Ecole Polytechnique de Thies

école polytechnique de thiès

Projet de fin d'etudes

GC.0412

Titre du projet : Exploitation optimale d'une mine à ciel ouvert

Auteur : Ibrahima Ndiaye Mle 291
Génie Civil

Directeur de projet : Jean Claude Picard

Coordonnateur des projets : Gilles Simard

Date de remise : Le 10 JUIN 1982

REMERCIEMENTS

Je tiens à adresser mes sincères remerciements et à exprimer ma profonde gratitude à mon directeur de projet, le professeur Jean Claude Picard pour sa constante disponibilité et les conseils qu'il n'a jamais cessé de me donner pour me permettre de mener à bien la présente étude.

Mes remerciements vont aussi à :

Mr Cliche responsable du centre de calcul pour sa collaboration

Mr Bélanger pour l'aide substancielle qu'il m'a apportée dans la réalisation du projet

Toute ma reconnaissance à Mr Roger Lupien Chef du Département de Génie Civil pour son esprit d'entraide.

Enfin, tous mes remerciements à mes amis et frères Arona Pouye et Alioune Kassé de la 4: Année et à Médoune Diaw de la 3: Année qui m'ont aidé, de leurs mains à façonner ce projet.

SOMMAIRE

le but de ce projet est d'appliquer l'un des sujets de recherches du directeur de projet à l'exploitation minière. Il s'agit de faire un programme d'ordinateur pour determiner les contours optimaux d'exploitation d'une mine à ciel ouvert.

Ce programme n'est applicable qu'aux gisements fortement stratifies et sedimentés. On ne peut l'appliquer à un gisement en filon.

Table des matières

INTRODUCTION

Durant les dernieres décennies, la recherche Operationnelle ou gestion scientifique a rendu des prises de decision qui se faisaient de maniere intuitive, plus scientifiques et reduire ainsi les ecarts dus à l'incertitude. C'st pour cela que la recherche Operationnelle est appelée Mathématiques de la decision. –

La recherche Operationnelle fut une decouverte des militaires pour résoudre les problemes de logistiques qui se posaient à leurs armees. Ce n'est reellement qu'après la 2e guerre mondiale qu'elle fut érigée en discipline scientifique. –

Aujourd'hui, presente dans toutes les grandes ecoles, et les institutions scientifiques, la recherche operationnelle est devenue un instrument irremplaçable aux mains du gestionnaire. –

Parmi les modeles mathematiques utilisés par la recherche operationnelle (R.O.) et parmi les plus efficaces, de par le volume croissant d'applications qu'on lui trouve : transport ramassage d'ordures, implantation et manutention ... etc parmi ces nombreuses applications, figure le genie minier qui est l'une des principales activités synonimes de prosperité par son apport dans le developpement economique. –

L'origine de l'exploitation minière se perd dans la nuit des temps : elle est contemporaine sous sa forme la plus élémentaire, de l'epoque des premieres constructions en dur donc de la recherche des matériaux de construction d'origine minerale, et de l'utilisation de métaux par l'homme. On se rappellera qu'au Neolithique (5000 à 2500 ans avant J.C) l'homme avait atteint un certain niveau de perfectionnement dans l'art de travailler le fer. En fait XIII siecle, les moyens techniques limités dont disposaient les hommes ne permirent que l'exploitation à ciel ouvert et le plus souvent de tres faibles profondeurs. La premiere activité d'extraction miniere à grande echelle fut observée en Angleterre, plus précisement dans la région de New castle, c'était au début du XIV siecle. Un siecle plus tard, la région de St Etienne, en France allait devenir une des régions les plus actives d'Europe.–

Avec la demande croissante de cuivre et d'argent en Europe au début du XVI^e^ siecle, on assista à un veritable "boom" minier..

Parallelement l'exploitation du fer connut un grand bon avant Avec les Grandes Decouvertes, de nouvelles mines furent exploitées en Amerique Andine et au Mexique.–

Le veritable tournant dans l'exploitation miniere ne s'amorça que dans la seconde moitie du XVIII^e^ siecle, avec les besoins de la société industrielle naissante. Aussi les tonnages extraits augmentèrent-ils sensiblement et de nouvelles mines furent ouvertes et souvent dans des regions fort eloignées et inhospitalieres. De nouveaux metaux furent decouverts et de nouveaux procédés métallurgiques mis au point. —

L'activité minière si ancienne soit-elle, n'a fourni, jusqu'au début du XIX^e siecle que de tres petites quantités de matériaux de construction, de combustibles et de minerais. Dans le courant du XIX^e siecle, de grandes mines de charbon furent ouvertes dans un grand nombre de pays. Par ailleurs l'augmentation générale de la population et l'urbanisme demanderent des tonnages croissants de matériaux de construction. —

De 1900 à nos jours, toutes les productions minieres ont été augmentées et de maniere tres sensible comme en atteste le tableau I

Tableau I (*)

evolution de la production miniere depuis 1900
(en millions de tonnes)

	1900	1913	1929	1938	1950	1955	1960	1962	[illegible]
Houille	700	1215	1219	1063	1069	1136	1257	2045	[illegible]
Lignite	64	125	213	243	296	371	[illegible]	221	[illegible]
Pétrole	92	51	205	273	37[illegible]	3[illegible]	1013	2000	[illegible]
Gaz naturel (milliards m3)	12		59	73	[illegible]	192	62[illegible]	[illegible]	65
Fer	[illegible]	—	77	57	41	213	231	310	10.2
Cuivre	[illegible]	1	1,8	1,9	1,[illegible]	5,2	[illegible]	5,4	[illegible]
Plomb	0,94	1,3	2,[illegible]	1,2	1,1	[illegible]	1,91	3,0[illegible]	
Zinc	—	1,06	1,6	1,8	[illegible]	[illegible]	2,3	5,1	
Bauxite	0,12	0,26	[illegible]	[illegible]	5,1	[illegible]	[illegible]	6,5	
Or (t)	383	692	581	[illegible]	6[illegible]	95[illegible]	[illegible]	45[illegible]	45

* tiré de " Geographie des mines " Serge Lerat
presses universitaires de France

L'extraction minière fut relancée après la seconde guerre mondiale par les besoins de la reconstruction en Europe et l'emergence de nouveaux etats Africains, Latino-Americains et Asiatique qui recelaient de tres grands potentiels miniers

Aujourd'hui deux grands problemes se posent à l'activité d'extraction minière : d'abord, il y a la rarefication de certains métaux et matériaux de la croûte terrestre. D'après les estimations les plus optimistes des geologues et specialistes des sciences de la terre, beaucoup de métaux et de matériaux qui sont aujourd'hui de consommation courante, s'épuiseront totalement à l'horizon de l'an 2050..

- Ensuite, il y a une cherté exorbitante des coûts d'exploitation liée au reflux et à l'inflation que traverse tous les pays du globe..

Beaucoup de congrés, symposium, rencontres scientifiques et politiques sont périodiquement organisés à l'echelle nationale ou à l'echelle internationale pour essayer de trouver des solutions..

Dans cette recherche de solutions, la recherche operationnelle peut apporter son concours à deux niveaux :

- Au niveau de la gestion d'entreprise, elle permet d'etudier la rentabilité de l'exploitation de la mine en tant que activité economique

- Au niveau de la projection macro-economique, de connaitre les regions dont l'exploitations actuelle ne presente pas d'intérêt, mais qui avec l'évolution de différents paramètres économiques, pourraient être rentables en procédant à des analyses de sensibilités sur de modèles économiques projetés à 5 ou 10 ans. —

Chapitre I

RAPPELS DE CERTAINES NOTIONS DE LA THEORIE DES GRAPHES

A- Quelques définitions

a.) graphe

Soient A et B deux ensembles non vides, on définit une relation $\mathcal{R}$ de A vers B.

Soient $a \in A$ et $b \in B$, on appelle graphe de $\mathcal{R}$, tous les couples (a,b) tels que $a \mathcal{R} b$.
Un graphe est un sous ensemble du produit cartésien $A \times B$ qui est l'ensemble de tous les couples (a,b) tels que $a \in A$ et $b \in B$.

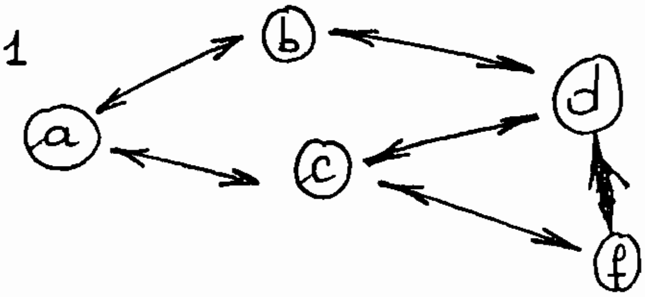
En recherche opérationnelle, un graphe représente une structure comportant un ensemble non vide de N éléments appelés sommets et un ensemble de A éléments appelés arêtes. Chaque élément de A est composé d'un couple non ordonné d'éléments choisis dans l'ensemble N.

Le graphe ainsi défini est noté $G = (N, A)$

$N = \{a, b, c, \ldots\}$

$A = \{(x,y) \in N^2$ tq il existe une arête entre x et y$\}$

Exemple 1



$N = \{a, b, c, d, f\}$

$A = \{(a,b), (b,d), (c,d), (c,f), (f,d), (a,c)$
$(b,a), (d,b), (d,c), (f,c), (d,f), (c,a)\}$

Remarque :

Un graphe peut être orienté

Une arête (x,y) est orienté du sommet incident x au sommet aboutissant y.

Une arête se dit aussi arc, dans un graphe orienté.

b) matrice associée à un graphe.

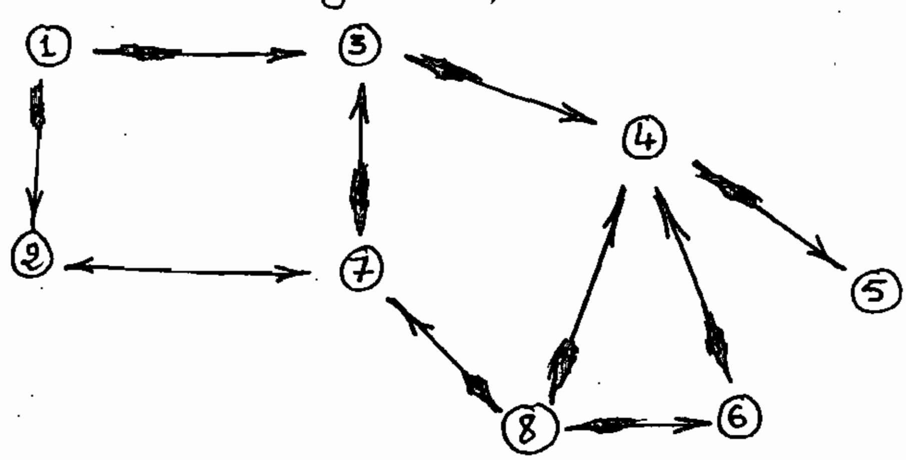
Pour tout graphe $G = (N, A)$, on peut associer une <u>matrice carrée d'ordre n</u> définie comme suit

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 \text{ si } & (i,j) \in A \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

et $\quad n = \text{Card}(N)$

Exemple 2

Soit le graphe suivant



Pour l'exemple 2, la matrice associée au graphe est

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	1	1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	1	0
3	0	0	0	1	0	0	0	0
4	0	0	0	0	1	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	1	0	0	0	0
7	0	0	1	0	0	0	0	0
8	0	0	0	1	0	1	1	0

Réciproquement, soit une matrice d'ordre n avec des 0 et 1, alors, on peut lui associer un graphe $G = (N, A)$ tel que si

$$a_{ij} = 1 \iff (i,j) \in A$$

$$a_{ij} = 0 \iff (i,j) \notin A$$

<u>Remarque</u> :

Cette définition n'est valable que pour les graphes n'ayant pas plus d'un arc allant de x_i à x_j.

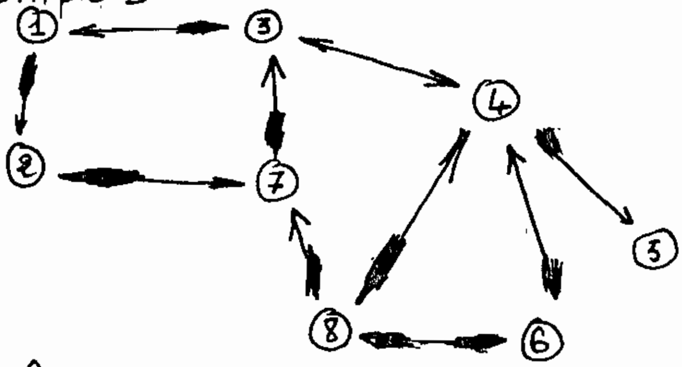
c) Concepts dans un graphe orienté

- <u>Chemin</u> :

C'est une succession d'arcs adjacents permettant de passer d'un sommet à un autre en suivant les arcs.

Dans l'exemple suivant, (2,7,8,4) est un chemin

Exemple 3



- <u>longueur d'un chemin:</u>

C'est le nombre d'arcs du chemin.

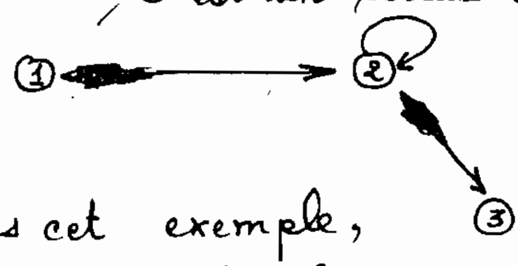
- <u>circuit</u>:

C'est un chemin dont le sommet initial coïncide avec le sommet final.

Dans l'exemple 3, (1,2,7,3,1) est un circuit.

- <u>boucle</u> :

C'est un circuit de longueur 1.



Dans cet exemple, (2,2) est une boucle.

- <u>Graphe symetrique</u>:

Un graphe est dit <u>symetrique</u> si quels que soient les sommets, si x est relié à y, y est aussi relié à x. c'est à dire: si $(x,y) \in A^2 \Rightarrow (y,x) \in A^2$

Dans la repentation sagittale, on prend alors comme convention de ne pas mettre de flèche.

- Graphe antisymetrique :

Un graphe est dit antisymetrique si, quelsque soient les sommets x et y, si x est relié à y, alors y n'est pas relié à x.

C'est à dire si

$$(x,y) \in A^2 \Rightarrow (y,x) \notin A^2$$

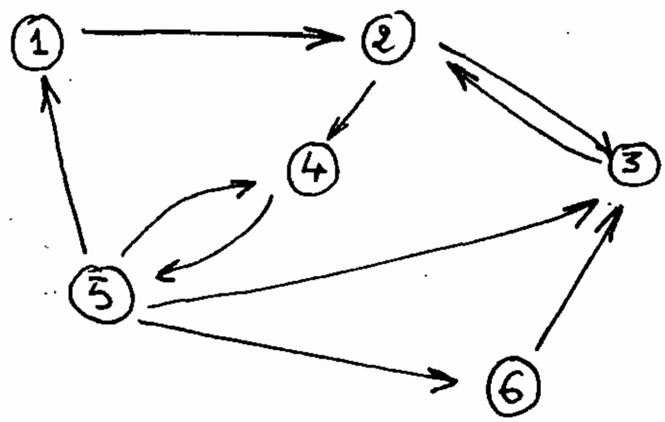
- Graphe fortement connexe :

Un graphe est dit fortement connexe si quels que soient $x, y \in N$ $(x \neq y)$, il existe un chemin de x à y.

Le graphe de l'exemple 3 n'est pas fortement connexe car il n'existe pas de chemin allant du sommet 3 au sommet 7.

Par contre, le graphe suivant est fortement connexe.

Exemple 4 :



Remarque:

Une autre terminologie est utilisée pour les graphes non orientés. Pour les graphes considérés dans cette étude, seuls les concepts orientés présentent un intérêt.

B. FLOT dans un reseau de transport

Soit $G=(N,A)$ un graphe fini sans boucle tel que : à chaque arc $(x,y) \in A$ est associé un nombre non negatif $c(x,y)$.

On appelle $c(x,y)$ la capacité de l'arc (x,y)

L'application de A dans $\mathbb{R}_+$ ($\mathbb{R}_+ = \{x \in \mathbb{R} \ / x \geq 0\}$) est la fonction de capacité.

$R = (N,A,C)$ est appelé un reseau de transport

a) flot dans R

Soient s et t, 2 somets distincts de N.

un flot F de valeur v de s à t dans le reseau est une application f de A dans $\mathbb{R}_+$ satisfaisant les equations lineaires et inegalités suivantes:

(1) $$\sum_{y \in A(x)} f(x,y) - \sum_{y \in B(x)} f(y,x) = \begin{cases} V & si \quad x = s \\ 0 & si \quad x \neq s,t \\ -V & si \quad x = t \end{cases}$$

(2) $$f(x,y) \leq c(x,y) \quad \forall (x,y) \in A$$

où $$A(x) = \{y \in N \ / (x,y) \in A\}$$
$$B(x) = \{y \in N \ / (y,x) \in A\}$$

ecole polytechnique de thies

s est appelée la <u>source</u> ou <u>l'entrée</u> du reseau.
t est appelé la <u>sortie</u> ou <u>le puits</u> du réseau.
tous les autres elements de N sont appelés <u>sommets intermediaires</u>.

<u>Remarques</u> :

l'egalité (1) signifie :

- pour $x = s$: qu'il n'y a pas de flot qui sort par l'entrée et que tout le flot sur le reseau passe par l'entrée s; ce qui se conçoit aisement si on sait qu'il n'y a pas d'arc en amont de l'entrée.
- pour $x \neq t, s$: que pour les sommets intermediaires, le flot est egal à la difference des sommes des flots entrants et sortants, et cette difference est nulle; c'est à dire, tout ce qui entre, sort.
- pour $x = t$: qu'il n'y a pas de flot qui entre par la sortie et que tout le flot sort par la sortie et ceci pour des raisons exactement contraires pour le cas $x = s$

L'egalité (2) signifie que pour un arc donné, (x, y) le flot sur cet arc est toujours inferieur ou egal à la capacité de l'arc.

b) Notations

Soient $x, y \subset N$

(X, Y) est défini comme étant l'ensemble des arcs menant de $x \in X$ à $y \in Y$.

Si g est une application de X vers l'ensemble des réels, on note :

$$\sum_{(x,y) \in (X,Y)} g(x,y) = g(X,Y)$$

si $X = \{x\}$ on notera $g(x, Y)$

Quelques propriétés de l'application g :

$$g(X, Y \cup Z) = g(X,Y) + g(X,Z) - g(X, Y \cap Z)$$

$$g(Y \cup Z, X) = g(X,Y) + g(Z,X) - g(Y \cap Z, X)$$

Remarques :

1) $(B(x), x) = (N, x)$

$(x, A(x)) = (x, N)$

2) si Y et Z sont disjonctifs, c'est à dire que $Y \cap Z = \phi$ alors

$$g(X, Y \cup Z) = g(X,Y) + g(X,Z)$$

$$g(Y \cup Z, X) = g(Y,X) + g(Z,X)$$

c) Structure des coupes minimales

On a défini un réseau fini $R(N, A, C)$ où :

. N est l'ensemble des sommets avec deux sommets particuliers : s qui est la source et t qui est la sortie.

. A est l'ensemble des arcs.

. C_{ij} la capacité d'un arc reliant les sommets i et j.

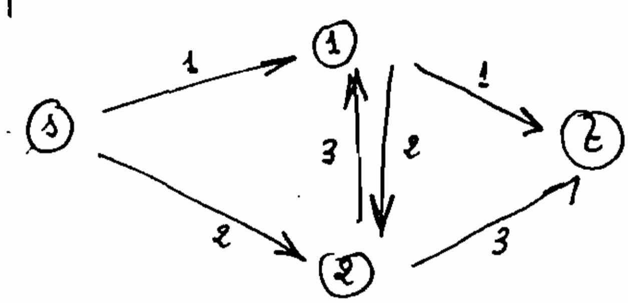
On a défini deux sous ensembles X et Y de N tels que $X \cap Y = \phi$

On définit une fonction f sur A. On note par $f(X, Y)$ la somme des valeurs de f sur les arcs appartenant à (X, Y).

<u>Une coupe séparant s et t</u> est un ensemble d'arcs $(X, \bar{X})$ où $s \in X$ et $t \in \bar{X}$ et $\bar{X} = N - X$

la capacité de la coupe $(X, \bar{X})$ est $C(X, \bar{X})$

Exemple



$X = \{s, 1\}$ $\quad\quad \bar{X} = \{2, t\}$

$\{X, \bar{X}\} = \{(s, 2), (1, t), (1, 2)\}$

$C(X, \bar{X}) = 2 + 1 + 2 = 5$

– <u>Coupe minimale</u>

Par "<u>coupe minimale</u>", on entend une coupe séparant s et t avec une capacité minimale.

Tout chemin menant de s à t, doit contenir un arc de n'importe quelle coupe $(X, \bar{X})$

d) Arc saturé

On dit qu'un arc $(x,y) \in A$ est saturé si:
$f(x,y) = c(x,y)$

e) Problème du flot maximal

Le problème du flot maximal consiste à déterminer $f(x,y)$ $\forall (x,y) \in A^e$ de telle sorte que la valeur V du flot soit le plus grand possible.

Theorème 1

Soit f un flot de s à t de valeur V dans un reseau $R(N,A,C)$ si $(X,\bar{X})$ est une coupe separant s et t, alors $V = f(X,\bar{X}) - f(\bar{X},X) \leq C(X,\bar{X})$

Preuve.

f satisfaisant

$$f(s,N) - f(N,s) = V$$
$$f(x,N) - f(N,x) = 0 \qquad \text{si } x \neq s,t$$
$$f(t,N) - f(N,t) = -V$$

En sommant ces equations sur puisque $s \in X$ et $t \in \bar{X}$, il s'ensuit

$$V = \sum_{x \in X} f(x,N) - f(N,x) = f(X,N) - f(N,X)$$

c'est à dire:

$$V = f(X, X \cup \bar{X}) - f(X \cup \bar{X}, X)$$
$$= f(X,X) + f(X,\bar{X}) - f(X,X) - f(\bar{X},X)$$

$$V = f(x,\bar{x}) - f(\bar{x},x)$$

puis que

$$f(\bar{x},x) \geqslant 0 \quad f(x,\bar{x}) \leq C(x,\bar{x})$$

on obtient le resultat recherché.

Theoreme 2 (1)

Dans un reseau de transport, la valeur maximale d'un flot est egale à la capacité d'une coupe, qui, parmi toutes les coupes separant s et z, est minimale.

Remarque:

La valeur du flot maximal est unique mais il peut exister plusieurs flots qui donnent la même valeur maximale. De même, il peut exister plusieurs coupes minimales dans le reseau.

(1) Pour la demonstration de ce theoreme, voir J. C. Picard "A Survey of applications of the maximal flow problem in a Network".

Theoreme 3 (1)

Soient $(X,\bar{X})$ et $(Y,\bar{Y})$ de coupes minimales, alors $(X\cup Y, \overline{X\cup Y})$ et $(X\cap Y, \overline{X\cap Y})$ sont aussi des coupes de valeur minimale.

Theoreme 4 (2)

Si $(Y,\bar{Y})$ est une coupe minimale, quelconque, f un flot maximal et $(X,\bar{X})$ la coupe minimale construite dans la preuve du theoreme du flot maximal alors $X \subset Y$.

Theoreme 5

Une coupe $(X,\bar{X})$ est minimale si et seulement si tout flot maximal f sature tous les arcs de $(X,\bar{X})$ tandis que tous les arcs de $(\bar{X},X)$ sont sans flot (ou vides par rapport à f).

(1) Pour la demonstration de theorème, voir J.C. Picard, Ecole Polytechnique de Thies et Maurice Queyranne, university of Houston, "on the structure of all minimum cuts in a Network and applications" Mathematical programming study 13 (1980) 8-16 North Holland publishing Co

(2) voir note (1)

f) <u>Reseau avec plusieurs sources et sorties</u>

Soient

N : l'ensemble des sommets du reseau .

S : l'ensemble des sources .

T : l'ensemble des sorties

R : l'ensemble des autres sommets

Le problème est de chercher un flot maximal de l'ensemble S à l'ensemble T .

On peut defini un flot de S à T comme un flot f à valeurs reelles definies sur A, satisfaisant :

$f(x,N) - f(N,x) = 0 \quad$ pour $\quad x \in R$

$0 \leq f(x,y) \leq C(x,y) \quad \forall (x,y) \in A$?

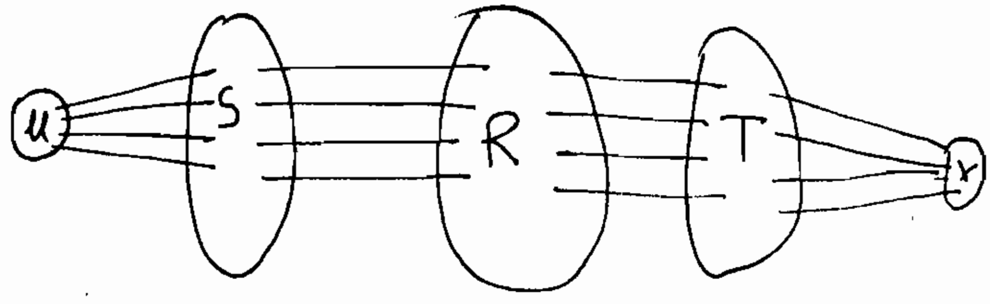
la valeur du flot maximal etant

$v = f(S,N) - f(N,S)$

Ajoutons 2 sommets u et v ainsi que les arcs (u,S) et (T,v) avec capacités

$C(u,x) = \infty \qquad x \in S$

$C(x,v) = \infty \qquad x \in V$



Le nouveau reseau ainsi créé comporte une seule source u et une seule sortie v. Ainsi, on peut maintenant lui appliquer les resultats obtenus pour un reseau à entrée unique et à sortie unique.

g) Algorithme pour resoudre les problèmes du flot maximal.

hypothese.

Les capacités des arcs sont des entiers ≥ 0. Cette hypothese garantit la convergence de l'algorithme pour des nombres rationnels, on peut toujours se ramener à cette hypothese en multipliant les capacités par un nombre adequat.

1re phase: determiner "ou juger", un flot realisable.

2ème phase: Le calcul progresse par une suite de marquages (procedure A) qui conduit soit à un flot de valeurs superieures (procedure B) soit à la conclusion que le flot trouvé est maximal.

Theoreme des valeurs entieres (6)

Si la fonction de capacité C est à valeurs entieres, il existe un flot maximal f qui est à valeurs entières.

f) Algorithme de Ford et Fulkerson

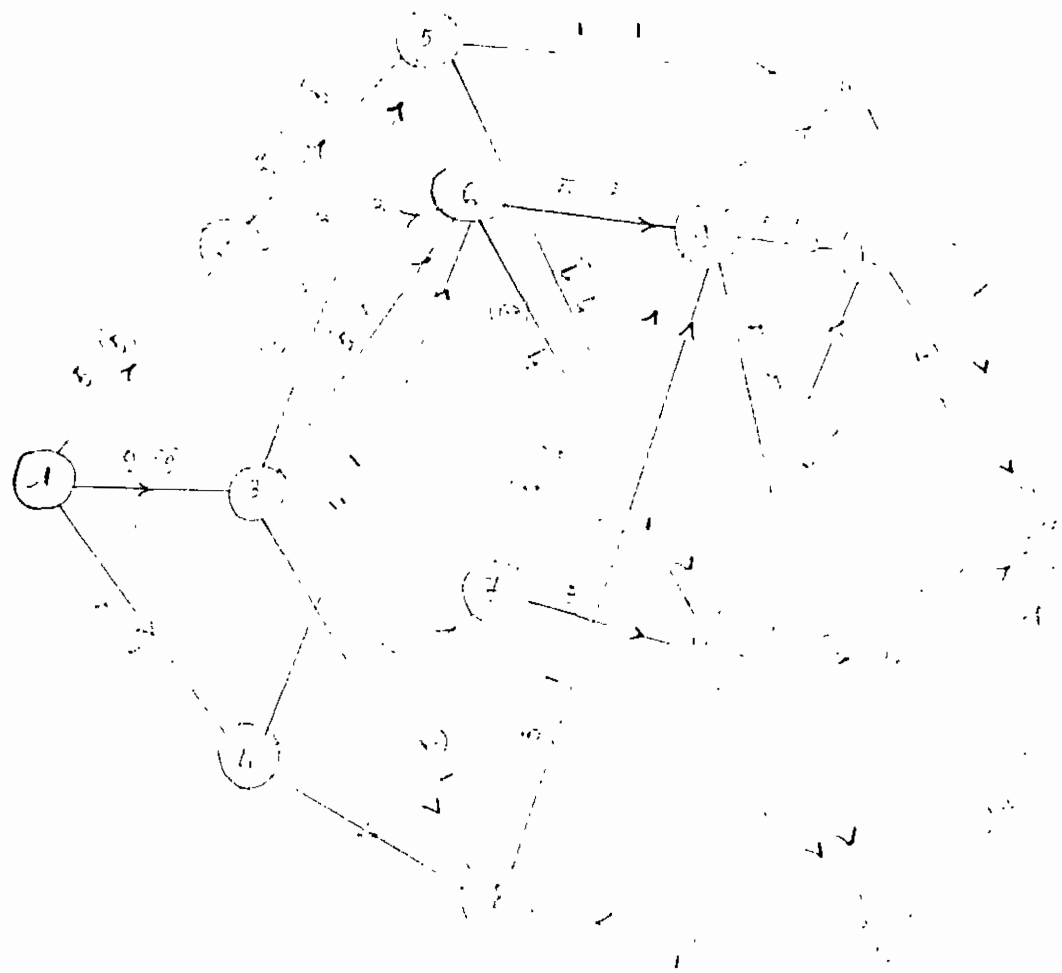
On se bornera tout simplement à ennoncer le Theoreme de Ford et Fulkerson.

Theoreme 7

S'il existe un flot realisable f pour un certain V, la valeur maximale de V soumis aux contraintes de capacité est egale au minimum de $C(X,\bar{X}) - f(\bar{X},X)$ pris sur tous les $X \subset N$ avec $s \in X$ et $t \in \bar{X}$

i) exemple.

Soit à determiner le flot maximal et la coupe minimale du reseau suivant



$$V = 5 + 9 + 5 = 19$$

$$X = \{1\}$$

$$\bar{X} = \{2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15\}$$

école polytechnique

References

(1) Picard. J. C. , Blauth M and Queyranne M "A survey of applications of the maximal flow problem in a Net work".

(2) Picard J. C Notes de cours: Ecole Polytechnique de Thiés

CHAPITRE II

LE PROBLEME DE SELECTION

A) INTRODUCTION

Le problème de sélection de J. M. Rhys et M. L. Balinski est le suivant :

. On définit un ensemble de points, S ("station") en même temps que le prix $c_s > 0$ rattaché au choix de tout point s de S.

. On spécifie une collection Σ de sous ensembles σ de points de S en même temps que le "profit" P_σ du choix d'un quelconque sous-ensemble σ

. On définit une sélection comme une collection de sous ensembles de Σ en même temps que tous les points de S qui appartiennent à cette collection

. La valeur de la sélection est la somme des profits de sous-ensembles de Σ moins la somme des coûts des points de S compris dans la sélection.

Le problème est de trouver une sélection de valeur maximale.

J. M. Rhys et M. L Balinski montrent que ce problème peut-être résolu comme un " flot maximal dans un graphe biparti "

On peut aisément généralisé le problème comme suit :

. Etant donné un graphe direct G = (V, A), une fermeture de G est définie comme un sous-ensemble de sommets Y de telle sorte que si un sommet appartient à Y, alors tous ses successeurs appartiennent aussi à Y. Si à chaque sommet v_i est associé un nombre réel m_i, alors une fermeture maximale Y^* de G est définie comme une fermeture de valeur maximale (i.e $\sum_{v_i \in Y^*} m_i$ est maximal)

Le problème consiste à trouver une fermeture maximale dans un réseau constitué d'un graphe G avec des capacités infinies sur ses arcs, une source reliée à chaque sommet v_i de valeur positive par un arc de capacité $(+m_i)$, et une sortie reliée à chaque sommet v_i de valeur négative par un arc de capacité $(-m_i)$

Le problème de sélection est donc identique à trouver la fermeture maximale dans un graphe biparti $G=(\Sigma, S, A)$ avec des arcs $A=\{(\sigma, s) / \sigma \in \Sigma, s \in S, \text{et } s \in \sigma\}$, et où la valeur associée à chaque sommet σ de Σ est p_σ et la valeur associée à chaque sommet $s \in S$ est $-c_s$

B) DÉFINITIONS

On considère un graphe direct $G=(V, A)$ où $V=\{v_1, v_2, \ldots, v_n\}$ est l'ensemble des sommets et A est l'ensemble des arcs de G. Une fermeture de G est définie comme un ensemble de sommets $Y \subset V$, de telle sorte que si $v_i \in Y$ et $(v_i, v_j) \in A$, alors $v_j \in Y$

Si un nombre réel m_i est associé à chaque sommet v_i de G appelé la valeur de v_i, alors une fermeture maximale de G

est définie comme une fermeture de valeur maximale (on suppose dans ce cas que tous les m_i ne sont pas de même signe ; sinon le problème serait trivial)

c) FORMULATION DU PROBLEME

Le problème consiste à trouver $Y \subset V$ de telle sorte que $\sum_{v_i \in Y} m_i$ est maximal, où Y est une fermeture de G, c'est à dire $v_i \in Y$ et $(v_i, v_j) \in A \Rightarrow v_j \in Y$. Si on définit :

$$x_i = 1 \quad \text{si } v_i \in Y$$
$$x_i = 0 \quad \text{sinon},$$

Alors le problème peut être formulé, sous différentes formes, comme un problème de programmation 0-1

On peut facilement constater que le problème original est équivalent au problème suivant :

$$\text{Max } z = \sum_{i=1}^{n} m_i x_i$$
$$x_i \leq x_j \quad \text{pour } (v_i, v_j) \in A$$
$$x_i = 0, 1 \qquad i = 1, 2, \ldots, n$$

La condition $x_i \leq x_j$ pour $(v_i, v_j) \in A$ est équivalente à la relation $a_{ij} x_i (-1 + x_j) = 0$ où a_{ij} est l'élément (i, j) de la matrice d'incidence de G, c'est-à dire :

$$a_{ij} = 1 \quad \text{si } (v_i, v_j) \in A$$
$$= 0 \quad \text{sinon}$$

(P_1) peut alors être écrit sous la forme :

$$\text{Max } Z = \sum_{i=1}^{n} m_i x_i$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_i (-1 + x_j) = 0 \qquad (P_1')$$
$$x_i = 0, 1 \qquad i = 1, 2, ---, n$$

Etant donné que :

. $a_{ij} x_i (-1 + x_j) \leq 0 \quad \forall x_i = 0, 1$ et $x_j = 0, 1$

Il est facile de montrer que (P_1') est équivalent à :

$$\text{Max } Z = \sum_{i=1}^{n} m_i x_i + \lambda \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_i (-1 + x_j) \quad (P_1'') .$$
$$x_i = 0, 1 \qquad i = 1, 2, ---, n$$

où λ est un nombre positif aussi grand que possible pour garantir qu'une solution optimale de (P_1'') satisfait $\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_i (-1 + x_j) = 0$, c'est à dire, qu'on aura une fermeture de G.

Si on transpose le problème de maximisation à un problème de minimisation, on obtient finalement le problème équivalent suivant:

$$\text{Min } f(x) = \sum_{i=1}^{n} - m_i x_i + \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} \lambda a_{ij} x_i (1 - x_j) \quad (P_2)$$
$$x_i = 0, 1 \qquad i = 1, 2, ---, n$$

D) PROBLEME DU FLOT MAXIMAL EQUIVALENT

Etant donné un réseau $G = (V, A)$ où V est l'ensemble des sommets $(V = \{v_0, v_1, ---, v_{n+1}\})$ et A l'ensemble des arcs connectant ces sommets, une coupe séparant la source v_0 et la sortie v_{n+1} est définie comme une partition $(S, \bar{S})$ où $v_0 \in S$,

$v_{n+1} \in \bar{S}$, $S \cup \bar{S} = V$ et $S \cap \bar{S} = \phi$

La capacité de $(S, \bar{S})$ est définie comme :

$$c(S, \bar{S}) = \sum_{i \in I} \sum_{j \in \bar{I}} c_{ij} \text{ où } I = \{i \,/\, v_i \in S\},$$

$\bar{I} = \{j \,/\, v_j \in \bar{S}\}$ et c_{ij} est la capacité de l'arc (v_i, v_j).

Une coupe minimale séparant v_0 et v_{n+1} est définie comme une coupe ayant une capacité minimale

Le problème qui consiste à trouver une coupe minimale séparant v_0 et v_{n+1} peut être résolu en utilisant l'algorithme de Ford et Fulkerson

Hammer et Rudeanu notent qu'une coupe séparant v_0 et v_{n+1} peut être représentée par un vecteur $(1, x_1, x_2, \dots, x_n, 0)$ où $x_j = 0$ ou 1 pour $j = 1, 2, \dots, n$; et définissant

$S = \{v_i \,/\, x_i = 1\}$ et $\bar{S} = \{v_i \,/\, x_i = 0\}$, tous les vecteurs de cette forme représentent des coupes $(S, \bar{S})$ séparant v_0 et v_{n+1}. Hammer et Rudeanu ont aussi noté que la capacité de la coupe représentée par $x_0 = 1$ et $x_{n+1} = 0$ et $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ peut être écrite sous la forme :

$$(\mathrm{I}) \quad C(X) = \sum_{i=0}^{n+1} \sum_{j=0}^{n+1} c_{ij}\, x_i\, (1 - x_j) \text{ où } x_0 = 1 \text{ et } x_{n+1} = 0$$

si on remplace x_0 et x_{n+1} par leur valeur dans (I), on obtient :

$$(\mathrm{II}) \quad c(X) = \sum_{j=1}^{n+1} c_{0j} + \sum_{i=1}^{n} (c_{i,n+1} - c_{0,i})\, x_i + \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} c_{ij}\, x_i (1 - x_j)$$

qui a la même forme que l'expression de $f(x)$ dans (P_2) (ces deux expressions diffèrent seulement par un terme constant)

Par conséquent résoudre (P_2) revient à trouver une coupe minimale par (II). Pour plus de détails concernant cette relation entre le problème de minimisation des fonctions quadratiques et la résolution des coupes minimales, on se reportera à Picard et Ratliff.

E) CONSTRUCTION DU RÉSEAU ÉQUIVALENT

Supposons $I^+ = \{i \,/\, m_i > 0 ; i = 1, 2, \dots, n\}$ et $I^- = \{i / m_i < 0 \; i = 1 \dots\}$

on a : $I^+ \cup I^- \subset V$. On ajoute une source v_0 et une sortie v_{n+1} au graphe G

Pour $i \in I^+$, on connecte v_0 à v_i par un arc de capacité $c_{0i} = +m_i$

Pour $i \in I^-$, on connecte v_{n+1} et v_i par un arc de capacité $c_{i,n+1} = -m_i$

Pour le graphe initial, mettre une capacité λ à tous les arcs.

De cette manière, la formulation du nouveau réseau pour la détermination de la coupe minimale est exactement (P_2)

λ étant un nombre aussi grand qu'on le désire, on peut à toute fin pratique lui donner une valeur infinie.

Le réseau ainsi défini se résoud par l'algorithme de Ford et Fulkerson qui nous donne les arcs de la coupe, c'est à dire les sommets faisant partie de la fermeture maximale.

F) EXEMPLE

Supposons qu'on ait le problème suivant :

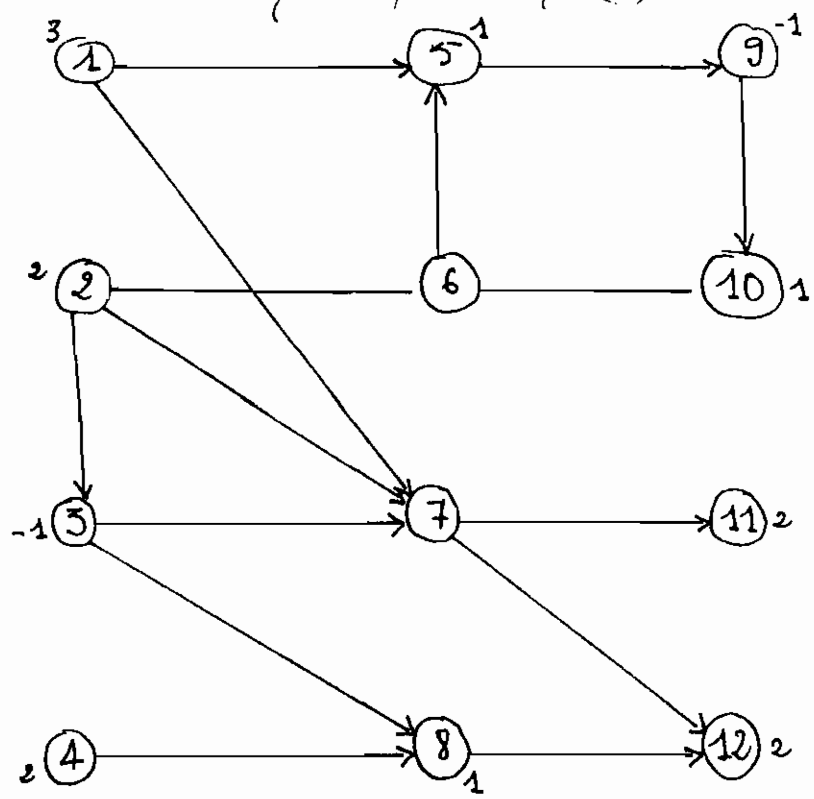
$$\text{Max } z = 3x_1 + 2x_2 - x_3 + 2x_4 + x_5 - 4x_6 - 2x_7 + x_8 - x_9 + x_{10} + 2x_{11} + 2x_{12}$$

avec

$$\left.\begin{array}{ll} x_1 \leq x_5, & x_5 \leq x_9, \\ x_1 \leq x_7, & x_6 \leq x_5, \\ x_2 \leq x_3, & x_6 \leq x_{10}, \\ x_2 \leq x_6, & x_7 \leq x_{11}, \\ x_2 \leq x_7, & x_7 \leq x_{12}, \\ x_3 \leq x_7, & x_8 \leq x_{12}, \\ x_3 \leq x_8, & x_9 \leq x_{10}, \\ x_4 \leq x_8, & \end{array}\right. \qquad (P_1)$$

et $x_i = 0, 1 \quad i = 1, 2, \ldots, 12$

le réseau initial correspondant à (P_1) est alors.

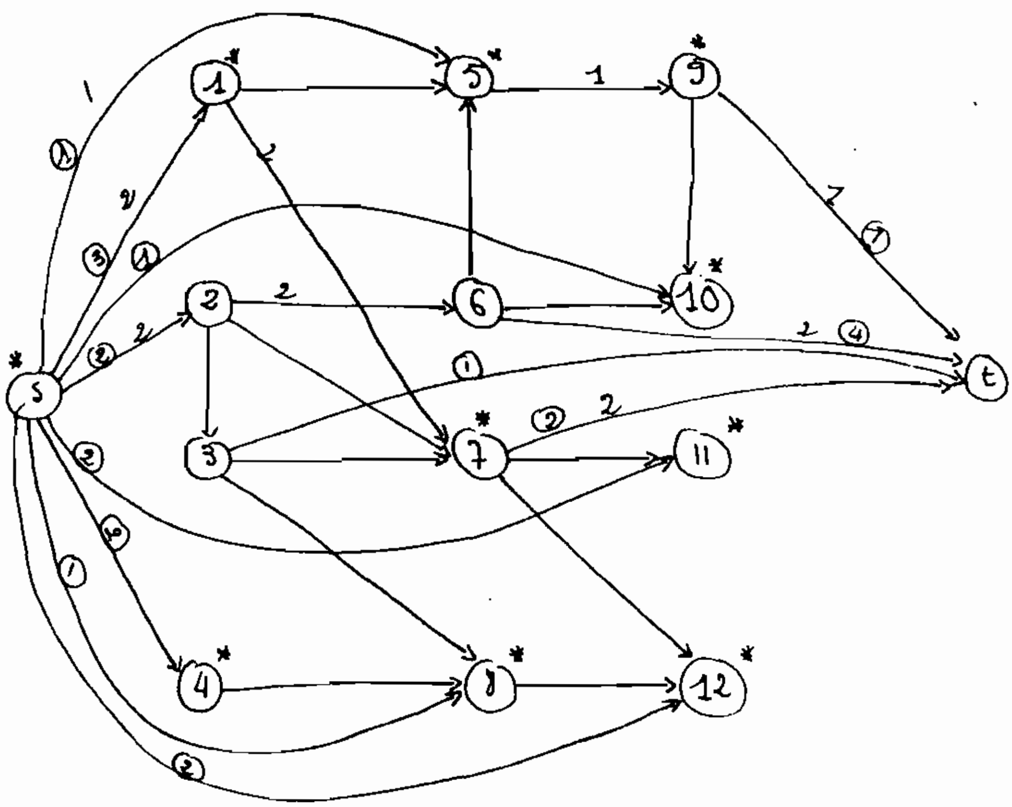


Si on transforme (P_1) en (P_2), on aura

$$\text{Min } f: (-3+2\lambda)x_1+(-2+3\lambda)x_2+(1+2\lambda)x_3+(-2+\lambda)x_4+$$
$$+(-1+\lambda)x_5+(4+2\lambda)x_6+(2+2\lambda)x_7+(-1+\lambda)x_8+(1+\lambda)x_9$$
$$-x_{10}-2x_{11}-2x_{12}-\lambda x_1x_5-\lambda x_1x_7-\lambda x_2x_3-\lambda x_2x_6-\lambda x_2x_7$$
$$-\lambda x_3x_7-\lambda x_3x_8-\lambda x_4x_8-\lambda x_5x_9-\lambda x_5x_6-\lambda x_6x_{10}-\lambda x_7x_{11}$$
$$-\lambda x_7x_{12}-\lambda x_8x_{12}-\lambda x_9x_{10}$$

et $x_i = 0, 1 \quad i = 1, 2, \dots, 12$

Le réseau final correspondant à (P_2) est le suivant:



Si on applique l'algorithme de Ford et Fulkerson, on trouve un flot maximal de valeur 5. Les nombres encerclés représentent les capacités des arcs, et ceux qui ne le sont pas, les flots qui y sont envoyés. Les sommets marqués par un signe (*) sont les stations qui font partie de la fermeture maximale Y^*

$$Y^* = \{ v_1, v_4, v_6, v_7, v_8, v_9, v_{10}, v_{11}, v_{12} \}$$ et

la valeur de la fermeture maximale est égale à 9

Références

1. Balinski, M.L. "On a selection problem" Management Science. Vol 17, N° 3 (Novembre 1970)
2. Ford, L.R and Fulkerson, D.R; Flows in Networks, Princeton University Press, 1962
3. Hammer (Ivanescu), P.L and Rudeanu, S., Boolean Methods in Operations-Research, Springer Verlag, N.Y. 1968
4. Hansen, P., "Quelques approches de la programmation non lineaires en variables 0-1" Conference on Mathematical Programming, Bruxelles. Mai 1974
5. Hanck, R.F and Malone, J.M, "Optimal Open Pit Mining Contours with Optimal Depletion Scheduling: Theory and Methodology:" U.S. Steel Corporation (Août 1969)
6. Johnson, T.B, "A comparative Study of Methods for Determining Ultimate Open Pit Mining Limits," 11th annual Symposium on computer Applications in the Mineral Industry, Tucson, Avril 1973
7. Korobov, S, "Methods for Determining Optimal Open Pit limits" Rapport technique EP 74-R-4, Ecole Polytechnique Montreal fevrier 1974
8. Lerchs et Grossman, I.F, "Optimum Design of Open Pit Mines", Canadian Min and Met Bull, Vol 58 N° 633 (Janvier 1965

9 - Murchland. J. D., " Rhys's Combinatorial Station Selection Problem " London Graduate School of Business studies, Transport Network Theory Unit, Report L.B.S TNJ -68, 10 Juin 1968

10 - Piccard-Jean Claude, " Maximal Closure of a Graph and Applications to Combinatorial Problems" Management Science, Vol 22, N° 11, Juillet 1976

11 - Piccard, J.C and Ratliff, " Minimum Cuts and Related Problems"

12 - Piccard, J.C and Ratliff H.D, "Minimal Cost cut Equivalent Network", Management Science Vol 19 N° 9 (Mai 73)

13 - RHys, J.M.W, " Shared Fixed Cost and Network Flows" Management Science Vol 17 - N° 3 (Novembre 1970)

CHAPITRE III

LE PROBLEME DE SELECTION APPLIQUÉ A UNE MINE A CIEL OUVERT

Le problème de la fermeture maximale d'un graphe trouve sa principale application dans le génie minier pour la détermination des contours optimaux d'exploitation de la mine.
On divise le gisement en blocs et à chaque bloc, on associe une valeur nette qui représente le profit moins les coûts d'opération, le capital et les coûts fixes. La détermination des contours optimaux d'exploitation est équivalente à déterminer les fermetures maximales dans un graphe où chaque sommet correspond à un bloc et, où il y a un arc (v_i, v_j) du sommet v_i au sommet v_j si pour enlever le bloc associé au sommet v_i, il faut nécessairement enlever au préalable le bloc associé au sommet v_j.
Pour traiter le problème de la mine comme un problème de sélection, il faut d'abord trouver un modèle mathématique qui fixera les différents paramètres d'exploitation, c'est ce qu'on se propose de faire dans les pages qui suivent.

A) CONFIGURATION GEOMETRIQUE DU GISEMENT

Considérons un système d'axes, X, Y, Z

On suppose que le minerai est concentré dans un parallélipède rectangle de dimensions :

N_1 suivant la profondeur (axe Z)

N_2 suivant la longueur (axe Y)

N_3 suivant la largeur (axe X)

On découpe le gisement (I) en blocs d'égales dimensions

x suivant l'axe X

y suivant l'axe Y

z suivant l'axe Z

L'espace occupé par un bloc est donc.

$$v = xyz$$

L'espace occupé par le gisement est :

$$V = N_1 N_2 N_3$$

le nombre de blocs du gisement est :

$$N = \frac{V}{v}$$

le nombre de niveaux du gisement est :

$$N_1' = \frac{N_1}{z}$$

le nombre de blocs suivant la longueur est :

$$N_2' = \frac{N_2}{y}$$

le nombre de blocs suivant la largeur est :

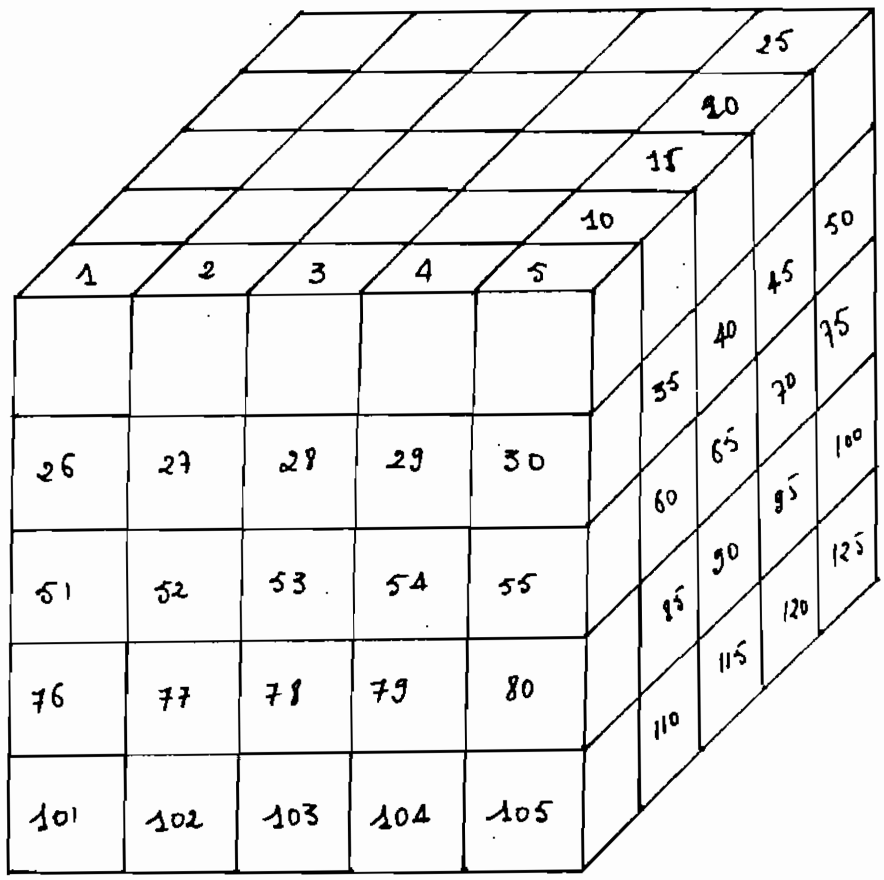
$$N_3' = \frac{N_3}{x}$$

le nombre de blocs à un niveau donné est constant et égal à

$$n = N_2' \times N_3' = \frac{N_2 N_3}{xy}$$

Ainsi on a compartimenté le gisement en blocs. On peut numéroter chaque bloc à partir du premier niveau suivant la position de la case i qu'il occupe suivant l'axe X et suivant la position de la case j qu'il occupe suivant l'axe Y

exemple



Les blocs ainsi numérotés, on peut leur donner à chacun une valeur qui représente la valeur nette du bloc. Cette valeur résulte de:

- Sondages effectués par les géologues pour déterminer la teneur en minerai du bloc

- du traitement à l'usine pour isoler le minerai et le raffiner. Ce traitement dépend des propriétés chimiques du minerai qui peut varier d'un bloc à l'autre en fonction des éléments qui sont combinés au minerai
- des coûts fixes (personnel, entretien, etc ...)
- des coûts d'opération (excavation, manutention etc ...)
- etc ...

La numérotation précédemment définie donne une vue d'ensemble du gisement mais ne permet pas un repérage facile des blocs pour le traitement à l'ordinateur.

Pour avoir un système facile de localisation des blocs, il faut procéder en sorte que tous les blocs puissent être repérés en utilisant les mêmes paramètres.

On a défini les axes X, Y, Z pour localiser un bloc on repère :

- sa position suivant l'axe X donné par i
- sa position suivant l'axe Y donné par j
- sa position suivant l'axe Z donné par k.

Ainsi chaque bloc sera désigné par (i, j, k) avec

$$1 \leq i \leq N'_3$$

$$1 \leq j \leq N'_2$$

$$1 \leq k \leq N'_1$$

Pour l'exemple précédemment traité, le bloc 3 aura les coordonnées $i = 3$; $j = 1$; $k = 1$

école polytechnique de thiès

et le bloc 33 $\quad i = 3 \; ; \; j = 2 \; ; \; k = 2$

- Nouvelle configuration

La configuration ainsi établie bien qu'étant simple de conception présente beaucoup d'inconvénients pour l'utilisation qu'on veut en faire. On définira une autre configuration plus apte à se prêter à l'utilisation projetée et on verra les avantages qu'elle présente par rapport à la configuration géométrique initiale.
On suppose toujours un système d'axes X, Y, Z.
Si on maintient la notation précédemment adoptée, la nouvelle configuration se définit ainsi

- le nombre de niveaux du gisement est :

$$N_1' = \frac{N_1}{z}$$

- le nombre de blocs suivant la longueur, à un niveau k avec $1 \leq k \leq N_1'$ est :

$$N_{2_k}' = \frac{N_2 - 2(k-1)y}{y} \Rightarrow N_{2_k}' = N_2' - 2(k-1) \quad (\mathrm{I})$$

- le nombre de blocs suivant la largeur, à un niveau k donné est :

$$N_{3_k}' = \frac{N_3 - 2(k-1)x}{x} \Rightarrow N_{3_k}' = N_3' - 2(k-1) \quad (\mathrm{II})$$

- le nombre de blocs à un niveau donné est égal à :

$$n = [N_2' - 2(k-1)] \times [N_3' - 2(k-1)] \quad (\mathrm{III})$$

$$\Rightarrow n = N_2' \times N_3' - 2(k-1)(N_2' + N_3') + 4(k-1)^2$$

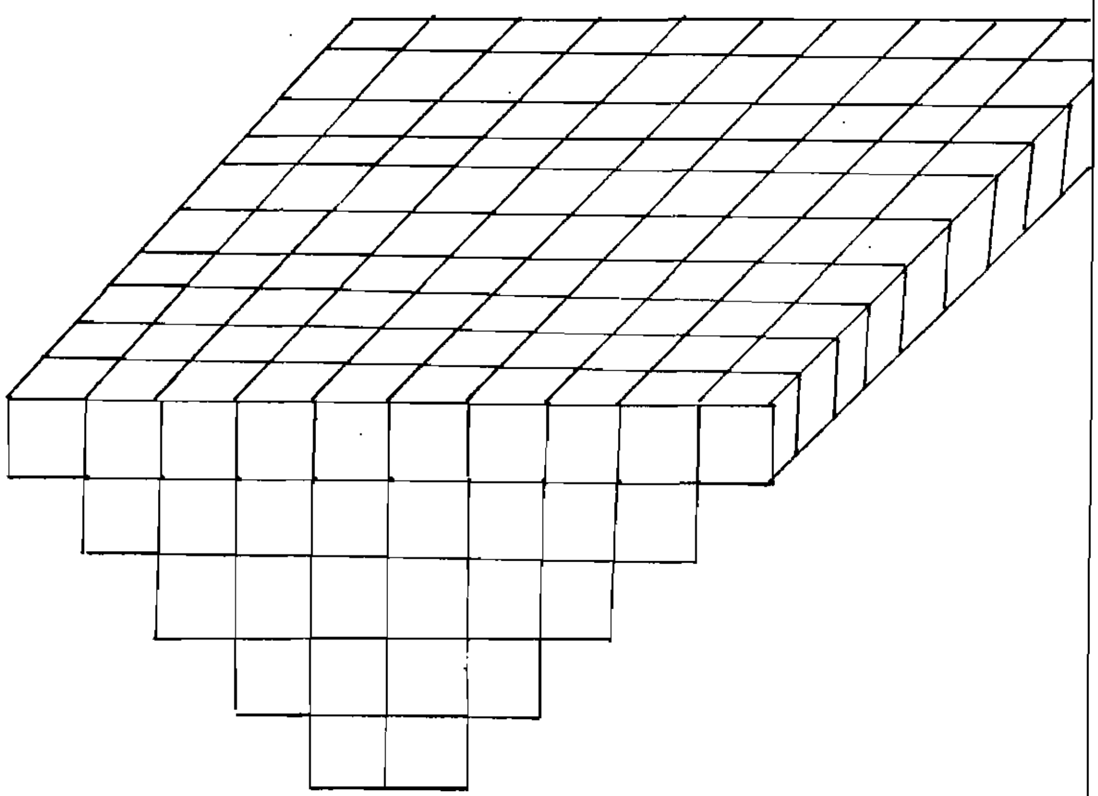
les équations (I) et (II) signifient qu'en passant d'un niveau k à un niveau inférieur $k-1$, alors on diminue.

une rangée de blocs sur tout le pourtour.

La configuration ainsi définie est en escalier le nombre de blocs d'un niveau à un autre suit une regression donnée par les équations (I), (II) et (III)

<u>Numérotation</u> On adopte la même numérotation que pour la configuration initiale

exemple : Voyons sur un exemple comment se présente cette configuration prenons $N_2'' = 10$ $N_3'' = 10$



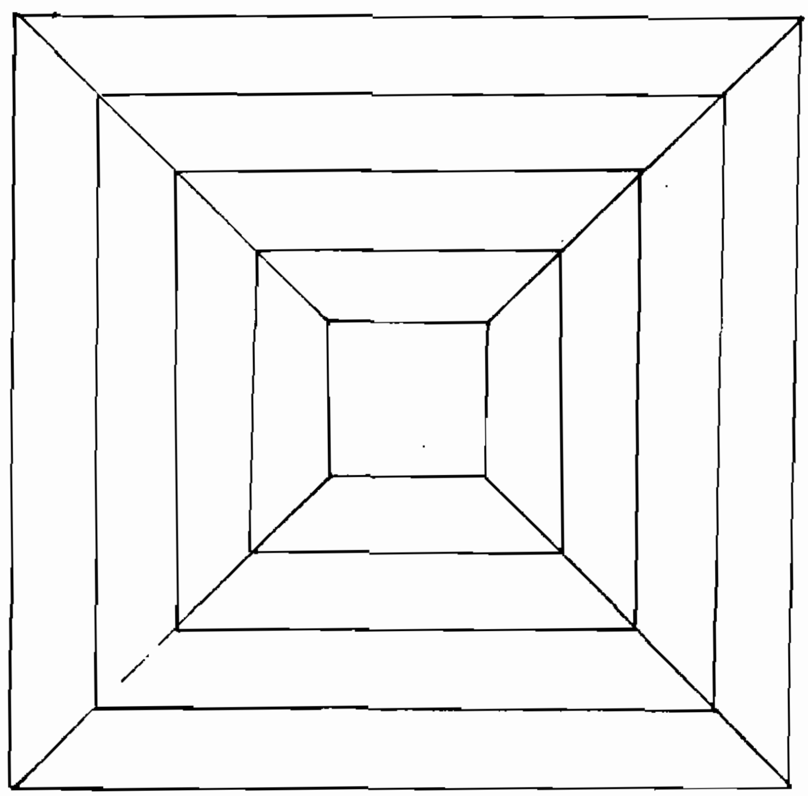
Dans cet ensemble nous avons

- au niveau 1 : 100 blocs
- au niveau 2 : 64 blocs

⋮

- au niveau 5 : 4 blocs.

si on enlevait tous les blocs, on obtiendrait la pyramide renversée suivante.



nombre total de blocs du gisement

le nombre total de blocs se trouvant dans les limites fixées au gisement se calcule ainsi

$$N = \sum_{\alpha=0}^{N_1'-1} (N_2' - 2\alpha)(N_3' - 2\alpha)$$

Contrainte d'exploitation

Définition

La seule contrainte d'exploitation à définir est la suivante : Pour enlever un bloc quelconque situé à un niveau $k > 1$, il faut au préalable enlever les neuf blocs qui se trouvent directement au dessus du bloc considéré.

Remarque : les blocs du niveau $k = 1$ affleurent, il faut qu'il n'y ait pas de contrainte appliqué sur eux.

La contrainte d'exploitation ainsi définie se situe mieux au niveau de la configuration nouvelle qu'à celui de la configuration initiale.

Pour la nouvelle configuration, tous les blocs sont soumis à la même contrainte, exceptés ceux du niveau 1, alors que pour la configuration initiale, tous les blocs se trouvant sur la surface du cube d'exploitation sont soumis à des contraintes différentes entre elles et différentes de la contrainte d'exploitation précédemment définie.

En plus de l'avantage qu'elle procure en uniformisant les contraintes, la nouvelle configuration garantit, quelque soit le bloc enlevé, une pente nécessaire à la stabilité des parois du gisement.

Développement du cône d'exploitation.

Supposons que l'on veuille enlever le bloc b situé à un niveau k, selon l'axe des Z, à une position j suivant l'axe Y et à la position i suivant l'axe X. L'exploitation de ce bloc i, j, k nécessite l'enlèvement des blocs :

$i-1$, $j-1$, $k-1$

i , $j-1$, $k-1$

$i+1$, $j-1$, $k-1$

$i-1$, j , $k-1$

i , j , $k-1$

$i+1$, j , $k-1$

$i-1$, $j+1$, $k-1$

i , $j+1$, $k-1$

$i+1$, $j+1$, $k-1$

On peut formuler cette contrainte sous une autre forme, pour enlever le bloc i, j, k, il faut enlever tous les blocs de coordonnées i, j, k telles que :

$$k - k' = 1$$

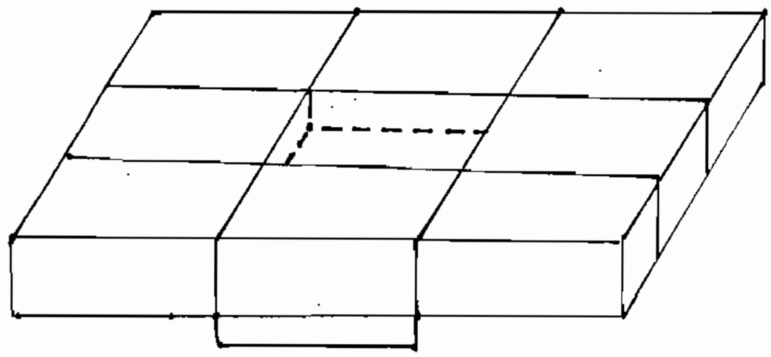
et

$$\begin{cases} i - i' = -1, 0 \text{ ou } -1 \\ j - j' = -1, 0 \text{ ou } -1 \end{cases}$$

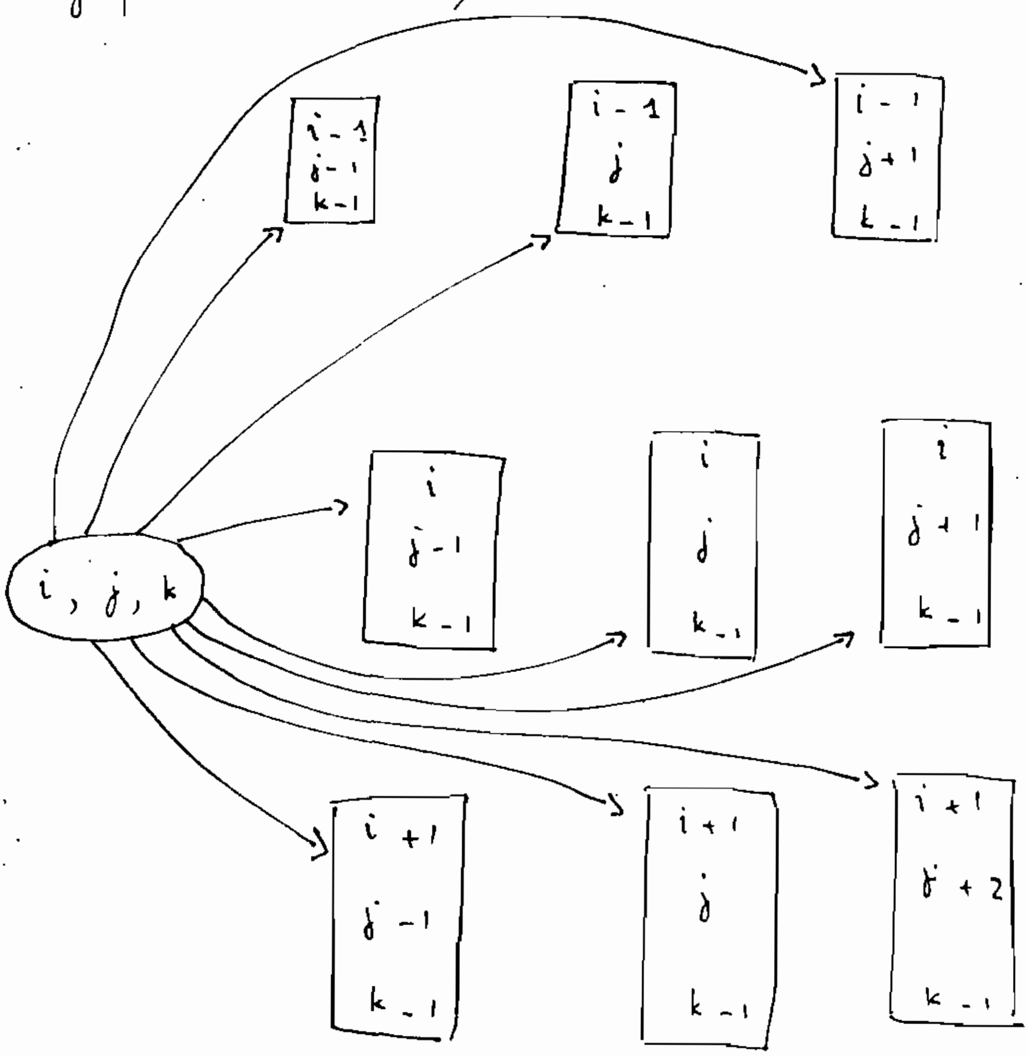
Les différentes combinaisons possibles donnent bien un nombre égal à 9

On peut schématiser ainsi la contrainte d'exploitation

(voir page suivante)



Le graphe obtenu est le suivant :



Pour la représentation matricielle, on obtiendrait :

	i j k	$i-1$ $j-1$ $k-1$	i $j-1$ $k-1$	$i+1$ $j-1$ $k-1$	$i-1$ j $k-1$	i j $k-1$	$i+1$ j $k-1$	$i-1$ $j+1$ $k-1$	i $j+1$ $k-1$	$i+1$ $j+1$ $k-1$
i j k	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$i-1$ $j-1$ $k-1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
i $j-1$ $k-1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$i+1$ $j-1$ $k-1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$i-1$ j $k-1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
i j $k-1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$i+1$ j $k-1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$i-1$ $j+1$ $k-1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
i $j+1$ $k-1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$i+1$ $j+1$ $k-1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

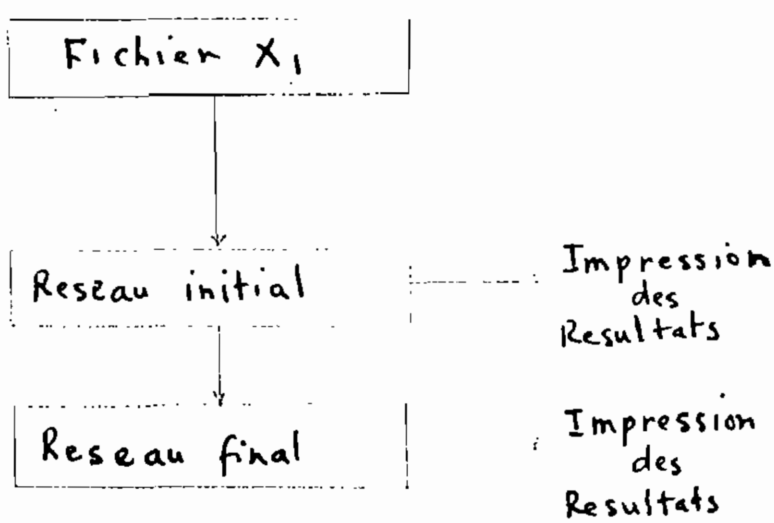
Conclusion

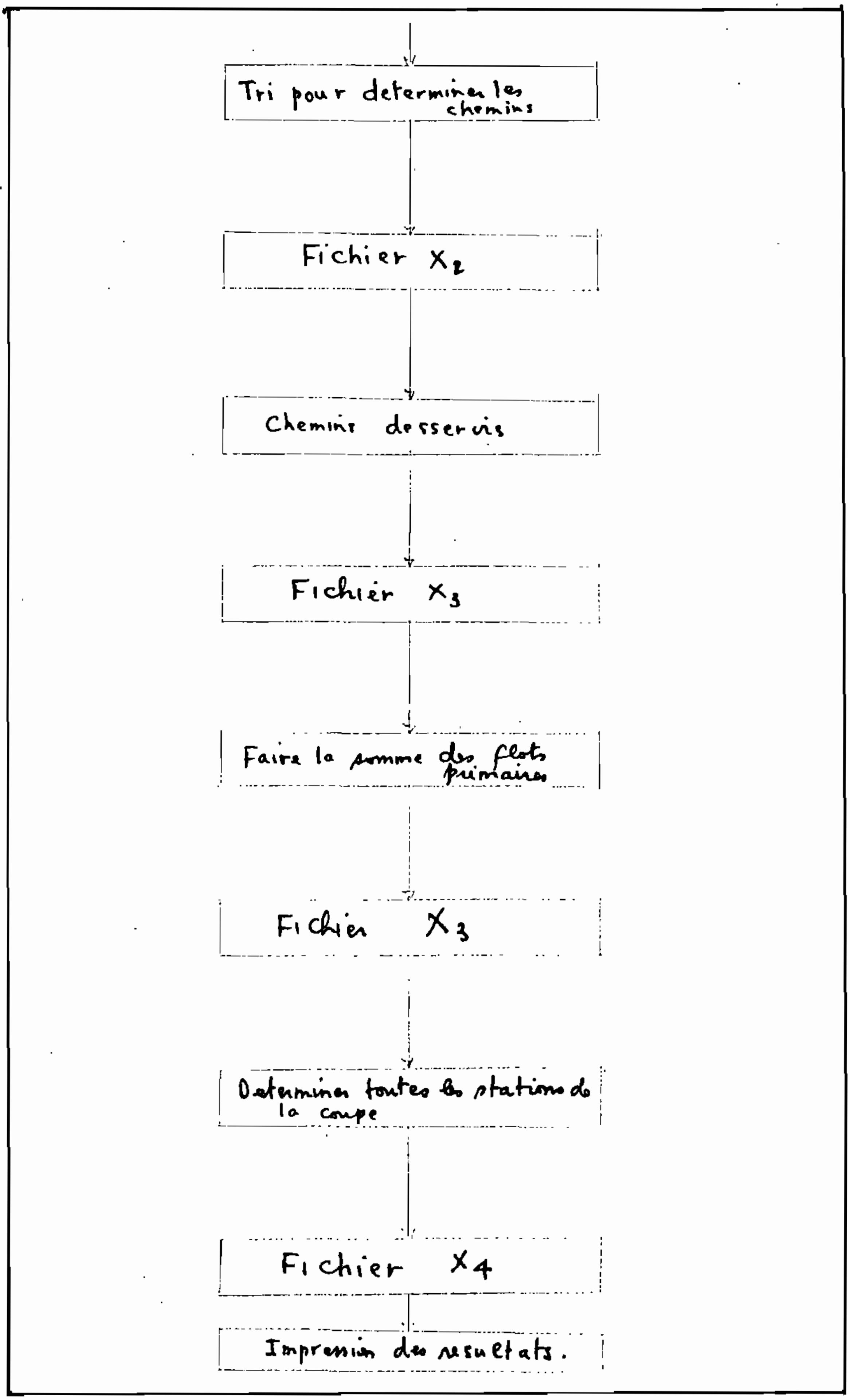
Ce programme est essentiellement un programme de tri. La principale difficulté de l'analyse se trouve au niveau de l'initialisation des differentes valeurs.

Etant donné le volume important de donnée que ce programme est censer traiter, on a un recours à des fichiers sur cassette.

Ce programme etant difficile de conception, on a divisé les etapes de traitement en une serie de programme se communicant les données de l'un à l'autre par l'intermédiaire d'un ou de plusieurs fichiers de données.

L'organigramme de système du programme se presente ainsi :




Tri pour determiner les chemins
Fichier X_2
Chemins desservis
Fichier X_3
Faire la somme des flots primaires
Fichier X_3
Determiner toutes les stations de la coupe
Fichier X_4
Impression des resultats.

Etant donnée la capacite relativement faible de la machine (48 octets), le programme ne pourra pas traiter des données dont le volume dépasse la trentaine. Ceci est du au fait que le programme brasse en même temps trois tableaux à deux dimensions et dont chaque dimension comporte le nombre de blocs de la mine plus deux. Il serait possible de modifier le programme et de n'utiliser que des fichiers. Mais une telle demarche necessite un volume horaire autrement plus appréciable que celui alloué au projet de fin d'étude.

Avec l'extension du centre de calcul dans le cadre de "Prestatech" qui verra l'augmentation de la capacité des machines, alors ce programme pourra traiter des volumes de donneé très grands.

Il serait aussi souhaitable, dans le cadre d'une projection économique à long terme de procéder à une étude de sensibilité. L'application de l'étude de sensibilité à l'ordinateur ne presenterait tout de même qu'un interêt purement didactique ; il suffit tout de simplement de proceder aux modifications en accedant directement au fichiers de données

ANNEXE I

```
0005 REM
0010 REM ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES
0015 REM OBJET: PROJET DE FIN D'ETUDE
0020 REM SUJET : EXPLOITATION OPTIMALE D'UNE MINE A CIEL OUVERT
0025 REM AUTEUR : IBRAHIMA NDIAYE
0030 REM ANNEE  : 5e
0035 REM OPTION : CIVIL
0040 REM DIRECTEUR DE PROJET : J. C. PICARD
0045 REM
0050 REM
0055 REM
0060 PRINT ' AVANT D''ENTRER DANS LE PROGRAMME,VOUS DEVEZ
0065 PRINT ' MARQUER AU MOINS TROIS FICHIERS;SI VOUS NE L'AVEZ'
0070 PRINT ' PAS ENCORE FAIT,ALORS FAITES LE ET APPUYEZ SUR LA'
0075 PRINT ' TOUCHE GO POUR CONTINER LE PROGRAMME,SI LES'
0080 PRINT ' FICHIERS ONT ETE DEJA MARQUES,ALORS POUSSEZ SUR'
0085 PRINT ' GO DIRECTEMENT ET APPUYEZ ENSUITE SUR  EXECUTE
0090 REM
0095 PAUSE
0100 PRINT ' IL Y A COMBIEN DE NIVEAUX '
0105 INPUT N1
0110 REM
0115 PRINT 'NOMBRE DE BLOCS SUIVANT J'
0120 INPUT N2
0125 PRINT 'NOMBRE DE BLOCS SUIVANT I'
0130 INPUT N3
0135 DIM C(22,22)
0140 DIM T(22)
0145 DIM G(22)
0150 DIM P(22)
0155 DIM B(22,22)
0164 DIM F(22)
0165 DIM L(22,22)
0170 PRINT 'SPECIFIER LE FICHIER PHYSIQUE QUI DOIT ETRE
0175 PRINT 'LU PAR LE PROGRAMME '
0180 INPUT O1
0185 OPEN FL0,'ES0',O1,IN
0190 REM CALCULER LE NOMBRE DE BLOCS'
0195 X1=0
0200 X2=N2
0205 X3=N3
0210 FOR K=1 TO N1
0215 A1=X2*X3
0220 X1=X1+A1
0225 X2=X2-2
0230 X3=X3-2
0235 NEXT K
0240 PRINT X1
0245 REM
0250 :
```

```
0250 :................................................................................................
0255 REM PARTIE 1: CREATION DU RESEAU  INITIAL
0260 REM
0265 REM LIRE LES DONNEES
0270 REM
0275 FOR Q=1 TO X1
0280 GET FL0,T(Q),EOF 0285
0285 NEXT Q
0290 REM
0295 REM RENDRE ENTIERES TOUTES LES VALEURS DE BLOCS
0300 REM
0305 REM A4: NOMBRE FRACTIONNAIRE
0310 REM A1: VALEUR ABSOLUE DE LA VALEUR DU BLOC
0315 REM A2:PARTIE ENTIERE DE A1
0320 REM A3: VARIABLE DE STOCKAGE
0325 REM INITIALISATION
0330 A4=1
0335 FOR Q=1 TO X1
0340 A1=ABS(T(Q))
0345 A2=INT(A1)
0350 A3=A1-A2
0355 IF A4>A3 GOTO 0365
0360 GOTO 0375
0365 REM ON RETINT A3
0370 A4=A3
0375 NEXT Q
0380 REM
0385 REM VERIFICATION
0390 REM
0395 IF A4≠0 GOTO 0410
0400 REM TOUTES LES VALEURS DE BLOCS SONT ENTIERES
0405 GOTO 0480
0410 REM I: MULTIPLICATEUR
0415 REM INITIALISATION
0420 I=1
0425 I=10*I
0430 A5=I*A4
0435 REM
0440 IF A5≥1 GOTO 0450
0445 GOTO 0425
0450 REM
0455 REM MULTIPLIER TOUTES LES VALEURS DE BLOCS PAR I POUR
0460 REM LES RENDRE ENTIERES
0465 FOR Q=1 TO X1
0470 T(Q)=I*T(Q)
0475 NEXT Q
0480 REM
0485 CLOSE FL0
0490 REM
0495 REM ON ETABLIT LE RESEAU
0500 REM
0505 FOR K=1 TO N1
0510 L1=K
0515 A2=N2-K+1
0520 FOR J=K TO A2
```

```
0525 L2=J
0530 A3=N3-K+1
0535 FOR I=K TO A3
0540 L3=I
0545 REM
0550 U=U+1
0555 IF K=1 GOTO 0565
0560 GOTO 0625
0565 REM
0570 FOR F=1 TO N1
0575 A4=N2-F+1
0580 FOR G=F TO A4
0585 A5=N3-F+1
0590 FOR H=F TO A5
0595 V=V+1
0600 B(U,V)=0
0605 NEXT H
0610 NEXT G
0615 NEXT F
0620 GOTO 0900
0625 REM
0630 REM LA CONTRAINTE D'EXPLOITATION S'APPLIQUE
0635 REM
0640 FOR F=1 TO N1
0645 REM
0650 IF F≠L1-1 GOTO 0660
0655 GOTO 0705
0660 A4=N2-F+1
0665 FOR G=F TO A4
0670 A5=N3-F+1
0675 FOR H=F TO A5
0680 V=V+1
0685 B(U,V)=0
0690 NEXT H
0695 NEXT G
0700 GOTO 0885
0705 REM
0710 A4=N2-F+1
0715 FOR G=F TO A4
0720 REM
0725 REM
0730 IF G-L2=1 GOTO 0750
0735 IF G-L2=0 GOTO 0750
0740 IF G-L2=-1 GOTO 0750
0745 GOTO 0765
0750 REM
0755 X=1
0760 GOTO 0775
0765 REM
0770 X=0
0775 A5=N3-F+1
0780 FOR H=F TO A5
0785 V=V+1
```

```
0790 REM
0795 REM
0800 IF H-L3=1 GOTO 0820
0805 IF H-L3=0 GOTO 0820
0810 IF H-L3=-1 GOTO 0820
0815 GOTO 0850
0820 REM
0825 IF X=1 GOTO 0835
0830 GOTO 0850
0835 REM
0840 B(U,V)=1
0845 GOTO 0860
0850 REM
0855 B(U,V)=0
0860 REM
0865 NEXT H
0870 REM
0875 NEXT G
0880 REM
0885 NEXT F
0890 REM
0895 REM
0900 V=0
0905 REM ON PREND UN NOUVEAU BLOC
0910 NEXT I
0915 NEXT J
0920 NEXT K
0925 PRINT FLP,'
0930 PRINT FLP,
0935 R$='_'
0940 FOR R=1 TO 3.3*X1
0945 PRINT USING FLP,0950,R$;
0950 :#
0955 NEXT R
0960 PRINT FLP,
0965 PRINT FLP,'           ';
0970 FOR I=1 TO X1
0975 PRINT USING FLP,0980,I;
0980 :I##
0985 NEXT I
0990 PRINT FLP,
0995 FOR R=1 TO 3.3*X1
1000 PRINT USING FLP,1005,R$;
1005 :#
1010 NEXT R
1015 PRINT FLP,
1020 PRINT FLP,
1025 I=0
1030 FOR U=1 TO X1
1035 FOR R=1 TO 3.3*X1
1040 PRINT USING FLP,1045,R$;
1045 :#
1050 NEXT R
1055 PRINT FLP,
1060 I=I+1
```

```
1065 PRINT FLP,I;
1070 FOR V=1 TO X1
1075 PRINT USING FLP,1080,B(U,V);
1080 :###
1085 NEXT V
1090 PRINT FLP,
1095 NEXT U
1100 FOR R=1 TO 3.3*X1
1105 PRINT USING FLP,1110,R$;
1110 :#
1115 NEXT R
1120 PRINT FLP,
1125 :------------------------------------------------------------------------
1130 REM PARTIE 2 : RESEAAU FINAL
1135 REM
1140 M=X1+2
1145 REM
1150 REM INITIALISATION
1155 E=1
1160 D=1
1165 FOR Q=1 TO X1
1170 D=D+1
1175 E=E+1
1180 IF T(Q)≥0 GOTO 1190
1185 GOTO 1220
1190 C(1,E)=1
1195 REM A1:VARIABLE DE STOCKAGE
1200 A1=E
1205 E=M
1210 C(D,E)=0
1215 GOTO 1240
1220 C(1,E)=0
1225 A1=E
1230 E=M
1235 C(D,E)=1
1240 E=A1
1245 NEXT Q
1250 REM
1255 REM
1260 REM ON DRESSE LE TABLEAU FINAL DU RESEAU
1265 REM
1270 FOR U=1 TO X1
1275 D=U+1
1280 FOR V=1 TO X1
1285 REM
1290 REM
1295 REM ON DECALE D'UNE CASE
1300 E=V+1
1305 C(D,E)=B(U,V)
1310 NEXT V
1315 NEXT U
1320 REM
1325 REM ON IMPRIME LE TABLEAU DU RESEAU FINAL
1330 REM
1335 PRINT FLP,'                    ----------RESEAU FINAL------
1340 PRINT FLP,
```

```
1345 REM NUMEROTATION DES BLOCS
1350 REM
1355 FOR R=1 TO 3.3*M
1360 PRINT USING FLP,1365,R$;
1365 :#
1370 NEXT R
1375 PRINT FLP,
1380 PRINT FLP,'      ';
1385 REM
1390 FOR I=1 TO M
1395 PRINT USING FLP,1400,I;
1400 :I##
1405 NEXT I
1410 PRINT FLP,
1415 FOR R=1 TO 3.3*M
1420 PRINT USING FLP,1425,R$;
1425 :#
1430 NEXT R
1435 REM REPOSITIONNER A LA LIGNE SUIVANTE
1440 PRINT FLP,
1445 PRINT FLP,
1450 REM
1455 REM INITIALISATION
1460 I=0
1465 FOR D=1 TO M
1470 FOR R=1 TO 3.3*M
1475 PRINT USING FLP,1480,R$;
1480 :#
1485 NEXT R
1490 PRINT FLP,
1495 REM I: COMPTEUR SUIVANT LES COLONNES
1500 I=I+1
1505 PRINT FLP,I;
1510 FOR E=1 TO M
1515 PRINT USING FLP,1520,C(D,E);
1520 :I##
1525 NEXT E
1530 REM REPOSITIONNER A LA LIGNE SUIVANTE
1535 PRINT FLP,
1540 NEXT D
1545 REM
1550 FOR R=1 TO 3.3*M
1555 PRINT USING FLP,1560,R$;
1560 :#
1565 NEXT R
1570 PRINT FLP,
1575 :------------------------------------------------------------------------------------------
1580 REM PARTIE 3: CAPACITES DES ARCS
1585 REM TABLEAU DES CAPACITES
1590 REM
1595 REM POUR LES CAPACITES DES ARCS INTERIEURS QUI SONT EN
1600 REM PRINCIPE INFINIS,ON VA METTRE LA VALEUR DU FLOT MAX
1605 REM LE PLUS GRAND POSSIBLE
1610 REM CALCUL DU FLOT MAX LE PLUS GRAND POSSIBLE
1615 REM
1620 X2=0
1625 FOR Q=1 TO X1
1630 IF T(Q)<0 GOTO 1640
```

```
1635 GOTO 1650
1640 REM FAIRE LA SOMME DES VALEURS POSITIVES
1645 X2=X2+T(Q)
1650 NEXT Q
1655 REM
1660 REM ON DRESSE LE TABLEAU DES CAPACITES DES ARCS D'ORIGINE
1665 REM ET DE SORTIE
1670 Y=1
1675 Z=1
1680 FOR Q=1 TO X1
1685 Y=Y+1
1690 Z=Z+1
1695 IF T(Q)≥0 GOTO 1705
1700 GOTO 1720
1705 REM LE BLOC EST RELIE A L'ORIGINE
1710 L(1,Z)=T(Q)
1715 GOTO 1750
1720 REM LE BLOC EST RELIE A LA SORTIE
1725 REM A1:VARIABLE DE STOCKAGE
1730 A1=Z
1735 Z=M
1740 L(Y,Z)=-T(Q)
1745 Z=A1
1750 NEXT Q
1755 REM INITIALISATIOM
1760 Y=0
1765 REM CAPACITES DES ARCS INTERMEDIAIRES
1770 FOR D=1 TO M
1775 Y=Y+1
1780 Z=0
1785 FOR E=1 TO M
1790 Z=Z+1
1795 IF C(D,E)=1 GOTO 1805
1800 GOTO 1820
1805 REM IL Y A UN ARC ENTRE LES BLOCS D ET E
1810 IF D=1!E=M GOTO 1820
1815 L(Y,Z)=X2
1820 NEXT E
1825 NEXT D
1830 REM
1835 REM AFFICHAGE DU TABLEAU DES CAPACITES
1840 REM
1845 PRINT FLP,
1850 PRINT FLP,'                    ______TABLEAU_DES_CAPACITES______
1855 PRINT FLP,
1860 FOR R=1 TO 3,3*M
1865 PRINT USING FLP,1870,R$;
1870 :#
1875 NEXT R
1880 PRINT FLP,
1885 REM
1890 REM NUMEROTATION
1895 REM
1900 PRINT FLP,'       ';
1905 FOR I=1 TO M
1910 PRINT USING FLP,1915,I;
1915 :|##
1920 NEXT I
```

```
1925 PRINT FLP,
1930 FOR R=1 TO 3.3*M
1935 PRINT USING FLP,1940,R$;
1940 :#
1945 NEXT R
1950 PRINT FLP,
1955 PRINT FLP,
1960 REM
1965 REM INITIALISATION
1970 I=0
1975 FOR Y=1 TO M
1980 FOR R=1 TO 3.3*M
1985 PRINT USING FLP,1990,R$;
1990 :#'
1995 NEXT R
2000 PRINT FLP,
2005 REM I: COMPTEUR SUIVANT LES COLONNES
2010 I=I+1
2015 PRINT FLP,I;
2020 FOR Z=1 TO M
2025 PRINT USING FLP,2030,L(Y,Z);
2030 :I##
2035 NEXT Z
2040 REM REPOSITIONNER A LA LIGNE SUIVANTE
2045 PRINT FLP,
2050 NEXT Y
2055 REM
2060 FOR R=1 TO 3.3*M
2065 PRINT USING FLP,2070,R$;
2070 :#
2075 NEXT R
2080 PRINT FLP,
2085 :----------------------------------------------------------------------------------------------
2090 REM PARTIE 4:RESOLUTION DU RESEAU
2095 REM
2100 REM TRANSPOSITION DE MATRICES
2105 REM
2110 MAT B=L
2115 REM DEFINITION DE VARIABLES
2120 REM F: TABLEAU VARIABLE POUR LOCALISER LES STATIONS SE
2125 REM TROUVANT SUR LE MEME CHEMINEMENT
2130 REM J: COMPTEUR
2135 REM S: VALEUR DU FLOT ENVOYE SUR UN MEME CHEMIN
2140 REM X3 : FLOT MAX
2145 X3=0
2150 REM X4: NOMBRE DE STATIONS FAISANT PARTIE DE CHEMINS
2155 REM DESSERVIS PAR UN FLOT
2160 X4=0
2165 REM PREPARER LES FICHIERS POUR LE TRAITEMENT DES DONNEES
2170 PRINT 'QUEL EST LE NUMERO DE FICHIER UTILISE POUR '
2175 PRINT 'RECEVOIR LES STATIONS SE TROUVANT SUR LES CHEMINS
2180 PRINT 'DETERMINES,ET LA VALEUR DES FLOTS CORRESPONDANTS
2185 INPUT O2
2190 REM
2195 PRINT 'QUEL EST LE NUMERO DE FICHIER UTILISE POUR LE
2200 PRINT 'TRAITEMENT INTERMEDIARE'
2205 INPUT O3
```

```
2210 REM
2215 REM ETAPE 1 DE LA PARTIE 4: DETERMINER TOUS LES CHEMINS
2220 REM SUR LESQUELS UN FLOT A ETE ENVOYE ET CALCULER LA
2225 REM VALEUR DU FLOT MAX
2230 REM
2235 REM K:COMPTEUR DU NOMBRE DE CHEMINS
2240 REM INITIALISATION
2245 K=0
2250 FOR Z=1 TO M
2255 REM REPERER TOUS LES ARCS AYANT POUR ORIGINE L'ENTREE
2260 REM (CORRESPONDANT A LA CASE 1),ET Y ENVOYER UN FLOT
2265 REM QUI SERA BORNE PAR LA CAPACITE DE L'ARC
2270 REM
2275 REM INITIALISATION
2280 G=0
2285 A6=0
2290 A5=0
2295 IF L(1,Z)≠0 GOTO 2305
2300 GOTO 3135
2305 REM INITIALISATION
2310 Y=1
2315 REM OUVRIR LE FICHIER 03
2320 OPEN FL3,'E80',03.OUT
2325 REM INITIALISATION
2330 A7=0
2335 REM POUR CHAQUE NOUVEAU ESSAI DE CHEMINEMENT REPOSITIONNER
2340 REM LE FICHIER A SON DEBUT
2345 RESET FL3
2350 REM CONSIDERER DANS UN PREMIER TEMPS QUE LE FLOTEST EGAL
2355 REM A LA CAPACITE DE L'ARC DETERMINE
2360 REM A1:VARIABLE DE STOCKAGE
2365 A1=L(1,Z)
2370 REM INITIALISATION
2375 J=1
2380 REM A3:VARIABLE DE STOCKAGE
2385 A3=Z
2390 REM POUR L'ARC CONSIDERE REPERER LA STATION AMONT
2395 F(J)=Y
2400 J=J+1
2405 F(J)=Z
2410 REM POUR POUVOIR CHEMINER,IL FAUT QUE LA STATION AVAL DE
2415 REM LA STATION DETERMINEE CORRESPONDE A LA STATION AMONT
2420 REM DE LA STATION SUIVANTE SE TROUVANT SUR LE CHEMIN
2425 Y=Z
2430 REM INITIALISATION
2435 Z=0
2440 Z=Z+1
2445 IF Z≠M GOTO 2455
2450 GOTO 2555
2455 REM VERIFIER S'IL EXISTE UN ARC ENTRE LES DEUX STATIONS
2460 IF L(Y,Z)≠0 GOTO 2480
2465 REM IL N'Y A PAS D'ARC ENTRE LES DEUX STATIONS
2470 REM ESSAYER UNE AUTRE STATION
2475 GOTO 2440
2480 REM
2485 REM G: VARIABLE DE CONTROLE
2490 REM
2495 REM
2500 IF G≠Z GOTO 2510
```

```
2505 GOTO 2440
2510 REM H:VARIABLE DE CONTROLE
2515 H=Z
2520 PUT FL3,H
2525 A7=A7+1
2530 REM
2535 J=J+1
2540 F(J)=Z
2545 REM CONTINUER LE CHEMINEMENT
2550 GOTO 2410
2555 REM LA SORTIE EST ATTEINTE
2560 CLOSE FL3
2565 IF L(Y,Z)≠0 GOTO 2655
2570 REM IL N'Y A PAS D'ARC QUI ABOUTIT A LA SORTIE
2575 REM
2580 REM ESSAYER UN AUTRE CHEMINEMENT
2585 REM
2590 IF A7≠0 GOTO 2600
2595 GOTO 3130
2600 OPEN FL3,'E80',03,IN
2605 FOR I=1 TO A7
2610 GET FL3,H,EOF 2615
2615 NEXT I
2620 CLOSE FL3
2625 G=H
2630 Z=A3
2635 GOTO 2305
2640 REM IL EXISTE AU MOINS UN CHEMIN QUI MENE DE LA SOURCE A
2645 REM LA SORTIE
2650 REM A8: VARIABLE DE CONTROLE
2655 A8=A8+1
2660 J=J+1
2665 F(J)=Z
2670 REM VERIFIER SI LE FLOT ENVOYE N'EST PAS SUPERIEUR A LA
2675 REM CAPACITE DE L'ARC DETERMINE
2680 IF A1=L(Y,Z) GOTO 2690
2685 GOTO 2735
2690 REM LA CAPACITE ET LE FLOT SONT EGAUX
2695 A6=0
2700 S=A1
2705 REM L'ARC EST SATURE
2710 L(Y,Z)=0
2715 REM L'ARC D'ENTREE EST AUSS SATURE
2720 Z=A3
2725 L(1,Z)=0
2730 GOTO 2800
2735 IF A1>L(Y,Z) GOTO 2745
2740 GOTO 2825
2745 REM ON DOIT DIMINUER LE FLOT ENVOYE
2750 S=L(Y,Z)
2755 L(Y,Z)=0
2760 Z=A3
2765 REM CALCULER LE FLOT ADDITIONNEL QUI POURRAIT ETRE ENVOYE
2770 REM SUR CET ARC
2775 REM
2780 L(1,Z)=A1-S
2785 OPEN FL3,'E80',03,IN
2790 GET FL3,H,EOF 2795
2795 Z=H
2800 Y=A3
```

```
2805 L(Y,Z)=0
2810 CLOSE FL3
2815 A6=1
2820 GOTO 2880
2825 REM LE FLOT ENVOYE EST INFERIEUR A LA CAPACITE DE L'ARC
2830 REM DE SORTIE
2835 S=A1
2840 REM INITIALISATION
2845 A6=0
2850 REM CALCULER LE FLOT ADDITIONNEL QUI POURRAIT ETRE ENVOYE
2855 REM SUR L'ARC DE SORTIE
2860 L(Y,Z)=L(Y,Z)-A1
2865 REM L'ARC D'ENTREE EST SATURE
2870 Z=A3
2875 L(1,Z)=0
2880 REM
2885 REM STOCKAGE DES STATIONS DU CHEMIN DANS LE FICHIER ET
2890 REM AFFICHAGE
2895 REM REPERER LE NOMBRE DE STATIONS CONTENUES DANS LE
2900 REM CHEMIN
2905 A2=J
2910 REM
2915 K=K+1
2920 PRINT FLP,
2925 PRINT FLP,
2930 PRINT FLP,'____________________________________________________________________';
2935 PRINT FLP,'____________________________'
2940 PRINT USING FLP,2945,K;
2945 :LE_CHEMIN_NUMERO_##_EST
2950 OPEN FL2,'E80',02,OUT
2955 IF A8≠1 GOTO 2965
2960 GOTO 2970
2965 RESET FL2END
2970 FOR J=1 TO A2
2975 X4=X4+1
2980 PUT FL2,F(J)
2985 PRINT FLP,F(J);
2990 NEXT J
2995 PRINT FLP,
3000 PRINT FLP,'____________________________________________________________________';
3005 PRINT FLP,'____________________________'
3010 REM
3015 PRINT FLP,
3020 PRINT FLP,
3025 REM
3030 PRINT USING FLP,3035
3035 :__________________________________________________________
3040 PRINT FLP,'LE_FLOT_CORRESPONDANT_EST',
3045 PRINT FLP,S
3050 PRINT USING FLP,3055
3055 :__________________________________________________________
3060 PUT FL2,S
3065 X4=X4+1
3070 CLOSE FL2
3075 REM
3080 PRINT FLP,
3085 PRINT FLP,
3090 REM
3095 REM CALCUL DU FLOT MAX
```

```
3100 REM
3105 REM
3110 X3=X3+S
3115 REM VERIFIER SI L'ARC EST SATURE
3120 IF A6≠1 GOTO 3130
3125 GOTO 2305
3130 Z=A3
3135 NEXT Z
3140 REM
3145 REM AFFICHAGE DE LA VALEUR DU FLOT MAX
3150 REM
3155 PRINT FLP,
3160 PRINT FLP,
3165 PRINT USING FLP,3170
3170 :__________________________________________________
3175 PRINT FLP,'LA_VALEUR_DU_FLOT_MAX_EST  : ',
3180 PRINT FLP,X3
3185 PRINT USING FLP,3170
3190 REM
3195 REM VERIFIER S'IL Y A AU MOINS UN CHEMIN QUI MENE DE LA
3200 REM SOURCE A LA SORTIE
3205 IF A8≠0 GOTO 3220
3210 GOTO 5000
3215 REM
3220 :__________________________________________________________________________
3225 REM ETAPE 2 DE LA PARTIE 4 :DETERMINER LA COUPE MINIMALE
3230 REM VALEUR MAXIMALE PAR L'ALGORITHME DE FORD ET
3235 REM FULKERSON
3240 REM
3245 REM MARQUAGE
3250 REM 1) MARQUAGE DES SOMMETS DES ARCS AYANT POUR ORIGINE
3255 REM L'ENTREE ET SUR LESQUELS UN FLOT NON NUL A ETE
3260 REM ENVOYE
3265 REM
3270 REM ON DETERMINE TOUS LES ARCS NON SATURES ET ON LES MARQUE
3275 REM
3280 REM
3285 REM PREPARER LES FICHIERS UTILISES POUR LE TRAITEMENT DES
3290 REM DONNEES ET LE STOCKAGE DES RESULTATS
3295 REM
3300 PRINT 'INTRODUIRE LE NUMERO DE FICHIER QUE VOUS AVEZ'
3305 PRINT 'CHOISI POUR RECEVOIR LES STATIONS FAISANT '
3310 PRINT 'PARTIE DE LA COUPE ET QUI SONT RELIEES A L''ORIGINE'
3315 INPUT O4
3320 REM
3325 REM
3330 OPEN FL2,'E80',O2,IN
3335 REM J:COMPTEUR DU NOMBRE DE STATIONS DESSERVIES PAR UN FLOT
3340 REM ET QUI SONT RELIEES A L'ENTREE
3345 REM A4:VARIABLE POUR CONTROLER LA FIN DU FICHIER O2
3350 REM INITIALISATION
3355 J=0
3360 A4=0
3365 REM A5:VARIABLE DE CONTROLE POUR REPERER LES STATIONS
3370 REM RELIEES A L'ENTREE ET QUI SONT DESSERVIES
3375 A5=0
3380 GET FL2,F,EOF 3385
3385 A4=A4+1
3390 IF F=M GOTO 3455
```

```
3395 IF A5=1 GOTO 3435
3400 IF F=1 GOTO 3410
3405 GOTO 3380
3410 REM L'ENTREE A ETE REPEREE DANS LE FICHIER,REPERER LE
3415 REM SOMMET SUIVANT
3420 REM
3425 A5=1
3430 GOTO 3380
3435 REM A3:VARIABLE DE CONTROLE
3440 REM
3445 A3=F
3450 GOTO 3365
3455 REM
3460 REM LA FIN D'UN CHEMIN A ETE ATTEINTE, REPERER L'ELEMENT
3465 REM SUIVANT DANS LE FICHIER QUI EST LE FLOT ENVOYE SUR
3470 REM CE CHEMIN
3475 REM
3480 GET FL2,S,EOF 3485
3485 A4=A4+1
3490 REM
3495 J=J+1
3500 T(J)=A3
3505 REM
3510 REM
3515 IF A4<X4 GOTO 3365
3520 REM
3525 REM
3530 CLOSE FL2
3535 REM
3540 REM
3545 REM REPERER LE NOMBRE DE STATIONS DESSERVIES PAR UN FLOT ET
3550 REM QUI SONT DIRECTEMENT RELIEES A L'ENTREE
3555 O6=J
3560 REM X6:NOMBRE D'ELEMENTS GARDES DANS LE FICHIER
3565 REM INITIALISATION
3570 X6=0
3575 FOR J=1 TO O6
3580 REM O7:FLOT INDIVIDUEL=SOMME DES FLOTS PRIMAIRES SUR
3585 REM CHAQUE ARC
3590 O7=0
3595 OPEN FL2,'E80',O2,IN
3600 REM A4:VARIABLE POUR CONTROLER LA FIN DU FICHICR O2
3605 A4=0
3610 REM A5:VARIABLE DE CONTROLE POUR REPERER LES STATIONS
3615 REM RELIEES A L'ENTREE ET QUI SONT DESSERVIES
3620 A5=0
3625 GET FL2,F,EOF 3630
3630 A4=A4+1
3635 IF F=M GOTO 3700
3640 IF A5=1 GOTO 3680
3645 IF F=1 GOTO 3655
3650 GOTO 3625
3655 REM L'ENTREE A ETE REPEREE DANS LE FICHIER,REPERER LE
3660 REM SOMMET SUIVANT
3665 REM
3670 A5=1
3675 GOTO 3625
```

```
3680 REM A3: VARIABLE DE CONTROLE
3685 REM
3690 A3=F
3695 GOTO 3610
3700 REM
3705 REM LA FIN D'UN CHEMIN A ETE ATTEINT,REPERER L'ELEMENT
3710 REM SUIVANT DANS LE FICHIER QUI EST LE FLOT ENVOYE SUR
3715 REM CE CHEMIN
3720 REM
3725 GET FL2,S,EOF 3730
3730 A4=A4+1
3735 REM VERIFIER SI LA STATION EST LA MEME QUE CELLE
3740 REM CONSIDEREE DANS L'ITTERATION
3745 IF A3=T(J) GOTO 3755
3750 GOTO 3765
3755 REM FAIRE LA SOMME DES FLOTS PRIMAIRES SUR LES ARCS
3760 O7=O7+S
3765 REM VERIFIER SI LA FIN DU FICHIER EST ATTEINTE
3770 REM
3775 IF A4<X4 GOTO 3610
3780 CLOSE FL2
3785 OPEN FL4,'E80',O4,OUT
3790 IF J≠1 GOTO 3800
3795 GOTO 3810
3800 REM
3805 RESET FL4END
3810 REM VERIFIER SI LA CAPACITE DE L'ARC EST EGALE AU FLOT
3815 REM ENVOYE
3820 V=T(J)
3825 IF B(1,V)≠O7 GOTO 3835
3830 GOTO 3845
3835 PUT FL4,V
3840 X6=X6+1
3845 CLOSE FL4
3850 NEXT J
3855 REM
3860 REM
3865 REM :MARQUAGE DES SOMMETS DES ARCS AYANT POUR ORIGINE
3870 REM L'ENTREE ET QUI NE SONT PAS DESSERVIS
3875 REM
3880 REM OUVRIR LE FICHIER O4
3885 REM
3890 OPEN FL4,'E80',O4,OUT
3895 RESET FL4END
3900 FOR E=1 TO M
3905 IF C(1,E)=1 GOTO 3915
3910 GOTO 3995
3915 REM IL Y A UN ARC ENTRE L'ENTREE ET LE SOMMET CONSIDERE
3920 REM
3925 REM A3:VARIABLE DE CONTROLE
3930 REM INITIALISATION
3935 A3=0
3940 FOR J=1 TO O6
3945 IF E=T(J) GOTO 3955
3950 GOTO 3970
3955 REM LA STATION CONSIDEREE EST DEJA DANS LE FICHIER OU ELLE
3960 REM EST RELIEE A L'ENTREE PAR UN ARC SATURE
```

```
3965 A3=1
3970 NEXT J
3975 REM VERIFIER LA VALEUR DE A3
3980 IF A3=1 GOTO 3995
3985 PUT FL4,E
3990 X6=X6+1
3995 NEXT E
4000 REM
4005 REM
4010 CLOSE FL4
4015 REM TRANSPOSER LE CONTENU DU FICHIER 04 DANS LE FICHIER 02
4020 REM
4025 REM
4030 OPEN FL4,'E80',04,IN
4035 FOR J=1 TO X6
4040 GET FL4,T(J),EOF 4045
4045 NEXT J
4050 CLOSE FL4
4055 REM
4060 REM GARDER DANS LE FICHIER 02
4065 OPEN FL2,'E80',02,OUT
4070 REM L'ENTREE FAIT PARTIE DE LA COUPE
4075 REM
4080 PUT FL2,1
4085 REM
4090 FOR J=1 TO X6
4095 PUT FL2,T(J)
4100 REM
4105 NEXT J
4110 CLOSE FL2
4115 REM
4120 REM
4125 REM
4130 REM ETAPE 3:DETERMINER LES AUTRS SOMMETS DE LA COUPE
4135 REM
4140 REM A PARTIR DES SOMMETS RELIES A L'ENTREE ET QUI ONT ETE
4145 REM MARQUES,ON MARQUE TOUS LES SOMMETS ADJACENTS
4150 REM
4155 REM OUVRIR LE FICHIER 04
4160 REM
4165 OPEN FL4,'E80',04,IN
4170 REM
4175 REM
4180 REM
4185 REM K:COMPTEUR
4190 REM H:VARIABLE DE CONTROLE
4195 REM INITIALISATION
4200 H=0
4205 FOR K=1 TO X6
4210 GET FL4,F,EOF 4215
4215 REM P: VARIABLE DE STOCKAGE
4220 P(1)=F
4225 REM A6:NOMBRE DE STATIONS ADJACENTES A LA STATION
4230 REM CONSIDEREE ET QU'IL FAUT MARQUER
4235 REM INITIALISATION
4240 A6=1
```

```
4245 REM I:COMPTEUR
4250 REM J:COMPTEUR
4255 REM A7:VARIBLE DE CONTROLE
4260 REM INITIALISATION
4265 I=0
4270 J=0
4275 A7=0
4280 REM
4285 I=I+1
4290 D=P(I)
4295 REM
4300 IF D≠1 GOTO 4310
4305 GOTO 4480
4310 REM
4315 FOR E=1 TO M
4320 IF C(D,E)≠0 GOTO 4330
4325 GOTO 4395
4330 REM IL Y A UN ARC ENTRE LES SOMMETS CONSIDERES
4335 IF E≠M GOTO 4350
4340 REM LA SORTIE EST ATTEINTE
4345 GOTO 4395
4350 REM LA STATION E FAIT PARTIE DE LA COUPE
4355 J=J+1
4360 T(J)=E
4365 REM
4370 REM
4375 H=H+1
4380 G(H)=T(J)
4385 A7=1
4390 REM
4395 NEXT E
4400 IF I=A6 GOTO 4415
4405 REM L'ITTERATION CONTINUE
4410 GOTO 4285
4415 REM TOUTES LES STATIONS DIRECTEMENT ADJACENTES A LA STATION
4420 REM CONSIDEREE ONT ETE DEJA MARQUEES
4425 REM
4430 IF A7≠0 GOTO 4440
4435 GOTO 4480
4440 REM ON MARQUE LES STATIONS ADJACENTES A CELLES DEJA
4445 REM MARQUEES
4450 A6=J
4455 MAT P=T
4460 REM
4465 GOTO 4260
4470 REM
4475 REM
4480 NEXT K
4485 REM
4490 CLOSE FL4
4495 REM
4500 REM ETAPE 4 :DETERMINER LA VALEUR DE LA COUPE MINIMALE
4505 REM
4510 REM METTRE TOUTES LES STATIONS FAISANT PARTIE DE LA COUPE
4515 REM DANS LE MEME FICHIER
4520 OPEN FL4,'E80',O4,OUT
```

```
4525 RESET FL4END
4530 REM REPERER LA VALEUR DE H
4535 A3=H
4540 FOR H=1 TO A3
4545 PUT FL4,G(H)
4550 NEXT H
4555 CLOSE FL4
4560 REM
4565 REM FAIRE LE TRI DES ELEMENTS GARDES DANS LE FICHIER
4570 REM POUR N'AVOIR QU'UNE SEULE FOIS LA MEME STATION
4575 REM
4580 OPEN FL4,'E80',04,IN
4585 REM REPERER LE NOMBRE D'ELEMENTS DANS LE FICHIER 04(X7)
4590 REM
4595 X7=X6+H
4600 REM
4605 REM J:COMPTEUR
4610 REM T: STATIONS FAISANT PARTIE DE LA COUPE
4615 REM S:COMPTEUR VARIABLE
4620 REM INITTIALISATION
4625 T(1)=0
4630 S=1
4635 FOR I=1 TO X7
4640 K=1
4645 GET FL4,F,EOF 4650
4650 REM INITTIALISATION
4655 A5=0
4660 REM VERIFIER SI LA STATION F NE FIGURE DEJA DANS LE
4665 REM TABLEAU T
4670 FOR J=1 TO S
4675 REM
4680 IF F=T(J) GOTO 4690
4685 GOTO 4695
4690 A5=1
4695 NEXT J
4700 REM
4705 IF A5≠1 GOTO 4715
4710 GOTO 4780
4715 REM METTRE LA STATION DANS LE TABLEAU T
4720 IF J=1 GOTO 4730
4725 GOTO 4745
4730 T(J)=F
4735 REM K.VARIABLE DE CONTROLE
4740 K=0
4745 REM PROGRESSER D'UN PAS
4750 J=J+1
4755 REM S AUGMENTE DE VALEUR
4760 S=J
4765 IF K=1 GOTO 4775
4770 GOTO 4780
4775 T(J)=F
4780 NEXT I
4785 CLOSE FL4
4790 REM
4795 REM IMPRESSION DES STATIONS QUI FONT PARTIE DE LA COUPE
4800 REM DETERMINEE
4805 REM
4810 PRINT FLP,
4815 PRINT FLP,'LES_BLOCS_FAISANT_PARTIE_DE_LA_COUPE_SONT ';
```

```
4820 PRINT FLP,'LES_SUIVANIS  :'
4825 PRINT FLP,
4830 FOR J=1 TO S
4835 PRINT FLP,T(J);
4840 NEXT J
4845 PRINT FLP,
4850 PRINT FLP,
4855 REM
4860 REM ON DETERMINE LA VALEUR DE LA COUPE MINIMALE A FERMETURE
4865 REM MAXIMALE
4870 REM
4875 REM RAPPEL X1:NOMBRE DE BLOCS QUE COMPORTE LA MINE
4880 OPEN FL0,'E80',01,IN
4885 FOR I=2 TO X1
4890 GET FL0,F(I),EOF 4895
4895 NEXT I
4900 CLOSE FL0
4905 REM
4910 REM N: VALEUR DE LA COUPE MINIMALE
4915 REM INITIALISATION
4920 N=0
4925 FOR J=1 TO S
4930 FOR I=2 TO X1
4935 IF T(J)=I GOTO 4945
4940 GOTO 4950
4945 N=N+F(I)
4950 NEXT I
4955 NEXT J
4960 REM
4965 REM IMPRESSION DE LA VALEUR DE LA COUPE
4970 REM
4975 PRINT FLP,
4980 PRINT FLP,'LA_VALEUR_DE_LA_COUPE_MINIMALE_QUI_OPTIMISE
4985 PRINT FLP,'L''EXPLOITATION_DE_LA_MINE_EST                  ';
4990 PRINT FLP,N
4995 GOTO 5085
5000 REM
5005 REM IL N'Y A PAS DE FLOT
5010 REM TOUTES LES STATIONS FONT PARTIE DE LA COUPE
5015 REM
5020 OPEN FL0,'E80',01,IN
5025 REM INITIALISATION
5030 N=0
5035 FOR I=1 TO X1
5040 GET FL0,H,EOF 5045
5045 N=N+H
5050 NEXT I
5055 CLOSE FL0
5060 REM AFFICHER LA VALEUR DE LA COUPE MINIMALE
5065 PRINT FLP,
5070 PRINT FLP,'LA_VALEUR_DE_LA_COUPE_MINIMALE_QUI_OPTIMISE
5075 PRINT FLP,'L''EXPLOITATION_DE_LA_MINE_EST                  ';
5080 PRINT FLP,N
5085 END
```

RESEAU INITIAL

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0

TABLEAU_DES_CAPACITES

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	0	0	0	2	3	0	0	3	2	1	4	3	2	1	2	1	2	3	5	6	5	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	45	45	45	0	45	45	45	0	45	45	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	45	45	45	0	45	45	45	0	45	45	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	45	45	45	0	45	45	45	0	45	45	45	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	45	45	45	0	45	45	45	0	45	45	45	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

LE_CHEMIN_NUMERO_ 1_EST	: 1	18	2	22

LE_FLOT_CORRESPONDANT_EST 3

LE_CHEMIN_NUMERO_ 2_EST	: 1	19	3	22

LE_FLOT_CORRESPONDANT_EST 5

LE_CHEMIN_NUMERO_ 3_EST	: 1	20	6	22

LE_FLOT_CORRESPONDANT_EST 6

LE_CHEMIN_NUMERO_ 4_EST	: 1	21	7	22

LE_FLOT_CORRESPONDANT_EST 5

LA_VALEUR_DU_FLOT_MAX_EST : 19

LES_BLOCS_FAISANT_PARTIE_DE_LA_COUPE_SONT LES_SUIVANTS :

4 5 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17

LA_VALEUR_DE_LA_COUPE_MINIMALE_QUI_OPTIMISE
L'EXPLOITATION_DE_LA_MINE_EST : 26

Annexe II

ORDINOGRAMME

détermination du contour optimal d'exploitation d'une mine

calculer le nombre de blocs — A(1)

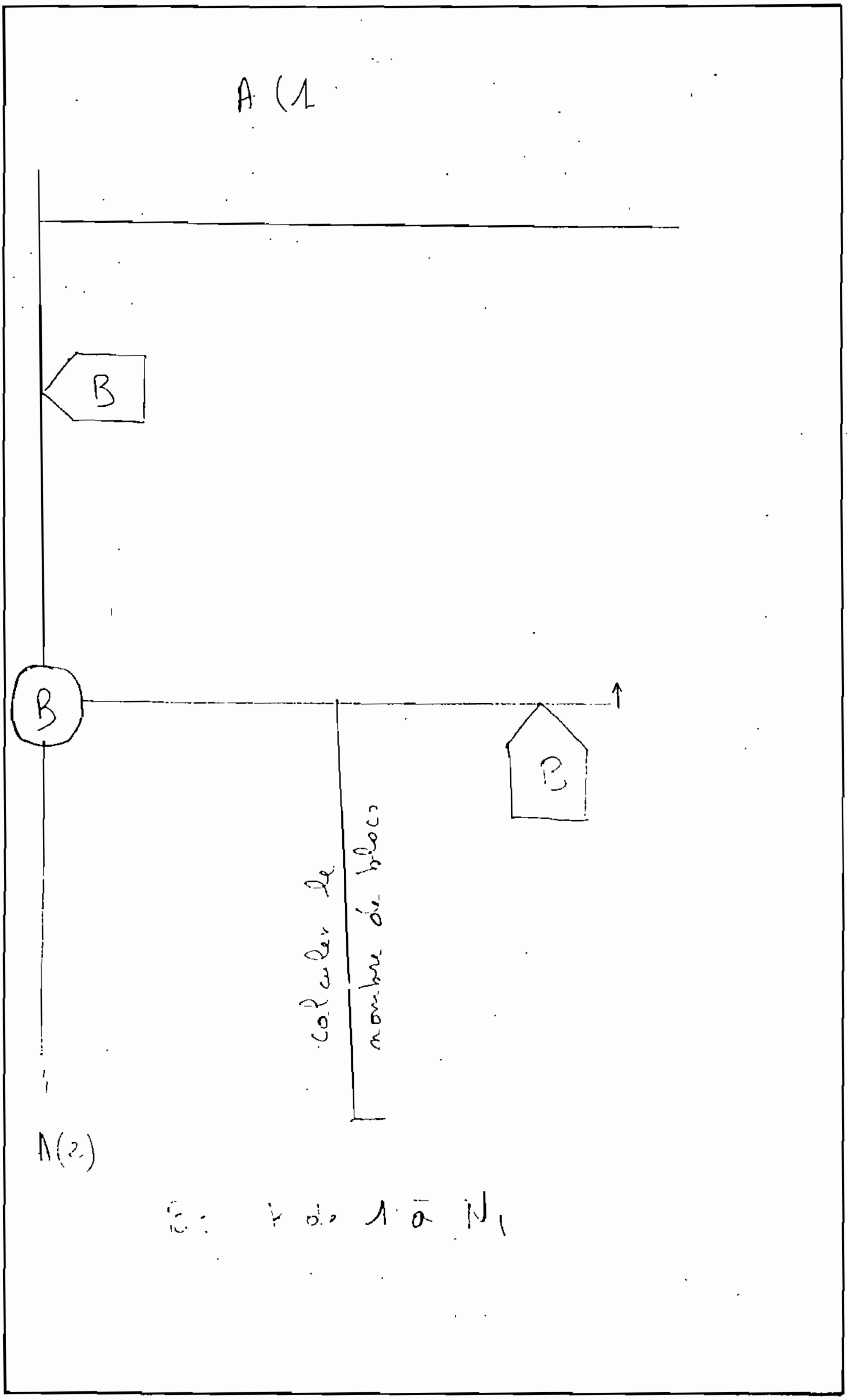
création du reseau initial — A(2)

Création du reseau final — A(3)

Capacités des arcs — A(4)

Resolution du reseau — A(5)

(A)



A (1
B
B
B
calculer le nombre de blocs
N(2)
E: F do 1 à N1

A (2)

reseau initial

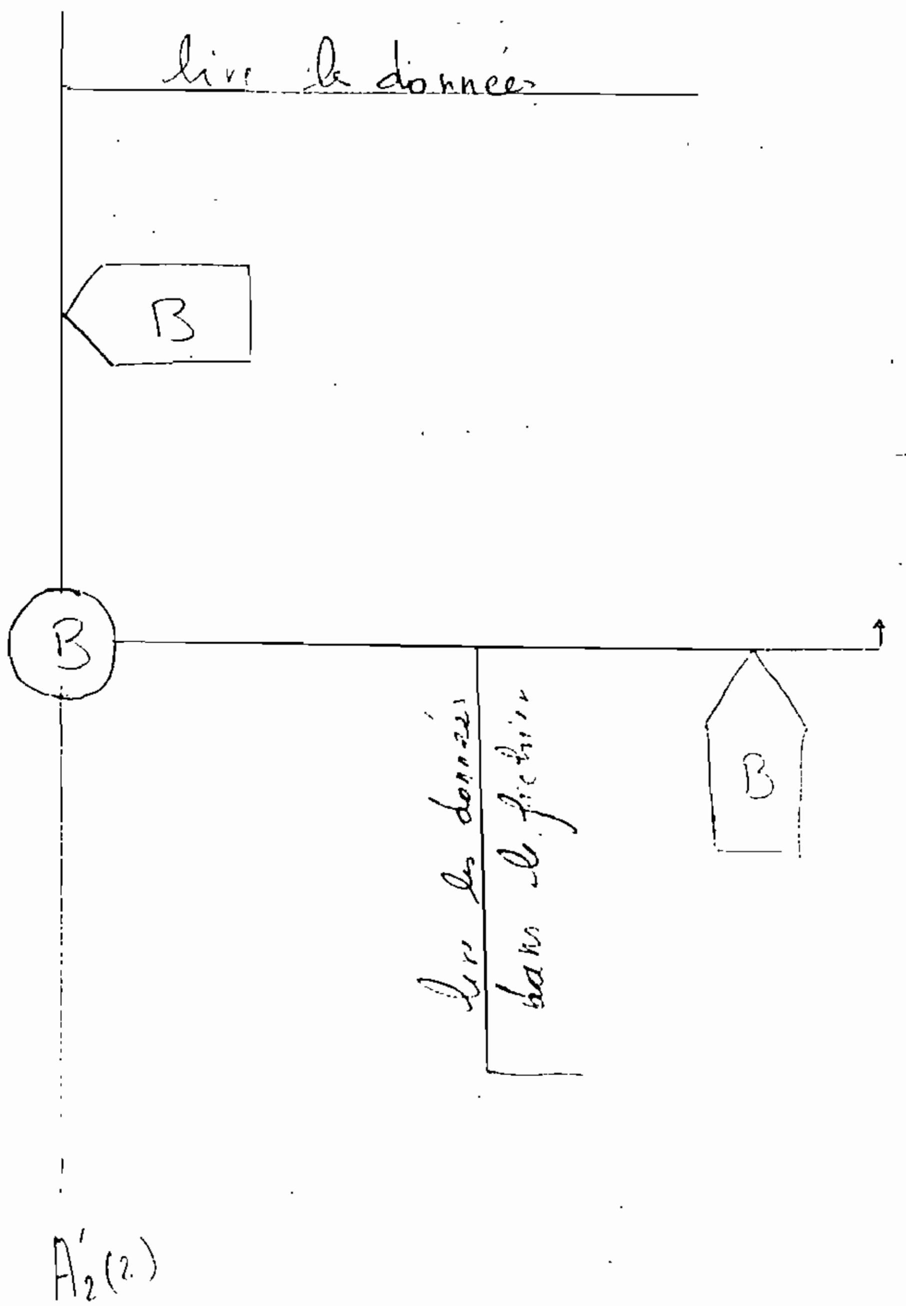
lire les donnees N° (1)

rendre entiere toutes les valeurs de blocs

etablir le reseau

impression des resultats

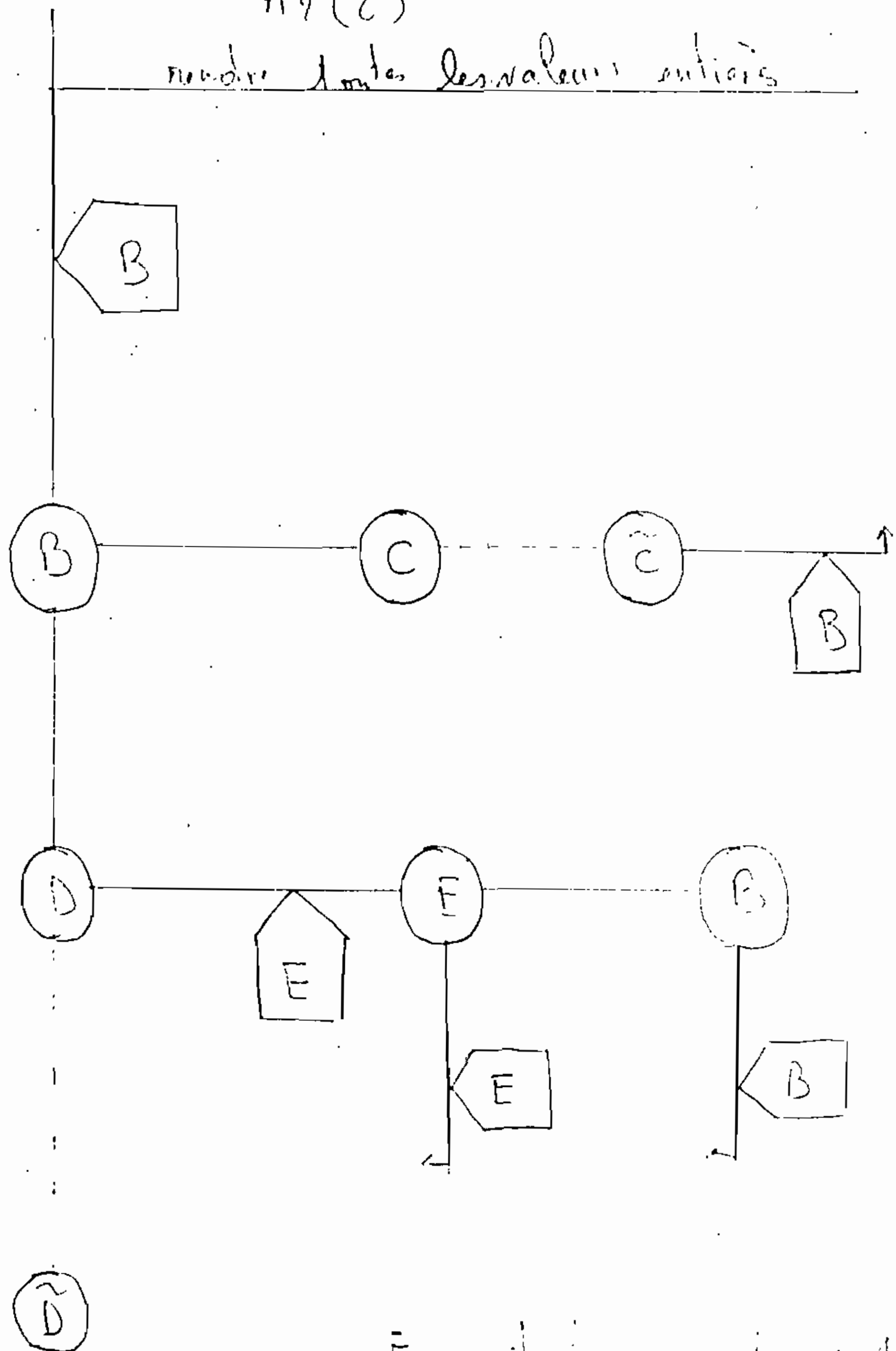
A'_2 (1)



B : Q de 1 à X 1

A'_7 (2)

rendre toutes les valeurs entières

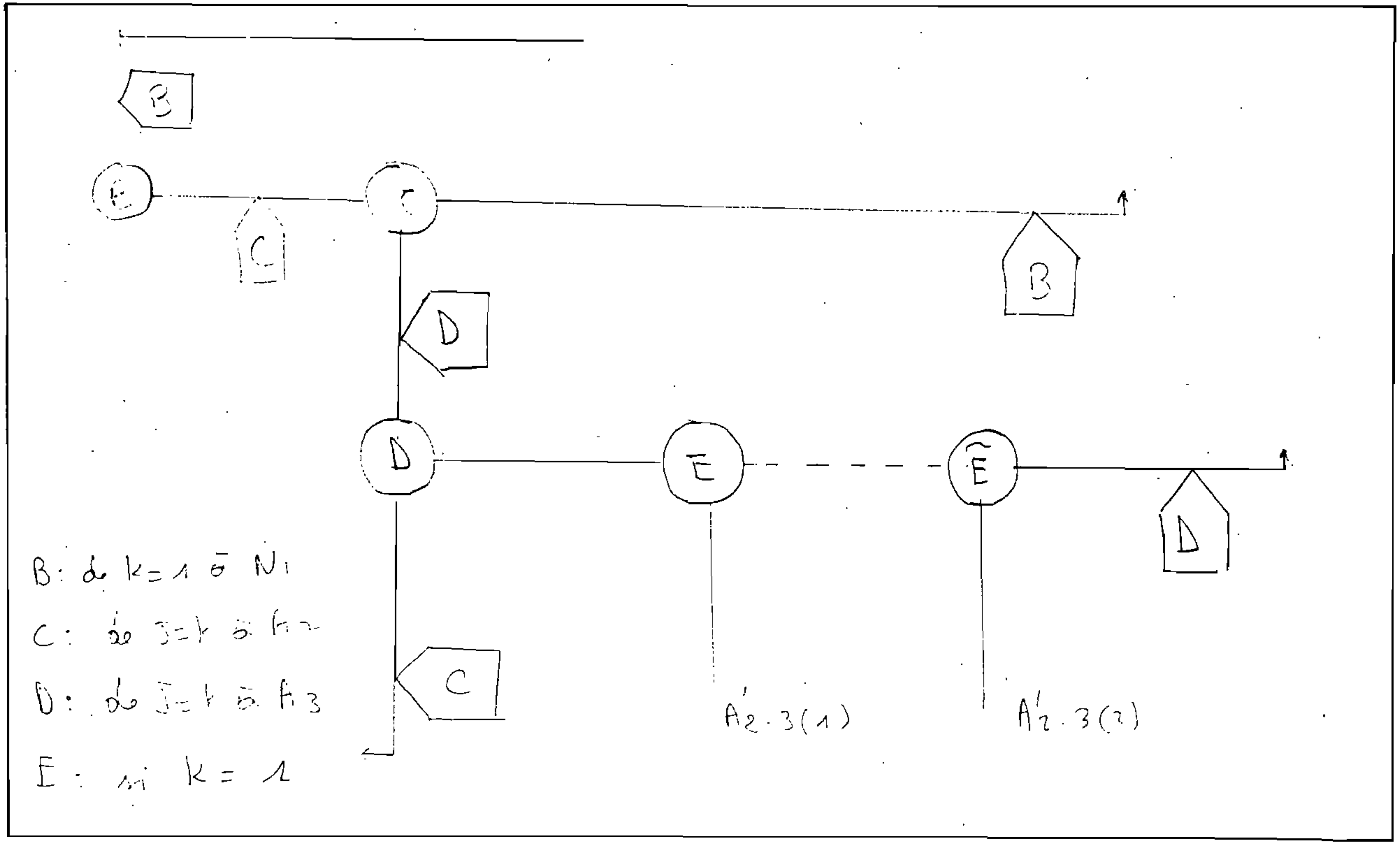


E : tant que r ≤ 1

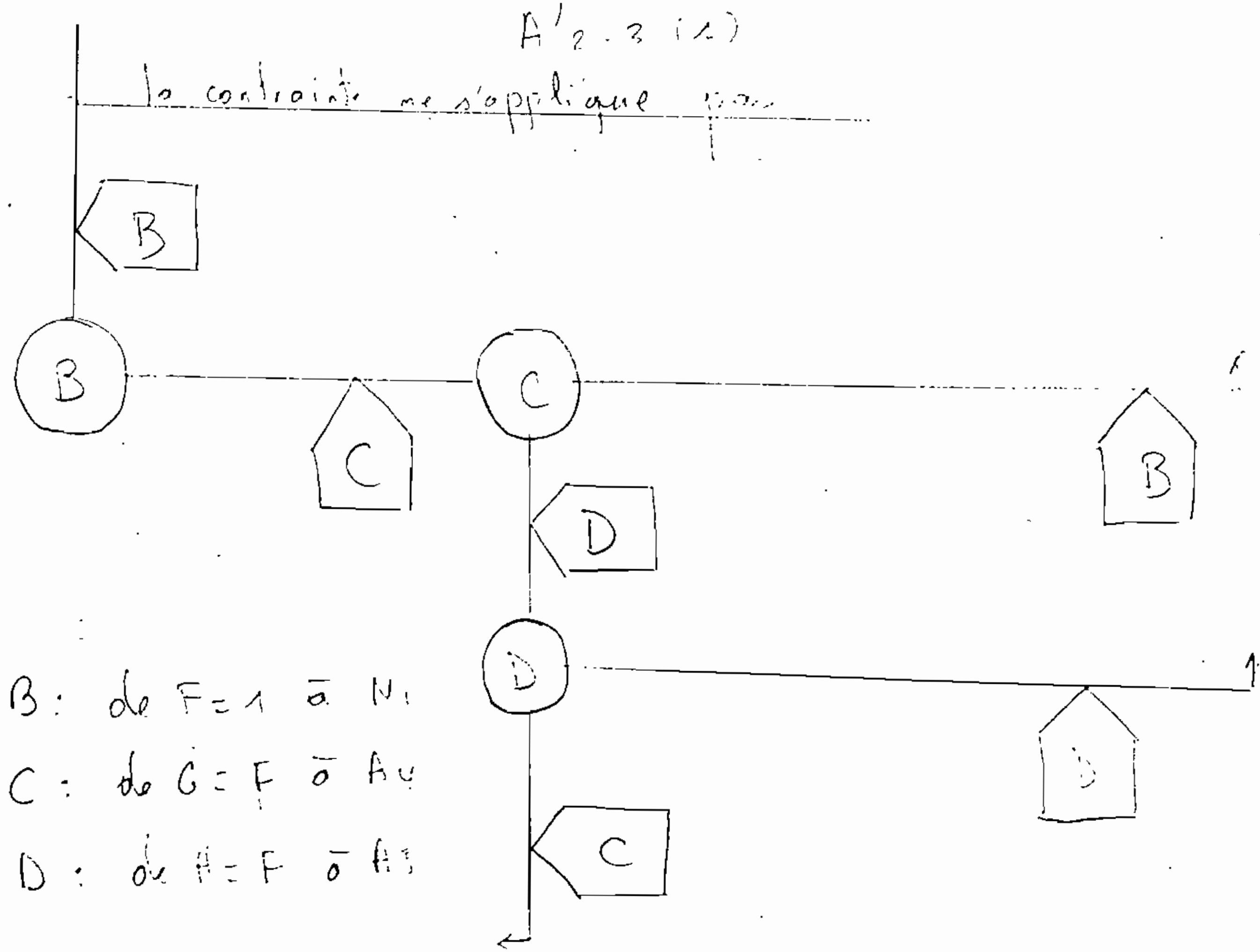
B : de m = 1 à X1

D : si r ≠ 0

C : si $A_1 > A_3$


B
E
C
D
D
E
Ẽ
B
D
C
B: do k=1 à N1
C: do j=k à A2
D: do j=k à A3
E: si k = 1
A'2.3(1)
A'2.3(2)

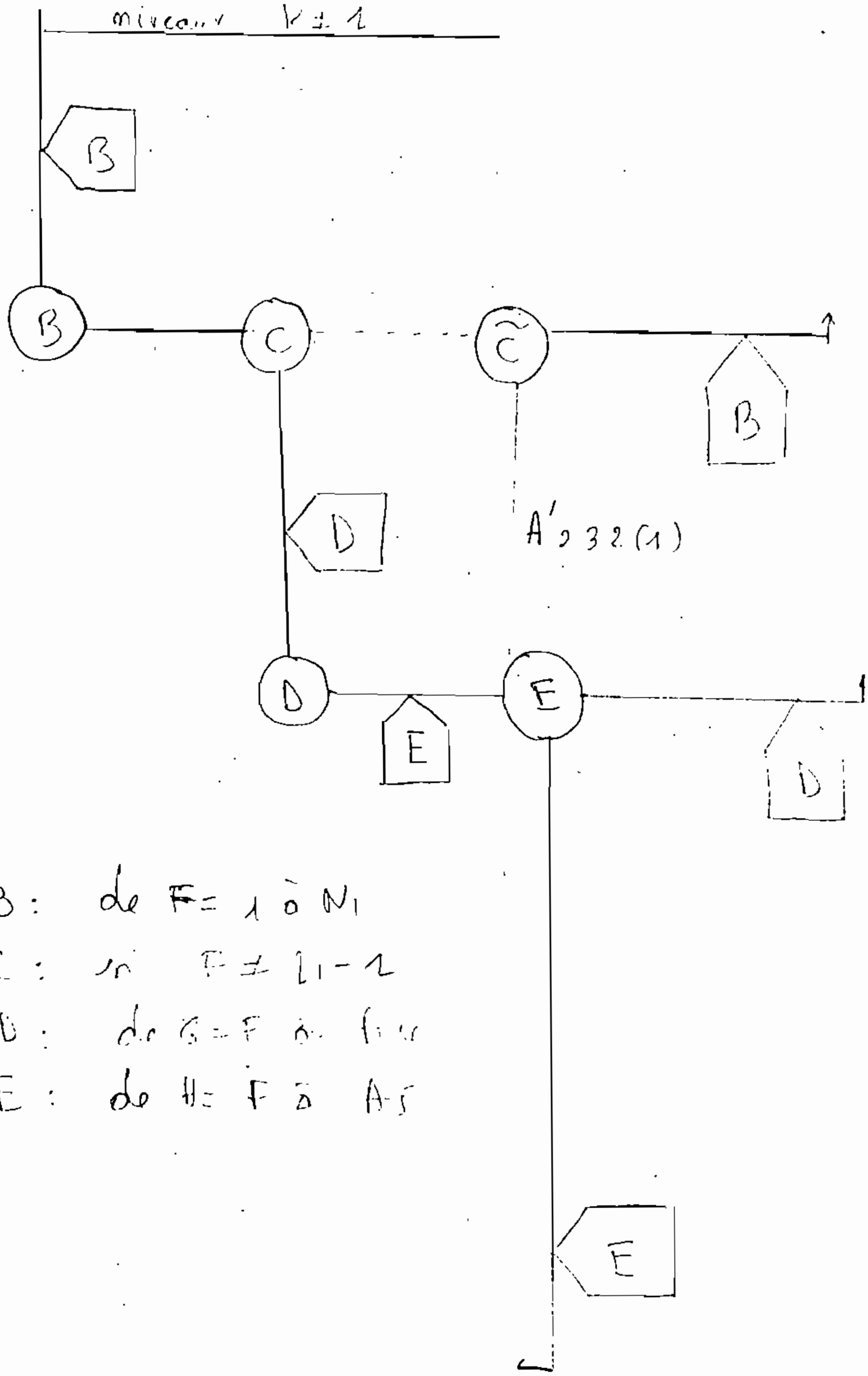
$A'_{2.3}$ (1)



B : de F = 1 ā N1

C : de G = F ō A4

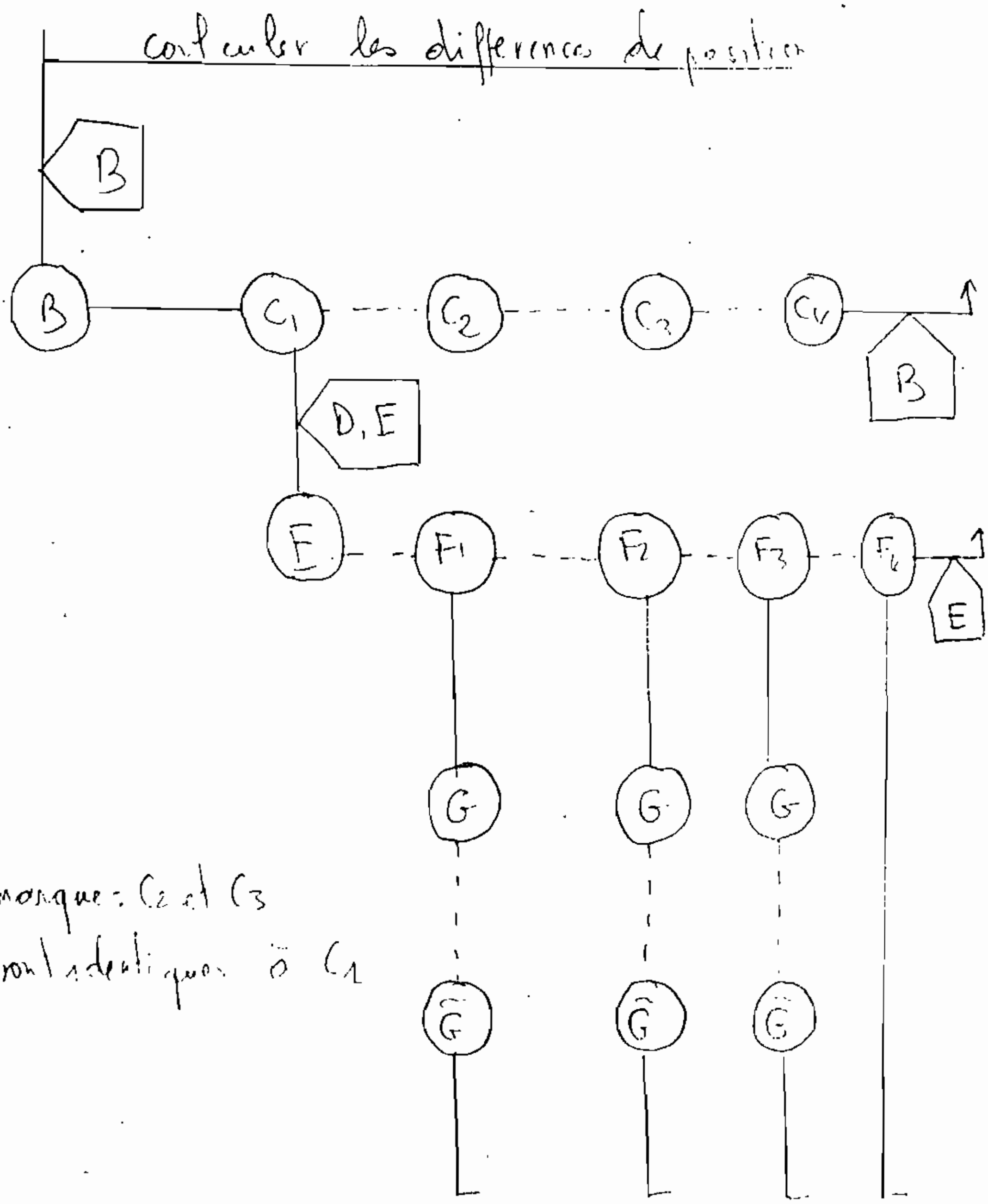
D : de H = F ō A3



B : de F = 1 à N1
C : si F ≠ N1 - 1
D : de G = F à fin
E : de H = F à A5

A'2-3-2 (1)

calculer les différences de position



Remarque : C_2 et C_3 sont identiques à C_1

F_1 : si $H - L_3 = 1$

F_2 : si $H - L_3 = 0$

F_3 : si $H - L_3 = -1$

F_4 sinon

B : de $G = F$ à A_4

E : de $H = F$ à A_4

D : $X = 1$

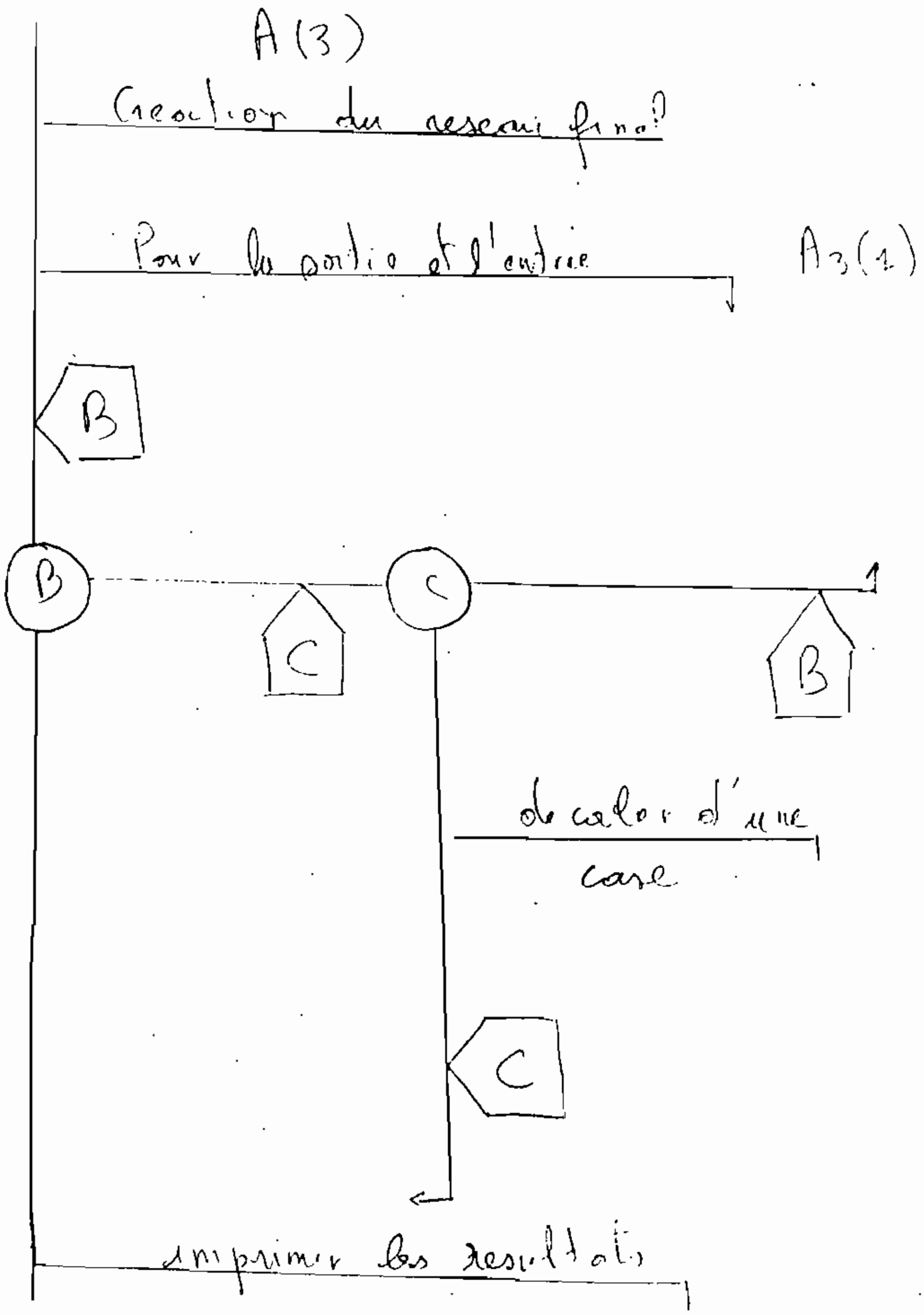
C_1 : si $G - L_2 = 1$

C_2 : si $G - L_2 = 0$

C_3 : si $G - L_2 = -1$

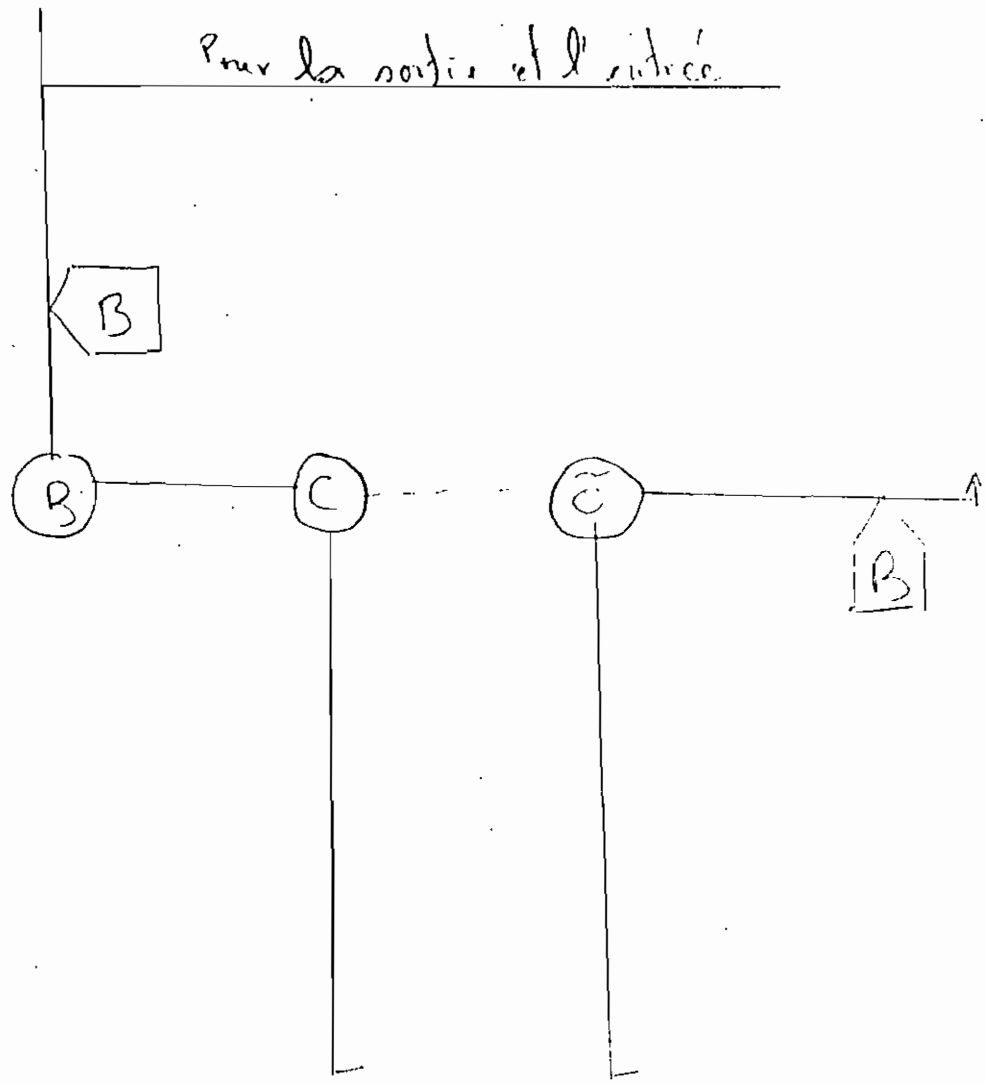
C_4 sinon

G_1 si $X_1 = 1$



B: de U = 1 à X_1
C: de V = 1 à X_1

A3 (1)



B : de 0 à 1 [illegible]

C : si $T(a) \geq 0$

A4 PARTIE 4 : Resolution du réseau

Déterminer le chemins desservis — A4 (1)

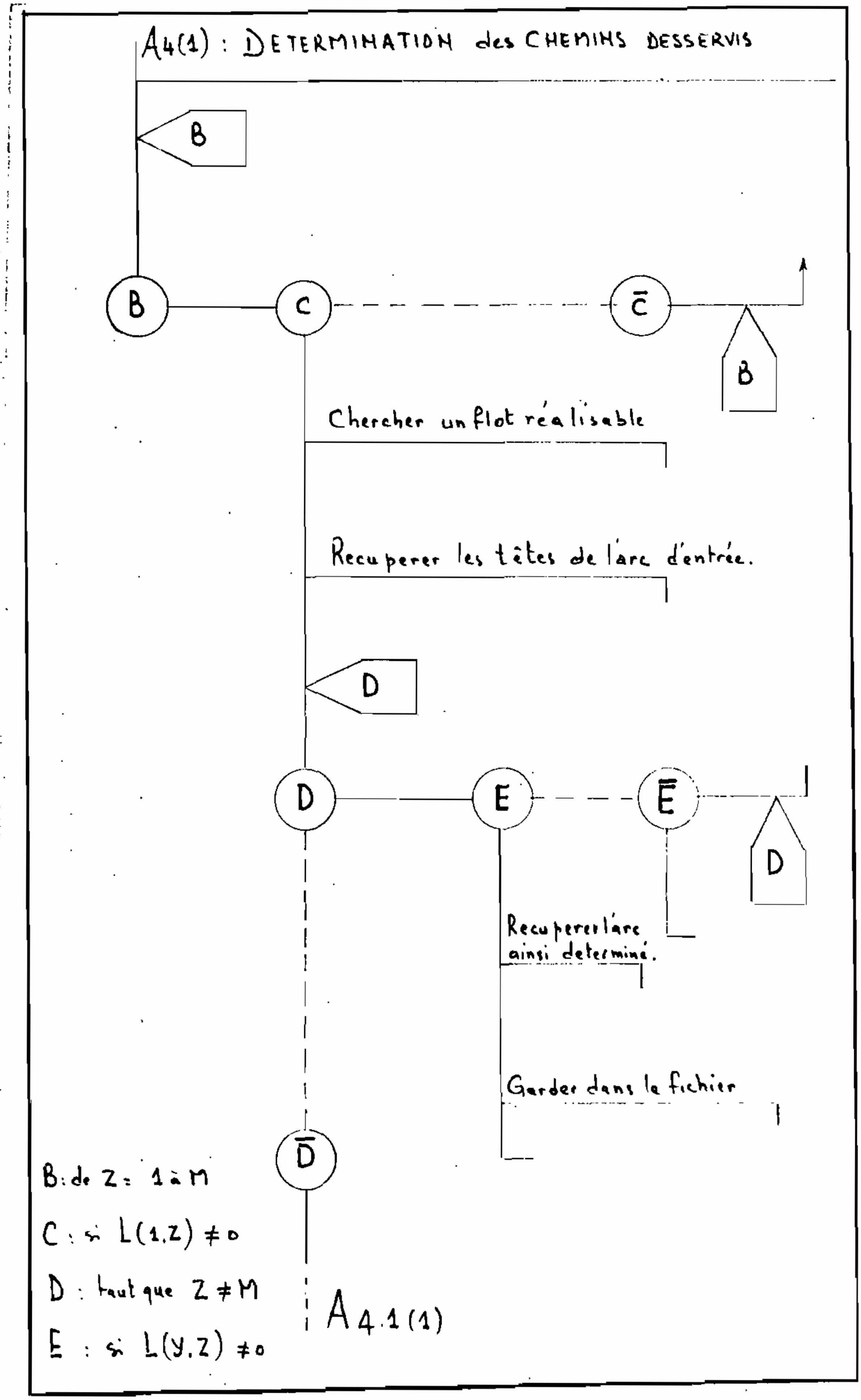
Faire la somme des flots individuels — A4 (2)

Marquage des sommets reliés à l'origine sur lesquels un flot non nul a été envoyé. — A4 (3)

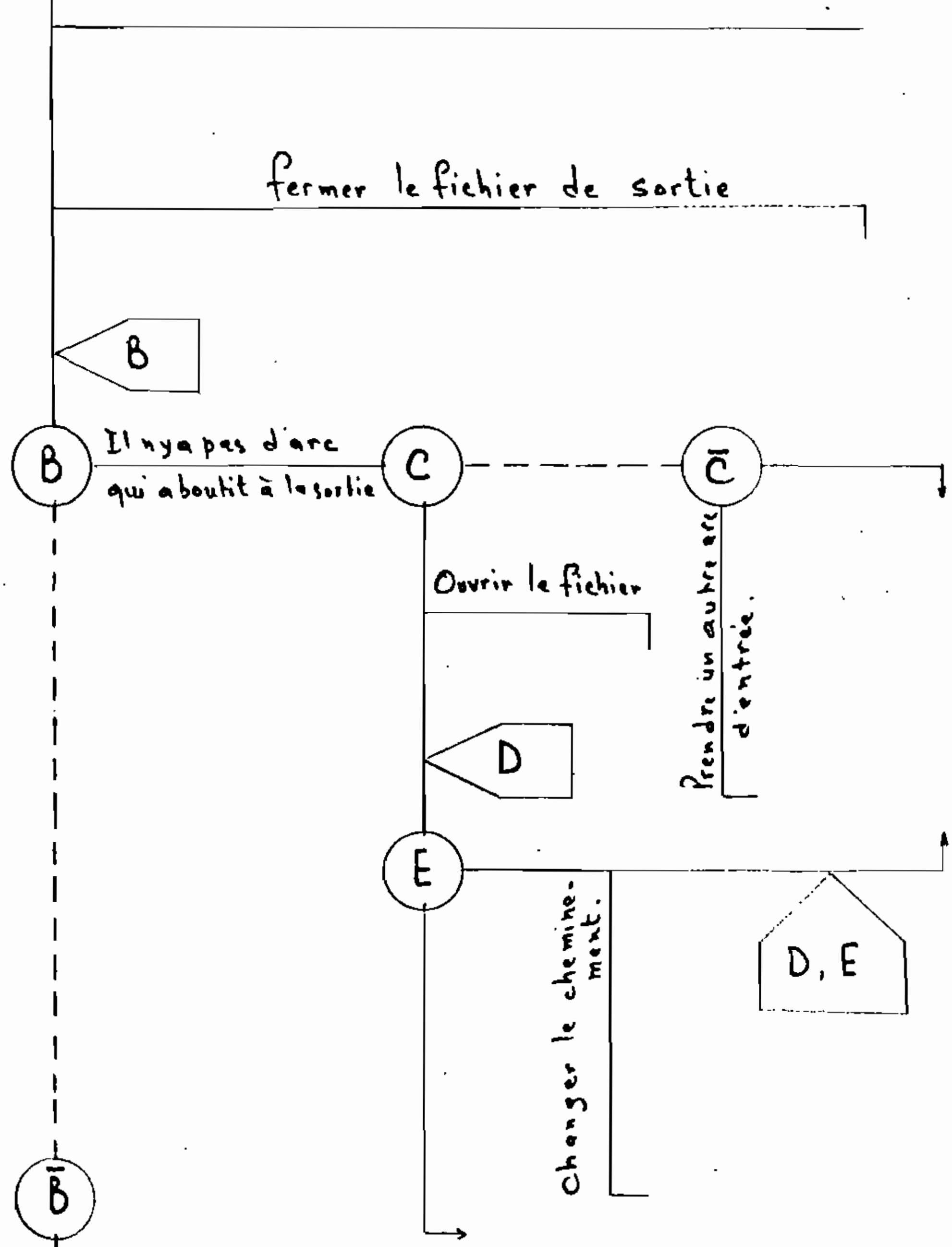
Marquage des sommets reliés à l'origine (non desservis) — A4 (4

Déterminer les autres sommets de la coupe — A4 (5)

Imprimer les résultats — A4 (6)


A4(1) : DETERMINATION des CHEMINS DESSERVIS
B
B
C
C̄
B
Chercher un flot réalisable
Recuperer les têtes de l'arc d'entrée.
D
D
E
Ē
D
Recuperer l'arc ainsi determiné.
Garder dans le fichier
D̄
A 4.1(1)
B: de Z = 1 à M
C : si L(1,Z) ≠ 0
D : tant que Z ≠ M
E : si L(y,Z) ≠ 0

A 4.1(1) : LA SORTIE est ATTEINTE



A 4.1.1.(1)

B : si $L(y,z) = 0$

C : si $A_7 \neq 0$

D : si $A_7 \neq 0$

E : de $I = 1$ à A_7

A4.1.1(1) : UN CHEMIN a été REPERE

B1 La capacité et le flot envoyés sont égaux

On ne peut plus envoyer de flot ni sur l'arc de sortie ni sur celui d'entrée

B2

On diminue le flot envoyé.

On peut encore envoyer du flot, uniquement sur l'arc d'entrée.

B3 Le flot envoyé est inferieur à la capacité de l'arc de sortie.

On peut encore envoyer du flot uniquement sur l'arc de sortie.

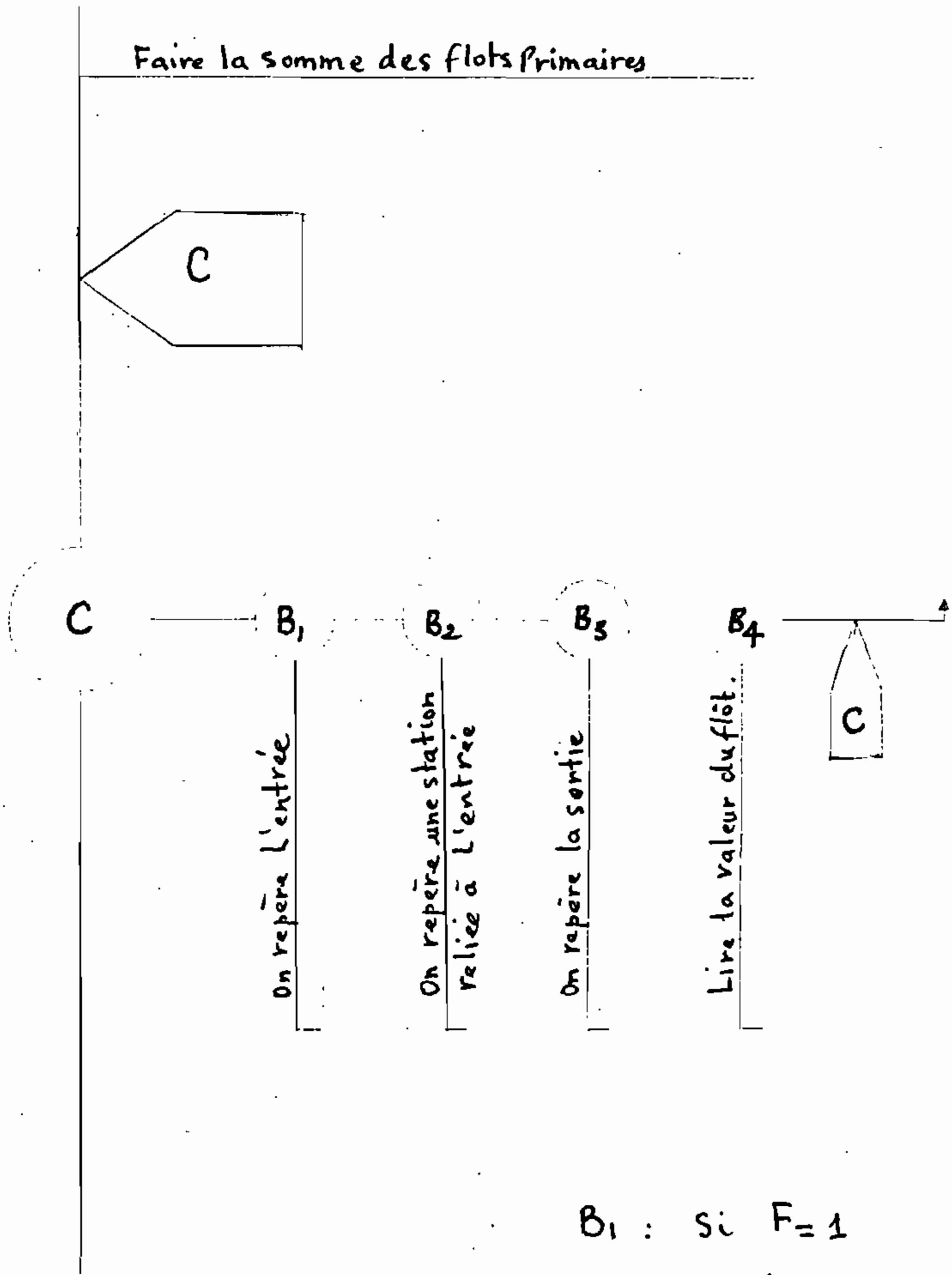
Stocker les stations se trouvant sur le chemin sortie d'impression

B_1 : si $L(y,z) = A_1$

B_2 : si $A_1 > L(y,z)$

B_3 : si $L(y,z) > A_1$

A4 (2)



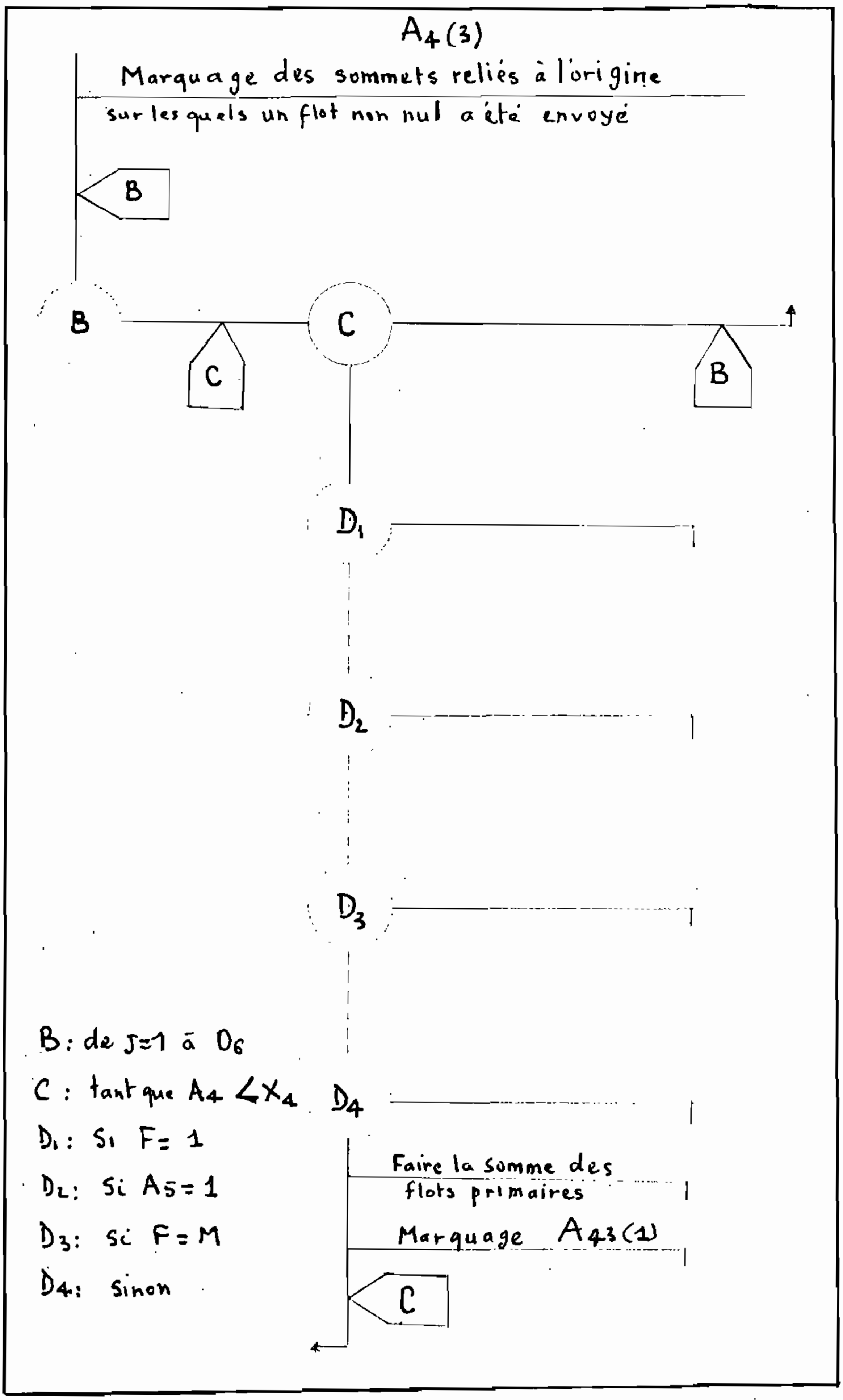
A4 (3)

B_1 : si $F = 1$

B_2 : si $A_5 = 1$

B_3 : si $F = M$

B_4 : Sinon


A4(3)
Marquage des sommets reliés à l'origine
sur lesquels un flot non nul a été envoyé
B
B
C
C
B
D1
D2
D3
D4
Faire la somme des flots primaires
Marquage A43(1)
C
B: de J=1 à D6
C: tant que A4 < X4
D1: Si F= 1
D2: Si A5=1
D3: Si F=M
D4: Sinon

A 43(1)

Comparer le flot et la Capacite

C

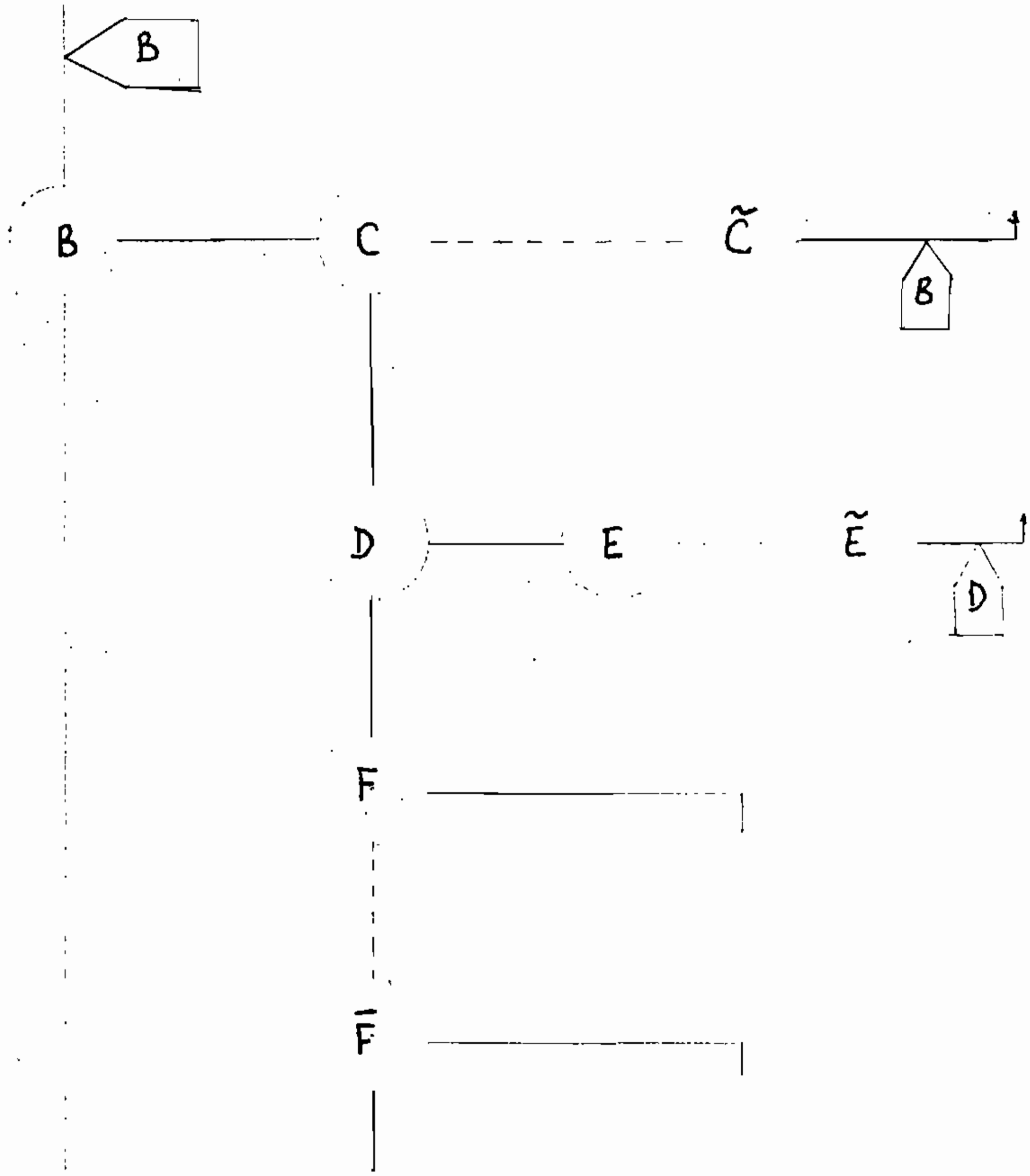
Garder la statio
dans le fichier

$\tilde{C}$

C : si $B(1,V) \neq 0$,

A_4 (4)

Marquage des sommets reliés à l'origine (non desservis)



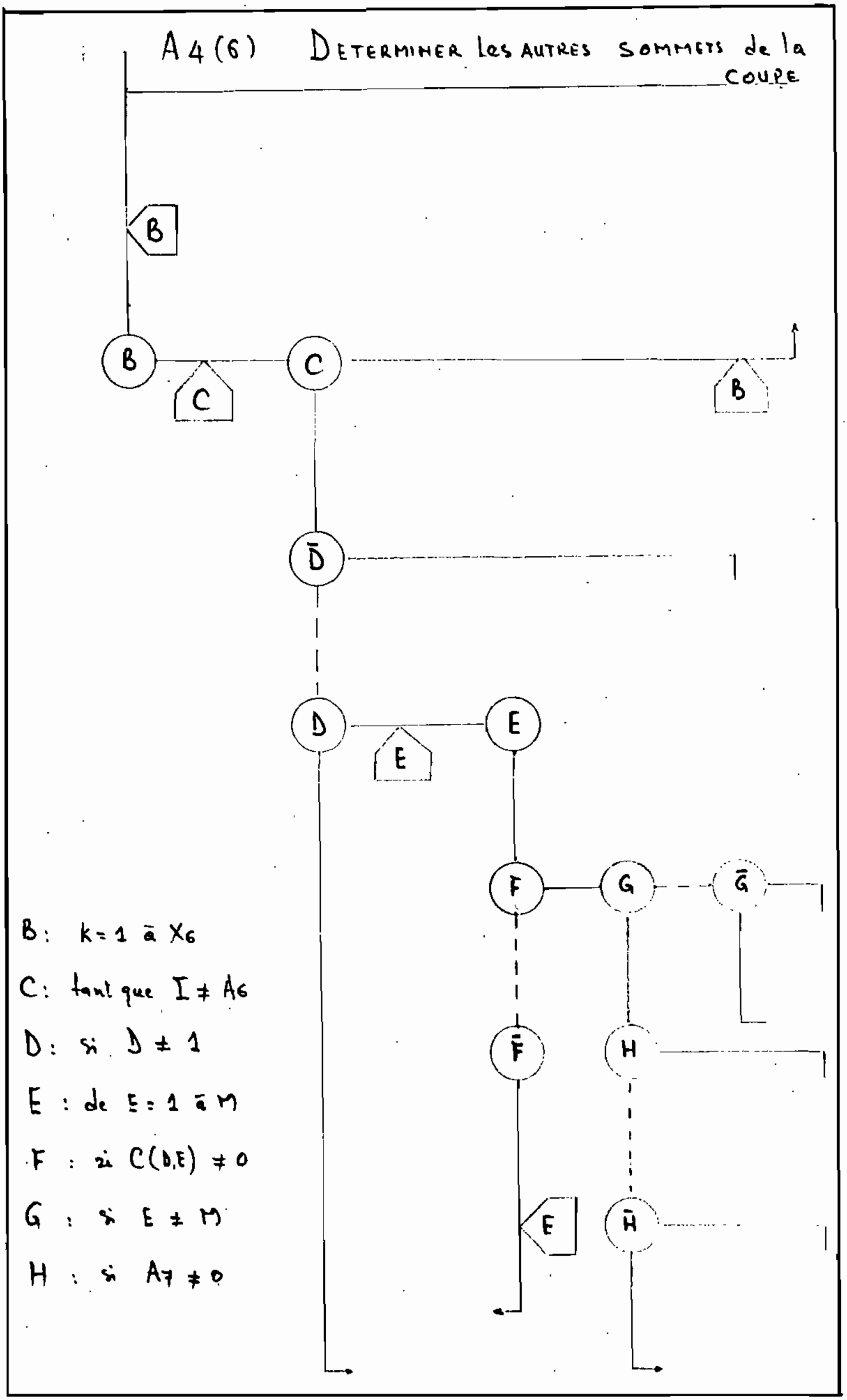
B: de $E=1$ à M

C: si $C(1,E) \neq 1$

D: de $J=1$ à O_6

E: si $E=T(J)$

F: si $A_3=1$



B : $k = 1$ à X_6

C : tant que $I \neq A_6$

D : si $D \neq 1$

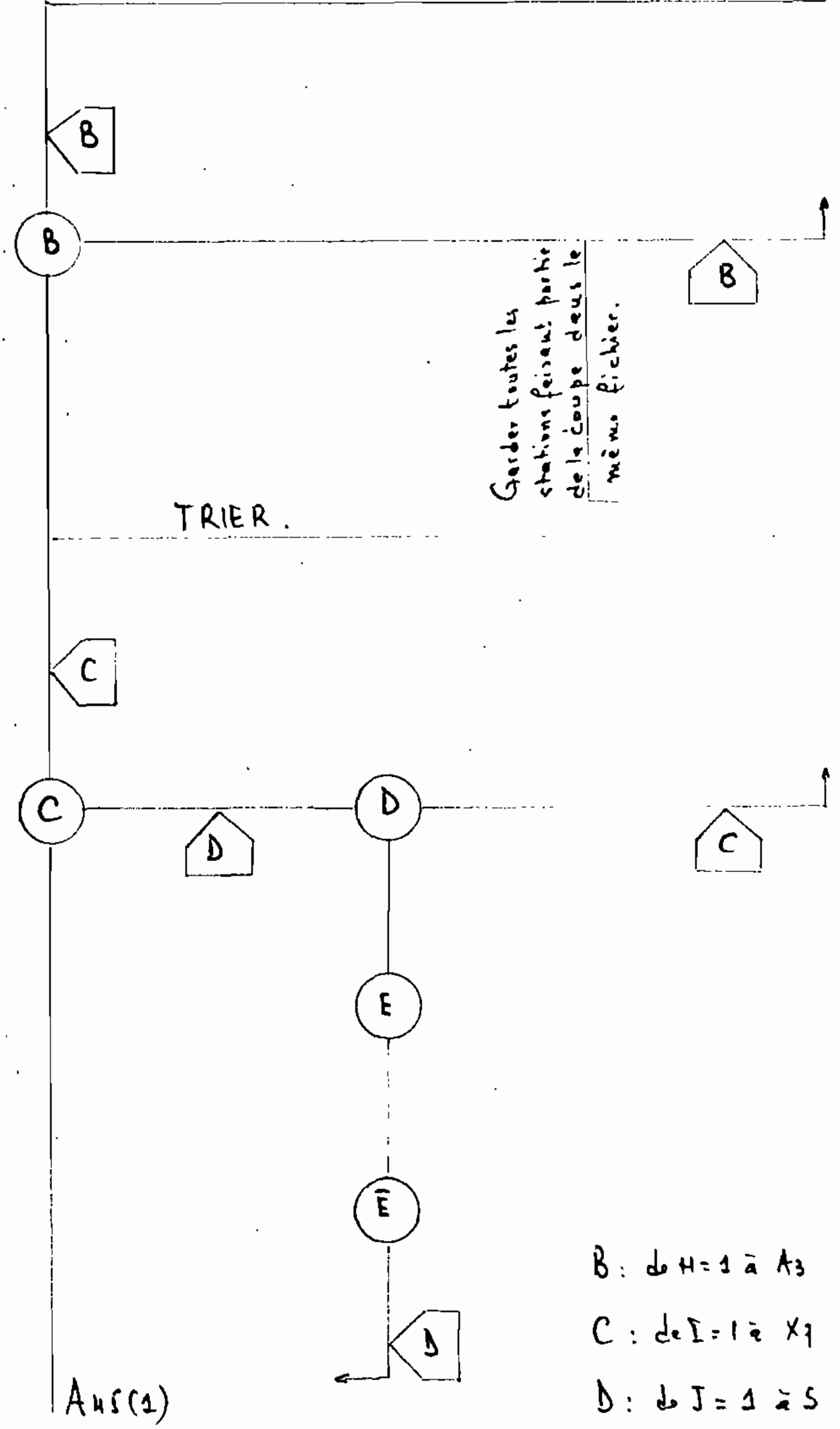
E : de $E = 1$ à M

F : si $C(D,E) \neq 0$

G : si $E \neq M$

H : si $A_7 \neq 0$

A4(5) DETERMINER les autres SOMMETS de la COUPE



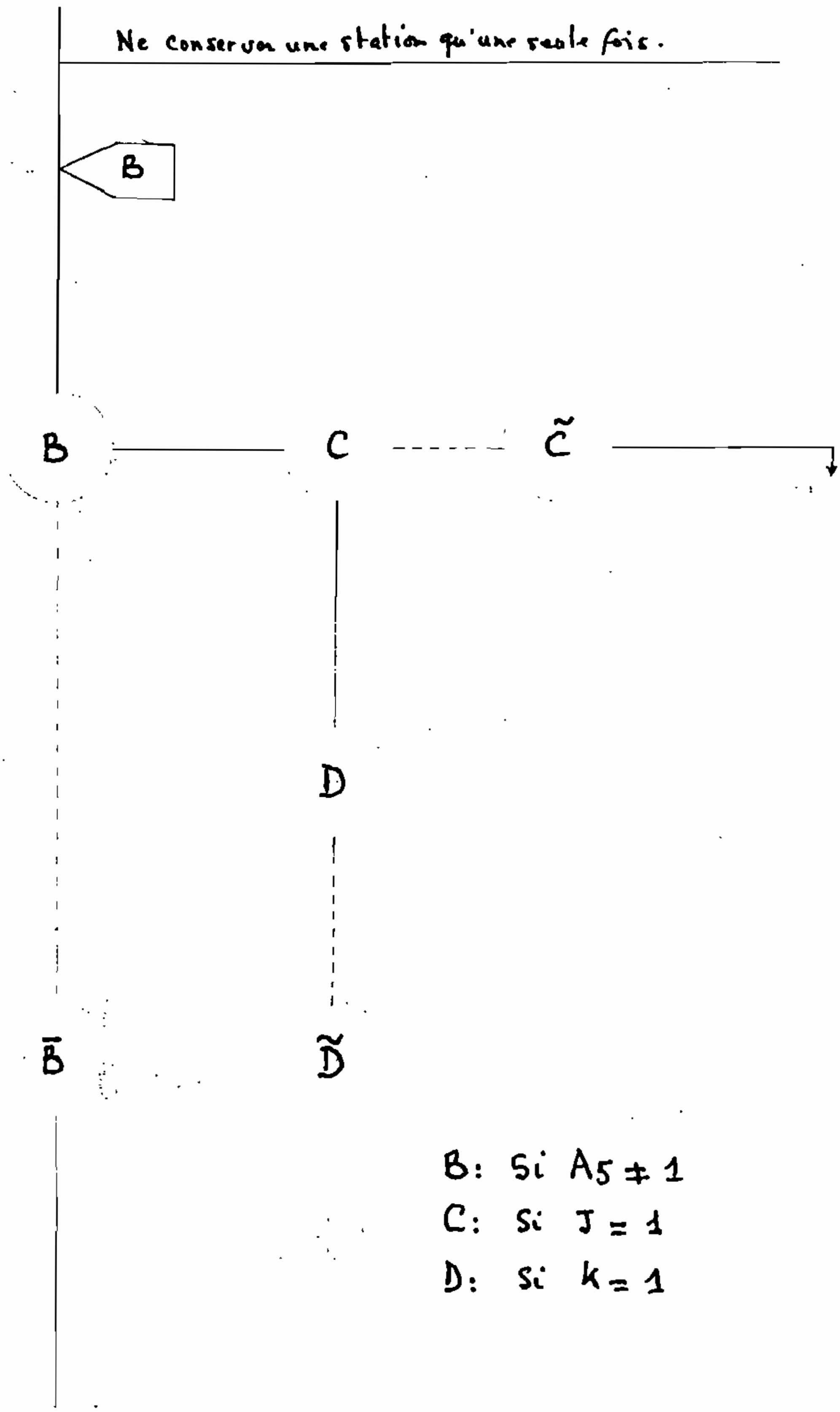
B : de H = 1 à A3

C : de I = 1 à X1

D : de J = 1 à S

E : si F = T(J)

$A_{45}(1)$



B: si $A_5 \neq 1$
C: si $J = 1$
D: si $k = 1$