteneurs ^a	30	20	20

a. en minutes ; le temps de traitement du lot est, bien évidemment, le produit du temps opératoire unitaire par la taille du lot.

La modélisation de ce système productif plus complexe s'effectue sans difficulté en créant un *component* regroupant tous les éléments du client atelier A, ceux de l'atelier A, les 4 restants de la gestion des transports (puisque c'est le système du kanban électronique qui est retenu), les deux *work centres* des transports des conteneurs et, enfin, le stock «Conteneurs en attente» qui est dédié à la référence d'un atelier¹. Dupliquez alors ce composant pour créer les ateliers B et C² en passant par l'option *Duplication*

1. Une variante consiste à mettre dans un même stock les conteneurs, quelle que soit leur destination. Dans ce cas, il faudra compliquer la modélisation du transport, qui doit à la fois ne prendre que des conteneurs de la référence consommée par l'atelier («*batch by type*» sur le label «reference») l'enlèvement pouvant porter sur un nombre variable de conteneurs («*use label batching*» sur le label L compteur), ces deux conditions ne pouvant être mobilisées simultanément dans la version actuelle de Simul8.
2. Rappel: en double cliquant sur un composant, puis en utilisant le bouton «*Remove component layer now*» de l'onglet «*Toolbar*» de la fenêtre ouverte, vous obtenez une fenêtre comportant tous les éléments du sous-modèle créé (il est conseillé ici de faire cette manœuvre après la duplication du composant). En fermant cette fenêtre , vous obtenez une icône différente de celle du composant, que vous pouvez nommer via l'option «*windows properties*» du menu ouvert en cliquant sur le bouton  de cette fenêtre du sous-modèle; ce même menu permet de créer un composant à partir des éléments de cette fenêtre. Avec Simul8, on peut dupliquer un *component* mais pas une fenêtre de sous-modèle.

Wizard  de l'onglet . Avec cette modélisation, le stock «Conteneurs vides dans atelier P» est banalisé, ce qui implique qu'un même conteneur est utilisable par toutes les références, avec les tailles de lot prescrites par les kanbans.

Dans chacun des *components*, changez la valeur du label L reference à l'initialisation du stock Kanbans dans atelier P, le nombre de kanbans à l'initialisation (en appliquant toujours la même formule), ainsi que la taille du lot de sortie (étape 2 du déchargement).

Le choix du stock en sortie du *work center* Production atelier de peinture se base nécessairement sur le label L reference du kanban. Par ailleurs, dans cette modélisation, les composants élémentaires contenus dans le stock Composants élémentaires et prélevés par le *work center* Production atelier de peinture pour produire les des composants a, b et c, possèdent la variété requise pour permettre la production de ces composants a, b et c¹.

N'oubliez pas de modifier le taux d'arrivée de ces composants élémentaires pour le rendre compatible avec le cumul des demandes des trois ateliers et de modifier le temps opératoire du *work center* Production atelier de peinture en fonction de la référence du kanban choisi. Comme ce choix joue également sur le nombre de composants élémentaires à traiter, il est judicieux d'introduire un *work center* fictif qui prélève le kanban, pour l'envoyer dans un stock qui remplace le stock Kanbans dans atelier P en entrée du *work center* Production atelier de peinture. Ce *work center* fictif a pour objet d'exécuter un programme en *Visual Logic* modifiant le nombre d'items à prélever (*Collect*) dans le stock de composants élémentaires (en fonction de la taille du lot) ; il peut aussi être utilisé pour modifier le temps opératoire du *work center* Production atelier de peinture².

Dans cette généralisation, il est astucieux de créer dans l'*Information Store*, des tableaux contenant les différents paramètres. Ces tableaux ont déjà été créés dans la modélisation faite dans *Mecanor_Kanban_a_completer.S8*. Le tableau TO atelier P stocke les temps opératoires unitaires des références des références à produire par l'atelier P, le tableau Lot atelier P stocke, pour chaque référence, le nombre de pièces à charger dans un conteneur et le tableau TO atelier client contient les temps opératoires unitaires des ateliers A, B et C. Ces informations sont directement utilisables par le *work center* fictif évoqué au paragraphe précédent et par le *work center* Production atelier de peinture si le calcul du temps opératoire s'effectue à ce niveau.

L'initialisation du nombre de kanbans de chacune des références avec la solution analytique conduit habituellement à observer des ruptures d'approvisionnement (ce que vous pouvez vérifier). Elles s'expliquent par le fait que les cycles calculés de cette manière reposent sur l'hypothèse que tout kanban arrivant dans l'atelier P est immédiatement utilisé dès que la machine se libère. Ceci n'est pas toujours possible dans le cas de production multiple; un temps d'attente doit être ajouté dans le calcul du cycle pour tenir compte de la concurrence des références dans l'utilisation du *work center* P. Ce temps supplémentaire dépend des règles de priorité utilisées lorsque plusieurs références sont susceptibles d'être lancées. Ici, pour simplifier, on utilisera la règle du «Premier Arrivé - Premier Servi», qui n'est pas la meilleure lorsque les systèmes sous

-
1. La prise en compte d'une différenciation explicite de ces composants élémentaires complique un peu la modélisation, sans avantage réel pour cette étude de cas (usage d'un numéro de label pour les composants élémentaires, ce numéro coïncidant avec celui du composant qui l'utilise dans l'atelier P; usage de l'option «*match*» et création d'un *work center* fictif, l'option «*match*» n'ayant de sens que pour 2 des 3 types d'items utilisés par l'atelier P).
 2. Cette détermination peut aussi se faire directement au niveau du paramètre de la distribution *Fixed* associée au temps opératoire du *work center* Production atelier Peinture, en faisant appel à des informations contenues dans les tableaux de l'*Information Store* voir le paragraphe suivant) et lue en faisant appel au label L reference.

affectés par des aléas (mais ici on est encore en univers certain). Ce choix de règle étant effectué, revenons au dimensionnement des kanbans pour chacune des références. La solution la plus simple consiste à sur-dimensionner les stocks initiaux de conteneurs plein (10, par exemple) puis, après une simulation suffisamment longue (100 jours, par exemple), de retirer à chacun de ces stocks le nombre de conteneurs en dessous duquel on n'est jamais descendu. À partir des résultats de la simulation sur *Time View* (commandes en attente et occupation des *work centers* des ateliers A, B, C, et P), estimez le moment à partir duquel on peut estimer que le système est en régime de croisière?

II Étude du système kanban en univers aléatoire

Le processus de peinture utilisé fonctionne par lot, l'ensemble des pièces à peindre rentrant en même temps en cabine. Après traitement (et donc avant placement dans le conteneur), les pièces sont inspectées et celles jugées non conformes aux exigences de qualité sont mises au rebut. On a constaté qu'une pièce peinte quelconque avait une probabilité de 10% de ne pas être conforme. Sachant que l'on veut mettre dans le conteneur $\kappa = 5$ pièces peintes conformes d'une référence donnée, calculez en vous aidant du tableur :

- la probabilité que l'on puisse remplir le conteneur avec $\kappa = 5$ pièces conforme, si l'on a lancé en peinture un lot de $q = 5$ pièces à peindre ;
- la probabilité que l'on puisse remplir le conteneur avec $\kappa = 5$ pièces conforme, si l'on a lancé en peinture un lot de $q = 6$ pièces à peindre.

Avec l'aide du tableur, déterminez la taille q du lot à lancer en production si l'on refuse de courir un risque α supérieur à 1% de ne pas remplir le conteneur avec les 5 pièces requises. Il convient, là encore, de faire appel à la loi Binomiale Négative. Bien évidemment, avec cette politique, les pièces bonnes excédentaires sont stockées provisoirement dans un conteneur. Supposons que ce conteneur contienne 2 pièces excédentaires à la suite du dernier lancement en peinture. L'opérateur prend un kanban pour cette même référence; quel lot doit-il alors lancer en production pour compléter le conteneur à $\kappa = 5$ pièces peintes conformes, toujours si l'on refuse de courir un risque α supérieur à 1% de ne pas remplir le conteneur avec les 5 pièces requises.

Vous pouvez reprendre le modèle en univers certain ne traitant qu'une seule référence, en créer une variante prenant en compte ce problème de qualité et la règle de décision trouvée.



Master de Sciences de Gestion
Mention: *Management de la performance*

Spécialité: *Management des processus de production de biens et services*
UE 266U2: *Management de la chaîne logistique*
Responsable de l'UE: Vincent Giard

Cas Moulex

Cas proposé par Vincent Giard (production synchrone)

Objectifs pédagogiques : Il s'agit ici d'examiner comment un fournisseur peut utiliser au mieux les commandes transmises par son client industriel portant sur des composants alternatifs fabriqués par un même système productif incomplètement fiable et que le point de pénétration de commande remonte suffisamment loin dans son processus pour permettre au fournisseur de produire à la commande. La comparaison entre un pilotage classique de type kanban et l'approche de la production synchrone est à simuler sous Excel (à partir d'un classeur où le travail à effectuer est préparé).

L'usine d'Alphaville de la société **Moulex** fournit la société **Volnault** en composants en plastique peints, utilisés dans l'usine d'assemblage de la gamme **Scope** située à une heure de transport. On s'intéresse ici au composant **Z**, pièce relativement chère et encombrante qui existe en 5 couleurs (références Z_1 à Z_5).

Couleur 1	Couleur 2	Couleur 3	Couleur 4	Couleur 5
10%	20%	15%	30%	25%

Ce composant **Z** est monté sur un poste de la ligne d'assemblage de **Volnault**. Chaque véhicule passant dans ce poste requiert l'une des 5 références, choisie en fonction de la couleur du véhicule (composants alternatifs). Pour des raisons de place, on ne peut pas créer en bord de ligne, à proximité de ce poste, autant de stocks que de références de couleurs différentes. Ce poste est donc approvisionné par un stock unique dans lequel on range, au maximum, 30 composants correspondant à la demande des 30 prochains véhicules, l'ordre des couleurs de ces composants correspondant exactement à celui de la demande (on parle de **stock encyclé**).

Le temps de cycle de cette usine d'assemblage est de 1 minute (autrement dit, la production horaire est de 60 véhicules). Un stock de 30 unités permet donc de couvrir ma demande d'une demi-heure. Ce stock est reconstitué trois fois par heure, l'encyclage de ce stock additionnel correspondant à la séquence des 20 véhicules suivants.

L'usine de **Moulex** expédie toutes les heures, un lot de 60 pièces encyclées. Actuellement, elle reçoit en temps réel la réquisition des composants au montage pour les 5 heures à venir, soit 300 véhicules. Toutes les heures, le service d'ordonnancement de **Moulex** lance en cabine de peinture 3 lots de 20 pièces, lots ne correspondant pas nécessairement à des références différentes¹. Ces lots sont ensuite amenés en stock et le lot encyclé est préparé (25 minutes). Ce lot est transporté puis déchargé dans l'usine de

1. On peut, par exemple, décider de lancer en production 2 lots de la référence Z_4 et 1 lot de la référence Z_1 .

Volnault (75 minutes). Entre le lancement en production et le moment où la première pièce du lot encyclé (celui qui est expédié après cette production) est montée, s'écoulent 160 minutes. En définitive, l'information utilisable par le service d'ordonnancement (qui prend sa décision juste avant le lancement en production), correspond aux 140 derniers véhicules.

La feuille «MOULEX Generation» du classeur [MPPBS.xls](#) montre comment une séquence de composants **Z** requis au montage véhicules peut être générée, en respectant la structure probabiliste de la demande (réalisation d'une loi Multinomiale¹). Pour stabiliser cette séquence², on a recopié les informations produites dans la feuille «MOULEX Simulation» de ce classeur; comme vous aurez à effectuer plusieurs simulations (deux politiques d'approvisionnement x processus de production fiable ou non), il est conseillé de commencer par dupliquer cette feuille ou la recopier dans un nouveau classeur (avec le module VBA). La structure des données est la suivante.

A	B	C	D	E	F	G
		Couleur 1	Couleur 2	Couleur 3	Couleur 4	Couleur 5
		10%	20%	15%	30%	25%
Rang de la demande	couleur demandée					
1	1	1	0	0	0	0
2	5	0	0	0	0	0
3	2	0	1	0	0	0

Le tableau en jaune reprend les informations du tableau de la page précédente. La colonne B fournit la couleur demandée pour la référence **Z** par le véhicule dont le numéro est donné à la colonne A, sur la même ligne. Les 140 premiers véhicules de ce tableau (cellules B4: B143) correspondent aux informations exploitables lors de la première prise de décision; les informations disponibles à la prise de décision suivante, une heure plus tard, correspondent aux véhicules de rang 61 à 200 (cellules B64: B203)... La demande générée (1 600 véhicules) est inconnue par le décideur au-delà des 140 premiers véhicules, cette longueur de chronique permettant de générer une séquence assez longue de décisions. Dans les colonnes suivantes, on trouve partout la valeur 0 sauf pour la colonne correspondant à la couleur retenue. Cette représentation de la demande dans les colonnes C à G permet de calculer ensuite facilement l'évolution des stocks pour chacune des références (colonnes U à Y), en fonction des stocks initiaux (mis dans les cellules U3: Y3), des livraisons (colonnes O à S) qui sont induits par les lancements en production (colonnes I à M), 60 minutes plus tôt. Dans cette feuille, on considère que la totalité de ce qui a été produit a la qualité requise, ce qui fait que les livraisons correspondent exactement aux lancements; dans un second temps, cette hypothèse sera reconsidérée.

1. Ce type de distribution a été déjà utilisé sous Simul8 avec la distribution de type «*Probability Profile*».
 2. Cette séquence étant obtenue en faisant appel à la fonction ALEA(), il s'ensuit que tout nouveau calcul effectué sur l'une des cellules de l'une des feuilles de ce classeur conduit à une régénération des nombres aléatoires générés par ces fonctions ALEA(). Il est donc nécessaire de recopier la séquence générée avec l'option «valeur» du «collage spécial» d'Excel. Par ailleurs, avec @Risk, la génération de cette Multinomiale est simple; il suffit d'utiliser dans la colonne H la fonction «RiskDiscrete ({1;2;3;4;5};{0,1;0,2;0,15;0,3;0,25})»; dans ce cas, il faut partir de la colonne H pour générer les données des colonnes C à G, nécessaires pour la simulation de la politique.

Le numéro de véhicule, dans la simulation correspond à un numéro de période d'une minute, ce qui facilite le repérage temporel : la première décision est prise en début de période 1, après livraison, pour un lancement de 3 lots qui seront disponibles en début de période 61 ; la seconde décision est prise au début de la période 61, après livraison, pour un lancement de 3 lots disponibles en début de période 121 ; etc.

Dans une première simulation, en univers certain, on considérera que la société **Moulex** n'utilise le séquençement que pour l'encyclage du lot à expédier à **Volnault**. Le pilotage de la production s'effectue selon un système de kanbans¹, myope par construction. La répartition du nombre total de kanbans (17) et les stocks détenus par le centre de production de **Moulex** juste après livraison des 3 lots venant d'être produits sont donnés dans le tableau suivant. Au moment de la prise de décision (juste après la livraison au service consommateur), le nombre de kanbans attachés à des conteneurs dans le service consommateur est de 6, le nombre de kanbans dans le service producteur est de 11. Après décision de lancement en fabrication, 3 de ces 11 kanbans seront choisis et accrochés aux 3 conteneurs devant accueillir les pièces en fin de production ; 8 kanbans resteront sans affectation.

		Couleur 1	Couleur 2	Couleur 3	Couleur 4	Couleur 5
Livraisons en début de période 1		20	0	0	40	0
Stocks détenus au début de la période 1 (après livraison)		34	32	18	62	34
Nombre de kanbans	dans le centre de consommation (après livraison)	1	1	0	3	1
	dans le centre de production (après livraison)	1	2	3	2	3
Nombre total de kanbans		2	3	3	5	4

Il vous est demandé de simuler le fonctionnement de ce système pendant trois heures (trois lancements en production). Au moment de la prise de décision, on a plus de 3 kanbans ; le choix des kanbans à lancer doit se faire à partir d'une même règle, sans tenir compte des informations à venir, puisque c'est le mode de fonctionnement de **Moulex** (par exemple, vous pouvez retenir un indicateur de priorité pour chaque couleur, calculé comme étant le quotient du nombre de kanbans libres par le nombre total de kanbans de la référence). Un calcul de l'évolution, par référence, du nombre de kanbans se trouvant dans l'atelier de peinture est proposé dans les cellules AB3 : AF16² ; après avoir analysé le mécanisme proposé (qui est indépendant des règles de lancement en production), généralisez le raisonnement.

1. Bien évidemment, il y a autant de kanbans différents que de références différentes et le lot de chaque kanban est de 20 unités. Ici le calcul du nombre de kanbans est basé sur un temps de cycle de 5 heures ; la formule classique supposant une régularité de la demande irréaliste avec la multinomiale et une disponibilité immédiate du centre de production lorsqu'un kanban arrive (les références rentrant en compétition, un temps moyen d'attente s'ajoute au temps de cycle).
2. La cellule AB4 comporte l'instruction suivante : $=AB3+SI(ET(MOD(U4+1;20)=0;MOD(U3+1;20)<0);1;0)-O4/20$ correspondant au premier des calculs récurrents du nombre de kanbans (libres ou accroché à un conteneur) pour la référence 1 dans le centre de production (atelier de peinture). AB3 correspond au nombre de kanbans présents au début de la période précédente (après livraison). La colonne U donne le stock disponible en fin de période pour la référence 1 dans le centre de consommation (après éventuelle livraison et consommation) ; l'instruction $SI(ET(MOD(U4+1;20)=0;MOD(U3+1;20)<0)$ correspond à la détection de l'événement «on prélève une pièce dans un nouveau conteneur» (le stock venant de descendre en dessous d'un multiple de 20), auquel cas, il faut libérer le kanban correspondant et l'envoyer dans l'atelier de production ; la colonne O donne les livraisons de la référence 1, le conteneur contenant 20 pièces, le quotient d'une cellule non vide de cette colonne par 20 donne le nombre de conteneurs arrivant en début de période (ici $O4/20$) et donc le nombre de kanbans quittant l'atelier de production.

L'examen du fonctionnement de ce système montre qu'il marche assez bien mais avec un stock moyen de 149,5 pièces. En travaillant sur une période plus longue, on peut constater que ce système ne garantit pas l'absence de rupture de stock, en raison de l'irrégularité de la demande (la sur-protection retenue en majorant le temps de cycle ne suffisant pas toujours).

Examinons maintenant le principe de fonctionnement de la production synchrone qui repose sur l'exploitation des demandes à venir pour déterminer lesancements en production¹. Dans cette approche, il y a autant de décisions à prendre qu'il y a de lots à définir: le premier lot porte sur la référence 5 car la première rupture de stock prévisionnelle affecte le véhicule 126, la seconde porte sur le véhicule 147 (référence 2) et la troisième porte sur le véhicule 192 (référence 3).

Prenez une demi-douzaine de décisions. L'évolution des stocks associée aux deux politiques est donnée dans les deux graphiques de la page suivante. Commentez.

Si on recommence la simulation de ces deux politiques en diminuant les stocks en les passant respectivement à 5, 30, 17, 12, 16, on constate que le pilotage par le système kanban conduit à des ruptures de stock, contrairement au système d'approvisionnement synchrone. Commentez.

En réalité, le processus de production n'est pas parfaitement fiable. Le contrôle qualité effectué en sortie d'atelier peinture conduit à avoir une probabilité de 10% qu'une pièce contrôlée ne soit pas déclarée conforme. Pour comprendre les fondements de la suite du travail demandé:

- déterminez le nombre n_{20} de pièces d'un lot de 20 unités qui moins de 0,5% de chances de ne pas être atteint (autrement dit, le nombre de pièces déclarées conformes aura plus de 99,95% de chances d'être au moins égal à n_{20}) en vous aidant du tableau de probabilités cumulées la feuille «MOULEX Generation» du classeur [MPPBS.xls](#); déterminez ensuite n_{40} , nombre de pièces d'un lot de 40 unités qui moins de 0,5% de chances de ne pas être atteint;
- déterminez les 2 occurrences de la variable aléatoire $\mathcal{B}(n = 20; p = 0,9)$ correspondant aux 2 réalisations de la variable aléatoire $\mathcal{U}(0; 1)$: 0,17494 et 0,98507.

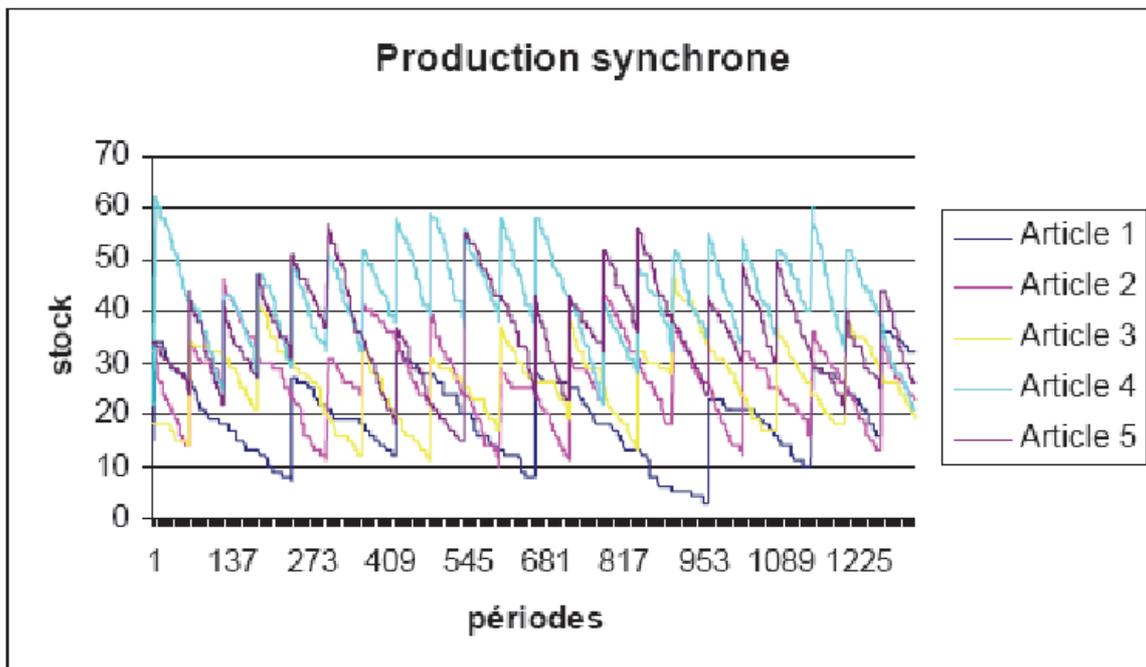
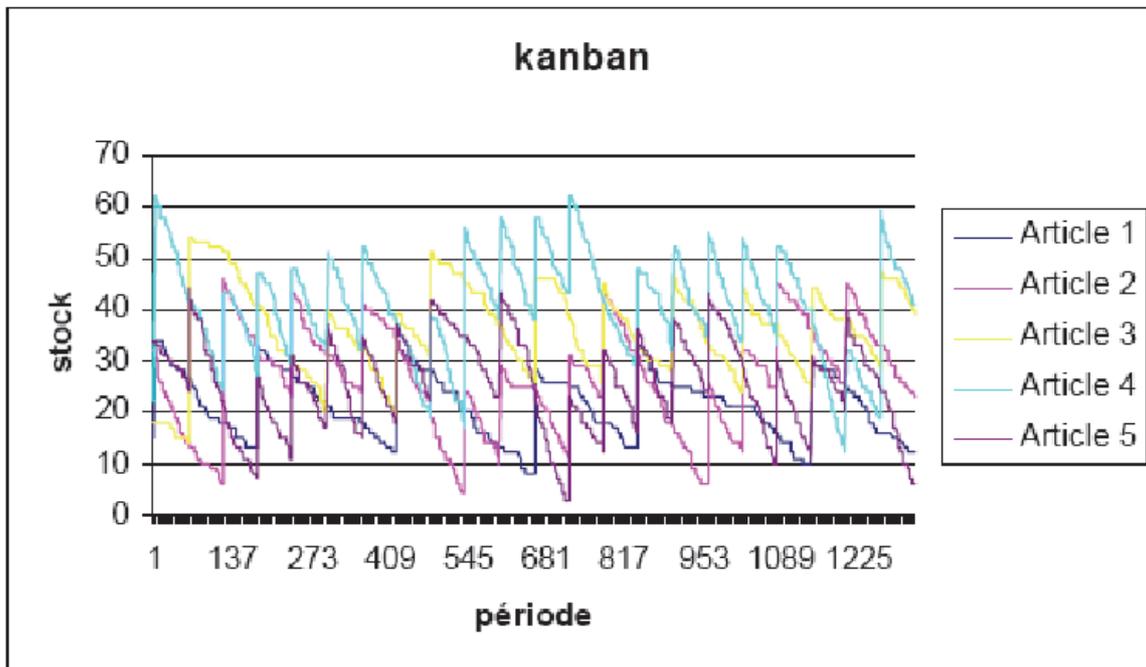
Ce problème de qualité pose un problème de synchronisation des flux: jusqu'ici, on a considéré que la production horaire et la demande horaire étaient égales. Avec un taux de pièces non conforme de 10%, on ne récupère, en moyenne, que 90% de la production. Plusieurs moyens sont alors envisagés. Le premier consiste à augmenter le temps de travail quotidien de **Moulex** pour rattraper le déficit de production accumulé dans la journée, ce qui conduit à une simulation un peu plus complexe. La seconde solution consiste à augmenter la productivité pour retrouver le niveau du taux de demande. On supposera que cette seconde solution est exploitable ici, ce qui conduit à multiplier la taille d'un lot par le rapport $1/0,9$, ce qui conduit à un lot de 22,22 que l'on arrondira à 22 (mais on observera une dérive, puisque toutes les heures, on produira en moyenne 0,66 unité de moins que d'unités demandées; sur l'horizon retenu, cet impact peut être négligé sur la première semaine). Dans tous les cas, ce problème de qualité n'affecte pas le principe d'un départ de 60 pièces encyclées toutes les heures à destination du client industriel.

1. Rappelons que dans le système précédent, les informations transmises par le client ne sont utilisées que pour l'encyclage du lot à livrer.

Il convient maintenant de reprendre le problème posé en remplaçant les livraisons de 22 (ou 44) pièces d'une référence donnée par la réalisation de la variable aléatoire $\mathcal{B}(n = 22; p = 0,9)$ (ou de la variable aléatoire $\mathcal{B}(n = 44; p = 0,9)$) en utilisant @Risk ou la fonction ALEA_Binomiale.

Quelles conclusions en tirez-vous pour la politique kanban ?

Pour la production synchrone, le problème est un peu plus compliqué car on travaille sur des ruptures prévisionnelles de stock que les lancements en production vont retarder. La prudence conduit alors à ne pas considérer, dans la simulation associée à une prise de décision, que la livraison sera non pas de 22 (ou 44) unités d'une référence mais à retenir un nombre de pièces qui ait une probabilité infime de ne pas être atteinte (problème posé ci-dessus, à adapter avec la nouvelle taille de lot). Une fois les décisions prises en début de cycle, les livraisons effectives seront des réalisations d'une variable aléatoire (comme dans la politique kanban). Quelle conclusion tirez-vous ?





Master de Sciences de Gestion
Mention: *Management de la performance*

Spécialité: *Management des processus de production de biens et services*
UE 266U2: *Management de la chaîne logistique*
Responsable de l'UE: Vincent Giard

Cas RESSAN (partie II)

Cas proposé par Vincent Giard

Objectifs pédagogiques en *Gestion*: analyse système mixant production à la commande et production pour stock, avec stocks de sécurité constitués pour faire face à d'éventuels problèmes de qualité et la variabilité de la demande. Le contexte est celui d'une chaîne logistique dédiée à la production de masse de produits fortement diversifiés, avec prise en compte des mécanismes de base de la MRP (PDP, explosion de nomenclature, absorption des délais) et de l'incidence du point de pénétration de commande sur l'organisation de la production dans la chaîne logistique amont. Il vous est demandé de recopier dans un nouveau classeur les feuilles «Ressan (partie2...)» du classeur MPPBS.xls.

Le Directeur de l'usine d'Alphaville de **Ressan** s'est montré très satisfait de vos propositions d'amélioration de la gestion des approvisionnements lointains¹. Il vous demande maintenant de participer à un groupe de travail constitué par la Direction de la supply chain de **Ressan** pour réfléchir à une amélioration du pilotage d'une partie de la chaîne logistique amont, susceptible de faire l'objet d'une production à la commande et d'une production pour stock. Le périmètre d'analyse est celui de l'approvisionnement de deux lignes d'assemblage. La première ligne, qui est située dans l'usine d'Alphaville, est la seule à assembler les véhicules de la classe P; sa production quotidienne de 960 véhicules (travail en deux équipes). La seconde ligne, située dans l'usine de Betaville, est la seule à assembler les véhicules de la classe R, avec une production quotidienne de 480 véhicules. Les véhicules des classes R et P offrent près d'une dizaine de motorisations possibles; ils sont les seuls à utiliser les moteurs M1 et M5.

Ressan utilise une approche de type MRP pour déclencher la production d'un certain nombre de modules, comme les moteurs, et des composants que ces modules utilisent (on s'intéressera ici aux pistons et aux têtes de piston). Le PDP n'est pas défini au niveau des produits finis car la combinatoire des possibilités offertes aux clients pour une gamme conduit à un nombre de véhicules différents peu différent de celui la production annuelle pour les véhicules des classes R et P. Pour les modules et composants systématiquement montés sur les véhicules d'une gamme, la gestion des approvisionnements est simple puisque la consommation quotidienne de ces références est constante. Le problème ne se pose donc que pour les composants ou modules alternatifs (moteurs, boîtes de vitesse...) et pour les composants optionnels (toit ouvrant, par exemple).

L'approvisionnement de certains composants alternatifs (sièges) ne pose pas de problème lorsque le fournisseur peut, au dernier moment, effectuer un assemblage à la commande (housses de siège à monter sur un siège «nu»); on parle alors d'approvi-

1. Cas **Ressan** (partie I).

sionnement synchrone lorsque les objets livrés sont rangés dans l'ordre prévisionnel de montage sur la ligne d'assemblage. La nécessité d'un PDP défini au niveau des composants du niveau 1 de la MRP ne se pose vraiment que pour les autres composants alternatifs ou optionnels, comme c'est le cas pour les moteurs. On partira du PDP des moteurs M1 et M5 établis par les services de planification de ces deux usines, sur 15 périodes de 2 jours (unité de temps retenue). Ces informations, ainsi qu'un certain nombre de calculs de MRP se trouvent dans la feuille «Ressan (Partie 2a)» du classeur MPPBS.xls. Ce PDP est établi partiellement sur la base de réquisitions fermes liées à des commandes de clients et sur celle de nomenclatures de planification. La nomenclature planification des moteurs des véhicules de la classe P indique qu'un véhicule de cette classe utilise 0,54 moteur M1 et 0,05 moteur M5, tandis que la nomenclature planification des moteurs des véhicules de la classe R indique qu'un véhicule de cette classe utilise 0,2 moteur M1 et 0,1 moteur M5; les autres moteurs de ces nomenclatures ne sont pas évoqués ici car sans intérêt pour l'analyse à mener. Les autres informations nécessaires aux calculs de la MRP en début de la période 1, figurent dans les lignes jaunes de cette feuille.

On examinera successivement différents aspects du problème de pilotage de la production de la chaîne logistique, dans un contexte de planification glissante, en le complexifiant progressivement.

A Horizon gelé - point de pénétration de commande

Pour commencer, il vous est demandé d'utiliser la démarche de traçabilité de la MRP (*pegging*) pour déterminer sur quels véhicules du PDP seront montés les pistons lancés en production au début de la période 1. Concrètement, le plus simple est de colorier les cellules concernées par ces pistons produits, en remontant progressivement vers le PDP. Indiquez la longueur minimale de l'horizon gelé si on souhaite pouvoir produire les pistons à la commande; même question si on souhaite pouvoir produire à la commande, les têtes de pistons. Quelle relation avec le concept de point de pénétration de commande?

On avance maintenant dans le temps d'une période, pour recommencer le calcul de MRP (lignes 68 et suivantes). Entre ces deux calculs, le PDP de la période 8 a été modifié pour tenir compte des commandes des clients (voir cellules J73:J76). Il vous est demandé d'effectuer les nouveaux calculs de MRP¹. Vous constatez un problème au niveau des têtes de piston; expliquez-en l'origine. Dans la suite, on supposera que l'horizon gelé est de 14 jours de production (soit 7 périodes avec le découpage temporel retenu).

B Traitement des problèmes de qualité dans le cadre de l'horizon gelé

Introduisons maintenant le traitement du problème de la qualité des produits. Un contrôle de qualité est systématiquement effectué avant expédition à l'usine ayant passé commande (autrement dit sur les quantités correspondant aux besoins bruts). Pour simplifier ici, on supposera que les contrôles de qualité sont effectués sur tous les produits traités ici (moteurs, pistons, tête de piston) et que l'on a observé qu'en moyenne 0,1% des produits testés ne respecte pas les spécificités requises. Il s'ensuit

1. N'utilisez pas Excel comme une machine à écrire. Pour bien marquer la relation entre certaines valeurs trouvées dans les calculs effectués en début de période 1 et d'autres utilisées dans les calculs effectués au début de la période 2, il vous est demandé de fournir les informations manquantes des lignes jaunes 89, 98, 108 et 118.

que pour un niveau de Besoin Brut d'une période égal à K , le nombre de pièces défectueuses suit la loi Binomiale $\mathcal{B}(K; 0,1\%)$. Un stock de sécurité est alors nécessaire pour faire face à ce problème de qualité (quelle est la probabilité pour que les K pièces soient correctes?); son niveau est défini de telle sorte que le risque de rupture de stock ne dépasse pas un seuil arbitrairement défini. Les conséquences économiques d'une rupture de stock sont très lourdes (approvisionnement en urgence ou non respect du PDP), aussi le risque arbitraire très faible 0,01% est retenu ici. Le niveau du stock de sécurité est à définir à partir de la loi Binomiale Négative¹ $\mathcal{BN}(K; 99,9\%)$.

Dans un premier temps, il vous est demandé de déterminer les stocks de sécurité à associer aux besoins bruts des différents produits pour les différentes périodes, sur la feuille «Ressan (Partie 2b)», dans laquelle une partie du travail a déjà été effectuée. Par rapport à la feuille précédente, une ligne de stock de sécurité désiré a été introduite après chaque ligne de calcul des besoins bruts d'un produit. En outre, une ligne de nombre de pièces défectueuses a été ajoutée avant la ligne de calcul de la position de stock. Dans beaucoup d'entreprises, il est recommandé de déterminer le stock de sécurité comme un pourcentage constant des besoins bruts, que faut-il en penser dans le cas présent? comment automatiser le calcul correct, à partir de tables à utiliser par les logiciels.

L'introduction du nombre de pièces défectueuses n'a de sens que pour la première période de calcul de la MRP car il s'agit d'une valeur observée. Dans ce travail, on utilisera la méthode de Monte Carlo pour générer le nombre de pièces défectueuses; il vous est demandé de donner un exemple de cette génération, par exemple sur le moteur M1. Pour faciliter l'analyse collective de ce cas, les valeurs suivantes seront utilisées

- Pour les calculs de MRP effectués au début de la période 1, les nombres de pièces détectées comme non conformes: 1 moteur M1, 0 moteur M5, 3 pistons.
- Pour les calculs de MRP effectués au début de la période 2, les nombres de pièces détectées comme non conformes: 2 moteurs M1, 1 moteur M5, 9 pistons.

L'introduction de ce problème de qualité conduit à intégrer les stocks de sécurité et à modifier le calcul de la position de stock (qui se définit pour des pièces contrôlées correctes). Recommencez les calculs de MRP dans la feuille «Ressan (Partie 2b)», en vous arrêtant aux pistons (puisque les têtes de piston ne peuvent être produites à la commande).

C Calcul du stock de sécurité des références produites pour stock

L'utilisation «brutale» de la nomenclature de planification pour définir le PDP au-delà de l'horizon gelé ne peut que générer des ruptures de stock. On s'intéresse ici à la production des têtes de piston. La solution consistant à majorer les coefficients de la nomenclature de planification pour contrer les variations de demande n'est pas acceptable car elle induit une croissance exponentielle des stocks (par quel mécanisme?).

La solution d'une politique d'approvisionnement calendaire est la seule solution possible puisque la quantité de têtes de piston à lancer en production au début de la

1. Les arguments de la fonction d'Excel LOI.BINOMIALE.NEG sont le nombre d'echecs, ce qui correspond au nombre x de pistons non conformes ($x \geq 0$), le nombre de succès, ce qui correspond aux besoins bruts qu'il faut couvrir, et la probabilité de succès, ce qui correspond au complément à 1 du taux de pièces mauvaises. Il faut calculer les probabilité $P(X=x)$ pour des valeurs $x \geq 0$, jusqu'au moment où la probabilité cumulée $P(X \leq x)$ devient supérieure à $1 - 0,00001 = 99,99\%$.

période t pour être livrée au début de la période $t + 2$ (le délai d'obtention étant de 2 périodes) ne peut s'appuyer sur des besoins bruts (et donc les besoins nets) de cette période, puisqu'ils sont induits par le lancement en production des pistons au début de la période $t + 2$, lesquels ne seront connus qu'au début de cette période (conséquence de ce que vous avez trouvé en partie A). Le niveau de recomplètement étant défini comme la somme d'une demande moyenne et d'un stock de sécurité, on est encore ramené implicitement à un problème de stock de sécurité mais le maintien de la démarche utilisée en partie B n'est plus pertinent en raison de la méconnaissance des besoins bruts. C'est donc sur la base du niveau de recomplètement et de la position de stock prévue en début de période $t + 2$, avant livraison, qu'il faut définir la livraison à effectuer au début de la période $t + 2$ et donc la quantité de têtes de piston à lancer en production au début de la période t . Dans un premier temps, on considérera que les références produites pour stock sont toujours de qualité conforme. Dans un second temps, on réintroduira les problèmes de qualité. Le problème posé est alors de déterminer la distribution de probabilité de la demande de têtes de piston, avec ou sans problème de qualité.

Si on considère que l'environnement technico-économique est stable sur un horizon de quelques semaines, l'hypothèse d'un régime de croisière peut être utilisée. Dans ces conditions, la demande $X_{1\alpha t}$ du moteur M1 dans l'usine d'Alphaville sur la période t suit la loi Binomiale $\mathcal{B}(1840, 54\%)$; de même $X_{5\alpha t}$ suit la $\mathcal{B}(1840, 5\%)$, $X_{1\beta t}$ suit la $\mathcal{B}(960, 20\%)$ et $X_{5\beta t}$ suit la $\mathcal{B}(960, 10\%)$. Dans notre exemple, pour les périodes rentrant dans l'horizon gelé, ces demandes de moteurs sont connues et correspondent à des occurrences de ces variables aléatoires. Au-delà de l'horizon gelé, les prévisions ne sont pas fiables et n'ont guère d'utilité, aussi est-il aussi simple de travailler sur des demandes moyennes.

L'analyse du mécanisme de MRP a montré que le besoin brut de moteur M1, $Y_{1,t}$, est $Y_{1,t} = X_{1\alpha,t+1} + X_{1\beta,t+2}$; il convient de garder en mémoire ce mécanisme d'absorption des délais lorsque l'on sera amené à réviser les caractéristiques du régime de croisière mais dans le cadre du régime de croisière, la relation précédente se simplifie et s'écrit $Y_1 = X_{1\alpha} + X_{1\beta}$. De la même façon, $Y_{5,t} = X_{5\alpha,t+1} + X_{5\beta,t+2}$ devient $Y_5 = X_{5\alpha} + X_{5\beta}$. Poursuivez le raisonnement en combinant les mécanismes d'explosion des nomenclatures et d'absorption des délais pour montrer que la demande de têtes de piston est une variable aléatoire définie comme une somme pondérée des variables aléatoires $X_{1\alpha}$, $X_{1\beta}$, $X_{5\alpha}$ et $X_{5\beta}$. Utilisez @Risk pour établir sa distribution de probabilité, puis déterminez le niveau de recomplètement de cette référence pour un risque de rupture de stock de 0,01%. Recommencez la simulation dans la feuille «Ressan (Partie 2c)» en supposant, pour commencer que des problèmes de qualité se posent pour les moteurs et pistons (comme dans la partie B) mais pas pour les têtes de piston. Dans cette simulation, vous supposerez que la position de stock initiale des têtes de piston est de 450 au lieu de 210.

Supposons maintenant, que la production de tête de piston rencontre, elle aussi, des problèmes de qualité. On gardera le taux de 0,1% de pièces défectueuses. Le stock de sécurité est alors à calculer à partir de la distribution de probabilité de la variable $Z = Z_1 + Z_2$, où Z_1 est la variable aléatoire correspondant aux besoins bruts à satisfaire (déterminée ci-dessus) et Z_2 suit une loi Binomiale Négative de paramètres Z_1 et 99,9% (pourquoi?). Recommencez la simulation en utilisant le nouveau niveau de recomplètement et en générant (via @Risk) le nombre de têtes de piston défectueuses pour la période 1.



Master de Sciences de Gestion
Mention: *Management de la performance*

Spécialité: *Management des processus de production de biens et services*
UE 266U2: *Management de la chaîne logistique*
Responsable de l'UE: Vincent Giard

Cas CLÉ

Cas proposé par Vincent Giard

La Compagnie Lidurienne d'Électronique, mieux connue sous le nom CLÉ, est une PMI spécialisée dans la fabrication de composants électroniques à forte valeur ajoutée, à partir de matières premières et composants de base achetés à des fournisseurs. Le pilotage des flux se fait à partir des ERP de cette société et de ses clients et fournisseurs; par ailleurs les informations de commande, facturation et de paiement entre ces sociétés s'effectuent par EDI (Electronic Data Interchange). L'objet de ce cas est d'effectuer une modélisation / simulation limitée mais représentative des processus mis en œuvre en ne s'intéressant qu'à quelques produits et fournisseurs. Dans cette modélisation, utilisez au mieux l'*Information Store*, non seulement parce que c'est la solution la plus performante mais aussi parce qu'elle met en évidence les transactions qui sont à l'origine de l'évolution de la base de données¹. Les propositions suivantes sont destinées à faciliter votre modélisation / simulation de ces processus, les valeurs numériques retenues ayant peu d'importance dans un premier temps (c'est à vous de définir les règles de pilotage et des valeurs pertinentes pour ce qui se passe après l'envoi des commandes)

- 1) On ne s'intéresse ici qu'à 4 produits finis (*A, B, C & D*), 4 composants de base (*a, b, c* et *d*). Ces produits finis ne diffèrent que par les composants de base utilisés (*A* utilise *a*, *B* utilise *b*...). Ces 4 composants font l'objet chacun d'un stock et sont approvisionnés auprès de 3 fournisseurs (le fournisseur 1 produisant le composant *a*; le fournisseur 2 produisant le composant *b*; le fournisseur 3 produisant les composants *c* et *d*). À l'initialisation de la simulation, veillez à ce que ces stocks de composants de base dans l'usine de production ne soient pas vides; prenez 50, par exemple.
- 2) Les commandes passées par des clients sont prises en compte dans la programmation de la production qui se traduit par des arrivées d'ordres de fabrication (OF) aux différents postes de travail. Pour simplifier, on ne s'intéressera qu'à une seule machine produisant les 4 produits finis (*A, B, C & D*). On supposera que les OF arrivent suivant une loi exponentielle de paramètre 10 et portent à chaque fois sur un lot unitaire. On supposera que les temps de fabrication de ces références identiques (environ 8 minutes). Par ailleurs, on supposera que les 4 références de produits finis ont la même probabilité d'être demandées par un OF. La fabrication d'un produit fini demandé par un OF nécessite donc le composant de base qui lui

1. Il peut être intéressant d'effectuer une modélisation complémentaire de type UML pour compléter les «vues» de ces processus.

est associé, plus un kit de composants, le même pour toutes les références de produits finis; pour simplifier, on ne s'intéressera pas ici à l'approvisionnement de ce kit (vous ferez donc en sorte qu'il ne soit jamais en rupture de stock). La production est ensuite envoyée au client mais on considérera ici que tout ceci est «hors périmètre» de cette modélisation / simulation.

- 3) Le prélèvement ou l'arrivée d'un composant de base (a , b , c et d) dans son stock provoque une mise à jour du système d'information. Celui-ci est «modélisé» dans l'*Information Store* où vous tenez, dans un tableau, l'inventaire permanent du stock physiquement détenu de ces composants ainsi que celui de leurs positions de stock¹.
- 4) Dans un ERP, des règles d'approvisionnement sont définies et appliquées automatiquement. Adoptez une règle simple pour la simulation, par exemple, si la position de stock descend en dessous d'un certain niveau (lu dans le tableau d'*Information Store*²), ce qui correspond au «franchissement d'un point de commande», on passe commande d'une quantité prédéterminée (lue également sur un tableau d'*Information Store*³). Le franchissement du point de commande est à tester dans le programme exécuté lors de la sortie du stock; la commande déclenchée est alors transmise informatiquement au fournisseur (EDI). Cette information peut être consignée dans un tableau de l'*Information Store*, partagé dans la simulation entre tous les *work centers* et les stocks, ce qui constitue une représentation acceptable du partage d'information entre les entreprises concernées. Plusieurs représentations sont possibles. On retiendra une représentation simplifiée dans laquelle le statut de la commande d'un composant est matérialisé par une variable binaire par composant, initialisée à 0, prenant la valeur 1 lorsqu'une commande est lancée pour le composant et reprenant la valeur 0 lorsque le lot commandé vient d'être produit. Le plus simple est de stocker ces variables binaires dans un tableau de l'*Information Store*.
- 5) Les trois usines de fournisseurs concernées par la production de ces références les produisent en utilisant, pour chacune des références à produire (a , b , c ou d), un kit de composants élémentaires, spécifique à la référence à produire et permettant de produire le lot commandé. On a donc 4 stocks de ces kits, que l'on initialisera à des niveaux suffisants pour la simulation ou que l'on alimentera de façon à éviter toute rupture d'approvisionnement. La gestion de l'ensemble de la production de ces usines est également «hors périmètre»; on considère donc que l'usine n'a qu'un seul client et ne produit que les références assignées dans ce cas simplifié. Il faut bloquer toute production en l'absence de commande (booléen nul; attention à la dernière usine qui produit les références c et d). Le lancement en production chez le fournisseur du lot commandé conduit à associer à cet item: un numéro d'ordre unique pour la comptabilité (*Unique*), un numéro de fournisseur et la désignation de la référence⁴ et la quantité produite; il est judicieux de reporter cette information

1. Rappelons que la position de stock est la somme du stock physiquement détenu et des livraisons attendues, diminuée du nombre de composants réservés; dans la modélisation retenue, il n'y a pas de réservation de composants en cas de rupture de stock.

2. Ne pas oublier d'initialiser ces valeurs au début de la simulation, la position de stock étant alors égale au stock physiquement détenu.

3. à vous de définir ces tailles de lot mais il est inutile de dépasser 15 et de prendre des valeurs trop faibles.

dans un tableau de l'Information Store (sur la ligne correspondant au numéro d'ordre, lequel peut être analysé comme un numéro de bon de commande affecté a posteriori).

- 6) Le lot est transporté vers l'usine du client (utilisez un *work center* pour ce transport). À la réception un contrôle de qualité est effectué sur chaque pièce du lot avant de l'envoyer vers le stock approprié de composants de base. Ceci implique de créer d'une part en amont un *work center* fictif qui éclate le lot en composants élémentaires alimentant un stock de composants à contrôler et, d'autre part en aval, de créer un *work center* fictif qui orientera les pièces bonnes vers le bon stock de composant de base. On retiendra un taux de rebut assez important (entre 5% et 10%) pour garantir une «visibilité suffisante» du mécanisme de contrôle de qualité.



Master de Sciences de Gestion
Mention: *Management de la performance*

Spécialité: *Management des processus de production de biens et services*
UE 266U2: *Management de la chaîne logistique*
Responsable de l'UE: Vincent Giard

Cas Drink

Cas proposé par Vincent Giard

Ce cas mobilise les concepts suivants :

- Modélisation d'un lieu susceptible de jouer successivement plusieurs rôles ; voir chapitre VII, §II.3.2, page 118.
- Utilisation de l'option Collect en entrée d'un work center ; voir chapitre VI, section I, page 72.
- Prélèvement d'un nombre variable d'items ; voir chapitre VI, § I.1.2, page 74.
- Modification de la taille du lot en sortie d'un work center (duplication d'items en sortie) ; voir chapitre VI, § II.2, page 86 (et page 102).
- Appel à des work centers fictifs pour traiter le problème de l'envoi de 2 lots de tailles différentes vers directions, émis par un work center : chapitre VI, § II.2, page 86.

Vous participez à l'étude de l'amélioration de la performance du dépôt d'Alphaville de la société **Drink** qui reçoit tous les jours des camions de boissons, en provenance de différentes usines d'embouteillage ; boissons sont stockées dans le dépôt puis livrées à des supermarchés et supérettes de **Casimouth** ou de son concurrent **Roca**, désignés ci-après comme les clients du dépôt.

On distingue classiquement 3 niveaux d'emballage¹ ; ces flux entrants sont conditionnés en emballages tertiaires (palettes). Tout au long de la journée, des camions partent du dépôt pour livrer des commandes de boissons dans des emballages tertiaires ou secondaires (cartons de 10 bouteilles de jus de fruit ou packs de 6 bouteilles d'eau sous film rétracté, désignés ci-après : cartons de jus de fruit et packs d'eau). Le problème traité ici est très simplifié mais il constitue une étape préalable à une formulation plus complexe, par remplacement progressif d'hypothèses simplificatrices.

- Le nombre de quais pris en compte est de deux. Ces quais sont utilisés indifféremment pour le déchargement de camions de fournisseurs ou pour le chargement de camions à envoyer vers des clients. En cas de conflit dans l'attribution d'un quai,

1. Selon la Directive 94/62/CE *Emballages et déchets d'emballage* :

«L'emballage primaire est l'emballage conçu de manière à constituer au point de vente, une unité de vente pour l'utilisateur final ou le consommateur.

L'emballage secondaire est l'emballage conçu de manière à constituer au point de vente un groupe d'un certain nombre d'unités de vente :

qu'il soit vendu tel quel à l'utilisateur final ou au consommateur

qu'il serve seulement à garnir les présentoirs au point de vente.

Il peut être enlevé du produit sans en modifier les caractéristiques.»

Les emballages secondaires les plus courants sont les étuis carton à ouverture facile ou à rabats et les coffrets ou flow-pack (film plastique thermorétractable) permettant le regroupement lors de promotions.

L'emballage tertiaire regroupe un ensemble d'emballages secondaires. Les emballages tertiaires les plus courants sont les caisses de transport et les palettes.

la priorité est donnée aux camions en provenance de fournisseurs, essentiellement pour limiter les risques de rupture de stock.

- Ce dépôt est ouvert de 7 heures du matin à 17 heures, sans interruption, mais aucun camion n'est accepté après 16 heures. La dernière heure est consacrée au déchargement de camions arrivés avant 16 heures ou dont le chargement a commencé avant 16 heures (pour les camions en partance chez les clients).
- On se limite à la modélisation des flux d'eaux minérales et de jus de fruits qui transitent par ce dépôt, sans distinction d'expéditeurs (fournisseurs) ou de destinataires (clients) et sans distinction de type de produits et de marques. L'hypothèse implicite justifiant cette simplification est que les approvisionnements à un niveau détaillé s'appuient sur une connaissance en temps réel des stocks du dépôt par les fournisseurs et sur une répercussion immédiate des commandes des clients passées par EDI au dépôt, auprès des fournisseurs qui organisent en conséquence les livraisons au dépôt, dans le cadre d'une **Gestion Partagée des Approvisionnements**, pour éviter toute rupture de stock.
- Il n'est pas nécessaire de modéliser le fonctionnement du système d'information des maillons de cette partie de la chaîne logistique, dans la mesure où l'on considère ici que le contenu d'un camion en provenance d'un fournisseur ou à destination de clients est décrit¹ par des bordereaux de livraison (camions venant des fournisseurs) ou bordereaux d'enlèvement (camions partant vers les clients).
- Les camions qui livrent les marchandises au dépôt sont de caractéristiques identiques et ont donc la même capacité. Le remplacement de cette hypothèse par celle d'une flotte hétérogène de camions ne pose pas de problème mais n'est pas retenu ici. Cette capacité est de 25 palettes, sachant qu'une palette comporte soit 20 packs d'eau, soit 30 cartons de jus de fruit (emballages secondaires).
- Ces camions arrivent toujours chargés à plein et chacun ne contient qu'un seul type de produits (eau ou jus de fruit) puisqu'ils sont en provenance d'une seule usine d'embouteillage. Par contre, les camions partant livrer les clients ont un chargement mixte en fonction des commandes à livrer et peuvent ne pas être complètement remplis. On ne se préoccupe pas ici de l'organisation des tournées vers les clients, un camion pouvant ou non traiter plusieurs clients.
- Les arrivées, comme les départs ne se font pas sur rendez-vous, mais l'étude doit, à terme, permettre de tester d'autres organisations.
 - . L'intervalle de temps moyen séparant deux arrivées successives de camions livrant le dépôt est de 30' le matin et de 45' à partir de 13 heures. On observe que 80% des camions qui arrivent au dépôt contiennent de l'eau et 20% des jus de fruits.
 - . Les camions quittant le dépôt pour livrer des clients arrivent pour être chargés toutes les heures, de 7 heures 30 à 15 heures 30, mais ils n'arrivent jamais exactement à l'heure: ils peuvent avoir jusqu'à 15' d'avance et 15' de retard; vous pouvez utiliser une distribution triangulaire (mode 0) pour résumer cet avance/retard par rapport à l'heure d'arrivée prévue.

Ces différences de caractéristiques des arrivées dans le système étudié forcent, dans la modélisation, à utiliser deux points d'entrée. Pour la suite, il est nécessaire

1. Via des labels associés aux items représentant les camions dans la modélisation/simulation.

de caractériser tout camion arrivant dans le système par un label permettant de savoir s'il vient livrer le dépôt ou s'il vient enlever des marchandises à livrer à des clients.

- Les camions en provenance des fournisseurs arrivent directement sur l'un des quais, s'il y en a un de libre, sinon ils attendent la libération d'un quai. Il en est de même pour les camions qui viennent enlever de la marchandise pour la livrer aux clients. Ces quais sont banalisés, autrement dit, un même quai peut être utilisé pour décharger un camion ou pour charger un camion (ce qui constitue une difficulté de modélisation évoquée en avant-propos du cas).
- Une fois à quai, l'équipe de manutention procède au déchargement du camion et à l'acheminement de la marchandise dans le stock approprié (eau ou jus de fruit), la marchandise de ce stock étant en conditionnement secondaire. Le temps de déchargement n'est pas même pour les deux types boissons, en raison de l'éloignement des stocks des quais. Pour simplifier, on retiendra comme temps de traitement d'enlèvement et d'acheminement en stock, des distributions triangulaires de paramètres $\{10, 12, 15\}$, pour les palettes d'eau et $\{11, 13, 16\}$, pour les palettes de jus de fruit. Pour simplifier également, on supposera qu'il n'y a pas de problème de capacité de stockage.
- Les camions à destination des clients arrivent directement sur l'un des quais, s'il y en a un de libre, sinon ils attendent la libération d'un quai. Pour simplifier cette première modélisation, on supposera que le bon d'enlèvement de marchandises à charger dans un camion porte sur un nombre de conditionnements secondaires (packs ou de cartons) compris entre 500 et 600 (distribution uniforme) et que chacun de ces conditionnements secondaires a une probabilité de 70% de correspondre à un pack de bouteilles d'eau¹.

Il vous est demandé de modéliser le fonctionnement de ce système productif et d'en effectuer la simulation sur 10 jours ouvrables.

1. On est donc en présence d'une réalisation d'une loi Binomiale dont le nombre d'épreuves, qui est la réalisation d'une variable aléatoire, doit être défini antérieurement. Rappelons que les actions sur les labels dans un *work center* s'exécutent dans l'ordre de la liste créé des labels sur lesquels on veut intervenir telle qu'elle apparaît dans la fenêtre ouverte en cliquant sur le bouton *Label actions*. Les informations sur les nombres de conteneurs secondaires, de packs d'eau et de cartons de jus de fruits sont donc à consigner dans trois labels associés à un camion.



Master de Sciences de Gestion
Mention: Management de la performance

Spécialité: Management des processus de production de biens et services
UE 266U2: Management de la chaîne logistique
Responsable de l'UE: Vincent Giard

Cas VÉGÉ

Cas proposé par Vincent Giard

La société VÉGÉ est un sous-traitant d'entreprises de mécanique. La qualité de sa production lui confère un avantage compétitif très important mais depuis quelques mois, son problème majeur est celui du respect des délais. L'analyse de sa demande montre que 70% de sa production correspond à des commandes régulières de cinq clients industriels ayant une production de masse s'inscrivant dans le cadre d'une programmation pluriannuelle. On ne s'intéresse ici qu'à cette partie de la production de la société VÉGÉ. La production pour ces cinq clients suit toujours la séquence «Poste 1 → Poste 2 → Soustraction → Poste 3 → Poste 4». Les volumes commandés sont du même ordre de grandeur pour ces différents clients. Les gammes de ces produits sont voisines, les temps opératoires d'une commande varient, d'une commande à l'autre, dans une plage de valeurs définie à $\pm 15\%$ d'un temps de référence mais on considèrera ici que les temps opératoires unitaires d'une même commande donnée sont certains¹.

La société VÉGÉ confie au cabinet de conseil que vous venez d'intégrer, une étude pour améliorer la maîtrise de ses délais commerciaux. La démarche proposée par le cabinet de conseil est connue sous le nom de CONWIP (**C**onstant **w**ork **i**n **p**rocess). D'inspiration voisine de celle du kanban, cette méthode, consiste à ne lancer en production un Ordre de Fabrication (OF) que si on peut lui associer une étiquette. Contrairement au système kanban, cette étiquette est banalisée : c'est son association avec un OF qui définit la référence à produire. Comme dans le système kanban, le nombre total d'étiquettes est fixé et il est impossible de lancer un OF en production s'il ne peut être associé à une étiquette disponible. L'étiquette prélevée accompagne l'OF auquel il est associé et n'est libérée qu'une fois achevée la dernière opération de cet OF. Cette étiquette est alors réutilisable pour un OF en attente de lancement.

Ce nombre d'étiquettes est le premier paramètre de pilotage du système (on prendra 10 étiquettes dans une première simulation). Le second paramètre est celui de la taille des lots lancés en production (on prendra des lots de 300 pièces dans une première simulation). La commande d'un client peut être fractionnée en plusieurs OF, chacun d'entre eux pouvant donner lieu à une livraison spécifique, mais, pour simplifier, on considèrera que chaque lot correspond à un OF différent. C'est la combinaison de ces

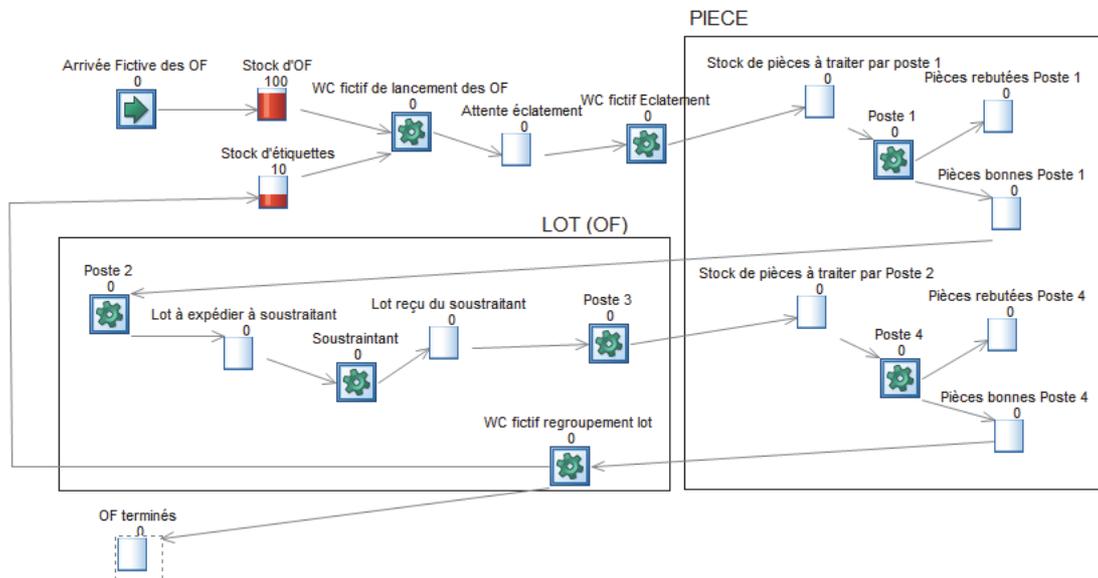
1. Autrement dit un ordre de fabrication (OF) se caractérise par un temps opératoire défini pour chaque poste comme la réalisation d'une variable aléatoire (valeur à stocker dans un label caractérisant l'ordre de fabrication) ; le temps opératoire d'un poste donné est le même pour tous les produits fabriqués dans le cadre d'un même OF. Ces distributions ont été créées dans la simulation à compléter. On ne tiendra pas compte ici du fait qu'une commande peut être fractionnée en plusieurs OF.

deux paramètres qui définit la production maximale mensuelle (autrement dit la capacité de production) et le délai moyen de mise à disposition de la production (OF) au client.

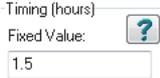
Les informations de gamme, exprimées en heures, sont données dans le tableau suivant (ces distributions ont été créées dans le fichier de simulation que vous devez compléter).

	Poste 1	Poste 2	Soustraction	Poste 3	Poste 4
Nombre de postes (<i>Replicate</i>)	1	1	10	1	1
Temps opératoire unitaire de référence (heure)	0,015	0,04	40 heures (indépendant du nombre de pièces de l'OF)	0,05	0,04
Temps de lancement (heure)	1,5	1,5		1	0,5
Taux de rebut	20%	0%	0%	0%	10%
Intervalle de temps séparant deux pannes successives : loi exponentielle de moyenne (en heures)	200	300	Information inconnue mais le sous-traitant garantit le délai	400	250
Temps de réparation : loi uniforme de paramètres (en heures)	{15-25}	{10-15}		{12-22}	{5-15}

Pour vous faire gagner du temps le fichier de simulation à compléter contient déjà la description générale du système productif, reproduite dans la figure de la page suivantes. Pour vous aider à aller rapidement à l'essentiel (évaluation du paramétrage du CONWIP), plusieurs points techniques méritent d'être évoqués:



- Pour évaluer correctement le fonctionnement, en régime de croisière, du système productif piloté par un CONWIP défini par un nombre d'étiquettes et une taille de lot, il convient d'éviter toute rupture de charge du poste 1. Ce désamorçage se produit si une étiquette est disponible et qu'il n'existe pas d'OF à lancer. Pour éviter ce désamorçage, un stock initial de dix OF a été constitué et la loi des arrivées des OF a été définie pour éviter tout désamorçage avec des combinaisons plausibles des paramètres de pilotage CONWIP. Il est donc normal que vous observiez une accumulation d'OF dans ce «stock d'OF» au cours de la simulation.

- Vous avez intérêt à définir au niveau du *WC fictif de lancement des OF*, l'ensemble des caractéristiques d'un OF (numéro unique d'OF¹, temps opératoires unitaires dans les postes 1 à 4 pour les pièces traitées par cet OF, date de prise en charge de l'OF par le système de production (chrono-marqueur)). Le *WC fictif Eclatement* ne peut normalement travailler que si son stock-aval est vide.
- En raison de la possibilité de rebuts, le fonctionnement des postes 1 et 4 est défini au niveau de la pièce tandis que les postes 2, 3 et le sous-traitant traitent des lots. Chez le sous-traitant, le temps de traitement d'un lot est indépendant de sa taille ; pour les postes 2 et 3, la taille du lot d'un OF correspond au nombre de pièces de l'OF déclarée bonnes à la sortie du poste 1. Il est conseillé de consigner cette information dans la première colonne du tableau Caractéristiques de l'OF déjà créé dans l'*Information Store*, le numéro de ligne de ce tableau correspondant au numéro d'OF. Initialement ce nombre de pièces est égal la taille du lot retenu dans la politique CONWIP ; il est ensuite décrémenté chaque fois qu'une pièce du lot est déclarée non conforme au contrôle. Le regroupement des pièces bonnes pour reconstituer le lot de l'OF (en entrée du Poste 2 et du WC fictif regroupement lot) s'effectue, bien évidemment, avec un *Collect* en *Routing in* à n'exécuter que lorsque toutes les pièces bonnes de l'OF sont réunies dans le stock-amont ; ce *Collect Number*, égal au nombre de pièces bonnes, doit être mis à jour dynamiquement avant toute entrée dans le *work center* considéré.
- Pour mémoire, sous Simul8, la saisie du temps de lancement en production (réglage) s'effectue en partant du bouton  du *work center* concerné, puis en choisissant l'onglet , qui ouvre une fenêtre dans laquelle on saisit cette durée . Le réglage est déclenché sur la base de l'un des critères proposés. Il est conseillé ici de lancer un nouveau réglage lorsque le numéro d'OF change (When Label Changes ). Les données de fiabilité (MTBF ou TBB) et de temps de réparation se définissent en partant du bouton  du *work center* concerné, puis en choisissant le bouton radio Detailed ; la définition de la distribution de probabilités de l'intervalle séparant deux pannes successives se fait avec le bouton  (en laissant cochée l'option MTBF) et celle de la durée de réparation se fait avec le bouton .
- L'évaluation de la performance d'une politique CONWIP implique de stocker durant la simulation, le temps de présence dans le système productif de chaque OF achevé (c'est-à-dire entré dans le stock OF terminés). Cette information peut être consigné dans la seconde colonne du tableau Caractéristiques de l'OF, par un Visual Logic exécuté à l'entrée du stock OF terminés. Il faut également déterminer la production mensuelle, en prenant comme base un mois de 22 jours à 8 heures par jour (soit 176 heures). Pour ce faire, il est suggéré d'utiliser, dans le même programme Visual Logic, le tableau Production mensuelle, dans lequel les mois de production sont repérés en ligne², en cumulant à la production du mois, le nombre

1. L'utilisation de la clause «unique» dans la définition d'une valeur de label d'un item possédant déjà une valeur pour ce label conduit à lui assigner une valeur, sans tenir de la valeur précédente que possédait cet item. Cette observation est utile pour comprendre le fonctionnement de la simulation lorsque les étiquettes sont réutilisées.

de pièces bonnes venant d'être produite. N'oubliez pas de remettre à zéro ces tableaux en début de simulation.

- N'oubliez pas de tenir compte de la duplication des postes. Les temps de transport ont été neutralisés. Le paramétrage par défaut proposé est de 12672 heures (6 ans de fonctionnement), ce qui est un compromis acceptable entre précision et temps de traitement (dans le cadre d'un examen). Aucun warming up n'a été retenu car il est conseillé d'exploiter les informations stockées dans l'Information Store. Pour tenir compte de la montée progressive en régime de croisière, vous pouvez ne stocker les résultats de durée de séjour d'un lot et de production mensuelle qu'à partir du début de la seconde année (Simulation Time > 2112 heures), ce qui conduit à une exploitation effective des résultats de 5 ans de fonctionnement.
- Importez vos résultats sur Excel pour déterminer les caractéristiques (moyennes et écarts-type) de la production mensuelle et de la durée de séjour d'un lot. Quels enseignements tirez-vous de cette simulation ?
- Recommencez avec 15 étiquettes et lot de 300, 10 étiquettes et lots de 200 et 10 étiquettes et lots de 300. Commentez.

2. Pour déterminer le numéro de mois de sortie du lot venant d'être terminé, utilisez la séquence suivante d'instructions qui s'appuie sur des mois à 176 heures: SET mois = Simulation Time/176; SET mois = mois +0.5; SET mois = ROUND[mois], dans laquelle mois est une variable définie dans l'Information Store.