

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
—oOo—

وزارة التعليم و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement et de la Recherche Scientifique
—oOo—

2/88
Des

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



DEPARTEMENT GENIE INDUSTRIEL

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

**Planification des
réparations sur la
chaîne de fabrication
d'une briqueterie.**

Proposé par :

E.M.CO.P.R.AL

Etudié par:

M. BELHOCINE

M.F.BENAMAR

Dirigé par:

Mr.KHALFOUN

PROMOTION: Juin 1988

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم و البحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT GENIE INDUSTRIEL

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

Planification des
réparations sur la
chaîne de fabrication
d'une briqueterie.

Proposé par :
E.M.CO.P.R.AL

Etudié par :
M.BELHOCINE
M.F.BENAMAR

Dirigé par :
Mr. KHALFOUN

PROMOTION : Juin 1988

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLICUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم والبحث العلمي
MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

مركز الوثائق والتوثيق
BIBLIOTHÈQUE - توثيق
École Nationale Polytechnique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DÉPARTEMENT GENIE INDUSTRIEL

PROJET DE FIN D'ÉTUDES

SUJET

Planification des
réparations sur la
chaîne de fabrication
d'une briqueterie.

Proposé par :
E. MC ORRAL

Étudié par :
M. BELHOCINE
MEDENAMAR

Dirigé par :
Mr. KHALFOUN

PROMOTION : JUIN 1988

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PLANIFICATION DES REPARATIONS
SUR LA CHAINE DE FABRICATION
D'UNE BRIQUETERIE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Département: GENIE INDUSTRIEL.
Promoteurs: Mr KHALFOUN et Dr SALHI.
Elèves Ingénieurs: Melle BELHOCINE MOURADIA
Mr BENAMAR MOHAMED FAYCAL

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE = المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

ملخص : أجريت دراسة مصنع الأجرور لاطهار المشاكل المطروحة على مستوى
" سلسلة الانتاج " . أعدت لهذا الغرض طريقة " هورستكية "
وطرحت مسائل تتكون من 20 الى 40 مراحل لاحداث تجارب على امكانياتها .
النتائج المحصلة عليها تتقارب مع حلول طريقة صحيحة تعتمد على البرمجة
بالاعداد الطبيعية . وتمت محاولة تطبيق هذه الطريقة في الميدان .

Résumé: La chaîne de fabrication d'une briqueterie a été étudiée pour dégager ses défaillances. Une méthode heuristique a été développée et un ensemble de problèmes de 20 à 40 phases ont été construits pour tester ses performances. Les résultats obtenus sont comparables à ceux déterminés par une méthode exacte basée sur la programmation linéaire en nombres entiers (PLNE). Une tentative pour rendre le problème pratique a été faite.

Abstract: All the phases in a brick-field were considered to point out its weaknesses. A heuristic approach was developed and tested on a set of sampled problems ranged from 20 to 40 nodes (phases). The results obtained by this presente method were found comparable whith those determined by a package using integer programming (MILP 88). An attempt in using this heuristic for a practical problem was made.

REMERCIEMENTS



Nous tenons à exprimer nos remerciements à:

Mr KHALFOUN et au Dr SALHI, professeurs à l'ENP, qu'ils trouvent ici notre profonde reconnaissance pour avoir bien voulu diriger ce projet.

Mr ROUFED, Directeur de l'unité Settoul Mekki de l'E.M.CO.P.R.AL pour nous avoir chaleureusement accueilli au sein de son unité et estimés capables de mener à bien cette étude. Qu'il trouve ici l'expression de notre respectueuse reconnaissance.

Aux enseignants du département Génie-Industriel qui par leur aide, les nombreux conseils et la disponibilité dont ils ont fait preuve ont contribué à l'aboutissement de ce travail. Qu'ils soient assurés de notre profonde reconnaissance.

A tout le personnel de la briquetterie qui nous ont constamment guidé pour le diagnostic effectué sans ménager ni leur temps, ni leurs conseils. Qu'ils trouvent ici l'expression de notre profonde et amicale reconnaissance.

A Mr BENAMAR, pour ses conseils relatifs à la présentation de cette étude.

A Mr SARI du centre de calcul de l'E.N.P sans les efforts duquel nous n'aurions pu avancer aussi rapidement dans notre travail.

Que ceux qui ont participé à cette étude, trouvent ici nos sincères remerciements.

P L A N



	Page
AVANT PROPOS	7
INTRODUCTION	8
CHAPITRE 1 DIAGNOSTIC DE L'UNITE	
1.0 IDEE DE BASE	10
1.1 DESCRIPTION GENERALE DE L'UNITE	10
1.1.1 Situation	10
1.1.2 Accès à l'usine	10
1.1.3 Carrière existante	10
1.1.4 L'usine	10
1.1.5 Exploitation, service généraux	11
1.1.6 Aménagements intérieurs	11
1.1.7 Personnel	12
1.1.8 Améliorations et constructions en cours	12
1.2 EQUIPEMENT MECANIQUE	15
1.2.1 Description générale de l'équipement mécanique	15
1.2.2 Etat des installations de préparation des terres ..	15
1.2.3 Etat des installations de fabrication	15
1.2.4 Etat des installations de chargement et déchargement des briques.....	17
1.3 EQUIPEMENT THERMIQUE	18
1.3.1 Séchoirs	18
1.3.2 Fours	18
1.4 DECHETS	19
1.5 CHAINE ANNEXE	19
1.6 SOLUTIONS PROPOSEES	20
1.7 RESUME	21
CHAPITRE 2 FORMULATION ET METHODES DE RESOLUTION DU PROBLEME	
2.1 FORMULATION DU PROBLEME	23
2.2 METHODES DE RESOLUTION DU PROBLEME	24
2.2.1 CHOIX OPERES	24
2.2.2 POURQUOI CES DEUX METHODES ?	24
2.2.3 PRESENTATION DES METHODES	25
2.2.3.1 PROGRAMMATION LINEAIRE EN NOMBRES ENTIERS .	25
2.2.3.2 METHODE HEURISTIQUE	28

INTERPRETATION.....	34
CONCLUSION	39
BIBLIOGRAPHIE	40
ANNEXES	41
ANNEXE 1 FONCTIONNEMENT D'UNE BRIQUETERIE	
A.1.1 Fabrication	41
A.1.2 Extraction	41
A.1.3 Eléments dégraissants	42
A.1.4 Préparation de la pâte	42
A.1.5 Façonnage	43
A.1.5 Séchage	44
A.1.6 Cuisson, combustible, four	45
ANNEXE 2 DESCRIPTION DES INSTALLATIONS DE LA CHAINE.	
A.2.1 EQUIPEMENT MECANIQUE	46
A.2.1.1 Installation des préparations des terres ...	46
A.2.1.2 Groupe de fabrication	46
A.2.1.3 Installation de chargement et déchargement des briques allant au séchage	47
A.2.2 EQUIPEMENT THERMIQUE	47
A.2.2.1 Séchoir	47
A.2.2.2 Four	47
ANNEXE 3 ENTRETIEN DES EQUIPEMENTS.....	48
ANNEXE 4 COMPLEMENTS SUR LA PROGRAMMATION EN NOMBRES ENTIERS	
A.4.1 Importance de la programmation en nombres entiers.....	49
A.4.2 Remarque au sujet des problèmes à valeurs entières résolus par la programmation linéaire	49
A.4.3 Méthode de résolution des programmes à valeurs entières.....	49
A.4.3.1 Méthodes des coupes.....	50
A.4.3.2 Méthodes arborescentes.....	51
ANNEXE 5 FIGURES	
A.5.1 Chambre de séchage	52
A.5.2 Four tunnel	53
A.5.3 Disposition des briques sur les wagons allant au four.....	54
ANNEXE 6 TABLEAUX	
A.6.1 Effectif nécessaire dans une briqueterie tuilerie de 50000 tonnes	55
A.6.2 Effectif employé	56
A.6.3 Accidents 1985	57
A.6.4 Accidents 1986	58
A.6.5 Accidents 1987	59
ANNEXE 7 LISTING DU PROGRAMME	60

AVANT PROPOS



L'industrie du produit rouge s'insère dans le secteur stratégique des matériaux de construction. Les objectifs du plan en matière de bâtiment étant très ambitieux, il est impératif de disposer de tous les moyens nécessaires pour sa réalisation.

Le "sur-boom" de la construction dans notre pays a eu raison finalement de toutes les capacités mises en place pour répondre à une demande énorme. La tension continue de sévir malgré une baisse sensible des programmes publics de construction. La raison ? Tout simplement le maintien d'un rythme élevé dans l'autoconstruction et la poursuite de la réalisation de vastes programmes d'habitation entamés avec les premier et deuxième plans quinquennaux. Il s'est avéré que les capacités installées (briqueteries du secteur des industries légères, des collectivités locales et du secteur privé) restent en deçà des besoins de construction.

Le problème qui se pose n'est pas tant l'indisponibilité de telle ou telle matière première -l'argile étant surabondant- mais tout simplement le nombre réduit de briqueteries existantes. Ce qui pousse d'ailleurs les responsables concernés au niveau du secteur des industries légères et des collectivités locales, à imposer un rythme de travail élevé au niveau de ces mêmes briqueteries. Les "3x8" sont courants. Ceci pour satisfaire une demande très rigide à la hausse.

L'autre recours - naturel - est le développement de la production des produits annexes ou de substitution. De ce point de vue aussi, des solutions de rechange ont été retenues, des unités de production édifiées, mais la production globale arrive à peine à satisfaire les besoins de la construction. Un exemple: le SIPOREX, produit de substitution à la brique par excellence, n'est pas offert en quantité suffisante. Les deux unités mises en place par l'ex S.N.M.C pour produire le SIPOREX réalisent à peine 100 000 à 150 000 tonnes / an par unité. C'est juste un appoint pour les quelques 2 000 000 tonnes de briques et de tuiles produits annuellement par les briqueteries du secteur des industries légères et celles relevant des collectivités locales. Ceci n'empêche pas le maintien de l'offre des produits rouges à quelques 50 à 60 % de la demande. Le reste des besoins étant couvert par d'autres produits classiques connus - tôles, murs préfabriqués et surtout les produits en ciment, notamment l'ourdi et le parpaing (Chehrit [1]).

Une autre solution consisterait à remettre en vigueur les briqueteries qui travaillent en dessous de leurs capacités de production, de reconsidérer les moyens dont elles disposent ainsi que les conditions dans lesquelles elles réalisent les programmes de production.

I N T R O D U C T I O N



L'étude présentée, porte sur une des cinq unités de l'E.M.CO.P.R.AL (Entreprise des Matériaux de Construction Produits Rouges d'ALger): la Briqueterie-Tuilerie SETTOUL-MEKKI située au Gué de Constantine. Cette unité qui a été construite en 1901, a bénéficié en 1978 d'une modernisation qui devait lui permettre d'atteindre une production annuelle de 45000 à 50000 tonnes.

L'usine connaît actuellement d'énormes difficultés au niveau de sa ligne technologique de fabrication. Ceci est essentiellement dû à un manque d'équipements et à la défektivité du matériel existant.

Notons que les problèmes les plus importants concernent la faiblesse en matière d'encadrement technique ainsi que l'approvisionnement des pièces de rechange qui doivent être importées et qui constituent par cela même un véritable goulot d'étranglement. Ce problème d'approvisionnement en pièce de rechange est d'autant plus aigu que l'entreprise, dans une situation de trésorerie étroite, ne peut conserver des stocks de pièces.

De ce fait, il s'agira compte tenu de la contrainte imposée par l'existence d'un budget réduit, de déterminer un programme optimal de remise en état de la chaîne de fabrication et d'amélioration des conditions de travail, afin de rentabiliser l'unité et d'améliorer la qualité de sa production.

Ceci se fera en 4 phases :

1. diagnostic de l'unité.

C'est dans cette phase que sera opérée l'analyse de la situation actuelle de l'unité (par rapport au fonctionnement normal d'une briqueterie). Ceci sera réalisé par le parcours de la chaîne de fabrication, depuis l'acheminement de la matière première jusqu'à l'obtention du produit fini. Ainsi, il sera possible de dégager différentes défaillances qui sont sources de diminution de la rentabilité, et qui entraînent des manques à gagner pour l'unité.

2. Formulation du problème.

A chaque défaillance relevée, une évaluation du coût "de remise en état" sera demandée à la direction de l'unité ainsi qu'une évaluation du profit induit par cette amélioration. L'objectif est de raisonner en terme de profit par unité investie, car il serait erroné d'argumenter les décisions à prendre par un faible coût de remise en état ou un fort profit, sans établir de relation entre les deux.

Ceci étant défini, le problème consiste à rechercher les défaillances qui, une fois traitées, maximiseraient la somme des profits induits, tout en veillant à ne pas excéder le budget (somme des coûts inférieure au budget).

3. Méthodes de résolutions utilisées.

Il apparait vite que compte tenu du fait qu'à chaque défaillance il y a deux choix possibles: réparer ou ne pas réparer, le problème peut être exprimé comme un problème de programmation en nombres entiers du type "Choix de projets".

La résolution se fera à l'aide d'une méthode exacte de résolution de programmes en nombres entiers et d'une méthode heuristique que nous avons réalisé. Nous considérerons les faiblesses -couvertes par le budget- dont la remise en état permettrait d'augmenter les profits.

Une comparaison des performances des deux méthodes sera faite en fin de chapitre 2, par le biais de problèmes tests aléatoires.

4. Application à notre cas réel.

Dans cette phase seront introduites les données (coûts et profits), afin d'obtenir le programme de remise en état qui fait l'objet de notre étude. D'autre part, il faudra opérer des perturbations des évaluations fournies, afin d'obtenir une famille de programmes de réparation qui tiendra compte d'éventuels changements des données.

La conclusion portera essentiellement sur:

- Les retombées économiques et sociales du programme retenu,
- les possibilités de généralisation de cette étude à d'autres unités de fabrication de briques et même à d'autres unités industrielles,
- des suggestions portant sur une éventuelle prolongation de ce travail.

C H A P I T R E 1

D I A G N O S T I C D E L ' U N I T E

1.0 IDEE DE BASE

C'est un diagnostic qui vise à relever les défaillances techniques, organisationnelles et autres, observées au cours de nos différentes visites. Il permet de réaliser un schéma reprenant la chaîne de fabrication en mentionnant pour chaque poste, les défaillances qui la concernent. Des postes fictifs ont été ajoutés pour permettre de reprendre les points relatifs à l'ensemble de la chaîne.

Ce schéma servira de base de travail aux modèles mathématiques proposés dans ce mémoire.

1.1 DESCRIPTION GENERALE DE L'UNITE.

1.1.1 SITUATION.

L'unité est située au Gué de Constantine en bordure de la route N 38 El-Harrach - Gué de Constantine, à 200 mètres de l'intersection avec la route W 14 allant vers Kouba.

1.1.2 ACCES A L'USINE.

L'usine est accessible par l'ouest, à 100 mètres de la route N 38.

1.1.3 CARRIERE EXISTANTE.

Le gisement se situe à 35 kilomètres de la carrière vers l'est à 2 kilomètres au Nord-Est de Boudouaou, près du village Haouch Benharoun, commune de Corso.

1.1.4 L'USINE.

L'usine s'étend sur une aire de 4 hectares dont 11200 m² sont couverts. Les possibilités d'un éventuel agrandissement de l'usine seraient limitées à cause des habitations à l'est et au nord, de la route d'accès et du centre commercial à l'ouest, ainsi que d'un terrain vague au sud sur lequel l'A.P.C prévoit la construction d'une salle de sport.

Initialement, cette usine était conçue pour la fabrication de tuiles plates et de briques. Mais d'après le chef de production, la chaîne "tuiles" a été transformée en chaîne "briques" pour non-rentabilité.

1.1.5 EXPLOITATION, SERVICES GENERAUX.

- Exploitation de la carrière et transport de l'argile vers l'usine :

La matière première est amenée à l'usine par route. Six camions de dix tonnes font trois voyages par jour, soit une quantité globale acheminée de 180 tonnes. Cette quantité représente environ la consommation quotidienne moyenne de l'unité.

Il est important de noter que par temps de pluie, l'usine n'est pas alimentée en matière première car il y a arrêt de fonctionnement de la carrière. De plus, compte tenu de la vétusté du matériel d'extraction (fréquents arrêts de la carrière) et des pannes des camions de transport de l'unité, celle-ci prévoit la constitution d'un stock d'argile (8 jours de consommation).

- Installation d'eau :

Deux puits propres à l'usine servent à son alimentation en eau. Le débit d'eau serait suffisant, et les rares coupures (courtes) sont essentiellement dûes à un arrêt de la pompe de l'unité.

- Approvisionnement en combustible :

Le four est alimenté au gaz.

- Alimentation en courant électrique :

Il semblerait que les coupures de courant soient peu fréquentes.

1.1.6 AMENAGEMENTS INTERIEURS.

- Protection incendie :

La pompe d'alimentation du réseau d'incendie étant en panne, la protection est inexistante. Coût de l'installation : 25 millions de centimes. A l'origine de cet arrêt de fonctionnement, l'impossibilité de mettre en route la pompe (manivelle d'un type spéciale qui a été perdue). Notons qu'il existe quelques extincteurs mais en nombre très insuffisant.

- Eclairage :

L'éclairage, naturel et artificiel, manque dans les halles de fabrication et des séchoirs. Dans la halle du four, l'éclairage naturel est largement suffisant. De nuit, deux projecteurs éclairent l'entrée et la sortie du four. (cf. Conditions de travail).

- Conditions de travail

- La grande quantité de fumée dégagée par les engins de manutention,
 - l'importante quantité de poussière dans les différentes halles,
 - le froid qui sévit durant une grande période de l'année (climat marécageux),
 - le manque d'éclairage dans la halle de fabrication,
 - le non-respect du règlement obligeant les ouvriers à porter une tenue de sécurité: casque, gants et chaussures (il faut savoir aussi que ce sont des articles non disponibles sur le marché),
 - l'irrégularité dans le nettoyage des postes de travail,
- font que les conditions de travail sont très moyennes.

L'essentiel des congés de maladie a pour origine des raisons pulmonaires ou ophtalmologiques, touchant particulièrement le personnel âgé (Informations reçues au niveau du service du personnel).

Pour les trois dernières années (85-87), nous avons noté que:

35.5 % des accidents ont touché les mains.

32.5 % des accidents ont touché les pieds.

20 % des accidents ont touché la tête.

(Voir figure 1.1 pour illustration, et tableaux A.6.3, A.6.4 et A.6.5 pour détails)

- Infirmerie :

Celle-ci est bien équipée.

1.1.7 PERSONNEL

224 personnes sont employées au sein de l'unité. Leur répartition est la suivante (Voir figure 1.2):

- Personnel de production: 127,
- personnel non-production: 48,
- personnel de soutien: 52.

Ces chiffres sont donnés par le responsable du service du personnel.

Les tableaux A.6.1 et A.6.2 donnent respectivement l'effectif nécessaire dans une briqueterie tuilerie de 50000 tonnes, et celui employé dans l'unité. Une grande partie de l'écart s'explique par le recours au moyen de manutention manuelle depuis l'arrêt de fonctionnement du tapis allant vers le four, et particulièrement depuis la panne de l'élévateur. Ceci a nécessité l'emploi d'un grand nombre d'ouvriers occasionnels. De plus, il y a de sensibles variations de leur nombre d'un mois à un autre (46 en Mars 88, 39 en Avril 88 et 51 en Mai 88).

Nous avons soulevé un point particulièrement important:

Un ingénieur et deux techniciens supérieurs assurent la couverture de l'ensemble des cinq unités de l'entreprise, alors que la structure de qualification nécessaire est de un ingénieur et quatre technicien supérieur par unité.

1.1.8 AMELIORATIONS ET CONSTRUCTIONS EN COURS.

Afin d'améliorer la qualité du produit fini, une chaîne de chamottage (Voir annexe A.1.3 Eléments dégraissants) a été installée mais n'est pas encore opérationnelle. Des essais concluants ont été faits et son démarrage doit se faire prochainement. Notons qu'à ce jour, l'usine n'utilise pas d'éléments dégraissants bien qu'il existe un doseur dans la chaîne de fabrication, ainsi qu'une installation de broyage de la brique à l'extérieur de l'unité. La halle de menuiserie est en cours d'aménagement pour la réalisation d'un atelier de maintenance et de réparation des engins motorisés de l'usine.

Figure 1.1

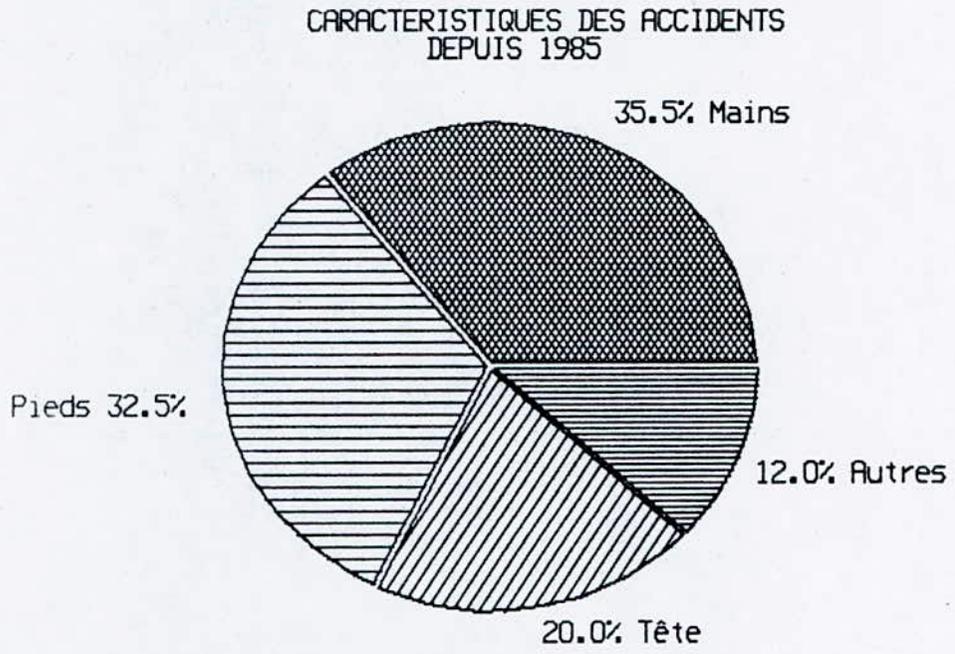
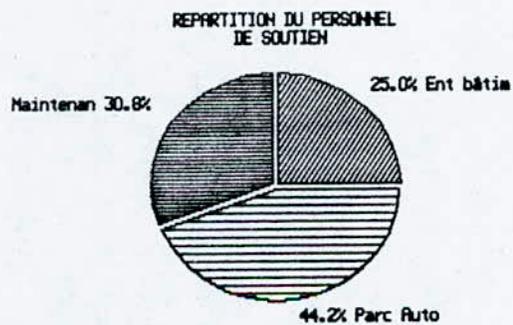
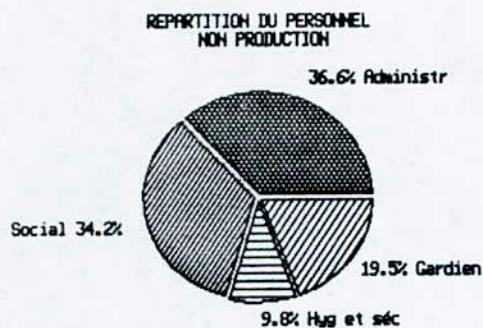
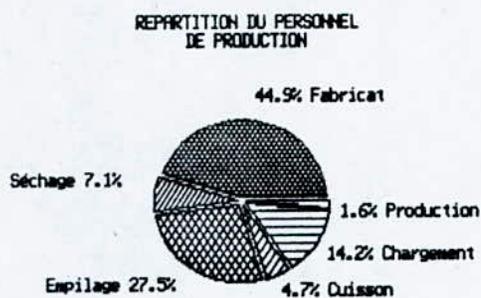
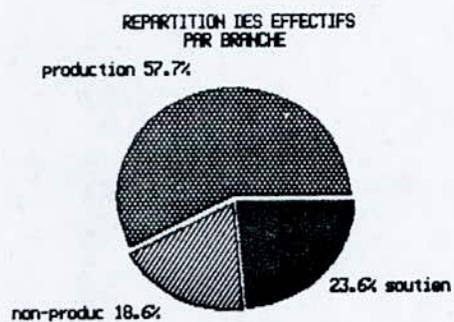


Figure 1.2



1.2 EQUIPEMENT MECANIQUE

La figure 1.3 donne la ligne technologique de fabrication que nous allons parcourir.

1.2.1 DESCRIPTION GENERALE DE L'EQUIPEMENT MECANIQUE

L'unité possède :

- Un train de préparation des terres à sec par doseur, brise-mottes et cylindre;
- Un groupe de fabrication comprenant un mouilleur-mélangeur, une mouleuse et un coupeur;
- Un groupe de chargement et déchargement de la brique.

La description des équipements est faite en annexe 2.

1.2.2 ETAT DES INSTALLATIONS DE PREPARATION DES TERRES

- Doseur linéaire :

Le fonctionnement du doseur est gêné par la présence de mottes d'argile de grandes dimensions. Ce problème est commun à toutes les unités car l'argile devrait être pré-traité en carrière (écrasement après extraction. Voir annexe A.1.2 extraction) ou extrait au moyens d'engins permettant son érasement.

- Brise-mottes :

Les couteaux de celui-ci sont dans un état d'usure avancé et ne permettent pas un bon écrasement de l'argile. Les racleurs usés, ne font pas un bon nettoyage de l'appareillage. Ainsi, il y a de fréquent arrêts de la chaîne dûs au blocage du brise-mottes. De plus, son débit est inférieur à celui de la mouleuse.

- Laminoir :

Il est à noter l'existence d'un seul laminoir alors que la figure 1.3 prévoit un laminoir dégrossisseur et un laminoir finisseur. Celui-ci n'est pas dans un bon état de fonctionnement. Les cylindres sont usés (rectifieuse en panne) et ne permettent pas l'écrasement de la pâte aux dimensions requises. Ceci rend difficile l'homogénéisation du mélange lors du mouillage et entraîne l'apparition de fissures au séchage.

De même que pour le brise-mottes, le débit du laminoir est inférieur à celui de la mouleuse.

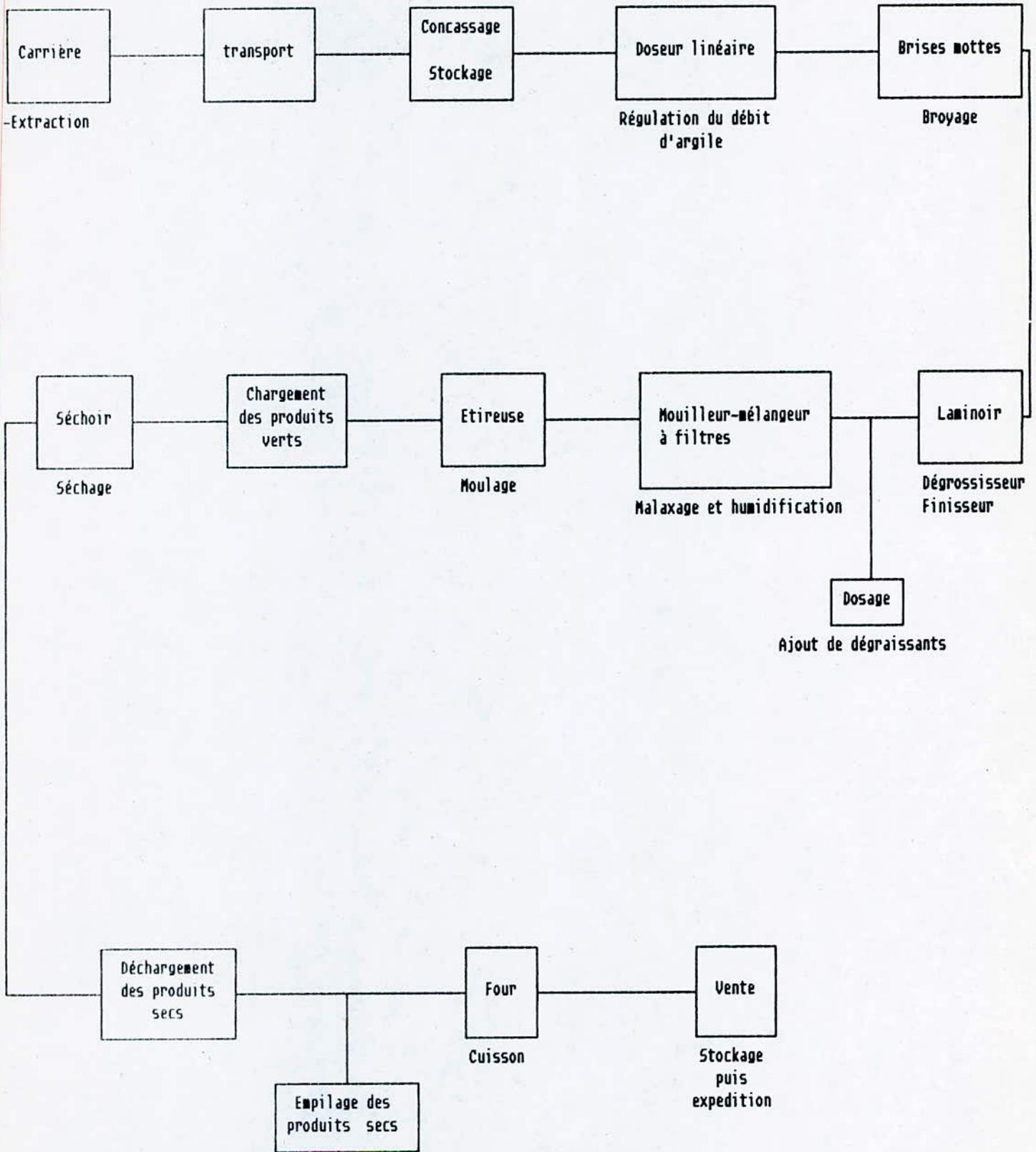
1.2.3 ETAT DES INSTALLATIONS DE FABRICATION

- Mouilleur-mélangeur à filtre :

Son débit est également inférieur à celui de la mouleuse. Nous avons relevé deux points ayant des conséquences néfastes sur la qualité du produit:

L'installation permettant une régulation automatique du débit d'eau n'existe pas. Celui-ci est donc contrôlé à la main et basé sur une appréciation visuelle. Ainsi, il y a humidification non homogène de l'argile d'où l'apparition de fissures au séchage.

LIGNE TECHNOLOGIQUE DE FABRICATION



Le support des filtres étant cassé la pâte n'est pas filtrée. Ceci entraîne des arrêts fréquents de la chaîne au niveau de la filière, une mauvaise qualité du produit vert et un mauvais séchage. (cf.annexe A.1.4 Préparation de la pâte.)

- Etireuse :

La filière supporte tous les défauts antérieurs de la chaîne de fabrication. Ceci se matérialise par de très fréquents arrêts de la production, essentiellement pour en extraire les corps étrangers qu'elle reçoit. De plus, les filets d'argile doivent sortir à la même vitesse qui doit être constante, ce qui n'est pas le cas. (cf annexe A.1.5 Façonnage)

- Coupeur :

Celui-ci est en bon état de fonctionnement.

- Certains tapis en caoutchouc assurant la liaison entre ces différentes installations sont dans un état d'usure avancé et ne permettent pas un bon transport de l'argile.

1.2.4 ETAT DES INSTALLATIONS DE CHARGEMENT ET DECHARGEMENT DE LA BRIQUE

- Chargeur automatique des briques vertes :

La nécessité de recourir à une aide manuelle pour permettre au chargeur d'être au niveau des étagères des châssis à charger, a entraîné sa détérioration. Celle-ci est à l'origine d'arrêts importants de la fabrication et de la mauvaise qualité de la brique.

- Châssis :

Selon les prescriptions du fournisseur, les châssis devraient être conçus en profilé à chaud. Or ceux-ci sont en profilés à froid, ce qui a entraîné leur déformation provoquant la détérioration de tout le système de chargement et déchargement ainsi qu'une dégradation des barres qui les forment, altérant l'état de surface des briques.

- Elevateur :

Au cours de nos différentes visites, l'élevateur était souvent en panne, entraînant des arrêts de chaîne. Lors de notre visite du 10 Avril 1988, celui-ci était définitivement à l'arrêt (moteur et réducteur en panne). Suite à quoi, une installation a été aménagée en vue du chargement manuel de la brique sur les casiers, ceci entraînant des défauts de manutention sur la brique, une réduction des cadences de production ainsi qu'une réduction du nombre de briques par châssis.

- Bandes métalliques véhiculant les briques sèches vers le four :

Cette partie de la chaîne est à l'arrêt. Les informations que nous avons reçues indiquent que ceci est dû à la fragilité des briques sèches qui se brisent en se déplaçant sur la bande. De ce fait, le déchargement de celles-ci se fait à part. En effet, à sa sortie du séchoir, le casier est directement acheminé vers le four pour être déchargé manuellement. Ce surcroît d'opérations a nécessité l'utilisation d'un plus grand nombre d'engins de manutention que prévu et le recours à un plus grand nombre de manutentionnaires pour le chargement des wagons.

1.3 EQUIPEMENT THERMIQUE

1.3.1 SECHOIRS (Voir figure A.5.1).

Le séchoir installé a été dimensionné sur la base d'un cycle de séchage de 24 heures. Ce cycle n'a jamais été atteint, le brassage des produits étant insuffisant et la matière première irrégulière.

Le séchage se fait en 48 heures. L'opération ne peut être contrôlée du fait de l'absence d'instruments de mesure (thermomètre, manomètre et humidimètre), et de l'inexistence d'appareils de commande permettant une bonne maîtrise des paramètres de séchage. L'annexe A.1.5 (Séchage) nous indique que la température de séchage doit évoluer suivant une courbe particulière qui dépend essentiellement des caractéristiques céramiques de la terre. Pour faire varier la température au cours de cette opération, on a eu recours à des moyens purement mécaniques :

- Modification de l'ouverture des trappes d'arrivée d'air chaud,
- Variation de la quantité de chaleur au niveau du générateur.

Le brassage de l'air s'effectue très mal. Ceci est dû:

- Au mouvement perturbé (non uniforme) du ventilateur (moteur de translation souvent en panne),
- au ventilateur lui-même dont le flux d'air engendré ne brasse pas tous les produits.
- à l'introduction d'air parasite au travers des portes défoncées par les engins de manutention (espace de manoeuvre exigü).

1.3.2 FOUR (Voir figure A.5.2).

Il est important de noter que les briques ne sont pas disposées sur les wagons de façon à permettre une bonne circulation de la chaleur. (Voir disposition théorique des briques en figure A.5.3).

De plus il n'y a ni appareils de contrôle (relevé automatique des températures) ni groupe électrogène pour alimenter le four (et le séchoir) en cas de panne prolongée d'électricité. (Voir annexe A.1.6 Cuisson).

1.4 DECHETS

La quantité de déchets est évaluée à 5% (rebut total séchoir + four). Ceci est dû essentiellement à:

- La présence d'un grand nombre de corps étrangers dans la matière première qui provoquent des déformations des filets d'argile au niveau de la mouleuse,

- des défaillances de la manutention automatique et à l'introduction de la manutention manuelle.

Ces déchets sont recyclés par retour à l'étireuse.

- Une mauvaise qualité de la brique qui est cassante aussi bien après séchage (débris recyclés par retour en début de chaîne), qu'après cuisson (débris qui seront prochainement recyclés par retour à la chaîne de chamottage).

Le problème de déchets est largement amplifié par la manutention.

Actuellement, les débris de brique cuite sont vendus soit à l'état de "casse", soit après broyage.

1.5 CHAINE ANNEXE

Cette chaîne initialement conçue pour la fabrication de tuiles souffre globalement des mêmes problèmes que la chaîne principale.

Du point de vue du séchage, elle est indépendante de la première chaîne. En effet, son séchoir a les caractéristiques suivantes:

Nombre de chambre : 6	} capacité par chambre : 3600	briques
Nombre de châssis par chambre : 20		
Nombre de briques par châssis : 180		
Production journalière : 3 chambres (10800 briques par jour)		

Cette chaîne est appelée prochainement à produire des briques pleines.

1.6 SOLUTIONS PROPOSEES

Nous avons dégagé plusieurs points importants:

A : Le problème de conditions de travail auquel nous avons apporté quelques propositions :

Froid: l'installation de panneaux battants en caoutchouc aux entrées des différentes halles y remédierait.

Fumée: La révision des engins de manutention réduirait la quantité de fumée (cf. Annexe 3: entretien des équipements).

Eclairage: l'amélioration de l'éclairage est impératif.

Poussière: un meilleur revêtement du sol, le nettoyage régulier des postes de travail et des différentes halles ainsi que la récupération de l'importante quantité de poussière d'argile (qui recouvre le sol sur près de cinq centimètres d'épaisseur dans la halle de fabrication et des séchoirs) sont nécessaires.

B : Il est impératif de remettre en état de fonctionnement la pompe d'alimentation du circuit de protection incendie.

C : Le mauvais état du matériel est manifeste au sein de l'unité.

- Le traitement de l'argile en carrière et le changement des piocheurs du doseur linéaire sont nécessaires.

- Les couteaux et les racleurs du brise-mottes sont à changer.

- Il manque le laminoir dégrossisseur. La rectifieuse du laminoir finisseur est à changer.

- Il faut mettre en place un système de régulation automatique au niveau du mouilleur mélangeur, remettre en état le support des filtres (ou le changer si nécessaire), changer les pales et les hélices.

- Le changement des hélices au niveau de l'étireuse est important.

- Le matériel de manutention automatique étant en panne ou défectueux, il est nécessaire :

- d'avoir de nouveaux châssis,

- de réparer (ou de changer si nécessaire) le moteur et le réducteur de l'élévateur,

- de réparer (ou de changer si nécessaire) le chargeur,

- Il faudrait installer des appareils de mesures (thermomètre, manomètre et humidimètre) et des dispositifs de commande de la température, de l'humidité et de la vitesse de l'air. L'ajout d'un ventilateur par chambre de séchage est également important. Il permettrait, selon la direction de l'unité de réduire de moitié le cycle de séchage. Il faudrait également changer les moto-réducteurs des ventilateurs existant.

- L'installation de 6 brûleurs permettrait de réduire le cycle de cuisson, ce qui augmenterait la production qui pourra atteindre, selon les prévisions de l'unité, 65000 tonnes par an. Ceci, ne pouvant être réalisé qu'avec l'augmentation de la capacité des séchoirs.

D : Il faudrait améliorer la structure de qualification du personnel chargé de la maintenance, car il est important, pour garantir la longévité des équipements, de procéder à des opérations d'entretien régulières. (Comme le suggère le document fourni par l'unité elle-même et qui est reproduit en annexe 3).

Certaines de ces solutions sont données par une demande d'I.V.P.E (Investissement de valorisation du patrimoine existant) faite par l'unité. D'autres solutions ont été mentionnées sur la figure 1.4.

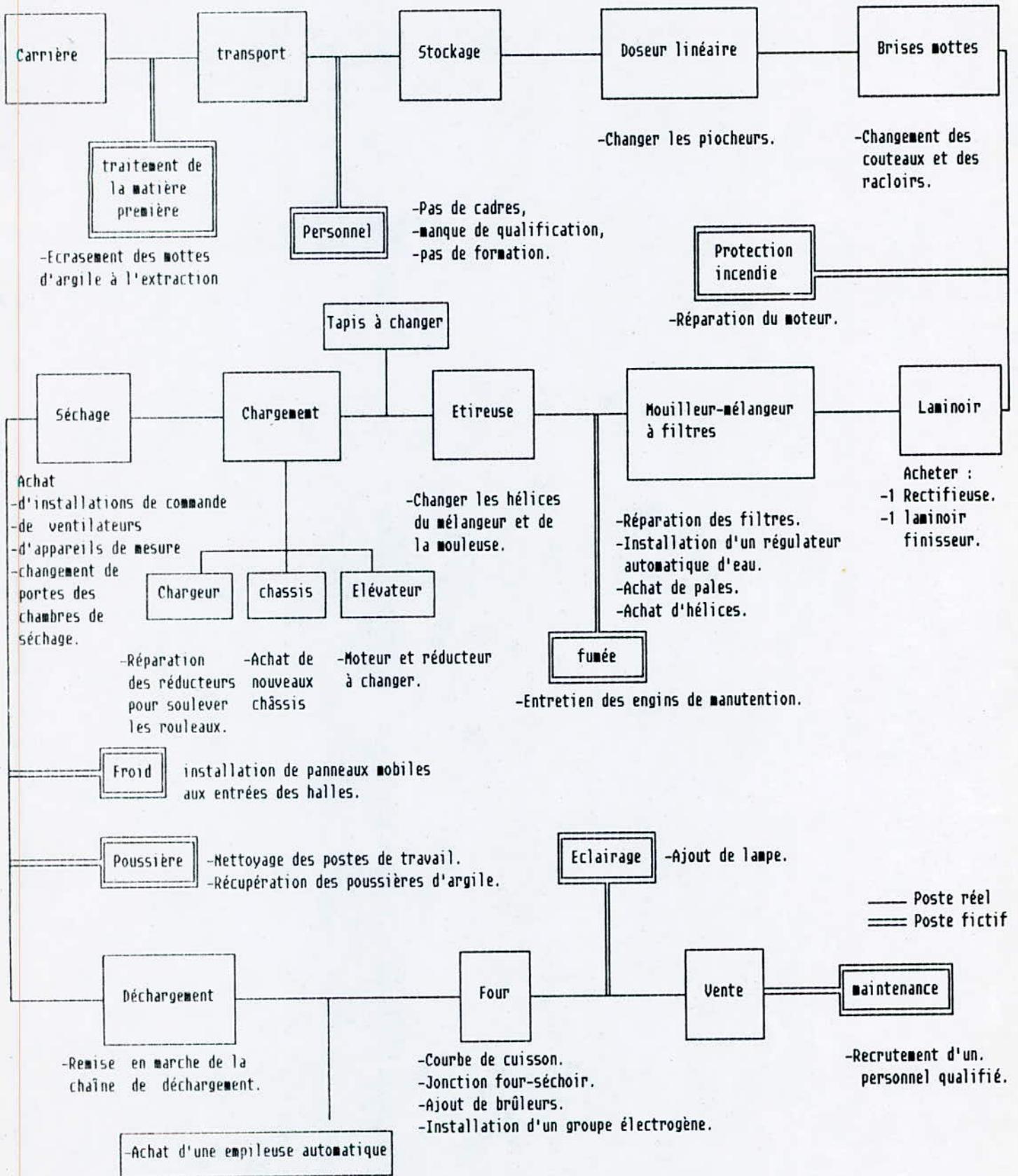
1.6 RESUME

La briqueterie connaît des défaillances dans sa ligne technologique de fabrication : manque d'équipements, défektivité de celui existant, manque de pièces de rechange. La qualité et l'aspect des briques sont médiocres. Ceci n'est pas imputable à la matière première, mais bien à la fabrication, manutention, séchage et à la cuisson.

Mais il faut insister sur le fait qu'à l'origine, il y a l'insuffisance de l'enveloppe AGI (Autorisation Globale d'Importation) qui lui est allouée (300000 DA par an), la difficulté de trouver des pièces de rechange sur le marché national et l'absence d'un programme à long terme visant à la remise en état progressive de la chaîne, en respectant des priorités d'ordre diverses qu'il s'agit de définir (ex:profit par unité investie, influence sur la qualité du produit, importance dans la chaîne de fabrication, etc.).

La figure 1.4 reprend la chaîne de fabrication en mentionnant les solutions suggérées.

SCHEMA RECAPITULATIF



C H A P I T R E 2

F O R M U L A T I O N E T M E T H O D E S D E R E S O L U T I O N D U P R O B L E M E

2.1 FORMULATION DU PROBLEME

Les situations où les décisions apparaissent comme des alternatives sont les plus fréquentes. On peut même montrer que toutes les décisions, dans un système où le nombre d'états possible est fini, peuvent se ramener à des alternatives sur un ensemble plus ou moins complexe de variables (Kaufmann-Labordère [2]). Il existe des problèmes dont les paramètres de commande (variables) ont un sens logique naturel. Le plus souvent, les paramètres logiques peuvent prendre deux valeurs seulement: 0 ou 1. La première valeur du paramètre répond au cas où telle ou telle proposition n'a pas lieu, la seconde indique que cette affirmation est vraie (Golstein-Youdine [3]).

Il apparait vite que le problème que nous avons à formuler fait partie du type précédemment décrit. En effet, il s'agit de décider si une solution proposée doit faire partie du programme à établir ou non.

A chaque défaillance relevée, nous reporteront le coût de remise en état ainsi que le profit qui en découlera. Celui-ci peut-être évalué en unités physiques (nombre de briques) ou en unité monétaire. Chaque problème résolu augmentera la somme des profits. Il faudra traiter le maximum de défaillances sous la contrainte d'un budget réduit.

Ainsi, notre problème sera formulé comme un problème de choix de projets (Capital Budgeting).

Il faudra tenir compte d'éventuelles contraintes, telle que la préférence de la part de la direction de l'unité pour la résolution d'un problème jugé majeur, ou la dépendance de certaines variables. Dans le cas de dépendance, il faudra effectuer des groupages de solutions; le coût du groupe serait égal à la somme des coûts des solutions qui le composent et le profit serait évalué globalement. Lors de la recherche du "programme solution, le groupe sera considéré comme une seule rubrique. Le problème pourrait également être traité en considérant les solutions dans un ordre de priorités qui serait fixé par la direction de l'unité.

Pour la majorité d'entre elles, et particulièrement pour celles concernant les profits escomptés, les données nécessaires à la résolution du problème posé ne sont en fait que des approximations et ne peuvent, de ce fait, être considérées que comme une approche de leur valeur réelle.

Il nous appartiendra lors de la résolution de tenir compte de ce fait. Des perturbations seront opérées sur l'ensemble des informations, afin de pouvoir cerner au mieux la solution recherchée et d'analyser son devenir en cas de variation d'une ou de plusieurs données.

De même, il s'agira d'étudier l'incidence sur le programme à établir d'une augmentation du budget disponible. L'objectif est de pouvoir mesurer l'effet d'un budget plus large qui permettrait une action de plus grande envergure sur la chaîne technologique de l'unité.

2.2 METHODES DE RESOLUTION DU PROBLEME

2.2.1 CHOIX OPERES

Notre choix a porté sur une méthode exacte (algorithme) et sur une méthode heuristique.

Un algorithme est une suite de règles permettant d'atteindre séquentiellement et en toute rigueur, par le calcul, un résultat proposé à l'avance, par exemple : trouver la (ou les) solution optimale d'un programme.

Une heuristique est une suite de règles, introduites parfois par la seule intuition et l'esprit de création, permettant d'obtenir un résultat que l'on juge, à priori, acceptable (autrement pourquoi utiliser les règles), par exemple : trouver une (ou des) solution à un programme (Kaufmann-Labordère [2]).

2.2.2 POURQUOI CES DEUX METHODES ?

Il est important avant tout de savoir que ces deux façons de procéder ne s'opposent pas, elles se complètent. Bien des algorithmes ont été des heuristiques avant qu'on ne les améliore pour que les règles soient des enchaînements rigoureux. Et aussi, des algorithmes ont conduit à des heuristiques quand le champ conceptuel et opératoire est devenu trop grand pour que les règles démontrées restent valable pour ces démonstrations (Kaufmann-Labordère [2]).

La méthode exacte vient du fait que le choix d'investissements est un problème de programmation linéaire en nombres entiers (PLNE). La PLNE garantit l'optimum mais parfois dans un intervalle de temps inacceptable quand la taille du problème devient importante. Ceci nous a amené à utiliser une heuristique. C'est une approche intuitive qui ne garantit pas l'optimum. Elle est rapide et utilisée quand la méthode exacte est lente ou quand plusieurs solutions d'un même problème sont demandées.

2.2.3 PRESENTATION DES METHODES

2.2.3.1 - PROGRAMMATION LINEAIRE EN NOMBRES ENTIERS

- Approche de la méthode

Un PLNE se formule comme suit (notes de cours [6]):

$$(P') \left\{ \begin{array}{l} \text{Optimiser une fonction objective} = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (1) \\ \text{Sous contraintes} \quad \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i \quad i=1,2,\dots,m \quad (2) \\ x_j = 0 \text{ ou } 1 \quad j=1,2,\dots,n \quad (3) \end{array} \right.$$

où $X = [x_j] \quad (n \times 1) \equiv$ Vecteur des variables de décision.

$C = [c_j] \quad (n \times 1) \equiv$ Vecteur des coefficients de la fonction objective.

$A = [a_{ij}] \quad (m \times n) \equiv$ Matrice des coefficients technologiques.

$B = [b_i] \quad (m \times 1) \equiv$ Vecteur des niveaux des ressources.

De plus, nous pouvons admettre que pour chaque variable, il est possible de déterminer une valeur maximale et une valeur minimale entre lesquelles se trouve sûrement la valeur optimale.

$$MI_j \leq x_j \leq MA_j \quad (4)$$

Pour un complément d'informations, se référer à l'annexe 4

Dans notre cas $m=1$ car nous n'avons qu'une seule contrainte qui est la contrainte sur le budget. Notre problème sera formulé comme un PLNE (P') à une contrainte:

$$(P') \left\{ \begin{array}{l} \text{Optimiser une fonction objective} = \sum_{j=1}^n p_j x_j \quad (1') \\ \text{Sous contraintes} \quad \sum_{j=1}^n c_j x_j \leq b \quad (2') \\ x_j = 0 \text{ ou } 1 \quad j=1,2,\dots,n \quad (3') \end{array} \right.$$

où: $X = [x_j] (n \times 1) \equiv$ Vecteur des variables de décision.

$$x_j = \begin{cases} 1 & \text{si on décide de réparer } j \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$C = [c_j] (n \times 1) \equiv$ Vecteur des coûts.

$P = [p_j] (n \times 1) \equiv$ Vecteur des profits.

$B \equiv$ Budget disponible.

- (1') Maximiser la somme des profits.
- (2') Somme des coûts des rubriques à prendre limitée par le budget.
- (3') Contrainte d'intégralité (variables booléennes).

Logiciel utilisé

Nous avons retenu le logiciel MILP 88 ("Mixed Integer Linear Programming") disponible au laboratoire de calcul du département. C'est un procédé qui permet de résoudre des programmes linéaires dans lesquels les variables (ou une partie d'entre elles) sont entières. Tout problème contenant jusqu'à 225 contraintes, 64 variables entières et 1225 non entières peut-être résolu au moyen d'une application avancée du "Branch and Bound".

MILP 88 applique la méthode révisée du simplexe pour la résolution du problème linéaire relaxé de la contrainte d'intégralité dans chaque branche. Pour chaque variable entière l'algorithme prévoit l'introduction d'une valeur maximale et d'une valeur minimale entre lesquelles se trouve sûrement l'optimum.

MILP 88 emploie des règles de création de branches et de sélection de problèmes qui garantissent l'obtention de la solution optimale en un nombre réduit d'itérations. Des coupes sont effectuées sur le domaine de chaque branche (MILP88 USER'S GUIDE [7]).

Un exemple détaillé est donné pour illustrer la méthode (Tableau 2.1 et Tableau 2.2).

Tableau 2.1

DONNEES

nd17		OBJECTIVE: MAX				VARIABLES: 30		DATE 06-15-1988	
BASIS: NONE		CONSTRAINTS: 61				SLACKS: 61		TIME 01:15:50	
	I.1	I.2	I.3	I.4	I.5	I.6	I.7	I.8	
PROFIT	195.9	418.1	114.2	257.5	234.7	178.3	26.27	393.4	PROFIT
BUDGET	33	91	30	60	83	55	8	87	BUDGET
LOWER	0	0	0	0	0	0	0	0	BOUND
UPPER	1	1	1	1	1	1	1	1	BOUND
	I.1	I.2	I.3	I.4	I.5	I.6	I.7	I.8	
	I.9	I.10	I.11	I.12	I.13	I.14	I.15	I.16	
PROFIT	295.5	170.5	72.47	401.4	344.8	346.2	171.3	11.04	PROFIT
BUDGET	55	71	36	71	74	59	81	4	BUDGET
LOWER	0	0	0	0	0	0	0	0	BOUND
UPPER	1	1	1	1	1	1	1	1	BOUND
	I.9	I.10	I.11	I.12	I.13	I.14	I.15	I.16	
	I.17	I.18	I.19	I.20	I.21	I.22	I.23	I.24	
PROFIT	256.1	231.7	91.57	298.5	196.9	247.3	155.9	247.4	PROFIT
BUDGET	59	93	28	60	75	59	33	45	BUDGET
LOWER	0	0	0	0	0	0	0	0	BOUND
UPPER	1	1	1	1	1	1	1	1	BOUND
	I.17	I.18	I.19	I.20	I.21	I.22	I.23	I.24	
	I.25	I.26	I.27	I.28	I.29	I.30		RHS	
PROFIT	187.9	382.5	239.5	175.6	397.6	335.8		0	PROFIT
BUDGET	82	97	73	49	85	58	<=	348.62	BUDGET
LOWER	0	0	0	0	0	0			BOUND
UPPER	1	1	1	1	1	1			BOUND
	I.25	I.26	I.27	I.28	I.29	I.30		RHS	

Tableau 2.2

RESULTATS

ND17	SOLUTION IS INTEGER				PROFIT 1924.8		DATE 06-07-1988			
	SOLUTION SUMMARY						TIME 16:12:43			
	I.1	I.2	I.3	I.4	I.5	I.6	I.7	I.8	I.9	I.10
	I.11	I.12	I.13	I.14	I.15	I.16	I.17	I.18	I.19	I.20
	I.21	I.22	I.23	I.24	I.25	I.26	I.27	I.28	I.29	I.30
S.1										
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1

2.2.3.2 - METHODE HEURISTIQUE

a-Introduction

"Heuristique" dérive du mot Grec "heuriskein" qui signifie "trouver". D'un point de vue littéraire, ce qui est heuristique est ce "qui aide à la découverte". C'est un adjectif qui a été appliqué aux règles et aux procédures qui servent de guides dans les situations complexes (Eglese [8]).

Nicholson définit une heuristique comme une procédure "... de résolution de problèmes au moyen d'une approche intuitive dans laquelle la structure du problème peut être interprétée et utilisée intelligemment pour obtenir une solution raisonnable". C'est une définition qui est préférée pour deux raisons essentielles. La première souligne l'importance de la possibilité d'exploiter la structure du problème dans la confection de la méthode heuristique. La seconde vient du fait que la procédure fait référence à une "solution raisonnable" au problème. Cette définition regroupe les méthodes qui présentent une bonne solution, quoique pas nécessairement optimale, aux problèmes mathématiques formellement définis aussi bien qu'à ceux dont les objectifs n'ont pas été définis explicitement (Eglese [8]).

Pour des informations plus détaillées concernant les définitions, les utilités et la complexité des méthodes heuristiques, le lecteur est invité à consulter l'article écrit par Eglese [8].

b-Ideé de base

Il s'agit de classer l'ensemble des défaillances retenues par ordre décroissant du rapport "profit/coût" (profit par unité investie). Dans le programme à réaliser, nous prendrons les solutions présentant le plus fort rapport en vérifiant que chaque coût est couvert par le budget disponible. L'ensemble des rubriques retenues formera le programme recherché.

c-Raffinage

Il n'est pas évident que le programme établi ci-dessus consomme la totalité du budget alloué. Il est même certain qu'une partie de celui-ci restera sans utilisation, du fait qu'elle ne couvre le coût d'aucune des solutions non prises dans le programme. Il nous sera alors possible de raffiner le "programme solution". Ceci se fera en substituant une solution de ce programme par une solution non retenue, couverte par le budget restant et procurant plus de profit que celle retirée. Un second raffinement consistera à substituer à une solution retirée, la combinaison de deux autres parmi celles non prises.

c-Organigramme

Afin de réaliser ces objectifs, nous avons développé un programme informatique, écrit en BASIC exécuté sur micro-ordinateur compatible IBM PC dont voici l'organigramme. (Le listing détaillé du programme ainsi que les explications nécessaires sont donnés en fin de projet).

(i) INTRODUCTION DES DONNEES (lignes 40 à 220).

Il s'agit de connaître avant tout, le nombre de faiblesses de la chaîne. Pour chaque défaillance observée, on demandera:

- le "coût de solution",
- le profit escompté.

Un fichier "DONNEES" a été ouvert afin d'y introduire l'ensemble de ces informations. L'appel du fichier se fera à partir du système principal. A chaque ligne, on donnera un coût puis le profit correspondant.

La machine se charge d'attribuer un numéro d'ordre à chaque donnée ainsi que d'effectuer le calcul de chaque rapport "Profit/Coût".

(ii) CREATION D'UNITES DE STOCKAGE (50 à 70).

Il s'agit de créer des vecteurs permettant de stocker :

- les données entrées et leur classement par ordre décroissant du profit par unités investies [R(I), A(I), C(I), P(I)],
- les solutions formant le "programme solution" sans raffinage [S(I), S1(I), S2(I), S3(I)],
- les solutions non considérées dans ce programme [T(I), T1(I), T2(I), T3(I)],
- les solutions formant le "programme solution" après raffinage à une rubrique [TA(I), TA1(I), TA2(I), TA3(I)],
- les solutions formant le "programme solution" après raffinage à deux rubriques [TB(I), TB1(I), TB2(I), TB3(I)],

Dans chaque cas, les vecteurs créés seront destinés à stocker respectivement:

- le numéro d'ordre,
- le profit par unité investie,
- le coût,
- le profit.

de chacune des faiblesses relevées.

(iii) CLASSEMENT PAR ORDRE DECROISSANT DU PROFIT PAR UNITE INVESTIE (240 à 330).

A chaque parcours de la série de rapports, on inversera le rang de toute paire de nombres telle que la valeur du premier des deux soit plus petite que celle du second.

Un indicateur (F) permet, à chaque modification opérée, de refaire le parcours de la série jusqu'à ce qu'aucune transformation ne soit effectuée (F=0). Le classement ainsi établi est affiché (360 à 460).

(iv) OBTENTION DE LA SOLUTION SANS RAFFINAGE (560 à 640).

Après introduction du budget total disponible (480 à 530), les défaillances seront traitées dans l'ordre préétabli ci-dessus. Nous retiendrons toutes les rubriques donnant une somme de coûts couverte par le budget. Si, lors du parcours, le budget restant ne couvre pas l'une des défaillances, nous traiterons celle qui lui succédera immédiatement.

L'affichage de ce programme (660 à 870) ainsi que l'affichage des solutions qu'il ne considère pas (900 à 990) ont été prévus.

(v) OBTENTION DE LA SOLUTION APRES RAFFINAGE A UNE RUBRIQUE (1080 à 1790).

Une à une, les solutions retenues seront extraites du programme, par ordre croissant du rapport "profit/coût". A chaque retrait, le budget disponible se verra augmenté d'un montant égal au coût de la solution retirée (1100).

Parmi les solutions non retenues, on cherchera celles qui peuvent engendrer une augmentation de profit par rapport au programme précédent (1130 à 1190). Une sélection sera ensuite opérée à partir du calcul du profit total engendré par chaque programme ainsi trouvé, pour choisir la solution qui procurera le plus grand profit par rapport à celle retirée (1260 à 1440). Cette opération sera effectuée autant de fois qu'il y a de solutions dans le programme obtenu précédemment (Boucle 1080 - 1450). Le raffinage sera celui obtenu après substitution d'une rubrique de la solution précédente par une autre plus avantageuse (si elle existe). C'est ce que nous avons qualifié de "raffinage à une rubrique".

Ce programme, quand il existe (TND=1) est affiché (1610 à 1720).

(vi) OBTENTION DE LA SOLUTION APRES RAFFINAGE A DEUX RUBRIQUES (2000 à 2900).

Un raffinage plus poussé peut être opéré. Les investigations sont identiques sauf que la solution retirée serait remplacée par la combinaison de deux solutions non retenues qui vérifie les conditions précédemment citées. Ainsi, il est prévu la recherche des combinaisons qui permettraient d'avoir un meilleur profit total (2120 à 2250) ainsi que la sélection du programme permettant de réaliser le plus de profit par rapport à la solution retirée (2310 à 2530). Là aussi, le raffinage sera celui obtenu après avoir effectué le changement ayant permis la plus grande augmentation du profit total réalisé. C'est ce que nous avons appelé "raffinage à deux rubriques". Un tel programme, quand il existe [TDD=1], est affiché (2720 à 2900).

Des deux types de raffinage précédents, nous conserverons celui qui procurera la plus forte somme des profits. Il constituera la solution de la méthode heuristique (2930 à 3150).

L'affichage de deux messages a été prévu en début de programmes afin de donner quelques informations préliminaires (1820 à 1950).

Un exemple détaillé est donné pour illustrer la présente approche. Dans cette dernière section, les différentes étapes du programmes sont clarifiées (Tableau 2.3).

E X E M P L E D ' E X E C U T I O N

APPROCHE HEURISTIQUE D'UN PROGRAMME DE CHOIX D'INVESTISSEMENTS

Réalisé par: Mlle BELHOCINE Mouradia Mr BENAMAR Mohamed Fayçal	[Ecole Nationale Polytechnique Département Génie-Industriel 1988]
---	---

Ce programme a pour objectif la détermination d'une solution approchée à un problème de choix d'investissements.

Il est basé sur un classement préalable, par ordre décroissant du profit par unité investie, des investissements à réaliser. Une première détermination du "programme solution" se fera par la considération, dans l'ordre préétabli, des rubriques couvertes par le budget.

Un raffinage de cette solution sera opéré. Une à une, par ordre croissant du rapport "Profit/Coût", les rubriques seront retirées. Elles seront remplacés par une de celles qui ne sont pas considérées dans le premier programme. La rubrique à entrer aura un plus grand profit que celle retirée et sera couverte par le budget disponible. Un deuxième raffinage sera opéré sur la même base, sauf qu'on substituera à une rubrique, une combinaison optimale de deux parmi celles non considérées par le programme initial.

COMMENT INTRODUIRE VOS DONNEES ?

Un fichier pour vos données existe afin d'y introduire (sur chaque ligne) le coût et le profit d'une solution.

L'appel de ce fichier se fera à partir du système. Il suffira d'éditer "DONNEES" et y introduire les informations nécessaires comme suit :

```
coût,profit
coût,profit
```

TABLEAU 2.3

RESULTATS DETAILLES POUR UN PROBLEME A 30 VARIABLES

NOMBRE D'ELEMENTS A TRAITER : 30

CLASSEMENT SUIVANT LES VALEURS DECROISSANTES DU RAPPORT PROFIT/COUT

RANG	PROFIT/COUT	COUT	PROFIT
1	5.936506	33	195.9047
14	5.867422	59	346.1779
30	5.790495	58	335.8487
12	5.653902	71	401.427
24	5.497147	45	247.3716
9	5.372498	55	295.4874
20	4.975607	60	298.5364
23	4.723597	33	155.8787
29	4.677417	85	397.5804
13	4.659922	74	344.8342
2	4.594949	91	418.1403
8	4.521705	87	393.3883
17	4.339985	59	256.0591
4	4.291425	60	257.4855
22	4.191141	59	247.2773
26	3.943669	97	382.5359
3	3.807077	30	114.2123
28	3.584665	49	175.6486
7	3.283618	8	26.26894
27	3.281499	73	239.5494
19	3.270249	28	91.56698
6	3.241213	55	178.2667
5	2.827322	83	234.6677
16	2.76028	4	11.04112
21	2.625578	75	196.9183
18	2.491898	93	231.7465
10	2.4017	71	170.5207
25	2.292092	82	187.9515
15	2.114814	81	171.2999
11	2.01315	36	72.4734

VOTRE BUDGET EST DE 348.6229

SOLUTION OBTENUE

RANG	PROFIT/COUT	COUT	PROFIT
1	5.936506	33	195.9047
14	5.867422	59	346.1779
30	5.790495	58	335.8487
12	5.653902	71	401.427
24	5.497147	45	247.3716
9	5.372498	55	295.4874
7	3.283618	8	26.26894
16	2.76028	4	11.04112

VOUS AVEZ UTILISE 95.51869 % DE VOTRE BUDGET

IL VOUS RESTE EXACTEMENT 15.62293 DA NON UTILISES

VOUS AVEZ OBTENU UNE SOMME DE PROFITS DE 1859.527

RUBRIQUES NON PRISES

RANG	PROFIT/COUT	COUT	PROFIT
20	4.975607	60	298.5364
23	4.723597	33	155.8787
29	4.677417	85	397.5804
13	4.659922	74	344.8342
2	4.594949	91	418.1403
8	4.521705	87	393.3883
17	4.339985	59	256.0591
4	4.291425	60	257.4855
22	4.191141	59	247.2773
26	3.943669	97	382.5359
3	3.807077	30	114.2123
28	3.584665	49	175.6486
27	3.281499	73	239.5494
19	3.270249	28	91.56698
6	3.241213	55	178.2667
5	2.827322	83	234.6677
21	2.625578	75	196.9183
18	2.491898	93	231.7465
10	2.4017	71	170.5207
25	2.292092	82	187.9515
15	2.114814	81	171.2999
11	2.01315	36	72.4734

SOLUTION OBTENUE APRES RAFFINAGE A UNE REFERENCE

RANG	PROFIT/COUT	COUT	PROFIT
1	5.936506	33	195.9047
14	5.867422	59	346.1779
30	5.790495	58	335.8487
12	5.653902	71	401.427
20	4.975607	60	298.5364
9	5.372498	55	295.4874
7	3.283618	8	26.26894
16	2.76028	4	11.04112

VOUS AVEZ UTILISE 99.92132 % DU BUDGET

IL VOUS RESTE EXACTEMENT .6229248 DA NON UTILISES

VOUS AVEZ OBTENU UNE SOMME DE PROFITS DE 1910.692

VOUS AVEZ GAGNE 51.1648 DA PAR RAPPORT A LA SOLUTION PRECEDENTE

IL N'Y A PAS DE RAFFINAGE A DEUX RUBRIQUES QUI SOIT POSSIBLE
LA SOLUTION RESTE CE QU'ELLE ETAIT

SOLUTION FINALE = SOLUTION APRES RAFFINAGE A UNE RUBRIQUE

C H A P I T R E 3

A P P L I C A T I O N

Cette partie devait être consacrée à la résolution du problème que nous avons posé. Il s'agissait d'introduire les données (coûts, profits et budget) dans les deux programmes (Logiciel MILP88 et programme BASIC développé) et obtenir ainsi la solution recherchée. Il s'agissait également d'opérer des perturbations sur ces données afin d'obtenir une famille de solutions.

Mais nous n'avons eu qu'une partie des coûts et aucun profit. Ceci est dû à l'inexistence de la comptabilité analytique qui aurait permis de communiquer ces informations. Ainsi notre objectif ne pouvait être atteint. Nous nous sommes donc restreints à générer des problèmes test permettant d'analyser et de comparer les résultats obtenus au moyen des deux méthodes adoptées. Pour cela, les données ont été prises aléatoirement de la façon suivante: le coût a été considéré comme variant dans l'intervalle $[1,100]$, le profit a été pris comme étant deux à six fois plus grand que le coût, et le budget a été considéré comme variant entre le coût le plus élevé et la somme totale des coûts. Sur cette base, nous avons réalisé des tests avec des problèmes à vingt, trente et quarante variables afin de pouvoir juger également le comportement de ces méthodes par rapport au nombre de rubriques à traiter.

Détermination d'un budget B aléatoirement.

Il s'agit de donner la chance à toutes les solutions d'être prises dans le programme à déterminer. Le budget doit au moins être égal au plus grand des coûts.

Considérons n coûts relatifs à n problèmes C_1, C_2, \dots, C_n .

Soient

$$C_{\max} = \max_{1 \leq i \leq n} C_i, \quad C_s = \sum_{i=1}^n C_i, \quad C_{\min} = \min_{1 \leq i \leq n} C_i$$

Si $B \leq C_{\min}$, le budget couvre au maximum la solution de plus faible coût.
Si $B \geq C_s$, le budget couvre toutes les solutions.

Dans ces deux cas, il n'est pas nécessaire de recourir aux méthodes mathématiques.

Si $C_{\min} < B < C_{\max}$, la solution de coût max n'a aucune chance d'être considérée dans le programme.

Il apparaît qu'il faut prendre le budget entre C_{\max} et C_s .

$$B = C_{\max} + (C_s - C_{\max}) * a$$

où a est un nombre aléatoire pris dans $]0,1[$.

Si $a=0$ alors $B=C_{\max}$, si $a=1$ alors $B=C_s$

INTERPRETATION

Au vu des résultats sur les problèmes tests (voir tableaux 3.1 et 3.2) nous pouvons faire les remarques suivantes:

Sur 10 problèmes à 20 variables, 7 donnent la solution après raffinement à une rubrique, 1 donne la solution après raffinement à deux rubriques et 2 donnent la solution sans raffinement. Sur 10 problèmes à 30 rubriques, 3 donnent la solution après raffinement à une rubrique et les 7 autres donnent la solution sans raffinement. Sur 10 problèmes à 40 variables, 4 donnent la solution après raffinement à une rubrique, 1 donne la solution après raffinement à deux rubriques et les 5 autres n'effectuent pas de raffinement. (Voir figure 3.1 pour illustration).

En moyenne, la résolution du programme par la méthode exacte prends 60 fois plus de temps que la méthode heuristique pour les 10 problèmes à 20 variables, 65 fois plus de temps pour les 10 problèmes à 30 variables et 48 fois plus de temps pour les 10 problèmes à 40 variables.

En moyenne la méthode heuristique donne le même résultat (l'optimum) que la méthode exacte pour 6 des 10 problèmes à 20 variable, pour 7 des 10 problèmes à 30 et pour 7 des 10 problèmes à 40 variables.

Dans les problèmes qui restent, la méthode exacte procure en moyenne un gain supérieur de 1.00 % pour les problèmes à 20 variables,
1.08 % pour les problèmes à 30 variables,
0.95 % pour les problèmes à 40 variables.

(Voir figure 3.2 pour illustration).

Il apparaît que dans la majorité des cas, la méthode heuristique procure la même solution que la PLNE et dans un temps beaucoup plus court, que les différences de gains sont minimales et que le raffinement prévu est nécessaire. La méthode heuristique est très intéressante. Elle l'est d'autant plus qu'il est possible - par une modification rapide sur le programme- de l'adapter à des cas similaires.

Applications possibles:

-Problème du sac à dos.

Un voyageur à pieds désire emporter dans son havresac un certain nombre d'objets X_1, X_2, \dots, X_n . Il connaît le poids P_1, P_2, \dots, P_n de chacun des objets et leurs volumes respectifs V_1, V_2, \dots, V_n . Il ne peut pas emporter une charge totale supérieure à P et son havresac ne peut contenir un volume supérieur à V . Le voyageur affecte des valeurs K_1, K_2, \dots, K_n à chacun des objets suivant leur utilité subjective. Quels objets choisira-t-il de telle sorte que la valeur utilitaire totale soit maximale?

Ce problème sera représenté par le programme linéaire à valeurs entières suivant, où x_i est le nombre d'objets X_i à emporter:

$$\begin{aligned} \text{MAX } z &= k_1 x_1 + k_2 x_2 + \dots + k_n x_n, \\ P_1 x_1 + P_2 x_2 + \dots + P_n x_n &\leq P \\ V_1 x_1 + V_2 x_2 + \dots + V_n x_n &\leq V \\ x_i &\geq 0 \text{ et entier } i=1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

Dans la méthode heuristique, comme il a été prévu pour le budget (donc pour le poids), un test sera introduit pour vérifier la contrainte sur le volume.

-Planification et développement du réseau routier rural dans les pays en voie de développement (Oudheusden-Khan [9]).

Dans certains pays en voie de développement, plusieurs ménages n'ont pas de route d'accès adéquate vers les différents centres de leur vie commune (marchés, emplois, etc). Certaines localités ne peuvent être jointes que par de longs chemins de terre. Il est donc nécessaire de planifier la construction de routes praticables joignant le maximum de localités aux routes principales.

Le problème est généralement formulé ainsi:

Ayant un graphe de liaisons possibles (N villages), il s'agit de construire un réseau de routes praticables permettant de maximiser le nombre de villages (T) connectés au marché local. Comme la taille des villages varie, il est préférable de les pondérer par des coefficients d'"utilité de connexion au réseau choisi" qui dépend de leur activité et du nombre de ménages qui les composent. Reste que du fait de l'existence d'une contrainte budgétaire, le nombre de tronçons à construire sera limité.

Sous forme mathématique, le problème est le suivant:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Max } z(T) = \sum_{i \in V'} u(v)_i \quad (1) \\ \sum_{\substack{e \in V' \\ ij}} c(e)_{ij} \leq B \quad (2) \\ v \in V'_i \quad (3) \\ T(V', E') \text{ est un arbre de } N(V, E) \quad (4) \end{array} \right.$$

où:

$u(v)_i$ est l'utilité de connexion du village i

$c(e)_{ij}$ le coût de construction de la route reliant les villages i et j

B est le budget total alloué à ce projet

T est le nombre de villages formant le programme solution

V' est l'ensemble des villages formant le programme solution

E' est l'ensemble des tronçons formant le programme solution

N est le nombre de villages du graphe initial (de la région)

V est l'ensemble des villages du graphe initial (de la région)

E est l'ensemble des tronçons du graphe initial (de la région)

(1) exprime l'objectif de maximiser la somme des utilités.

(2) exprime la contrainte budgétaire.

(3) seuls les villages du graphe initial (de la région) peuvent faire partie du programme solution.

(4) l'ensemble des solutions est un sous-ensemble du graphe initial.

Pour plus de détails concernant ce problème, le lecteur est invité à consulter l'article écrit par Dirk L. van OUDHEUSDEN et Md. Lutfar Rahman KHAN [9].

Figure 3.1

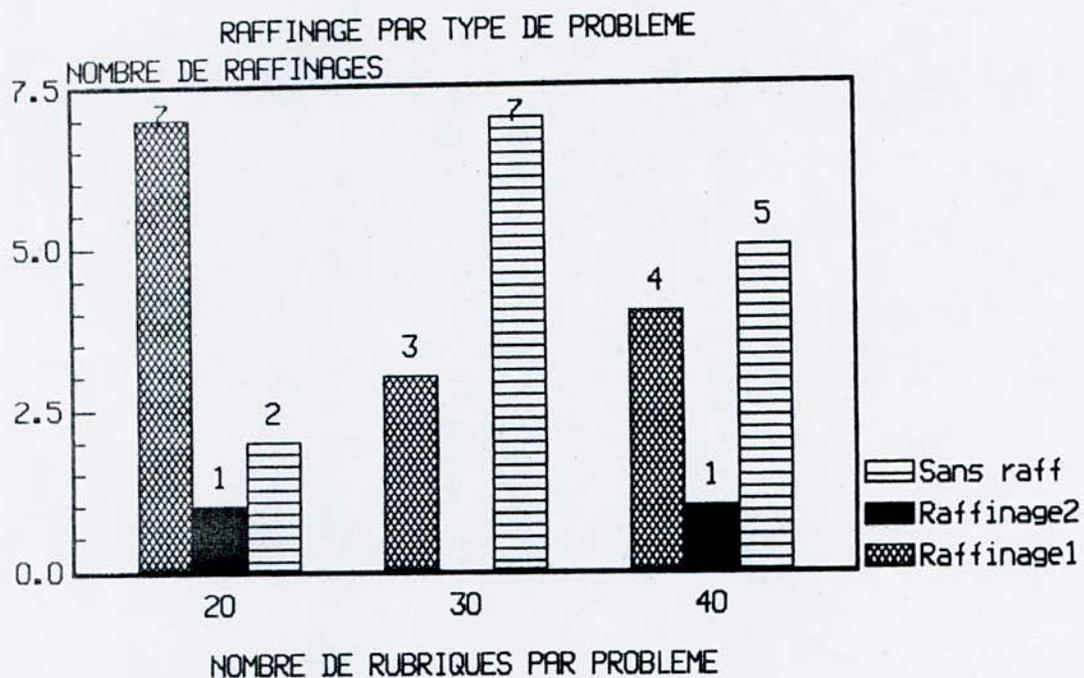


Figure 3.2

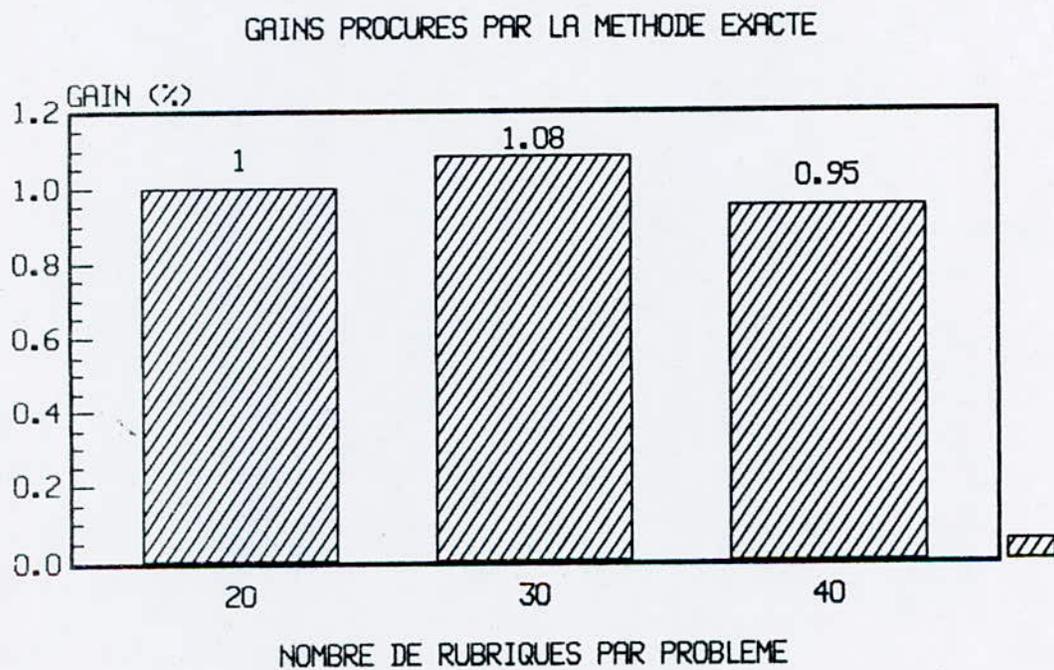


Tableau 3.1

RESULTATS

Nombre de variables	S (DA)	S* (DA)	Déviatiion %	T (Secondes)	T* (Minutes)
20	3534.22	3534.71		30	50
20	3949.39	3949.92		29	50
20	6592.38	6592.43		29	20
20	2831.42	2851.81	0.71	30	30
20	3291.28	3291.43		29	20
20	3030.24	3050.81	0.67	29	35
20	2870.17	2878.53	0.29	30	15
20	2155.28	2206.70	2.33	28	20
20	3201.18	3201.61		29	10
20	1501.56	1501.66		30	40
30	1910.69	1924.80	0.73	49	70
30	4744.62	4745.03		44	50
30	1323.33	1351.21	2.06	42	47
30	4602.79	4623.07	0.44	44	60
30	1160.70	1160.99		43	43
30	4693.83	4693.97		45	37
30	670.56	670.15		44	55
30	3510.99	3510.99		48	45
30	1093.57	1094.25		45	40
30	2372.37	2372.47		47	50
40	1740.11	1740.54		70	63
40	6003.42	6087.41	1.38	72	70
40	7749.12	7749.37		75	60
40	5553.43	5553.50		74	55
40	3124.12	3137.32	0.42	75	73
40	5857.64	5857.89		79	40
40	5440.76	5440.98		72	60
40	4850.71	4851.12		75	45
40	7897.51	7897.57		74	67
40	1740.08	1758.77	1.06	73	60

S Profit total obtenu par la méthode heuristique.
 S* Profit total obtenu par la PLNE.
 T Temps d'exécution par la méthode heuristique.
 T* Temps d'exécution par la PLNE.
 Déviatiion $(S^*-S)/S^* \times 100$

Tableau 3.2

UTILITE DU RAFFINAGE

Nombre de variables	Raffinage à une rubrique	Raffinage à deux rubriques	Raffinage à 1 > raffinage à 2	Raffinage à 2 > raffinage à 1
20	OUI	---	---	---
20	---	---	OUI	---
20	OUI	---	---	---
20	OUI	---	---	---
20	OUI	---	---	---
20	---	---	---	OUI
20	OUI	---	---	---
20	---	---	---	---
20	OUI	---	---	---
20	---	---	---	---
30	OUI	---	---	---
30	---	---	---	---
30	---	---	---	---
30	---	---	---	---
30	---	---	---	---
30	---	---	---	---
30	---	---	---	---
30	OUI	---	---	---
30	OUI	---	---	---
30	---	---	---	---
40	---	---	---	---
40	---	---	---	---
40	---	---	---	---
40	---	OUI	---	---
40	---	---	---	---
40	OUI	---	---	---
40	---	---	OUI	---
40	OUI	---	---	---
40	OUI	---	---	---
40	---	---	---	---

C O N C L U S I O N

Notre étude aura porté sur la briqueterie tuilerie Settoul-Mekki de l'E.M.CO.P.R.AL située au Gué de Constantine qui connaît un certain nombre de difficultés au niveau de sa chaîne de fabrication, particulièrement au niveau des ateliers de séchage et au niveau de la manutention automatique. L'objectif était de formuler un programme mathématique permettant de résoudre de façon optimale les problèmes dont souffre l'unité au niveau de la chaîne principale.

N'ayant pu avoir l'ensemble des données, malgré l'intérêt et l'appui que la direction a accordé à notre étude et tous les efforts consentis pour l'obtention des coûts et surtout des profits escomptés pour chaque solution, nous n'avons pu réaliser notre objectif et nous sommes donc restreints à développer des problèmes test.

Nous aurions voulu atteindre ce but et pour cela, dans la cadre d'une éventuelle continuation de notre travail, nous espérons qu'une étude portant sur l'évaluation exacte des coûts et des profits relatifs aux solutions suggérées soit poursuivie. Ceci permettrait de réaliser le "programme solution" que nous cherchions.

A l'issue de notre travail, nous avons dégagé trois points que nous jugeons utiles de suggérer à la direction de l'unité.

- Avant tout, compte tenu du fait que notre étude reste inachevée faute de données, nous pensons nécessaire d'établir une structure de comptabilité analytique qui permettrait de palier à ce manque pour d'éventuelles études à faire dans l'avenir.

- Nous jugeons également utile de traiter un projet concernant la réalisation d'une jonction four-séchoir afin de récupérer les chaleurs de cuisson pour le séchage (la documentation fournie par le constructeur parle d'un gain d'énergie allant jusqu'à 50%).

- Enfin nous proposons une étude concernant l'homogénéisation de la chaîne technologique et la prévision de toute modification structurelle occasionnée par un éventuel ajout de machines (ex: laminoir finisseur).

De plus nous tenons à soulever l'intérêt qu'aurait apporté la collaboration d'étudiants d'autres départements (Génie Civil, Génie Minier, Génie Mécanique) pour la réalisation d'un projet qui aurait abordé tous les aspects de la fabrication de la brique.

Enfin, en ayant tenté de réaliser notre objectif, nous espérons pouvoir montrer qu'il peut être possible de réaliser une amélioration au sein d'une unité de production, même si elle connaît de gros problèmes au niveau de sa chaîne de fabrication, par des méthodes qui ne sont pas forcément élaborées.

B I B L I O G R A P H I E

- [1] K.CHEHRIT Article: Produits rouges (page 27),
Révolution Africaine, N° 1211 du 15 Mai 1987
- [2] A.KAUFMANN et A.HENRY-LABORDERE Méthodes et modèles de la
recherche opérationnelle, Tome 3 ED.DUNOD, 1974
- [3] E.GOLSTEIN et D.YOUDINE Problèmes particuliers de la programmation
linéaire, ED DE MOSCOU, 1973
- [4] HARVEY M.WAGNER Principles of operations research with applications
to managerial decisions, ED.PRENTICE-HALL, 1969
- [5] N.WU and H;COPPING Linear programming and extensions,
Mc Graw Hill, 1981
- [6] Notes de cours de Recherche Opérationnelle 5° Année :Programmation
Mathématique, 1987/1988
- [7] MILP 88 USER'S GUIDE Mixed Integer Linear Programming for the IBM PC
EASTERN SOFTWARE PRODUCTS, INC,
- [8] R.W.EGLESE Heuristics in Operational Research,
Dans "Recent Development in Operational Research"
(V.Belton . R.M.O'Keefe Eds). Pergamon Press, Oxford, 1986.
- [9] Dirk L. van OUDHEUSDEN and Md. Lutfar Rahman KHAN, Planning and
development of rural road networks in developing countries,
European Journal of Operational Research 32 (1987) 353-362
- [10] LUCIEN ALVISET Matériaux de terre cuite,
Techniques de l'ingénieur, 1988

ANNEXE 1

FONCTIONNEMENT D'UNE BRIQUETERIE

A.1.1 FABRICATION (Alviset [10]).

La fabrication comprend plusieurs stades dont les principaux sont (Voir figure 1) :

- l'extraction de la matière première,
- la préparation,
- le façonnage,
- le séchage,
- la cuisson.

Les structures des usines modernes sont caractérisées par des manutentions mécanisées, un séchage en séchoirs artificiels (chambres ou tunnels), une cuisson en fours-tunnels, des manutentions sur parc et des livraisons en charges ou en packets.

Il existe maintes solutions d'implantation d'une usine de production, qui dépendent de la matière première, des matériels choisis, du tonnage et du type de produit fabriqué.

Nous allons étudier les diverses étapes de la fabrication, en insistant plus particulièrement sur l'influence qu'elles peuvent avoir sur les caractéristiques des produits cuits.

A.1.2 EXTRACTION (Alviset [10]).

La matière première extraite est acheminée à l'usine, soit par camions, soit par voie ferrée, soit, plus rarement, par transporteurs à câbles ou transporteurs à bandes.

Pour des questions de prix de revient, il ne peut être question de faire venir la matière première de trop loin, l'incidence des frais de transport devenant prohibitive. La plupart des tuileries et briqueteries travaillent avec des matières premières provenant de gisements proches de l'usine (quelques kilomètres).

Le travail de nettoyage des carrières est important et nécessite des moyens de manutention et la présence d'un chef de terre compétant.

L'extraction peut se faire à la pelle mécanique, à l'excavateur, à l'aide de défonceuses, décapeuses, etc. afin de permettre un écrasement préalable de la matière première.

A.1.3 ELEMENTS DEGRAISSANTS (Alviset [10]).

Souvent les argiles naturelles présentent une plasticité excessive, ce qui entraîne des difficultés de fabrication. Il est alors nécessaire d'ajouter des éléments dégraissants. Ils donnent aux produits une texture moins compacte, ce qui facilite l'évacuation de l'eau réduit le retrait pendant le séchage et contribue à de meilleurs dégagements gazeux pendant la cuisson.

Les éléments dégraissants les plus couramment utilisés sont :

- Le sable, de granulométrie de 0,2 à 1 millimètre, exempt de calcaire, à des doses pouvant atteindre 30% au maximum;
- La chamotte: on désigne sous ce terme de l'argile déjà cuite qui provient le plus souvent du broyage des déchets de cuisson;
- Les cendres volantes de centrales thermiques alimentées au charbon pulvérisé;
- Les laitiers granulés de hauts fourneaux;
- Les éléments combustibles tels que le mâchefer, le fraïsil, les schlamms (résidus de lavage des charbons) ou des débris végétaux divers (sciure de bois, etc.) qui, en calcinant, augmentent la porosité des matières céramiques en réduisant leur masse volumique.

Quelquefois, le calcaire existe dans les argiles sous forme de grains de granulométrie grossière (quelques millimètres). Ils se transforment en chaux vive dans les produits cuits et s'hydratent sous l'action de l'humidité atmosphérique, s'expansent et risquent de provoquer des éclatements localisés, connus sous le nom d'éclatements de chaux. Le remède est apporté à la fabrication par un broyage très poussé de la matière première et quelquefois par un trempage des produits cuits, à leur sortie du four, dans l'eau froide pendant quelques minutes.

A.1.4 PREPARATION DE LA PATE (Alviset [10]).

Le rôle de la préparation est multiple. Elle a pour but :

- d'éliminer les impuretés,
- d'émietter les argiles,
- de former les mélanges,
- d'homogénéiser et d'humidifier ces mélanges.

Quels que soient les produits fabriqués, le rôle de la préparation est important. S'il est fréquent de dire que c'est le séchage ou la cuisson qui sont responsables des produits cassés ou fêlés, c'est la préparation qui peut en être l'origine. Un dosage irrégulier du mélange risque de donner des produits de caractéristiques variables. Une mauvaise homogénéisation de la pâte peut provoquer des fissures au cours du séchage.

Une élimination insuffisante de certaines impuretés risque de favoriser des amorces de fissures ou l'apparition d'éclatements sur les produits cuits (éclatements des grains de chaux).

A.1.5 FACONNAGE (Alviset [10]).

Le façonnage a essentiellement deux rôles:

Le premier est de donner à la pâte une cohésion suffisante. La cohésion, déjà existante du fait de la préparation, est parachevée grâce à une intensification de la compression de la pâte, à l'élimination de l'air occlus dans l'argile (déaération) et à l'amélioration de la plasticité par un mouillage additionnel ou par injection de vapeur d'eau sous pression.

La déaération de la pâte au cours de son passage dans la mouleuse a pour but d'améliorer la plasticité et de donner une plus grande cohésion qui facilite le passage au travers de la filière.

On peut étirer des pâtes à des températures variant de 60 à 90°C, ce qui améliore considérablement la plasticité et facilite le séchage.

Le second rôle est de donner à l'argile la forme désirée. Cela est obtenu, pour les produits creux, par le passage du mélange argileux au travers de la filière.

Les appareils utilisés pour cela sont des étireuses. Elles sont constituées, en général de la façon suivante:

Un premier cylindre dans lequel l'argile est propulsée à l'aide d'hélices ou de pales à travers une chambre à vide où s'opère la déaération.

Un deuxième cylindre reçoit l'argile sortant de la chambre à vide; cette argile est véhiculée par une hélice vers la bouche de la mouleuse.

La filière est la pièce placée à l'extrémité de l'étireuse, à travers laquelle la pâte d'argile est poussée. Elle donne donc au produit sa forme définitive. Pour éviter des déformations et l'apparition de fissures au cours du stade ultérieur de la fabrication (le séchage), tous les filets qui sortent de la filière doivent avoir la même vitesse; Le réglage, pour qu'il en soit ainsi, s'appelle l'équilibrage, et constitue une opération délicate qui conditionne souvent la qualité des produits.

L'usure de la filière peut avoir deux conséquences:

- L'augmentation du poids du produit fini, ce qui peut être considéré comme un incident secondaire.
- Le déséquilibre éventuel de la filière, qui se traduit par des tensions internes provoquant de la casse au séchage.

A.1.5 SECHAGE (Alviset [10]).

Les produits sont façonnés avec une teneur en eau de 15 à 30 % (chiffres exprimés en % par rapport au poids sec). Il est nécessaire, avant de les soumettre à la cuisson, d'éliminer la plus grande partie de cette eau: c'est l'opération de séchage.

PROBLEMES TECHNOLOGIQUES POSES PAR L'OPERATION DE SECHAGE

Lorsqu'une composition argileuse est soumise à dissiccation, les particules élémentaires, primitivement dispersées dans l'eau, tendent à se rapprocher et à s'imbriquer; ce qui entraîne d'une part un retrait, et d'autre part une consolidation ou prise de cohésion due à cette imbrication.

On conçoit que les variations de dimensions risquent, si elles ne se produisent pas de façon homogène dans toute la pièce, de provoquer l'apparition de contraintes qui sont préjudiciables à la qualité des produits: déformations, fissures, pertes de résistance mécaniques. La vitesse limite de séchage est celle qui permet d'évacuer l'eau assez lentement pour que les faces externes ne sèchent pas trop rapidement avant que l'eau interne ne soit évacuée.

L'air qui est en contact avec les faces des produits doit donc avoir une capacité d'évaporation qui correspond à la vitesse optimale à tous les stades, ce qui nécessite un séchage en atmosphère contrôlée.

Cela oblige à ventiler correctement toutes les faces des produits et à commencer le séchage assez lentement. C'est la raison pour laquelle celui-ci débute avec un air assez humide, de façon que l'opération soit lente. Lorsque la première phase du départ d'eau est achevée (eau colloïdale qui part avec retrait), on sèche avec un air de plus en plus sec.

On peut indiquer que l'air utilisé au début du séchage est à une température de 35 à 50°C avec une humidité relative de 75 à 90%, et que l'air utilisé en fin de séchage est à une température de 70 à 130°C, avec une faible humidité relative.

Remarques:

Sans examiner l'ensemble du problème complexe du séchage, il importe de formuler plusieurs observations:

- indépendamment des caractéristiques des mélanges utilisés, le profil, les dimensions et épaisseurs des parois des produits fabriqués ont une influence sur les programmes de séchage à employer;

- les ajouts de dégraissants ont une action favorable sur l'aptitude au séchage;

- la qualité des produits cuits dépend souvent de la façon dont le séchage a été conduit.

A.1.6 CUISSON (Alviset [10]).

A la sortie du séchoir, les produits n'ont pas encore leurs véritables qualités. Il est nécessaire, pour leur permettre d'acquérir leur résistance mécanique, leur stabilité, leur résistance aux intempéries, etc., de les soumettre à la cuisson à des températures élevées (900 à 1050°C environ). Les produits de terre cuite étant des produits de très grande série, on mesure toute l'importance du facteur régularité.

COMBUSTIBLES

Les combustibles les plus employés sont le gaz naturel et le fuel.

FOURS

La plupart des briqueteries sont actuellement dotées de fours continus à feu fixe, encore appelés fours tunnels.

Dans ce type d'appareils, les produits sont empilés sur des wagonnets, qui sont ensuite poussés à l'intérieur du tunnel où ils avancent progressivement. La durée totale du passage, donc la durée de la cuisson varie de 18 à 48 heures, selon le type de produit et les difficultés plus ou moins grandes que les matières premières présentent à la cuisson.

Quelques usines ont installé récemment, à l'extraction des fumées dégagées au niveau du four, des échangeurs de chaleur. En effet, les pertes à la cheminée peuvent être utilisées:

- a) directement pour le séchoir, en cas de combustion au gaz, si l'argile ne contient pas de substances corrosives;
- b) indirectement au moyen d'échangeurs de chaleur pour tout type d'argile et de combustible. Dans ce cas, la chaleur récupérée peut atteindre 50% environ.

Les fours tunnels sont équipés de régulations automatiques, qui assurent une cuisson régulière, ainsi que d'une automatisation des mouvements des wagons (entrée et sortie).

ANNEXE 2

DESCRIPTION DES INSTALLATIONS
DE LA CHAÎNE

A.2.1 EQUIPEMENT MECANIQUE

A.2.1.1 INSTALLATION DE PREPARATION DES TERRES

- Doseur linéaire :

C'est un distributeur surmonté d'une trémie où l'on déverse la terre. Il permet une alimentation régulière du train de préparation des terres.

- Brise mottes :

Il permet de travailler les argiles avant le laminage en les réduisant à une épaisseur de 3 à 5 centimètres. Il est équipé d'anneaux dentés (couteaux) résistant à l'usure. De plus, des racleurs assurent le nettoyage de l'équipement.

- Laminoir :

Il permet d'éliminer toute trace de déchets de fabrication et de grains de chaux par passage de l'argile entre deux cylindres à écartement réduit.

- Chaîne de chamottage :

cf. améliorations et constructions en cours (2.1.7)

A.2.1.2 GROUPE DE FABRICATION

- Mouilleur mélangeur à filtres :

Il permet de garantir un mélange compact et homogène. En plus, il peut épurer l'argile des racines et de corps étrangers au moyen de deux séries de grilles filtrantes qui passent de la position de travail à celle de nettoyage sans arrêt de la production.

- Etireuse :

Elle permet un dégazage de la pâte (de telle sorte à ce que le produit ne soit pas constitué de plusieurs feuilles qui se décollent) et donne au produit sa forme définitive. (La description a été faite en annexe 1: façonnage).

- Coupeurs :

Ceux-ci permettent de donner à la brique sa forme définitive.

A.2.1.3 INSTALLATION DE CHARGEMENT ET DECHARGEMENT DES BRIQUES

- Chargeur automatique des briques vertes :

Il permet de charger, sur une étagère du casier placé sur un élévateur, les briques vertes venant du coupeur.

- Casiers :

Ceux-ci devraient venir du séchoir chargés de briques sèches qui devraient être poussées, lors du chargement des briques vertes, vers le tapis allant au four.

- Elévateur :

Permet d'élever le casier pour charger les différentes étagères.

A.2.2 EQUIPEMENT THERMIQUE

A.2.2.1 SECHOIR

L'unité possède 7 chambres de séchage. Chacune peut contenir 12 casiers ayant une capacité de 600 briques chacun. Celle-ci a été abaissée à 450 depuis que la manutention est manuelle, soit au total 5400 briques par chambre, environ 32.4 tonnes de produits secs. La production journalière est de 3.5 chambres (18900 briques).

Un ventilateur mobile assure la répartition de l'air chaud qui provient d'un générateur de chaleur.

La description d'une chambre de séchage est faite dans la figure A.5.1

A.2.2.2 FOUR

L'unité est dotée d'un four continu à feu fixe.

Sa capacité est de 31 wagons. La durée totale de cuisson est de 44 heures et la production actuelle est de 17 wagons par jour.

Le four est constitué de 3 zones :

- zone de préchauffage: jusqu'à 750 °C . Evacuation de l'eau résiduelle et décomposition des différents composants de l'argile.
- zone de cuisson: 900 à 1100 °C . La brique acquiert toutes ses qualités mécaniques définitives.
- zone de refroidissement: la température y baisse progressivement à partir de 650 °C.

La description du four est faite à partir de la figure A.5.2

ANNEXE 3

ENTRETIEN DES EQUIPEMENTS

Tous les équipements productifs nécessitent un entretien régulier et permanent.

DOSEUR : Réglage des piocheurs et des racleurs tous les mois.

BRISE MOTTES : Réglage des doigts de nettoyage des disques tous les mois.

DEGROSSISSEUR ET LAMINOIR : Réglage des racloirs au moins tous les mois.

MOUILLEUR MALAXEUR ET ETIREUSE : Procéder au remplacement des pales de malaxage et des hélices une fois par an au minimum.

COURROIES : Vérification des courroies toutes les semaines.

NETTOYAGE DES MACHINES : Deux fois par mois.

GRAISSAGE ET LUBRIFICATION : Suivant la notice du constructeur (tous les jours). Une vérification des systèmes de lubrification des organes internes de la machine doit se faire une fois par trimestre.

NETTOYAGE DES GRILLES : Toutes les semaines.

FILIERE : La sortie de la brique doit être contrôlée tous les jours. Si un déséquilibre est constaté, elle doit être démontée et remplacée par une autre en attendant son équilibrage.

ELECTRICITE : Révision et nettoyage tous les mois.

VEHICULES ET ENGINS : Chaque véhicule ou engin a son chauffeur désigné (éviter les remplaceants) qui en est responsable.

CHARIOT ELEVATEUR : Entretien général tous les mois.

CAMIONS ET VEHICULES LEGERS : Entretien général tous les mois.

Pour l'entretien de tous ces équipements de production il est nécessaire de tenir à jour:

- Les fiches techniques,
- Les fiches historiques,
- Un calendrier de révision,
- Les fiches de pièces de rechange disponibles,
- Les feuilles d'intervention avec la désignation du personnel chargé de l'intervention.

ANNEXE 4

COMPLEMENTS SUR LA PROGRAMMATION EN NOMBRES ENTIERS

A.4.1 IMPORTANCE DE LA PROGRAMMATION EN NOMBRES ENTIERS

Les problèmes de programmation linéaire rendus plus complexes par une contrainte qui astreint toutes les variables ou certaines d'entre elles d'être entières (programmation en nombre entier) présentent un grand intérêt pratique. D'une part, les conditions d'intégralité sont caractéristiques de nombreux problèmes applicables aux domaines divers. D'autre part, c'est en termes de programmation en nombres entiers que se formule une série de problèmes relatifs à la planification et la prise de décision dans l'industrie (Golstein-Youdine [3]).

A.4.2 REMARQUE AU SUJET DES PROBLEMES A VALEURS ENTIERES RESOLUS PAR LA PROGRAMMATION LINEAIRE.

Il est possible de trouver, dans certain cas, une solution aux problèmes à valeurs entières à partir de la (ou des) solution du programme linéaire correspondant. C'est une approche évidente. Si l'on supprime la condition qui impose des valeurs entières, c'est à dire si l'on considère le programme avec les variables non négatives, on obtient une solution optimale réelle. On arrondit cette solution (aux valeurs entières immédiatement inférieurs pour une maximisation ou immédiatement supérieurs pour une minimisation) pour obtenir la solution au problème en nombres entiers.

La solution optimale d'un PLNE peut être différente de la solution optimale du même programme relaxé de la contrainte d'intégralité qui est le plus souvent sous-optimale ou même inadmissible. En général, si les valeurs trouvées pour les variables sont "assez" grandes, on ne commettra pas une erreur importante en utilisant la programmation linéaire et en arrondissant aux valeurs entières, à condition bien entendu, que cela donne une solution possible (tout dépend également de ce que représente la variable de décision). Notons qu'arrondir n'est pas concevable dans un cas de choix de projets (variables booléennes) (Wu-Copping [5], Note de cours [6]).

Ainsi, les programmes à valeurs entières sont surtout difficiles à résoudre lorsque les valeurs optimales des variables sont petites. En d'autres mots, lorsqu'il s'agit de valeurs assez proches des premiers nombres entiers (Kaufmann-Labordère [2]).

A.4.3 METHODE DE RESOLUTION DES PROGRAMMES A VALEURS ENTIERES PAR ENUMERATION

Dans un PLNE les solutions sont en général, non seulement dénombrables mais finies. On peut donc envisager d'énumérer, c'est à dire de considérer toutes les solutions et pour chacune, évaluer si elle appartient au domaine défini par les contraintes et dans l'affirmative, calculer la valeur correspondante de la fonction économique. Après avoir énuméré toutes les solutions, on garderait, parmi celles qui satisfont à toutes les contraintes, la (ou les) solution qui optimise la fonction économique (Kaufmann-Labordère [2]).

Mais il faut savoir que les problèmes combinatoires présentant un intérêt pratique ont généralement un nombre de variantes possibles si grand que leur résolution par une révision direct de toutes les variantes comporte d'insurmontables difficultés (Goldstein-Youdine [3]).

Cependant, des connaissances partielles et à priori concernant la (ou les) solution optimale permettent d'éviter d'énumérer explicitement toutes les solutions. L'énumération ne sera plus totale mais seulement "implicite" (Kaufmann-Labordère [2]).

A.4.3.1 METHODES DES COUPES

Principe

Partant de la résolution du problème (P) dépourvu de la contrainte d'intégralité dans (3), il s'agit de générer une contrainte linéaire qui réduirait l'espace continu des solutions sans jamais éliminer de solution entières. Cette contrainte serait vérifiée par tout programme entier, mais pas par la solution de base trouvée du problème linéaire. Géométriquement, ceci correspond à la construction d'un hyperplan délimitant strictement le sommet fixe de l'ensemble convexe des solutions admissibles et les points de cet ensemble dont les composantes respectives sont des entiers. Le système de contraintes linéaires du problème est complété par la nouvelle condition. Suite à quoi nous cherchons la solution du problème linéaire ainsi obtenu. Si celle-ci vérifie les restrictions d'intégralité, elle constitue la solution recherchée du problème en nombres entiers. Dans le cas contraire, on construit une nouvelle contrainte linéaire (coupe) qui retranche la solution obtenue sans toucher aux programmes entiers, et l'on reprend toute la procédure.

Ainsi, les méthodes de coupes consistent à ajouter pas à pas de nouvelles contraintes jusqu'à ce que l'on ait trouvé un point extrêmes entier (Kaufmann-Labordère [2]).

Difficulté d'utilisation

La convergence de ces méthodes est en général très lente. Il semble qu'elles n'aient pu atteindre, en ce qui concerne les performances des calculs sur ordinateur, les résultats obtenus par des méthodes de recherche directe pour lesquels des programmes commerciaux, maintenant répandus, existent. Cependant, en utilisant la notion de coupes comme critère d'exclusion dans des méthodes de recherche directe, on obtient des variantes très intéressantes (Kaufmann-Labordère [2]).

A.4.3.2 METHODES ARBORESCENTES [2],[4],[6]

Principe

Contrairement aux méthodes procédant par énumération de toutes les solutions possibles, les méthodes arborescentes partent de l'idée d'énumérer implicitement un sous-ensemble de solutions. La méthode qui a connu les plus larges applications et qui reste à ce jour la plus efficace pour la résolution de problèmes de grandes dimensions est celle du "Branch and Bound". Celle-ci opère par divisions séquentielles de l'ensemble des solutions possibles en plusieurs sous-ensembles : on génère des contraintes supplémentaires sur une des variables trouvée non entière dans la solution optimale du problème relaxé de la contrainte d'intégralité.

L'idée du "Branch and Bound" vient de la constatation suivante. Supposons la contrainte d'intégralité ignorée dans (3) et admettons qu'une solution optimale linéaire du problème ainsi défini donne $X_1 = 1\frac{1}{4}$. Nous serons appelés à générer deux sous-problèmes linéaires qui contiennent en plus des contraintes de (P), une contrainte (5) $M_1 \leq X_1 \leq 1$ pour l'un et $2 \leq X_1 \leq M_1$ pour l'autre. Nous sommes passés d'un domaine qui contient toutes les solutions entières du problème initial à deux sous-ensembles dont l'union contient également toutes les solutions entières du problème initial. Supposons ensuite que la solution optimale de chacun des deux problèmes satisfasse la contrainte d'intégralité. La solution optimale du problème en nombre entier initial sera celle des deux qui permet la plus grande (petite) valeur de la fonction objective pour un problème de max (de min). Généralement, ces deux problèmes n'ont pas de solution optimale entière ce qui nécessite d'autres divisions. Les sous-problèmes créés seront étudiés de la même manière pour aboutir à une solution optimale entière ou à un rejet.

Un sous problème peut-être rejeté pour une des raisons suivantes:

- La solution optimale est inférieure (supérieure) à la meilleure solution entière trouvée dans un problème de max (min),
- le domaine défini ne contient pas de solution réalisable.

La solution optimale du problème initiale ne sera connue qu'après exploration de tous les sous-ensembles définis.

Deux étapes importantes caractérisent la méthode du "Branch and Bound". La sélection de la "variable de branchement" (Branching), ainsi que la sélection du sous problème à explorer (Bounding). Les critères utilisés pour le "Branching" ou le "Bounding" sont purement heuristiques bien que la procédure employée soit un algorithme d'optimisation.

Pour le "Branching", X_j sera choisie avec la plus grande fraction (partie décimale), ou avec le coefficient le plus large dans la fonction objective (pour un max), ou sur la base du coefficient d'optimalité, ou bien aléatoirement.

Pour le "Bounding" on explorera le sous problème donnant la meilleure valeur de la fonction objective (la plus grande pour un max) "Best Bound", ou le dernier sous problème généré.

La méthode du "Branch and Bound" assure la convergence par séparation et évaluation progressive vers la solution optimale sans exploser toutes les solutions.

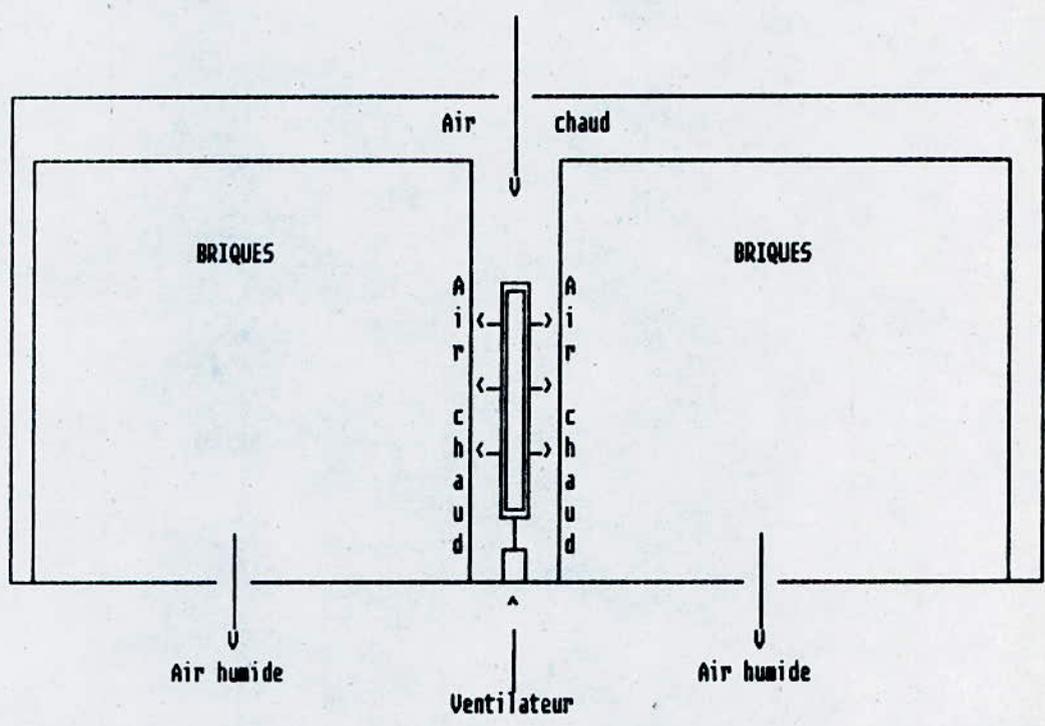
Difficulté d'utilisation

Pour atteindre l'optimum, il faut effectuer souvent un nombre considérable de branchements et de séparations.

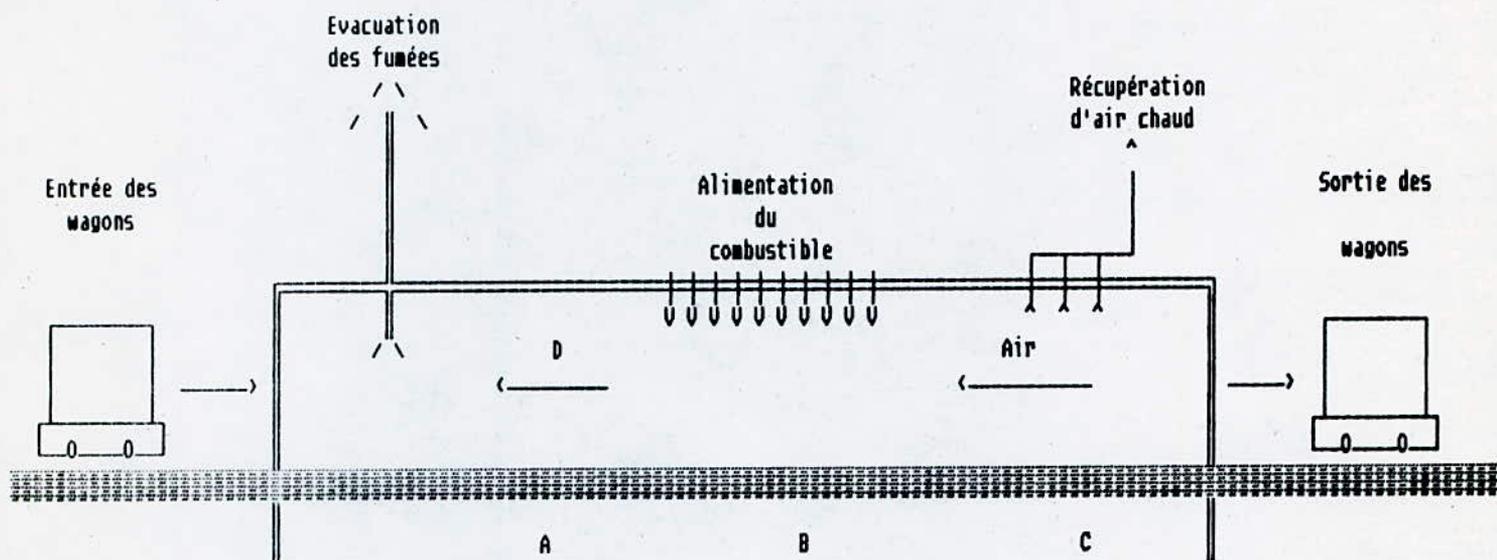
ANNEXE 5

FIGURES

A.5.1 CHAMBRE DE SECHAGE



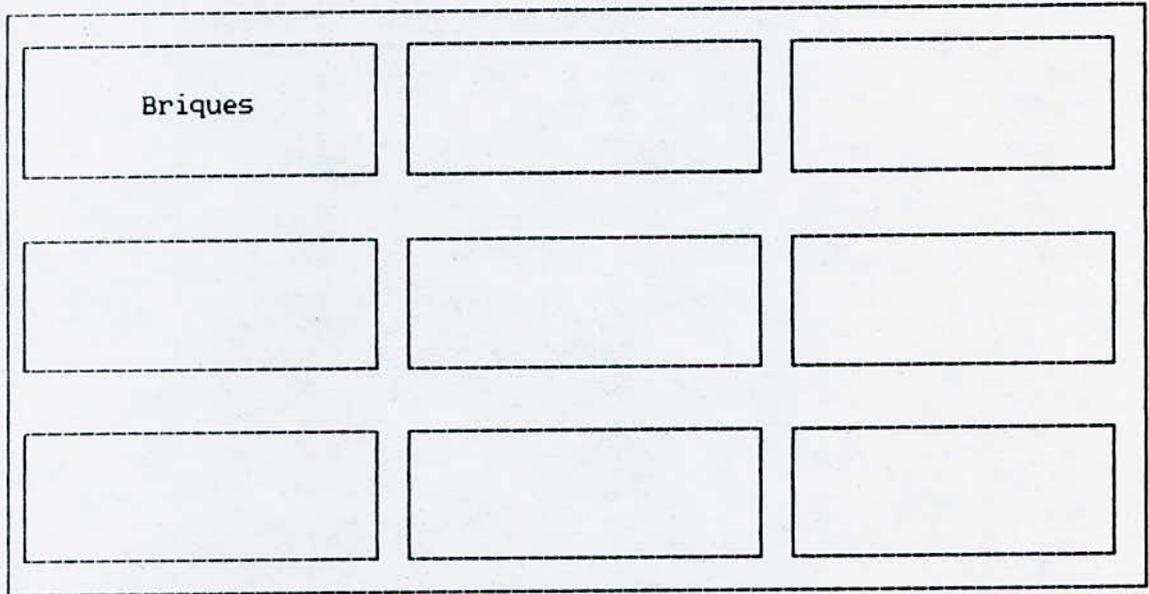
A.5.2 FOUR TUNNEL



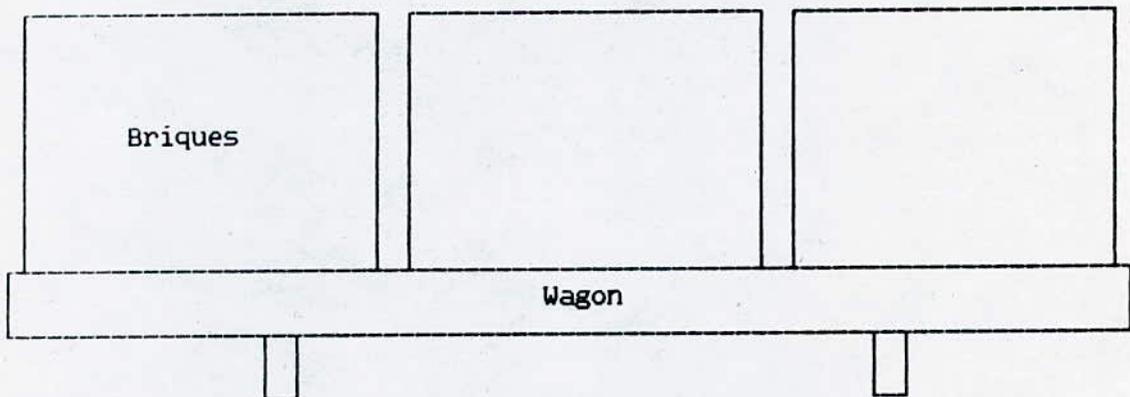
- A Zone de préchauffage
- B Zone de cuisson
- C Zone de refroidissement
- D Brassage

A.5.3 DISPOSITION DES BRIQUES SUR LES WAGONS ALLANT AU FOUR

VUE DE DESSUS



VUE DE FACE



ANNEXE 6

A.6.1 EFFECTIF NECESSAIRE

FONCTION	EFFECTIF
Hygiène et sécurité	6
Personnel et Oeuvres Sociales	6
Comptabilité	5
Fabrication BRIQUES	22
Fabrication TUILES	25
Béchage et Cuisson	12
Approvisionnements et moyens généraux	20
Maintenance	10
Chargement et expédition	15

A.6.2 EFFECTIF EMPLOYE

FONCTION	EFFECTIF
PRODUCTION	
Fabrication	57
Séchage	9
Empilage	35
Cuisson	6
Chargement	16
Production	2
NON PRODUCTION	
Administration	15
Social	14
Hygiène et sécurité	8
Gardiennage	4
SOUTIEN	
Entretien bâtiment	13
Maintenance	16
Parc auto	23

L'effectif concernant la fabrication comprend celui de la chaîne principale et de la chaîne annexe.

A.6.3 ACCIDENTS 1985

Siège des lésions	Causes	Nbr
Main	Nettoyage d'un tapis et de la roue du doseur. (Plaie au majeur gauche).	1
	Menuiserie. (Fracture de 4 doigts/blessure de 2 doigts.)	2
	Chute d'une barre métallique au tournage. (blessure à l'index gauche).	1
	Réparation d'un rouleau de translation des briques. (Plaie à la main gauche).	1
Tête	Chute de brique lors de la manutention. (Plaie au cuir chevelu).	2
Pied	Pied coincé lors du déplacement automatique d'un wagon. (Entorse a la cheville droite).	1
	Chute de la porte d'un camion. (plaie ouverte au pied droit).	1
	Nettoyage, lavage d'un clark. (Entorse au genoux droit).	1
	Chute de brique lors de la manutention. (blessure au pied droit).	1

Le nombre de jours d'arrêt ne figurait pas sur les documents fournis.

A.6.4 ACCIDENTS 1986

Siège des lésions	Cause	Nbr	Nbr total de jours d'arrêt
Main	Réparation du chargeur. (Plaie à la main droite).	1	15
	Réparation à l'aide d'un marteau. (Traumatisme à la main gauche).	1	5
	Réparation de la translation des wagons. (traumatisme à l'annulaire droit).	1	29
	Main coincé dans le tapis (manutention). (Plaie au majeur droit).	1	27
Tête	Courant électrique. (Plaie du cuir chevelu).	1	3
	Chute. (Plaie + chute de dents).	1	10
	Soudage. (Brulure au visage).	1	3
Pied	Démontage d'une chaîne. (traumatisme du pied droit).	1	3
	Chute. (fracture du pied droit/plaie au pied gauche).	2	3 + 53
	Manutention manuelle. (Plaie au pied gauche).	1	5
Autres	Chute de la mouleuse. (Fracture de deux côtes flottantes).	1	72

A.6.5 ACCIDENTS 1987

Siège des lésions	Cause	Nbr	Nbre totale de jours d'arrêt
Main	Glissade. (Fracture du pouce droit).	1	--
	Chute. (Fracture de l'index gauche).	1	7
	Manutention manuelle. (Plaie à l'annulaire gauche).	1	15
	Déchargement des briques. (Plaie à la main droite).	1	15
	Main coincée entre deux wagons. (Plaie profonde à la main droite). (Plaie profonde à la main gauche).	2	42 + 4
Tête	Empilage des briques. (Plaie à l'arcade sourcilière).	1	1
	Soudage au chalumeau. (Ulcération artificielle de la cornée).	1	15
Pied	Glissade. (Traumatisme du pied).	1	--
	Chute. (Luxation de la cheville gauche). (Fracture de l'index droit).	2	34+28
	Pied accroché dans une machine. (Scalpage du pied droit).	1	181
Autres	Nettoyage d'un wagon. (Luxation).	1	2
	Chute (Traumatisme des structures du dos). (Traumatisme à l'épaule gauche).	2	7 + 51

ANNEXE 7 LISTING DU PROGRAMME

```

10 KEY OFF
20 CLS:GOSUB 1820
30 REM * Introduction des données (40-220) *
40 CLS:LOCATE 10,25:INPUT "NOMBRE D'ELEMENTS A TRAITER";N
50 M=N^2:DIM C(N),P(N),A(N),R(N),S(N),S1(N),S2(N),S3(N)
60 DIM T(N),T1(N),T2(N),T3(N),TA(N),TA1(N),TA2(N),TA3(N)
70 DIM TB(N),TB1(N),TB2(N),TB3(N),U2(M),U3(M)
80 REM * Accès au fichier de données (90-150) *
90 CLS
100 J=0
110 OPEN"I",#1,"D29"
120 WHILE NOT EOF(1)
130 J=J+1:INPUT #1,C(J),P(J)
140 WEND
150 CLOSE #1
160 REM * Création du numéro d'ordre et calcul du profit par unité investie *
170 REM * (180-220) *
180 CLS
190 FOR I=1 TO N
200 R(I)=I
210 A(I)=P(I)/C(I)
220 NEXT I
230 REM * Classement par ordre décroissant du rapport "PROFIT/COÛT" (240-330)*
240 F=0
250 FOR I=1 TO N-1
260 IF A(I)>A(I+1) THEN 320
270 T=A(I):A(I)=A(I+1):A(I+1)=T
280 T=C(I):C(I)=C(I+1):C(I+1)=T
290 T=P(I):P(I)=P(I+1):P(I+1)=T
300 T=R(I):R(I)=R(I+1):R(I+1)=T
310 F=1
320 NEXT I
330 IF F=1 THEN 240
340 CLS
350 REM * Impression du classement établi ci-dessus (360-460) *
360 CLS
370 PRINT "CLASSEMENT SUIVANT LES VALEURS DECROISSANTES DU RAPPORT PROFIT/COÛT"
380 PRINT "RANG","PROFIT/COÛT","COÛT","PROFIT"
390 K1=1
400 FOR I=1 TO N
410 PRINT R(I),A(I),C(I),P(I)
420 IF I=20*K1 THEN 440
430 GOTO 460
440 INPUT "Taper sur retour pour continuer ";AAAA
450 K1=K1+1
460 NEXT I
470 REM * Introduction du budget total disponible (480-530) *
480 CLS
490 FOR I=1 TO N:CO=CO+C(I):NEXT I
500 RANDOMIZE TIMER:A=.5+.25*RND
510 B=CO*A
520 LOCATE 10,20:PRINT "VOTRE BUDGET EST DE ";B
530 LOCATE 22,10:INPUT "Taper sur retour pour continuer";FZFF
540 C=0:K=0:KK=0
550 REM * Détermination du programme sans raffinage (560-640) *
560 FOR I=1 TO N
570 IF P(I)=0 THEN 630

```

```

580 IF C(I)=<B-C THEN 600
590 GOTO 630
600 K=K+1:C=C+C(I)
610 S(K)=R(I):S1(K)=A(I):S2(K)=C(I):S3(K)=P(I)
620 GOTO 640
630 KK=KK+1:T(KK)=R(I):T1(KK)=A(I):T2(KK)=C(I):T3(KK)=P(I)
640 NEXT I
650 REM * Impression du programme sans raffinage (660-870) *
660 IF B-C=0 THEN 700
670 CLS:PRINT "VOUS AVEZ UTILISE";C/B*100;"% DE VOTRE BUDGET"
680 PRINT "IL VOUS RESTE EXACTEMENT";B-C;"DA NON UTILISE"
690 GOTO 720
700 CLS:PRINT "VOUS AVEZ UTILISE LA TOTALITE DU BUDGET (100 %)"
710 REM * Calcul de la somme des profits (720-750) *
720 MAX1=0
730 FOR I=1 TO K
740 MAX1=MAX1+S3(I)
750 NEXT I
760 PRINT "VOUS AVEZ OBTENU UNE SOMME DE PROFITS DE";MAX1
770 PRINT "SOLUTION OBTENUE"
780 PRINT "RANG", "PROFIT/COUT", "COUT", "PROFIT"
790 K1=11
800 FOR I=1 TO K
810 PRINT S(I),S1(I),S2(I),S3(I)
820 IF I=16*K11 THEN 840
830 GOTO 860
840 INPUT "TAPER SUR RETOUR POUR CONTINUER";AAA
850 K11=K11+1
860 NEXT I
870 INPUT "TAPER SUR RETOUR POUR CONTINUER";AAA
880 REM * affichage des solutions non considérées par le programme *
890 REM * (900-990) *
900 CLS
910 PRINT "RUBRIQUES NON PRISES"
920 PRINT "RANG", "PROFIT/COUT", "COUT", "PROFIT"
930 K11=1
940 FOR I=1 TO KK
950 PRINT T(I),T1(I),T2(I),T3(I)
960 IF I=16*K11 THEN 980
970 GOTO 990
980 INPUT "TAPER SUR RETOUR POUR CONTINUER";AAA:K11=K11+1
990 NEXT I
1000 INPUT "TAPER SUR RETOUR POUR CONTINUER";AAA
1010 REM * Enregistrement du programme actuel comme étant le meilleur trouvé *
1020 REM * (1030-1050) *
1030 FOR I=1 TO K
1040 TA(I)=S(I):TA1(I)=S1(I):TA2(I)=S2(I):TA3(I)=S3(I)
1050 NEXT I
1060 MAX11=MAX1
1070 REM * Raffinage à une rubrique (1080-1790) *
1080 FOR T=K TO 1 STEP -1
1090 REM * Calcul du nouveau budget (1100) *
1100 B1=B-C+S2(T)
1110 MAX=0:K2=0
1120 REM * recherche d'une rubrique potentiellement entrante (1130-1190) *
1130 FOR I=1 TO KK
1140 IF T3(I)>S3(T) AND T2(I)=<B1 THEN 1160
1150 GOTO 1190
1160 IF T3(I)>MAX THEN 1180

```

```

1170 GOTO 1190
1180 K2=I:MAX=T3(K2)
1190 NEXT I
1200 REM * Calcul du coût total du nouveau programme (1210-1240) *
1210 IF K2><0 THEN 1240
1220 C1=C
1230 GOTO 1450
1240 C2=C-S2(T)+T2(K2)
1250 REM * Calcul de la somme des profits obtenue après changement (1260-1320)*
1260 MAX10=0
1270 FOR I=1 TO K
1280 IF I=T AND K2><0 THEN 1310
1290 MAX10=MAX10+S3(I)
1300 GOTO 1320
1310 MAX10=MAX10+T3(K2)
1320 NEXT I
1330 REM * Conservation du changement donnant la plus grande somme de profits *
1340 REM * (1350-1370) *
1350 IF MAX10>MAX11 THEN 1370
1360 GOTO 1450
1370 TND=1:MAX11=MAX10:BEEP
1380 REM * Stockage de la solution ayant donné le plus de profit (1390-1440) *
1390 FOR I=1 TO K
1400 IF I=T AND K2><0 THEN 1430
1410 TA(I)=S(I):TA1(I)=S1(I):TA2(I)=S2(I):TA3(I)=S3(I)
1420 GOTO 1440
1430 TA(I)=T(K2):TA1(I)=T1(K2):TA2(I)=T2(K2):TA3(I)=T3(K2)
1440 NEXT I
1450 NEXT T
1460 REM * Affichage du programme après raffinage à une rubrique (1470-1790) *
1470 IF TND=1 THEN 1610
1480 REM * Cas où il n'y a pas de raffinage à une rubrique (1490-1580) *
1490 CLS:PRINT "IL N'Y A PAS DE RAFFINAGE A UNE RUBRIQUE QUI SOIT POSSIBLE"
1500 PRINT "LA SOLUTION RESTE CE QU'ELLE ETAIT"
1510 PRINT "RANG","PROFIT/COUT","COUT","PROFIT"
1520 K11=1
1530 FOR I=1 TO K
1540 PRINT S(I),S1(I),S2(I),S3(I)
1550 IF I=16*K11 THEN 1570
1560 GOTO 1580
1570 K11=K11+1:INPUT "TAPER SUR RETOUR POUR CONTINUER";AAA
1580 NEXT I
1590 GOTO 1800
1600 REM * Impression du programme solution (1610-1720) *
1610 CLS:PRINT "SOLUTION OBTENUE APRES RAFFINAGE A UNE REFERENCE"
1620 PRINT "RANG","PROFIT/COUT","COUT","PROFIT"
1630 K11=1
1640 FOR I=1 TO K
1650 PRINT TA(I),TA1(I),TA2(I),TA3(I)
1660 IF I=16*K11 THEN 1680
1670 GOTO 1700
1680 INPUT "TAPER SUR RETOUR POUR CONTINUER";AAA
1690 K11=K11+1
1700 NEXT I
1710 PRINT "VOUS AVEZ UTILISE";C2/B*100;"% DU BUDGET"
1720 PRINT "IL VOUS RESTE EXACTEMENT";B-C2;"DA NON UTILISES"
1730 REM * Calcul et impression de la nouvelle somme des profits (1740-1790) *
1740 MAX2=0
1750 FOR I=1 TO K

```

```

1760 MAX2=MAX2+TA3(I)
1770 NEXT I
1780 PRINT "VOUS AVEZ OBTENU 1 SOMME DE PROFITS DE";MAX2
1790 PRINT "VOUS AVEZ GAGNE";MAX2-MAX1;"PAR RAPPORT A LA SOLUTION PRECEDENTE"
1800 GOTO 1980
1810 I=0
1820 OPEN"I",#1,"MESSAGE"
1830 WHILE NOT EOF(1)
1840 I=I+1:LINE INPUT #1,L$:PRINT L$
1850 WEND
1860 CLOSE #1
1870 PRINT:INPUT "Taper sur retour pour continuer";A$
1880 CLS
1890 OPEN"I",#1,"MESSAGE1"
1900 WHILE NOT EOF(1)
1910 I=0
1920 I=I+1:LINE INPUT #1,L$:PRINT L$
1930 WEND
1940 CLOSE #1
1950 FOR I=1 TO 10:PRINT:NEXT:INPUT "Taper sur retour";A$
1960 RETURN
1970 INPUT "TAPER SUR RETOUR POUR CONTINUER";AAA
1980 INPUT "TAPER SUR RETOUR POUR CONTINUER";AAA:CLS
1990 REM * Raffinage à deux rubriques (2000-2900) *
2000 REM
2010 REM * Enregistrement du programme actuel comme étant le meilleur trouvé *
2020 REM * (2030-2050) *
2030 FOR I=1 TO K
2040 TB(I)=S(I):TB1(I)=S1(I):TB2(I)=S2(I):TB3(I)=S3(I)
2050 NEXT I
2060 FOR T=K TO 1 STEP -1
2070 REM * Calcul du nouveau budget (2080) *
2080 B1=B-C+S2(T)
2090 MAX=0:K21=0:K22=0:K23=0
2100 REM * Recherche d'une combinaison de rubriques potentiellement entrante *
2110 REM * (2120-2250) *
2120 KA=0
2130 FOR I=1 TO KK
2140 FOR J=1 TO KK
2150 KA=KA+1
2160 IF I=J THEN 2240
2170 U3(KA)=T3(I)+T3(J)
2180 U2(KA)=T2(I)+T2(J)
2190 IF U3(KA)>S3(T) AND U2(KA)=<B1 THEN 2210
2200 GOTO 2240
2210 IF U3(KA)>MAX THEN 2230
2220 GOTO 2240
2230 K21=I:K22=J:K23=KA:MAX=U3(K23)
2240 NEXT J
2250 NEXT I
2260 REM * Calcul du coût total du nouveau programme (2270-2300) *
2270 IF K23><0 THEN 2300
2280 C1=C
2290 GOTO 2310
2300 C2=C-S2(T)+T2(K21)+T2(K22)
2310 REM * Calcul de la somme des profits obtenue après changement (2310-2380)*
2320 MAX10=0
2330 FOR I=1 TO K
2340 IF I=T AND K23><0 THEN 2370

```

```

2350 MAX10=MAX10+S3(I)
2360 GOTO 2380
2370 MAX10=MAX10+T3(K21)+T3(K22)
2380 NEXT I
2390 REM * Conservation du changement donnant la plus grande somme de profits *
2400 REM * (2410-2440) *
2410 MAX12=MAX1
2420 IF MAX10>MAX12 THEN 2440
2430 GOTO 2560
2440 TDD=1:MAX12=MAX10:BEEP:BEEP
2450 REM * Stockage de la solution ayant donné le plus de profit (2460-2530) *
2460 L=0
2470 FOR I=1 TO K
2480 IF I=T AND K23><0 THEN 2510
2490 L=L+1:TB(L)=S(I):TB1(L)=S1(I):TB2(L)=S2(I):TB3(L)=S3(I)
2500 GOTO 2530
2510 L=L+1:TB(L)=T(K21):TB1(L)=T1(K21):TB2(L)=T2(K21):TB3(L)=T3(K21)
2520 L=L+1:TB(L)=T(K22):TB1(L)=T1(K22):TB2(L)=T2(K22):TB3(L)=T3(K22)
2530 NEXT I
2540 :BEEP:BEEP:BEEP:BEEP:NEXT T
2550 REM * Affichage du programme après raffinage à deux rubriques (2570-2900)*
2570 IF TDD=1 THEN 2710
2580 REM * Cas où il n'y a pas de raffinage à deux rubriques (2590-2680) *
2590 CLS:PRINT "IL N'Y A PAS DE RAFFINAGE A DEUX RUBRIQUES QUI SOIT POSSIBLE"
2600 PRINT "LA SOLUTION RESTE CE QU'ELLE ETAIT"
2610 PRINT "RANG","PROFIT/COUT","COUT","PROFIT"
2620 K11=1
2630 FOR I=1 TO K
2640 PRINT S(I),S1(I),S2(I),S3(I)
2650 IF I=16*K11 THEN 2670
2660 GOTO 2680
2670 K11=K11+1:INPUT "Taper sur retour pour continuer";AAA
2680 NEXT I
2690 INPUT "Taper sur retour";AAA
2700 GOTO 2920
2710 REM * Impression du programme solution (2720-2830) *
2720 CLS:PRINT "SOLUTION OBTENUE APRES RAFFINAGE A DEUX REFERENCES"
2730 PRINT "RANG","PROFIT/COUT","COUT","PROFIT"
2740 K11=1
2750 FOR I=1 TO L
2760 PRINT TB(I),TB1(I),TB2(I),TB3(I)
2770 IF I=16*K11 THEN 2790
2780 GOTO 2810
2790 INPUT "Taper sur retour pour continuer";AAA
2800 K11=K11+1
2810 NEXT I
2820 PRINT "VOUS AVEZ UTILISE";C2/B*100;"% DU BUDGET"
2830 PRINT "IL VOUS RESTE EXACTEMENT";B-C2;"DA NON UTILISES"
2840 REM * Calcul et impression de la nouvelle somme des profits (2850-2900) *
2850 MAX2=0
2860 FOR I=1 TO L
2870 MAX2=MAX2+TB3(I)
2880 NEXT I
2890 PRINT "VOUS EVEZ OBTENU UNE SOMME DE PROFITS DE";MAX2
2900 PRINT"VOUS AVEZ GAGNE";MAX2-MAX1;"PAR RAPPORT A LA SOLUTION SANS RAFFINAGE"
2910 INPUT "Taper sur retour";AAA
2920 REM * Solution finale (2930-3150) *
2930 IF TND=1 OR TDD=1 THEN 2950
2940 GOTO 3160

```

```

2950 IF MAX2>MAX11 THEN 3070
2960 CLS:PRINT "SOLUTION FINALE = SOLUTION APRES RAFFINAGE A UNE RUBRIQUE"
2970 PRINT "RANG","PROFIT/COU","COU","PROFIT"
2980 K11=1
2990 FOR I=1 TO K
3000 PRINT TA(I),TA1(I),TA2(I),TA3(I)
3010 IF I=16*K11 THEN 3030
3020 GOTO 3050
3030 INPUT "TAPER SUR RETOUR POUR CONTINUER";AAA
3040 K11=K11+1
3050 NEXT I
3060 GOTO 3160
3070 CLS:PRINT "SOLUTION FINALE = SOLUTION APRES RAFFINAGE A DEUX RUBRIQUES"
3080 PRINT "RANG","PROFIT/COU","COU","PROFIT"
3090 K11=1
3100 FOR I=1 TO L
3110 PRINT TB(I),TB1(I),TB2(I),TB3(I)
3120 IF I=16*K11 THEN 3140
3130 GOTO 3150
3140 K11=K11+1:INPUT "Taper sur retour pour continuer";AAA
3150 NEXT I
3160 END

```

NOTE:

La version précédente concerne le programme utilisé pour effectuer nos tests. La version permettant l'application au cas réel porterait la modification suivante:

```

470 REM * Introduction du budget total disponible (480-530) *
480 CLS
490 LOCATE 10,20
500 INPUT "Intoduire votre budget";B
510 LOCATE 20,20
520 INPUT "EST-CE LA VALEUR A INTRODUIRE";A$
530 IF A$="N" THEN 480

```

VARIABLES UTILISEES

N : Compte le nombre de rubriques à traiter.

R(I), A(I), C(I), P(I) : Numéro d'ordre, profit/coût, coût et profit des rubriques avant et après classements par ordre décroissant du profit par unité investie.

S(I), S1(I), S2(I), S3(I) : Numéro d'ordre, profit/coût, coût et profit des rubriques formant le "programme solution" sans raffinage.

T(I), T1(I), T2(I), T3(I) : Numéro d'ordre, profit/coût, coût et profit des rubriques non considérées par le programme précédent.

TA(I),TA1(I),TA2(I),TA3(I) : Numéro d'ordre, profit/coût, coût et profit des rubriques formant le "programme solution" après raffinage à une référence.

TB(I),TB1(I),TB2(I),TB3(I) : Numéro d'ordre, profit/coût, coût et profit des rubriques formant le "programme solution" après raffinage à deux références.

F : Indique s'il y a eu modification dans l'ordre des des rubriques (F=1), donc la nécessité ou pas d'opérer un nouveau parcours de la série.

K1 : Permet d'arreter l'affichage chaque fois que 20 rubriques sont sur l'écran.

CO : Coût total des rubriques.

MAAX : Coût maximal enregistré.

B : Budget.

K : Compte le nombre de rubriques prises dans le "programme solution".

KK : Compte le nombre de rubriques non prises dans le programme précédent.

C : Compte le coût total à chaque prise d'une rubrique.

MAX1 : Somme des profits du "programme solution" sans raffinage.

K11 : Permet d'arreter l'affichage chaque fois que 16 rubriques sont sur l'écran.

MAX11 : Profit enregistré après chaque raffinage à une rubrique.

B1 : Budget calculé après retrait d'une des solutions du programme sans raffinage.

MAX : Retient le plus haut profit parmi les solutions potentiellement entrantes.

K2 : Retient le numéro d'ordre de la solution ayant procuré le plus grand profit parmi les solutions potentiellement entrantes.

C2 : Coût total du programme après raffinage à une rubrique.

MAX10 : Meilleure somme des profits après raffinage.

TND : Indique qu'il y a eu raffinage à une rubrique.

K21 et K22 : Retiennent les solutions formant la combinaison potentiellement entrante.

K23 : Fait appel à la meilleure combinaison retenue.

MAX12 : Profit enregistré après chaque raffinage à deux rubriques.

L : Compte le nombre de solutions formant le programme après raffinage à deux rubriques.

TDD : Indique s'il y a eu raffinage à deux rubriques.

EXEMPLE AVEC LES DEUX NIVEAUX DE RAFFINAGE

NOMBRE D'ELEMENTS A TRAITER : 20

CLASSEMENT SUIVANT LES VALEURS DECROISSANTES DU RAPPORT PROFIT/COUT

RANG	PROFIT/COUT	COUT	PROFIT
1	10.53704	54	569
2	10.42188	64	667
3	10.22973	74	757
4	9.229885	87	803
5	8.72	50	436
6	7.581081	74	561
7	6.893334	75	517
8	6.666667	3	20
9	6.475	40	259
10	6.418368	98	629
11	6.310345	58	366
12	5.5	6	33
13	5.44898	98	534
14	5.066667	45	228
15	4.85	20	97
16	4.625	24	111
17	4.210527	19	80
18	4.133333	45	186
19	2.136364	22	47
20	2.116667	12	25.4

VOTRE BUDGET EST DE 518

VOUS AVEZ UTILISE 97.87645 % DE VOTRE BUDGET

IL VOUS RESTE EXACTEMENT 11 DA NON UTILISES

VOUS AVEZ OBTENU UNE SOMME DE PROFITS DE 4460

RANG	PROFIT/COUT	COUT	PROFIT
1	10.53704	54	569
2	10.42188	64	667
3	10.22973	74	757
4	9.229885	87	803
5	8.72	50	436
6	7.581081	74	561
7	6.893334	75	517
8	6.666667	3	20
12	5.5	6	33
15	4.85	20	97

RUBRIQUES NON PRISES

RANG	PROFIT/COUT	COUT	PROFIT
9	6.475	40	259
10	6.418368	98	629
11	6.310345	58	366
13	5.44898	98	534
14	5.066667	45	228
16	4.625	24	111
17	4.210527	19	80
18	4.133333	45	186
19	2.136364	22	47
20	2.116667	12	25.4

SOLUTION OBTENUE APRES RAFFINAGE A UNE REFERENCE

RANG	PROFIT/COUT	COUT	PROFIT
1	10.53704	54	569
2	10.42188	64	667
3	10.22973	74	757
4	9.229885	87	803
5	8.72	50	436
6	7.581081	74	561
7	6.893334	75	517
8	6.666667	3	20
12	5.5	6	33
16	4.625	24	111

VOUS AVEZ UTILISE 99.6139 % DU BUDGET
 IL VOUS RESTE EXACTEMENT 2 DA NON UTILISES
 VOUS AVEZ OBTENU UNE SOMME DE PROFITS DE 4474
 VOUS AVEZ GAGNE 14 DA PAR RAPPORT A LA SOLUTION SANS RAFFINAGE

SOLUTION OBTENUE APRES RAFFINAGE A DEUX REFERENCES

RANG	PROFIT/COUT	COUT	PROFIT
1	10.53704	54	569
2	10.42188	64	667
3	10.22973	74	757
4	9.229885	87	803
5	8.72	50	436
6	7.581081	74	561
7	6.893334	75	517
8	6.666667	3	20
12	5.5	6	33
17	4.210527	19	80
20	2.116667	12	25.4

VOUS AVEZ UTILISES 100 % DU BUDGET
 VOUS AVEZ OBTENU UNE SOMME DE PROFITS DE 4468.4
 VOUS AVEZ GAGNE 8.399902 PAR RAPPORT A LA SOLUTION SANS RAFFINAGE

SOLUTION FINALE = SOLUTION APRES RAFFINAGE A UNE RUBRIQUE-

