Outils de prévision de la demande (OPD) et pratiques de réduction des stocks

Nicolas Houy et Thomas Houy

Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/rei/5436>

DOI : 10.4000/rei.5436

ISSN : 1773-0198

Éditeur

De Boeck Supérieur

Édition imprimée

Date de publication : 15 septembre 2012

Pagination : 27-47

ISSN : 0154-3229

Référence électronique

Nicolas Houy et Thomas Houy, « Outils de prévision de la demande (OPD) et pratiques de réduction des stocks », *Revue d'économie industrielle* [En ligne], 139 | 3ème trimestre 2012, mis en ligne le 15 septembre 2014, consulté le 02 juin 2022. URL : <http://journals.openedition.org/rei/5436> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/rei.5436>

OUTILS DE PRÉVISION DE LA DEMANDE (OPD) ET PRATIQUES DE RÉDUCTION DES STOCKS

Mots-clés : Outils de Prévision de la Demande (OPD), Stocks, Complémentarité stratégique, Substituabilité stratégique.

Key words : Demand Forecasting Tools, Stockpiling, Strategic Complementarity, Strategic Substitutability.

I. — INTRODUCTION

Depuis plusieurs années, les grandes entreprises ont souhaité aller vers une plus grande prévision de la demande afin de limiter leurs coûts liés à la détention de stocks de précaution (Giard et Mendy, 2007). Dans cette perspective, elles se sont engagées vers des formes de contrat sur lesquels figurent des informations précises sur le volume, la composition et la date de livraison des biens produits.

Cette observation suggère une tendance naturelle des entreprises à vouloir encadrer la demande qui s'adresse à elles. Les entreprises peuvent en effet vouloir se rapprocher de leurs clients pour limiter les risques associés à un changement imprévu de la demande, ce qui par extension les autorise à se séparer d'une partie de leurs stocks de précaution. L'objet de cet article va être de démontrer que le passage d'un comportement de protection à un comportement de prévision n'est pas toujours neutre. Nous allons montrer dans cet article que les comportements de protection et de prévision ne sont pas parfaitement substituables. Ils sont même complémentaires dans de nombreux cas que nous caractériserons.

Une firme multi produit qui ne connaît pas la structure de sa demande fait face à des risques élevés de non-satisfaction de la demande. Pour limiter ces

risques, la firme peut décider de i) se protéger en constituant des stocks et/ou ii) d'anticiper en prévoyant la demande.

Si la firme décide de se protéger en constituant des stocks, ces stocks sont alors une production intentionnelle (1). Leur niveau est optimisé par le producteur qui souhaite minimiser les risques de rupture de stock (2) tout en limitant les coûts liés au stockage (Kahn, 1992, Krane, 1994, Ramey, 1991, West, 1986).

Si la firme décide d'anticiper sur la structure de sa demande, elle peut acheter ce qu'on appellera génériquement un Outil de Prévision de la Demande (OPD). Sur un plan pratique, elle peut par exemple choisir d'acquérir un Advanced Planning System (APS) et ainsi utiliser le module de prévision intégré à ce type d'outil. Les modules de prévision intégrés aux APS permettent une connaissance plus fine de la composition de la demande à venir par le traitement des données historiques de l'entreprise et/ou d'informations sur l'environnement dans lequel évolue l'entreprise. Ces modules reposent le plus souvent sur des algorithmes complexes utilisant les statistiques bayésiennes et les méthodes d'échantillonnage avancées. Les APS peuvent également être accessibles en écriture pour les clients de manière à ce qu'ils puissent y saisir certaines informations impactant leurs propres prévisions de demande.

L'objectif de cet article est d'une part de caractériser les cas où les Outils de Prévision de la Demande (OPD) et les stocks sont substituables et d'autre part de mettre en évidence les situations où ils sont complémentaires. Il apparaît intuitif de penser qu'une firme multi produit ayant la possibilité de prévoir parfaitement la structure de sa demande n'a plus besoin de se protéger en constituant des stocks de précaution puisque les caractéristiques de la demande à venir deviennent prévisibles. Mais qu'en est-il lorsque les prévisions de l'entreprise sur la composition de sa demande sont imparfaites ? Face à une structure de la demande changeante et en présence de prévisions imparfaites, nous montrerons que l'entreprise maximise (dans certains cas) son profit en détenant un outil de prévision de la demande et en maintenant des stocks de précaution. Ce résultat souligne le caractère parfois complémentaire des com-

- (1) Dans cet article, les stocks sont envisagés comme une sécurité permettant à l'entreprise de livrer ses clients en cas de changement imprévu de la composition de la demande. Cette propriété classique dévolue aux stocks a déjà été considérée par plusieurs auteurs, parmi lesquels Guide et Srivastava (2000), Lowerre (1985), Wemmerlov (1986) et Krupp (1987). Notons cependant que la littérature en économie/gestion attribue des vertus supplémentaires aux stocks de sécurité. L'entreprise peut par exemple vouloir constituer ces stocks pour être protégée en cas de défaillances de ses processus de production (Ho, Law and Rampal, 1995, Vargas and Dear, 1991), d'incertitude sur les délais de livraison (Chiu and Huang, 2003) ou de problèmes fournisseurs (Koh, Saadji and Jones, 2002).
- (2) Les risques de rupture de stock sont les risques associés à la non-détention et donc à la non-livraison d'un bien demandé par un consommateur.

portements de protection et de prévision. Cette complémentarité s'explique par la possibilité donnée à l'entreprise qui prévoit, même imparfaitement, de mieux se protéger.

Depuis l'article séminal de Harris (1913), de nombreuses études ont pour but de déterminer le niveau optimal des stocks d'une entreprise (Dannerstedt, 1955, Holt *et al.*, 1955, Hansmann and Hess, 1960, Goodman, 1974, Taubert, 1968, Bowman, 1956, Bowman, 1963, Jones, 1967). Ces modèles prennent en compte de nombreuses variables et sont donc résolus grâce à des méthodes de simulation. Certains font des hypothèses *ad hoc* sur la relation entre la constitution de stocks et la prévision de la demande. Au contraire, notre but sera d'écrire un modèle heuristique montrant la complexité des relations entre les comportements de protection et de prévision d'une firme faisant face à une demande dont la composition est incertaine. À notre connaissance, nous proposons le premier modèle où le choix entre l'acquisition d'un OPD et la constitution de stocks est endogène.

Cet article est organisé en deux parties. Dans la première partie, nous posons un modèle représentant une entreprise faisant face à un double choix : installer ou non un OPD et/ou constituer ou non des stocks. Dans la seconde partie, nous présentons nos résultats. Nous montrons entre autres que les stocks et les OPD peuvent être des biens substituables ou complémentaires.

II. — MODÈLE

On considère une entreprise produisant un bien sans coût. Ce bien peut être de caractéristique *A* ou *B*. L'objectif de l'entreprise est de maximiser son profit. Pour cela, l'entreprise souhaite satisfaire toute la demande qui s'adresse à elle. Cette demande est composée de 3 biens, chacun de ces biens pouvant être de caractéristique *A* ou *B*.

Dans ce modèle, nous allons considérer trois périodes : la période (0a), la période (0b) et la période (1).

En période (0a), l'entreprise va prendre deux décisions.

1) D'abord, l'entreprise va choisir d'acheter, ou de ne pas acheter, un Outil de Prévision de la Demande (OPD). Le coût d'un Outil de Prévision de la Demande est $K > 0$. Si l'entreprise acquiert un Outil de Prévision de la Demande, elle bénéficiera en période (0b) d'une information parfaite sur les caractéristiques (*A* ou *B*) de 2 biens sur les 3 biens demandés. Si l'entreprise n'acquiert pas d'Outils de Prévision de la Demande, en période (0b), elle ne connaîtra que la caractéristique (*A* ou *B*) du premier bien demandé. L'acquisition d'un outil de prévision de la demande permet donc à l'entreprise de passer d'une connaissance sur les caractéristiques d'un tiers des biens

demandés à une connaissance sur les caractéristiques de deux tiers des biens demandés.

2) Ensuite, l'entreprise va choisir une taille étendue ou réduite de stocks. Le coût pour étendre la taille des stocks est $c > 0$. Si l'entreprise choisit une taille de stocks réduite, elle pourra produire 3 unités du bien, chacune pouvant être de caractéristique A ou B . Si l'entreprise choisit une taille de stocks étendue, elle pourra produire 4 unités du bien, chacune pouvant être de caractéristique A ou B .

En période (0b), l'entreprise acquiert les informations sur les caractéristiques des biens demandés (3) et décide de sa production. On notera $(a^o, b^o)^o$ la production de l'entreprise avec a^o le nombre d'unités du bien produit de caractéristique A et b^o le nombre d'unités du bien produit de caractéristique B .

En période (1), la demande s'exprime et l'entreprise vend alors les unités de biens qu'elle détient. Autrement dit, l'entreprise satisfait la demande si elle possède dans ses stocks les biens de même caractéristique que ceux qui lui sont demandés.

Le timing de notre modèle est résumé par la figure 1 :

La demande présente une structure montrant une corrélation α . Ainsi, $\forall i \in \{1, 2\}$, si la caractéristique du $i^{\text{ème}}$ bien demandé est $d_i \in \{A, B\}$, alors la

FIGURE 1 – Timing du modèle considéré dans cet article

- (3) Pour rappel : si en période (0a), l'entreprise avait décidé d'installer un OPD, les caractéristiques des deux premiers biens demandés sont connues par l'entreprise. Si en période (0a), l'entreprise avait décidé de ne pas installer d'OPD, seule la caractéristique du premier bien demandé est connue par l'entreprise. Le fait que l'entreprise observe toujours la caractéristique du premier bien demandé est posé pour simplifier les résultats. Ne pas poser cette hypothèse ne modifierait pas substantiellement nos résultats. On considère que la firme connaît les caractéristiques pertinentes du marché quand elle se lance dans la production.

caractéristique du $(i+1)^{\text{ème}}$ bien demandé, d_{i+1} , est égale à d_i avec une probabilité α .

En considérant tous les cas,

- la probabilité que la caractéristique du 2^{ème} bien demandé soit A si la caractéristique du 1^{er} bien demandé a été A est α ;
- la probabilité que la caractéristique du 2^{ème} bien demandé soit B si la caractéristique du 1^{er} bien demandé a été B est α ;
- la probabilité que la caractéristique du 2^{ème} bien demandé soit B si la caractéristique du 1^{er} bien demandé a été A est $1 - \alpha$;
- la probabilité que la caractéristique du 2^{ème} bien demandé soit A si la caractéristique du 1^{er} bien demandé a été B est $1 - \alpha$;
- la probabilité que la caractéristique du 3^{ème} bien demandé soit A si la caractéristique du 2^{ème} bien demandé a été A est α ;
- la probabilité que la caractéristique du 3^{ème} bien demandé soit B si la caractéristique du 2^{ème} bien demandé a été B est α ;
- la probabilité que la caractéristique du 3^{ème} bien demandé soit B si la caractéristique du 2^{ème} bien demandé a été A est $1 - \alpha$;
- la probabilité que la caractéristique du 3^{ème} bien demandé soit A si la caractéristique du 2^{ème} bien demandé a été B est $1 - \alpha$.

Ainsi, quand $\alpha = 1/2$, les caractéristiques des 3 biens composant la demande sont totalement aléatoires, ce sont des événements indépendants. Si $\alpha > 1/2$, la demande présente une certaine inertie dans sa structure. Si $\alpha < 1/2$, la demande a une variabilité plus élevée que le processus non corrélé.

On notera $(a^d, b^d)^d$ la demande totale avec a^d le nombre d'unités du bien de type A demandées et b^d le nombre d'unités du bien de type B demandées.

Sans perte de généralité, on fixe le prix du bien à 1. Formellement, si la production de l'entreprise est donnée par $(a^o, b^o)^o$ et la demande est donnée par $(a^d, b^d)^d$, alors la recette *ex post* de l'entreprise est donnée par :

$$\min\{a^o, a^d\} + \min\{b^o, b^d\}.$$

Pour résumer, en période (0a), l'objectif de l'entreprise est de décider de l'installation ou non d'un OPD et/ou de stocks étendus en maximisant son espérance de profit. En période (0b), l'objectif de l'entreprise est de décider des caractéristiques de sa production (3 unités si l'entreprise a décidé de ne pas installer de stocks étendus en période 0a et 4 unités si l'entreprise a décidé

d'installer des stocks étendus en période 0a) en maximisant son espérance de profit quand elle observe la caractéristique du 1^{er} bien demandé (dans tous les cas) et la caractéristique du 2^{ème} bien demandé si l'entreprise a décidé d'installer un OPD en période 0a. Le coût d'un OPD est $K > 0$. Le coût pour étendre la taille des stocks est $c > 0$.

À titre d'illustration, nous pouvons représenter une configuration possible du modèle à l'aide de la figure 2. Cette figure montre un cas où la demande est composée de deux unités de biens de caractéristique A et d'une unité de bien de caractéristique B. La demande est en effet « ABA ». L'entreprise a choisi d'acquérir un outil de prévision de la demande. Elle observe donc les caractéristiques des deux premières unités demandées. Ainsi, elle sait que les deux premières caractéristiques des 3 biens demandés sont A et B. L'entreprise a par ailleurs choisi une taille étendue de stocks. Elle peut ainsi produire quatre unités de biens. Considérons dans cet exemple que l'entreprise décide de produire « ABBA ». Autrement dit, considérons dans cet exemple que l'entreprise produise deux unités de biens de caractéristique A et deux unités de biens de caractéristique B. Alors, dans cette situation précise, l'entreprise satisfait toute la demande.

FIGURE 2 – Représentation d'une configuration possible du modèle

Une autre manière de présenter le modèle consiste à mettre en évidence les différentes stratégies possibles de l'entreprise en considérant un α donné. Nous utilisons la figure 3 pour proposer cette représentation du modèle. Y figure un arbre de décision pour une entreprise lorsque $\alpha = 1/2$. Cette manière de représenter le modèle nécessite d'émettre une hypothèse sur la composition *in fine* de la demande. Nous considérerons ici que la demande *in fine* sera « ABA ».

FIGURE 3 – Représentation des différentes stratégies possibles de l'entreprise lorsque $\alpha = 1/2$. Nous considérons sur cette figure que la demande in fine (i.e. en période (1)) sera « ABA »

III. — RÉSULTATS

Les décisions optimales d'installation d'un OPD ou de stocks étendus sont caractérisées sur les figures 4, 5, 6 et 7 pour plusieurs valeurs de c , K et α (4). La figure 4 identifie ces décisions pour $K = 0.06$, c variant entre 0 et 0.8 et α variant entre 0 et 1. Une zone dénommée mn avec $m, n \in \{0, 1\}$ est une zone où l'entreprise installe un OPD si et seulement si $m = 1$ et des stocks étendus si et seulement si $n = 1$. Par exemple pour $K = 0.06$, $c = 0.2$ et $\alpha = 0.4$, on est dans une zone 11 où l'entreprise installe donc un OPD et des stocks étendus. En revanche, pour $K = 0.06$, $c = 0.6$ et $\alpha = 0.4$, on est dans une zone 00 où l'entreprise n'installe ni OPD ni stocks étendus.

La figure 5 est identique à la figure 4 à cela près que le paramètre K y est plus élevé, $K = 0.5$. En fait, le prix K de l'OPD est tellement élevé que l'entreprise n'en acquiert jamais.

- (4) Le gain de l'entreprise dans tous les cas est donné dans les preuves à la fin de cet article. Sur les figures 4, 5, 6 et 7, nous choisissons des valeurs de K et c telles que les figures puissent représenter toutes les situations optimales pour l'entreprise. Par exemple, sur la figure 4, nous faisons varier c entre 0 et 0,8 pour que cette figure puisse montrer les cas où l'entreprise décide d'acquérir ou de ne pas acquérir un OPD en présence ou en l'absence d'une taille de stocks étendue.

*FIGURE 4 – Décisions d'installation d'un OPD
et de stocks étendus en fonction de c et α , pour $K = 0,06$*

*FIGURE 5 – Décisions d'installation d'un OPD
et de stocks étendus en fonction de c et α , pour $K = 0,5$*

Les figures 6 et 7 sont identiques aux figures 4 et 5 sinon qu'on y fait varier K et que c est fixé ($c = 0.15$ dans la figure 6 et $c = 0.5$ dans la figure 7).

*FIGURE 6 – Décisions d'installation d'un OPD
et de stocks étendus en fonction de K et α , pour $c = 0,15$*

Nous allons dans un premier temps étudier ces figures. Nous voyons bien évidemment que quand le coût d'installation d'un OPD devient très important (figure 5), il n'existe pas de cas où l'on en installe un. De même, quand le coût de constitution de stocks étendus devient très important (figure 7), il n'existe pas de cas où l'on en constitue.

Naturellement, dans chacune des figures, la question de l'installation d'un OPD et/ou de stocks étendus ne se pose pas quand α s'approche trop de 0 ou 1. En effet, dans ces cas, les caractéristiques de la demande deviennent presque certaines et on rend très faible la probabilité de se tromper quand on anticipe la structure de la demande. L'incitation à installer un OPD ou des stocks est donc nulle et, si leur prix est non nul, alors il ne peut pas être optimal d'en installer pour se prémunir contre l'incertitude liée à la structure de la demande.

On peut également voir, ce qui peut paraître contre-intuitif, que les figures ne sont pas symétriques par rapport à $\alpha = 1/2$. Pour illustrer la raison qui explique ce fait, étudions la figure 4 ($K = 0.06$) avec un c tendant vers l'infini. Comme le coût d'installation de stocks étendus tend vers l'infini, l'entreprise n'en installera jamais. Se pose alors pour elle seulement la question de l'installation d'un OPD.

Si α est proche de 1, alors sans OPD, l'entreprise prévoit que très certainement, les trois unités de bien qui lui seront demandées seront de même caractéristique, posons A. Elle produira alors trois unités de bien de caractéristique

*FIGURE 7 – Décisions d'installation d'un OPD
et de stocks étendus en fonction de K et α , pour $c = 0,5$*

A. Mais avec une faible probabilité, la caractéristique de la deuxième unité de bien demandée sera B et alors la suivante sera très certainement B également. Dans ce cas d'erreur de prédiction, l'entreprise ne peut pas répondre à deux demandes.

Si α est proche de 0, alors sans OPD, l'entreprise prévoit que très certainement, les trois unités de bien qui lui seront demandées seront de caractéristiques alternées. Posons A la caractéristique de la première unité demandée. L'entreprise s'attend alors à ce qu'on lui demande, pour les périodes suivantes, une unité de type A et une de type B . Elle produira alors deux unités de bien de caractéristique A et une de caractéristique B .

Mais avec une faible probabilité, en considérant la même erreur que précédemment, la caractéristique de la deuxième unité de bien demandée sera A et alors la suivante sera très certainement B . Dans ce cas, l'entreprise peut toujours répondre aux trois demandes.

Ainsi, quand α est très petit, l'entreprise ne gagne rien à l'installation d'un OPD car même une erreur de sa part n'entraîne pas de défaut de satisfaction de la demande. En revanche, comme nous l'avons vu, pour de grandes valeurs de α , une erreur de prédiction de la seconde demande, même si la probabilité en est faible, peut avoir des conséquences importantes et l'entreprise a alors intérêt à installer un OPD pour éviter cette erreur de prédiction. Le même raisonnement est valable pour justifier que l'installation de stocks étendus n'est

pas symétrique par rapport à $\alpha = 1/2$ dans la figure 6. Il est utile de remarquer que cet effet est contingent à la présence d'une variété relativement faible des biens produits. S'il existait une diversité importante dans les caractéristiques des biens produits, la portée du présent argument serait diminuée.

Revenons maintenant à la principale motivation de notre étude. Elle traite du caractère substituable et/ou complémentaire de l'installation de stocks étendus et d'OPD. Comme il est usuel, nous dirons que l'installation d'un OPD est substituable à l'installation de stocks étendus quand l'augmentation du prix de l'installation de stocks étendus (augmentation de c) entraîne une installation (demande croissante) d'OPD ou quand l'augmentation du prix de l'installation d'un OPD (augmentation de K) entraîne une installation (demande croissante) de stocks étendus. Au contraire, nous dirons que l'installation d'un OPD est complémentaire à l'installation de stocks étendus quand l'augmentation du prix de l'installation de stocks étendus (augmentation de c) entraîne une désinstallation (demande décroissante) d'OPD ou quand l'augmentation du prix de l'installation d'un OPD (augmentation de K) entraîne une désinstallation (demande décroissante) de stocks étendus.

Nous allons montrer que selon les valeurs de K et de α , l'installation d'un OPD peut être complémentaire ou substituable à l'installation de stocks étendus.

Dans la figure 4 et donc avec $K = 0.06$, pour $\alpha = 0.96$, quand on augmente c , on passe d'une zone 01 à une zone 10. On a donc une installation de l'OPD quand le prix des stocks étendus augmente. Pour ces valeurs, les stocks étendus et l'OPD sont donc substituables. Nous pouvons également voir cette substituabilité dans la figure 6 ($c = 0.15$) pour $\alpha = 0.88$. Quand on augmente K , on passe d'une zone 10 à une zone 01. On a donc une installation des stocks étendus quand le prix de l'OPD augmente. Pour ces valeurs aussi, les stocks étendus et l'OPD sont substituables.

La raison pour laquelle les stocks étendus et l'OPD sont substituables dans certains cas est assez intuitive. Les stocks étendus et l'OPD ont le même but pour l'entreprise, c'est-à-dire de permettre à l'entreprise de satisfaire le plus d'unités demandées. On peut alors facilement imaginer que si l'efficacité d'un des deux instruments est suffisamment forte alors, celui-ci suffit pour l'entreprise. Ainsi, si la hausse de son prix le rend trop cher, alors le second instrument est utilisé pour le remplacer. Par exemple, pour certaines valeurs de α importantes, les stocks et l'OPD séparément permettent à l'entreprise de satisfaire la demande pour les trois périodes presque certainement, et donc il y a peu d'incitations à consommer les deux. Alors, si c est faible, l'entreprise installera des stocks mais pas d'OPD. Si on augmente c suffisamment par rapport à K fixé, alors l'entreprise aura intérêt à plutôt installer un OPD, relativement moins cher et de ne pas installer de stocks dont l'utilité marginale est très faible en présence d'OPD.

Maintenant, considérons $K = 0.06$. Nous pouvons voir alors dans la figure 4, que pour $\alpha = 0.4$, quand on augmente c , on passe d'une zone 11 à une zone 00. On a donc une désinstallation de l'OPD quand le prix des stocks étendus augmente. Pour ces valeurs, les stocks étendus et l'OPD sont donc complémentaires. Nous pouvons également voir cette complémentarité dans la figure 6 ($c = 0.15$) pour $\alpha = 0.18$. Quand on augmente K , on passe d'une zone 11 à une zone 00. On a donc une désinstallation des stocks étendus quand le prix de l'OPD augmente. Pour ces valeurs aussi, les stocks étendus et l'OPD sont complémentaires.

La complémentarité de l'OPD et des stocks pour certaines valeurs est certainement plus difficile à comprendre et moins intuitive. Pour l'expliquer montrons que l'effet de l'OPD peut être nul sans stocks mais positif avec stocks. Ainsi, on montrera qu'il y a complémentarité stratégique entre les consommations de stocks étendus et d'OPD et ainsi, complémentarité au sens donné plus haut. Pour cela, prenons $\alpha = 1/2$.

Si l'entreprise a un OPD et des stocks étendus, alors si les deux premières caractéristiques demandées sont $d_1 = d_2 = A$ (resp. $d_1 = d_2 = B$), en produisant trois biens de type A (resp. B) et un bien de type B (resp. A), elle satisfera toujours toute la demande. Si les deux premières caractéristiques demandées sont différentes, $d_1 \neq d_2$, en produisant deux biens de type A et deux biens de type B , l'entreprise satisfera toujours toute la demande. Ainsi, quel que soit le cas, l'entreprise satisfait toujours toute la demande si elle a des stocks et un OPD.

Si l'entreprise a des stocks étendus mais pas d'OPD, alors, le meilleur résultat est obtenu quand l'entreprise produit deux unités de bien de chaque caractéristique (5). Mais dans ce cas, l'entreprise ne peut pas toujours satisfaire toute la demande. En effet, si la demande est telle que $d_1 = d_2 = d_3$, ce qui arrive avec probabilité $\alpha^2 = 1/4$, alors l'entreprise est prise une fois en défaut. Ainsi, en comparant ces deux cas particuliers, l'OPD a un effet positif quand il y a des stocks étendus.

Considérons maintenant le cas où l'entreprise n'a pas de stocks et un OPD. L'entreprise observe alors d_1 et d_2 avant de décider de sa production. Sa stratégie est alors de produire deux unités de bien de caractéristique d_1 et d_2 et de produire une autre unité de type quelconque. L'entreprise est alors évidemment prise à défaut pour une unité avec une probabilité $1/2$.

Considérons le cas où l'entreprise n'a pas de stocks et pas d'OPD. L'entreprise observe alors seulement d_1 avant de décider de sa production. Sa stratégie est alors de produire deux unités de bien de caractéristique d_1 et une

- (5) Voir les preuves à la fin de cet article. On pourra y voir que la production de trois unités de caractéristique d_1 et d'une unité de caractéristique différente de d_1 donne la même performance à l'entreprise.

unité de type différent de d_1 . L'entreprise est alors en mesure de satisfaire toute la demande si $d_2 \neq d_3$ ce qui arrive avec une probabilité 1/2. Elle est prise en défaut d'une unité si $d_2 = d_3$, ce qui arrive avec une probabilité 1/2. Ainsi, en comparant les deux derniers cas, on voit que l'installation d'un OPD est sans conséquence s'il n'y a pas de stocks étendus.

Ainsi, l'incitation à installer un OPD peut être plus importante quand il y a des stocks étendus que quand il n'y en a pas. On peut ainsi expliquer une complémentarité stratégique entre les consommations de stocks et d'OPD. Il existe donc un prix de l'OPD suffisamment faible pour lequel il est rentable d'installer un OPD quand il y a des stocks mais de ne pas en installer quand il n'y a pas de stocks.

Conformément aux résultats de notre modèle, la présence de stocks et la détention d'un OPD peuvent donc, dans certains cas, être complémentaires pour l'entreprise. Cette proposition se justifie par le fait qu'il existe des synergies entre les stocks et les OPD. En effet, si la présence d'un OPD permet, par définition, de prévoir la structure de la demande, il permet également une meilleure gestion de ses stocks au sens où l'entreprise sait désormais quel produit stocker et donc comment se protéger de manière optimale. Cette capacité des outils de prévision de la demande à aider la gestion des stocks de l'entreprise n'est pas toujours connue. Pourtant, elle remet en cause l'hypothèse intuitive de substituabilité parfaite entre les comportements de protection et de prévision de l'entreprise. En réalité, prévoir la structure de demande n'autorise pas l'entreprise à ne pas se protéger, car prévoir la structure de la demande permet à l'entreprise de mieux se protéger. La compréhension des liens entre les pratiques de réduction des stocks et les outils de prévision de la demande doit se faire à la lumière de ce résultat. Les OPD ne sont pas seulement un moyen pour l'entreprise de se couvrir partiellement contre les risques qu'elles encourent en se séparant de ses stocks, ils sont également un moyen de gérer de manière optimale ses stocks.

Ce résultat sur l'intérêt des OPD pour une entreprise qui dispose d'une taille de stockage étendue vient naturellement compléter les autres avantages couramment attribués aux outils de prévision. Par-delà le transfert d'informations utiles pour la constitution de stocks de précaution adéquates, les OPD sont en effet souvent utilisés pour dimensionner l'appareil productif, lisser la charge en production, anticiper sur les commandes fournisseurs ou encore, sur un plan financier, identifier ses futurs besoins en fonds de roulement.

IV. — LIMITES ET EXTENSIONS

Le modèle présenté montre deux limites qu'il nous appartient de discuter. La première tire son origine du timing du jeu. L'entreprise produit tous ses biens en période (0b) et les vend en période (1). La firme produit ainsi pour remplir ses stocks et ne peut en aucun cas réajuster sa production en fonction du temps

et de ses éventuelles erreurs d'anticipation sur la composition de la demande. Le programme de production de l'entreprise n'est donc pas déterminé en régime de croisière. Il est décidé *ex ante*. Toutes choses égales par ailleurs, cette hypothèse est fondamentale au sens où son relâchement empêcherait tout résultat de complémentarité entre les Outils de Prévision de la Demande et les stocks. En effet, s'il était donné à l'entreprise la possibilité de réajuster sa production au cours du temps, il lui suffirait de produire à chaque période un bien de caractéristique différente de celui qu'elle détient en stock pour être certaine de pouvoir satisfaire toute la demande. Dans ce cas, la présence de stocks constituerait à elle seule une garantie absolue de satisfaire la demande. Or, la complémentarité entre deux actions ne peut exister que si leur exécution simultanée procure à l'agent une utilité supérieure à la somme de leurs effets pris individuellement. Si la réalisation d'une action (ici la constitution de stocks) procure déjà une utilité totale à l'entreprise (garantie absolue de satisfaire toute la demande), alors l'accomplissement supplémentaire d'une autre action (ici l'acquisition d'un OPD) ne pourra pas venir augmenter l'utilité de l'entreprise. L'un des résultats de notre modèle selon lequel il existe des cas où les OPD et les stocks sont complémentaires est donc à comprendre à l'aune du timing de production suggéré dans le modèle. Une extension du modèle pourrait être proposée pour laisser la possibilité à l'entreprise de prendre des décisions en régime de croisière. Pour les raisons qui viennent d'être évoquées, il faudrait alors formuler des hypothèses telles que la présence de stocks ne devienne pas une garantie absolue de satisfaire la demande. Une manière de procéder pourrait consister à augmenter le nombre de caractéristiques des produits demandés (A, B, C, D...). Le nombre de caractéristiques stockées deviendrait alors inférieur au nombre de caractéristiques possiblement demandées. Les stocks ne seraient plus une garantie absolue de satisfaire toute la demande, ce qui valoriserait les Outils de Prévision de la Demande compte tenu de leur capacité à apporter à l'entreprise des informations utiles sur la composition de la demande à venir et par extension sur la nature des biens à stocker. Il faudrait certainement adopter une approche markovienne dans la détermination des solutions analytiques si le plan de production pouvait être actualisé et modifié dans le temps.

La deuxième limite du modèle provient de l'absence de répétition dans le jeu proposé. Si le jeu se répétait, le programme de production de l'entreprise à la période (2b) devrait prendre en considération les biens non vendus par l'entreprise à la période (1). En considérant des coûts de production strictement positifs (6), répéter le jeu inciterait davantage l'entreprise à étendre sa taille de stocks car les stocks acquerraient un intérêt supplémentaire pour l'entreprise. En effet, la présence de stocks permettrait toujours à l'entreprise de se proté-

(6) Par souci de simplification du modèle, nous avons considéré une production sans coûts. Cette hypothèse n'impactait pas nos résultats et facilitait les démonstrations. Toutefois, dans le cas d'un jeu répété, il faudrait relâcher cette hypothèse car elle deviendrait trop forte.

ger contre une erreur d'anticipation sur la composition de la demande à venir mais elle autoriserait également l'entreprise à stocker les produits non vendus à la période précédente. La non-satisfaction de la demande deviendrait alors moins coûteuse pour l'entreprise car le bien produit et non vendu pourrait être entreposé pour trouver acquéreur à la période suivante sans coût de production supplémentaire. Une extension du modèle pourrait donc être proposée en ce sens.

Sans apparaître comme des limites, quatre autres hypothèses du modèle peuvent être discutées.

Nous avons considéré un modèle avec une demande de trois unités de bien. C'est le nombre le plus faible de biens qu'il faut considérer pour observer la complémentarité dont il est question dans cet article. En effet, s'il n'y avait que deux biens demandés, alors une entreprise ayant un OPD ou des stocks satisferait toujours toute la demande. Il y aurait donc pour une firme potentiellement une incitation à disposer d'une capacité de stockage étendue ou un OPD mais jamais les deux ensemble. Toute complémentarité ne pourrait donc pas être obtenue. La même remarque pourrait être faite si, dans le modèle tel qu'il est posé dans cet article, un outil de prévision de la demande permettait de prévoir les caractéristiques des trois unités de biens demandés.

Dans notre modèle, la structure de la demande est inconnue. Cependant, le volume total de la demande est constant (trois biens demandés dans notre modèle). Il est évident qu'avec l'hypothèse de coûts de production nuls que nous avons posée, une demande dont la quantité totale serait incertaine (en plus de la ventilation incertaine) ne changerait pas les résultats exposés dans cet article. Avec des coûts de production non nuls, la question nouvelle qui serait posée à la firme serait alors celle de la production de moins de trois unités. Nous ne pensons pas que l'ajout d'un paramètre sur la quantité de la demande aiderait à la compréhension des rapports entre stocks et OPD.

Nous avons considéré le problème dans un cadre discret, par exemple dans le cas où un OPD permet de connaître parfaitement la caractéristique du deuxième bien demandé. En réalité, il existe toute une palette d'OPD plus ou moins chers permettant de prévoir plus ou moins sûrement la structure de la demande. Bien évidemment, notre but dans cet article étant de montrer qu'il existe des cas où les OPD et les stocks sont des biens complémentaires et des cas où les OPD et les stocks sont des biens substituables, ces résultats ne seraient pas modifiés en considérant des variables continues.

Enfin, dans notre modèle, l'entreprise a un comportement de maximisation de l'espérance de son profit. Elle est donc neutre au risque. Par exemple, l'entreprise considère une situation où elle serait prise en défaut d'une unité avec une probabilité 1/2 strictement équivalente à une situation où elle serait prise en défaut de deux unités avec une probabilité 1/4. En réalité, les entreprises peuvent attacher une grande importance à leurs taux de service. Dans ce cas,

les entreprises ne pilotent plus leurs décisions par le seul critère de l'espérance de profit mais aussi par la réduction du nombre de fois où elles ne pourront pas livrer leurs clients. Autrement dit, certaines entreprises peuvent montrer une aversion pour le risque. L'un des avantages du modèle présenté dans cet article est de proposer un résultat consistant que l'entreprise soit neutre au risque ou averse au risque. Pour en faire la démonstration, il suffit de reprendre le cas développé dans l'article où $\alpha = 1/2$ (7).

Lorsque l'entreprise ne dispose pas de stocks étendus, nous avons montré que l'acquisition d'un OPD ne modifiait ni son profit, ni le nombre de fois où elle était prise en défaut (1 fois). Une entreprise averse au risque considérera donc ces deux situations comme équivalentes. En revanche, lorsque l'entreprise dispose de stocks étendus, nous avons montré que l'acquisition d'un OPD vient à la fois réduire le nombre de fois où l'entreprise est prise en défaut (de 1 fois à 0 fois) mais conduit également à une augmentation du profit. Le risque est donc réduit pour l'entreprise, ce qui amènera une entreprise adverse au risque à préférer la situation où elle n'est jamais prise en défaut plus réduite. Si l'entreprise pilote ses décisions par le nombre de fois où elle sera prise en défaut plutôt que par l'espérance de profit, elle prendra exactement les mêmes décisions qu'une entreprise neutre au risque. Finalement, le résultat d'une complémentarité (dans certains cas) entre les OPD et les stocks est robuste si nous considérons une entreprise averse au risque.

V. — CONCLUSION

Grâce à un modèle heuristique, nous avons montré que la substituabilité intuitive entre les comportements de protection et de prévision pour une firme faisant face à une demande de caractéristique incertaine est très peu évidente. En effet, nous avons montré qu'il existe des cas où ces deux comportements sont complémentaires.

Pour ce qui concerne les entreprises qui adoptent des pratiques de réduction de leurs niveaux de stocks, nous pouvons tirer plusieurs enseignements de cette modélisation. Le fait de se séparer d'une grande partie de ses stocks comporte des risques. Pour limiter ces risques, l'entreprise peut décider d'acquérir un OPD. Et, comme nous le montrons dans le modèle, si l'entreprise ne dispose pas de stocks, alors l'acquisition d'un OPD permettra à l'entreprise de se couvrir contre les changements de structure de la demande. Cependant, nous montrons également que les comportements de prévision (acquisition d'un OPD) et de protection (constitution de stocks) ne sont pas parfaitement substituables. Par conséquent, si l'entreprise se sépare de ses stocks, elle ne pourra pas se couvrir totalement en achetant un OPD.

(7) Nous avons pris ce cas en exemple pour établir la démonstration d'une complémentarité possible entre les OPD et les stocks.

RÉFÉRENCES

- BOWMAN E. (1956), « Production Scheduling A Search Decision Rule for the Aggregate Scheduling Problem », *Operations Research*, vol. 4, n° 1, pp. 100-103.
- BOWMAN E. (1963), « Consistency and Optimality in Managerial Decision Making », *Management Science*, vol. 9, n° 2, pp. 310-321.
- CHIU H. and HUANG H. (2003), « A multi-echelon integrated JIT inventory model using the time buffer and emergency borrowing policies to deal with random delivery lead times », *International Journal of Production Research*, vol. 41, pp. 2911-2931.
- DANNERSTEDT G. (1955), « Production Scheduling for an Arbitrary Number of Periods Given the Sales Forecast in the Form of a Probability Distribution », *Journal of the Operations Research Society of America*, vol. 3, n° 3, pp. 300-318.
- GIARD V. et MENDY G. (2007), « De l'approvisionnement synchrone à la production synchrone dans la chaîne logistique », *Revue Française de Gestion*, vol. 33, n° 171, pp. 65-88.
- GOODMAN D. (1974), « Goal Programming Approach to Aggregate Planning of Production and Work Force », *Management Science*, vol. 20, n° 12, pp. 1569-1575.
- GUIDE V. and SRIVASTAVA R. (2000), « A review of techniques for buffering against uncertainty with MRP systems », *Production Planning and Control*, vol. 11, n° 3, pp. 223-233.
- HANSMANN F. et HESS S. (1960), « A linear Programming Approach to Production and Employment Scheduling », *Management Technology*, Monograph 1, pp. 46-51.
- HARRIS W. (1913), « How Many Parts To Make at Once », *The Magazine of Management*, vol. 10, pp. 135-136.
- HO C., LAW W. and RAMPAL R. (1995), « Uncertainty dampening methods for reducing MRP system nervousness », *International Journal of Production Research*, vol. 33, pp. 483-496.
- HOLT C., MODIGLIANI F. et SIMON H. (1955), « A linear Decision Rule for Production and Employment Scheduling », *Management Science*, vol. 2, n° 1, pp. 1-30.
- JONES C. (1967), « Parametric Production Planning », *Management Science*, vol. 13, n° 11, pp. 843-867.
- KOH S., SAADJ S. and JONES M. (2002), « Uncertainty under MRP-planned manufacture : review and categorization », *International Journal of Production Research*, vol. 40, n° 10, pp. 2399-2421.
- KRUPP J. (1997), « Safety stock management », *Production and Inventory Management Journal*, vol. 3, pp. 11-18.
- LOWERRE W. (1985), « Protective scheduling smoothes jittery MRP plans: buffer forecast error the key », *Production and Inventory Management Journal*, vol. 1, pp. 1-21.
- TAUBERT W. (1968), « A Search Decision Rule for the Aggregate Scheduling Problem », *Management Science*, vol. 14, n° 6, pp. 343-359.
- WEMMERLOV U. (1986), « A time-phased order-point system in environments with and without demand uncertainty: a comparative analysis of non-monetary performance variables », *International Journal of Production Research*, vol. 24, pp. 343-358.

VI. — PREUVES

Dans tous les cas, la première unité du bien demandée est de caractéristique connue par l'entreprise. On peut supposer sans perte de généralité que cette première caractéristique demandée est $d_1 = A$.

Sans OPD

Sans OPD, l'entreprise peut alors anticiper que la seconde caractéristique sera A avec une probabilité α et B avec une probabilité $1 - \alpha$. Grâce à cela, l'entreprise peut également anticiper que la troisième caractéristique sera A avec une probabilité $\alpha^2 + (1 - \alpha)^2$ et B avec une probabilité $2\alpha(1 - \alpha)$. On peut donc calculer la probabilité *ex ante* de chaque chemin de demande.

TABLEAU 1	
Demande	Probabilité
$(d_1, d_2, d_3) = (A, A, A)$	α^2
$(d_1, d_2, d_3) = (A, A, B)$	$\alpha(1 - \alpha)$
$(d_1, d_2, d_3) = (A, B, A)$	$(1 - \alpha)^2$
$(d_1, d_2, d_3) = (A, B, B)$	$\alpha(1 - \alpha)$

Commençons par calculer le profit de la firme quand celle-ci ne possède pas d'OPD. Ce profit dépend de sa production. Le tableau 2 montre l'espérance de profit de la firme quand elle produit $(a,b)^o$ telle que $a + b \in \{3,4\}$ et donc quand elle installe des stocks de taille étendue ou non.

TABLEAU 2	
Production	Espérance de profit
$(3, 0)^o$	$3\alpha^2 + 2(1 - \alpha) + \alpha(1 - \alpha)$
$(2, 1)^o$	$2\alpha^2 + 3(1 - \alpha) + 2\alpha(1 - \alpha)$
$(1, 2)^o$	$\alpha^2 + 2(1 - \alpha) + 3\alpha(1 - \alpha)$
$(0, 3)^o$	$(1 - \alpha) + 2\alpha(1 - \alpha)$
$(4, 0)^o$	$3\alpha^2 + 2(1 - \alpha) + \alpha(1 - \alpha) - c$
$(3, 1)^o$	$3\alpha^2 + 3(1 - \alpha) + 2\alpha(1 - \alpha) - c$
$(2, 2)^o$	$2\alpha^2 + 3(1 - \alpha) + 3\alpha(1 - \alpha) - c$
$(1, 3)^o$	$\alpha^2 + 2(1 - \alpha) + 3\alpha(1 - \alpha) - c$
$(0, 4)^o$	$(1 - \alpha) + 2\alpha(1 - \alpha) - c$

On peut déjà voir que certaines productions ne seront jamais mises en œuvre quelles que soient les valeurs des paramètres. En effet, il ne peut pas être optimal d'acheter un stock étendu et de produire (0,4)^o car il serait alors strictement plus profitable de produire (1, 2)^o sans stocks étendus. Pour les mêmes raisons, la production (4,0)^o est strictement moins profitable que la production (3,0)^o. La production (0,3)^o est strictement moins profitable que la production (1,2)^o. La production (1,3)^o est strictement moins profitable que la production (2,2)^o.

On peut donc résumer les stratégies pertinentes dans le tableau 3 :

TABLEAU 3	
Production	Espérance de profit
(3, 0) ^o	$3\alpha^2 + 2(1 - \alpha) + \alpha(1 - \alpha)$
(2, 1) ^o	$2\alpha^2 + 3(1 - \alpha) + 2\alpha(1 - \alpha)$
(1, 2) ^o	$\alpha^2 + 2(1 - \alpha) + 3\alpha(1 - \alpha)$
(3, 1) ^o	$3\alpha^2 + 3(1 - \alpha) + 2\alpha(1 - \alpha) - c$
(2, 2) ^o	$2\alpha^2 + 3(1 - \alpha) + 3\alpha(1 - \alpha) - c$

Ainsi, quand l'entreprise décide de ne pas installer d'OPD et d'installer des stocks étendus, elle obtient un profit espéré :

$$\text{Max} \{ 3\alpha^2 + 3(1 - \alpha) + 2\alpha(1 - \alpha) - c, 2\alpha^2 + 3(1 - \alpha) + 3\alpha(1 - \alpha) - c \} \quad (1)$$

Quand l'entreprise décide de ne pas installer d'OPD et de ne pas installer des stocks étendus, elle obtient un profit espéré :

$$\text{Max} \{ 3\alpha^2 + 2(1 - \alpha) + \alpha(1 - \alpha), 2\alpha^2 + 3(1 - \alpha) + 2\alpha(1 - \alpha), \alpha^2 + 2(1 - \alpha) + 3\alpha(1 - \alpha) \} \quad (2)$$

Avec OPD

Avec OPD, l'entreprise peut prévoir la demande en seconde période, cependant, elle ne connaît pas cette demande au moment où elle décide de la taille de ses stocks mais seulement au moment où elle décide de sa production.

Supposons dans un premier temps que la demande prévue pour la seconde période est $d_2 = A$. Alors l'entreprise peut prévoir que la demande en troisième période sera $d_3 = A$ avec une probabilité α et $d_3 = B$ avec une probabilité $1 - \alpha$.

Les espérances de profit en fonction de la production sont alors données dans le tableau 4.

TABLEAU 4	
Production	Espérance de profit
$(3, 0)^o$	$3\alpha^2 + 2(1 - \alpha) - K$
$(2, 1)^o$	$2\alpha^2 + 3(1 - \alpha) - K$
$(1, 2)^o$	$\alpha + 2(1 - \alpha) - K$
$(0, 3)^o$	$(1 - \alpha) - K$
$(4, 0)^o$	$3\alpha + 2(1 - \alpha) - K - c$
$(3, 1)^o$	$3\alpha + 3(1 - \alpha) - K - c$
$(2, 2)^o$	$2\alpha + 3(1 - \alpha) - K - c$
$(1, 3)^o$	$\alpha + 2(1 - \alpha) - K - c$
$(0, 4)^o$	$(1 - \alpha) - K - c$

Pour les mêmes raisons que celles données dans le cas avec OPD, on peut voir que les stratégies avec OPD, $(1,2)^o$, $(0,3)^o$, $(4,0)^o$, $(2,2)^o$, $(2,3)^o$, $(0,4)^o$ sont dominées par les autres stratégies de production avec OPD et ne peuvent donc pas être optimales. On peut réduire le tableau 4 au tableau 5 :

TABLEAU 5	
Production	Espérance de profit
$(3, 0)^o$	$3\alpha + 2(1 - \alpha) - K$
$(2, 1)^o$	$2\alpha + 3(1 - \alpha) - K$
$(3, 1)^o$	$3\alpha + 3(1 - \alpha) - K - c$

Supposons dans un second temps que la demande prévue pour la seconde période est $d_2 = B$. Alors l'entreprise peut prévoir que la demande en troisième période sera $d_3 = A$ avec une probabilité $1 - \alpha$ et $d_3 = B$ avec une probabilité α .

Les espérances de profit en fonction de la production sont alors données dans le tableau 6 :

TABLEAU 6	
Production	Espérance de profit
$(3, 0)^o$	$\alpha + 2 (1 - \alpha) - K$
$(2, 1)^o$	$2\alpha + 3 (1 - \alpha) - K$
$(1, 2)^o$	$3\alpha + 2 (1 - \alpha) - K$
$(0, 3)^o$	$2\alpha + (1 - \alpha) - K$
$(4, 0)^o$	$\alpha + 2 (1 - \alpha) - K - c$
$(3, 1)^o$	$2\alpha + 3 (1 - \alpha) - K - c$
$(2, 2)^o$	$3\alpha + 3 (1 - \alpha) - K - c$
$(1, 3)^o$	$3\alpha + 2 (1 - \alpha) - K - c$
$(0, 4)^o$	$2\alpha + (1 - \alpha) - K - c$

Pour les mêmes raisons que celles données dans le cas avec OPD, on peut voir que les stratégies avec OPD, $(3,0)^o$, $(0,3)^o$, $(4,0)^o$, $(3,1)^o$, $(1,3)^o$, $(0,4)^o$ sont dominées par les autres stratégies de production avec OPD et ne peuvent donc pas être optimales. On peut réduire le tableau 6 au tableau 7 :

TABLEAU 7	
Production	Espérance de profit
$(2, 1)^o$	$2\alpha + 3 (1 - \alpha) - K$
$(1, 2)^o$	$3\alpha + 2 (1 - \alpha) - K$
$(2, 2)^o$	$3\alpha + 3 (1 - \alpha) - K - c$

Ainsi, quand l’entreprise décide d’installer un OPD et des stocks étendus, elle obtient :

$$3\alpha + 3 (1 - \alpha) - K - c. \tag{3}$$

Quand l’entreprise décide d’installer un OPD et pas de stocks étendus, elle obtient un profit :

$$\text{Max} \{ 3\alpha + 2 (1 - \alpha) - K, 2\alpha + 3 (1 - \alpha) - K \}. \tag{4}$$

La firme maximise son profit *ex ante* en comparant les équations 1, 2, 3 et 4.