



HAL
open science

Optimisation de la repartition des moyens dans un systeme d'assemblage

Jean-Marie Proth

► **To cite this version:**

Jean-Marie Proth. Optimisation de la repartition des moyens dans un systeme d'assemblage. RR-0268, INRIA. 1984. inria-00076290

HAL Id: inria-00076290

<https://inria.hal.science/inria-00076290>

Submitted on 24 May 2006

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

IRIA

CENTRE DE ROCQUENCOURT

Institut National
de Recherche
en Informatique
et en Automatique

Domaine de Voluceau
Rocquencourt
BP 105
78153 Le Chesnay Cedex
France
Tél. (3) 954 90 20

Rapports de Recherche

N° 268

**OPTIMISATION
DE LA RÉPARTITION
DES MOYENS DANS
UN SYSTÈME D'ASSEMBLAGE**

Jean-Marie PROTH

Janvier 1984



**INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE
EN INFORMATIQUE ET EN AUTOMATIQUE**

Domaine de Voluceau - Rocquencourt

B. P. 105 - 78153 LE CHESNAY CEDEX (France)

Tél.: (3) 954 90 20 Télex: 697 033 F

OPTIMISATION DE LA REPARTITION DES MOYENS

DANS UN SYSTEME D'ASSEMBLAGE

Jean-Marie PROTH^{*}

* INRIA

CENTRE DE SOPHIA ANTIPOLIS - 06560 VALBONNE - Tél.: (93) 74 80 80

CENTRE DE RENNES - IRISA - Campus Universitaire de Beaulieu - 35042 RENNES CEDEX - Tél.: (99) 36 20 00

ABSTRACT

We consider an assembly system. We call assembly process an ordered set of assembly jobs. Each assembly process leads to a kind of manufactured article. Each assembly job can be done on one or more identical workstation (in fact, a worker is often himself a workstation in that kind of systems). The set of assembly processes is known, as also the time needed in order to execute each assembly job. We consider a string of consecutive time periods. We have to deliver a given number of manufactured articles of each kind at the end of each period. It is possible to store a bounded quantity of each article at the end of each period in time. The problem consists in finding a production planning which verifies the above constraints and which minimizes the maximal workers' free time

RESUME

Nous considérons un système d'assemblage. Une gamme d'assemblage est un ensemble ordonné de tâches d'assemblage. Chaque gamme d'assemblage conduit à un type de produit. Chaque tâche d'assemblage peut être exécutée sur un ou plusieurs postes de travail identiques. Lorsqu'un poste de travail fonctionne, il nécessite la présence d'un ouvrier (en fait, un ouvrier constitue souvent à lui seul un poste de travail dans les systèmes d'assemblage). L'ensemble des gammes d'assemblage est connu, ainsi que le temps nécessaire à l'exécution de chaque tâche d'assemblage. Nous considérons une suite de périodes de temps consécutives. Il faut fournir un nombre donné de produits de chaque type à la fin de chaque période. Il est possible de stocker une quantité bornée de chaque produit à la fin de chaque période. Le problème consiste à trouver un planning de production qui vérifie les contraintes ci-dessus et qui minimise le temps maximum de non-occupation des ouvriers sur l'ensemble des périodes et l'ensemble des postes.

INTRODUCTION

Nous nous intéressons à un système d'assemblage. Tout produit pris en charge par un tel système doit subir une séquence connue d'opérations, et le temps nécessaire pour exécuter chacune d'elles est donné. La séquence d'opérations, ainsi que le temps nécessaire pour exécuter chacune d'elles, peuvent varier d'un produit à l'autre.

Chaque opération peut être exécutée par plusieurs postes de travail identiques, chacun d'eux nécessitant, lorsqu'il est en fonctionnement, la présence d'un ouvrier. Le nombre d'ouvriers employés ne peut varier au cours d'une même période de travail, mais peut varier (en nombre et/ou en répartition) d'une période à l'autre. Pour fixer les idées, nous considérons ici une période de travail de 7 heures 1/2, 45 000 centièmes de minute. Une telle période est parfois appelée "poste", mais nous écarterons cette dénomination pour éviter toute confusion.

Les quantités à produire au cours de chacune des périodes de travail considérées dans notre étude sont connues pour toutes les références (i.e types de produit) qui peuvent être prises en charge par le système de montage. A chaque fin de période, et pour chaque produit, il est possible de stocker un certain excédant. Cet excédant est connu.

Nous appelons "planning de fabrication" la donnée, pour chaque produit et chaque période prise en compte, de la quantité à fabriquer.

Le problème que nous nous proposons de résoudre peut alors s'énoncer comme suit :

trouver un planning de fabrication qui respecte les limites de stockage données et qui minimise le maximum du temps moyen de disponibilité des ouvriers attaché, à une même opération durant une période et l'ensemble des opérations.

Soulignons que nous ne cherchons pas à minimiser le nombre d'ouvriers utilisés pour répondre à la demande, mais de minimiser le temps d'activité des ouvriers sur l'ensemble des opérations et des périodes de travail. La minimisation du critère retenu

peut conduire à un excédant de production à la fin de la dernière période considérée, excédant qui ne peut cependant pas dépasser les limites définies plus haut.

Après avoir posé le problème, nous présentons les résultats nécessaires à l'obtention d'une solution. L'algorithme que nous proposons ensuite conduit à une solution proche de l'optimum. Il tient compte du fait que les temps nécessaires à l'exécution des opérations sont faibles par rapport à la période de travail. Nous terminons l'exposé par le sous-programme FORTRAN qui résout le problème.

I. DEFINITIONS ET NOTATIONS

Le système considéré peut fabriquer n produits différents, chacun d'eux subissant q opérations.

Nous connaissons

$$t_{i,j}, \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad j = 1, 2, \dots, q$$

qui est le temps nécessaire pour qu'une unité de produit i subisse l'opération j . Ces temps sont tous strictement positifs.

T est la durée d'une période de travail

Nous savons que, quels que soient $i \in \{1, 2, \dots, n\}$

et $j \in \{1, 2, \dots, q\}$

$t_{i,j}$ est "très petit" par rapport à T . Cette propriété permet de supposer que tout produit dont la fabrication débute au cours d'une période de travail est terminé au cours de la même période.

Nous envisageons une suite de p périodes de travail et m_i^k , $i = 1, 2, \dots, n$; $k = 1, 2, \dots, p$ est la demande en produit i à la fin de la période k .

Nous désignerons par

$$x_i^k, \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad k = 1, 2, \dots, p$$

la quantité de produit i effectivement produite au cours de la période k . L'ensemble des x_i^k s'appellera planning de production.

La quantité totale d'un produit fabriquée jusqu'à une fin de période quelconque ne doit pas dépasser les besoins de plus

d'une quantité connue. En outre, les besoins doivent toujours être satisfaits. Cette contrainte se traduit par les relations suivantes :

quels que soient $r = 1, \dots, p$ et $i = 1, 2, \dots, n$:

$$\sum_{k=1}^r m_i^k \leq \sum_{k=1}^r x_i^k \leq \sum_{k=1}^r m_i^k + \alpha_i \quad (1)$$

où α_i est le dépassement autorisé pour le produit i .

Supposons connues les quantités produites.

Pour $j = 1, 2, \dots, q$ et $k = 1, 2, \dots, p$, le temps à consacrer à l'opération j durant la période k s'écrit :

$$\theta_j^k = \sum_{i=1}^n x_i^k t_{i,j} \quad (2)$$

Soit W_j^k entier défini de la manière suivante :

$$(W_j^k - 1) T < \theta_j^k \leq TW_j^k \quad (3)$$

Alors il faudra consacrer W_j^k postes de travail à l'opération j durant la période k . Chacun de ces postes mobilise une personne. Nous ne cherchons pas à minimiser le nombre de personnes employées pour les p périodes de travail, mais à définir une production satisfaisant les contraintes (1) et utilisant au mieux les postes de travail.

Le problème se traduit alors de la manière suivante :

trouver le planning de production :

x_i^k , $i = 1, \dots, n$; $k = 1, \dots, p$
qui satisfait (1) et qui minimise :

$$\text{Max}_{k=1,2,\dots,p} \left\{ \text{Max}_{j=1,\dots,q} \left[(TW_j^k - \theta_j^k) / W_j^k \right] \right\} \quad (4)$$

où θ_j^k est donné par (2) et W_j^k par (3)

$$\left((TW_j^k - \theta_j^k) / W_j^k \right) \text{ est nul si } W_j^k = 0$$

Nous cherchons donc à minimiser le temps moyen maximal de non-emploi, le maximum étant pris sur l'ensemble des postes et l'ensemble des périodes.

A aucun moment nous n'avons soulevé le problème de l'ordonnancement des produits à fabriquer. Nous avons observé plus haut que le temps de fabrication est faible par rapport à une période de travail. Le débit du système de production, compté en nombre d'unités de produit par période de travail, est donc élevé. En outre, le nombre de produits différents (n) est important. Nous sommes ainsi toujours en mesure de trouver un ordonnancement qui réalise une charge de travail définie comme nous venons de l'indiquer.

Dans le paragraphe suivant, nous présentons les résultats qui nous ont conduits à l'algorithme que nous proposons plus loin.

II. RECHERCHE DE LA SOLUTION OPTIMALE

Soit x_i^k , $i = 1, \dots, n$; $k = 1, \dots, p$ un planning de production qui satisfait (1) et (3), où w_j^k , $j = 1, \dots, q$; $k = 1, \dots, p$ sont connus.

Pour $i = 1, \dots, n$ et $k = 1, \dots, p$, nous désignons par δ_i^k un entier quelconque et nous considérons le planning

$$x_i^{*k} = x_i^k + \delta_i^k.$$

Pour que ce planning soit admissible, c'est à dire vérifie (1) et (3), il faut que :

Pour $r = 1, \dots, p$ et $i = 1, \dots, n$:

$$\sum_{k=1}^r (m_i^k - x_i^k) \leq \sum_{k=1}^r \delta_i^k \leq \sum_{k=1}^r (m_i^k - x_i^k) + \alpha_i \quad (5)$$

et, pour $j = 1, \dots, q$ et $k = 1, \dots, p$:

$$(w_j^k - 1) T - \theta_j^k \leq \sum_{i=1}^n \delta_i^k t_{i,j} \leq w_j^k T - \theta_j^k \quad (6)$$

Nous désignons par X le planning x_i^k , $i = 1, \dots, n$;
 $k = 1, \dots, p$ et par X^* le planning x_i^{*k} , où i et k varient comme
 ci-dessus.

Nous cherchons un ensemble d'entier δ_i^k pour que le
 critère (4) appliqué à X^* conduise à une valeur inférieure à
 celle que l'on obtient lorsqu'on l'applique à X . Nous dirons
 dans ce cas que X^* est meilleur que X au sens de (4).

RÉSULTAT I

Soient (k_w, j_w) $w = 1, \dots, s$ les couples (k, j)
 qui réalisent (4) pour X .

Si, pour un ensemble d'entiers δ_i^k , $i = 1, \dots, n$; $k = 1, \dots, p$:

1. quelque soit $k \in k_1, \dots, k_s$,

$$\delta_i^k \geq 0 \text{ pour } i = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

avec :

$$0 < \sum_{k \in D_r} \delta_i^k \leq \sum_{k=1}^r (m_i^k - x_i^k) + \alpha_i \quad (8)$$

pour $i = 1, 2, \dots, n$; $r = 1, \dots, p$

et

$$D_r = \{ k / k \leq r \text{ et } k \in (k_1, \dots, k_s) \}$$

et :

$$\sum_{i=1}^n \delta_i^k t_{i,j} \leq w_j^k T - \theta_j^k \text{ pour } j = 1, \dots, q \quad (9)$$

2. quel que soit $k \notin \{k_1, \dots, k_s\}$

$$\delta_i^k = 0 \text{ pour } i = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

alors X^* est meilleur que X au sens de (4)

Démonstration

a) Les relations (7), (8), (9) et (10) peuvent se réécrire :

$$\delta_i^k \geq 0 \text{ pour } i = 1, 2, \dots, n ; k = 1, 2, \dots, p \quad (11)$$

avec :

$$0 \leq \sum_{k=1}^r \delta_i^k \leq \sum_{k=1}^r (m_i^k - x_i^k) + \alpha_i \quad (12)$$

pour $i=1,2,\dots, n$; $r=1,2,\dots, p$

et :

$$0 \leq \sum_{i=1}^n \delta_i^k t_{i,j} \leq w_j^k T - \theta_j^k \quad (13)$$

pour $k = 1, \dots, p$ et $j = 1, \dots, q$

Mais :

$$\sum_{k=1}^r (m_i^k - x_i^k) \leq 0 \text{ pour } i = 1, \dots, n ; r = 1, \dots, p \quad (14)$$

(voir relation (1))

et :

$$(w_j^k - 1) T - \theta_j^k \leq 0 \text{ pour } j = 1, \dots, q \text{ et } k = 1, \dots, p \quad (15)$$

(voir relation (3))

Finalement :

Les relations (12) et (14) conduisent à (5)

et les relations (13) et (15) conduisent à (6)

Le planning X^* est donc admissible

b) soit :

$$\theta_j^{*k} = \sum_{i=1}^n x_i^{*k} t_{ij}$$

alors :

$$\begin{aligned} (Tw_j^k - \theta_j^{*k}) / w_j^k &= (Tw_j^k - \theta_j^k - \sum_{i=1}^n \delta_i^k t_{i,j}) / w_j^k \\ &= (Tw_j^k - \theta_j^k) / w_j^k - \sum_{i=1}^n \delta_i^k t_{i,j} / w_j^k \end{aligned} \quad (16)$$

Si bien que :

1. si $k \in \{k_s, \dots, k_s\}$

alors :

$$\sum_{i=1}^n \delta_i^k t_{i,j} = 0 \text{ pour } j = 1, \dots, q \text{ (c.f (7) et (8))}$$

et :

$$(Tw_j^k - \theta_j^{*k}) / w_j^k < (Tw_j^k - \theta_j^k) / w_j^k \text{ pour } j = 1, \dots, q \quad (17)$$

2. si $k \notin \{k_1, \dots, k_s\}$

alors :

$$\sum_{i=1}^n \delta_i^k t_{i,j} = 0 \text{ pour } j = 1, \dots, q \text{ (c.f (10))}$$

et :

$$(Tw_j^k - \theta_j^{*k}) / w_j^k = (Tw_j^k - \theta_j^k) / w_j^k \text{ pour } j = 1, \dots, q \quad (18)$$

En se souvenant de la définition de k_1, k_2, \dots, k_s et en considérant (17) et (18), nous voyons que X^* est meilleur que X au sens de (4).
Ce qui achève la démonstration.

□

Le résultat que nous présentons maintenant est une généralisation du précédent :

RESULTAT II

Nous désignons encore par (k_w, j_w) $w = 1, \dots, s$ les couples (k, j) qui réalisent (4) pour le planning de production X et Z la valeur prise par (4) pour X .

Soit un ensemble d'entiers δ_i^k , $i = 1, \dots, n$; $k = 1, \dots, p$:

- qui vérifient (5) et (6)

- tels que $\sum_{i=1}^n \delta_i^k t_{i,j_w} > 0$ pour $w = 1, 2, \dots, s$ (19)

- tels que :

$$(Tw_j^k - \theta_j^k) / w_j^k - \sum_{i=1}^n \delta_i^k t_{i,j} / w_j^k < Z$$

pour $(k, j) \notin \{(k_w, j_w)\}_{w=1, \dots, s}$

Alors le planning de production X^* est meilleur que X au sens du critère (4)

Démonstration

Les entiers δ_i^k , $i = 1, \dots, n$; $k = 1, \dots, p$, vérifient (5) et (6), donc X^* est admissible

En utilisant (19) et (20) dans (16), la suite de la démonstration est immédiate.

□

Le corollaire suivant permet de tester si l'optimum est atteint.

COROLLAIRE I

S'il n'existe aucun ensemble d'entiers δ_i^k , $i = 1, \dots, n$; $k = 1, \dots, p$ vérifiant (5), (6), (19) et (20), alors X est optimal au sens du critère 4.

Démonstration

Immédiate, compte tenu de ce qui précède.

Remarque 1 :

Le corollaire précédent reste difficile d'application. Il nécessite en effet 3^n essais avant de décider que X est optimal. Chaque δ_i^k peut en effet prendre l'une des trois valeurs -1, 0 ou +1. Nous verrons cependant que le volume des calculs peut être considérablement réduit si l'on se contente d'une solution proche de l'optimum.

Remarque 2

Les résultats que nous venons de présenter supposent connus les W_j^k , $k = 1, \dots, p$; $j = 1, \dots, q$. Rappelons que W_j^k , est le nombre de postes de travail consacrés à l'opération j durant la période k . Reste à choisir ces quantités. C'est l'objet du résultat suivant.

Notons :

$$E(A) = \begin{cases} A & \text{si } A \text{ est entier} \\ [A] + 1 & \text{sinon} \end{cases}$$

où $[]$ désigne la partie entière.

Nous allons montrer le résultat suivant :

RESULTAT III

Soit $U \in \{1, 2, \dots, p-1\}$. Nous supposons connus les W_j^k pour $k = 1, 2, \dots, U-1$ et $j = 1, 2, \dots, q$.

Alors, pour tout $j \in \{1, 2, \dots, q\}$:

$$\left[E \left(\frac{\sum_{k=1}^u \sum_{i=1}^n m_i^k t_{i,j}}{T} \right) - \sum_{k=1}^{u-1} W_j^k \right] \leq W_j^u$$

$$\leq \left[E \left(\frac{\sum_{k=1}^u \sum_{i=1}^n m_i^k t_{i,j} + \sum_{i=1}^n \alpha_i t_{i,j}}{T} \right) - \sum_{k=1}^{u-1} (W_j^k - 1) \right]^+ \quad (21)$$

Où :

1. toute somme du type $\sum_{i=a}^b$ est nulle lorsque $b < a$
2. $[a]^+ = \text{Max}(0, a)$

Démonstration

Rappelons que :

$$W_j^k = E \left(\frac{\sum_{i=1}^n X_i^k t_{i,j}}{T} \right) \quad \text{pour } k = 1, \dots, p \text{ et } j = 1, \dots, q \quad (22)$$

D'autres part (c.f. (1) pour $U = 1, \dots, p$ et $i = 1, \dots, n$;

$$\sum_{k=1}^u M_i^k - \sum_{k=1}^{u-1} x_i^k \leq x_i^u \leq \sum_{k=1}^u m_i^k - \sum_{k=1}^{u-1} x_i^k + \alpha_i$$

d'où :

$$\sum_{k=1}^u \frac{\sum_{i=1}^n m_i^k t_{i,j}}{T} - \sum_{k=1}^{u-1} \frac{\sum_{i=1}^n x_i^k t_{i,j}}{T} \leq \frac{\sum_{i=1}^n x_i^k t_{i,j}}{T}$$

$$\leq \sum_{k=1}^u \frac{\sum_{i=1}^n m_i^k t_{i,j}}{T} - \sum_{k=1}^{u-1} \frac{\sum_{i=1}^n x_i^k t_{i,j}}{T} + \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i t_{i,j}}{T} \quad (23)$$

Observons que :

$$W_j^k \geq \frac{\sum_{i=1}^n x_i^k t_{i,j}}{T} \quad (\text{c.f. (22)})$$

$$(W_j^k - 1)^+ \leq \frac{\sum_{i=1}^n x_i^k t_{i,j}}{T} \quad (\text{c.f. (22)})$$

La relation (23) conduit ainsi à :

$$\sum_{k=1}^u \frac{\sum_{i=1}^n m_i^k t_{i,j}}{T} - \sum_{k=1}^{u-1} W_j^k \leq \frac{\sum_{i=1}^n x_i^u t_{i,j}}{T}$$

$$\leq \sum_{k=1}^u \frac{\sum_{i=1}^n m_i^k t_{i,j}}{T} - \sum_{k=1}^{u-1} (W_j^k - 1)^+ + \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i t_{i,j}}{T}$$

En observant que $a \leq b$ entraîne $E(a) \leq E(b)$, les inégalités précédentes conduisent à (21).

□

III. PRESENTATION

Nous appelons configuration la donnée, pour chaque période et chaque tâche d'assemblage, du nombre de postes qui seront utilisés. Le résultat III permet de générer toutes ces configurations.

Une configuration étant donnée, la recherche d'une "bonne solution" s'effectue alors en deux étapes.

1. Recherche du planning de production initial

On constitue d'abord le planning minimal - c'est-à-dire le planning qui répond exactement à la demande.

On cherche ensuite, pour chaque période de travail, le supplément de production que l'on peut effectuer compte tenu des moyens disponibles et des contraintes sur les suppléments de production.

Cette recherche s'effectue elle même en deux temps :

a. augmentation simultanée de toutes les productions d'une même quantité

b. puis augmentation de la production des produits qui s'y prêtent sans violer les contraintes.

On aborde ensuite la deuxième phase.

2. Affinage du planning initial

Elle se déroule en deux étapes. Après avoir repéré la période et la tâche pour lesquelles les postes présentent un maximum de temps d'inactivité, nous cherchons à charger ces postes de deux manières :

a. retardement d'une surproduction antérieure et/ou avance d'une production postérieure à la période repérée

b. puis nouvel affinage : on essaie, pour la période repérée, de diminuer une production qui nécessite un temps opératoire faible pour la tâche repérée pour la remplacer par une production qui nécessite un temps opératoire fort pour la même tâche.

On n'envisage donc pas toutes les combinaisons possibles. La solution obtenue n'est donc pas optimale mais proche de l'optimum car les temps opératoires sont du même ordre et faibles par rapport à la période d'étude.

IV. PRESENTATION D'UN PROBLEME REEL

Nous travaillons sur 10 périodes en horizon glissant. Le système considéré peut fabriquer 16 types de produits différents et exécuter 6 opérations.

Nous parlerons de "référence" pour désigner un type de produit et de "groupe" (i. e. groupe de postes) pour désigner l'ensemble des postes attachés à une même tâche. Dans notre exemple, un poste est équivalent à un ouvrier.

L'unité de temps est le centième de seconde et la période de travail est de 45000 unités de temps.

Le tableau I donne les besoins exprimés.

références périodes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	1	300	0	300	0	0	0	350	150	0	0	600	0	0	200	0
2	600	0	0	0	0	0	350	150	0	0	600	0	0	0	0	200
3	300	0	0	0	0	300	350	0	150	0	600	0	0	0	0	200
4	0	0	600	0	0	0	350	0	150	0	300	300	0	0	0	200
5	0	0	300	0	0	300	350	0	150	600	0	0	0	0	200	0
6	300	0	0	0	300	0	350	150	0	0	600	0	0	200	0	0
7	300	0	0	0	300	0	350	150	0	0	600	0	0	0	0	200
8	300	0	0	0	300	0	350	0	150	0	600	0	0	0	200	0
9	300	0	300	0	0	0	350	0	150	0	0	0	0	0	0	200
10	300	0	300	0	0	0	350	0	150	0	600	0	0	200	0	0

Tableau 1

Le tableau 2 donne le temps de passage de chaque référence sur chaque opération.

Références groupes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	140.41	140.41	140.41	140.41	119.38	140.41	53.89	53.89	99.31	53.16
2	34.94	34.94	28.22	28.22	34.94	28.22	41.5	26.21	26.21	31.14
3	276.14	307.6	309.9	341.26	124.88	324.3	134.13	192.3	227.79	116.33
4	30.63	30.63	30.63	30.63	30.63	30.63	91.83	90.66	90.66	54.54
5	183.29	216.89	189.89	223.49	161.78	189.89	82.83	126.78	181.78	75.88
6	189.11	193.87	219.41	224.17	143.25	264.21	131.99	141.34	169.46	144.65

Références Groupes	11	12	13	14	15	16
1	53.16	53.16	53.16	54.62	54.62	54.62
2	0	0	65.97	0	0	0
3	91.9	116.93	101.02	230.5	223.55	239.12
4	83.27	112.06	112.06	126.11	126.11	126.11
5	124.32	129.75	129.75	160.22	160.22	160.22
6	124.32	125.78	125.78	184.35	183.62	153.33

Tableau 2

Enfin, le tableau 3 donne les dépassements cumulés autorisés à la fin de chaque période et pour chaque référence.

Références	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Groupes	10	20	18	30	10	10	20	10	20	15	15	10	10	5	10	10

Tableau 4

Les résultats sont présentés ci-dessous. On y trouvera le planning de production ainsi que le nombre de postes (c'est à dire d'ouvriers) en activité pour chaque période et chaque groupe.

Les temps moyens d'inactivité sont donnés en pourcentages de période de travail par ouvrier.

Periode: 1
Groupe: 1 Nb. d'ouvriers: 4 Temps moy. d'inactivite: 0.1327942E+00
Groupe: 2 Nb. d'ouvriers: 1 Temps moy. d'inactivite: 0.1575236E+00
Groupe: 3 Nb. d'ouvriers: 8 Temps moy. d'inactivite: 0.6906611E-02
Groupe: 4 Nb. d'ouvriers: 4 Temps moy. d'inactivite: 0.2189204E+00
Groupe: 5 Nb. d'ouvriers: 6 Temps moy. d'inactivite: 0.2028150E-03
Groupe: 6 Nb. d'ouvriers: 7 Temps moy. d'inactivite: 0.3138635E-01

Reference: 1 Nb. a produire: 303
Reference: 2 Nb. a produire: 1
Reference: 3 Nb. a produire: 303
Reference: 4 Nb. a produire: 1
Reference: 5 Nb. a produire: 2
Reference: 6 Nb. a produire: 1
Reference: 7 Nb. a produire: 351
Reference: 8 Nb. a produire: 151
Reference: 9 Nb. a produire: 1
Reference: 10 Nb. a produire: 2
Reference: 11 Nb. a produire: 601
Reference: 12 Nb. a produire: 1
Reference: 13 Nb. a produire: 0
Reference: 14 Nb. a produire: 201
Reference: 15 Nb. a produire: 1
Reference: 16 Nb. a produire: 1

Periode: 2
Groupe: 1 Nb. d'ouvriers: 4 Temps moy. d'inactivite: 0.1262935E+00
Groupe: 2 Nb. d'ouvriers: 1 Temps moy. d'inactivite: 0.1057362E+00
Groupe: 3 Nb. d'ouvriers: 8 Temps moy. d'inactivite: 0.2241520E-01
Groupe: 4 Nb. d'ouvriers: 4 Temps moy. d'inactivite: 0.2139058E+00
Groupe: 5 Nb. d'ouvriers: 6 Temps moy. d'inactivite: 0.1848122E-04
Groupe: 6 Nb. d'ouvriers: 7 Temps moy. d'inactivite: 0.7301425E-01

Reference: 1 Nb. a produire: 604
Reference: 2 Nb. a produire: 2
Reference: 3 Nb. a produire: 4
Reference: 4 Nb. a produire: 2
Reference: 5 Nb. a produire: 2
Reference: 6 Nb. a produire: 2
Reference: 7 Nb. a produire: 352
Reference: 8 Nb. a produire: 151
Reference: 9 Nb. a produire: 3
Reference: 10 Nb. a produire: 2
Reference: 11 Nb. a produire: 601
Reference: 12 Nb. a produire: 2
Reference: 13 Nb. a produire: 1
Reference: 14 Nb. a produire: 2
Reference: 15 Nb. a produire: 2
Reference: 16 Nb. a produire: 201

Periode: 3
Groupe: 1 Nb. d'ouvriers: 4 Temps moy. d'inactivite: 0.1170094E+00
Groupe: 2 Nb. d'ouvriers: 1 Temps moy. d'inactivite: 0.1791509E+00
Groupe: 3 Nb. d'ouvriers: 8 Temps moy. d'inactivite: 0.1405768E-03
Groupe: 4 Nb. d'ouvriers: 4 Temps moy. d'inactivite: 0.2326992E+00
Groupe: 5 Nb. d'ouvriers: 7 Temps moy. d'inactivite: 0.1362648E+00
Groupe: 6 Nb. d'ouvriers: 7 Temps moy. d'inactivite: 0.1705649E-01

Reference: 1 Nb. a produire: 294
Reference: 2 Nb. a produire: 0
Reference: 3 Nb. a produire: 0
Reference: 4 Nb. a produire: 0
Reference: 5 Nb. a produire: 0
Reference: 6 Nb. a produire: 297
Reference: 7 Nb. a produire: 347
Reference: 8 Nb. a produire: 0
Reference: 9 Nb. a produire: 147
Reference: 10 Nb. a produire: 1
Reference: 11 Nb. a produire: 598
Reference: 12 Nb. a produire: 0
Reference: 13 Nb. a produire: 0
Reference: 14 Nb. a produire: 0
Reference: 15 Nb. a produire: 0
Reference: 16 Nb. a produire: 198

Periode: 4
Groupe: 1 Nb. d'ouvriers: 4 Temps moy. d'inactivite: 0.8836439E-01
Groupe: 2 Nb. d'ouvriers: 1 Temps moy. d'inactivite: 0.1928844E+00
Groupe: 3 Nb. d'ouvriers: 9 Temps moy. d'inactivite: 0.4880239E-01
Groupe: 4 Nb. d'ouvriers: 4 Temps moy. d'inactivite: 0.1651672E+00
Groupe: 5 Nb. d'ouvriers: 7 Temps moy. d'inactivite: 0.9811963E-01
Groupe: 6 Nb. d'ouvriers: 7 Temps moy. d'inactivite: 0.3741917E-03

Reference: 1 Nb. a produire: 3
Reference: 2 Nb. a produire: 6
Reference: 3 Nb. a produire: 600
Reference: 4 Nb. a produire: 2
Reference: 5 Nb. a produire: 2
Reference: 6 Nb. a produire: 2
Reference: 7 Nb. a produire: 352
Reference: 8 Nb. a produire: 2
Reference: 9 Nb. a produire: 154
Reference: 10 Nb. a produire: 2
Reference: 11 Nb. a produire: 302
Reference: 12 Nb. a produire: 299
Reference: 13 Nb. a produire: 2
Reference: 14 Nb. a produire: 2
Reference: 15 Nb. a produire: 2
Reference: 16 Nb. a produire: 202

Periode: 5
Groupe: 1 Nb. d'ouvriers: 6 Temps moy. d'inactivite: 0.5990014E-01
Groupe: 2 Nb. d'ouvriers: 2 Temps moy. d'inactivite: 0.1665340E+00
Groupe: 3 Nb. d'ouvriers: 9 Temps moy. d'inactivite: 0.8589302E-03
Groupe: 4 Nb. d'ouvriers: 3 Temps moy. d'inactivite: 0.8256563E-01
Groupe: 5 Nb. d'ouvriers: 6 Temps moy. d'inactivite: 0.3794475E-01
Groupe: 6 Nb. d'ouvriers: 8 Temps moy. d'inactivite: 0.1968806E-01

Reference: 1 Nb. a produire: 5
Reference: 2 Nb. a produire: 11
Reference: 3 Nb. a produire: 311
Reference: 4 Nb. a produire: 25
Reference: 5 Nb. a produire: 3
Reference: 6 Nb. a produire: 308
Reference: 7 Nb. a produire: 362
Reference: 8 Nb. a produire: 0
Reference: 9 Nb. a produire: 145
Reference: 10 Nb. a produire: 593
Reference: 11 Nb. a produire: 0
Reference: 12 Nb. a produire: 0
Reference: 13 Nb. a produire: 2
Reference: 14 Nb. a produire: 0
Reference: 15 Nb. a produire: 195
Reference: 16 Nb. a produire: 0

Periode: 6
Groupe: 1 Nb. d'ouvriers: 4 Temps moy. d'inactivite: 0.1477861E+00
Groupe: 2 Nb. d'ouvriers: 1 Temps moy. d'inactivite: 0.8482555E-01
Groupe: 3 Nb. d'ouvriers: 7 Temps moy. d'inactivite: 0.1093037E-01
Groupe: 4 Nb. d'ouvriers: 4 Temps moy. d'inactivite: 0.1813156E+00
Groupe: 5 Nb. d'ouvriers: 6 Temps moy. d'inactivite: 0.3697343E-03
Groupe: 6 Nb. d'ouvriers: 7 Temps moy. d'inactivite: 0.7425238E-01

Reference: 1 Nb. a produire: 300
Reference: 2 Nb. a produire: 0
Reference: 3 Nb. a produire: 0
Reference: 4 Nb. a produire: 0
Reference: 5 Nb. a produire: 301
Reference: 6 Nb. a produire: 0
Reference: 7 Nb. a produire: 356
Reference: 8 Nb. a produire: 156
Reference: 9 Nb. a produire: 20
Reference: 10 Nb. a produire: 15
Reference: 11 Nb. a produire: 613
Reference: 12 Nb. a produire: 8
Reference: 13 Nb. a produire: 5
Reference: 14 Nb. a produire: 200
Reference: 15 Nb. a produire: 10
Reference: 16 Nb. a produire: 4

Periode: 7
Groupe: 1 Nb. d'ouvriers: 4 Temps moy. d'inactivite: 0.1929874E+00
Groupe: 2 Nb. d'ouvriers: 1 Temps moy. d'inactivite: 0.1447147E+00
Groupe: 3 Nb. d'ouvriers: 7 Temps moy. d'inactivite: 0.7199933E-01
Groupe: 4 Nb. d'ouvriers: 3 Temps moy. d'inactivite: 0.1046591E-02
Groupe: 5 Nb. d'ouvriers: 6 Temps moy. d'inactivite: 0.6354656E-01
Groupe: 6 Nb. d'ouvriers: 6 Temps moy. d'inactivite: 0.1440519E-01

Reference: 1 Nb. a produire: 301
Reference: 2 Nb. a produire: 0
Reference: 3 Nb. a produire: 0
Reference: 4 Nb. a produire: 0
Reference: 5 Nb. a produire: 300
Reference: 6 Nb. a produire: 0
Reference: 7 Nb. a produire: 333
Reference: 8 Nb. a produire: 140
Reference: 9 Nb. a produire: 0
Reference: 10 Nb. a produire: 0
Reference: 11 Nb. a produire: 585
Reference: 12 Nb. a produire: 0
Reference: 13 Nb. a produire: 0
Reference: 14 Nb. a produire: 0
Reference: 15 Nb. a produire: 0
Reference: 16 Nb. a produire: 194

Periode: 8
Groupe: 1 Nb. d'ouvriers: 4 Temps moy. d'inactivite: 0.1308905E+00
Groupe: 2 Nb. d'ouvriers: 1 Temps moy. d'inactivite: 0.1024867E+00
Groupe: 3 Nb. d'ouvriers: 7 Temps moy. d'inactivite: 0.3012569E-01
Groupe: 4 Nb. d'ouvriers: 4 Temps moy. d'inactivite: 0.2096578E+00
Groupe: 5 Nb. d'ouvriers: 6 Temps moy. d'inactivite: 0.3621953E-04
Groupe: 6 Nb. d'ouvriers: 7 Temps moy. d'inactivite: 0.8869902E-01

Reference: 1 Nb. a produire: 300
Reference: 2 Nb. a produire: 0
Reference: 3 Nb. a produire: 0
Reference: 4 Nb. a produire: 0
Reference: 5 Nb. a produire: 300
Reference: 6 Nb. a produire: 0
Reference: 7 Nb. a produire: 367
Reference: 8 Nb. a produire: 10
Reference: 9 Nb. a produire: 150
Reference: 10 Nb. a produire: 0
Reference: 11 Nb. a produire: 615
Reference: 12 Nb. a produire: 0
Reference: 13 Nb. a produire: 0
Reference: 14 Nb. a produire: 0
Reference: 15 Nb. a produire: 194
Reference: 16 Nb. a produire: 0

Periode: 9
Groupe: 1 Nb. d'ouvriers: 3 Temps moy. d'inactivite: 0.4561326E-01
Groupe: 2 Nb. d'ouvriers: 1 Temps moy. d'inactivite: 0.1694160E+00
Groupe: 3 Nb. d'ouvriers: 7 Temps moy. d'inactivite: 0.3276438E-01
Groupe: 4 Nb. d'ouvriers: 2 Temps moy. d'inactivite: 0.6278005E-02
Groupe: 5 Nb. d'ouvriers: 5 Temps moy. d'inactivite: 0.1101230E+00
Groupe: 6 Nb. d'ouvriers: 5 Temps moy. d'inactivite: 0.1015905E-02

Reference: 1 Nb. a produire: 300
Reference: 2 Nb. a produire: 0
Reference: 3 Nb. a produire: 299
Reference: 4 Nb. a produire: 0
Reference: 5 Nb. a produire: 0
Reference: 6 Nb. a produire: 0
Reference: 7 Nb. a produire: 350
Reference: 8 Nb. a produire: 0
Reference: 9 Nb. a produire: 150
Reference: 10 Nb. a produire: 0
Reference: 11 Nb. a produire: 0
Reference: 12 Nb. a produire: 0
Reference: 13 Nb. a produire: 0
Reference: 14 Nb. a produire: 0
Reference: 15 Nb. a produire: 0
Reference: 16 Nb. a produire: 201

Periode: 10
Groupe: 1 Nb. d'ouvriers: 4 Temps moy. d'inactivite: 0.1248307E+00
Groupe: 2 Nb. d'ouvriers: 1 Temps moy. d'inactivite: 0.1862662E+00
Groupe: 3 Nb. d'ouvriers: 8 Temps moy. d'inactivite: 0.2652725E-01
Groupe: 4 Nb. d'ouvriers: 3 Temps moy. d'inactivite: 0.2577084E-04
Groupe: 5 Nb. d'ouvriers: 6 Temps moy. d'inactivite: 0.6842038E-02
Groupe: 6 Nb. d'ouvriers: 7 Temps moy. d'inactivite: 0.5157704E-01

Reference: 1 Nb. a produire: 300
Reference: 2 Nb. a produire: 0
Reference: 3 Nb. a produire: 301
Reference: 4 Nb. a produire: 0
Reference: 5 Nb. a produire: 0
Reference: 6 Nb. a produire: 0
Reference: 7 Nb. a produire: 343
Reference: 8 Nb. a produire: 0
Reference: 9 Nb. a produire: 130
Reference: 10 Nb. a produire: 0
Reference: 11 Nb. a produire: 585
Reference: 12 Nb. a produire: 0
Reference: 13 Nb. a produire: 0
Reference: 14 Nb. a produire: 195
Reference: 15 Nb. a produire: 0
Reference: 16 Nb. a produire: 0


```
38 c ****                                TABLEAUX DE TRAVAIL                                ****
39 c *****
40 c
41 c iu(i),i=1,...,n      : Cumul de la surproduction de produit i
42 c ir(j,k),j=1,...,iq
43 c      k=1,...,ip      : Temps libre unitaire pour operation j et periode k
44 c ir1(k),k=1,...,ip    : Maxi du temps libre unitaire pour periode k
45 c {kk(k),k=1,...,ip    }>
46 c {kk1(k),k=1,...,ip   }> Contiennent periodes et operations qui realisent
47 c {jj(k),k=1,...,ip    }> le maximum du temps libre unitaire
48 c {jj1(k),k=1,...,ip   }>
49 c
50 c *****
51 c
52 c *****
53 c ****                                DETERMINATION DES POSTES EN ACTIVITE                                ****
54 c *****
55 c
56 c --- Initialisation du nombre de postes de travail
57 c
58 c     do 500 k=1,ip
59 c     do 500 j=1,iq
60 c     xx=0
61 c     do 501 k2=1,k
62 c     do 501 i=1,n
63 501  xx=xx+m(i,k2)*t(i,j)
64 c     xx=xx/tot
65 c     ii=xx
66 c     if((xx-ii).gt.eps)ii=ii+1
67 c     if(k.eq.1)go to 502
68 c     do 503 k2=1,k-1
69 503  ii=ii-iw(j,k2)
70 502  if(ii.lt.0)ii=0
71 500  iw(j,k)=ii
72 c     iss=0
73 c
74 c *****
75 c **** INITIALISATION DU PLANNING DE PRODUCTION                                ****
76 c *****
77 c
78 c
79 c --- Initialisation des depassements cumules
80 c
81 c     iug=1
82 555  do 1 i=1,n
83 1    iu(i)=0
84 c
85 c --- Calcul du planning obtenu par deplacement des productions
86 c
87 c     do 20 k=1,ip
```

```
88 c
89 c ++ Recherche du planning minimal
90 c
91     do 21 i=1,n
92     ix(i,k)=m(i,k)
93     if(k.eq.1)go to 21
94     ii=0
95     do 3 jw=1,k-1
96 3   ii=ii+ix(i,jw)-m(i,jw)
97     if(ii.gt.ix(i,k)) ii=ix(i,k)
98     iu(i)=iu(i)-ii
99     ix(i,k)=ix(i,k)-ii
100 21  continue
101 c
102 c ++ Recherche du premier accroissement de production possible
103 c
104     do 10 j=1,iq
105     a=0
106     do 11 i=1,n
107 11  a=a+ix(i,k)*t(i,j)
108 777 c(j,k)=tot*iw(j,k)-a
109     if(c(j,k).ge.0) go to 10
110     iw(j,k)=iw(j,k)+1
111     go to 777
112 10  continue
113     do 4 j=1,iq
114     a=0
115     do 5 i=1,n
116 5   a=a+t(i,j)
117     ir(j,k)=c(j,k)/a
118     if(j.ne.1)go to 6
119     irl(k)=ir(j,k)
120     go to 4
121 6   if(irl(k).gt.ir(j,k))irl(k)=ir(j,k)
122 4   continue
123 c
124 c ++ Translation globale des productions
125 c
126     do 7 i=1,n
127     iv=ia(i)-iu(i)
128 7   if(iv.lt.irl(k)) irl(k)=iv
129     iv=irl(k)
130     do 8 i=1,n
131     ix(i,k)=ix(i,k)+iv
132     iu(i)=iu(i)+iv
133     do 15 j=1,iq
134 15  c(j,k)=c(j,k)-iv*t(i,j)
135 8   continue
136 c
137 c ++ Deplacement produit par produit
138 c
139 1999 do 25 i=1,n
140     iwa=0
141     do 26 j=1,iq
142     if(t(i,j).gt.c(j,k))go to 25
143     if(t(i,j).lt.eps) go to 26
144     n6=c(j,k)/t(i,j)
145     if(iwa.eq.0) go to 3000
146     if(n6.gt.m6) go to 26
147 3000 m6=n6
```

```
148      iwa=1
149 26    continue
150      is=ia(i)-iu(i)
151      if(iwa.eq.0) go to 3001
152      iv=ia(i)
153      if(iu(i).ge.iv)go to 25
154      is=iv-iu(i)
155      if(is.gt.m6)is=m6
156 3001  if(is.eq.0) go to 25
157      ix(i,k)=ix(i,k)+is
158      iu(i)=iu(i)+is
159      do 29 j=1,iq
160 29    c(j,k)=c(j,k)-t(i,j)*is
161 25    continue
162 20    continue
163 c
164 c *****
165 c ****              PHASE D AFFINAGE              ****
166 c *****
167 c
168 c --- Valeur du critere
169 c
170 c
171      z=-10
172      is=0
173      do 30 k=1,ip
174      do 30 j=1,iq
175      if(iw(j,k).eq.0)go to 131
176      c(j,k)=c(j,k)/iw(j,k)
177      go to 31
178 131  c(j,k)=0
179 31   if(c(j,k).lt.z)go to 30
180      z=c(j,k)
181 30   continue
182      do 400 k=1,ip
183      do 400 j=1,iq
184      xx=abs(z-c(j,k))
185      uu=z
186      if(uu.lt.eps)uu=1
187      xx=xx/uu
188      if(xx.gt.eps)go to 400
189      is=is+1
190      kk(is)=k
191      jj(is)=j
192 400  continue
193      isl=is
194      do 95 k=1,is
195      kkl(k)=kk(k)
196 95   jjl(k)=jj(k)
```

```
197 c
198 c ---- Charge des periodes durant lesquelles le critere atteint sa valeur
199 c
200 680 k=0
201 40 k=k+1
202 if(k.gt.ip)go to 678
203 do 41 k2=1,is
204 if(kk(k2).eq.k)go to 40
205 41 continue
206 k1=kk(1)
207 do 42 i=1,n
208 ii=-1
209 do 43 j=1,iq
210 if(t(i,j).le.eps)go to 43
211 ma=(z-c(j,k))*iw(j,k)/t(i,j)
212 if(ii.eq.-1)go to 44
213 if(ii.lt.ma)go to 45
214 44 ii=ma
215 if(ii.eq.0) go to 40
216 45 ma=c(j,k1)*iw(j,k1)/t(i,j)
217 if(ii.eq.-1)go to 48
218 if(ii.lt.ma)go to 43
219 48 ii=ma
220 if(ii.eq.0) go to 40
221 43 continue
222 if(k.gt.k1)go to 50
223 nx=0
224 do 51 k2=1,k1-1
225 nx=nx+ix(i,k2)-m(i,k2)
226 if(k2.lt.k)go to 51
227 ma=nx
228 if(ii.eq.-1)go to 53
229 if(ii.lt.ma)go to 51
230 53 ii=ma
231 if(ii.eq.0) go to 40
232 51 continue
233 go to 60
234 50 nx=0
235 do 54 k2=1,k-1
236 nx=nx+ix(i,k2)-m(i,k2)
237 if(k2.lt.k1)go to 54
238 ma=ia(i)-nx
239 if(ii.eq.-1)go to 55
240 if(ii.lt.ma)go to 54
241 55 ii=ma
242 if(ii.eq.0) go to 40
243 54 continue
244 60 if(ii.eq.-1)go to 42
245 ix(i,k)=ix(i,k)-ii
246 ix(i,k1)=ix(i,k1)+ii
247 do 61 j=1,iq
248 if(iw(j,k1).eq.0)go to 62
249 c(j,k1)=c(j,k1)-ii*t(i,j)/iw(j,k1)
250 62 if(iw(j,k).eq.0)go to 61
251 c(j,k)=c(j,k)+ii*t(i,j)/iw(j,k)
252 61 continue
253 42 continue
254 go to 40
255 678 if(is.eq.1)go to 70
```

```

• 256      do 67 jw=1,is-1
257      kk(jw)=kk(jw+1)
258 67    jj(jw)=jj(jw+1)
259      is=is-1
260      go to 680
261 c
262 c --- Reduction du critere par modification simultanee des charges
263 c --- de deux produits
264 c
265 70    do 71 k=1,is1
266      kk(k)=kk1(k)
267 71    jj(k)=jj1(k)
268      is=is1
269      k1=kk(1)
270      j1=jj(1)
271 150   do 100 k4=1,ip
272      do 100 k5=1,ip
273      do 72 k2=1,is
274      if((kk(k2).eq.k4).or.(kk(k2).eq.k5))go to 100
275 72    continue
276      i1=0
277 333   i1=i1+1
278      if(i1.gt.n-1)go to 100
279      i2=0
280 73    i2=i2+1
281      if(i2.gt.n)go to 333
282      if(t(i1,j1).le.t(i2,j1))go to 73
283      do 74 j=1,iq
284      if(iw(j,k1).eq.0)go to 9
285      a=c(j,k1)-(t(i1,j)-t(i2,j))/iw(j,k1)
286      if(a.le.0)go to 73
287 75    if(iw(j,k4).eq.0)go to 100
288      a=c(j,k4)+t(i1,j)/iw(j,k4)
289      if(a.ge.z)go to 73
290 76    if(iw(j,k5).eq.0)go to 100
291      a=c(j,k5)-t(i2,j)/iw(j,k5)
292      if(a.le.0)go to 73
293 74    continue
294      if(k4.lt.k1)go to 80
295      nx=0
296      do 78 k2=1,k4-1
297      nx=ix(i1,k2)-m(i1,k2)+nx
298      if(k2.lt.k1)go to 78
299      if(nx.ge.ia(i1))go to 73
300 78    continue
301      go to 85
302 80    nx=0
303      do 81 k2=1,k1-1
304      nx=ix(i1,k2)-m(i1,k2)+nx
305      if(k2.lt.k4)go to 81
306      if(nx.le.0)go to 73
307 81    continue
308 85    if(k5.lt.k1)go to 90
309      nx=0
310      do 86 k2=1,k5-1
311      nx=ix(i2,k2)-m(i2,k2)+nx
312      if(k2.lt.k1)go to 86
313      if(nx.le.0)go to 73
314 86    continue
315      go to 99

```

```
316 90   nx=0
317     do 87 k2=1,k1-1
318     nx=ix(i2,k2)-m(i2,k2)+nx
319     if(k2.lt.k5)go to 87
320     if(nx.ge.ia(i2))go to 73
321 87   continue
322 99   if((ix(i2,k1).eq.0).or.(ix(i1,k4).eq.0)) go to 73
323     ix(i1,k1)=ix(i1,k1)+1
324     ix(i2,k1)=ix(i2,k1)-1
325     ix(i1,k4)=ix(i1,k4)-1
326     ix(i2,k5)=ix(i2,k5)+1
327     do 101 j=1,iq
328     if(iw(j,k1).eq.0)go to 102
329     c(j,k1)=c(j,k1)-(t(i1,j)-t(i2,j))/iw(j,k1)
330 102  if(iw(j,k4).eq.0)go to 103
331     c(j,k4)=c(j,k4)+t(i1,j)/iw(j,k4)
332 103  if(iw(j,k5).eq.0)go to 101
333     c(j,k5)=c(j,k5)-t(i2,j)/iw(j,k5)
334 101  continue
335 100  continue
336 9    if(is.eq.1)go to 1000
337     do 160 jw=1,is-1
338     kk(jw)=kk(jw+1)
339 160  jj(jw)=jj(jw+1)
340     is=is-1
341     go to 150
342 c
343 c --- Conservation eventuelle du resultat
344 c
345 1000 z=-10
346     do 550 j=1,iq
347     do 550 k=1,ip
348     if(c(j,k).lt.z)go to 550
349     z=c(j,k)
350     jz1=j
351     kz1=k
352 550  continue
353     if(iss.eq.0)go to 551
354     if(z.gt.z1)go to 600
355 551  iss=1
356     ju=jz1
357     ku=kz1
358     do 560 j=1,iq
359     do 560 k=1,ip
360     iw1(j,k)=iw(j,k)
361 560  cl(j,k)=c(j,k)
362     do 561 i=1,n
363     do 561 k=1,ip
364 561  ix1(i,k)=ix(i,k)
365     z1=z
```

```
366 c
367 c --- Passage a une repartition differente des moyens
368 c
369 600 do 601 k=ip,1,-1
370 do 601 j=iq,1,-1
371 xx=0
372 yy=0
373 do 602 i=1,n
374 yy=yy+ia(i)*t(i,j)
375 do 602 k2=1,k
376 602 xx=xx+m(i,k2)*t(i,j)
377 yy=(xx+yy)/tot
378 xx=xx/tot
379 ii=xx
380 mm=yy
381 if((xx-ii).gt.eps)ii=ii+1
382 if((yy-mm).gt.eps)mm=mm+1
383 if(k.eq.1)go to 610
384 do 611 k2=1,k-1
385 ii=ii-iw(j,k2)
386 jl0=iw(j,k2)-1
387 if(jl0.lt.0)jl0=0
388 611 mm=mm-jl0
389 610 if(mm.lt.0)mm=0
390 if(ii.lt.0)ii=0
391 if(k.gt.ku) go to 612
392 if((k.eq.ku).and.(j.gt.ju)) go to 612
393 if(iw(j,k).ge.mm)go to 612
394 iw(j,k)=iw(j,k)+1
395 iug=iug+1
396 if(iug.gt.nex) go to 3535
397 go to 555
398 612 iw(j,k)=ii
399 601 continue
400 3535 do 421 j=1,iq
401 do 421 k=1,ip
402 xx=cl(j,k)*iw(j,k)
403 if(xx.lt.eps) go to 421
404 na=xx/tot+eps
405 iw(j,k)=iw(j,k)-na
406 xx=xx-na*tot
407 cl(j,k)=xx/iw(j,k)
408 421 cl(j,k)=cl(j,k)/tot
409 return
410 end
```

CONCLUSION

Le problème que nous venons de présenter peut s'exprimer comme un problème de programmation linéaire avec variables mixtes. Nous l'avons d'abord résolu de cette manière, et nous avons comparé cette approche à l'heuristique présentée plus haut. Nous n'avons pas décelé d'écarts significatifs. D'où notre choix pour une méthode qui peut être prise en charge par un mini-ordinateur et ne demande qu'un volume raisonnable de calculs.

Imprimé en France

par

l'Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique

