

# UTILISATION DE LA PROGRAMMATION LINEAIRE DANS L'OPTIMISATION DU PLAN INDUSTRIEL ET COMMERCIAL : APPORTS ET LIMITES

Patrick Genin<sup>\*</sup>, Samir Lamouri<sup>\*\*</sup> et André Thomas<sup>\*\*\*</sup>

---

Résumé. - La planification de l'activité industrielle exige que Ton prenne des décisions stratégiques au niveau des stocks, de la demande et des contraintes de production. Le poids de ces décisions conduit à élaborer et à optimiser les Plans Industriels et Commerciaux sur un horizon au moins aussi long que le budget. Les modèles utilisant la programmation linéaire établissent une stratégie « optimale » non robuste face aux changements fréquents dans les paramètres d'élaboration. D'autres outils mathématiques ainsi que les plans d'expériences sont intéressants pour réaliser un compromis robuste.

Mots-clés : Plan Industriel et Commercial, Optimisation, Programmation linéaire, Robustesse, Planification.

## 1. Introduction

Aujourd'hui, la Logistique devient la fonction qui fixe le niveau global de production de l'entreprise et la performance des autres activités pour satisfaire les prévisions actuelles de ventes. Planifier la production permet de prendre à temps toutes les dispositions pour que les ventes puissent être satisfaites avec les quantités requises, dans les délais promis, au moindre

---

<sup>\*</sup> Cet article a fait l'objet d'une présentation à la 3<sup>e</sup> Conférence Francophone de Modélisation et SIMulation (MOSIM'01)

<sup>\*</sup> PROCONSEIL - CAOR - Equipe Système de Production, Ecole des Mines de Paris, 60, bd. St-Michel, 75272 Paris cedex 07 e-mail : p\_genin@yahoo.fr

<sup>\*\*</sup> CAOR - Equipe Système de Production, Ecole des Mines de Paris, 60, bd. St-Michel, 75272 Paris cedex 07 e-mail : lamouri@u-cergy.fr

<sup>\*\*\*</sup> CRAN, Faculté des Sciences, BP 239, 54506 Vandoeuvre-les-Nancy e-mail : Andre.Thomas@cran.u-nancy.fr

coût. Ces trois objectifs ne peuvent pas être atteints simultanément. Les décisions de planification résultent toujours d'un arbitrage entre la qualité du service client, les risques sur stocks et les coûts de production.

Le processus Plan Industriel et Commercial (PIC) élabore la stratégie de ventes et de production qui réalise au mieux cet arbitrage, sur un horizon au moins équivalent au budget, pour des familles de produits agrégées (Vollmann et al., 1992). La performance attendue des autres activités pour supporter cette stratégie est induite sur un horizon moyen/long terme.

L'élaboration traditionnelle du PIC repose sur des techniques graphiques ou sur des modèles de programmation linéaire (Giard, 1988). Cet article expose comment une approche du PIC par programmation linéaire permet de réaliser l'arbitrage décrit précédemment, mais présente aussi ses limites quant à la robustesse de la stratégie ainsi élaborée.

## 2. Le rôle du PIC

Le PIC permet la mise en œuvre des objectifs stratégiques établis par le management lors du Plan d'Entreprise (PE). Il représente le lien entre la planification des ventes et la production. Le PIC est entièrement intégré aux systèmes d'information commercial et de gestion de la demande. Il permet aussi l'exécution des différents Programmes Directeurs de Production (PDP). Ainsi le PIC a un rôle de réflexion prospective portant sur le moyen et le long terme.

Une réflexion à ce niveau de gestion est nécessaire car le système de production et le système logistique ne sont pas assez flexibles pour suivre l'évolution des ventes au jour le jour. Ces dernières présentent une incertitude forte et des possibilités de fluctuations rapides et difficiles à prévoir. Ainsi, si on devait produire exactement ce qui est demandé, la charge de travail des ressources de l'entreprise devrait varier en conséquence et avec le moins d'inertie possible. Or ce n'est pas toujours possible. Aussi se pose à l'entreprise la question suivante : comment les capacités du système de production peuvent-elles suivre les fluctuations du volume des ventes ? C'est le rôle des Plans Industriels et Commerciaux (Nollet et al., 1992).

Le PIC porte nécessairement sur un moyen terme au moins aussi long que le budget. Il permet d'anticiper l'évolution des ventes d'une famille de produits de manière à disposer d'un délai suffisant pour pouvoir adapter le système de production et le système logistique à son marché. En effet, à ce niveau de décision, ce sont les capacités budgétaires qui vont primer. Il s'agira alors de vérifier que l'on aura suffisamment de trésorerie, de stocks, de main-d'œuvre, de capacités globales pour transformer les objectifs de ventes et les objectifs stratégiques (parts de marché...) en production à réaliser à moyen terme. La figure 1 met en évidence les différents liens qui existent entre ces sous-systèmes.

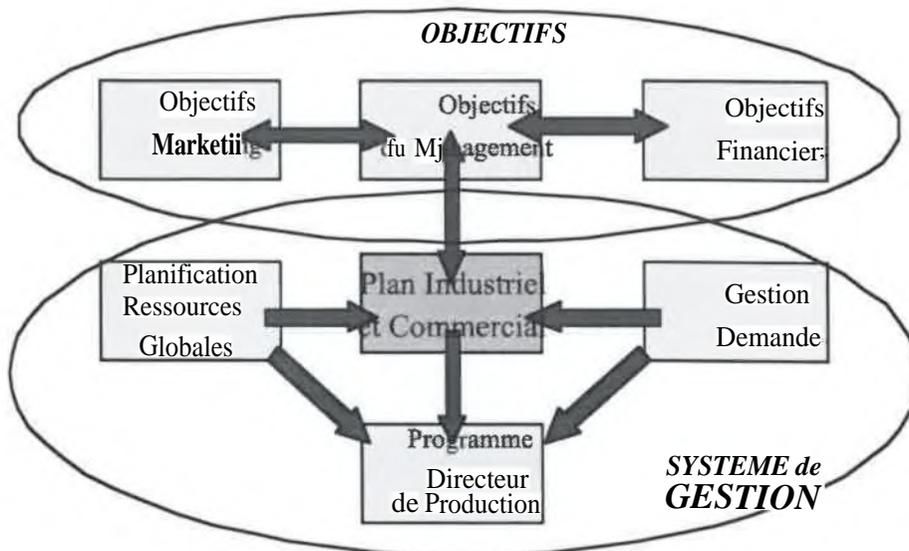


Figure 1 : Le PIC et les fonctions de gestion industrielle.

L'horizon de planification sera souvent de 18 mois et la périodicité de replanification souvent mensuelle. Ils permettront ainsi de prendre en compte des événements particuliers tels que des promotions, des accords spéciaux ...

Plusieurs simulations pourront être faites afin de déterminer le scénario optimal qui permettra de minimiser les différentes dépenses et de maximiser les ventes.

### 3. Les techniques d'optimisation du PIC

Les deux approches les plus utilisées sont les méthodes graphiques et l'optimisation par programmation linéaire (Giard, 1988. Heizer et Render, 1995. Lamouri et Thomas, 1999).

Les méthodes graphiques et par tableaux sont répandues car faciles à comprendre et à utiliser. Ces plans fonctionnent avec peu de variables à la fois pour permettre au planificateur de comparer la demande prévue et la capacité existante. Ces méthodes graphiques procèdent par calculs successifs d'évaluation de coûts ; elles permettent ainsi d'identifier différents plans intégrés valables mais dont les coûts ne sont pas nécessairement les plus faibles. Le gestionnaire doit donc faire appel à son bon sens pour déterminer un plan approprié.

Elles suivent généralement les cinq étapes suivantes :

- détermination de la demande de chaque mois ;
- détermination de la capacité en horaire normal, en heures supplémentaires et en sous-traitance par mois ;
- recensement des coûts de main-d'œuvre, de possession de stock... ;
- évaluation des stratégies influençant la main-d'œuvre ou le niveau de stock ;

- établissement d'alternatives et comparaison de leurs coûts totaux.

Ces outils de management aident à évaluer des stratégies mais ne les génèrent pas. Or les décideurs demandent une approche systématique qui considère tous les coûts et fournit une réponse efficace à ce problème. Les modèles mathématiques s'appuyant sur la programmation linéaire proposent une telle approche (Crandall, 1998). Nous allons en décrire une application à un cas industriel.

#### **4. La problématique de Vallourec Précision Etirage (VPE).**

VPE fabrique des tubes d'acier en pièces ou en grande longueur pour les marchés automobiles (fournisseur de rang 1, 2 et 3) et pour les marchés mécaniques (réchauffeurs, chaudières, circuits...). La démarche logistique réorganise les processus industriels et administratifs pour atteindre 98 % de taux de service.

Basées sur 4 sites de production, les 10 lignes de fabrication assurent la production des 70 familles commerciales en travaillant 5 jours sur 7 en 3x8. La demande par famille de produits — la charge — est différente chaque mois. Au contraire la capacité est relativement stable.

Le PIC est le processus mensuel de mise à jour de la stratégie opérationnelle qui réconcilie la production et la demande sur un horizon de 12 mois. Ses étapes sont décrites dans la figure 2 (Genin, 2000) :

- élaboration des prévisions de demande par le service commercial par famille et ligne de fabrication ;
- calcul de charge et adéquation à la capacité réalisés par les chefs de ligne pour les lignes et par le directeur logistique pour l'entreprise ;
- élaboration des scénarios et des plans d'action correspondants sur les lignes et pour l'entreprise ;
- consolidation des besoins et des disponibilités et validation par le directeur logistique des plans d'action à mettre en œuvre par les lignes de production ;
- réunion mensuelle de présentation des scénarios, choix de la stratégie par le comité de direction.

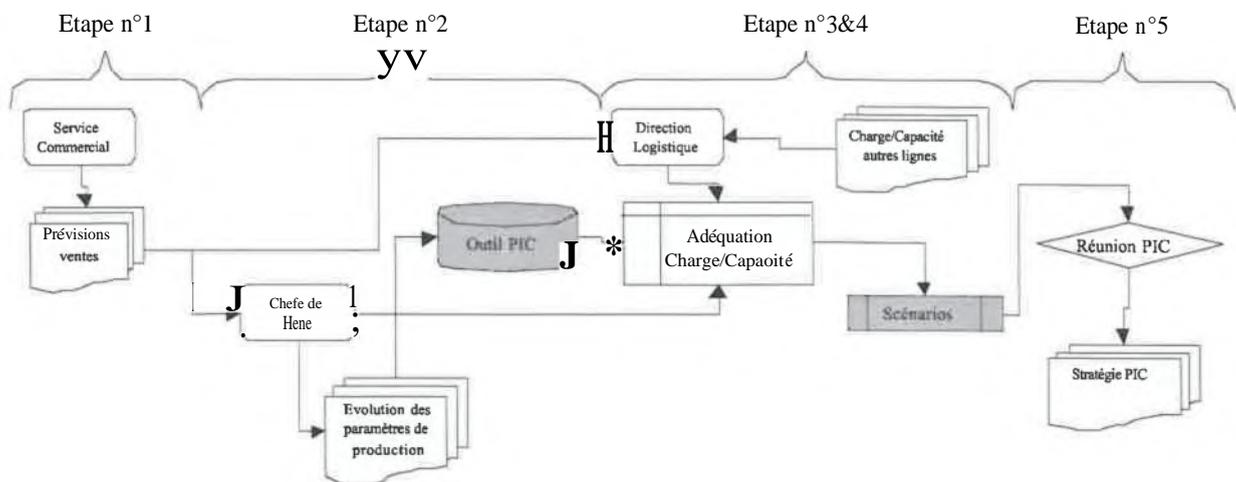


Figure 2 : Process PIC de VPE.

L'entreprise ajuste donc un ensemble de variables stratégiques pour " passer la charge " au cours de son processus d'élaboration du PIC. Ce sont :

- les stocks d'anticipation ;
- les ajustements de capacité (ouverture les week-ends et les jours fériés) ;
- la sous-traitance (limitée pour des raisons stratégiques) ;
- l'avance ou les retards de production ;
- la hiérarchisation des priorités par familles de produits sur les ressources de production.

La détermination des scénarios et des coûts totaux associés est difficile à faire à la main. La programmation linéaire permet de trouver l'optimum pour un ensemble de conditions données.

## 5. Le modèle de programmation linéaire proposé pour VPE

Le modèle présenté est simplifié : nous ne considérons qu'une seule ligne de fabrication et une seule famille de produits. De plus, les données sont tronquées pour des raisons de confidentialité.

Le PIC détermine pour la famille de produits considérée :

- le niveau de production ;
- le niveau de stock ;
- le niveau de sous-traitance ;
- le nombre de jours chômés ou supplémentaires ;
- le surcoût du PIC causé par la stratégie.

Le surcoût principal est le surcoût de production. Il est composé des surcoûts de production en jours chômés ou supplémentaires et de la sous-traitance. En plus de ce surcoût de production, VPE considère les coûts de possession des stocks. Le Plan d'Entreprise vise un taux de service de 100 %, soit aucun retard, et un niveau de stock inférieur à 3 jours, 195 t. Par conséquent, le stock algébrique ne peut pas être négatif. Il est donc compris entre 0 et 195 t.

Coût de possession d'I tonne pendant une période, <i>es</i>	190 F
Coût du retard d'I tonne pendant une période, <i>cr</i>	2 300 F
Surcoût de production d'I tonne en jour supplémentaire, <i>chs</i>	800 F
Surcoût de non production d'I tonne en jour chômé, <i>chc</i>	1 300 F
Surcoût d'I tonne sous-traitée, <i>est</i>	600 F
Stock initial, $S(0)$	100 t
Capacité en tonnes par jour, <i>c</i>	65 t/j

Tableau 1 : Informations PIC.

### 5.1 La définition des variables

$t$  est l'indice de la période. Une période correspond à un mois.  $T$  est le nombre de périodes, 12 dans notre cas.  $D(t)$  représente la demande prévisionnelle pour la période  $t$ .  $N(t)$  correspond aux jours de travail normal de la période  $t$ ,  $N_{\max}(t)$  est le maximum de jours de travail soit 6 jours sur 7 de cette même période  $t$ .  $cp(t)$  est la capacité normale de la période  $t$ .

Elle est déterminée par la formule .  $\forall t, cp(t) = c \times N(t)$   $HS_{\max}(t)$  est la capacité maximale de travail en heures supplémentaires pour la période. Elle est obtenue par la relation . Les  $\forall t, HS_{\max}(t) = c \times [N_{\max}(t) - N(t)]$  valeurs utilisées sont présentées sur la figure 3.

#### 5.1.1 Les variables de décisions

$HS(t)$  est le nombre de tonnes fabriquées en jours supplémentaires pendant la période  $t$ .  $ST(t)$  est le nombre de tonnes fabriquées en sous-traitance pendant la période  $t$ .  $HC(t)$  est le nombre de tonnes non produites en jours chômés pendant la période  $t$ .  $S(t)$  est le stock en fin de période  $t$ .  $R(t)$  est le retard en fin de période  $t$ .

#### 5.1.2 Les variables auxiliaires

$P(t)$  est la production totale réalisée.  $PR(t)$  est la production totale à réaliser.

### 5.1.3 La fonction objectif

Elle détermine le surcoût de la stratégie. C'est la somme des coûts de stock et de travail supplémentaire, chôme et sous-traité :

$$\sum_{t=1}^T chs \times HS(t) + chc \times HC(t) + cst \times ST(t) + es \times S(t) + cr \times R(t)$$

### 5.1.4 Les contraintes

Ce sont :

- la définition de  $P(t) : \forall t, P(t) = cp(t) + HS(t) - HC(t) + ST(t)$  ;
- la définition de  $PR(t) : \forall t, PR(t) = D(t) + S(t) - S(t-1)$  ;
- la conservation du flux :  $\forall t, P(t) = PR(t)$  ;
- les contraintes de stock :  $\forall t, S(t) \leq S_{max}(t)$  ;
- les contraintes de sous-traitance :  $\forall t, ST(t) \leq ST_{max}(t)$  ;
- les contraintes sur les variables de décisions :  $\forall t, HS(t) \leq HS_{max}(t)$  et  $\forall t, HC(t) \leq cp(t)$  ;
- les contraintes de non négativité :  $\forall t, 0 \leq HS(t), HC(t), ST(t), S(t), R(t)$  ,

	f1	e	z	t	JL	Λ	H	i	J	K	M	H	
1	Ptiodj	1	z	?	4	s	6	7	8	9	10	r v r r i z	
2	»»»	10i	0j	21j	22j	>.	16j	m	m	m	Efi	20i	20i
S	MΠoz(t)	Eli	15i	Eti	22j	20j	21j	Eti	Edi	E7j	zll	zt	Et
4													
i3	li	1 475	510	1055	1 SEP	1 757	1 E1 Q	1 405	1475	1 3 EQ	1005	1100	171E
i	STIMXO)	300	300	300	100	300	300	300	300	300	300	300	300
45	Smax(t)	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105

Figure 3 : Paramètres du PIC.

5.2 L'optimisation du PIC

La mise en forme du problème et l'utilisation du solveur EXCEL déterminent la solution optimale pour les conditions données. Les figures 4 et 5 montrent les résultats obtenus.

	1	2	3	4	5	«	T	*	«	!	1*	s	11	12
16 Fkria de /														
17 Demanda iy i/	1 475	510	1 355	1 320	1 757	1 210	1 003	1 47	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1
13 PRDDUEKION	1 235	505	1 315	1 430	1 1	1 040	1 430	1 300	1 430	1 300	1 300	1 300	1 1	1 1
Y Saur feraiteanca STiff	140	0	215	0	232	170	173	175	0	275	0	300	1 730	T
Zi TafdFnd	1 375	509	1 500	1 430	1 447	1 310	1 003	1 475	1 430	1 97	1 300	1 1	1 1	1 1
ZZ Stock Y/J	0	75	0	110	0	0	0	0	110	0	101	0	0	T
Surcoût	54	14	129	21	189	102	104	105	21	105	10	237	1 178	kr

Figure 4 : Synthèse du PIC optimisé.

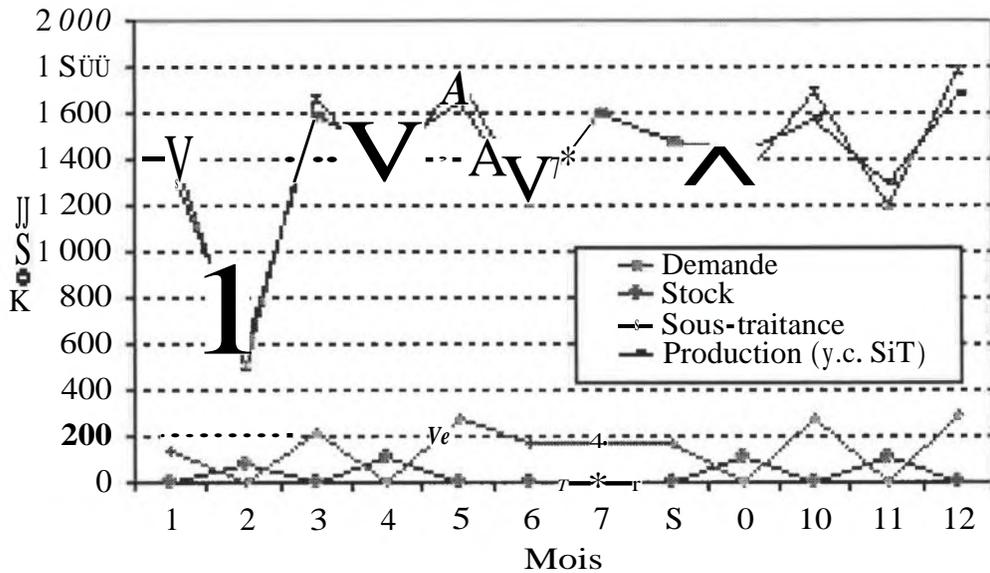


Figure 5 : Graphique PIC optimisé.

La stratégie recommandée est la constitution de stocks pendant les périodes de sous-charge et l'appel à la sous-traitance en cas de surcharge. La demande étant forte en période 12, 81 tonnes sont produites en heures supplémentaires, moins coûteuses que la sous-traitance et le stockage à la période 11. Le surcoût de ce scénario est de 1 170 KF. Si l'approche générale est logique, les choix spécifiques pour chaque mois peuvent ne pas être évidents (Crandall, 1998).

Supposons maintenant que différents événements de production se produisent quelques heures, quelques jours après la mise en œuvre de cette stratégie PIC :

5.2.1 Une commande exceptionnelle

Elle consomme 50 % du stock initial ! Que devient l'optimum ?

	A	E	O	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
5	<b>Plu lidastriel tt CoHerciil</b>														
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															
11															
12															
13															
14															
15															
16															
17															
18															
19															
20															
21															
22															
23															
24															
25															
26															
27															
28															
29															
30															
31															
32															
33															
34															
35															
36															
37															
38															
39															
40															
41															
42															
43															
44															
45															
46															
47															
48															
49															
50															
51															
52															
53															
54															
55															
56															
57															
58															
59															
60															
61															
62															
63															
64															
65															
66															
67															
68															
69															
70															
71															
72															
73															
74															
75															
76															
77															
78															
79															
80															
81															
82															
83															
84															
85															
86															
87															
88															
89															
90															
91															
92															
93															
94															
95															
96															
97															
98															
99															
100															

Figure 6 : Synthèse du PIC optimisé après commande.

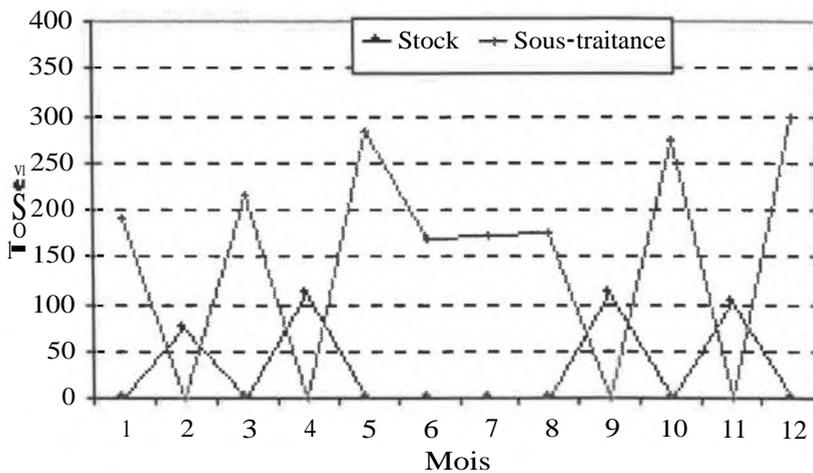


Figure 7 : Graphique PIC optimisé après commande.

Le volume en sous-traitance sera plus important, ce qui entraîne un surcoût supplémentaire de 30 KF. Le reste de la stratégie reste identique (figures 6 et 7). Cette commande exceptionnelle n'est rentable que dans le cas où sa marge est supérieure à ces 30 KF. Par ailleurs, si cet événement est anticipé, cela permet de prévenir le sous-traitant pour prendre les 50 tonnes supplémentaires. Dans le cas où cette commande n'est pas anticipée, les 50 tonnes

sont faites en heures supplémentaires au lieu d'être sous-traitées, soit encore 5 KF supplémentaires (50 x (700-600)).

**5.2.2 Restriction de capacité de notre fournisseur**

Un contrat sur un nouveau marché stratégique pour notre sous-traitant le contraint à ne traiter que 80 % de nos besoins ! Que devient l'optimum ?

	A	g	£	J	o	E	F	6	H	I	LJ	K	L	U	M	N	O
T																	
* Pmottur																	
Λ Stock initial	rrs	oIT															
JiJSstsi*4	15	Tfi															
11																	
12																	
i3 r																	
+<																	
15 STUKI>	ter																
3 POriaJ • /	1	2	j	4	5	0	T	OZJ	i •	ii	<<						
DLmonJ • f y / j	1 475	510	1 055	1 330	1 757	1 310	1 003	1 475	1 32	10*51	110»	1 T*2	10 441	!	J		
10 FRnJu-zciar	1 335	505	1 305	1 430	1 407	1 040	1 430	1 300	1 430	1 335	1 300	1 441	15 24*	T			
10 J Soui • C rui • C rui • ST / /	140	0	315	0	340	170	173	175	0	340	0	340	15 <<	T			
30 Ta-clprp4	1 375	505	1 500	1 430	1 047	1 310	1 003	1 475	1 430	1 575	1 300	1 001	14 *41	IT			
31 J *ack S t	0	75	0	no	0	0	0	0	110	0	101	0		T			
33 HF r n J r n Keur A i u r H S / /	0	0	0	0	43	0	0	0	0	35	Q	141	21*	T			
J Sur-inOt	04	14	135	31	173	103	104	105	31	104	14	343	1 1*4	KF			

Figure 8. Synthèse du PIC optimisé après restriction

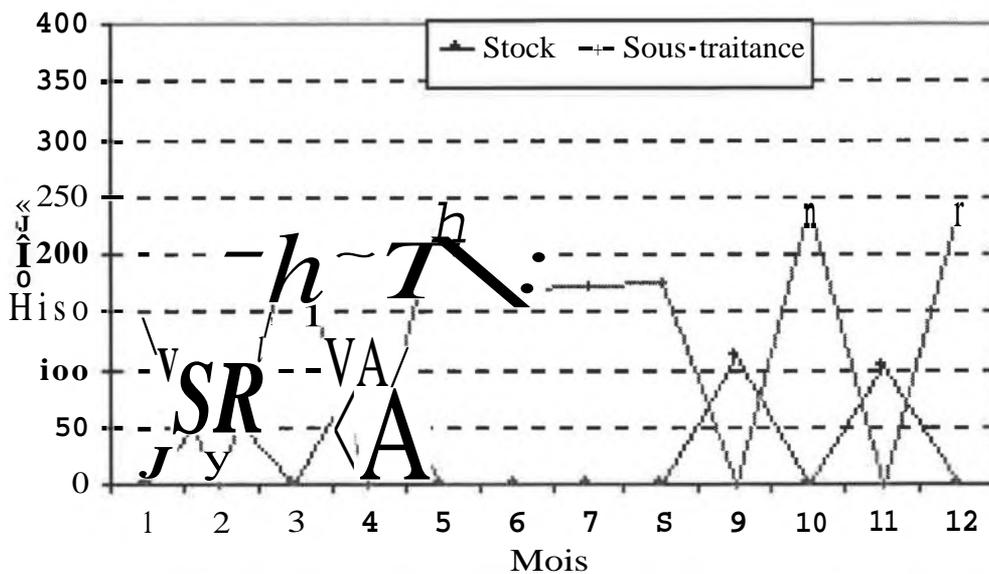


Figure 9. Graphique PIC optimisé après restriction

La sous-traitance est maintenant limitée à 240 tonnes par mois  $57 \max(t) \leq 240$  - (figures 8 et 9). Des jours supplémentaires sont à prévoir pour les périodes de surcharge. Le surcoût provoqué est de 14 KF.

### 5.2.3 Capacité réduite

Un aléa de production contraint VPE à produire pendant les deux premiers mois avec une capacité réduite de 20 % ! Que devient l'optimum ?

	A	* 9	D	E	F	G	H	I	J	K	U	M	N	O	
7	Plu lidastriel et Coaatrenl														
8	PIIIIM														
9	CpQt dt f or ppr n r														
10	Surcoût dpprdHpurArxup														
11	Surcoût dp prodHpurpx chàinûpx														
12	J Surcoût rptcrd														
13	Surcoût dr / oir treiter,ce														
14															
15	SrHUr														
16	Pûriodi r														
17	Demain do E/t	1 475	510	1 055	1 320	1 757	1 210	1 003	1 475	1 320	1 0*5	1 100	1 75	U 111	1
18	Production	0	df	1 305	1 030	1 477	1 000	1 430	1 300	1 430	1 335	1 300	1 dd1	14 034	T
19	Sptu treitericit	140	0	215	0	240	170	1731	175	0	240	0	240	1 5<<	T
20	Totclprad	112	dK	150	1 d30	U47	1210	1003	1 475	1 430	1 575	1 300	1 *1	1 * 527	T
21	Stock JW	0	75	0	110	0	0	0	0	110	0	101	0		T
22	FrdpnHpuritjup	0	0	0	0	42	0	0	0	0	35	0	141	21*	T
23	Surcoût	04	14	120	21	1731	102	104	105	21	100	10	243	1 1*4	KF

Figure 10. Synthèse du PIC optimisé après aléa

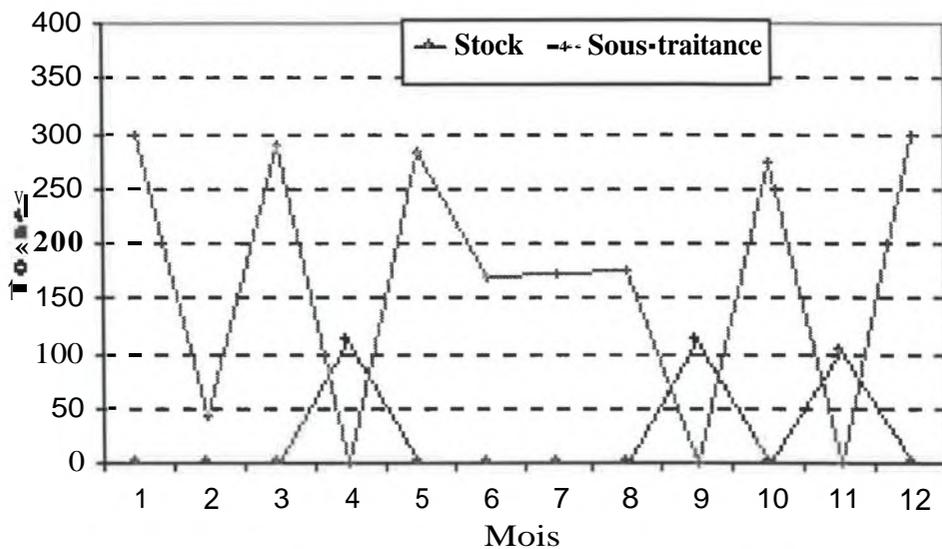


Figure 11 : Graphique PIC optimisé après aléa.

Des heures supplémentaires sont réalisées en période 1. La sous-traitance permet de répondre à la demande durant les mois 2 et 3. Puis la stratégie reste identique (figures 10 et 11).

### 5.2.4 Stockage impossible

Il est impossible de stocker –  $S_{max}(t) = 0$ . Que devient l'optimum ?

	A	S	O	O	E	F	S	H	I	J	K	L	M	N	O
Picrid et Couticil															
7															
8	Paramètres														
9	Saskia MSE														
10	Capacité	IML													
11		5	J												
12				Swen	Ot	4	prad	Hpur	xu	E	700	FdT			
13				Surcn	CH	di	prn	J	Hpur	xu	E	1	100	FdT	
14				Sur	«a	G	d	x	aux	»	ra	itance	>>	00	FYT
15	Synthèse														
16	Pirifflda t	1	2	3	J*	S	J	7	t	*	11	11	12	1	
17	Dtmoniefoy,y	1475	510	1055	1320	1757	1210	1003	1475	1320	10*5	1100	17*2	10 M1	T
18	JPraduction	1235	510	1305	1320	1457	1040	1430	1300	1320	1305	1100	14*2	15 * <<	T
19	Sou-traitance S(t)	140	0	200	0	300	170	173	175	0	300	0	300	1 * 4 *	T
20	Tauulprad	1375	510	1055	1320	1757	1210	1003	1475	1320	10*5	1100	17*2	1 << * 1	T
21	stou Sto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T
22	Prad * n Ho urtsf xup MS/ij	0	-75	0	-110	92	0	0	0	-110	15	-101	152	-3T	T
23	SureaQh	*4	00	174	143	244	102	104	105	143	240	131	307	1 * 75	KF

Figure 12 : Synthèse du PIC optimisé avec zéro stockage.

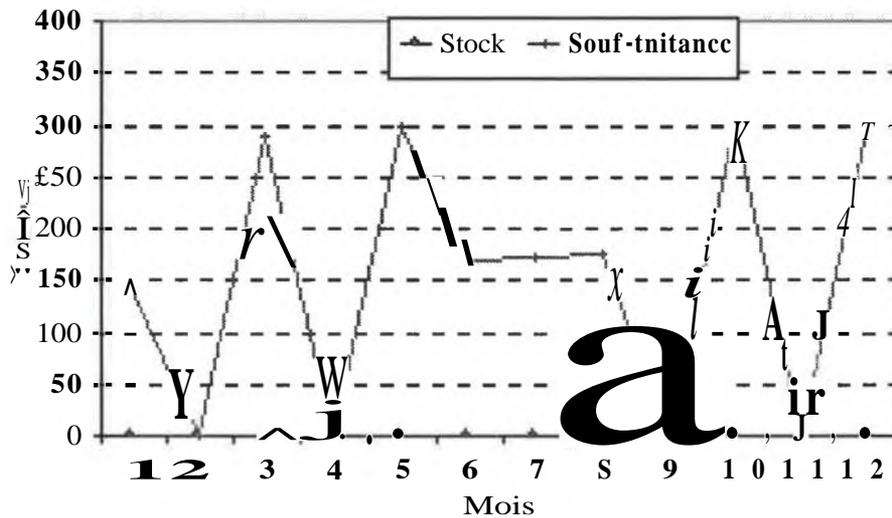


Figure 13 : Graphique PIC optimisé avec zéro stockage.

Les périodes de sous-charge provoquent des heures chômées et les périodes de surcharge, la saturation de la sous-traitance et des heures supplémentaires. Le surcoût de la stratégie est alors de 1 875 KF, soit une variation par rapport à l'optimum de 60 % (figures 12 et 13) !

## 6. Les limites de la programmation linéaire

Que doit-on conclure des simulations précédentes ? Que le niveau de stock initial est peu important ? Oui certes, mais il est plus intéressant de constater que l'optimum n'est pas stable !

Certes, la programmation linéaire rend des services au responsable Logistique en générant des stratégies optimales pour un ensemble donné de paramètres. Elle est plus adaptée que les techniques graphiques à l'exploitation de problèmes avec de multiples contraintes car elle fournit une technique qui conduit à une solution optimale, au sens des mathématiques, pour un ensemble donné de conditions.

Cependant, les scénarios développés précédemment montrent qu'un aléa de production peut faire diverger l'optimum fortement et ainsi changer la stratégie optimale. Dans un mode dynamique, rien n'empêche le modèle de donner des solutions fortement différentes à deux jours d'intervalle. A une date donnée, l'entreprise oriente sa stratégie vers l'optimum, met en œuvre des actions lourdes (un investissement par exemple); le lendemain, les conditions sont différentes et les actions sont tout autres ! La dispersion de l'optimum mathématique donné par le modèle avec la programmation linéaire a pour source la variabilité des paramètres dans le temps alors qu'ils sont considérés comme statiques dans le modèle. Cette hypothèse n'est pas toujours exactement satisfaite dans la pratique sur tout l'horizon de planification du PIC : par exemple, la capacité de sous-traitance peut être limitée ponctuellement.

L'emploi de tels outils est inséparable de l'examen attentif de la signification et de la validité de ces hypothèses, qui sont malheureusement remises en cause dans la pratique. En effet, les coefficients de consommation de ressources ou les coûts dépendent généralement des quantités : un sous-traitant réduit son prix unitaire si les quantités sont plus importantes. Ces cas ne peuvent pas être traités par la programmation linéaire. Giard (Giard, 1988) rappelle que " la programmation linéaire n'autorise que des structures de coûts convexes de production et de stockage (coûts marginaux non décroissants). Ce qui est gênant dans ce type de contrainte, c'est l'impossibilité de pouvoir introduire de coût de lancement, car en général, sur un horizon de quelques mois, la production s'effectue à coûts marginaux non décroissants, une fois passée la production de la première unité." L'écriture d'un problème sous la forme d'un programme linéaire nécessite un grand nombre d'hypothèses (linéarité et indépendance des variables).

## 7. Les perspectives du PIC

Comment étendre les modèles qui utilisent la programmation linéaire ? La réponse sera de rechercher des modèles utilisant la programmation dynamique non linéaire et linéaire paramétrée, ou les règles de décisions linéaires ou de recherche décisionnelle. Certains auteurs ont proposé, dans des cas particuliers, d'autres approches (modèles d'optimisation stochastiques, Monte Carlo) (Moutaz, 1998. Silva, 1999). Comment aborder les PIC dans le cas d'entreprises à lignes multiples ? Une recherche approfondie dans les techniques d'ordonnancement de production doit apporter une réponse convenable. Comment rendre robuste le scénario proposé par la programmation linéaire ? La réponse est : en utilisant le PIC...

Le PIC est le processus qui cadre le niveau de capacité et les actions à mettre en œuvre pour que les Programmes du Directeur de Production puissent être réalisables. Il doit donc être relativement stable, en raison du poids des décisions prises. Par exemple, le niveau de stock est limité par la capacité de stockage. En cas d'aléas, la stratégie de rechange peut devenir fort coûteuse pour l'entreprise alors qu'un simple contrat avec une entreprise d'entreposage pourrait rendre robuste la stratégie des mois à venir.

Le PIC devient ainsi l'instance de réflexion qui oriente les décisions pour rendre robuste la stratégie proposée par le modèle selon les conditions données (les paramètres). L'outil d'aide à la décision doit donner une réponse moyenne qui sera la meilleure réponse possible pour plusieurs ensembles de conditions. Le PIC ne sera pas alors optimisé au sens des mathématiques mais variera peu lors d'une modification de paramètres.

Les plans d'expériences sont les outils traditionnels pour établir la robustesse de la réponse d'un système — c'est-à-dire réduire la variabilité des réponses — en influençant les paramètres de pilotage — de réglage (Pillet, 1992).

Dans le cas de nos modèles PIC, les paramètres d'entrée représentent les prévisions de ventes. Les paramètres de pilotage sont ceux qui permettent de maîtriser le système : coûts des heures supplémentaires, de la sous-traitance, le stock maximum... Ce sont les leviers d'action du planificateur. Les paramètres de perturbation sont tous ceux qui interviennent sur le système indépendamment de la volonté du planificateur. C'est le cas par exemple du niveau initial du stock, de la capacité de la ligne...

Taguchi appelle les paramètres non-contrôlables des " bruits " (Taguchi, 1987). Un système sera d'autant plus " robuste " que la variabilité dans les stratégies sera faible. Une stratégie sera robuste si elle n'est pas remise en question par des facteurs extérieurs non contrôlés (les bruits).

L'utilisation des plans d'expériences offre la possibilité d'explorer, avec un nombre restreint d'essais, les stratégies moyennes qui optimisent les PIC tout en limitant leur variabilité. Le planificateur doit fixer, au cours du processus, les valeurs nominales des paramètres de pilotage selon une double optimisation :

- le fonctionnement optimum du système ;
- la robustesse des résultats.

Trop souvent, nous négligeons la seconde optimisation. Nous élaborons alors des stratégies sur le papier qui ont du mal à être mises en œuvre ou conduisent à des sous-optima dans un environnement " bruité ".

## 8. Conclusion

Nous avons, dans le cadre de travaux récents, initié cette voie de recherche sur la robustesse du PIC grâce à des simulations réalisées en prenant en compte des variables contrôlables et non-contrôlables pour le système industriel et le gestionnaire (Thomas et Lamouri, 2000). Notre recherche bibliographique nous laisse percevoir que d'autres outils mathématiques peuvent être intéressants à tester pour réaliser ces scénarios. Nous voulons nous attacher à montrer qu'une recherche d'optimum dans ce domaine doit s'obtenir par différents niveaux de simulations : un premier pour définir une cible optimale, un second pour définir une plage de variation tolérable sans dégradation de coût, et enfin une loi définissant la perte marginale en fonction de l'écart à l'optimal.

## 9. Références

- Crandall, R.E., (1998), "Production Planning in a variable Demand Environment", *Production and Inventory Management Journal*, 4th Quarter, APICS, p. 41-48.
- Duncan C. McFarlane, Bussmann, (2000), "Developments in holonic production planning and control", *Production Planning and Control*, Vol 11 Nbr 6, p. 522-536.
- Genin P., (2000), "Le Plan Industriel et Commercial : Recherche des pratiques optimales du processus d'élaboration", Mémoire de DEA, LATTIS, Ecole Nationale des Ponts & Chaussées, Paris, France.
- Giard V., (1998), *Gestion de la Production*, Economica, Coll. Gestion, 2ème édition.
- Giard V., (1998), *Processus productifs et Programmation linéaire*, Economica.
- Gueret C., Prins C. et Servaux M., (2000), *Programmation linéaire*, Eyrolles.
- Heizer and Render, (1995), *Production and Operations management*, Prentice hall.
- Jacquet-Lagrece E., (1998), *Programmation linéaire*, Economica.
- Lamouri S, Thomas A., (1999), "Optimization of the process of development of the SOP", *International Conference (CPP 99)*, Tanger, Maroc, p. 328-338.
- Moutaz K., (1998), "An aggregate production planning framework for the evaluation of volume flexibility", *Production Planning and Control*, Vol: 9 Nbr 2, p. 127-137.
- Nollet, Kelada et Dioro, (1999), *La gestion des opérations et de la production*, Editions Morin Gastan.
- Pillet M., (1992), *Introduction aux plans d'expériences par la méthode Taguchi*, Editions d'organisation Université, Paris.
- Silva Filho O. S., (1999), "An aggregate production planning model with demand under uncertainty", *Production Planning and Control*, Vol 10 Nbr 8, p. 745-756.
- Spencer M.S., (1994), "Economic theory, cost accounting and theory of constraints: year examination of relationships and problems", *International Newspaper of Research production*, Flight 32, Fasc 2, p. 299-308.
- Taguchi G., (1987), *Orthogonal arrays and linear graph*, American Supplier Institute press.

Thomas A. et Lamouri S., (2000), "The new problem with Sales, Inventories and Operations planning in a Supply Chain environment", *Proceedings of the International Society for Optical Engineering on Intelligent Systems in Design and Manufacturing*, Boston, USA, p 321-329.

Vollmann, Berry et Whybark. (1992) *Manufacturing, Planning and Systems Control*, The Business One Irwin.