

JEAN CHAUMEAU

RENÉ VONNER

**Gestion optimisée d'un oléoduc et des
stockages associés**

*Revue française d'automatique, d'informatique et de recherche
opérationnelle. Recherche opérationnelle, tome 8, n° V2 (1974),
p. 51-61.*

http://www.numdam.org/item?id=RO_1974__8_2_51_0

© AFCET, 1974, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « Revue française d'automatique, d'informatique et de recherche opérationnelle. Recherche opérationnelle » implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/legal.php>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques
<http://www.numdam.org/>

GESTION OPTIMISEE D'UN OLEODUC ET DES STOCKAGES ASSOCIES

par Jean CHAUMEAU et René VONNER (1)

Résumé. — Cette note présente le problème de la construction automatique des séquences d'expédition de pétrole brut dans un pipeline et de la gestion des bacs de stockage associés. Elle en décrit une solution, mise au point dans le cas particulier du Pipeline de l'Ile-de-France, fondée sur une procédure arborescente heuristique. Cette solution est opérationnelle depuis début 1973.

INTRODUCTION

Le développement récent en France des raffineries de l'intérieur, non implantées à proximité immédiate des côtes, a entraîné la construction de plusieurs pipelines destinés au transport du pétrole brut entre les ports de déchargement et ces raffineries. Des stockages-tampons complètent ces oléoducs au port et dans les raffineries.

Simultanément, une politique de diversification des sources d'approvisionnement a multiplié les types de bruts à transporter dans ces conduites. Or, chacun de ces bruts possède des qualités physiques bien particulières (teneur en soufre, viscosité, point d'écoulement, densité, etc...) qui imposent des ségrégations partielles ou totales dans les stockages et des règles précises de succession des envois dans les oléoducs.

Par ailleurs, il se produit un grand nombre d'aléas aussi bien en amont (files d'attente au port de chargement, tempêtes, incidents divers), qu'en aval de ces conduites (changements atmosphériques entraînant une variation des enlèvements de produits finis en raffinerie). Par conséquent, le système — stockage du brut au port de déchargement, transport par pipeline, stockage du brut en raffinerie — doit amortir ces aléas en adaptant les expéditions dans la conduite aux besoins du moment.

(1) Ingénieurs à la Division Informatique ELF-ERAP.

Enfin, les aléas précédemment cités exigent de la part du « décideur » une refonte de ses programmes de stockage et d'expédition, afin d'éviter toute attente de navire ou tout ralentissement d'une raffinerie, événements toujours très coûteux.

Or, une telle reprogrammation, effectuée à la main, est très longue et fastidieuse, étant donné les multiples contraintes et les objectifs non obligatoirement concomitants.

C'est pourquoi, une équipe du Groupe ELF-ERAP a construit un programme sur ordinateur établissant automatiquement cette gestion quotidienne des stockages et des expéditions dans un pipeline, optimisée sur une durée de 2 à 4 semaines. Cette étude a été réalisée dans le cas particulier du Pipeline de l'Ile de France (P.L.I.F.).

Cette note se propose donc :

- de présenter le problème particulier étudié,
- de montrer qu'il peut être formalisé graphiquement,
- de décrire la méthode heuristique adoptée,
- de présenter succinctement la mise en œuvre du programme,
- et enfin, d'en estimer l'intérêt économique.

I. PRESENTATION DU PROBLEME

1.1. Le domaine sur lequel nous opérons (fig. 1) est constitué :

- de capacités de stockage au Havre recevant les chargements des navires,
- d'un oléoduc partant du Havre et desservant les trois raffineries de Vernon, Gargenville et Grandpuits,
- de capacités de stockage dans chaque raffinerie.

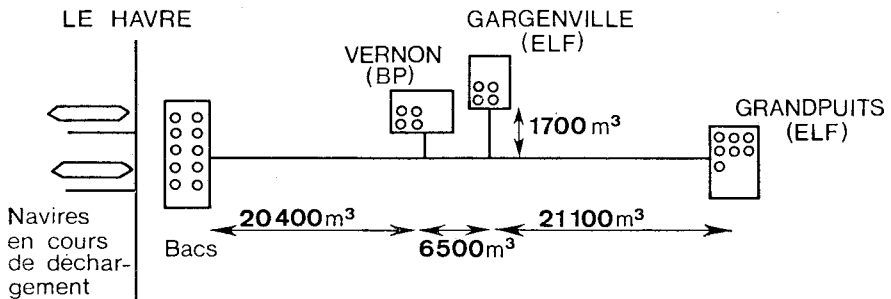


Figure 1

Le P.L.I.F. (251 Km)

1.2. Il s'agit :

d'optimiser la succession des lots de bruts à envoyer depuis le Havre et des transports de produits finis de raffinerie à raffinerie ;

de gérer les stocks amont et aval.

Dans le cas particulier du P.L.I.F., ces deux points sont en effet indissociables : le nombre de bruts à séparer est souvent supérieur à celui des bacs disponibles ; c'est pourquoi l'apparition de mélanges est parfois inévitable lors du déchargement d'un navire. La nature des mélanges ainsi formés dépend de celle des bruts qui séjournent dans les bacs, donc de la composition des derniers lots expédiés. Réciproquement, la composition des lots dépend de celle des bacs, donc des mélanges apparus.

Nous avons donc à prendre une *série de décisions* pendant une période donnée : choix du prochain lot à envoyer (nature, volume, destination), choix des bacs recevant le chargement d'un navire, etc...

1.3. Ces décisions doivent satisfaire obligatoirement certaines *contraintes* :

. dates ou fourchettes d'expédition et/ou de livraison des commandes et des transferts entre les raffineries;

. mélange de bruts obligatoires, facultatifs ou interdits dans la conduite et/ou dans les bacs de stockage;

. réception sans attente des navires, en respectant les règles de décantation des bruts;

. prêts ou emprunts temporaires de capacités de stockage entre sociétés au Havre, immobilisation de bacs;

. fourchettes de stocks;

. débit de réception, traitement quotidien, arrêts éventuels de chaque raffinerie, etc...

1.4. De plus, nous cherchons à nous approcher le plus possible de divers *objectifs* :

. minimum de contamination entre bruts de teneurs en soufre différentes, dans la conduite entre deux lots consécutifs, au port par limitation des déclassements ⁽¹⁾ et des mélanges non souhaités, en raffinerie par une répartition des livraisons évitant déclassements et mélanges dans les bacs de la raffinerie;

(1) Un bac est dit déclassé lorsqu'on y place un brut qui ne lui est pas normalement affecté.

- . une alimentation régulière des raffineries la plus conforme possible à leurs besoins;
- . un bon service de stockage au Havre évitant tout déroutement de navire.

II. REPRESENTATION GRAPHIQUE

Le problème posé consiste à prendre une succession de décisions pendant une certaine période, on peut donc en donner facilement une représentation graphique.

2.1. A chaque instant où une décision est à prendre, l'état i du système est caractérisé par environ 150 variables (lots dans la conduite, stocks, commandes à livrer, date, etc...).

Nous représentons cet état par un *sommet* S_i d'un graphe (fig. 2), sommet auquel est attaché le vecteur des valeurs prises par les variables définissant l'état i .

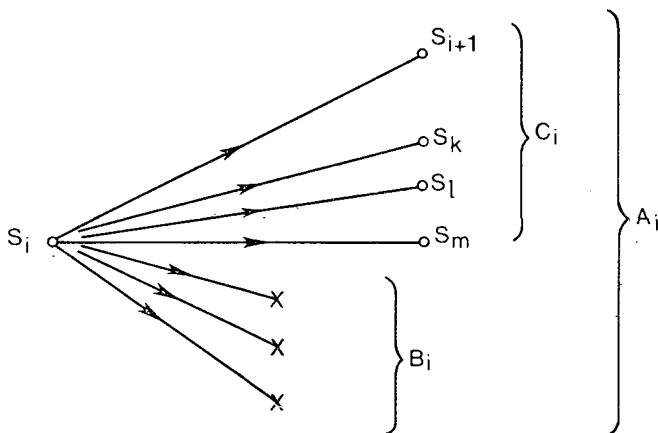


Figure 2

Sommet S_i = i ème sommet construit pendant le parcours de l'arborescence

2.2. Les différents *choix* possibles dans cet état i sont représentés par différents *arcs* issus de S_i (ensemble A_i) que nous convenons d'appeler arcs virtuels.

2.3. Les nombreuses *contraintes* se traduisent par le rejet de certains arcs (sous-ensemble B_i).

Chaque arc conservé, que nous convenons d'appeler arc réel (appartenant au sous-ensemble C_i), conduit à un état successeur possible de l'état i où une nouvelle décision est à prendre.

2.4. Nous construisons ainsi un graphe connexe possédant une racine et sans circuit.

En pratique, ce graphe est une *arborescence* car la probabilité pour que l'on puisse aboutir à un même état par deux chemins différents est pratiquement nulle étant donné le nombre de variables caractérisant un état.

2.5. Notre problème est désormais de sélectionner un chemin, c'est-à-dire une séquence de décisions parmi toutes les séquences possibles.

Une analyse poussée des préférences du décideur nous a permis d'affirmer que le taux de substitution [6] entre les composantes de cette sélection pouvait être considéré comme constant. Nous pouvons donc agréger les différents critères de choix dont nous devons tenir compte en un critère unique qui représente le degré de non-satisfaction des objectifs et que nous appelons plus communément *coût* de la solution.

III. METHODE DE CHEMINEMENT

3.1. Nous devons parcourir l'arborescence afin de sélectionner le moins coûteux de ses chemins complets (de la racine à une feuille).

L'énumération de toutes les solutions possibles est évidemment exclue, ainsi que la programmation dynamique, non adaptée au cas d'une arborescence (1).

Les autres méthodes exactes (par exemple, la méthode S.E.P. [2]) exigent une progression simultanée le long de plusieurs chemins de l'arborescence, ce qui conduit, dans notre cas, à un encombrement prohibitif.

Nous sommes donc contraints à utiliser une méthode heuristique permettant de ne conserver en mémoire que les caractéristiques d'un seul chemin.

3.2. La méthode adoptée est la suivante :

3.2.1. Etude préliminaire des différents types de décisions

Les décisions à prendre le long de l'arborescence peuvent en fait être regroupées en trois catégories :

Type 1 : choix du lot ou du transfert à envoyer (nature, volume, destination);

Type 2 : choix du ou des bacs alimentant ce lot;

Type 3 : choix du ou des bacs recevant le chargement d'un bateau;

(1) Il faut noter que si la capacité de stockage au port avait été suffisante pour éviter la formation de mélanges, la détermination de la séquence des envois dans la conduite aurait été indépendante de la gestion du stockage et aurait pu être résolue par la programmation dynamique grâce à la réduction considérable du nombre de variables caractérisant chaque sommet [3].

une décision de type 1 étant bien entendu toujours immédiatement suivie d'une décision de type 2.

Notre arborescence comprendra donc trois catégories de sommets.

3.2.2. Procédure de cheminement (fig. 3)

Plaçons-nous directement à l'étape N de l'exploration de l'arborescence. Cette étape est représentée par le sommet S_N de type i , extrémité de l'arc (S_M, S_N) .

La procédure comporte plusieurs phases :

Phase a :

Construction de l'ensemble C_N des c_N choix possibles, en S_N (construction des a_N arcs virtuels, élimination des b_N arcs ne satisfaisant pas les contraintes).

Phase b :

Classement des c_N arcs correspondant aux c_N choix suivant une *fonction opportunité* empirique différente de la fonction coût, l'arc le plus opportun étant celui dont on pense qu'il conduira à la meilleure solution.

Un tel classement relève de l'analyse multicritères [6] et une étude approfondie nous a montré que l'on peut, dans notre cas, comme pour le choix d'un chemin, raisonnablement postuler l'additivité des influences des différents critères.

La détermination de ces fonctions opportunité (une par type de sommets) demande évidemment l'examen de nombreux cas concrets. Il convient tout d'abord d'établir une fonction coût bien représentative et ensuite de parcourir entièrement un grand nombre d'arborescences afin de vérifier que les premiers chemins sélectionnés par l'algorithme (qui correspondent aux séquences de décisions jugées les plus opportunes) sont bien, en général, les moins coûteux.

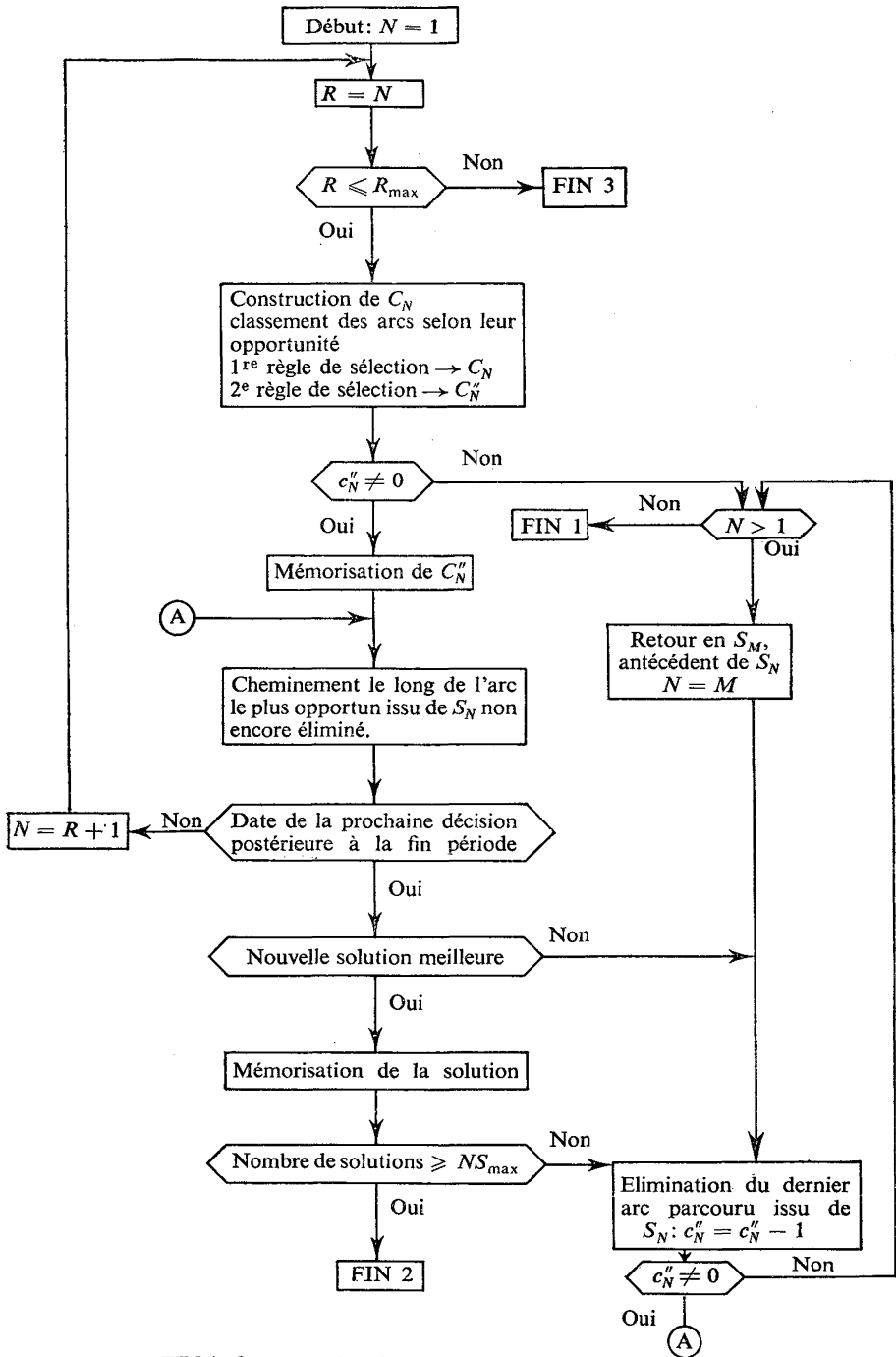
Phase c :

Première règle de sélection des arcs : élimination des arcs de rang supérieur à NAi , NAi étant le nombre maximum d'arcs conservés pour un sommet de type i (voir ci-dessous l'évaluation des NAi).

L'ensemble C'_N des choix encore possibles en S_N ne comprend plus que c'_N éléments avec $c'_N = \text{MIN}(c_N, NAi)$.

Phase d :

Deuxième règle de sélection : calcul, pour chacun des c'_N arcs, de son coût cumulé de non-satisfaction complète des objectifs et abandon de ceux qui conduisent à un coût supérieur ou égal à celui du meilleur chemin complet déjà écrit (cette règle n'est évidemment pas applicable si aucun chemin complet n'a encore été totalement décrit). Il reste alors c''_N arcs.



FIN 1 : fin par exploration complète de l'arborescence
 FIN 2 : fin par limitation du nombre de solutions
 FIN 3 : fin par limitation du nombre de sommets

Figure 3

Organigramme schématique de la procédure d'exploration de l'arborescence

Phase *e* :

Soit C_N'' l'ensemble des c_N'' arcs subsistant. Deux cas sont alors possibles :

(A) C_N'' est vide : aucune solution (si $c_N = 0$) ou aucune meilleure solution (si $c_N \neq 0$, mais $c_N'' = 0$) n'est acceptable à partir de S_N . Nous retournons au sommet précédent S_M , origine de l'arc (S_M, S_N) . Nous éliminons de l'ensemble C_M'' l'arc qui nous conduit en S_N et nous recommençons la procédure à la phase *e*. La procédure sera entièrement terminée lorsque nous devrons ainsi retourner à l'étape 1 et que C_1'' sera vide.

(B) C_N'' n'est pas vide : nous mémorisons les c_N'' choix acceptables et nous cheminons le long de l'arc le plus opportun. Ce cheminement consiste à simuler le fonctionnement du domaine correspondant au choix qui vient d'être effectué et nous aboutissons au sommet suivant où nous recommençons la procédure.

Phase *f* :

Cette procédure se poursuit jusqu'à ce que la prochaine décision soit postérieure à la date de fin de la période. Dans ce cas, un chemin possible a été entièrement décrit. Nous le mémorisons comme solution du problème s'il est le meilleur des chemins parcourus jusqu'à présent et nous reprenons la procédure en *e*.

Phase *g* :*Evaluation des NA_i . Limitation du temps de calcul.*

La solution construite par l'algorithme sera d'autant plus proche de la solution optimale que les NA_i seront plus grands, mais, parallèlement le nombre de combinaisons d'envois envisagé, donc le temps de calcul, croît suivant le produit de fonctions puissance des NA_i .

L'étude des cas concrets et des fonctions opportunité nous a montré que pour les décisions de type 2 et 3 (choix des bacs constituant le lot ou recevant la charge d'un navire), le choix le plus judicieux peut, en général, être déterminé avec certitude. Nous avons donc posé $NA_2 = NA_3 = 1$.

En fait, les décisions de type 1 (choix du prochain lot ou transfert à expédier), constituent les décisions prépondérantes. Pour cette raison, NA_1 est maintenu à une valeur forte (29 dans la version actuelle du programme) tant que la phase *f* de la période n'a pas été atteinte P fois, c'est-à-dire tant que P séquences complètes de décisions n'ont pas été construites. NA_1 est ensuite fixé à une valeur beaucoup plus faible NA'_1 . P et NA'_1 sont fournis en données par l'utilisateur.

Avantages de ce procédé :

Au début du cheminement, l'investigation est très poussée et nous sommes pratiquement assurés de construire une solution s'il en existe une.

Ensuite, le degré de finesse de la recherche est fixé par l'utilisateur lui-même qui, ainsi, est maître du temps de calcul.

En outre, afin de limiter ce temps de calcul en toutes circonstances et, en particulier, lorsqu'il n'y a pas de solution possible, l'utilisateur fixe dans ses données le nombre maximum R_{\max} de sommets devant être examinés. De même, il fixe le nombre maximum de solutions à construire (NS_{\max}).

IV. MISE EN ŒUVRE

Un programme fondé sur la méthode qui vient d'être présentée, a été écrit en FORTRAN et fonctionne en temps partagé sur CDC 6200.

Il est accompagné d'un programme conversationnel de mise à jour des données et de vérification automatique de leur cohérence. L'utilisateur, non-informaticien, peut ainsi, grâce à un langage spécifique très simple, modifier ses données et lancer à son gré l'exécution du programme d'optimisation proprement dit.

L'ensemble est opérationnel depuis début 1973.

V. INTERET ECONOMIQUE

5.1. L'estimation de l'intérêt économique d'une telle réalisation passe par la comparaison de son coût aux économies qu'elle permet de faire.

L'analyse et la mise au point du programme demandèrent environ 5 années ingénieur auxquelles il faut ajouter une cinquantaine d'heures d'utilisation de la machine (CDC 3600 principalement, puis CDC 6200).

Le coût d'exploitation comporte chaque mois 2 000 F de frais fixes (location de la console, stockage des fichiers sur disques). L'exécution du programme de mise à jour des données coûte en moyenne 20 F; l'exécution du programme d'optimisation coûte environ 150 F.

5.2. S'il est facile de chiffrer les coûts ainsi générés, il est en revanche très difficile d'appréhender les gains réalisés.

Nous pourrions envisager des études statistiques mettant en évidence une variation du nombre de jours d'attente des navires ou du nombre de déclassements ou de mélanges. De telles études ne seraient significatives que si aucun élément étranger à la mise en place d'une gestion automatisée n'en influençait les résultats.

Or il n'en est rien. Une série d'événements, dont l'importance est considérable, en particulier pour la gestion des stockages au port, se sont produits au cours des derniers mois :

— diversification accrue des sources d'approvisionnement (16 bruts différents ont été reçus par ELF au Havre au cours des 9 premiers mois de 1973 contre 10 au cours de la même période de 1970);

— augmentation du volume unitaire des arrivages (de 1969 à 1972, la cargaison moyenne reçue par ELF au Havre est passée de 46 000 t à 85 000 t, la cargaison maximum passant de 111 000 t à 248 000 t); l'accroissement des capacités de stockage n'a pas été proportionnel à cette augmentation;

— modification de la réglementation des échanges de bruts;

— enfin, variations conjoncturelles (taux de fret anormaux, crise internationale).

Tous ces éléments ont tendance à aggraver le problème de la ségrégation des bruts et faussent complètement les études statistiques envisagées.

Nous sommes donc contraints de nous reporter au jugement, nécessairement subjectif, porté par l'utilisateur sur l'outil qui lui a été fourni. Ce jugement est très favorable.

En fait, grâce au programme, l'utilisateur a une connaissance beaucoup plus précoce de tous les problèmes qui se posent lors de sa gestion quotidienne (impossibilité de recevoir un navire annoncé, rupture de stock...). Il peut donc négocier plus tôt les échanges de bruts et de capacités de stockage avec ses confrères. Il en augmente ainsi les chances de réussite.

Par ailleurs, le coût d'attente de ces navires est d'un ordre de grandeur tout à fait différent de celui du programme : un jour d'attente coûte de 20 000 F à 100 000 F suivant la taille du navire et le taux de fret, sans compter le déficit en approvisionnement ainsi engendré. Quelques navires mieux déchargés justifient donc l'existence du programme.

CONCLUSION

La méthode présentée dans cette note, utilisable chaque fois qu'il s'agit de prendre une séquence de décisions, fait partie des nombreuses procédures arborescentes heuristiques, actuellement en usage (voir à ce sujet [1], [5], [7]). Elle entre dans l'axiomatique de Hervé [4].

Elle est peu coûteuse en place mémoire et assez rapide si le problème étudié se prête à la construction d'une « bonne » fonction opportunité.

Comme toutes les procédures heuristiques, elle ne fournit aucune certitude d'atteindre la solution optimale ; mais dans un problème de la nature du

nôtre, les critères de comparaison des solutions sont largement empiriques et approximatifs et la recherche de la solution absolument optimale est souvent illusoire.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] J. ABADIE, *Une méthode arborescente pour les programmes non linéaires partiellement discrets*, R.I.R.O., V. 3, 1969, pp. 24-50.
- [2] P. BERTIER et B. ROY, *Une procédure de résolution pour une classe de problèmes pouvant avoir un caractère combinatoire*, I.C.C. Bulletin, vol. 4, n° 1, 1965, pp. 19-28.
- [3] P. HAYWARD et C. BEUILLARD, *Applications de l'ordinateur dans l'exploitation du pipe-line*, Revue de l'A.F.T.P., mai-juin 1970, n° 201, pp. 41-51.
- [4] P. HERVE, *Les procédures arborescentes d'optimisation*, R.I.R.O., n° 14, V. 3, 1968, pp. 69-80.
- [5] A. J. NEVINS, *Assembly Line Balancing Using Best Bud Search*, Management Science, vol. 18, n° 9, may 1972, pp. 529-539.
- [6] B. ROY, *Décisions avec critères multiples-problèmes et méthodes*, Metra, vol. XI, n° 1, 1972, pp. 121-151.
- [7] F. A. TILLMANN and T. M. CAIN, *An Upperbound Algorithm for the Single and Multiple Terminal Delivery Problem*, Management Science, vol. 18, n° 11, july 1972, pp. 664-682.