7e Conférence Internationale de MOdélisation et SIMulation - MOSIM'08 - du 31 mars au 2 avril 2008 – Paris- France
« Modélisation, Optimisation et Simulation des Systèmes : Communication, Coopération et Coordination.».

RESOLUTION D'UN PROBLEME DE CONTRAT RESERVATION DE CAPACITE DANS UNE CHAINE LOGISTIQUE EQUITABLE

O. KALLEL[1][2], L. DUPONT[1]

(1)
Ecole des Mines d'Albi-Carmaux
Centre Génie Industriel
Campus Jarlard, Route de Teillet, 81013 Albi Cedex 09
omar.kallel@isg.rnu.tn, lionel.dupont@enstimac.fr

I. BEN JAAFAR[2], K. GHEDIRA[2]

(2)
SOIE – Stratégies d'Optimisation des Informations et de la connaissancE, ISG de Tunis
Cité Bouchoucha, Bardo 2000, Tunisie
ines.benjaafar@isg.rnu.tn, khaled.ghedira@isg.rnu.tn

RESUME : *Nous nous sommes intéressé dans cette communication à la performance d'une chaîne logistique équitable constituée d'un sous-traitant et d'un donneur d'ordres dans un contexte contractuel particulier qui est le contrat réservation de capacité. Une chaîne logistique est dite équitable si la marge sur coûts directs est répartie équitablement entre les divers intervenants. Ainsi, nous traitons deux objectifs. Le premier objectif est la maximisation de la marge du réseau sachant que le donneur d'ordres veut optimiser son niveau de stock de recomplètement et le sous-traitant veut optimiser sa capacité de production normale. Le deuxième objectif est la répartition équitable de la marge selon le contrat réservation de capacité. Pour résoudre le problème, nous avons utilisé une méthode exacte discrétisant l'ensemble des solutions et une méta-heuristique de type "recherche tabou". La méthode tabou, nous a permis de trouver de très bonnes solutions en un temps négligeable par rapport à la méthode exacte.*

MOTS-CLES : *Chaîne logistique équitable, Contrats, Réservation de capacité, Recherche tabou.*

1. INTRODUCTION

Dans le contexte économique actuel, la concurrence, bien souvent, n'est plus entre les entreprises individuelles mais entre les chaînes logistiques. Instaurer des liens de coopération forts entre les entreprises d'une même chaîne logistique est devenue une nécessité. Pour y arriver, les entreprises essayent d'établir des relations de partenariat durables entre elles. Ces relations sont généralement concrétisées par des engagements contractuels. Différents travaux se sont intéressés à l'influence que peuvent avoir les relations contractuelles sur la performance du réseau et des différents acteurs de la chaîne (Larivière, 2003), (Cachon, 2004), (Gomez-Padilla, 2005) et (Duvallet *et al.,* 2006). (Gomez-Padilla, 2005) s'intéresse à une chaîne donneur d'ordres / sous-traitant et analyse l'influence de divers types de contrat sur l'optimum de la chaîne globale et l'optimum de chacun des deux acteurs. Elle montre que pour certains contrats, l'optimum global de la chaîne n'assure pas que chacune des entreprises optimise son profit individuel.

Dans ce travail nous nous intéressons à des chaînes logistiques que nous qualifierons d'équitables. Nous définissons une chaîne équitable comme une chaîne dans laquelle la marge sur coûts directs est répartie équitablement entre les divers intervenants. Cette répartition peut se faire, soit selon des clés négociées et acceptées par tous les acteurs, soit proportionnellement aux coûts directs de chacun. Dans ce cas, l'optimum de la chaîne est aussi l'optimum de chacun.

Dans cette communication, nous nous situons dans le contexte des travaux de Padilla (Gomez-Padilla, 2005). Le donneur d'ordres (DO) est confronté à un marché dont la demande aléatoire suit une loi de probabilité de densité f(x). Le prix de vente PV sur le marché est connu. Pour répondre à la demande, il gère un stock de taille S qu'il recomplète à chaque fin de période (Dupont, 1998). Il s'approvisionne auprès d'un sous traitant (ST). Si la demande est supérieure à S, il perd des ventes. Si la demande est inférieure, il supporte un coût de stockage hr par article. En plus de ces coûts, le DO supporte des coûts directs fixes (locaux, personnels, ...) FDO et des coûts variables VDO par article (finition, conditionnement,...). Le DO doit déterminer le niveau S du stock de recomplètement.
Le ST pour sa part a un coût fixe de production FST. Il a une capacité de production normale donnée CN. Jusqu'à cette capacité, il a un coût de production variable VST. Il peut augmenter cette capacité dans une certaine proportion (heures supplémentaires, intérim), mais produit alors avec un coût variable plus élevé V2ST. Le ST doit déterminer sa capacité normale de production CN.

Les relations entre le DO et le ST sont fixées par contrat. En section deux, nous présenterons les différents types de contrats existants dans la littérature. Dans ce papier, le contrat est de type réservation de capacité. Ce type de contrat est l'un des plus complexes de ceux rencontrés. Dans le monde industriel, il suscite un intérêt croissant du fait qu'il procure des garanties aux deux parties. Le contrat réservation de capacité (Gomez-Padilla, 2005) (Cachon et Lariviere, 2001) stipule que le donneur d'ordres réserve une capacité R chez le sous-traitant. En conséquence, il doit lui payer un prix w1 par unité réservée, un prix w2 par unité réellement commandée de la capacité réservée et un prix w3 par unité commandée en plus. Ainsi, le donneur d'ordres est sûr de pouvoir se procurer au moins la capacité réservée chez le sous-traitant. En contrepartie, le sous-traitant est assuré de toujours recevoir une somme pour couvrir au moins une partie de ses charges même si le donneur d'ordres ne commande rien chez lui. Dans la section trois, nous présenterons plus en détail notre problématique et la modélisation mathématique qui en résulte.

Ce problème dépend de plusieurs paramètres et de la loi de probabilité retenue pour la demande. Pour le résoudre, nous avons utilisé une méthode exacte discrétisant l'ensemble des solutions et une méta-heuristique de type "recherche tabou". La méthode tabou, nous permet de trouver de très bonnes solutions en un temps négligeable par rapport à la méthode exacte. Ceci sera présenté en section 4.

2. CONTRATS

Un contrat est une convention entre deux ou plusieurs parties ayant pour effet de créer entre elles une obligation légale. Un contrat est « l'affirmation des droits et obligations de chaque partie pour des transactions, dans laquelle les parties s'accordent à réaliser ou non des actes ou des services spécifiques.» (Bannock *et al.*, 2003).

Le premier type de contrat étudié dans la littérature est le contrat dit «prix de gros» (Spengler, 1950). Ici le prix unitaire est fixé au préalable et ne change pas durant toute la durée du contrat et ce, quelle que soit la quantité commandée.

Le contrat «remise sur quantité», traité dans (Tomlin, 2000), représente une variante améliorée du contrat «prix de gros». Dans ce contrat, le prix est dégressif en fonction de la quantité achetée.

Pour remédier aux inefficacités de ces contrats, (Pasternack, 1985) a proposé le contrat de type «rachat» qui permet une meilleure coordination de la chaîne (Duvallet *et al.*, 2006). Ici, le fournisseur ou sous-traitant rachète les unités invendues chez le donneur d'ordres à un prix convenu lors de la signature du contrat.

D'autres types de contrats ont été proposés et appliqués dans le but de trouver et/ou d'assurer une coordination plus efficace de la chaîne logistique. Entre autres, on peut citer :

Le contrat «quantité flexible» (Eppen et Iyer, 1997), (Tsay 1999) qui représente une variante du contrat «rachat». Dans ce type de contrat, le fournisseur ou sous-traitant rachète le minimum entre les invendus et un pourcentage convenu lors de la signature du contrat.

Le contrat «rabais» (Taylor, 2002), (Cachon, 2004) dans lequel un rabais est accordé au donneur d'ordres pour les unités achetées au-dessus d'un seuil prédéfini dans le contrat.

Le contrat «partage de revenu» (Cachon et Lariviere, 2005) dans lequel le donneur d'ordres paye un prix fixe (relativement bas) au fournisseur ou sous-traitant et s'engage à lui reverser un pourcentage sur les unités vendues.

Le contrat «réservation de capacité» (Gomez-Padilla, 2005) qui nous intéresse ici. Dans la littérature, divers travaux se sont intéressés à ce type de contrat et à la coordination qu'il permet d'assurer dans une chaîne logistique. (Cachon et Lariviere, 2001) le présentent comme un nouveau type de contrat qui permet de partager les risques entre donneur d'ordres et fournisseur. Dans (Gomez-Padilla, 2005), le fournisseur veut inciter le donneur d'ordres à transformer un contrat « prix de gros » en contrat «réservation de capacité». Les auteurs donnent les conditions permettant que cette transformation soit bénéfique pour les deux. Dans (Serel, 2007), le donneur d'ordres joue entre un contrat de réservation de capacité sur le long terme assurant un approvisionnement certain et le recours au marché spot.

Dans ce travail, nous nous situons dans un contexte où le fournisseur doit dimensionner son outil de production pour répondre au donneur d'ordres et dans lequel les acteurs s'engagent dans une relation équitable.

3. MODELISATION MATHEMATIQUE

La demande x sur le marché final suit une loi de fonction de densité f(x) et de fonction de répartition F(x). Soit µ l'espérance de la demande et s son écart type. Pour répondre à la demande, le donneur d'ordres gère un stock par recomplètement calendaire (Dupont, 1998) de niveau S.

Si x=S la quantité vendue est x
Si x>S la quantité vendue est S

La quantité vendue est une variable aléatoire dont l'espérance est :

$$V(S) = \int_0^S x.f(x)dx + \int_S^\infty S.f(x)dx$$

Posons

$$G(S) = \int_0^S F(x)dx$$

Nous n'entrerons pas dans les détails des calculs. Notons simplement qu'en intégrant par partie :

$$\int_0^S x.f(x)dx = S.F(S) - G(S)$$

Après simplification, on obtient : $V(S) = S - G(S)$

Si la demande est inférieure au niveau de stock, il reste des invendus. L'espérance des invendus est :

$$I(S) = \int_0^S (S-x).f(x)dx = G(S)$$

Si la demande est supérieure au niveau de stock, il y a une pénurie.

$$P(S) = \int_S^{\infty} (x - S).f(x)dx = m - S - G(S)$$

3.1. Transfert financier DO / ST

Afin de recompléter son stock, le donneur d'ordres achète au sous-traitant une quantité égale à la quantité x vendue la période précédente. Donc, en moyenne ses achats sont égaux à ses ventes.

$$Qr(S) = V(S)$$

Compte tenu des termes du contrat de réservation de capacité, le coût d'achat T(S,R,w1,w2,w3) payé par le donneur d'ordres au sous-traitant est :

Si x=R	: w1.R+w2.x=(w1+w2).R-w2.(R-x)
Si R<x=S	: (w1+w2).R+w3.(x-R)
Si x>S	: (w1+w2).R+w3.(S-R)

Soit en espérance :

$$(w1 + w2).R - w2\int_0^R (R - x).f(x)dx +$$
$$w3\int_R^S (x - R).f(x)dx + w3\int_S^{\infty} (S - R).f(x)dx$$

Après simplification de l'expression, l'espérance de transfert s'écrit :

$$T(S, R, w1, w2, w3) = (w1 + w2).R - w2.G(R) +$$
$$w3(S - R) - w3.(G(S) - G(R))$$

3.2. Calcul des coûts et marge

Les coûts supportés par le donneur d'ordres sont : les coûts fixes *FDO* (installation, personnel), les coûts d'achat au ST *T(S,R,w1,w2,w3)*, les autres coûts variables de production/distribution (*VDO* par unité vendue) et les coûts de stockage (*hr* par unité invendue).

$$CDO = FDO + T(S, R, w1, w2, w3) + VDO.V(S)$$
$$+ hr.I(S)$$

Le DO vend sur le marché final à un prix PV. Sa marge sur coûts directs est la différence entre ses ventes et l'ensemble de ses coûts :

$$MDO = PV.V(S) - CDO$$

Le sous-traitant, pour sa part, a des coûts fixes FST(CN) et des coûts variables d'approvisionnement et de production. Ces derniers dépendent de sa capacité de production normale CN. On supposera légitimement que CN=S. En fonction de la demande x du mois précédent, les coûts variables seront:

Si x=CN	:	VST.x
Si CN<x=S	:	VST.CN+V2ST.(x-CN)
Si S<x	:	VST.CN+V2ST.(S-CN)

L'espérance d'avoir des ventes inférieures ou égales à CN est V(Cn). Par suite on a directement:

$$CST = FST(CN) + VST.V(CN) + V2ST.(V(S) -$$
$$V(CN))$$

Sa marge sur coûts directs est :

$$MST = T(S, R, w1, w2, w3) - CST$$

La marge de la chaîne est la somme des marges du DO et du ST, soit :

$$MCH = PV.V(S) - FDO - VDO.V(S) - hr.I(S) -$$
$$FST(CN) - VST.V(CN) - V2ST.(V(S) - V(CN))$$

On peut remarquer que cette marge est indépendante des transferts financiers existants entre le DO et le ST.

3.3. Exemple

Les fonctions de marge et de coûts présentées dépendent de plusieurs paramètres. Elles dépendent aussi de la loi de probabilité retenue pour la demande. En effet, le calcul de F(x) et surtout de G(x) n'est généralement pas une chose aisée. Pour les exemples traités dans ce papier, nous avons choisi de commencer par une loi uniforme m,M. Par un changement d'échelle, nous pouvons nous ramener à une loi 0,1. Pour cette loi F(x)=x et G(x)=x²/2.

Ici, on prendra comme clé de répartition de la marge entre les acteurs les coûts directs extérieurs à la relation, supportés par chacun. Autrement dit, les coûts d'achats T(S,R,w1,w2,w3) que paye le DO au ST ne sont pas inclus dans les coûts directs du DO.

Pour le DO : $PDO = FDO + VDO.V(S) + hr.I(S)$

Pour le ST :

$$PST = CST = FST(CN) + VST.V(CN) +$$
$$V2ST.(V(S) - V(CN))$$

4. RESOLUTION

Nous avons deux objectifs à résoudre par ordre lexicographique :

- Le premier est la maximisation de la marge du réseau : Maximiser(MCH) avec MDO=0 et MST=0.
- Le deuxième objectif est la répartition équitable de cette marge entre les deux acteurs : $MDO = MCH.(PDO/(PDO + PST))$ ou $MST = MCH.(PST/(PDO + PST))$

Ces fonctions dépendent de plusieurs paramètres à savoir: S le stock de recomplètement, CN la capacité normale de production du sous-traitant, R la capacité réservée chez le sous-traitant et w1, w2, w3 les prix convenus selon le contrat réservation de capacité. Pour résoudre ce problème, nous avons utilisé une méthode exacte discrétisant l'ensemble des solutions. Cette méthode nous permet de trouver les solutions optimales en un temps assez long. De ce fait, nous avons utilisé une méta-heuristique de type "recherche tabou". La méthode tabou, nous permet de trouver de très bonnes solutions en un temps négligeable par rapport à la méthode exacte.

4.1. Méthode exacte

L'algorithme exact que nous avons adopté est une adaptation de l'algorithme Generate & Test à notre problème. Cette méthode consiste à générer et tester itérativement toutes les solutions possibles du problème afin de déterminer la ou les solutions optimales du problème.

On représente une solution finale par un vecteur qui représente les paramètres de notre problème : (S,CN,R,w1,w2,w3) avec S le stock de recomplètement, CN la capacité normale de production du sous-traitant, R la capacité réservée chez le sous-traitant et w1, w2, w3 les prix convenus selon le contrat réservation de capacité. Cette solution finale comprend à la fois la solution du premier objectif et celle du deuxième objectif. En effet, une solution du premier objectif est représenté par le vecteur (S,CN). Le deuxième objectif dépend certes de tous les paramètres, néanmoins, en fixant les paramètres relatifs au premier objectif, une solution du deuxième objectif est alors représenté par un vecteur (R,w1,w2,w3).

Comme nous traitons deux objectifs par ordre lexicographique, notre algorithme, représenté par l'algorithme 1, est composé de deux étapes imbriquées. Une première étape permet d'énumérer (Algorithme1 : Générer Sol_obj1) toutes les solutions possibles du premier objectif afin de l'améliorer. Dans le cas de solutions identiques sinon meilleures pour cet objectif, une deuxième étape, imbriquée dans la première, permet d'énumérer (Algorithme1 : Générer Sol_obj2) toutes les solutions possibles du deuxième objectif afin de l'améliorer.

4.2. Recherche tabou

L'algorithme exact utilisé permet de générer la ou les solutions optimales du problème. Néanmoins, il est coûteux en terme de temps. De ce fait, nous avons opté pour l'utilisation d'une méta-heuristique "La méthode tabou" représenté par l'algorithme 2.

Algorithme 1 : Méthode exacte

Variables :
Sol_init_obj1 ou 2: Solution initiale pour l'objectif 1 ou 2
Sol_obj1 ou 2 : Solution courante pour l'objectif 1 ou 2
best_sol_obj1 ou 2: Meilleure solution pour l'objectif 1ou 2
eval_best_obj1 ou 2 : Evaluation de la meilleure solution pour l'objectif 1 ou 2
Best_Sol : Meilleure solution pour les 2 objectifs combinés

```
best_sol_obj1 ¬ Æ , best_sol_obj2 ¬ Æ
eval_best_obj1 ¬ 0 , eval_best_obj2 ¬ 0
trouvé ¬ faux
Répéter
  Générer Sol_obj1
    Si (Z1(Sol_obj1) = eval_best_obj1) OU
       (NON trouvé) Alors
       best_sol_obj1 ¬ Sol_obj1
       eval_best_obj1 ¬ Z1(Sol_obj1)
       Répéter
          Générer Sol_obj2
          Si Z2(Sol_obj2)>eval_best_obj2 Alors
             best_sol_obj2 ¬ Sol_obj2
             eval_best_obj2 ¬ Z2(Sol_obj2)
             trouvé ¬ vrai
          Fin Si
       Fin Répéter
    Fin Si
Fin Répéter
Best_Sol ¬ (best_sol_obj1, best_sol_obj2)
```

La recherche tabou est une méta-heuristique qui a fait ses preuves dans plusieurs domaines. Cette méthode (Glover et Laguna, 1997) (Vilcot, 2006) consiste à passer itérativement d'une solution courante à une autre solution généralement meilleure grâce à une structure de voisinage. Pour ce faire, on a besoin de définir la structure d'une solution et de déterminer la solution initiale. De plus, on a besoin de définir la structure de voisinage d'une solution.

4.2.1. La structure d'une solution

On représente une solution par un vecteur qui représente les paramètres de notre problème : (S,CN,R,w1,w2,w3) avec S le stock de recomplètement, CN la capacité normale de production du sous-traitant, R la capacité réservée chez le sous-traitant et w1, w2, w3 les prix convenus selon le contrat réservation de capacité.

4.2.2. La solution initiale

La solution initiale est générée sur deux étapes :

- Le stock de recomplètement S, la capacité normale de production du sous-traitant CN et la capacité réservée chez le sous-traitant R prendront comme valeur initiale la moyenne de la loi de probabilité retenue pour la demande.
- Les prix convenus selon le contrat réservation de capacité : w1, w2 et w3 sont générés aléatoirement.

4.2.3. Le voisinage

L'exploration du voisinage d'une solution courante se fait grâce à des mouvements. Ainsi, un mouvement permet de passer d'une solution courante à une solution voisine. Dans notre cas, Un mouvement est défini comme le changement d'un des paramètres du vecteur solution. De ce fait, Un voisin de la solution courante est un vecteur dont un des paramètres est modifié par rapport à la solution courante. Par exemple, si on considère que (***10000***, 10000, 10000, 1, 1.2, 2.5) est la solution courante, une solution voisine pourrait être (***10001***, 10000, 10000, 1, 1.2, 2.5).

4.2.4. La liste Tabou

La liste tabou permet d'éviter l'exploration de solutions déjà visitées. L'utilisation d'une telle liste nécessite de définir ce qui est tabou et de déterminer la taille de la liste tabou. Ce qui est tabou diffère selon le problème traité (Dauzère-Pérès et Paulli, 1997). Nous considérons comme tabou le mouvement inverse de celui qui permet de passer d'une solution courante à la meilleure solution voisine.

Algorithme 2 : Méthode Tabou

Variables :
Sol_init : Solution initiale
Sol_cour : Solution courante
V : voisin de la solution courante
eval_obj1 ou 2 : Evaluation de *V* selon l'objectif 1 ou 2
best_sol : Meilleure solution trouvée
eval_best_obj1 ou 2 : Evaluation de la meilleure solution trouvée selon l'objectif 1 ou 2
nb_iter : Nombre d'itérations sans amélioration
nb_diver : Nombre d'itérations sans amélioration (Si *nb_diver* atteint *nb_diver_max*, il est remis à 0 et une phase de diversification est réalisée)
nb_diver1 : Nombre d'itérations sans amélioration du premier objectif

```
ListeTabou ¬ Æ
nb_iter ¬ 0 , nb_diver ¬ 0 , nb_diver1 ¬ 0
sol_cour ¬ sol_init , best_sol ¬ sol_init
eval_best_obj1 ¬ Z1(best_sol)
eval_best_obj2 ¬ Z2(best_sol)
Tant que nb_iter = nb_iter_max faire
   Tant que nb_diver = nb_diver_max ET
            nb_iter = iter_max faire
         best_voisin ¬ Æ
         eval_obj1 ¬ 0 , eval_obj2 ¬ 0
         Explorer_voisinage( )
         ListeTabou.Ajouter(mouvement_inverse
(sol_cour, best_voisin))
         Mise_à_jour_meilleur_solution( )
         nb_iter ¬ nb_iter + 1
         nb_diver ¬ nb_diver + 1
         nb_diver1 ¬ nb_diver1 + 1
   Fin Tant que
   Diversification( )
Fin Tant que
```

La taille de la liste tabou est généralement fixe et déterminée expérimentalement. En effet, la taille 7 nous permet de trouver de très bonnes solutions.

Algorithme2 : *Explorer_voisinage( )*

```
Pour chaque voisin V de sol_cour faire
Si V Ï ListeTabou Alors
  Si Z1(V)>eval_obj1 Alors
        best_voisin ¬ V
        eval_obj1 ¬ Z1(V) , eval_obj2 ¬ Z2(V)
  Sinon
   Si(Z1(V)=eval_obj1)ET(Z2(V)>eval_obj2)Alors
        best_voisin ¬ V
        eval_obj2 ¬ Z2(V)
   Fin Si
  Fin Si
Fin Si
Fin Pour
sol_cour ¬ best_voisin
```

Algorithme2 : *Mise_à_jour_ meilleur_solution( )*

```
Si eval_obj1>eval_best_obj1 Alors
   best_sol ¬ best_voisin
   eval_best_obj1 ¬ eval_obj1
   eval_best_obj2 ¬ eval_obj2
   nb_iter ¬ 0 , nb_diver ¬ 0 , nb_diver1 ¬ 0
Sinon
  Si (eval_obj1=eval_best_obj1) ET
        (eval_obj2>eval_best_obj2) Alors
     best_sol ¬ best_voisin
     eval_best_obj2 ¬ eval_obj2
     nb_iter ¬ 0 , nb_diver ¬ 0
     nb_diver1 ¬ nb_diver1 + 1
  Fin Si
Fin Si
```

4.2.5. Intensification et Diversification

La recherche tabou est considérée comme une méthode de recherche locale. Mais pour éviter de tomber dans des optima locaux, on applique le principe de la diversification. Ce principe consiste à vider la liste tabou et à générer aléatoirement une nouvelle solution initiale dans le but de recommencer la recherche dans des endroits probablement non visités. Un autre principe de la recherche tabou est l'intensification. Ce principe consiste à intensifier la recherche dans des zones qui semblent prometteuses.
De la sorte, nous avons appliqué ces deux principes. En effet, nous avons mis en place deux systèmes de diversifications (Algorithme2 : Diversification()): une première diversification sur tous les paramètres de la solution et une deuxième diversification sur les paramètres qui affectent seulement le deuxième objectif. Ce choix se justifie par le principe d'intensification. En effet, nous effectuons une diversification complète quand on remarque que le premier objectif subit beaucoup de changements ce qui signifie que cette zone de recherche n'est pas vraiment prometteuse pour cet objectif. Par contre, quand les paramètres qui concernent le premier objectif restent inchangés pendant plusieurs itérations

(Diversification() : *nb_diver1_max* itérations), on a probablement atteint un optimum global pour cet objectif. De ce fait, on intensifie la recherche pour optimiser le deuxième objectif.

Algorithme2 : *Diversification( )*

```
Si nb_diver1<nb_diver1_max Alors
diversification_complète(S,CN,R,w1,w2,w3)
nb_diver1 ¬ 0
Sinon
 diversification_paramètres_objectif2(R,w1,w2,w3)
Fin Si
nb_diver ¬ 0 ,  ListeTabou ¬ Æ
```

4.3. Résultats expérimentaux

Les études expérimentales ont été menées sur des exemples s'approchant de cas industriels réels. Le tableau 1 illustre un échantillon des expérimentations menées : on y présente les hypothèses prises (D(m,M), Pv, FDO, VDO, hr, FST, VST, V2ST), les solutions (S, CN, R, w1, w2, w3) et les résultats (en terme de marges : MCH, MDO, MST) trouvées par chacune des deux méthodes.

Ces expérimentations nous ont permis de trouver des solutions optimales avec la méthode exacte. Néanmoins, La méthode tabou nous a permis de trouver des solutions très proches des solutions optimales en un temps négligeable par rapport à la méthode exacte. En fait, le temps de calcul dépend de l'espace de recherche engendrée par les hypothèses prises. Pour l'exemple testé ayant le plus petit espace de recherche (Tableau 1 :exemple 3), la méthode exacte a mis plus de 4 heures pour nous donner la solution optimale alors que la méthode tabou n'a mis que 2 secondes pour donner une solution très proche de l'optimum.

	Solutions						Résultats		
Métohde	S	CN	R	w1	w2	w3	MCH	MDO	MST
D(12500,2500) Pv=2 FDO=2500 VDO=0,3 hr=0,07 FST=0,35*CN VST=0,17 V2ST=0,42									
Tabou	14741	10000	14561	0,52	0,38	1,81	12334,0741	6244,11922	6089,95484
Exact	14741	10000	14561	0,52	0,38	1,81	12334,0741	6244,11922	6089,95484
D(12500,2500) Pv=1,37 FDO=2148 VDO=0,31 hr=0,08 FST=0,13*CN VST=0,38 V2ST=0,69									
Tabou	14111	12903	12462	0,64	0,01	1,18	4373,84588	2121,95234	2251,89354
Exact	14111	12903	12811	0,51	0,16	0,76	4373,84588	2121,97454	2251,87133
D(100,100) Pv=0,5 FDO=10 VDO=0,1 hr=0,01 FST=0,05*CN VST=0,07 V2ST=0,15									
Tabou	192	75	10	0	0,1	0,21	15,1634	9,1205	6,0429
Exact	192	75	21	0,11	0,04	0,21	15,1634	9,120575	6,042825
D(1500,500) Pv=1 FDO=400 VDO=0,1 hr=0,02 FST=0,1*CN VST=0,05 V2ST=0,08									
Tabou	1976	1000	1487	0,11	0,07	0,92	750,23808	560,063175	190,174905
Exact	1976	1000	1785	0,16	0,06	0,026	750,23808	560,06742	190,17066
D(3000,1500) Pv=3 FDO=2500 VDO=0,4 hr=0,035 FST=1*CN VST=0,3 V2ST=0,55									
Tabou	4450	1500	3689	0,87	0,13	2,21	2473,38125	1421,63297	1051,74828
Exact	4450	1500	1972	0,34	0,36	2,31	2473,38125	1421,62978	1051,75147
D(5000,2000) Pv=4 FDO=2000 VDO=2 hr=0,1 FST=0,1*CN VST=0,4 V2ST=0,7									
Tabou	6714	5667	4129	0	0,12	3,01	5180,952362	4260,250234	920,702128
Exact	6714	5667	5991	0,25	0,36	2,52	5180,952362	4260,26242	920,689942
D(5000,1000) Pv=1,5 FDO=500 VDO=0,3 hr=0,02 FST=0,08*CN VST=0,3 V2ST=0,55									
Tabou	5940	5360	4566	0,47	0,25	0,82	3526,197	1791,78927	1734,40773
Exact	5940	5360	5168	0,62	0,06	1,13	3526,197	1791,78908	1734,40792
D(1000,100) Pv=1 FDO=200 VDO=0,3 hr=0,03 FST=0,1*CN VST=0,25 V2ST=0,45									
Tabou	1079	1000	934	0,1	0,3	0,6	142,3213	83,419675	58,901625
Exact	1079	1000	1007	0,24	0,16	0,74	142,3213	83,419975	58,901325
D(500,200) Pv=3 FDO=250 VDO=0,15 hr=0,04 FST=0,2*CN VST=0,3 V2ST=0,5									
Tabou	693	300	495	0	1,16	2,37	917,133612	523,685337	393,448275
Exact	693	300	317	0,05	0 ,5	2,56	917,133612	523,685612	393,448
D(5000,2000) Pv=1,28 FDO=1850 VDO=0,26 hr=0,1 FST=0,14*CN VST=0,48 V2ST=0,93									
Tabou	6895	7756	7105	0,61	0,02	0,92	662,374256	311,684062	350,690194
Exact	6895	7756	8846	0,16	0,5	0,99	662,374256	311,683238	350,691018

Tableau 1. Échantillon des expérimentations menées

On arrive à trouver souvent des solutions optimales ou très proches de l'optimum avec la méthode tabou. La pire solution trouvée (Tableau 1 :exemple1) avec la méthode tabou nous a permis d'optimiser le premier objectif et de trouver une solution inférieure de seulement 0,022 pour le deuxième objectif. La meilleure solution (Tableau 1 :exemple2) est une solution optimale. En moyenne, la méthode tabou permet de trouver une solution optimale pour le premier objectif (maximisation de la marge du réseau) et inférieure de 0,0027 pour le deuxième objectif (répartition équitable de la marge).

Le tableau 1 démontre qu'on arrive à optimiser le premier objectif (maximisation MCH) et à trouver de très bonnes solutions pour le deuxième objectif (répartition équitable). La figure1 présente un rapport entre les résultats trouvés avec la méthode tabou et ceux obtenus avec la méthode exacte pour le deuxième objectif (MDO_{Tabou}/MDO_{Exact}). Cette figure montre que ce rapport est quasiment égal à 1; ce qui veut dire que les deux méthodes donnent des solutions quasi identiques pour le deuxième objectif.

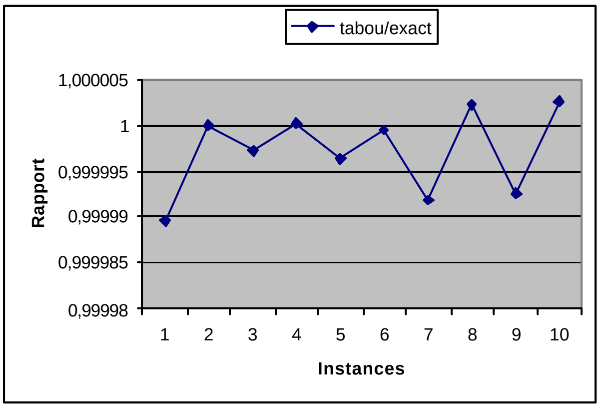

Figure 1 Evaluation deuxième objectif

D'après les études expérimentales menées, nous nous sommes aperçus que les méthodes de recherche locale sont prometteuses pour ce genre de problème. Nous avons constaté qu'un algorithme de recherche locale de type amélioration itérative (algorithme de descente) donne de bons résultats : solutions optimales pour le premier objectif et très proches de l'optimum pour le deuxième. Cependant, comme le montre la figure2, la méthode tabou nous a permis d'améliorer ces résultats. Elle trouve des solutions optimales pour le premier objectif et quasi optimales pour le deuxième.

5. CONCLUSION & PERSPECTIVES

Dans ce travail, nous nous sommes intéressé à la performance d'une chaîne logistique équitable constitué d'un sous-traitant et d'un donneur d'ordres dans un contexte contractuel particulier qui est le contrat réservation de capacité.

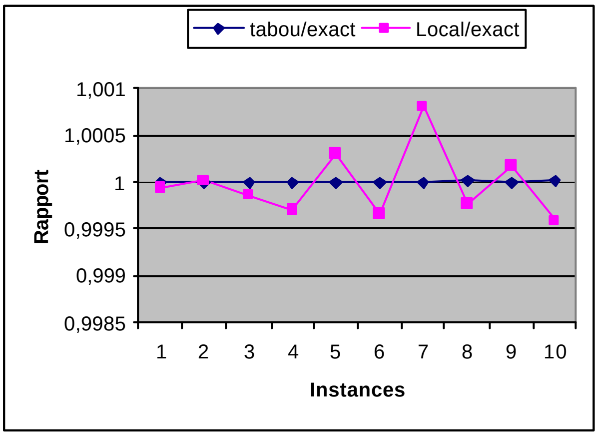

Figure 2 Objectif 2(Tabou – Amélioration itérative)

Une chaîne logistique équitable est définie comme un réseau logistique dans lequel la marge sur coûts directs est répartie équitablement entre les divers intervenants. Cette répartition peut se faire soit selon des clés négociées et acceptées par tous les acteurs, soit proportionnellement aux coûts directs de chacun. Les objectifs dans une chaîne logistique équitable sont premièrement de maximiser la marge du réseau, et deuxièmement de définir les modalités contractuelles aboutissant à une répartition équitable. Ainsi, nous avons choisi de traiter lexicographiquement ces deux objectifs dans une chaîne constituée d'un donneur d'ordres et d'un sous-traitant. Dans cette chaîne, le donneur d'ordres veut optimiser son niveau de stock de recomplètement et le sous-traitant veut optimiser sa capacité de production normale.

Après avoir présenté la modélisation mathématique de notre problème, nous avons constaté que les fonctions objectifs dépendaient de plusieurs paramètres. Pour résoudre le problème, nous avons utilisé une méthode exacte. Néanmoins, la méthode utilisée s'est avérée très coûteuse en terme de temps. De ce fait, nous avons choisi d'adopter une méta-heuristique de type "recherche tabou". La méthode tabou nous a permis de trouver de très bonnes solutions en un temps négligeable par rapport à la méthode exact.

Le présent travail, qui présente un modèle dyadique à un donneur d'ordres et un sous-traitant dans un environnement à information complète, offre plusieurs perspectives de recherche. En effet, il peut être prolongé en traitant les différents types de contrats existants dans la littérature selon les hypothèses prises dans notre modèle qui diffèrent des travaux existants. Le modèle présenté peut aussi être élargie à un donneur d'ordres et plusieurs sous-traitants ou inversement. Une autre perspective qui nous semble très intéressante est de traiter un modèle à information fragmenté, ainsi, chaque entité tentera de maximiser son propre intérêt et des processus de négociations devront être mis en place. C'est dans ce sens que seront dirigés nos futurs travaux.

REFERENCES

Bannock G., Baxter R.E., Davis E., 2003. Penguin Dictionary of Economics, Seventh Edition. *The Penguin Books, England, 2003.*

Cachon G.P., Lariviere M., 2001. Contracting to assure supply: how to share demand forecasts in a supply chain. *Management Science*. **47**(5).

Cachon G.P., 2004. Supply Chain Coordination with Contracts, dans De Kok, A.G., Grave, S. C. *Handbooks in Operations Research and Management Science, 11: Supply Chain Management: Design, Coordination and Operation*, Elsevier.

Cachon G.P., Lariviere M., 2005. Supply chain coordination with revenue sharing contracts. *Management Science* **51**(1). 30-44.

Dauzerre-Peres S. and Paulli J., 1997. An integrated approach for modeling and solving the general multiprocessor job shop scheduling problem using tabu search. *Annals of Operations Research 70: 281-306*.

Dupont L., 1998. La Gestion Industrielle, *Hermès, Paris*.

Duvallet J., Gomez-Padilla A., LLERENA D., 2006. Approche économique de la coordination dans les chaînes logistiques. *MOSIM'06 - du 3 au 5 avril 2006 – Rabat- Maroc*.

Eppen G. and Iyer A., 1997. Backup agreements in fashion buying - the value of upstream flexibility. *Management Science. 43(11). 1469-84*.

Glover, F. and Laguna M., 1997. Tabu Search. *Kluwer Academic Publishers, Boston.*

Gomez-Padilla A., 2005. Modélisation des relations verticales : une approche économique et logistique. *Thèse de Doctorat, I.N.P. de Grenoble.*

Larivière M.A., 2003. Supply chain contracting and coordination with stochastic demand, dans Tayur S., Ganeshan R. et Magazine M. *Quantitative Models for Supply Chain Management, 6fth edition, Kluwer, USA.*

Pasternack B., 1985. Optimal pricing and returns policies for perishable commodities. *Marketing Science*, 4(2), 166-176.

Spengler J., 1950. Vertical integration and antitrust policy. *Journal of Political Economy. 347-52*.

Serel D., 2007. Capacity reservation under supply uncertainty. *Computers & Operations Research*, *Volume 34, Issue 4, April 2007, Pages 1192-1220*.

Taylor, T. 2002. Supply chain coordination under channel rebates with sales effort effects. *Management Sci.* 48(8) 992–1007.

Tomlin B., 2000. Supply chain design: Capacity, flexibility and wholesale price strategies. *Ph.D. thesis, Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.*

Tsay A., 1999. Quantity-flexibility contract and supplier-customer incentives. *Management Science. 45(10). 1339-58.*

Vilcot G., Billaut J-C., Esswein C., 2006. Une recherche Tabou pour un problème de job-shop flexible bicritère. *MOSIM'06 - du 3 au 5 avril 2006 – Rabat-Maroc*.