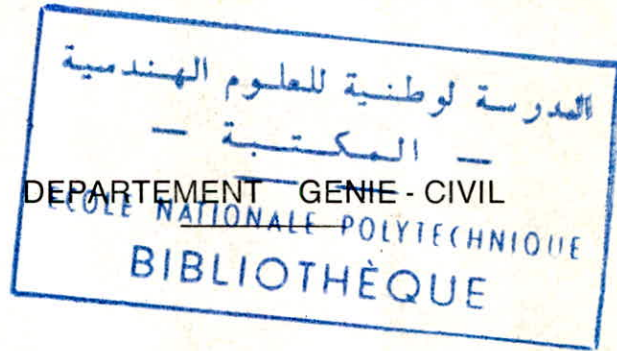


UNIVERSITE D'ALGER

21/78

2 ex

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



THÈSE DE FIN D'ETUDES

**UTILISATION et EFFICACITE  
DES GRAPHIQUES RESEAUX EN  
CONSTRUCTION**

Proposé et suivi par :  
**R. CIORIU**

Etudiée par :  
**M. OUERDI  
M. YODJOU**

PROMOTION : JANVIER 1978





UNIVERSITE D'ALGER

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT GENIE - CIVIL

THÈSE DE FIN D'ETUDES

**UTILISATION et EFFICACITE  
DES GRAPHIQUES RESEAUX EN  
CONSTRUCTION**

Proposé et suivi par :  
**R. CIORIU**

Etudiée par :  
**M. OUERDI**  
**M. YUUDJOU**

**PROMOTION : JANVIER 1978**

A MES PARENTS

A MA FAMILLE

A MES AMIS LA OU ILS SE TROUVENT .

MOKRANE OUERDI

JE DEDIE, CE TRAVAIL PRECIEUX A MES PARENTS, A MES FRERES ET SOEURS  
A MA FEMME, A MES AMIS ET SURTOUT A MA FILLE SOUHILA.

MOHAMED YUUDJOU



NOUS REMERCIONS TOUS LES PROFESSEURS QUI ONT CONTRIBUE A NOTRE  
FORMATION D'INGENIEURS POLYTECHNICIENS

ET EN PARTICULIER, MONSIEUR R. CIORIU , DOCTEUR INGENIEUR A  
L'E.N.P.R ; DONT LES CONSEILS ONT ETE DETERMINANTS POUR L'ELABORATION DE  
CE PRESENT PROJET.

M. OUERDI

M. YUUDJOU

- S O M M A I R E -

---

---

II INTRODUCTION GENERALE

I GENERALITES SUR LES GRAPHS

- 1 - Graphes
- 2 - Rapprochement
- 3 - Activité

II ELABORATION DU RESEAU A FLECHE

- 1 - Introduction
- 2 - Relations sequentielles
- 3 - Conclusion

III CALCUL DE DUREE

- 1 - Introduction
- 2 - Calcul du calendrier
  - a) Méthode directe
  - b) Méthode à base de tableau

IV REDUCTION DES DELAIS

- 1 - Introduction
- 2 - Application
- 3 - Conclusion

V ALGORITHMES

- 1 - Introduction
- 2 - Algorithme de L. FORD
- 3 - Algorithme de B. ROY

VI SCHEMA DES ANTERIORITES

- 1 - Introduction
- 2 - Passage du schéma à flèche au schéma des antériorités

## VII EFFICACITE DU LOTISSEMENT

- Introduction
- A/ Transposition du cyclogramme en graphique GANTT
- B/ Transposition du cyclogramme en graphique reseau

## VIII MODALITES

### D'APPLICATION :

- 1) Communication du programme en date calendaire
  - a) Pour le schéma à flèche
  - b) Pour le diagramme GANTT
- 2) Diagramme des ressources

## ~~IX~~ MISE A JOUR

- 1 - Introduction
- 2 - Applications

## X ETUDE ECONOMIQUE

- 1) Introduction
- 2) Applications
- 3) Conclusion
- Conclusion générale

### CONCLUSION GENERALE



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

G E N E R A L E

## Introduction :

Pour réaliser un projet de façon efficace ; les responsables doivent travailler selon un " plan de mise en oeuvre " qui indique l'ordre chronologique des différentes activités ou processus composants -

Puis les responsables doivent s'assurer que toutes les activités composantes sont accomplies selon le programme, car ainsi comme on sait, il y a des causes réelles qui retardent les réalisations -

Le terme " planification de la mise en oeuvre " désigne ici , non seulement le fait de subdiviser le projet en activités composantes et de construire leur relations séquentielles, mais aussi pour chacune de ces activités, le choix des méthodes, l'affectation des ressources, l'évaluation des temps et l'établissement des données numériques du programme -

Des facteurs externes sur lesquels, on n'a que peu, ou pas du tout de contrôle, ( conditions climatiques ); peuvent empêcher l'accomplissement de la réalisation suivant le plan initial -

Il faudrait donc que les techniques de planification et de contrôle de la réalisation, soient dynamiques et n'excluent pas la possibilité de modification -

En effet, un plan de mise en oeuvre que l'on ne modifie pas en fonction des changements survenus cesse d'être valable -

Le type de modèle souvent utilisé pour traduire les plans de réalisations d'un projet, a longtemps été le " Graphique à barres ou de Gantt." Ce graphique montre , comment le programmeur a éclaté le projet en plusieurs activités composantes et a prévu l'exécution de chacune d'elles - Mais si ce graphique à barres traduit très bien les données de la programmation il est d'une utilité limitée, comme outil de planification .

Il ne montre pas clairement les relations séquentielles que le programmeur doit constamment garder à l'esprit.

Mais il est préférable de présenter en détails, l'élaboration, les avantages, et les inconvénients du graphique à barres.

### LE GRAPHIQUE A BARRES OU DE GANTT.

Le type de modèle le plus souvent utilisé pour traduire les plans de réalisations d'un projet à longterm a été le graphique à barres ou GANTT . Gant ( 1861 - 1919 ) est né à New - York , a travaillé avec Taylor - Il a créé le graphique à bande de construction -

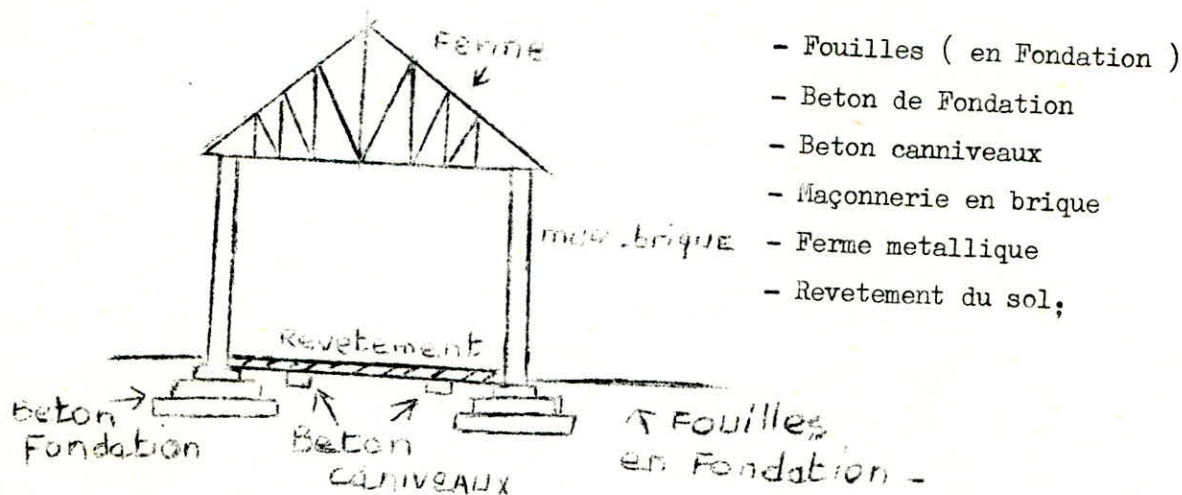
le Graphique à Bande dénommé aussi :

- à barres
- à colonnes
- à gradins

Représente les durées d'Exécution par des bandes, des barres, des colônes verticales, horizontales ou même obliques, de longueur ou de largeur proportionnelles aux tailles des durées.

Dans ce type de graphique, chaque processus ( activité ) est représenté par un rectangle, la base duquel représente la durée de réalisation de l'activité respective, à l'Echelle choisie du temps . Le début de chaque activité, doit respecter la succession technologique des activités.

Par Exemple : pour l'exemple pris, : un hall industriel, composé des processus suivants :



Pour la réalisation de ce hall industriel on doit prendre en considération également les autres activités sans lesquelles la réalisation du hall n'est pas possible.

Les Processus :

- d'étude et d'approbation du projet
- Contrat et fourniture de la brique
- Contrat et fourniture de la charpente
- L'implantation et l'organisation du chantier  
( fabrication de béton , bureaux, dépôts etc )

Après avoir calculé les quantités des travaux pour les processus respectifs, et leurs durées, on élabore le graphique GANTT .







Ce graphique montre comment le programmeur a éclaté le projet en plusieurs activités composantes et a prévu l'exécution de chacune d'elles.

Mais si ce graphique à barres traduit très bien les données de la programmation; il est d'une utilité limitée comme outil de planification

Il ne montre pas clairement les relations séquentielles, que le programmeur doit constamment garder à l'esprit. Il (le graphique) ne force pas le programmeur à considérer toutes les contraintes éventuellement mises en jeu dans le programme puisqu'il ne l'oblige pas montrer toutes les activités qui doivent être terminées avant le début d'une autre. Il n'indique pas si le programmeur à considérer les différentes activités préalablement nécessaires

Bien sûr un graphique à barres peut techniquement suffire pour répondre à la demande d'un plan documenté de réalisation, mais un examen attentif montre souvent que le plan n'est pas suffisamment subdivisé, qu'il met totalement bien des activités restrictives qu'il n'indique pas si l'on a fait ou non une analyse scrupuleuse et qu'il ne peut être parfaitement compris sans explications supplémentaires. Le plan de réalisation représenté sur un graphique à barres peut s'appuyer sur une planification soignée et magistrale, ou sur une planification négligée et incompétente.

Il est difficile à ceux qui examinent le modèle sur le papier, de juger qu'il est le cas, car la représentation manque de détails.

La Figure 1. montre un graphique à barres très simples à 10 activités seulement. Sur cet exemple, on peut deviner que l'activité J dépend de l'activité A, et que l'activité I dépend de l'activité B, puisque dans chacun des cas, l'une commence quand l'autre vient de se terminer.

On pourrait aussi supposer que la réalisation de l'activité H dépend de l'achèvement partiel de l'activité G .

Les descriptions des activités peuvent également fournir des indications dans des cas précis, on aurait beaucoup plus de difficultés à faire de telles déductions et de grandes chances de se tromper.

Il n'apparaît pas de façon évidente que d'autres relations existent entre les activités représentées, et il n'y a pas non plus de raison de croire qu'on a inclus dans le graphique toutes les activités pouvant être source de contraintes pour les autres. Enfin le graphique à barres a manifestement des lacunes en tant qu'outil de planification, à la fois pour les programmeurs et pour ceux qui doivent examiner et comprendre les résultats .

Malgré ses qualités et notamment

- Présentation simple
- Elaboration rapide
- Lecture facile

Ce qui explique sa large utilisation dans les chantiers

Toutefois le graphique GANTT présente des grandes difficultés alors quand il s'agit d'un grand complexe de construction, à milliers d'activités, et surtout quand il s'agit de l'introduction des travaux supplémentaires, ou des modifications.

Alors en effet, s'impose la reconstruction complète du graphique. Pour l'heure, les insuffisances du GANTT sont devenues flagrantes.

Pour remédier aux défauts du graphique à barres-, on a mis au point dans les 15 dernières années plusieurs méthodes efficaces qui utilisent les techniques de graphe pour planifier, programmer, contrôler et optimiser la réalisation des projets .

Les plus connues de ces techniques de graphes sont :

- La méthode du chemin critique: CPM critical Path Method.
- Pert : soit technique d'élaboration et de contrôle des programmeurs ( Program Evaluation and Review. Technic.)

Ces 2 méthodes sont en fait très proches, l'une de l'autre.

Nous venons ultérieurement les différences, mais on utilise en général, le terme Pert.

Le graphique en reseau, ou Pert ou CPM, permet:

- l'analyse des projets.
- Precision du deroulement des travaux.
- Identification de la suite des activités critiques conditionnant le delai global.

- L'optimisation des problemes de coût et de l'utilisation des ressources -

- La reduction d'un delai trop long -

- L'etablissement d'un calendrier d'execution des activités

- Le controle et la mise à jour periodique du planning

ce document constitue la coordination optimun de la mise en oeuvre des moyens

Pour realiser le graphique en reseau, il faut bien définir les activités du projet et indiquer les relations sequentielles - Les representations les

+ courantes sont - le schema à fleche et - le schema des anteriorités

- On signale aussi qu'il existe plusieurs variantes de ces 2 methodes.

CHAPITRE I = GENERALITES SUR LES GRAPHS  
=====



GENERALITES - Chapt 1

1°) GRAPHES.

- Avant tout il faut rappeler certains termes de la theorie des graphes-  
Nous vous limiterons à ce qui est essentiel pour expliquer et pour bien  
comprendre la methode du chemin critique -

Considerons un ensemble d'elements en nombre fini, nous le designerons  
par les lettres  $X_1, X_2, \dots, X_n$  et l'ensemble fini, lui même par la lettre  $X$ ;  
on écrira aussi symboliquement :

$$X = ( X_1, X_2, \dots, X_n )$$

A chaque element  $X_i$  appartenant à  $X$  faisons correspondre zero; un ou  
plusieurs elements de  $X$ , nous formerons alors, au sens de la theorie des ensembles  
ensembles, un " graphe ". En appelant  $\Gamma$  la loi qui represente la corres-  
pondance considerée, on utilisera, pour represente un graphe, le symbole =

$$G = ( X, \Gamma )$$

Prenons un exemple pour illustrer cette définition qui semblera un  
peu abstraite à certain soit un ensemble de 6 elements =

$$X = ( A, B, C, D, E, F . ).$$

et considerons la loi de correspondance suivante definie par le symbole :

$$\Gamma_A = ( B, C, D )$$

$$\Gamma_D = ( C, D, E )$$

$$\Gamma_B = ( A, B, C )$$

$$\Gamma_E = ( C, E )$$

$$\Gamma_C = ( B, D, E, F )$$

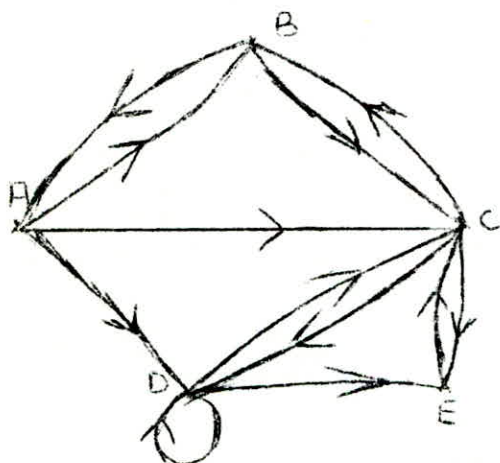
$$\Gamma_F = \phi$$

où le symbole  $\phi$  represente l'ensemble vide lequel joue, dans la theorie  
des ensembles, le rôle du zero de la numération .

On peut represente un graphe à l'aide d'un dessin tel que celui de la  
figure ( 2,1 ) ; qui est appelé " representation sagittale du graphe " ;  
on peut aussi le represente comme on l'a indiqué sur la figure ( 2,2 ),  
appelé " representation Bicolonne: " ou bien encore à l'aide d'un tableau  
à 2 entrées ou matrice ( tableau 2.1 )

dans la théorie des ensembles, on appelle " graphe " toute application d'un ensemble dans lui même; le symbole  $\Gamma$  représente cette application .

Representation Sagittale



Representation Bicolonne

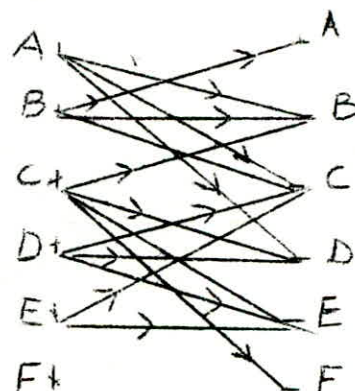


fig : 2.2

	A	B	C	D	E	F
A	0	1	1	1	0	0
B	1	1	1	0	0	0
C	0	1	0	1	1	1
D	0	0	1	1	1	0
E	0	0	1	0	1	0
F	0	0	0	0	0	0

Tableau matriciel

tableau : 2 - 1

Sommet .

Un element d'un ensemble formant un graphe est appelé "sommet " .

Sur la figure (2-1), les elements A,B,C,D,E et F sont les sommets du graphe. Un sommet est aussi appelé "point" par certains auteurs -

Arc :

Un couple Orienté (  $X_i, X_j$  ) de 2 sommets  $X_i$  et  $X_j$  est appelé "arc". ainsi ( fig :21 ) ; ( A,B ) ; ( B A ) ; ( A,C ) ; ( E,E ) ; ( C,F ) sont des arcs.

On designera par U l'ensemble des arcs; toujours sur notre exemple on aura :

$$U = \left\{ \begin{array}{l} (A,B) ; (A,C) ; (A,D) ; (B,A) ; (B,B) ; (B,C) ; (C,B) ; (C,D) ; \\ (C,E) ; (C,F) ; (D,C) ; (D,D) ; (D,E) ; (E,C) ; (E,E) \end{array} \right\}$$

Un graphe peut être désigné indifferemment par :

$$G = ( X, \Gamma ) \text{ ou } G = ( X, U ) .$$

### Chemin .

C'est une succession d'arcs adjacents permettant de passer d'un sommet à un autre; ainsi

$(A, B, C, F)$  ;  $(A, C, D, E, C, F)$  ;  $(A, B, A)$  ;  $(A, D)$  ;  $(A, B, B, C)$

sont des chemins ( fig : 2 - 1 )

### Circuit.

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

Ainsi  $(A, C, B, A)$  ;  $(A, D, E, C, B, A)$  ,  $(A, C, B, A, B, A)$  ;

$(A, B, A)$  ,  $(B, B)$  , sont des boucles ( fig : 2 - 1 ) .

### Boucle:

c'est un arc dont l'origine et l'extrémité sont confondus .

$(B, B)$  ,  $(D, D)$  ; et  $(E, E)$  sont des boucles ( fig : 2 - 1 )

### Longueur d'un chemin ou d'un circuit .

c'est le nombre d'arcs d'un chemin ou d'un circuit. Ainsi, la "Longueur" de  $(A, B, C, F)$  est 3, et celle de  $(A, D, E, C, B, A)$  est 5 -

### Arête:

lorsque deux sommets distinctes sont joints par au moins un arc dans un sens ou dans l'autre, on dit qu'il existe une arête entre ces deux sommets.

Ainsi la notion d'arête est - elle un concept " non orienté " du graphe-

Par exemple, sur la figure ( 2,1) entre A et D il y a une arête .

entre A et B il y a une arête

Il n'y a pas d'arête entre B et D .

une arête sera notée  $(\overline{A, D})$  ou  $(\overline{A, B})$  ;

l'ensemble des arêtes sera noté  $\overline{U}$ ,

Ainsi, dans notre exemple ( fig : 2,1 )

$$\overline{U} = \left\{ (\overline{A, B}) ; (\overline{A, C}), (\overline{A, D}), (\overline{B, C}), (\overline{C, D}), (\overline{C, E}), (\overline{C, F}), (\overline{D, E}) \right\}$$

### Chaine

c'est une succession d'arêtes adjacentes; c'est à dire une succession d'arcs adjacents où l'on ne tient pas compte de l'orientation des arcs.

ainsi sur la fig:(2,1):

$(B, C, A, D, E)$  n'est pas un chemin ( à cause de l'arc AC)

mais c'est une chaîne.

Tout chemin est évidemment une chaîne, mais comme on vient de le voir une chaîne n'est pas toujours un chemin.

### - GRAPHE CONNEXE -

Un graphe est " connexe " si entre toute paire de sommets du graphe il existe au moins une chaîne.



Le graphe de la figure (2,1) est connexe -

Un graphe est " fortement connexe ", si entre toute paire de sommets, il y existe au moins un chemin.

Le graphe de la figure (2,1) n'est pas fortement connexe (il n'y a pas de chemin de F vers les autres sommets.).

- GRAPHE ANTISYMETRIQUE.

Considerons l'ensemble U des arcs du graphe, si pour tout arc  $(X_i, X_j)$  appartenant à U, l'arc  $(X_j, X_i)$  en sens inverse n'appartient pas à U, on dit que le graphe est "antisymétrique" -

Il résulte de cette définition qu'un graphe antisymétrique ne peut pas posséder de boucle -

Par exemple, le graphe de la figure (2,3) est antisymétrique -

GRAPHE SANS CIRCUIT -

On s'intéresse plus spécialement au graphe sans circuit, c'est à dire, ne contenant aucun circuit, tel est le cas du graphe de la fig:(2,3). il est bien sûr, évident, que tout graphe sans circuit est antisymétrique, mais la réciproque n'est pas vraie.

Remarque:

Vu l'ampleur de la théorie des graphes, nous nous sommes contentés de rappeler ce qui est strictement nécessaire pour une présentation logique des concepts à introduire dans la méthode du chemin critique -

2.2 : Matrice

correspondant au graphe représenté sur la fig:2,3. Les zéros n'ont pas été portés sur cette matrice -

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
A				1		1					
B											
C							1				
D		1									
E											1
F							1				
G											
H		1									
I	1			1							1
J	1										
K			1					1			

## 2°) Rapprochement .

De la theorie des graphes, aux besoins des graphiques.

Reseaux : PERT , CPM ,ect ....-

### Introduction

- Dans la branche de construction, on a chaque ouvrage X, un ensemble des activités composantes A,B,C, ....( les elements de l'ensemble X ) entre lesquels existent des relations sequentielles.)- Un ouvrage est un ensemble d'activités entre lesquelles existe des relations precises - Donc pour l'elaboration d'un programme de realisation, d'un ouvrage subdivisé en activité composantes on applique la theorie des graphes.

Mais pour le besoins des methodes PERT, CPM, ect - le modèle general des graphes est simplifié par les regles ou restrictionssuivantes :

- Il est choisit pour les arcs un seul sens, unique de circulation, correspondant à l'écoulement du temps de la gauche vers la droite-

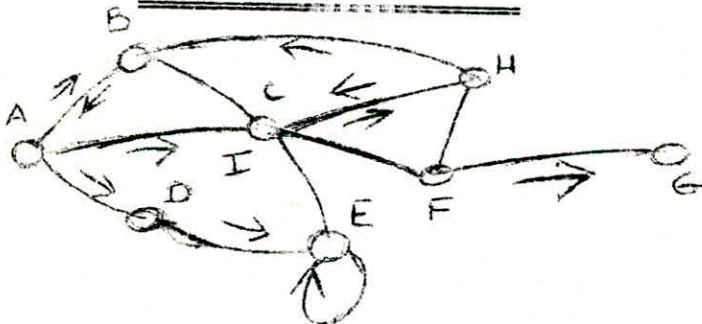
- Les boucles, et les circuits sont interdits, car il est impossible de remonter le cours du temps;( une boucle est constituée par un arc qui aboutit à son noeud de depart ex:arc : D ) un circuit: les arcs qui passent par C,D,E . (Voir f:2)

-Le reseau a neccessairement un ou plusieurs noeuds.

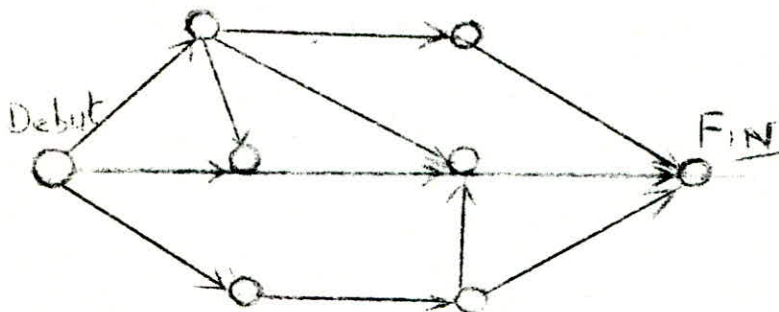
" Debut" et " fin " .....fig.3.

Figure PERT p:6

- Cas general d'un reseau -



- Cas d'un reseau PERT.





- il n'y a aucun rapport entre la longueur d'un arc et la durée de temps qui s'écoule entre son noeud d'origine et son noeud terminal -

- La longueur d'un chemin est la somme des durées des arcs et non plus le nombre d'arcs comme dans les Graphes.

Pour réaliser le graphe en réseau, il faut bien définir les activités du projet et indiquer leur relations séquentielles.

### 3°) Activité

Par " activité ", " tâche ", ou opération ou alors encore " processus ", on comprend toute action nécessaire pour la réalisation d'un projet, et qui consomme au moins du temps. Elle peut être :

- Un processus quelconque de construction ( fouille, bétonnage, ... )
- Une étude, une recherche dans la branche de construction
- Une formalité : arrêt , commande de matière, etc —

En général les activités représentent un travail, et implique donc une dépense ou consommation de moyens : Main - d'oeuvre, matériaux, équipements et outils et du temps; par exemple, pour le temps, le processus de durcissement du béton . Ces activités s'appellent " attentes " -

Une activité est identifiable par un début ( lancement du travail ) et une fin ( achèvement. ) -

CHAPITRE II = ELABORATION DU RESEAU A FLECHE  
=====

- Pour realiser le graphe enreseau, il faut bien définir les activités du projet, et indiquer leur relations sequentielles.

Les representations les plus courantes d'un reseau sont :

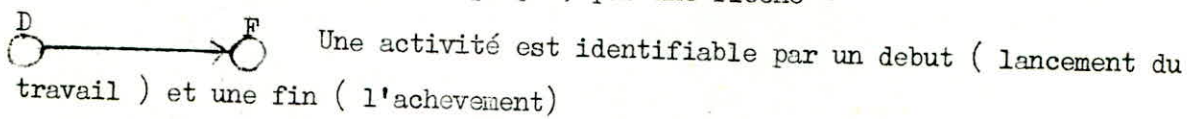
- Le schema à fleche -
- Le schema des anteriorités
- plusieurs variantes de ces 2 methodes -

Chapitre: II

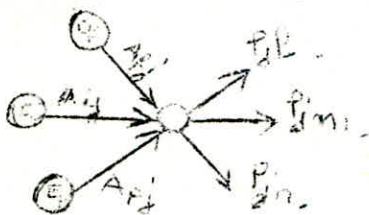
Elaboration du reseau à Fleche.

Introduction .

Cette methode est la plus largement utilisée - Dans ce genre de schema - on represente une activité du projet, par une fleche -



L'extrémité d'une flèche representant une activité est un noeud, et represente un " evenement " et notamment le debut ou la fin de l'activité ou d'un groupe d'activités -



un evenement

ex: l'evenement  $E_j$  represente la fin des activités situés à gauche de  $E_j$  et la possibilité de demarage des activités situés à droite de  $E_j$  .

Designation des evenements et des activités -

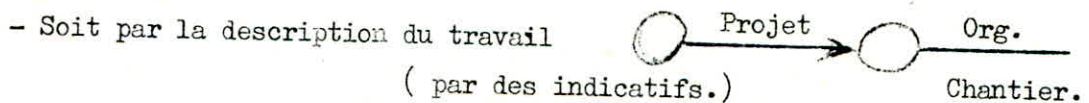
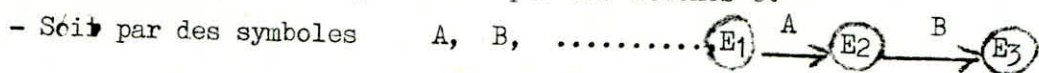
Evenement

celui - ci est representé par un cercle et marqué d'un numéro qui s'inscrit à l'intérieur d'un cercle qui marque l'evenement  $E_1, E_2, \dots$

La numerotation qui commence de l'evenement initial se fait dans le sens du developpement technologique des activités . ( Dans le sens des fleches en commençant par 1 - )



Les Activités : sont representés par des fleches et



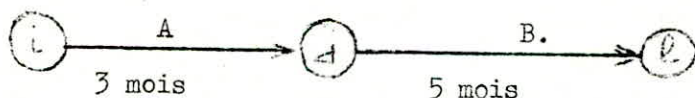
- Soit par le N° de l'evenement initial et



et en general par  $P_{ij}$ , - donc un système de numerotation duale, ou chaque flèche d'activité à 2 nombres, l'un pour l'arrière et l'autre pour l'avant.

Celui de l'arrière doit être plus petit que celui de l'avant --\*

Au dessous de la flèche, s'inscrit la durée de l'activité -

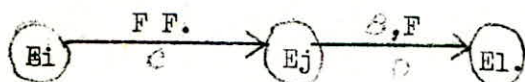


L'événement ne consomme ni temps, ni moyens, c'est seulement une constatation que les activités situées à gauche sont achevées et que les activités suivantes peuvent commencer.

### Contraintes .

il y a divers relations ( contrainte ) entre activité.

### Relation de dépendance -



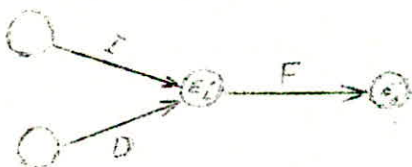
La flèche C, est prolongée d'une flèche D et l'événement terminal de C est commun avec l'événement initial de

D . La règle de dépendance s'exprime =

" l'activité D ne peut commencer que si l'activité C est achevée " ou

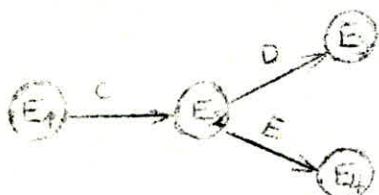
" l'activité D, suit l'activité C " -

### Relation de convergence -



nous lirons : l'activité F suit les activités I et D - Donc l'activité F ne peut commencer que si toutes celles qui precedent sont achevées, on dit que l'événement est réalisé - La règle de convergence s'exprime : une activité ne peut commencer que lorsque son événement initial a été réalisé.

### Relation de Divergence.



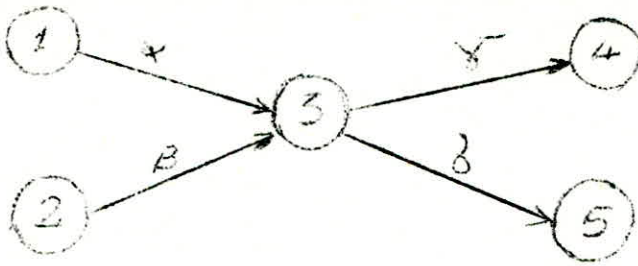
- ) nous constatons que les activités D et E ne peuvent commencer que si l'activité C est achevée -

Il est dit que D et E peuvent commencer dès que C est terminée mais pas necessairement juste après la fin de C.

D'autre part, il n'existe pas, non plus l'obligation de demarer en même temps les activités D et E .



Liaison logique : Activité Fictive



Si on a un schéma conformément à la figure ci - joint, il traduit:

$\gamma$  suit  $\alpha$  et  $\beta$   
 $\delta$  suit  $\alpha$  et B

Si nous voulons maintenant représenter le cas suivant:

suit  $\gamma$  et B, mais  $\delta$  suit seulement B

Comment on représente :

La figure ci - joint nous montre:

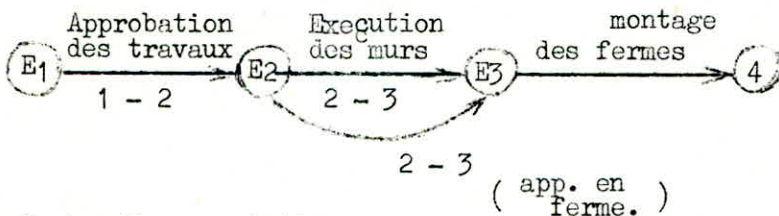
selon ce que nous avons dit jusqu'à présent,  $\gamma$  suit  $\alpha$ ;  $\delta$  suit B ;  
 En plus, la contrainte de succession entre B et  $\gamma$  est traduit par  
 l'adjonction d'une flèche  $\emptyset$  dessinée en trait tireté ou pointillé -  
 Cette flèche exprime la liaison entre l'événement final B et l'événement  
 initial de  $\gamma$ .

\* Elle ne représente et ne demande aucun travail, ni aucune durée ; D'ici  
 le nom d'activité " fictive," dénommée également activité virtuelle, ou  
 activité artificielle.

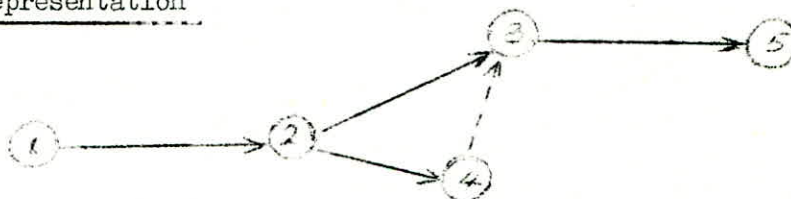
Ces activités fictives servent à montrer les relations sequentielles  
 conectes entre les activités -

L'activité fictive est aussi necessaire à être introduite pour  
 éviter de donner le même symbole à deux activités différentes ayant le  
 même événement de debut et de fin .

Exemple : après les approbations successives, on peut contracter et  
 apprèvisionner les fermes, et on peut réaliser les murs -



Autre Representation





## 2°) L'ETABLISSEMENTS DES RELATIONS

### SEQUENTIELLES ENTRE LES ACTIVITES ET LE DESSIN DU GRAPHE.

#### Introduction.

Pour l'établissement de ce chapitre, on considère le même exemple de la page 4, composé du processus inscrit sur le tableau 1 ( graphique à barre.)

Pour donc, établir les relations séquentielles entre les activités, il y a 2 procédés.

1°) De poser des questions de la manière suivante.

a) on part de l'événement final vers l'événement initial en posant la question:

" Quelles sont les activités qui doivent être accomplies immédiatement avant cet événement

b) on part de l'événement origine, en posant la question

" Quelles sont les activités qui peuvent démarrer immédiatement après cet événement.?"

#### Applications .

On reprend l'exemple traité en partie A.

Et on se pose les questions .

a) On part de l'événement final : qui est "l'achèvement des travaux ", et on pose la question.

" Quelle est l'activité qui doit être accompli immédiatement avant cet événement ? "

#### Reponse :

Le "revêtement du sol " qui est la dernière activité.

On figure l'activité Rev , puis on pose la question : " Quelle est l'activité qui doit être accompli, immédiatement avant l'événement initial du revêtement : " C'est le montage des fermes, et on figure sur le dessin la flèche Mont.

- Après on pose la question : " Quelles sont les activités qui doivent s'accomplir immédiatement avant l'événement initial de l'activité :

Montage des fermes ?

Reponse : - maçonnerie.

- bétonnage

- appr . en ferme -

et ainsi de suite, jusqu'à l'événement d'origine .

b/ on part de l'événement initial ; qui est :

" Approbation et signature du projet " -

et on pose la question :

" Quelles est l'activité qui doit demarer immédiatement après cet événement ?".

Reponse : " C'est l'exécution du projet + arrêtés - "

on figure l'activité par Pr et Ar puis on pose la question

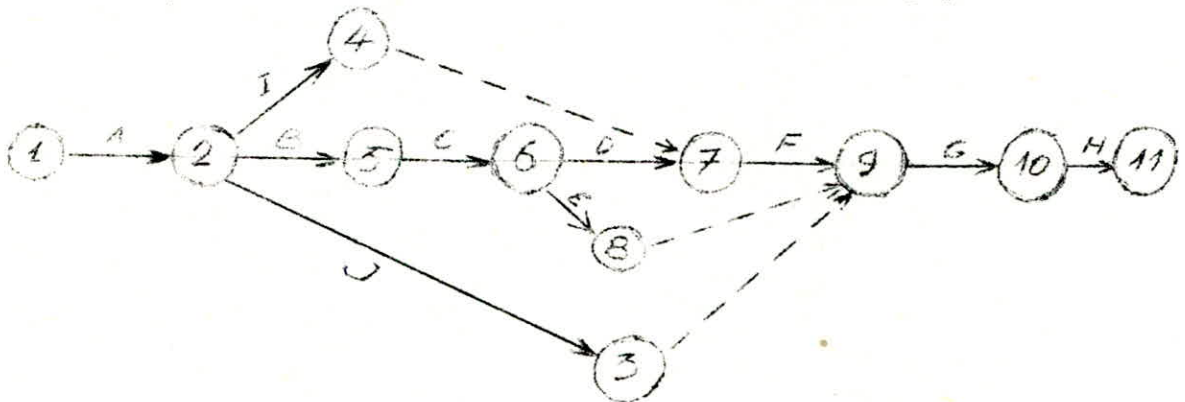
" qui

Quelles sont les activités qui doivent être entreprises immédiatement après l'événement final de l'activité Pr et Ar

Reponse: - approvisionnement brique notée sur le graphe App. brique  
 - organisation chantier. org. chantier  
 - Approvisionnement ferme App. Ferme

pour chaque branche on pose les questions et ainsi de suite jusqu'à l'événement final.

Le DESSIN des Graphe se fait simultanément à ces questions, une fois au rebour, une fois en avant. On obtient la " Structure logique du GRAPHE "

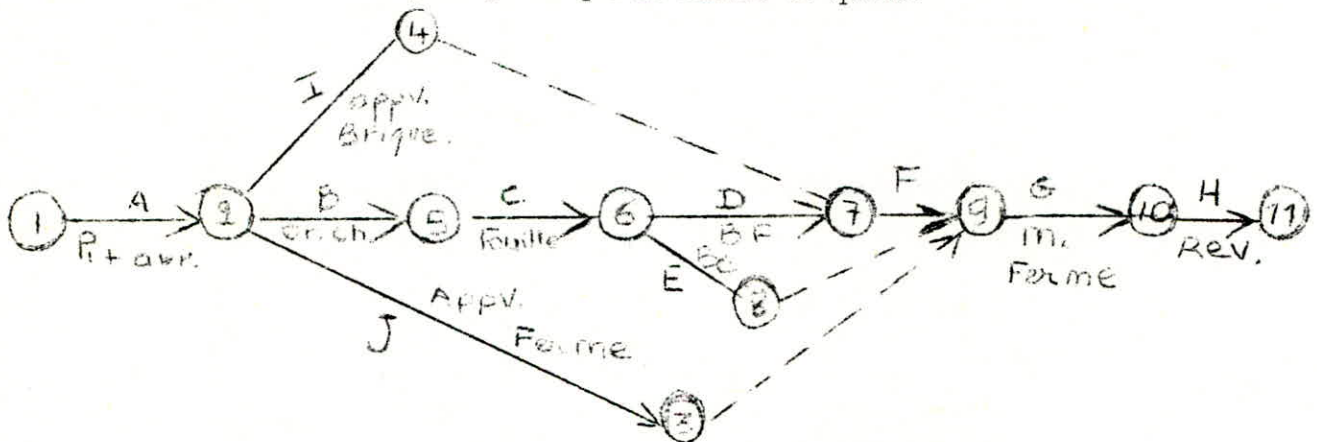


Donc on a obtenu simultanément, le dessin du graphe et aussi un tableau de succession technologique des activités composantes, et maintenant on elabore le tableau de successions technologiques .

symbole	Designations	Activités qui doivent être accompli immedi. avant	Activités qui servent demander imméd. apres
A	execution Projet + arrêtés	—	B J. I
B	Organisat. Chantier	A	C.
I	Appr. en briques	A	F.
J	Contrat et acquis;. des Ferme -	A	G.
C	Fouilles.	B	E.D;
D	Beton Fondation	C	F.
E	Beton canivaux	C	G.
F	Maçonneries.	I, D	G.
G	Montage Ferme	J- E - I	H
H	Revetement-	G	Fin

- Graphe .( 1 bis ).

En numérotant chaque événement, tenant compte de la règle : le N° de pointe doit être plus grand que le numero de queue.



- Après la numérotation des événements, chaque activité reçoit un indicatif i-j- i = le numéro de l'événement origine j = le numéro de l'événement de fin de l'activité.

On inscrit puis dans un tableau N° 3.

les activités dans l'ordre croissant du premier chiffre de l'indicatif; et pour le même premier chiffre, dans l'ordre croissant du 2e chiffre de l'indicatif.

DESIGNATION DE L'ACTIVITE	Symbole de l'activité	Indicatif de l'activité
Etablissement des plans et Approbations.	A	1-2
Implantation du chantier	B	2-5
Contrat et Approbation Briques	I	2-4
Contrat et Approv charpentes métalliques	J	2-3
Fouille en Fondation	C	5-6
Fictive		4-7
Fictive		8-9
Bétonnage des caniveaux	E	6-8
Bétonnage des Fondation	D	6-7
Fictive		3-9
Maçonnerie en Brique	F	7-9
Montage de la charpente	G	9-10
Revêtement du sol	H	10-11



N.B: Ce tableau a aussi une très grande importance pour les calculs des temps de début et de fin des activités et du projet et aussi déterminer le chemin critique.

2e De faire la liste des activités dans n'importe quel ordre, mais de préciser pour chaque activités, en 2 colonnes:

- Les activités immédiatement postérieures
- Les activités immédiatement postérieures

Cette opération se fait en analysant le projet respectif.

On obtient ainsi le tableau N° 4.

Symbole de l'activité	DESIGNATION DE L'ACTIVITE	Activités immédiatement	
		Antérieur	Postérieur
A	Etablissement des plans Approbation.	-	B -I - J
B	Implantation des chantier	A	C
C	Fouille en Fondation	B	D-E
D	BET. Fondation	C	F
E	Beton Canniveaux	C	G
F	Maçonnerie Brique	D-I	G
G	Montage de la charpente	F-J	H
H	Revêtement du sol	G	FIN
I	Contrat et Appr. Briques	A	F
J	Contrat et Appr. charpente	A	G

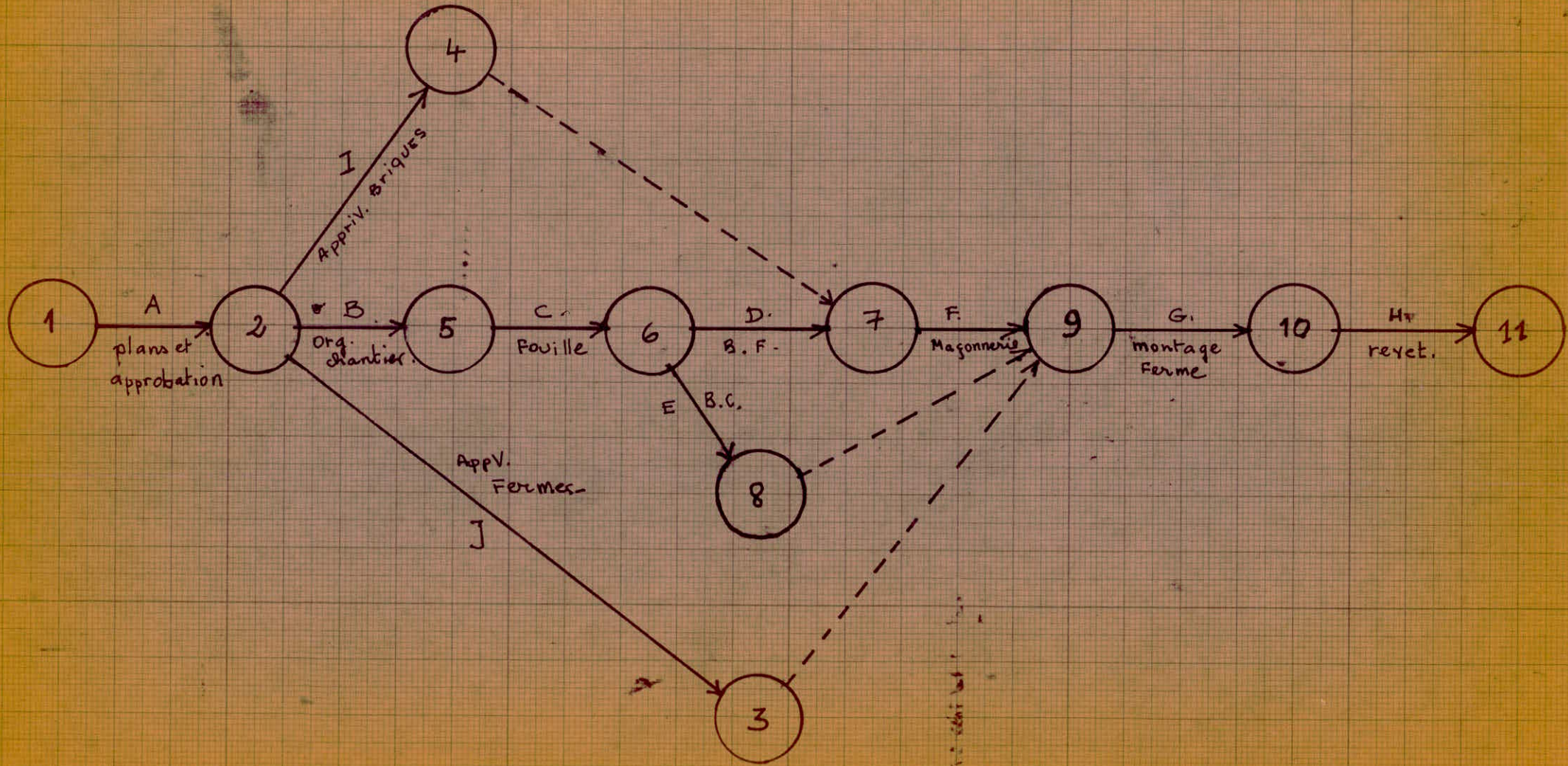
Sur la base de ce tableau, on dessine le graphe, on pose les flèches les numérations des événements et puis le tableau de succession technologique. Voir page.2.

Compte tenu de ces indications on peut dessiner le graphe suivant concernant la construction d'un hall industriel.

Le dessin est fait sans souci d'échelle. Ainsi comme on a précisé, les activités apparaissent sous forme de segments appelés :Arcs - il'extrémité des arcs represente les evenements.



# Structure logique du Graphe.





Conclusion -

La 1er methode donne la sequentialité et le dessin du graphe en posant les questions aux evenements .

- La 2eme methode donne la sequentialité en posant la question aux activités -

Ainsi d'après le tableau obtenu, on peut obtenir le dessin du graphe-

Les Operations qui suivent pour les methodes sont :

- Le N° des evenements sur le dessin celle -ci doit respecter la -  
regle que le N° de queue doit être plus petit que le N° de pointe-

Après la numerotation, on elabore le tableau de l'indicatif.-

\_\_\_\_\_ . \_\_\_\_\_

CHAPITRE III = CALCUL DE DUREE  
=====

## CHAPITRE III

### DETERMINATION DES DUREES :

#### Introduction :

1<sup>o</sup>) Après l'élaboration du dessin du graphe c'est à dire après l'élaboration de la structure logique du Graphique RESEAU, Suit la 2<sup>e</sup> étape, qui commence par :

#### Estimation de la durée de l'exécution de L'ouvrage Etudié.

A - Pour cela il faut d'abord déterminer la DUREE de chaque activité recensée sur le dessin.

Deux cas peuvent se présenter pour le calcul de chacune des durées

1<sup>er</sup> cas : - Pour les activités pour lesquelles il y a des normes de travail, notamment pour des activités tel que :

- Terrassements, Fouilles, Bétonnage, Maçonnerie, enduit, etc ...

on utilise la relation:

$$t = \frac{Q}{\eta \times N_p \times X \cdot e}$$

où :

t = durée d'Exécution d'une activité

Q = Quantité de travaux afferente

N<sub>p</sub> = Norme de Praduction

e = nombre de Ressources

$\eta$  = indice d'accomplissement des normes.

C'est le cas des activités comme: Fouilles, Béton Fondation, Béton - caniveaux, Maçonnerie, Montage charpente, Revêtement.

2<sup>e</sup> cas: Pour les activités, pour lesquelles il n'y a pas des Normes de travail, notamment pour les activités telle que:

- Elaboration des plans, recherches, Approvisionnement et surtout de l'implantation du chantier, approbation du projet, Formation des cadres etc;; qui risquent d'être soumises à des aléas importants, sont employés des données statistiques, il doit recourir à l'aide des spécialistes expérimentés.

On fait aussi appel à la statistique mathématique en calculant la durée possible de chaque activité; considérant que les temps sont distribués selon la loi  $\beta$

Dans cette situation, on fixera trois estimations de durée susceptibles d'être obtenues



- Celle la plus optimiste obtenue en supposant qu'aucun aléa ne viendra perturber la réalisation soit  $d_0$  Cette durée.

- Celle la plus pessimiste obtenue en supposant au contraire que de nombreux aléas entraveront la marche normale des opérations de réalisation Soit «  $d_p$  » Cette durée

- Celle qui sera vraisemblable compte tenu de l'expérience que l'on peut avoir dans la matière. Soit «  $d_v$  » Cette durée .

La durée moyenne de calcul sera prise

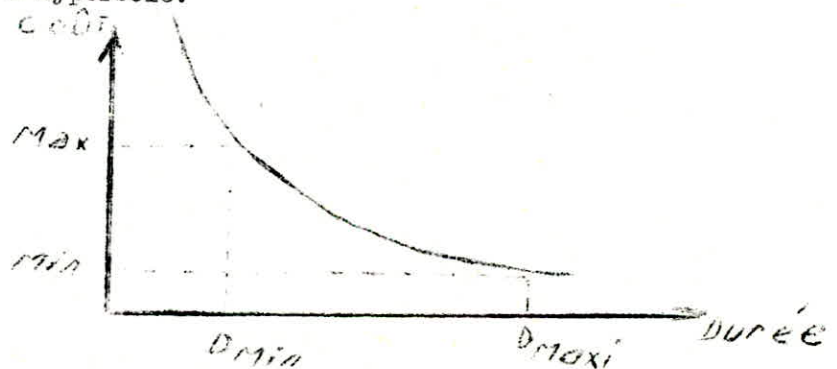
$$d = \frac{d_0 + 4 d_v + d_p}{6}$$

C'est le cas des activités suivantes:

- Etablissement des plans, et Approbation.
- implantation chantier
- Approvisionnement briques
- Approvisionnement charpente

Il est d'autre part possible d'aborder la durée de chaque activité en Fonction de son coût. En effet, une réduction de la durée des divers interventions risque d'entraîner une augmentation des dépenses.

La Forme générale de la variation du prix en Fonction des coûts a une allure s'apparentant à l'hyperbole:



De cette représentation on peut conclure :

- qu'au de la d'une certaine durée, on ne peut plus allonger le délai d'exécution pour obtenir une réduction des coûts.

- Mais inversement, on ne peut pas réduire les délais d'exécution au delà d'un certain seuil, et l'augmentation du coût est en vain, en catastrophe.

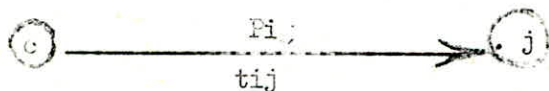
On détermine ainsi une durée qui aura le meilleure resultat sur le plan financier.

Selon ces principes, on a calculé les durées des activités composantes de l'exemple pris:

Tableau des durées N° 1.

DESIGNATION DES ACTIVITES	DUREE EN SEMAINE	Observations.
Etablissement du plans Approbations	4	
Implantation chantier	2	
Fouilles	2	
Beton Fondations	1	
Beton Canniveaux	2	
Maçonnerie	4	
Montage Charpente	2	
Revêtement	1	
Approvi. Briques	4	
Approvi. Charpentes	10	

remarque : les durées des activités, s'inscrivent sur le dessin, du Graphe au dessous de l'arc représentant l'activité :



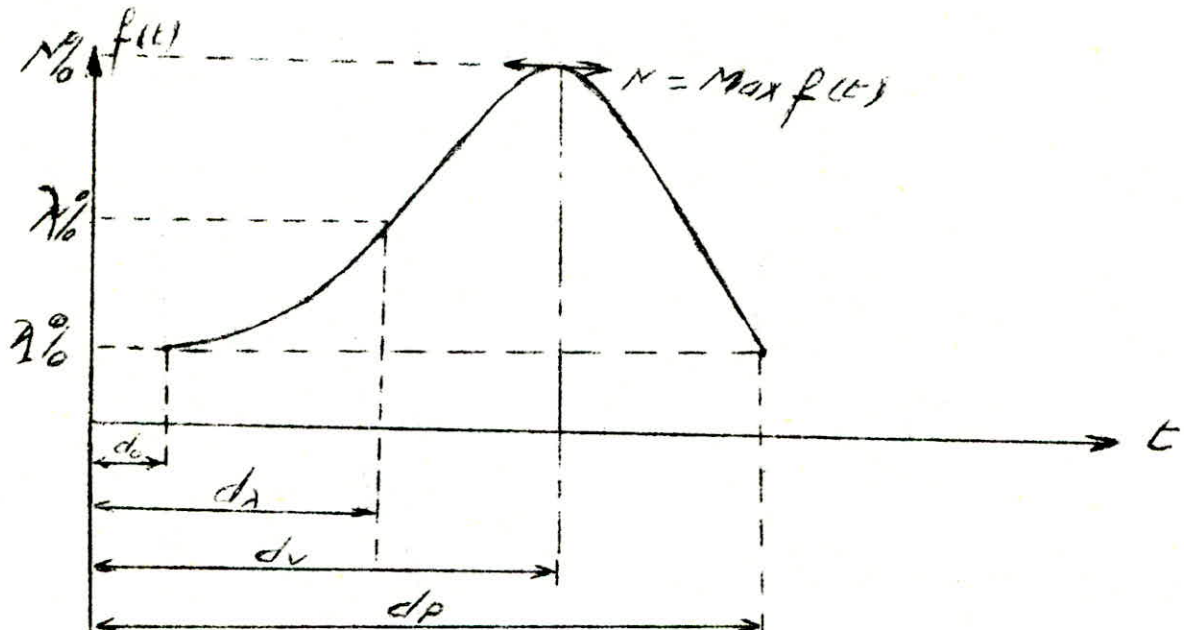
ANNEXE :

Nous reprenons dans ce paragraphe; le detail du calcul de la durée moyenne ;en considérant que les temps sont distribués selon la loi  $\beta$  des probabilités :

Si on tient l'évidence d'entrées des 100 partides de ciment avec la même durée, et la durée en abseisse; on obtient cette courbe en " cloche " de La place - Gauss - qui représente la Fonction de la densité des probabilités .

$$f(t) = \int_c^{+\infty} x^{r-1} e^{-x} dx.$$

Représentation de la Fonction densité des probabilités :



Si nous avons 100 partides: de ciment d'import :

- 1 fois : donne « do » la plus petite durée
- $\lambda$  fois : donne « d<sub>1</sub> » .
- $\sim$  fois : donne « dv » la durée la plus vraisemblable.
- 1 fois : donne « dp » la durée la plus grande

A partir de cette étude on définit la durée moyenne comme étant :

$$d_{ij} = \frac{do + 4 dv + dp}{6}$$

Pour déterminer la valeur de do, dv, dp, ( la plus petite, la plus probable et la plus longue de durées ), On interroge les spécialiste :

N.B : L'obligation de répondre à trois questions conduit à une information et à une appréciation plus complexe et plus complète

On cherchera a obtenir de l'estimateur les trois valeurs suivantes; mentionnées dans la relation antérieure.

- do : durée optimiste. C'est le temps minimum de réalisation de l'activité, si tout va anormalement bien ( La probabilité 1% )

- dp : durée persimiste : c'est la durée réalisée si tout ce qui peut aller bien, tournait mal ( à l'exception des catastrophes ) (La probabilité 1%)



dv : durée la plus vraisemblable:  
 c'est la durée que l'estimateur juge de voir se produire dans des circonstances normales ( correspond à la valeur maximum )

On prendra comme durée moyenne ( espérance mathématique ) la valeur suivante :

$$d_{ij} = \frac{d_o + 4d_v + d_p}{6}$$

De cette manière, on a déterminé les durées de :

- projection et Arrêté ..... 4 Semaines
- contrat et Acquisition des fermes ..... 10 Semaines
- contrat et acquisition des briques ..... 4 Semaines
- Organisation du chantier ..... 2 Semaines

On obtient ainsi le tableau suivant pour l'exemple pris :

N° d'ordre	Symbole	DESIGNATION DES ACTIVITES	Indicatif	dij Durée enSem	Observ.
		DESCRIPTION			
1	A	Project-Arrêts	1-2	4	les activ. ont été insc dans l'ordre croissante du premier chiffre de l'activité P(i,j) et les activités qui ont le même premier chiffre, s'inscrivent dans l'ordre croissant du dernier chiffre de l'indica- tif de l'activité
2	J	Contrat et acquisit. des formes	2-3	10	
3	I	Approvisionnement des briques	2-4	4	
4	B	Organisation de chantier	2-5	2	
5	-	Fictive	3-9	0	
6	-	Fictive	4-7	0	
7	C	Fouilles	5-6	2	
8	D	Betonnage Fondation	6-7	1	
9	E	Betonnage Canniveaux	6-8	2	
10	F	Maçonnerie murs briques.	7-9	4	
11	-	Fictive	8-9	0	
12	G	Montage des Fermes ou toit	9-10	2	
13	H	Revêtement.	10-11	1	

2<sup>e</sup>) Calcul du calendrier de Realisations- ou alors -

Calcul du Planning de realisation -

Introduction:

Toutes les données necessaires (reseau logique et durée probable des taches) etant reunies, il est alors possible d'etablir le calendrier ou planning.

L'originalité de la Methode PERT est de definir, non pas un , mais deux calendriers -

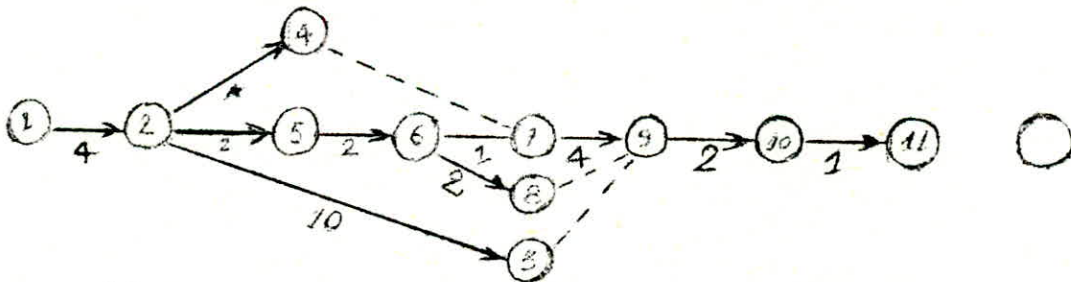
- Celui des dates de realisation ou plustot des evenements  $E_j, T_{oj}$  et
- Celui des dates de realisations au plus tot ( $T_{oj}$ ) et au plus tard ( $T_{Ai}$ ), peuvent etre effectuer par la methode Directe ou par la methode à Base de tableau -

a) METHODE  
Directe.

Dates de realisation au plus tot des evenements :  $T_{oj}$

Ce calendrier determine en fonction de l'accomplissement des activités, la date la plus proche de l'origine à laquelle, on peut esperer atteindre chaque evenement du reseau -

Soit le reseau : cas du hall industriel de vit precedemment -



Le calendrier part de l'origine du projet, c'est à dire de l'evenement 1, au temps zero;  $T_{o1} = 0$  - l'evenement.2, n'est relié à l'origine que par l'activité 1-2; Celle -ci dure 4 semaines, et peut commencer au temps 0.

L'évènement 2, sera donc atteint au plus tot à  $0 + 4 = 4$ , c'est à dire la quatrième semaines. On a  $T_{o2} = 4$  on designera un rectangle dans lequel nous porterons ce chiffre dans la partie gauche -

Pour l'evenement 3, sa date de realisation au plus tot sera realisée quand l'activité j sera accomplie. donc:  $T_{o3} = T_{o2} + 10 = 4 + 10 = 14$  semaines etc...

- l'événement 6, sera réalisé, au plus tôt, à :

$$To6 = To5 + 2 = 6 + 2 = 8 .$$

Evénement 7 : sera réalisé alors quand, toutes les activités situées à sa gauche, et qui convergent vers lui; seront réalisés. On arrive à  $E_7$  en partant de l'événement  $E_4$

$$To7 = To4 + d_{47}$$

- On arrive à  $E_7$  en partant de l'événement  $E_6$

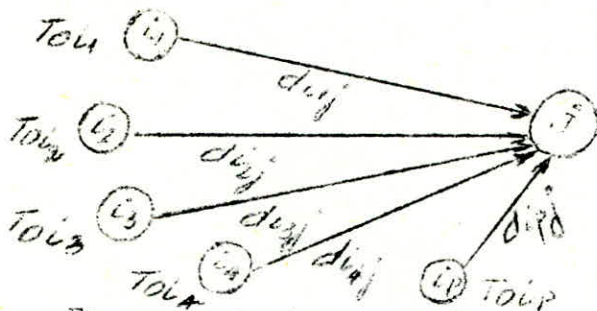
$$To7 = To6 + d_{6-7}$$

donc l'événement  $E_7$ , seront réalisés au plus tôt à  $To7 = 9^{iem}$  semaine -  
Donc les dates au plus tôt seront déterminées par le plus long -chemin -

$$- Toj = \max_{ij \in U_j} (Toi + dij) \quad j = 2, \dots, n$$

$U_j$  : ensemble des chemins de  $i$  à  $j$  -

Sur le schéma ci - contre, les événements  $i_1 \dots i_p$  sont tous les événements antérieurs ( à gauche -) de l'événement  $E_j$ .



$E_8$  sera réalisé au plus tôt à  $To8 = To6 + 2 = 10$ .

$E_9$  sera réalisé au plus tôt à  $To9 = \max (Toi + dij)$

donc :  $To3 + 0 = 14 + 0 = 14$

$$To8 + 0 = 10 + 0 = 10 \quad \text{-----} \quad To9 = 14.$$

$$To7 + 4 = 9 + 4 = 13.$$

$E_{10}$  sera réalisé au plus tôt à  $To9 + 2 = 16$  .

$E_{11}$  sera réalisé au plus tôt à  $To_{10} + 1 = 17$

Ce nombre représente le temps de réalisations du programme, la durée du programme -

On a vu donc que les dates de réalisations au plus tôt des événements, sont données par les plus longs, chemins entre l'origine et l'événement - respectif -

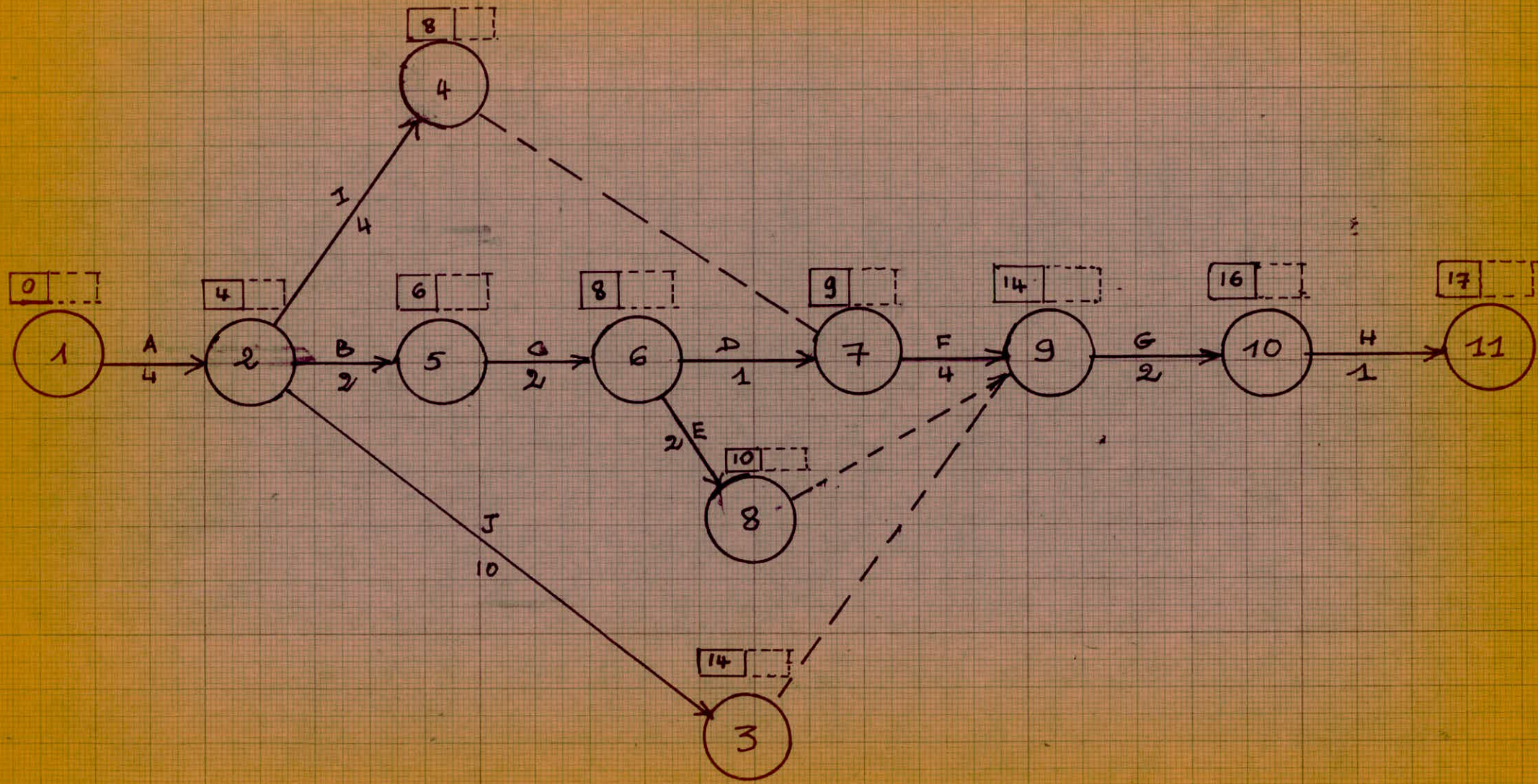
Dates de réalisations au plus tard des événements -

Cette fois, le calcul définit pour chaque événement la date la plus tardive à laquelle celle-ci peut encore être atteinte, sans que cela modifie la date de l'événement final du projet -



# Calcul de date au Plus Tôt

12





Ce calcul part de l'événement final E11) au temps  $T_{A11} = 17$  semaines précédemment obtenu, et remonte vers le début du projet.

pour l'événement E10, on a:  $T_{A10} = T_{A11} - d_{10-11} = 17 - 1 = 16$

E9, on a:  $T_{A9} = T_{A10} - d_{9-10} = 16 - 2 = 14$

E8, on a:  $T_{A8} = T_{A9} - d_{8-9} = 14 - 0 = 14$

E7, on a:  $T_{A7} = T_{A9} - d_{7-9} = 14 - 4 = 10$

E4, on a:  $T_{A4} = T_{A7} - d_{4-7} = 10 - 0 = 10$

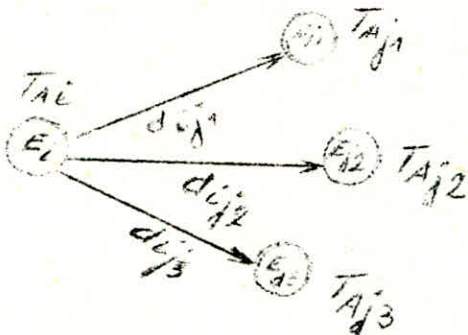
E3, on a:  $T_{A3} = T_{A9} - d_{3-9} = 14 - 0 = 14$

Jusqu'ici, pour chaque événement, on est arrivé seulement sur un chemin de l'événement final - pour E6, on peut arriver de l'événement final par deux chemins en partant de l'Ev. E7 et l'Ev. E8.

$$- T_{A6} = T_{A7} - d_{6-7} = 10 - 1 = 9$$

$$- T_{A6} = T_{A8} - d_{6-8} = 14 - 2 = 12$$

on choisit la valeur la plus petite :  
 $T_{A6} = 9$



$$T_{Ai} = \min_{j \in U_{ij}} (T_{Aj} - d_{ij})$$

$U_{ij}$  = l'ensemble des arcs divergents de i allant vers j -

on continue, - en remontant le graphe de droite à gauche.

- Pour l'événement E5, on a  $T_{A5} = T_{A6} - d_{5-6} = 9 - 2 = 7$  sem.

- Pour l'événement E2, on a  $\min \begin{cases} T_{A4} - d_{4-2} = 10 - 4 = 6 \\ T_{A5} - d_{5-2} = 7 - 2 = 5 \\ T_{A3} - d_{3-2} = 14 - 10 = 4 \end{cases}$

Donc pour E2 on prend .

$$\rightarrow T_{A2} = 4 \text{ semaines -}$$

Pour l'événement E1, on a  $T_{A1} = T_{A2} - d_{1-2} = 4 - 4 = 0$

2em methode de calcul -

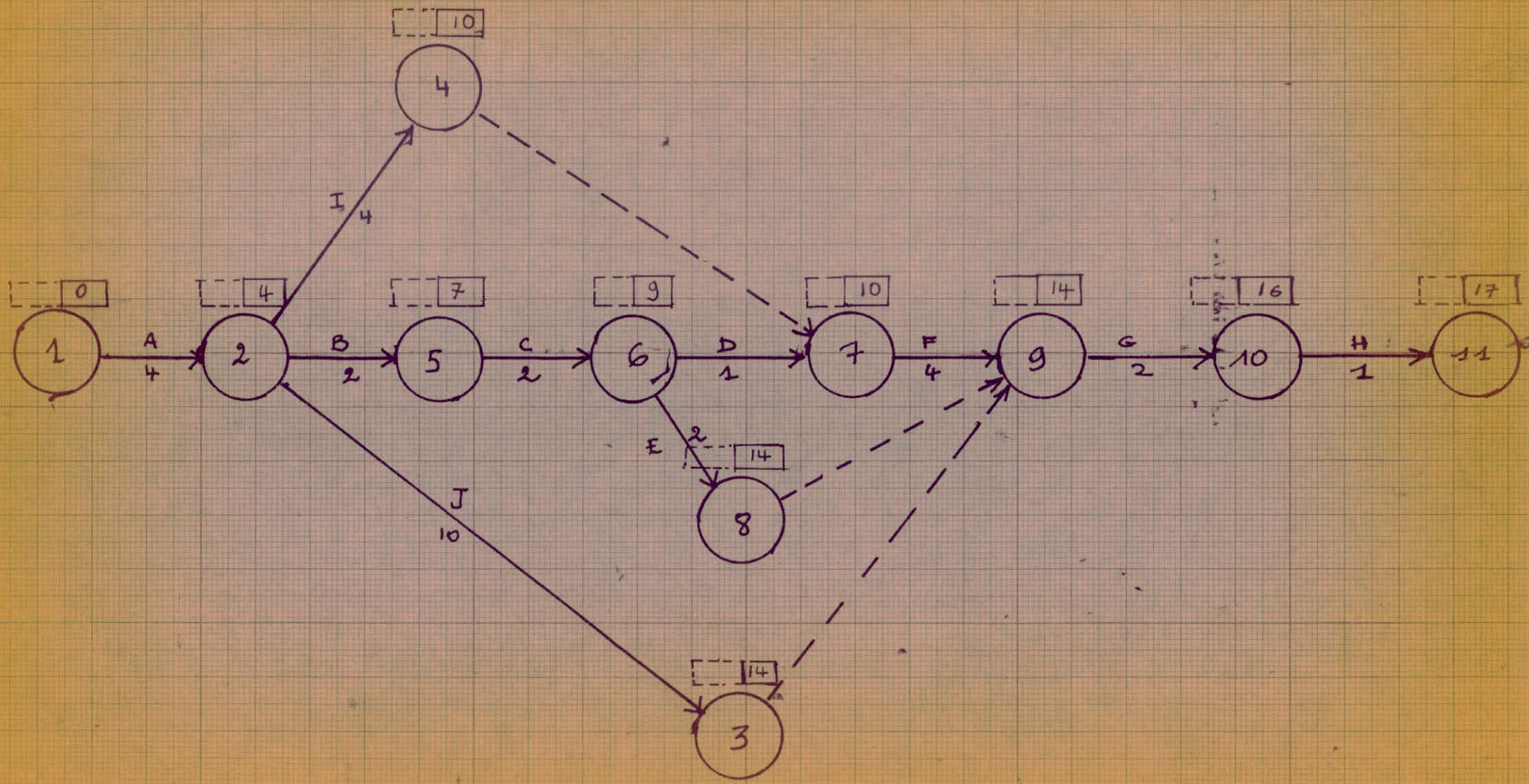
Calcul de date au plus tot par

la methode du chemin le plus long.-

$$\text{on a } T_{oj} = \max_{i \in \text{Fin. } i \rightarrow j} \left( \sum_{i,j} d_{ij} \right) \quad \begin{matrix} i = 1, 2, \dots \\ j = 2, 3, \dots \end{matrix}$$

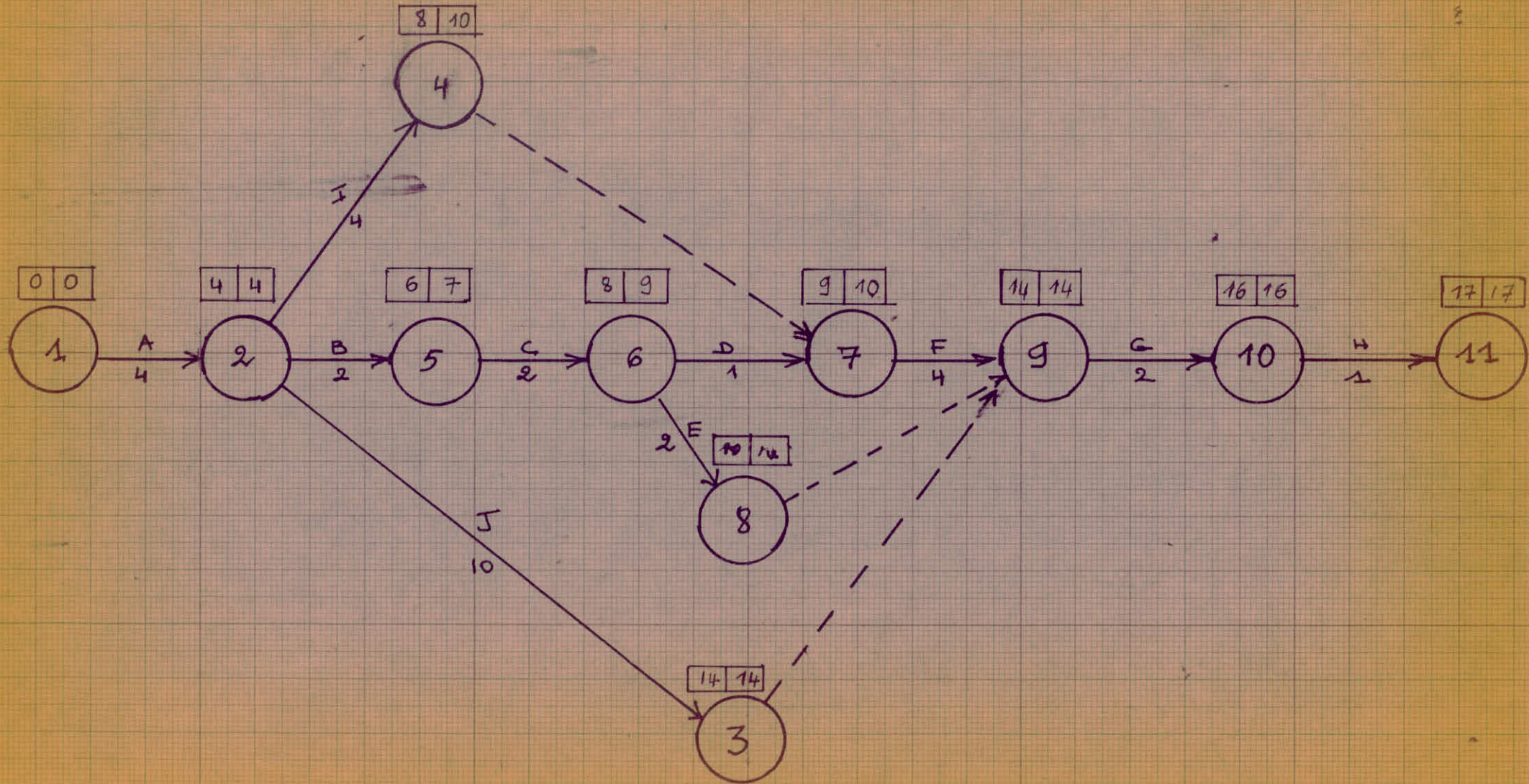


Calcul de date au plus tard -





Réseau PERT - représentant les dates  
 au plus tôt et au plus tard, de la réalisation  
 du hall industriel.





evenement 1 .

$$T_{01} = 0 .$$

evenement 2 .

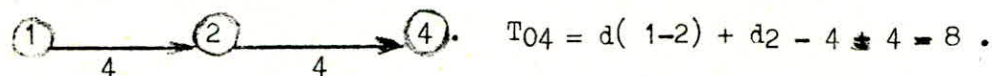
on arrive par :



evenement 3 .



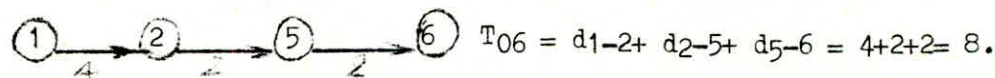
evenement 4 .



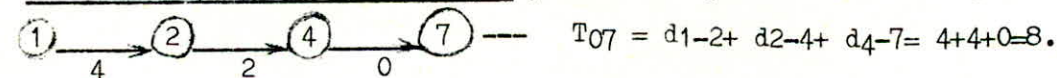
evenement 5 .



pour l'evenement 6 , on arrive par le chemin suivant.



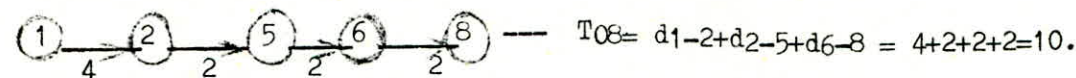
Par contre pour l'evenement 7 . , on arrive par deux chemins qui sont:



on choisit donc le maximum des 2 valeurs:

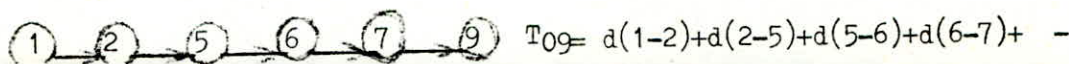
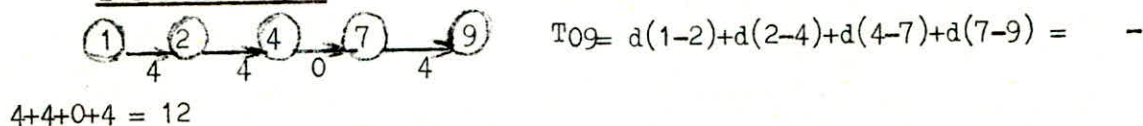
$$\underline{\underline{T_{07} = 9}}$$

pour l'evenement 8 . on arrive par le chemin:



on arrive par 4 chemins, pour

l'evenement 9 .



$$\begin{array}{c} \textcircled{1} \quad \textcircled{2} \quad \textcircled{3} \quad \textcircled{9} \\ \hline \quad 4 \quad 10 \quad 0 \end{array} \quad T_{09} = 4 + 10 + 0 = 14 = d_{1-2} + d_{2-3} + d_{3-9}$$

$$\begin{array}{c} \textcircled{1} \quad \textcircled{2} \quad \textcircled{5} \quad \textcircled{6} \quad \textcircled{8} \quad \textcircled{9} \\ \hline \quad 4 \quad 2 \quad 2 \quad 2 \quad 0 \end{array} \quad T_{09} = d(1-2) + d(2-5) + d(5-6) + d(6-8) + d(8-9)$$

$$T_{09} = 4 + 2 + 2 + 2 + 0 = 10$$

des 4 valeurs de  $T_{09}$ , on choisit la valeur la plus forte :  $T_{09} = 14$

Pour l'événement 10.

on arrive aussi par 4 chemins --

$$\begin{array}{c} \textcircled{1} \quad \textcircled{2} \quad \textcircled{4} \quad \textcircled{7} \quad \textcircled{9} \quad \textcircled{10} \\ \hline \quad 4 \quad 4 \quad 0 \quad 4 \quad 2 \end{array} \quad T_{010} = d_{1-2} + d_{2-4} + d_{4-7} + d_{7-9} + d_{9-10}$$

$$T_{010} = 4 + 4 + 0 + 4 + 2 = 14$$

$$\begin{array}{c} \textcircled{1} \quad \textcircled{2} \quad \textcircled{5} \quad \textcircled{6} \quad \textcircled{7} \quad \textcircled{9} \quad \textcircled{10} \\ \hline \quad 4 \quad 2 \quad 2 \quad 2 \quad 1 \quad 2 \end{array} \quad T_{010} = d_{1-2} + d_{2-5} + d_{5-6} + d_{6-7} + d_{7-9} + d_{9-10}$$

$$T_{010} = 4 + 2 + 2 + 2 + 1 + 2 = 13$$

$$\begin{array}{c} \textcircled{1} \quad \textcircled{2} \quad \textcircled{3} \quad \textcircled{9} \quad \textcircled{10} \\ \hline \quad 4 \quad 10 \quad 0 \quad 2 \end{array} \quad T_{010} = d_{1-2} + d_{2-3} + d_{3-9} + d_{9-10}$$

$$T_{010} = 4 + 10 + 2 + 0 = 16$$

$$\begin{array}{c} \textcircled{1} \quad \textcircled{2} \quad \textcircled{5} \quad \textcircled{6} \quad \textcircled{8} \quad \textcircled{9} \quad \textcircled{10} \\ \hline \quad 4 \quad 2 \quad 2 \quad 2 \quad 0 \quad 2 \end{array} \quad T_{010} = d_{1-2} + d_{2-5} + d_{5-6} + d_{6-8} + d_{8-9} + d_{9-10}$$

$$T_{010} = 4 + 2 + 2 + 2 + 2 = 12$$

on choisit plus forte : donc

$$T_{010} = 16$$

Pour l'événement 11 /

on arrive aussi par 4 routes -

on aura

$$\begin{array}{c} \textcircled{1} \quad \textcircled{2} \quad \textcircled{4} \quad \textcircled{7} \quad \textcircled{9} \quad \textcircled{10} \quad \textcircled{11} \\ \hline \quad 4 \quad 4 \quad 0 \quad 4 \quad 2 \quad 1 \end{array} \quad T_{011} = d(1-2) + d(2-4) + d(4-7) + d(7-9) + d(9-10) + d(10-11)$$

$$T_{011} = 4 + 4 + 0 + 4 + 2 + 1 = 15$$

$$\begin{array}{c} \textcircled{1} \quad \textcircled{2} \quad \textcircled{5} \quad \textcircled{6} \quad \textcircled{7} \quad \textcircled{9} \quad \textcircled{10} \quad \textcircled{11} \\ \hline \quad 4 \quad 2 \quad 2 \quad 2 \quad 1 \quad 2 \quad 1 \end{array} \quad T_{011} = d_{1-2} + d_{2-5} + d_{5-6} + d_{6-7} + d_{7-9} + d_{9-10} + d_{10-11}$$

$$T_{011} = 4 + 2 + 2 + 2 + 1 + 2 + 1 = 14$$

le troisième chemin sera =

$$\begin{array}{c} \textcircled{1} \quad \textcircled{2} \quad \textcircled{3} \quad \textcircled{9} \quad \textcircled{10} \quad \textcircled{11} \\ \hline \quad 4 \quad 10 \quad 0 \quad 2 \quad 1 \end{array}$$

$$T_{011} = 4 + 10 + 0 + 2 + 1 = 17$$

le quatrième chemin sera :



$$T_{011} = \begin{array}{cccccccccccc} \textcircled{1} & \xrightarrow{4} & \textcircled{2} & \xrightarrow{2} & \textcircled{5} & \xrightarrow{2} & \textcircled{6} & \xrightarrow{2} & \textcircled{8} & \xrightarrow{0} & \textcircled{9} & \xrightarrow{2} & \textcircled{10} & \xrightarrow{1} & \textcircled{11} \\ T_{011} = & & 4 & + & 2 & + & 2 & + & 2 & + & 0 & + & 2 & + & 1 & = & 13 \end{array}$$

on prendra donc comme date finale au plus tot  $T_{011} = 17$

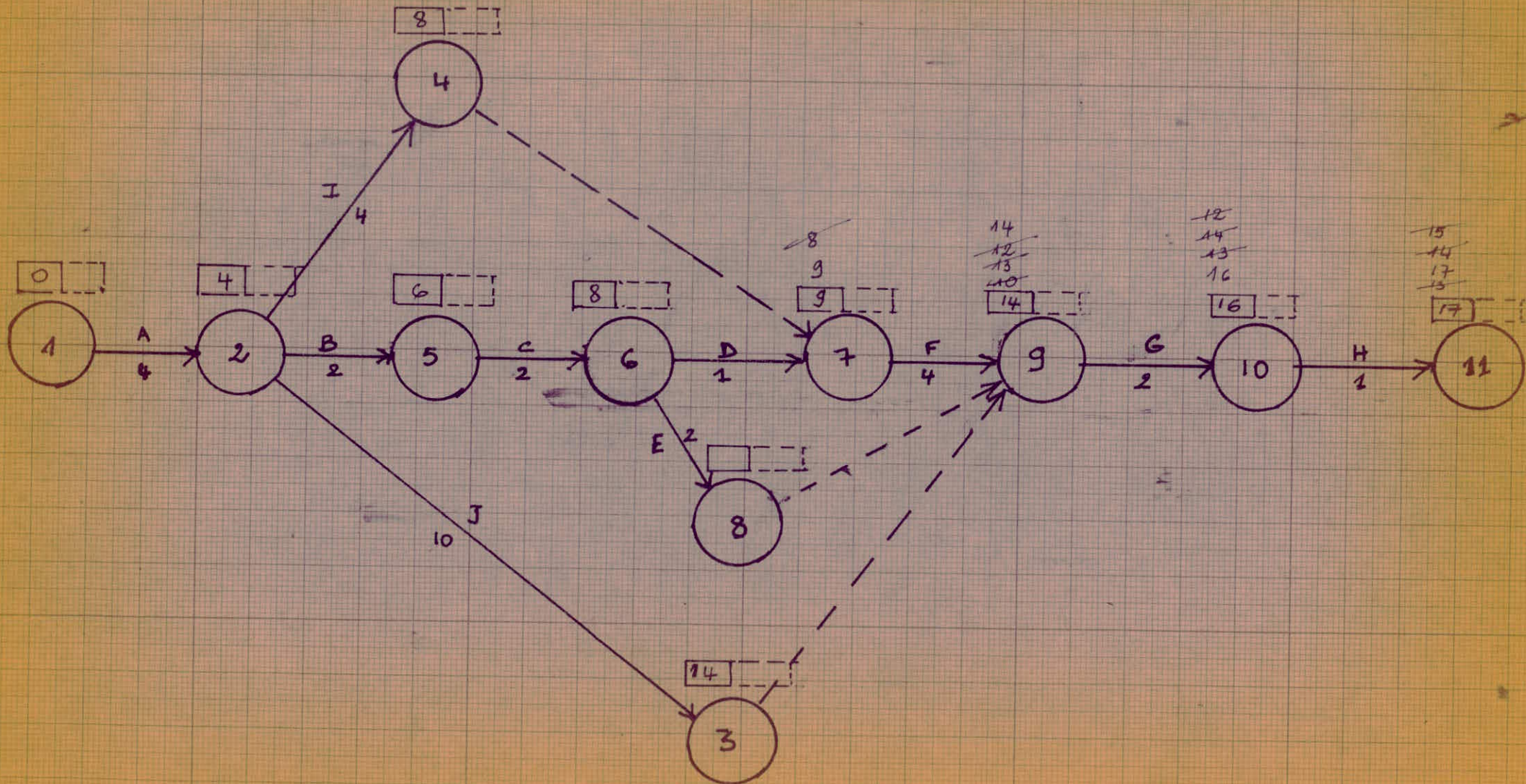
                   o



Calcul de date au plus tôt

Par la méthode du chemin le

plus long —





2<sup>e</sup> METHODE DE CALCUL POUR LES DATES AU PLUS TARD DES EVENEMENTS.

Cette fois-ci, on part de la date au plus tard de l'événement final qui coïncide avec la date au plus tôt de l'événement final .

Nous avons la Formule Générale qui est la suivante :

$$T_{Ai} = T_{Afinal} - d_{ij}$$

et lorsque plusieurs chemins aboutissent à un même noeud on prend :

$$T_{Ai} = \text{Min} ( T_{Afinal} - d_{ij} )$$

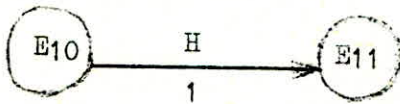
Pour le hall industriel on a :

$$T_{A11} = \text{Min} ( T_{A11} - d_{ij} )$$

- Pour l'événement final E<sub>11</sub> on a :

$$T_{A11} = T_{O11} = 17$$

- Pour l'événement E<sub>10</sub> on a :



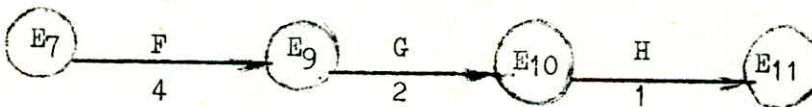
$$T_{A10} = T_{A11} - d_{10-11} = 17 - 1 = 16$$

- Pour l'événement E<sub>9</sub> on a :



$$T_{A9} = T_{A11} - d_{10-11} - d_{9-10} = 17 - 1 - 2 = 14$$

- Pour l'événement E<sub>7</sub> on a :

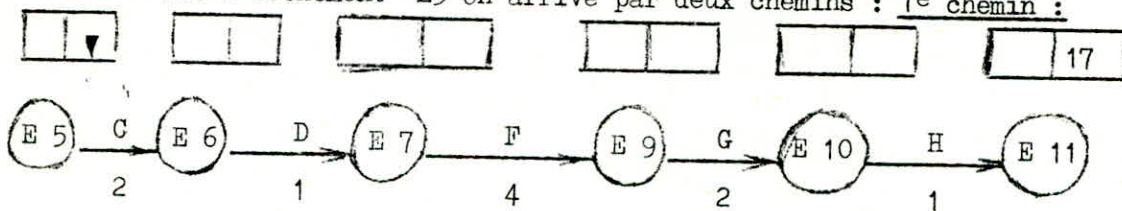


$$T_{A7} = T_{A11} - d_{10-11} - d_{9-10} - d_{7-9}$$

$$T_{A7} = 17 - 1 - 2 - 4 = 10$$



- Pour l'événement E5 on arrive par deux chemins : 1<sup>e</sup> chemin :

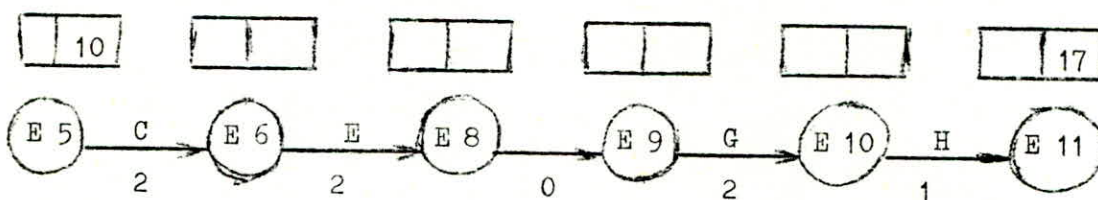


$$TA5 = TA11 - d_{10-11} - d_{9-10} - d_{7-9} - d_{6-7} - d_{5-6}$$

$$TA5 = 17 - 1 - 2 - 4 - 1 - 2$$

$$TA5 = 7$$

2<sup>e</sup> chemin :



$$TA5 = TA11 - d_{10-11} - d_{9-10} - d_{8-9} - d_{6-8} - d_{5-6}$$

$$TA5 = 17 - 1 - 2 - 0 - 2 - 2 = 10$$

- Pour la date, on prend le minimum des deux dates déterminées - précédemment .

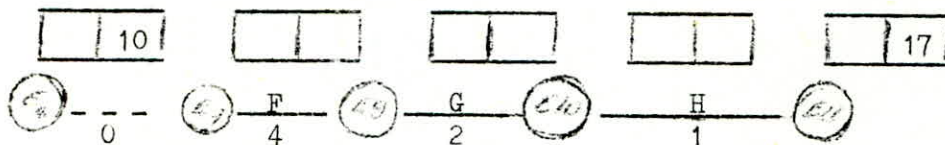
$$TA5 = \min \left( \begin{matrix} (1) \\ TA5 \end{matrix}, \begin{matrix} (2) \\ TA5 \end{matrix} \right) = \min (7, 10)$$

$$TA5 = 7.$$

- Pour l'événement E4 on a :

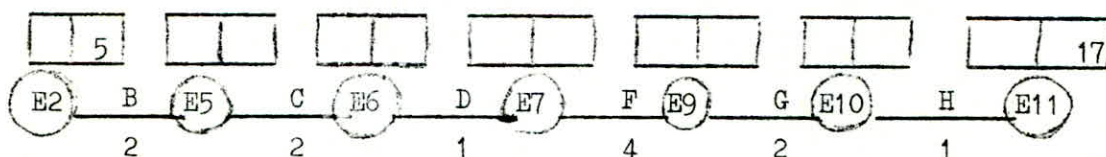
$$TA4 = TA17 - d_{10-11} - d_{9-10} - d_{7-9} - d_{4-7}$$

$$TA4 = 17 - 1 - 2 - 4 - 0 = 10$$



- Pour l'événement E2 on y arrive par 4 chemins différents :

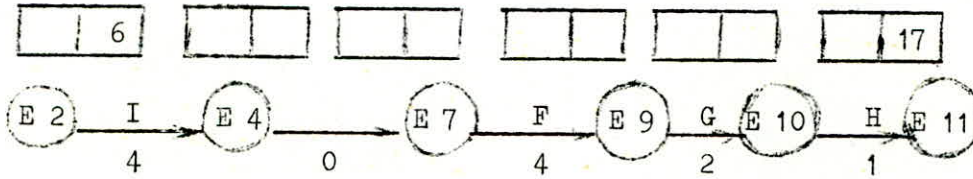
1<sup>er</sup> chemin :



$$TA_2 = TA_{11} - d_{10-11} - d_{9-10} - d_{7-9} - d_{6-7} - d_{5-6} - d_{2-5}$$

$$TA_2 = 17 - 1 - 2 - 4 - 1 - 2 - 2 = 5$$

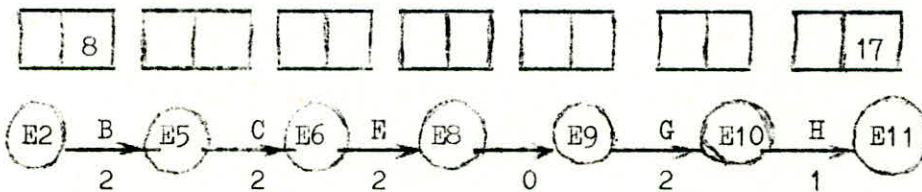
2<sup>e</sup> chemin :



$$TA_2 = TA_{11} - d_{10-11} - d_{9-10} - d_{7-9} - d_{4-7} - d_{4-2}$$

$$TA_2 = 17 - 1 - 2 - 4 - 0 - 4 = 6$$

3<sup>e</sup> chemin :

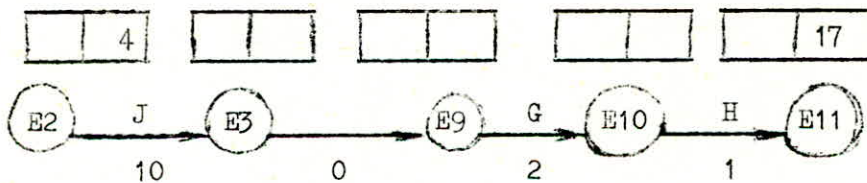


$$TA_2 = TA_{11} - d_{10-11} - d_{9-10} - d_{8-9} - d_{6-8} - d_{5-6} - d_{2-5}$$

$$TA_2 = 17 - 1 - 2 - 0 - 2 - 2 - 2 = 8$$

4<sup>e</sup> chemin :

5<sup>e</sup>



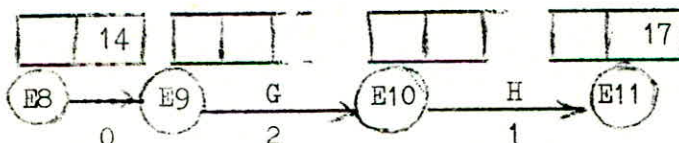
$$TA_2 = TA_{11} - d_{10-11} - d_{9-10} - d_{3-9} - d_{2-3}$$

$$TA_2 = 17 - 1 - 2 - 10 = 4$$

On prend pour  $TA_2 = \min \quad T_{A_2}^{(1)}, T_{A_2}^{(2)}, T_{A_2}^{(3)}, T_{A_2}^{(4)}$

$$TA_2 = \min \quad 5, 6, 8, 4 = 4$$

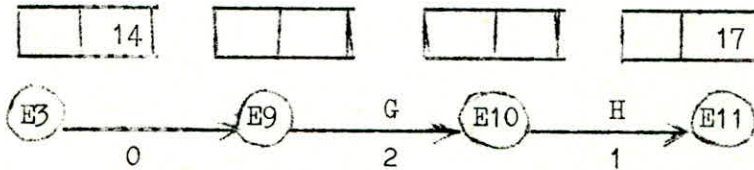
- Pour l'événement E 8 on a :



$$TA_8 = TA_{11} - d_{10-11} - d_{9-10} - d_{8-9}$$

$$TA_8 = 17 - 1 - 2 - 0 = 14$$

- Pour l'événement E3 on a :

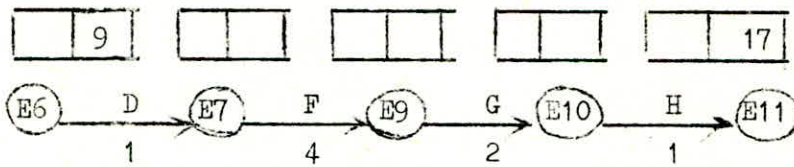


$$TA_3 = TA_{11} - d_{10-11} - d_{9-10} - d_{3-9}$$

$$TA_3 = 17 - 1 - 2 - 0 = 14$$

- Pour l'événement E6 on arrive par deux chemins .

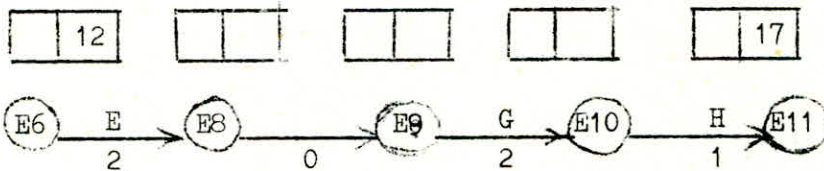
1<sup>e</sup> chemin :



$$(1) \quad TA_6 = TA_{11} - d_{10-11} - d_{9-10} - d_{7-9} - d_{6-7}$$

$$TA_6 = 17 - 1 - 2 - 4 - 1 = 9$$

2<sup>e</sup> chemin



$$(2) \quad TA_6 = TA_{11} - d_{10-11} - d_{9-10} - d_{8-9} - d_{6-8}$$

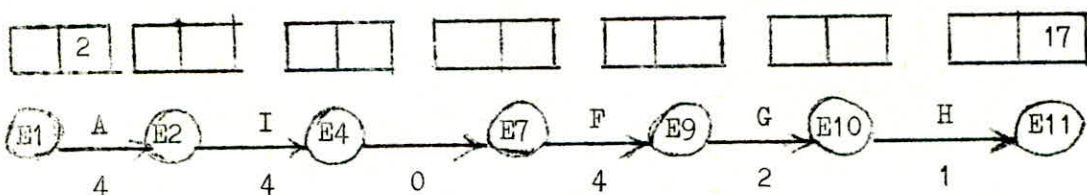
$$TA_6 = 17 - 1 - 2 - 0 - 2 = 12$$

Donc pour l'événement des deux E6 on prend la valeur minimale des deux dates déterminées suivant les deux chemins ci-dessus .

$$TA_6 = \text{Min} \left\{ \overset{(1)}{TA_6}, \overset{(2)}{TA_6} \right\} = \text{Min} \{ 9, 12 \} = 9.$$

- Pour l'événement E1 on y arrive par 4 chemins différents :

1<sup>e</sup> chemin :



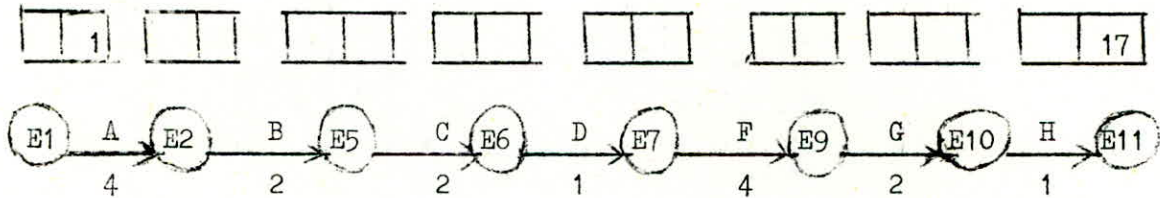


$$TA1 = TA11 - d_{10-11} - d_{9-10} - d_{7-9} - d_{4-7} - d_{2-9} - d_{1-2}$$

$$TA1 = 17 - 1 - 2 - 4 - 0 - 4 - 4$$

$$TA1 = 2$$

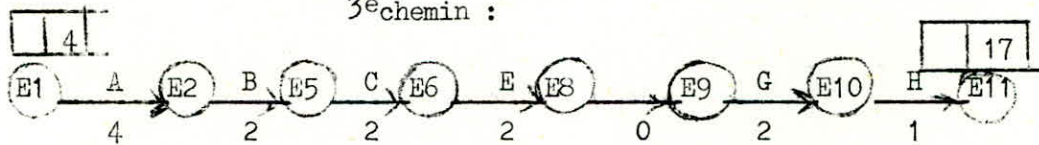
2<sup>e</sup>chemin :



$$TA1 = TA11 - d_{10-11} - d_{9-10} - d_{7-9} - d_{6-7} - d_{5-6} - d_{2-5} - d_{1-2}$$

$$TA1 = 17 - 1 - 2 - 4 - 1 - 2 - 2 - 4 = 1$$

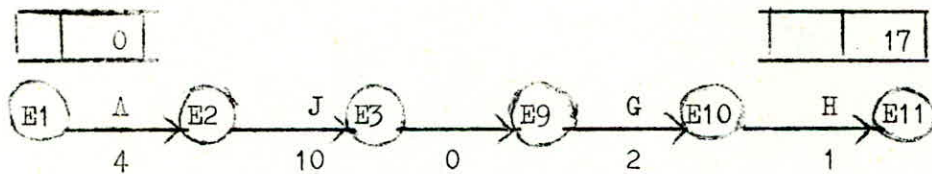
3<sup>e</sup>chemin :



$$TA1 = TA11 - d_{10-11} - d_{9-10} - d_{8-9} - d_{6-8} - d_{5-6} - d_{2-5} - d_{1-2}$$

$$TA1 = 17 - 1 - 2 - 0 - 2 - 2 - 2 - 4 = 4$$

4<sup>e</sup>chemin :



$$TA1 = TA11 - d_{10-11} - d_{9-10} - d_{3-9} - d_{2-3} - d_{1-2}$$

$$TA1 = 17 - 1 - 2 - 0 - 10 - 4 = 0$$

$$\text{On prend pour } TA1 = \text{Min} \left\{ \begin{matrix} (1) \\ (2) \\ (3) \\ (4) \end{matrix} TA1, TA1, TA1, TA1 \right\}$$

$$TA1 = \text{Min} \{ 2, 1, 4, 0 \} = 0$$

Le chemin critique :

On remarque pour quelques événements, que les dates au plus tôt, coïncident avec les dates au plus tard; ainsi comme on voit sur la figure pour les événements E1 ; E2 ; E3 ; E9 ; E10 ; E11 ;

Pour les autres événements, les dates au plus tôt, ne coïncident pas avec les dates au plus tard -



Calcul de date au plus tard  
 Par la méthode du chemin  
 le plus long.

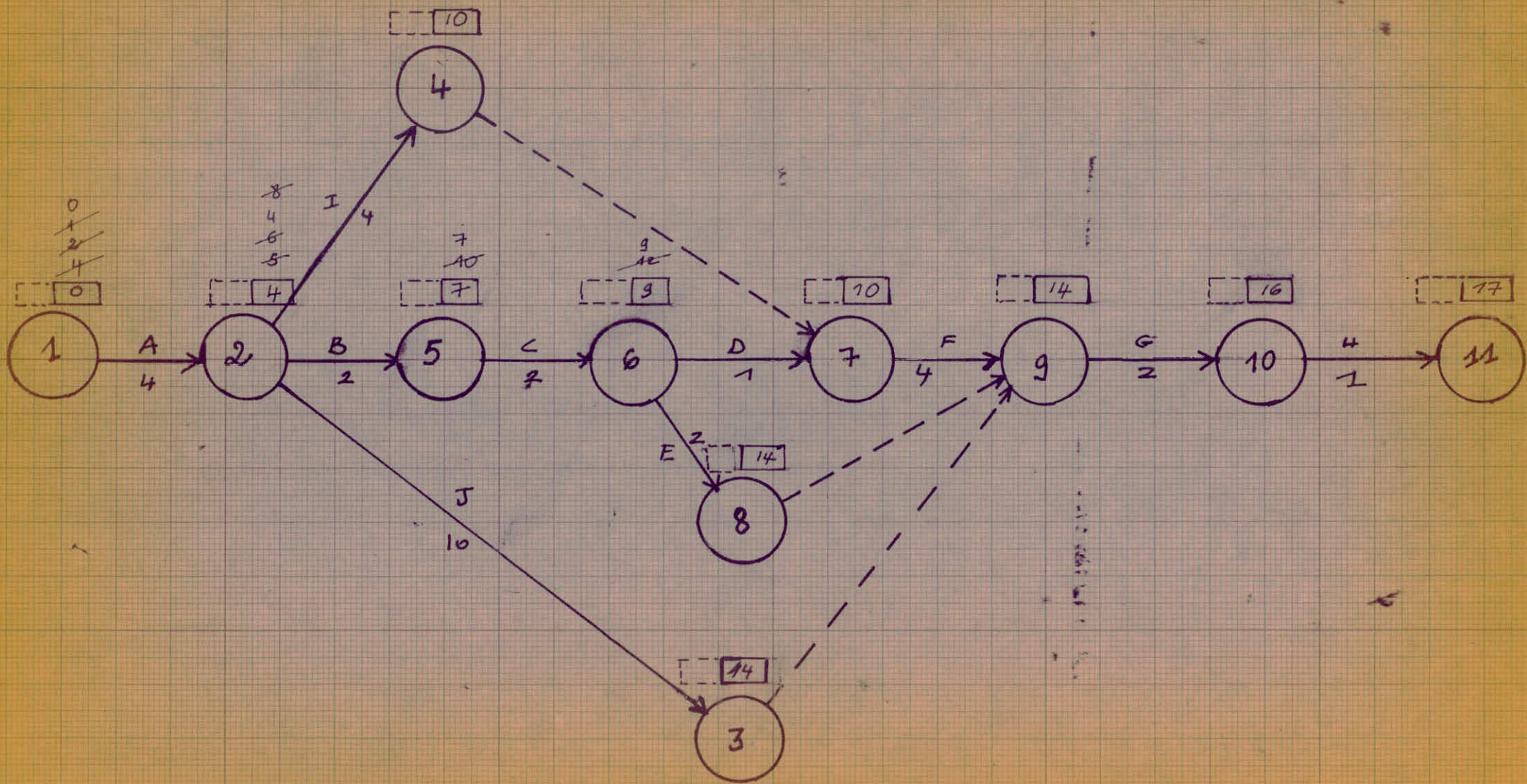
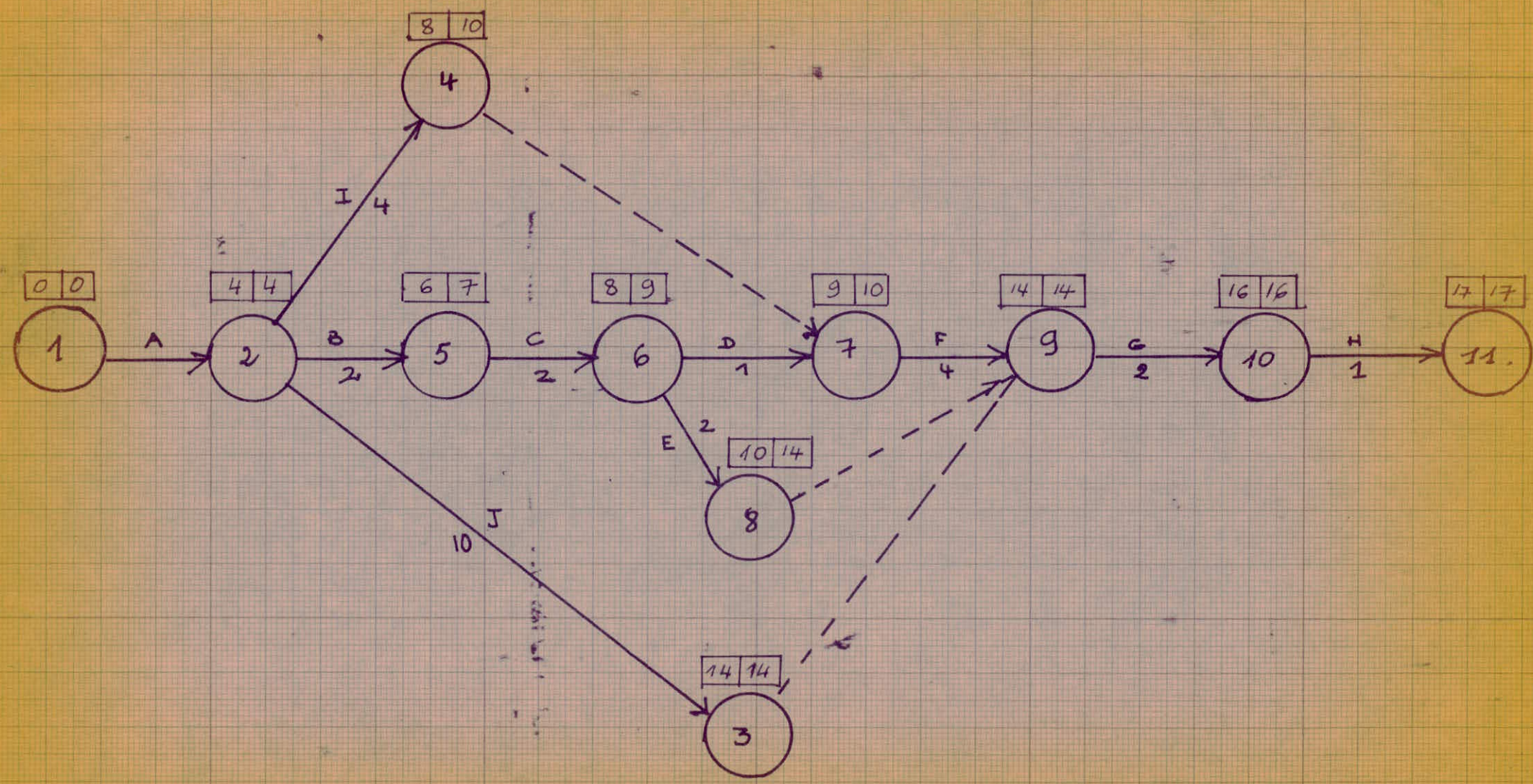




Diagramme PERT - A.R.C. et calcul  
 de date, par la méthode du  
chemin le plus long





Les evenements pour lesquelles, il y a coincidence des dates au plus tôt et au plus tard, se trouvent sur le chemin critique (tracé en rouge sur le - graphe.) -

Les evenements dont les dates de realisation au plus tard ( $TA_i$ ) et au plus tôt ( $TO_i$ ) sont identiques, sont des evenements critiques -

Si ces evenements sont retardés, tout le projet est retardé -

- Pour qu'une activité  $P(i,j)$  soit critique, il faut qu'elle satisfasse à deux conditions - la première est que les dates de realisation au plus tôt et au plus tard de l'évenement initial  $E_i$  et de l'évenement final c'est à dire:

$$* TO_i = TA_i ; TO_j = TA_j - *$$

- La deuxième condition est que :

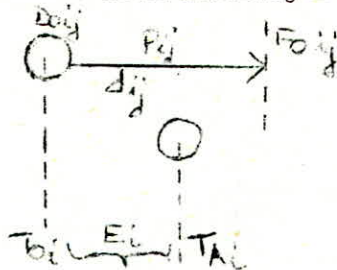
$TA_j - TA_i = d_{ij}$  ; c'est à dire que la difference de temps entre son evenement final et son evenement initial soit égal à sa durée d'execution -

Les activités critiques ne tolerent aucun retard quant à leur realisation -

### Dates des activités -

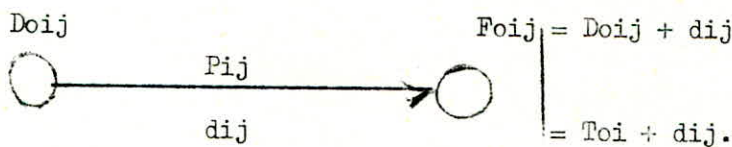
Nous definissons quatre dates pour les activités -

- la date de debut au plus tôt d'une activité ,  $Do_{ij}$  = c'est la date la plus proche de l'origine, à laquelle il est possible de commencer l'activité  $P_{ij}$  - Elle est egale à la date de realisation au plus tôt de l'évenement precedent cette activité.  $Do_{ij} = To_i$  .



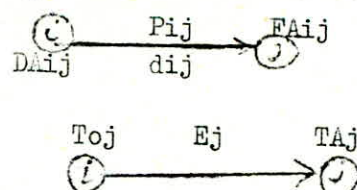
La date de fin au plus tot d'une activité  $Fo_{ij}$ , c'est la date la plus proche de l'origine pour l'achèvement d'une activité. -

$Fo_{ij} = Do_{ij} + d_{ij}$  où  $d_{ij}$  est la durée de cette activité.



La date de fin au plus tard -  $FA_{ij}$  .

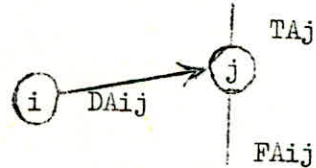
Qui est la date la plus tardive à laquelle, on peut encore terminer une activité sans causer un retard sur la date finale du reseau - Elle est égale à la date de realisation au plus tard de l'étape suivant cette activité -



La date de debut au plus tard : DAij

c'est la date la plus tardive à laquelle, il est possible de commencer une activité sans causer un retard sur la date finale du reseau -

$$DA_{ij} = FA_{ij} - d_{ij} = TA_j - d_{ij}$$



- Marges (Reserves) des activités -

faisons 1 esquisse de ce qui peut arriver à deux étapes successives  $E_i, E_j$  .

Pour l'étape  $E_i$ , étape précédente, on a 2 dates de réalisation -  
Toi et  $TA_i$  -

Aussi pour l'étape  $E_j$ , étape suivante, on a :

Toj et  $TA_j$  -

Visualisation des marges - (Voir le calque suivant )

La marge totale

La marge totale représente le temps supplémentaire dont on dispose pour l'accomplissement d'une activité, sans augmenter pour autant la durée du projet -

La marge libre -

Cette marge représente le temps supplémentaire dont on dispose pour l'accomplissement d'une activité, sans modifier, la date de debut au plus tôt des autres activités suivantes -

- ) la marge totale est donnée par la formule -

$$MT = TA_j - (FO_{ij}) = TA_j - To_i - d_{ij} -$$

-) la marge libre est donnée par la formule -

$$ML = To_j - (FO_{ij}) = To_j - To_i - d_{ij}$$

-) la marge conditionnelle.

$$MC = TA_j - TA_i - d_{ij}.$$

-) la marge indépendante.

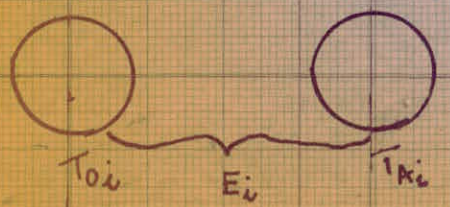
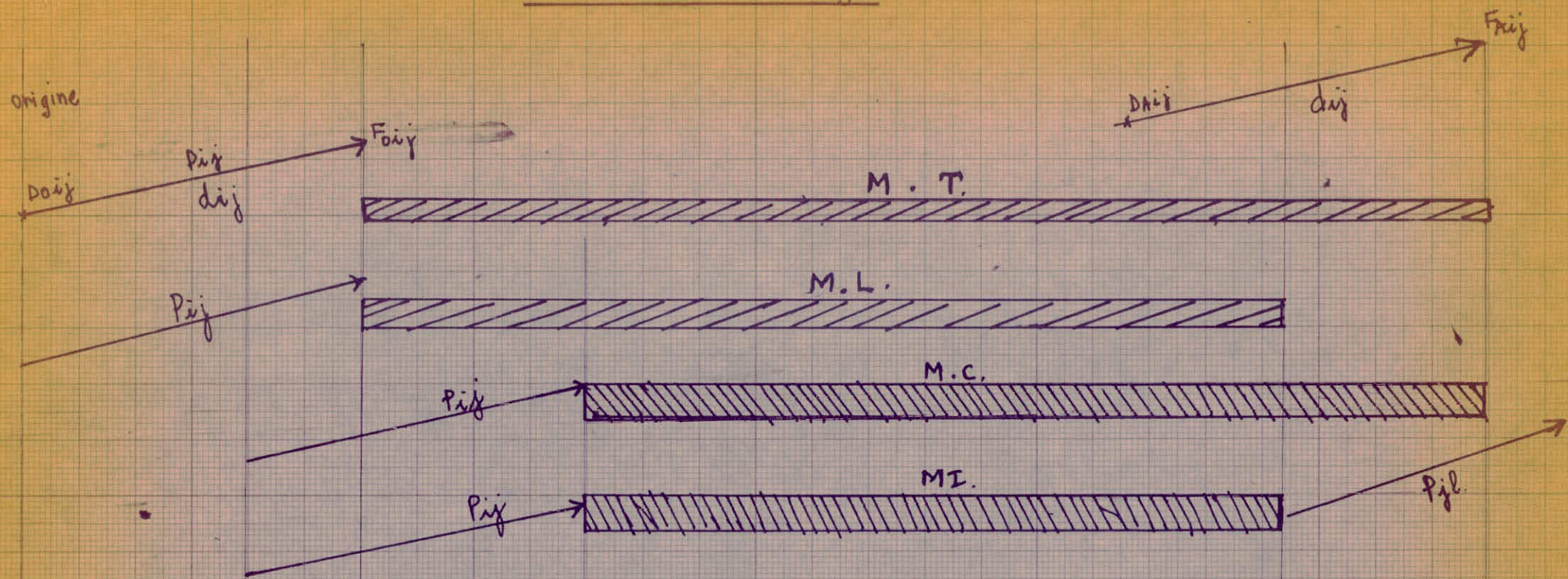
$$MI = To_j - TA_i - d_{ij} -$$

on voit que toutes les marges sont comprises dans la marge totale -

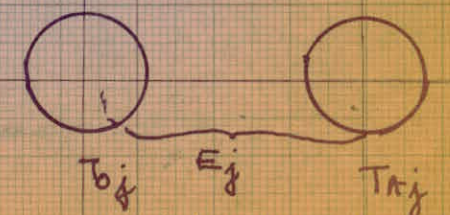
Le calcul de la marge totale et de la marge libre, relatif au cas du hall industriel déjà traité précédemment, sera représenté par le tableau -  
suivant.



- Visualisation des marges -



les dates de réalisations de l'événement précédant l'activité  $(i, j)$



les dates de réalisations de l'événement suivant l'activité  $(i, j)$



Calcul des Marges Totales et des Marges Libres

Activites	$MT_{ij} = T_{ij} - T_{oi} - d_{ij}$	$ML_{ij} = T_{oj} - T_{oi} - d_{ij}$
1-2	$MT_{1-2} = 4 - 0 - 4 = 0$	$ML_{1-2} = 4 - 0 - 4 = 0$
2-3	$MT_{2-3} = 14 - 4 - 10 = 0$	$ML_{2-3} = 14 - 4 - 10 = 0$
2-4	$MT_{2-4} = 10 - 4 - 4 = 2$	$ML_{2-4} = 9 - 4 - 4 = 1$
2-5	$MT_{2-5} = 7 - 4 - 2 = 1$	$ML_{2-5} = 6 - 4 - 2 = 0$
3-9	$MT_{3-9} = 14 - 14 - 0 = 0$	$ML_{3-9} = 14 - 14 - 0 = 0$
4-7	$MT_{4-7} = 10 - 8 - 10 = 2$	$ML_{4-7} = 9 - 8 - 0 = 1$
5-6	$MT_{5-6} = 9 - 6 - 2 = 1$	$ML_{5-6} = 8 - 6 - 2 = 0$
6-7	$MT_{6-7} = 10 - 8 - 1 = 1$	$ML_{6-7} = 9 - 8 - 1 = 0$
6-8	$MT_{6-8} = 14 - 8 - 2 = 4$	$ML_{6-8} = 10 - 8 - 2 = 0$
7-9	$MT_{7-9} = 14 - 9 - 4 = 1$	$ML_{7-9} = 14 - 9 - 4 = 1$
8-9	$MT_{8-9} = 14 - 10 - 0 = 4$	$ML_{8-9} = 14 - 10 - 0 = 4$
9-10	$MT_{9-10} = 16 - 14 - 2 = 0$	$ML_{9-10} = 16 - 14 - 2 = 0$
10-11	$MT_{10-11} = 17 - 15 - 1 = 0$	$ML_{10-11} = 17 - 15 - 1 = 0$



TABLEAU DE CALCUL de DATES des Activités -

Activités	$D_{oij} = T_{oi}$	$D_{Aij} = T_{Aj} - d_{ij}$	$F_{oij} = D_{oij} + d_{ij}$	$F_{Aij} = T_{Aj}$
1-2	0	0	$0 + 4 = 4$	4
2-3	4	4	14	14
2-4	4	6	8	10
2-5	4	5	6	7
3-9	14	14	14	14
4-7	8	10	8	10
5-6	6	7	8	9
6-7	8	9	9	10
6-8	8	12	10	14
7-9	9	10	13	14
8-9	10	14	10	14
9-10	14	14	16	16
10-11	16	16	17	17



De ce tableau, on observe que pour les unes, la marge totale est égale à 0 .

Du graphique reseau, on voit que ces activités sont des activités critiques -

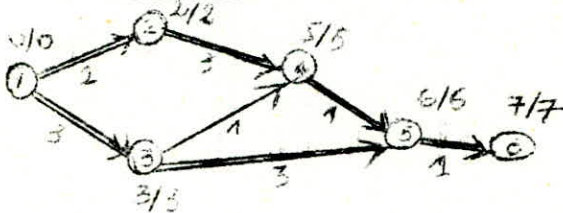
Donc :

Les activités qui lient les evenements critiques, et qui ont la marge totale égale à 0, sont situées sur le chemin critique - Clui -ci part de l'étape origine et aboutit à l'événement final du reseau - Ce chemin peut ne pas être unique ( il existe au moins un chemin critique -)

Remarque :

Les activités qui lient les evenements critiques, ne sont pas forcément situés sur le chemin critique, il faudrait ajouter à cela que ces activités doivent elles aussi avoir des marges nulles -

exemple :



on peut penser qu'on a 2 chemins critique qui contiennent les evenements à marge nulle

l'activité P 3,4, n'est pas critique car on a

$$M_T = T_{A4} - (3+1) = 5 - 4 = 1 \neq 0 .$$

Obligatoirement, tout graphique en reseau a un ( ou plusieurs) chemins critiques qui part (qui partent) de l'événement initial, et aboutie - (ou aboutissent) à l'événement final \* -

- Les activités P 1,2 ; P 2,4 et P 4,5, P 5-6 et P 1,3; P 3,5 ; sont donc appelées, "activités critiques " elles doivent debuter aux dates des etapes origine des arcs . ex : P 2,4 doit être entreprise à la date de l'étape E2 , c'est à dire à la date 2 .

/ Si le demarage d 'une activité critique est retardée, alors, tout le programme retardera -

Dans le même temps, les autres activités "non critiques ", tolèrent certain retard, dans leur mise en exécution -

/ Les activités critiques sont donc des activités sur lesquelles le chantier doit porter, toute son attention au cours de la réalisation, car chaque retard d'une minute, d'une heure, ou d'un jour, se reperaitera sur la réalisation, avec bien sûr le même temps.

/ La connaissance du chemin critiques et des marges, vont permettre, d'affecter au mieux les moyens necessaires à une bonne realisation du programme -

/ La determination de la durée du programme et du chemin critique a été faite par la methode dite directe -

/ On verra par la suite, la Methode à Base de tableau pour :

\* le calcul des dates au plus tôt et au plus tard des evenements et des activités -

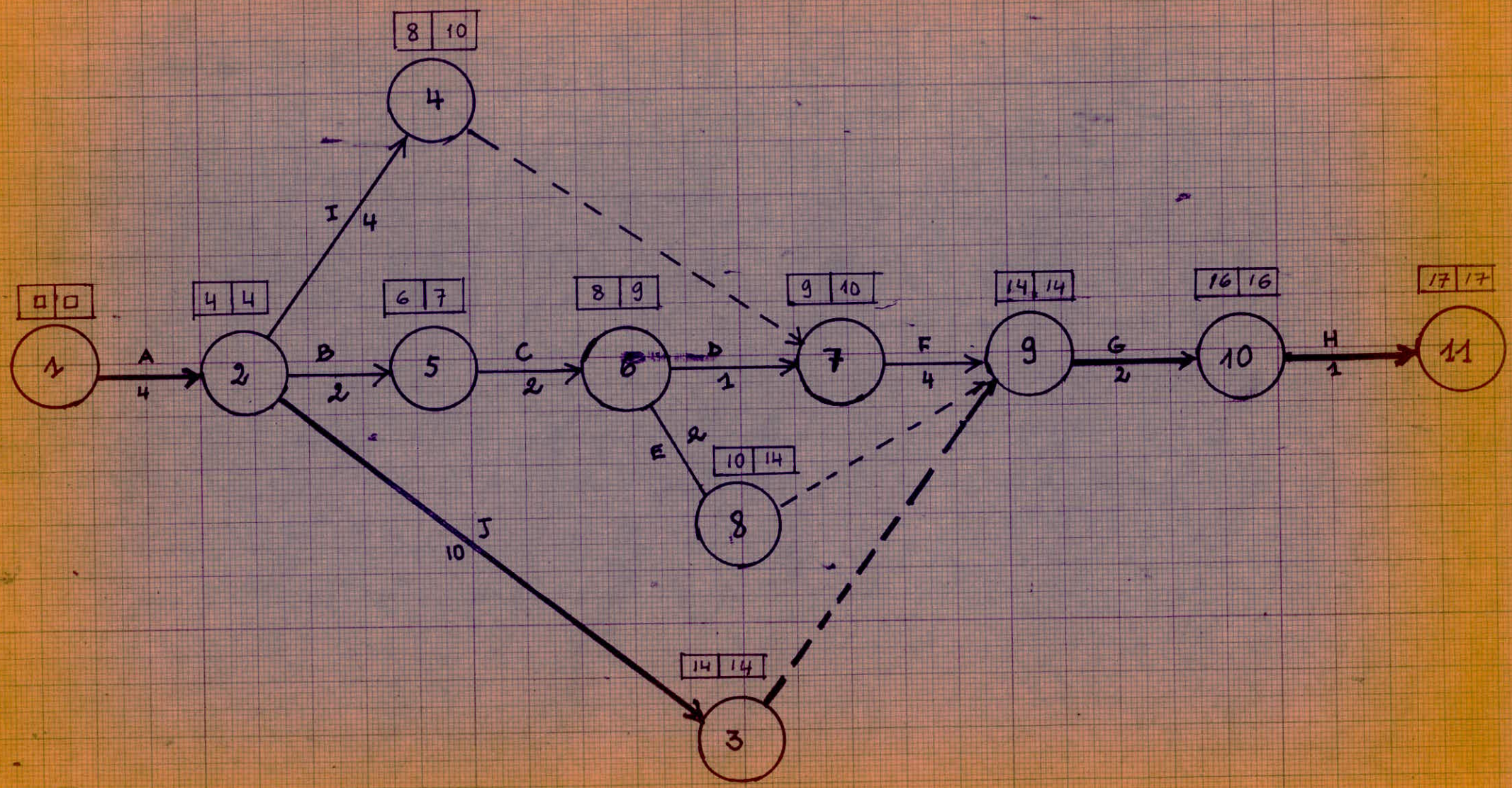
\* le calcul de la durée du programme -

\* determination du chemin critique -

\* le calcul des marges -



# Schematisation du Chemin Critique -





d/ LA METHODE A BASE DE TABLEAU.

Introduction : Le calcul des dates au plus tôt ou au plus tard pour les événements et pour les activités peut être élaboré également par la "methode à base de tableau"; dont le modèle est le suivant :

Le tableau comprend 11 colonnes réparties dans la manière suivante :

1<sup>e</sup> colonne : numéro d'ordre

2<sup>e</sup> colonne : Désignation; Symbole; Indicatif de l'activité .

3<sup>e</sup> colonne: Durée de l'activité P<sub>ij</sub>

4<sup>e</sup> colonne : Dates de début au plus tôt de l'activité P<sub>ij</sub> telque :  
Doij = Toi

5<sup>e</sup> colonne : Dates de Fin au plus tôt de l'activité P<sub>ij</sub> :

Foij = Doij + dij = la valeur de la colonne 3 + la valeur de la colonne 4 correspondante à l'activité P<sub>ij</sub> :

6<sup>e</sup> colonne : Dates au plus tard de Fin de l'activité P<sub>ij</sub> : DA<sub>ij</sub>

7<sup>e</sup> colonne : Dates au plus tard de Fin de l'activité P<sub>ij</sub> : FA<sub>ij</sub>

8<sup>e</sup> colonne : Toj : Date de réalisation au plus tôt de l'événement suivant chaque activité qui correspond à la date au plus tôt de début de l'activité suivante

9<sup>e</sup> colonne : Marge totale de l'activité P<sub>ij</sub>

$$MT(i,j) = FA_{ij} - Foij$$

10<sup>e</sup> colonne : Marge libre de l'activité pij

$$ML(i,j) = Toj - Foij$$

11<sup>e</sup> colonne : Identification du chemin critique.

1<sup>e</sup>) Détermination des Dates au plus tôt de Début et de fin d'une activité.

Pour l'établissement des dates au plus tôt de début et de fin (Doij- et Foij ) des activités; voir colonne 4 et 5 ; les calculs commencent avec la 1<sup>ère</sup> activité du tableau dont le Doij = 0. A cette valeur on ajoute la durée de l'activité d<sub>12</sub> = 4 et on obtient ainsi Foij = FO12 = 4 semaines

a ) Détermination de la colonne 4 calcul des date de début au plus tôt des activités Doij.

On considère que l'événement d'origine \* se produit à :

$$D012 = Toi = 0$$

- Activité P(2,3)

$$D023 = D012 + d_{12} = 0+4 = 4$$

- Activité P(2,4)

$$D024 = D012 + d_{12} = 0+4 = 4$$

- Activité P(2,5)

$$D025 = D012 + d_{12} = 0+4 = 4$$



- Activité P(3,9)

$$D039 = D023 + d23 = 4 + 10 = 14$$

- Activité P(4,7)

$$D047 = D024 + d2-4 = 4 + 4 = 8$$

- Activité P(5,6)

$$D056 = D025 + d2-5 = 4 + 2 = 6$$

- Activité P(6,7)

$$D067 = D047 + d47 = 8 + 0 = 8$$

- Activité P(6,8)

$$D068 = D056 + d56 = 6 + 2 = 8$$

- Activité P(7,9): on arrive par deux chemins :

$$(1) \quad D079 = D047 + d47 = 8 + 0 = 8$$

$$(2) \quad D079 = D067 + d67 = 8 + 1 = 9$$

On prend pour D079 la valeur la plus grande :

$$D079 = \text{Max} ( D079^{(1)}, D079^{(2)} ).$$

$$D079 = \text{Max} ( 8, 9 ) = 9 .$$

- Activité P ( 8,9)

$$D089 = D068 + d68 = 8 + 2 = 10$$

- Activité P(9,10) on y arrive par trois chemins

$$(1) \quad D0910 = D089 + d89 = 10 + 0 = 10$$

$$(2) \quad D09,10 = D079 + d79 = 9 + 4 = 13$$

$$(3) \quad D0910 = D039 + d39 = 14 + 0 = 14$$

$$D09,10 = \text{Max} ( D09,10^{(1)}, D09,10^{(2)} ; D0910^{(3)} )$$

$$D09,10 = \text{Max} ( 10 , 13 , 14 )$$

$$D09,10 = 14$$

- Activité P(10 - 11 )

$$D010,11 = D09,10 + d9,10 = 14 + 2 = 16$$

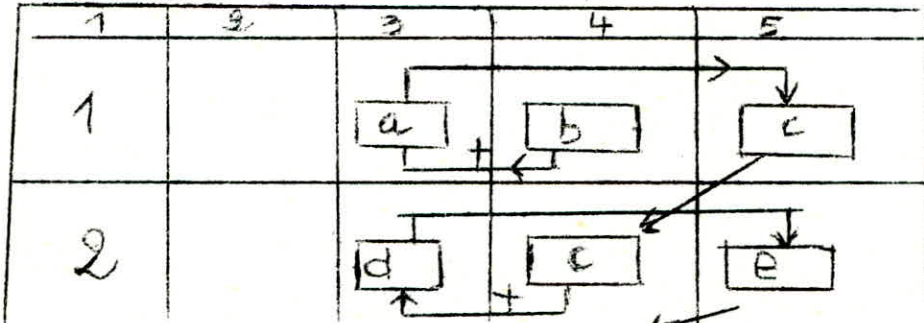
k) Determination de la colonne 5 -

Pour la determination de la date de fin au plus tôt : Foi j ; on obtient en additionnant respectivement la colonne précédentes (3+4) pour chaque - activité. La plus grande date de fin au plus tôt qu'on obtient, c'est la date finale de l'ouvrage

Foi j = 17 semaines. Cette date s'inscrit aussi dans la rubrique 7, comme dernière activités du tableau .

Remarque 1.

Le tableau est conçu de telle manière que les dates  $DO(ij)$  et  $FO(ij)$  peuvent être déterminée d'une manière algorithmique qui suit le cycle suivant-



Le chiffre b de colonne 4 et de ligne 1 est additionner avec le chiffre a , situé à sa gauche, et cette somme  $a+b = c$  va s'inscrire à sa droite, dans la case de colonne 5 et de Ligne 1 -

Par la suite, ce chiffre est descendu en diagonale dans la rubrique de colonne 4 et de ligne 2 -

Et sera lu comme le Doij de l'activité suivante -

Ce chiffre c , additionner à d ( chiffre à sa gauche) sera rapporter dans la case de droite de colonne 5 et de ligne 2:  $e = c + d$  et ainsi de suite jusqu'à la fin -

Pour l'établissement des dates au plus tôt de debut et de fin des activités (Doij , Foij ) des rubriques 4 et 5 , les calculs commencent avec la première activité du tableau dont le Doij = 0 \_ A cette valeur on ajoute la durée de l'activité  $d_{12} = 4$  et on tire  $Fo_{12} = 4 = FO_{12}$

- Cette valeur sera rapporter comme le Doij de l'activité immédiatement suivante, c'est à dire  $P(3-9)$   $Do(3-9) = 4$  ;

Pour les activités  $P(24)$  et  $P(25)$  , le Doij sera respectivement  $DO_{24} = 4$  et  $DO_{25} = 4$  , auxquelles on ajoute les durées respectives  $d_{24}$  et  $d_{25}$  pour trouver les .  $FO_{24} = 4 + 4 = 8$  et  $FO_{25} = 4 + 2 = \underline{6}$  .

- On a vu que  $DO(3-9) = 4$  on aura donc le

$$FO(3-9) = DO(3-9) + d(3-9) = 4 + 0 = 4$$

- Pour l'activité  $P(4-7)$  on aura:

$$DO(4-7) = FO(2-4) = 8 \text{ par conséquent on a :}$$

$$FO(4-7) = 8 + 0 = 8$$

-Pour l'activité  $P(5-6)$  on a descendu en diagonale le  $FO(2-5) = 6$  donc  $DO(5-6) = 6$  d'où le  $FO(5-6) = 6 + 2 = 8$

Activité P(6-7)

Son  $DO_{6-7}$  sera d'après le processus de calcul le  $FO(5-6) = 8$  - on aura donc  $FO_{6-7} = DO_{6-7} + d_{6-7}$

$$FO(6-7) = 8 + 1 = 9.$$



Activité P6-8

Son DO(6-8) sera le FO(5-6) = 8 , on aura donc :

$$FO(6-8) + d(6-8) = 8 + 2 = 10$$

Activité P7-9

Cette activité a plusieurs activités précédentes, le debut au plus tôt de l'activité, sera la plus grande des dates de fin au plus tôt de ces activités precedantes .

$$DO(7-9) = \max ( FO4-7 , FO6,7 ) = \max ( 8,9 )$$

$$DO(7-9) = 9$$

$$\text{d'où } FO(7-9) = DO(7-9) + d(7-9) = 9 + 4 = 13$$

Activité P(8-9)

Son DO(8-9) est le FO(6-8) = 10

$$\text{donc } FO(8-9) = DO(8-9) + d(8-9) = 10 + 0 = 10$$

Activité P(9-10)

Cette activités à plusieurs activités precedantes , le debut au plus tôt de l'activité, sera la plus grande des dates de fin au plus tôt de ces dates precedantes.

$$DO(9-10) = \max: ( FO3-9 ; FO7-9 ; FO(8-9) )$$

$$DO(9-10) = \max : ( 14, 13, 10 )$$

$$DO(9-10) = 14/ \longrightarrow \text{ on tire } FO(9-10) = DO(9-10) + d9-10$$

$$FO(9-10) = 14 + 2 = 16$$

Activité P(10-11) .

Son DO10-11 est le FO(9-10) = 16

$$\text{d'où } FO(10-11) = DO(10-11) + d(10-11) = 16 + 1 = 17$$

2<sup>e</sup> ) Determination des dates au plus tard de debut et de fin des - activités.

Pour l'établissement des dates au plus tard, de debut et de fin des activités ( DAij , FAij ) des rubriques 6 et 7 -

Les calculs commencent avec la dernière activité du tableau dont la fin FAij est egale à 17 semaines, et se continuent en sens inverse de l'inscription des activités dans le tableau -

De ce fait on aura =

\*\* Calcul des dates de fin au plus tard des activités.

Determination de la colonne 7 .

$$FA10-11 = 17 \quad \text{---} \quad \text{date de fin au plus tard de l'activité P(10-11)}$$

Activités P(9-10)

$$FA(9-10) = FA 10-11 = 17 - 1 = 16.$$

Activité P(8,9)

$$FA(8,9) = FA(9,10) - d(9,10)$$

$$FA(8,9) = 16 - 2 = 14.$$

Pour l'activité P(7,9) on aura:

$$FA(7,9) = FA(9,10) - d(9,10)$$

$$FA(7,9) = 16 - 2 = 14 .$$

Pour l'activité P(6,8)

$$FA(6,8) = FA(8,9) - d(8,9)$$

$$FA(6,8) = 14 - 0 = 14 = DA(8,9)$$

car l'activité P(6,8) précède directement l'activité P(8,9) -

Pour l'activité P(6,7) -

Celle ci précède directement l'activité P(7,9) on portera donc comme  
FA (6,7) :

$$FA(6,7) = FA(7,9) - d(7,9)$$

$$FA(6,7) = 14 - 4 = 10 .$$

Pour l'activité P 5,6

Elle est suivie par P6.7 et P6.8: on aura/

$$FA(5,6) = FA(6,7) - d(6,7) = DA(6,7)$$

$$FA(5,6) = 10 - 1 = 9 .$$

$$\text{et } FA(5,6) = FA(6,8) - d(6,8) = DA(6,8)$$

$$FA(5,6) = 14 - 2 = 12$$

On doit choisir la plus petite date des dates de début au plus tard  
des activités suivantes -

$$FA(5,6) = 9 -$$

Pour l'activité P(4,7) .

$$FA(4,7) = FA(7,9) - d(7,9) = 14 - 4 = 10 .$$

car l'activité suivante est l'activité P(7,9) -

Pour l'activité P(3,9) .

$$FA(3,9) = FA(9,10) - d(9,10) = 16 - 2 = 14$$

car l'activité suivante est l'activité P(9,10) -

Pour l'activité P(2,5) .

$$FA(2,5) = FA(5,6) - d(5,6)$$

$$FA(2,5) = 9 - 2 = 7$$

Pour l'activité P(2,4)

$$FA(2,4) = FA(4,7) - d(4,7)$$

$$FA(2,4) = 10 - 0 = 10$$

Pour l'activité P(2,3) .

$$FA(2,3) = FA(3,9) - d(3,9) = 14 - 0 = 14 .$$



Pour l'activité P(1-2).

l'activité P(1-2) est suivie par les activités.

P(2,3) ; P(2,4) et P(2,5) on aura par conséquent -

$$FA(1,2) = F(2,3) = d(2,3) = 14 - 10 = 4$$

$$FA(1,2) = F(2,4) - d(2,4) = 10 - 4 = 6$$

$$FA(1,2) = F(2,5) - d(2,5) = 7 - 2 = 5$$

On choisit la valeur la plus petite, comme date de fin au plus tard de l'activité P(1,2) -

$$\underline{FA(1,2) = 4.}$$

Calcul de la date de debut au plus tard - ou alors determination de la colonne 6 .

$$\text{on a : } FA(ij) - d(ij) = DA(ij)$$

Par voie de consequence, le calcul du DA(ij) sera donné par la difference des valeurs lues sur la colonne numero 7 et sur la colonne numero 3 respective -

$$\text{donc } (6) = (7) - (3) \text{ par numerotation -}$$

on rapportera toutes ces valeurs, pour les 13 activités, dans la colonne N° 6 -

3) Determination de la huitième colonne -

- Pour l'activité P(1-2) on aura :

$$T02 = D01-2 + d1-2 = 0 + 4 = 4 \text{ ou alors par numerotation tableau :}$$

$$(8) = (3) + (4) -$$

Pour l'activité P(2-3) -

$$T03 = D0(2-3) + d2-3 = 4 + 10 = 14 -$$

Pour l'activité P(2,4)

$$T04 = D0(2,4) + d(2-4) = 4 + 4 = 8 -$$

Pour l'activité P(2,5)

$$T05 = D0(2,5) + d(2,5) = 4 + 2 = 6 .$$

Pour l'activité P 3,9

$$T06 = D0(3,9) + d(3,9) = 14 + 0 = 14 -$$

Pour l'activité P(4,7)

pour l'evenement 7 on arrive par une autre activité qui est P(6,7) on doit prendre la valeur la plus grande :

$$T07 = D0(4,7) + d4,7 = 8+0 = 8$$

$$T07 = D0(6,7) + d(6,7) = 8 + 1 = 9$$

$$\text{on a } T07 = 9 .$$

Pour l'activité P5,6

$$T08 = D(5,6) + d(5,6) = 6 + 2 = 8$$

Pour l'activité P6,7

$$T09 = T07 = 8 + 1 = 9 = DO(6,7) + d(6,7)$$

activité P(6,8) .

$$T010 = DO(6,8) + d(6,8) = 8 + 2 = 10 .$$

activité P(7,9) .

On arrive à l'événement 9 par 2 autres activités qui : P(8,9) et P 3,9 .

$$- T011 = DO(7,9) + d(7,9) = 9 + 4 = 13$$

$$- T011 = DO(8,9) + d(8,9) = 10 + 0 = 10$$

$$- T011 = DO(3,9) + d(3,9) = 14 + 0 = 14$$

on prend la valeur la plus forte :

$$T011 = 14 .$$

activité P 8,9 :

$$T012 = T011 = 14 .$$

activité P(9,10)

$$T013 = DO(9-10) + d(9-10) = 14 + 2 = 16 .$$

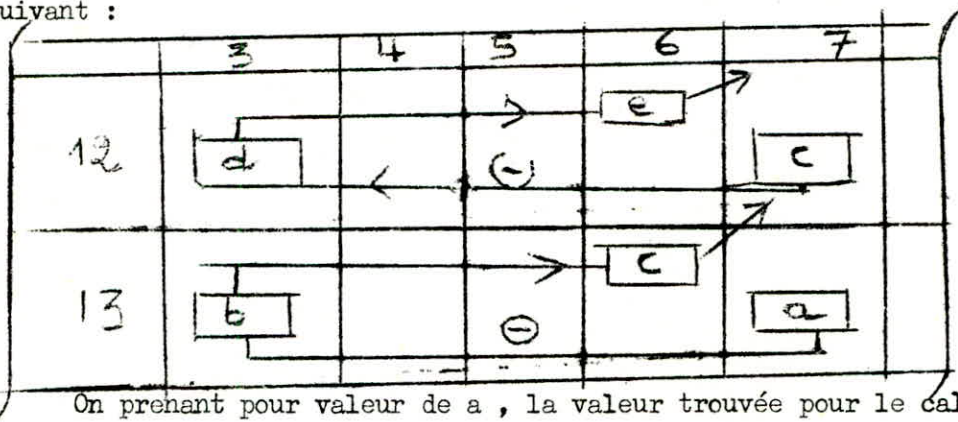
Pour l'activité P(10-11) .-

$$T014 = DO(10-11) + d(10-11) = 16 + 1 = 17$$



Remarque 2 .

Le tableau est conçu de telle manière que les dates  $DA(ij)$  et  $FA(ij)$  peuvent être déterminées d'une manière algorithmique qui suit le cycle suivant :



On prenant pour valeur de a , la valeur trouvée pour le calcul du  $FA(10-11)$  - On remonte le tableau de manière suivante -

$a - b = c$  où b est la valeur de la rubrique de colonne 3 et de ligne 13 .  
C sera écrit dans la case de colonne 6 et de ligne 13 et sera considéré comme valeur du  $DA(ij)$  correspondant à l'activité  $P(10-11)$  -

On remonte en diagonale, cette valeur de C dans la case de colonne 7 et de ligne 12 -  $Pe" c"$  devient la valeur du  $FA(ij)$  de l'activité précédente -

Par la suite on fait  $c - d = e$  où d est la valeur

Pour l'activité  $P(7-9)$  -

On met en diagonale le  $(DA_{9-10} = 14)$  pour trouver la valeur du  $FA(7-9)$  correspondant :  $FA_{7-9} = 14$

On a vu que pour l'activité  $P(6,8)$  .

$FA(6,8) = 14$  \_\_\_\_\_ d'où le  $DA(6-8) = 14 - 2 = 12$  .

activité  $P6-7$  ;

On fait monter en diagonale le  $DA(7-9)$  de l'activité suivante et on trouve le  $FA(6,7) = 10$

le  $DA(6,7)$  sera donc :  $FA(6,7) - d_{6-7} = 10 - 1 = 9$

$DA(6,7) = 9//$ .

activité  $P(5-6)$  ;

Cette activité a plusieurs activités suivantes ; Alors la date au plus tard de fin de l'activité est égale à la plus petite des dates au plus tard de début des activités suivantes -

$P(5-6)$  est suivie par les activités  $P_{67}$  et  $P_{68}$  pour lesquelles on a

$DA_{67} = 9$  et  $DA_{68} = 12$  , on prend pour  $FA_{56} = 9$  semaines

Le  $DA_{56}$  correspondant :  $9 - 2 = 7$

activité  $P4-7$

Le  $FA(4-7)$  correspondant , est le  $DA_{7-9} = 10$  de l'activité suivant  $P(4-7)$  -

$DA(4-7) = 10 - 0 = 10$

de la case de colonne 3, et de ligne 12 -

La quantité e sera écrite dans la case de colonne 6 et de ligne 12 et sera considéré comme valeur du  $DA(ij)$  de l'activité P(9-10) et ainsi de suite jusqu'à l'activité P(1-2) -

Pour l'établissement des dates au plus tard de début et de fin des activités ( $DA_{ij}$ ,  $FA_{ij}$ ) des rubriques 6 et 7, les calculs commencent avec la dernière activité du tableau dont la fin  $FA_{ij}$  est égale à 17 semaines et se continuent en sens inverse de l'inscription des activités dans le tableau -

Par conséquent, on aura a pour l'activité P(10-11): le  $FA_{10-11} = 17$  semaines, donc le  $DA_{10-11} = 17 - 1 = 16$  semaines -

Cette valeur sera prise comme  $FA_{9-10} = 16$  semaines  
on fait par suite  $FA_{9-10} - d_{9-10} = 16 - 2 = 14$   
et coût comme le  $DA_{9-10} = 14$  .

-On fait monter en diagonale la valeur 14 dans la case (7,11) où 7 est la colonne et le 11 la ligne -

et on prendra :  $FA_{(8,9)} = 14$

et comme  $DA_{8-9} = FA_{(8,9)} - d_{8-9} = 14 - 0 = 14$  -

- On fait monter en diagonale le  $DA_{(8,9)}$  et on trouve  $FA_{(6,8)} = 14$  pour l'activité P6,8 précédente -

activité P 3-9 .

Le  $FA_{(3,9)}$  correspondant sera le  $DA_{(9,10)} = 14$  de l'activité suivante .

On tire  $DA_{39} = FA_{39} - d_{39} = 14 - 0 = 14$  .

activité P2,5 -

$FA_{(2,5)} = DA_{(5,6)} = 7$

on tire le  $DA_{(2,5)} = 7 - 2 = 5$  .

activité P 2-4

$FA_{(2,4)} = DA_{(4,7)} = 10$  on tire de ce fait le  $DA_{2,4}$  correspondant  
 $DA_{(2,4)} = FA_{(2,4)} - d_{24} = 10 - 4 = 6$  .

activité P 2-3 -

$FA_{(2,3)} = DA_{(3,9)} = 14$  \_\_\_\_\_ on tire le  $DA_{(23)}$   
correspondant  $DA_{(2,3)} = 14 - 10 = 4$  .

activité P 12

Cette activité est suivie par les activités P(2,3) , P 24, P 25  
pour lesquelles on a =

$DA_{23} = 4$

$DA_{24} = 6$

$DA_{25} = 5$

on prend pour  $FA_{12} = \text{Min} (DA_{23}, DA_{24}, DA_{25})$

$FA_{12} = \text{Min} (4, 6, 5) .$

on a  $FA_{12} = 4$  semaines .



On tire maintenant le

$$DA_{12} = FA_{12} - d_{12} .$$

$$DA_{12} = 4 - 4 = 0$$

Colonne 8 : calcul .

$T_{0j}$  = c'est la date de réalisation au plus tard de l'événement suivant chaque activité qui correspondant à la date au plus tôt de début de l'activité suivante -

A la lumière de cette définition, on elabore la colonne N°8 du tableau-  
N° d'ordre:

$$T_{01} = ( D_{023} = 4 \quad T_{03} = D_{04-7} = 8 .$$

$$T_{02} = D_{0(3-9)} = 14 \quad T_{04} = D_{05-6} = 6 .$$

$$T_{05} = D_{09-10} = 14$$

$$T_{06} = D_{0(7-9)} = 9$$

$$T_{07} = ( D_{06-7} = 6 ) = 8$$

$$\text{Max } D_{06,8} = 8$$

$$T_{08} = D_{0(7,9)} = 9$$

$$T_{09} = D_{0(8-9)} = 10$$

$$T_{010} = D_{0(9-10)} = 14$$

$$T_{011} = D_{0(9-10)} = 14$$

$$T_{012} = D_{0(10-11)} = 16$$

$$T_{013} = 17$$

#### 4) Calcul des marges des activités -

- Ou alors determination des colonnes 9 et 10 -

\* Pour la colonne 9

$$\text{marge totale d'une activité : } MT = FA_{ij} - FO_{ij}$$

par numerotation tableau on aura :

$$(9) = (7) - (5) -$$

On fera le calcul qu'on representera dans le tableau final \_

\* Pour la colonne 10 -

marge libre d'une activité :

$$ML = T_{0j} - FO_{ij}$$

Par numerotation tableau , on aura :

$$(10) = (8) - (5)$$

On fera le calcul dans le tableau qui suit .

\* Colonne 11

Cette colonne, est à identifier le chemin critique, on écrira "Cr"  
sur chaque ligne qui correspond à une marge totale nulle -

Par conséquent les activités :

(P 12, P 23, P 39, P 910), P 1011) constituent le chemin critique -

Donc, dans un graphe , il y a au moins un chemin critique - le nombre  
de chemins critiques peut être égale au nombre de chemins possibles entre  $E_x$   
debut et  $E_f$  : final -

Le chemin critique commence obligatoirement à l'événement debut et  
finit à l'événement final il est continue -

- Les activités critiques ont la Marge totale nulle -



CHAPITRE IV = REDUCTION DES DELAIS

## REDUCTION DES DELAIS.

DE

### - REALISATION -

1) Introduction : Dans tous les cas où l'on cherche à réduire la durée totale d'un projet de la manière la plus économique, l'établissement du planning P.E.R.T se révèle d'une extrême utilité .

En effet, un premier calcul fournira souvent, comme nous l'avons expliqué précédemment, une durée calculée trop longue, mais ce résultat provisoire va servir de support à une analyse raisonnée qui conduira finalement, si cela est possible, à un calendrier de réalisation satisfaisant - la réduction s'effectuera par itérations en modifiant :

\* La durée des activités élémentaires, en commençant par celles du chemin critique, ...

\* La logique du réseau, par la mise en parallèle totale ou partielle des activités précédemment en série. Evidemment cette modification des enlacements n'est possible qu'autant que la technique de réalisation du projet le permet .

La mise en parallèle s'effectuera parfois entre sous-réseaux, c'est à dire en partie plus ou moins indépendantes de l'ouvrage .

\* Les techniques mêmes d'exécution par exemple murs en plâtre remplacés par des cloisons sèches .

Pose d'éléments préfabriqués au lieu qu'ils soient confectionnés sur place ..Cela signifie qu'on augmente les normes de production ..... X

Conclusion : Si ces démarches n'ont pu suffire à ramener la durée totale du projet à celle exigée, des mesures plus radicales doivent être envisagées : suppression de certaines activités sous traitance .....etc.

Enfin de compte si aucune solution n'est valable, alors on renonce au projet.

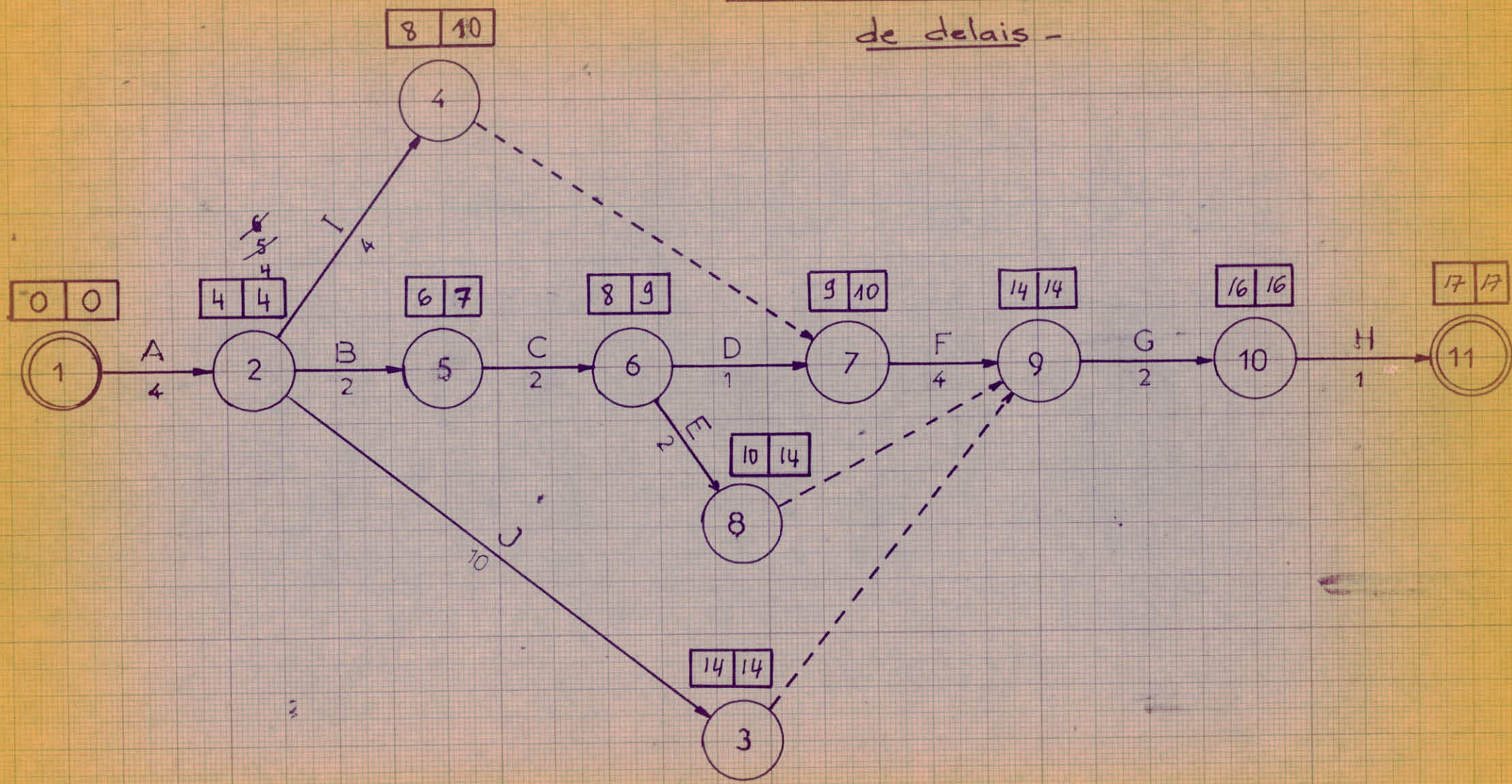
2) Application : Exemple du hall industriel :

Si après l'établissement du P.E.R.T pour le hall industriel; ce qui nous a permis de déterminer la date au plus tôt de réalisation du projet;.

Alors , le responsable de l'Entreprise, nous impose une date impérative



Reseau PERT initial; avant reduction de delais -





X Par Exemple : les durées sont calculées couramment d'après la relation Universelle suivante :

$$t = \frac{Q}{N_p \cdot e}$$

- Q = quantité des travaux
- Np = norme de production
- e = l'effectif

Les techniques avancées ont une norme de production plus grande alors quand le dénominateur est plus grand, la durée ( t ) de chaque activité diminue par conséquent plus petite, donc la durée totale du projet est réduite par Exemple:

- Pour 1m<sup>2</sup> d'enduit

- Np = 1m<sup>2</sup>/h.h

- Tandis que l'application d'enduit sec

Np = 5 m<sup>2</sup>/h.h

Par conséquent on aura une durée d'exécution 5 fois plus petite, en utilisant le même effectif.

Un projet étant un ensemble de diverses activités, par voie de conséquence si la durée de chaque activité est réduite, alors la durée globale de réalisation du projet sera réduite de réalisation au plus tôt du projet qui est fixée à 16 semaines.

La date de réalisation du projet étant fixée; comment ? et sur quelles activités on peut agir pour réaliser le projet dans le délai prévu par les responsable de l'Entreprise.

- Les activités conditionnant la date de réalisation au plus tôt du projet sont les activités situées sur le chemin critique.

Dans notre exemple : les activités constituant le chemin critique sont les suivantes :

- |                   |   |                           |
|-------------------|---|---------------------------|
| - Activité P1-2   |   | Etude, Approbation        |
| - Activité P2-3   |   | Approvisionnement - Ferme |
| - Activité P3-9   |   |                           |
| - Activité P9-10  | — | montage des Fermes        |
| - Activité P10-11 | — | Revetement du sol -       |

Pour résoudre ce problème de réduction des durées on doit faire une analyse judicieuse des activités critiques; en effet; si on examine les activités citées ci dessus; on constate que l'activité P2-3 et P1-2 sont susceptible d'une modification dans leurs durées de réalisation .



Effectivement nous n'avons pas besoin d'avoir toutes les fermes pour commencer le montage.

Car cette activité P10-11 ( Montage des fermes total ) peut commencer après avoir acquis une partie :

- disons la de la quantité des fermes, ce qui se passe après 5 semaines.

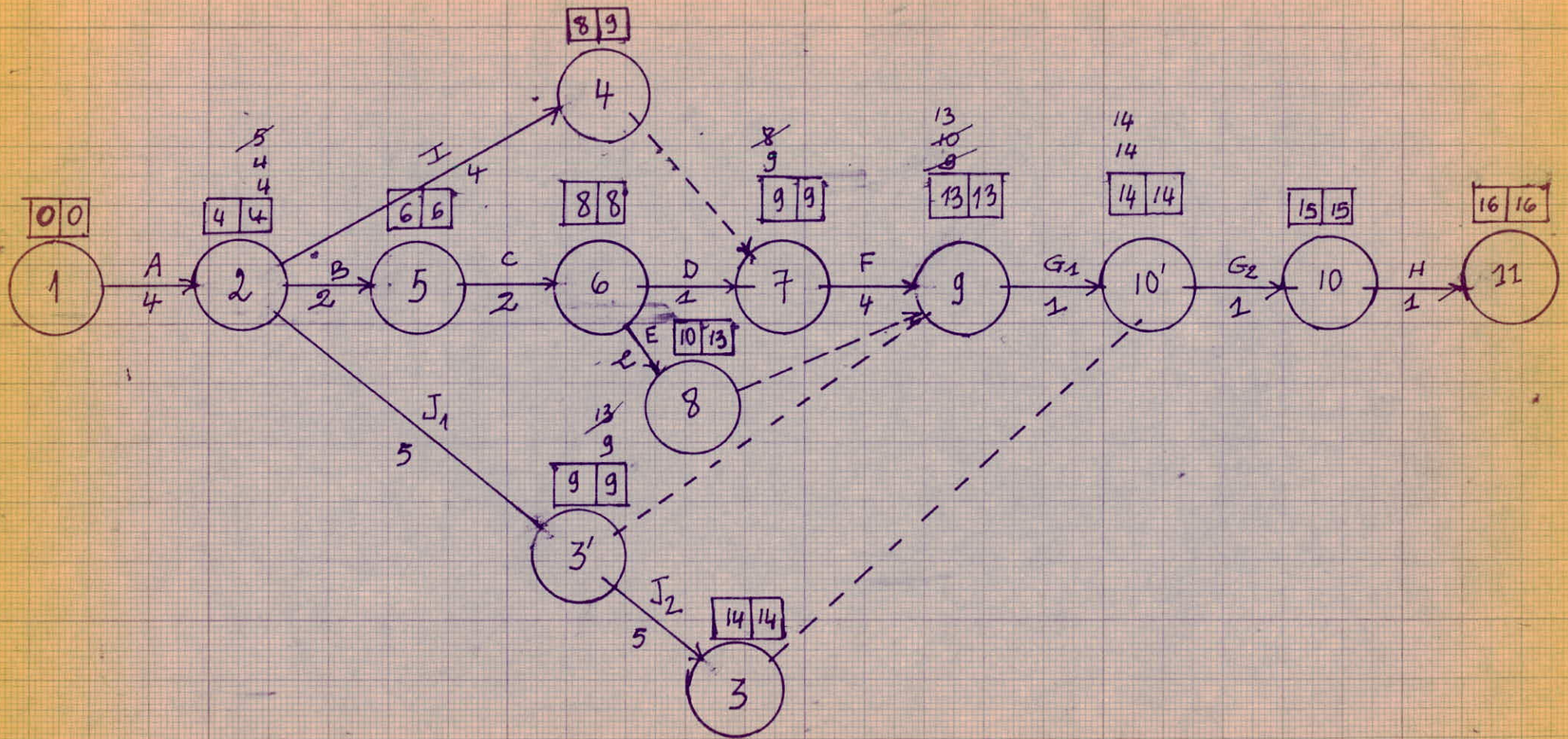
Alors l'activité J , sera notée comme  $J_1$  ,  $J_2$

La structure logique du reseau sera



# Modification de l'Activité'

P2-3





Donc en lotissant ( sectorisation ) de l'activité P2-3 ( Approvisionnement Fermes ) , on a obtenu une durée de réalisation du projet plus court qui est de 16 semaines  $T_{011} = 16$  semaines., Ainsi on a gagné une semaine sur le délai final donné par le " graphique à flèches "; et ceci sans augmentation des moyens ou du coût du projet, ni de la durée de toutes les activités respectives du projet .

On peut également diminuer la durée de réalisation du projet final  $T_{011} = 16$  semaines, en sectorisant l'activité H ( revêtement du sol ) en 2 activités  $H_1$  et  $H_2$  d'égal durée d'exécution.

-  $H_1$  ( 1<sup>ere</sup> tranche du revêtement du sol ) peut commencer immédiatement après la fin de  $G_1$  ( première tranche du montage des fermes )

-  $H_2$  ( 2<sup>es</sup> tranche du revêtement du sol ) peut commencer immédiatement après la fin de l'activité  $G_2$  ( 2<sup>es</sup> tranche du montage des fermes )

Ainsi, on obtient le graphique suivant:

\* Calcul des dates au plus tôt de réalisation des Evenements .

- Evenement 1 :

$$T_{01} = 0$$

- Evenement 2 :

$$T_{02} = T_{01} + d_{12}$$

$$T_{02} = 0 + 4 = 4$$

- Evenement 3'

$$T_{03'} = T_{02} + d_{23'}$$

$$T_{03'} = 4 + 5 = 9$$

- Evenement 4

$$T_{04} = T_{02} + d_{24}$$

$$T_{04} = 4 + 4 = 8$$

- Evenement 5

$$T_{05} = T_{02} + d_{25}$$

$$T_{05} = 4 + 2 = 6$$

- Evenement 3

$$T_{03} = T_{03'} + d_{3'3}$$

$$T_{03} = 9 + 5 = 14$$

- Evenement 6

$$T_{06} = T_{05} + d_{56}$$

$$T_{06} = 6 + 2 = 8$$

-Evenement 8

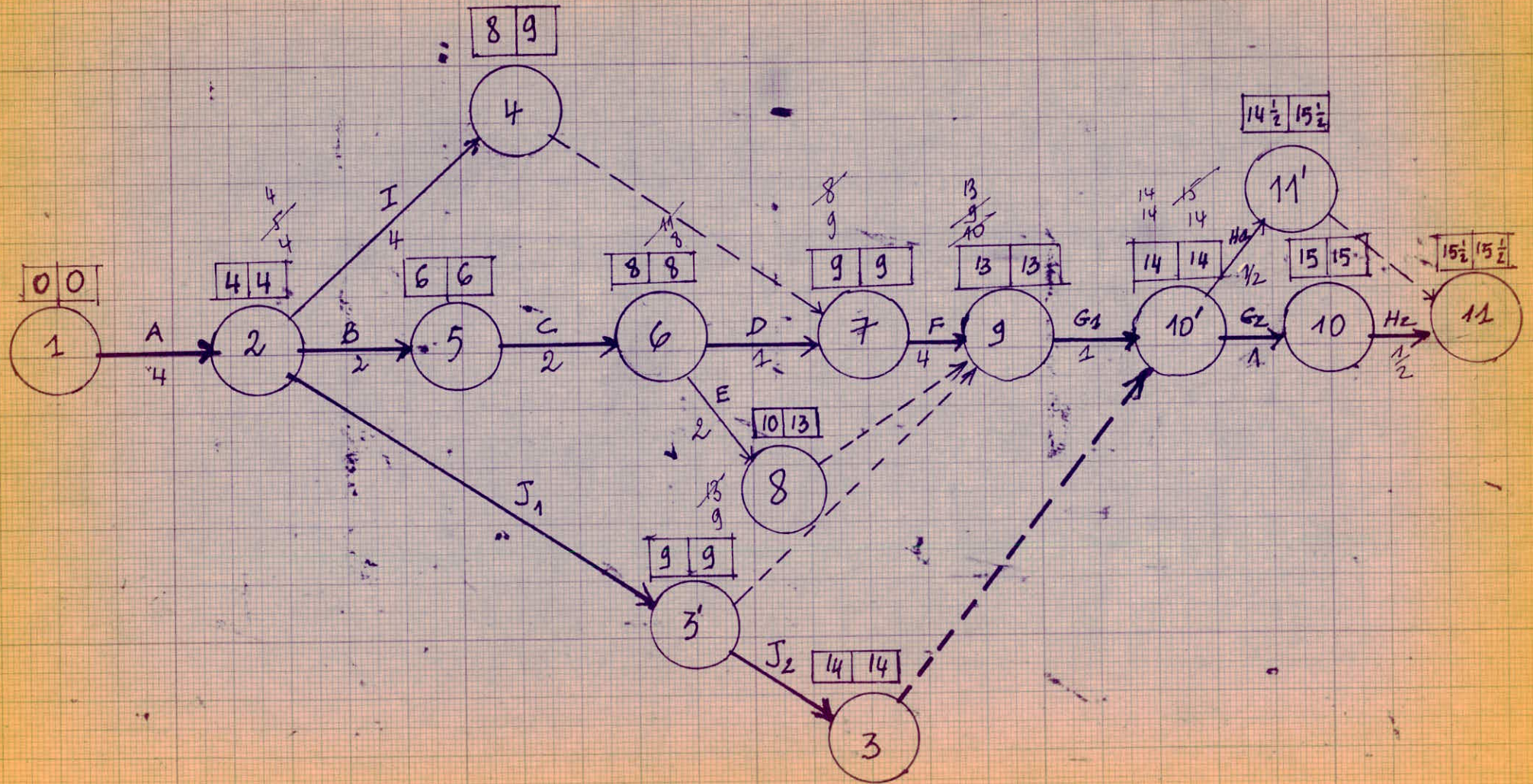
$$T_{08} = T_{06} + d_{68}$$

$$T_{08} = 8 + 2 = 10$$



# Modification de l'activité

P<sub>10-11</sub>





- Evenement 7

$$a) T_{07} = T_{04} + d_{47}$$

$$T_{07} = 8 + 0 = 8$$

$$b) T_{07} = T_{06} + T_{67}$$

$$T_{07} = 8 + 1 = 9$$

Donc  $T_{07} = 9$

- Evenement 9

$$a) T_{09} = T_{07} + d_{79}$$

$$T_{09} = 9 + 4 = 13$$

$$b) T_{09} = T_{08} + d_{89}$$

$$T_{09} = 10 + 0 = 10$$

$$c) T_{09} = T_{03'} + d_{3'9}$$

$$T_{09} = 9 + 0 = 9$$

$$d) \text{à } T_{09} = 13$$

- Evenement 10'

$$a) T_{010'} = T_{09} + d_{9-10'}$$

$$T_{010'} = 13 + 1 = 14$$

$$b) T_{010'} = T_{03} + d_{310'}$$

$$T_{010'} = 14 + 0 = 14$$

Donc  $T_{010'} = 14$

- Evenement 11'

$$T_{011'} = T_{010'} + d_{10'-11'}$$

$$T_{011'} = 14 + \frac{1}{2} = 14 \frac{1}{2}$$

- Evenement 10

$$T_{010} = T_{010'} + d_{10'-10}$$

$$T_{010} = 14 + 1 = 15$$

- Evenement 11

$$a) T_{011} = T_{010} + d_{10-11}$$

$$T_{011} = 15 + \frac{1}{2} = 15 \frac{1}{2}$$

$$b) T_{011} = T_{011'} + d_{11'-11}$$

$$T_{011} = 15 \frac{1}{2} + 0 = 15 \frac{1}{2}$$

Donc la date de réalisation au plus tôt du projet est

$$T_{011} = 15 \frac{1}{2}$$

On voit que par un simple lotissement de l'activité H (revêtement du sol)  
on gagne  $\frac{1}{2}$  semaine sur la durée totale du projet .

\* Calcul des dates au plus tard .

- Evenement 11

$$TA_{11} = 15 \frac{1}{2}$$

- Evenement 11'

$$TA_{11}' = TA_{11} - d_{11'-11}$$

$$TA_{11}' = 15 \frac{1}{2} - 0 = 15 \frac{1}{2}$$

- Evenement 10

$$TA_{10} = TA_{11} - d_{10-11}$$

$$TA_{10} = 15 \frac{1}{2} - \frac{1}{2} = 15$$

- Evenement 10'

$$a) TA_{10}' = TA_{11}' - d_{10'-11}'$$

$$TA_{10}' = 15 \frac{1}{2} - \frac{1}{2} = 15$$

$$b) TA_{10}' = TA_{10} - d_{10'-10}$$

$$TA_{10}' = 15 - 1 = 14$$

Donc la date au plus tard est :

$$TA_{10}' = 14$$

- Evenement 9

$$TA_9 = TA_{10}' - d_{9-10}'$$

$$TA_9 = 14 - 1 = 13$$

- Evenement 3

$$TA_3 = TA_{10}' - d_{3-10}'$$

$$TA_3 = 14 - 0 = 14$$

- Evenement 7

$$TA_7 = TA_9 - d_{79}$$

$$TA_7 = 13 - 4 = 9$$

- Evenement 8

$$TA_8 = TA_9 - d_{89}$$

$$TA_8 = 13 - 0 = 13$$

- Evenement 3'

$$a) TA_{3}' = TA_3 - d_{3'-3}$$

$$TA_{3}' = 14 - 5 = 9$$

$$b) TA_{3}' = TA_9 - d_{3'-9}$$

$$TA_{3}' = 13 - 0 = 13$$

$$d'où TA_{3}' = 9$$



Evenement 10 :

$$* TO10 = TO10b + d10b-10 = 14 + 1 = 15$$

Evenement 11

$$TO11 = T10b + d10b-11 = 15 + 1 = 16$$

TO11 = 16 semaines c'est la date au plus tôt de réalisation du projet.

Calcul des dates au plus tard des evenements:

- Evenement 11 :

$$TA11 = 16$$

- Evenement 10 :

$$TA10 = TA11 - d10-11 = 16 - 1 = 15$$

- Evenement 10b :

$$TA10' = TA10 - d10-10' = 15 - 1 = 14$$

- Evenement 9 :

$$TA9 = TA10' - d9-10' = 14 - 1 = 13$$

- Evenement 3

$$TA3 = TA10' - d3-10' = 14 - 0 = 14$$

- Evenement : 3'a

$$TA3a = TA9 - d3'-9 = 13 - 0 = 13$$

$$TA3' = TA3 - d3'3 = 14 - 5 = 9 \quad ) \quad TA3' = 9$$

- Evenement 8

$$TA8 = TA9 - d89 = 13 - 0 = 13$$

- Evenement 7

$$TA7 = TA9 - d79 = 13 - 4 = 9$$

- Evenement 6 :

$$TA6 = TA7 - d67 = 9 - 1 = 8$$

$$TA6 = TA8 - d68 = 13 - 2 = 11$$

$$TA6 = 8$$

\* Evenement 5 :

$$TA5 = TA6 - d56 = 8 - 2 = 6$$

- Evenement 4 :

$$TA4 = TA7 - d47 = 9 - 0 = 9$$

- Evenement 2 :

$$TA2 = TA4 - d24 = 9 - 4 = 5$$

$$TA2 = TA5 - d25 = 6 - 2 = 4$$

$$TA2 = TA3' - d2-3' = 9 - 5 = 4$$

$$TA2 = 4$$

Evenement 1

$$TA1 = TA2 - d12 = 4 - 4 = 0$$

Alors; c'est pour cela que nous proposons de modifier l'activité P2-3  
c'est à dire subdiviser l'approvisionnement des fermes en deux tranches :

- 1<sup>o</sup> tranche qui dure 5 semaines

Ainsi à la fin de la 5<sup>e</sup> semaines de l'approvisionnement des fermes;  
l'activité Montage des Fermes peut demarrer

- Durant l'approvisionnement de la 2<sup>e</sup> tranche le montage des fermes se fera  
fera parallèlement à l'approvisionnement.

Alors, nous obtenons le nouveau graphique à flèche avec les nouvelles  
dates de réalisations des différents activités.

Calcul des dates au plus tôt des activités:

- Evenement E<sub>1</sub> :

$$T_{01} = 0$$

- Evenement E<sub>2</sub>

$$T_{02} = T_{01} + d_{12} = 0 + 4 = 4$$

- Evenement E<sub>3</sub>'a :

$$T_{03}'a = T_{02} + d_{23a} = 4 + 5 = 9$$

- Evenement E<sub>3</sub>

$$T_{03} = T_{03}'a + d_{3'a3} = 9 + 5 = 14$$

- Evenement 4

$$T_{04} = T_{02} + d_{24} = 4 + 4 = 8$$

- Evenement 5

$$T_{05} = T_{02} + d_{25} = 4 + 2 = 6$$

Evenement 6:

$$T_{06} = T_{05} + d_{56} = 6 + 2 = 8$$

Evenement 7:

$$- T_{07} = T_{06} + d_{67} = 8 + 1 = 9$$

$$- T_{07} = T_{04} + d_{47} = 8 + 0 = 8$$

Evenement 8 :

$$T_{08} = T_{06} + d_{68} = 8 + 2 = 10$$

Evenement 9 :

$$- T_{09} = T_{07} + d_{79} = 9 + 4 = 13$$

$$- T_{09} = T_{08} + d_{89} = 10 + 0 = 10$$

$$- T_{09} = T_{03}' + d_{3'-9} = 9 + 0 = 9$$

$$T_{09} = 13$$

Evenement 10b

$$* T_{010b} = T_{09} + d_{9-10} = 13 + 1 = 14$$

$$* T_{010b} = T_{03} + d_{3-10} = 14 + 0 = 14$$



- Evenement 6

$$a) TA6 = TA7 - d_{6,7}$$

$$TA6 = 9 - 1 = 8$$

$$b) TA6 = TA8 - d_{6,8}$$

$$TA6 = 13 - 2 = 11$$

$$\text{donc } TA6 = 8$$

- Evenement 4

$$TA4 = TA7 - d_{4,7}$$

$$TA4 = 9 - 0 = 9$$

- Evenement 5

$$TA5 = TA6 - d_{5,6}$$

$$TA5 = 8 - 2 = 6$$

- Evenement 2

$$a) TA2 = TA4 - d_{2,4}$$

$$TA2 = 9 - 4 = 5$$

$$b) TA2 = TA5 - d_{2,5}$$

$$TA2 = 6 - 2 = 4$$

$$c) TA2 = TA3' - d_{2,3'}$$

$$TA2 = 9 - 5 = 4$$

$$\text{d'où } TA2 = 4$$

-Evenement 1

$$TA1 = TA2 - d_{1,2}$$

$$TA1 = 4 - 4 = 0$$

Après avoir déterminé les dates au plus tôt et au plus tard des événements; on constate que nous avons deux chemins critiques pour la réalisation de notre projet.

Certes, nous avons gagné  $\frac{1}{2}$  semaines sur le délai de réalisation du projet, mais nous avons rendu sa réalisation délicate car le nombre d'activité critique a augmenté, ce qui exige une vigilance et bonne surveillance dans la réalisation de ces différentes activités critiques.

Ces différentes activités sont indiquées au crayons "feutre bleu" sur le " graphique à flèches".

Si on veut encore, pousser d'avantage la réduction du délai de réalisation du projet, on doit agir sur les activités se trouvent sur les nouveaux chemins critiques comme indiqués précédemment.

Alors, après examination judicieuse des activités critiques, on se propose de sectoriser l'activité F ( maçonnerie briques), en deux activités indépendante  $F_1$  et  $F_2$  .

En effet, : l'activité F<sub>1</sub> peut démarrer immédiatement après l'activité  
Ex D (Béton. Fondation) et l'activité I (Approvisionnement briques)  
- l'activité F<sub>2</sub> (maçonnerie briques 2<sup>e</sup> tranche)  
peut se faire parallèlement au montage des fermes (G<sub>1</sub>).

Nous obtenons ainsi le "graphique à flèches" ci-joint.

\* Calcul des dates au plus tôt des événements.

- Evénement 1

$$T_{01} = 0$$

- Evénement 2

$$T_{02} = T_{01} + d_{12}$$

$$T_{02} = 0 + 4 = 4$$

- Evénement 3'

$$T_{03'} = T_{02} + d_{2-3'}$$

$$T_{03'} = 4 + 5 = 9$$

- Evénement 4

$$T_{04} = T_{02} + d_{24}$$

$$T_{04} = 4 + 4 = 8$$

- Evénement 5

$$T_{05} = T_{02} + d_{2-5}$$

$$T_{05} = 4 + 2 = 6$$

- Evénement 6

$$T_{06} = T_{05} + d_{56}$$

$$T_{06} = 6 + 2 = 8$$

- Evénement 8

$$T_{08} = T_{06} + d_{68}$$

$$T_{08} = 8 + 2 = 10$$

- Evénement 7'

$$a) T_{07'} = T_{04} + d_{47'}$$

$$T_{07'} = 8 + 0 = 8$$

$$b) T_{07'} = T_{06} + d_{67'}$$

$$T_{07'} = 8 + 1 = 9$$

Donc la date au plus tôt est

$$T_{07'} = 9$$

- Evénement 7

$$a) T_{07} = T_{07'} + d_{7'-7}$$

$$T_{07} = 9 + 2 = 11$$

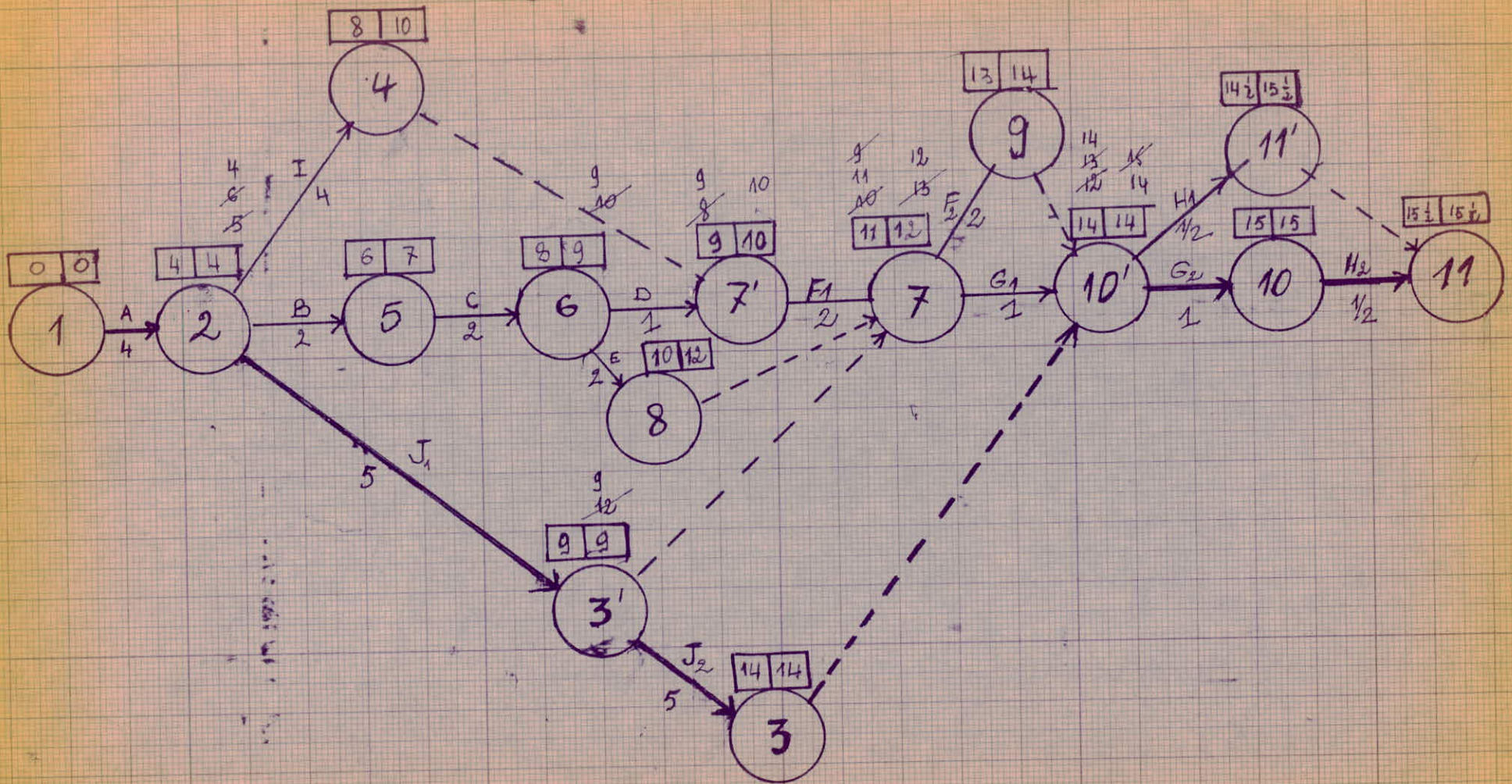
$$b) T_{07} = T_{08} + d_{8-7}$$

$$T_{07} = 10 + 0 = 10$$



Modification de l'activité

P7-9.





$$c) T_{07} = T_{03'} + d_{3'-7}$$

$$T_{07} = 9 + 0 = 9$$

donc  $T_{07} = 11$

- Evenement 3

$$T_{03} = T_{03'} + d_{3'-3}$$

$$T_{03} = 9 + 5 = 14$$

- Evenement 9

$$T_{09} = T_{07} + d_{7-9}$$

$$T_{09} = 11 + 2 = 13$$

- Evenement 10'

$$a) T_{010'} = T_{03} + d_{3-10'}$$

$$T_{010'} = 14 + 0 = 14$$

$$b) T_{010'} = T_{07} + d_{7-10'}$$

$$T_{010'} = 12 + 1 = 13$$

$$c) T_{010'} = T_{09} + d_{9-10'}$$

$$T_{010'} = 14 + 0 = 14$$

donc  $T_{010'} = 14$

- Evenement 10

$$T_{010} = T_{010'} + d_{10'-10}$$

$$T_{010} = 14 + 1 = 15$$

- Evenement 11'

$$T_{011'} = T_{010} + d_{10-11'}$$

$$T_{011'} = 14 + \frac{1}{2} = 14 \frac{1}{2}$$

- Evenement 11

$$a) T_{011} = T_{011'} + d_{11'-11}$$

$$T_{011} = 14 \frac{1}{2} + 0 = 14 \frac{1}{2}$$

$$b) T_{011} = T_{010} + d_{10-11}$$

$$T_{011} = 15 + \frac{1}{2} = 15 \frac{1}{2}$$

Donc  $T_{011} = 15 \frac{1}{2}$

\* Calcul des dates au plus tard des Evenement :

- Evenement 11

$$T_{A11} = 15 \frac{1}{2}$$



- Evenement 10

$$TA_{10} = TA_{11} - d_{10-11}$$

$$TA_{10} = 15 \frac{1}{2} - \frac{1}{2} = 15$$

- Evenement 11'

$$TA_{11}' = TA_{11} - d_{11'-11}$$

$$TA_{11}' = 15 \frac{1}{2} - 0 = 15 \frac{1}{2}$$

- Evenement 10'

a)  $TA_{10}' = TA_{11}' - d_{10'-11}'$

$$TA_{10}' = 15 \frac{1}{2} - \frac{1}{2} = 15$$

b)  $TA_{10}' = TA_{10} - d_{10'-10}$

$$TA_{10}' = 15 - 1 = 14$$

Donc  $TA_{10}' = 14$

- Evenement 9

$$TA_9 = TA_{10}' - d_{9-10}'$$

$$TA_9 = 14 - 0 = 14$$

- Evenement 7

a)  $TA_7 = TA_{10}' - d_{7-10}'$

$$TA_7 = 14 - 1 = 13$$

b)  $TA_7 = TA_9 - d_{7-9}$

$$TA_7 = 14 - 2 = 12$$

d'où  $TA_7 = 12$

- Evenement 3

$$TA_3 = TA_{10}' - d_{3-10}'$$

$$TA_3 = 14 - 0 = 14$$

- Evénement 3'

a)  $TA_{3}' = TA_3 - d_{3-3}'$

$$TA_{3}' = 14 - 5 = 9$$

b)  $TA_{3}' = TA_7 - d_{3'-7}$

$$TA_{3}' = 12 - 0 = 12$$

$$TA_{3}' = 9$$

- Evénement 7'

$$TA_{7}' = TA_7 - d_{7'-7}$$

$$TA_{7}' = 12 - 2 = 10$$

- Evénement 8

$$TA8 = TA7 - d_{8-7}$$

$$TA8 = 12 - 0 = 12$$

- Evénement 6

$$a) TA6 = TA7 - d_{6-7}$$

$$TA6 = 10 - 1 = 9$$

$$b) TA6 = TA8 - d_{6-8}$$

$$TA6 = 12 - 2 = 10$$

$$d'où TA6 = 9$$

- Evénement 5

$$TA5 = TA6 - d_{5-6}$$

$$TA5 = 9 - 2 = 7$$

- Evénement 4

$$TA4 = TA7' - d_{4-7}$$

$$TA4 = 10 - 0 = 10$$

- Evénement 2

$$a) TA2 = TA4 - d_{2-4}$$

$$TA2 = 10 - 4 = 6$$

$$b) TA2 = TA5 - d_{2-5}$$

$$TA2 = 7 - 2 = 5$$

$$c) TA2 = TA3' - d_{2-3}$$

$$TA2 = 9 - 5 = 4$$

$$d'où TA2 = 4$$

- Evénement 1

$$TA.1 = TA2 - d_{1-2}$$

$$TA1 = 4 - 4 = 0$$

Avec cette dernière sectorisation de l'activité F (Maçonnerie-briques); nous n'avons pas réduit le délai de réalisation du projet; mais nous avons réduit le nombre des activités critiques; car pour le responsable du chantier (Projet) cette réduction des activités critiques est très importante.

En effet, durant la réalisation du projet le chef de projet aura à surveiller les activités constituant le chemin critique.

Ces activités sont :

- A Arrêté et Approbation
- J<sub>1</sub> Approvisionnement -fermes: 1<sup>e</sup> tranches
- J<sub>2</sub> Approvisionnement fermes: 2<sup>e</sup> tranche
- G<sub>2</sub> Montage-fermes : 2<sup>e</sup> tranche
- H<sub>2</sub> Revêtement- sol : 2<sup>e</sup> tranche.



3) Conclusion: Du point de vue organisation du projet; le cas le plus favorable est le dernière cas; car la durée de réalisation obtenue est mininale.

D'autre part, nous avons obtenu le nombre d'activité critiques minimal; et ceci sans augmentation des moyens, ni de coût de réalisation.

CHAPITRE V =

ALGORITHMS



## ALGORITHMES UTILISES

Pour le calcul des dates au plus tôt et au plus tard des activités.

1/ Introduction: La formulation mathématique des méthodes exposées précédemment :

- Méthode directe
- Méthode à base de tableau.

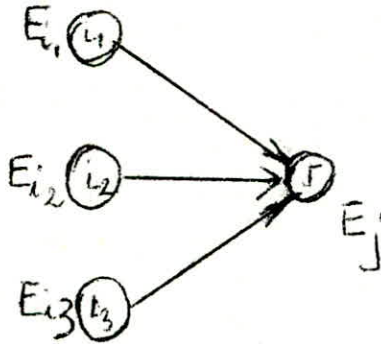
pour le calcul des dates du programme, au plus tôt ( $T_{0i}$ ); ou au plus tard ( $T_{Ai}$ ), ou la durée du programme ( $-T_n$ ), est la suivante :

- Soit
- $U$  l'ensemble des arcs constituant le graphe
  - $d_{ij}$  la durée de l'activité  $P_{ij}$
  - $T_{0i}$  et  $T_{Ai}$  les dates de réalisation des événements  $E_i$
  - $1^{\text{e}}$  on considère  $T_{01} = 0$

On a alors pour les dates de réalisations des événements, l'algorithme suivant :

$$- 2^{\circ} \quad T_{0j} = \max_{(i,j) \in U_j} (T_{0i} + d_{ij}) \quad j = 2, \dots, n$$

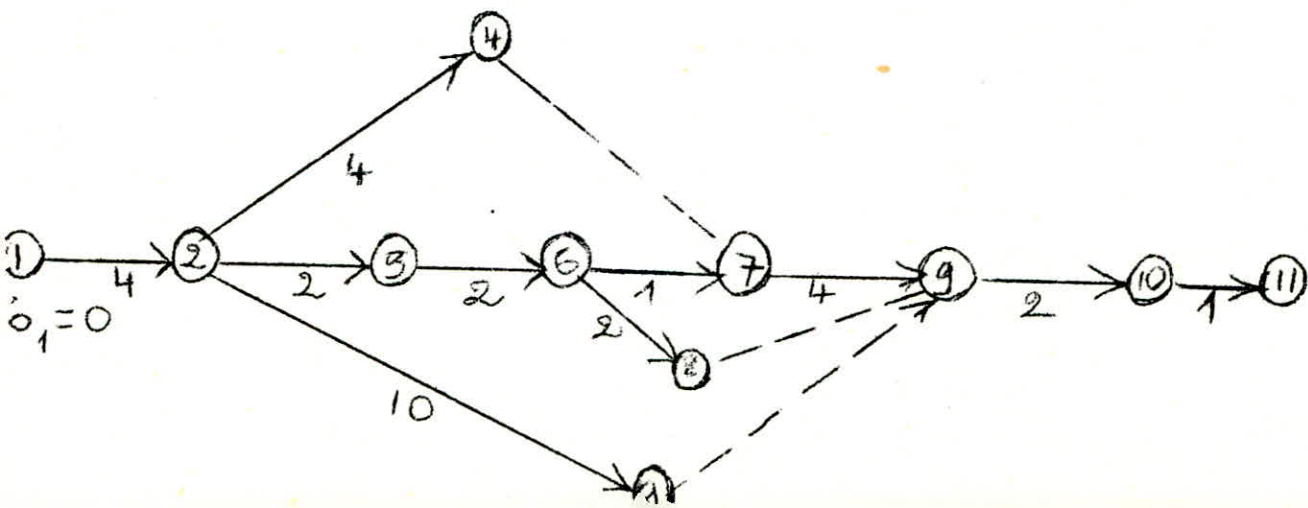
où



- $i$  désigne tous les événements immédiatement précédents à l'événement  $j$ . Pour montrer cela, nous avons notés  $i_1, i_2, \dots$

- $(i,j)$  désigne tous les arcs allant de  $E_{i_1}, E_{i_2}, \dots$  précédents vers  $E_j$
- $U_j$  est le sous-ensemble des arcs incidents à  $E_j$  orientés de  $i$  à  $j$
- $\max$ , signifie que l'on prend le maximum pour tous les arcs  $(i,j)$  appartenant à  $U_j$  :

Application : prenons l'exemple suivant :



- Calculons les dates au plus tôt  $T_{0j}$  de tous les événements en applications de la Formule:

$$T_{0j} = \text{Max}_{(i,j) \in U_j} ( T_{0i} + d_{ij} ) \quad j = 2, \dots, n$$

1°) Pour  $i = 1$

$$j = 2$$

$$T_{01} = 0$$

$$T_{02} = \text{Max} ( T_{01} + d_{12} ) = 0 + 4 = 4$$

2°)  $i = 2$

$$j = 3$$

$$T_{03} = \text{Max} ( T_{02} + d_{2-3} ) = \text{Max} ( 4 + 10 ) = 14$$

3°) Pour  $i = 2$

$$j = 4$$

$$T_{04} = \text{Max} ( T_{02} + d_{2-4} ) = \text{Max} ( 4 + 4 ) = 8$$

4°) Pour  $i = 2$

$$j = 5$$

$$T_{05} = \text{Max} ( T_{02} + d_{2-5} ) = \text{Max} ( 4 + 2 ) = 6$$

5°) Pour  $i = 5$

$$j = 6$$

$$T_{06} = \text{Max} ( T_{05} + d_{56} ) = \text{Max} ( 6 + 2 ) = 8$$

6°) Pour l'événement  $T_{07}$

on a 2 événements immédiatement antérieur a  $T_{07}$  :

$$a) i_1 = 4$$

$$j = 7$$

$$T_{07} = ( T_{04} + d_{47} ) = ( 8 + 0 ) = 8$$

$$b) i_2 = 6$$

$$j = 7$$

$$T_{07} = ( T_{06} + d_{67} ) = ( 8 + 1 ) = 9$$

On prend pour  $T_{07}$ ; la valeur maximale de  $T_{07}$

$$T_{07} = 9$$



7°) Pour l'événement E8

$$i = 6$$

$$j = 8$$

$$T08 = \text{Max} ( T06 + d_{68} ) = \text{Max} ( 8 + 2 ) = 10$$

8°) Pour a) i = 7

$$j = 9$$

$$T09 = \text{Max} ( T07 + d_{79} ) = \text{Max} ( 9 + 4 ) = 13$$

b) i = 8

$$j = 9$$

$$T09 = \text{Max} ( T08 + d_{89} ) = \text{Max} ( 10 + 0 ) = 10$$

c) i = 3

$$j = 9$$

$$T0'9 = \text{Max} ( T03 + d_{39} ) = \text{Max} ( 14 + 0 ) = 14$$

On prend pour

$$T09 = \text{Max} ( T09, T'09, T0''9 ) = \text{Max} ( 13, 10, 14 )$$

$$T09 = 14$$

9°) Pour i = 9

$$j = 10$$

$$T010 = \text{Max} ( T09 + d_{9-10} ) = \text{Max} ( 14 + 2 ) = 16$$

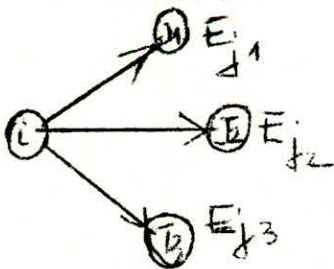
10°) Pour i = 10

$$j = 11$$

$$T011 = \text{Max} ( T010 + d_{10-11} ) = \text{Max} ( 16 + 1 )$$

$$T011 = 17 .$$

d'autre part on a de même pour le calcul des dates au plus tard, l'algorithme suivant :



$$TA_i = \text{Min} \left\{ ( TA_j - d_{ij} ) \right\}_{(i,j) \in U^+} \quad i = 1 \dots n-1$$

-  $TA_n = T_n$  = date de réalisation du projet.

-  $U_i^+$  est le sous ensemble des arcs

divergents de i et orientés vers j

Application au même Exemple :

1°) Pour i = 10, j = 11

$$TA_{10} = \text{Min} ( TA_{11} - d_{10-11} ) = 17 - 1 = 16$$

2°) Pour i = 9

$$j = 10$$

$$TA_9 = \text{Min} ( TA_{10} - d_{9-10} ) = \text{Min} ( 16 - 2 ) = 14$$

3°) Pour  $i = 7$

$$j = 9$$

$$TA7 = \text{Min} ( TA9 - d_{7-9} ) = \text{Min} ( 14 - 4 ) = 10$$

4°) Pour  $i = 8$

$$j = 9$$

$$TA8 = \text{Min} ( TA9 - d_{8-9} ) = \text{Min} ( 14 - 0 ) = 14$$

5°) Pour  $i = 3$

$$j = 9$$

$$TA3 = \text{Min} ( TA9 - d_{3-9} ) = \text{Min} ( 14 - 0 ) = 14$$

6°) Pour a)  $i = 6$

$$j = 8$$

$$TA6 = \text{Min} ( TA7 - d_{6-7} ) = \text{Min} ( 10 - 1 ) = 9$$

b)  $i = 6$

$$j = 8$$

$$TA'6 = \text{Min} ( TA8 - d_{6-8} ) = \text{Min} ( 14 - 2 ) = 12$$

On prend  $TA6 = \text{Min} ( TA6, TA'6 ) = \text{Min} ( 9, 12 ) = 9$ .

7°) Pour  $i = 4$

$$j = 7$$

$$TA4 = \text{Min} ( TA7 - d_{4-7} ) = \text{Min} ( 10 - 0 ) = 10$$

8°) Pour  $i = 5$

$$j = 6$$

$$TA5 = \text{Min} ( TA6 - d_{5-6} ) = \text{Min} ( 9 - 2 ) = 7$$

9°) Pour a)  $i = 2$

$$j = 5$$

$$TA2 = \text{Min} ( TA5 - d_{2-5} ) = \text{Min} ( 7 - 2 ) = 5$$

b)  $i = 2$

$$j = 3$$

$$T'A2 = \text{Min} ( TA3 - d_{2-3} ) = \text{Min} ( 14 - 10 ) = 4$$

c)  $i = 2$

$$j = 4$$

$$T''A2 = \text{Min} ( TA4 - d_{2-4} ) = \text{Min} ( 10 - 4 ) = 6$$

On prend pour :

$$TA2 = \text{Min} ( TA2, T'A2, T''A2 ) = \text{Min} ( 5, 4, 6 )$$

$$TA2 = 4$$

10°) Pour  $i = 1$

$$j = 2$$

$$TA1 = \text{Min} ( TA2 - d_{1-2} ) = \text{Min} ( 4 - 4 ) = 0$$

$$TA1 = 0$$



Il existe d'autres algorithmes de calcul qui sont les suivants :

a) Pour le calcul des dates au plus tôt de réalisation des événements:

On prend:  $T_{01} = 0$

$$T_{0j} = \text{Max} ( d_{ij} )$$

$$(i,j) \in E \quad j = 2, \dots, n$$

avec  $p$  représentant l'ensemble des chemins allant de 1 à  $j$

b) Pour le calcul des dates au plus tard des événements, on considère:

$$- T_{0n} = T_{An} = T_n$$

$T_n$  étant la date de réalisation de l'événement final

$$T_{Aj} = T_n - \text{Max} \left\{ d_{ij} \right\}$$

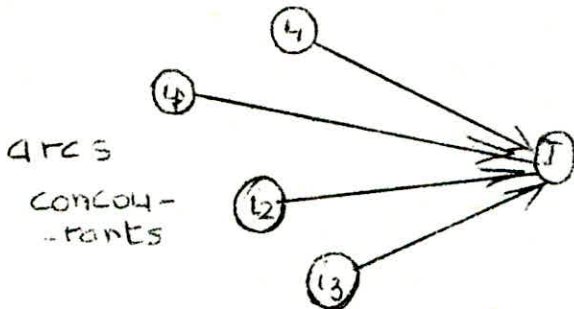
$$(i,j) \in E \quad j = 1, \dots, n$$

étant l'ensemble des chemins allant de  $j$  à  $n$ .

2) ALGORITHME DEL-FORD.

Il est appelé adopté. pour les dates au plus tôt  $T_{0j}$

On prend  $T_{01} = T_1 = 0$



- On suppose que pour le sommet  $J$ , la date au plus tôt  $T_{0j} = -\infty$  (moins l'infini)

Au sommet  $J$ , arrivent plusieurs arcs  $i_1j, i_2j, \dots, etc$

- Toutes les dates  $T_{0i_1}, T_{0i_2}, \dots, etc$  sont connues, car nous avons

commencé du début

- On écrit l'expression  $T_{0j} - T_{0i_1} = \infty - T_{0i_1}$  et si elle est inférieure à  $d_{i_1j}$ , alors on prend pour  $T_{0j}$  une autre valeur:

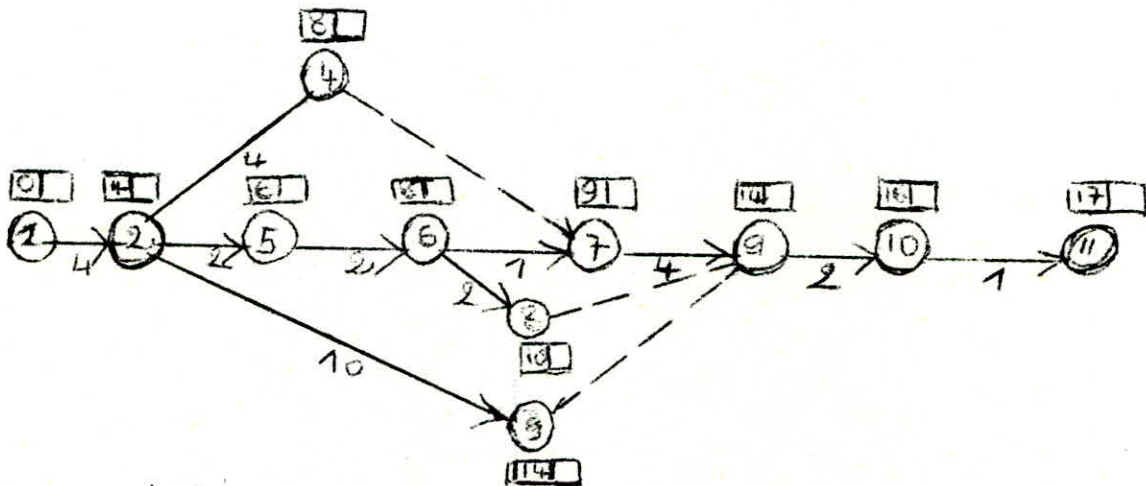
$T'_{0j} = T_{0i_1} + d_{i_1j}$  et recalculons l'expression  $T'_{0j} - T_{0i_2}$  ( pour le 2<sup>e</sup> chemin  $i_2j$  ), et l'on compare toujours avec  $d_{i_2j}$ .

Si  $T'_{0j} - T_{0i_2} < d_{i_2j}$ , on fait le même calcul pour  $i_3, \dots, etc$

pour tous les arcs qui arrivent en  $j$ . On choisit le plus grand  $T_{0j}$

Si pour un arc  $i_pj$ , l'expression  $T_{0j} - T_{0i_p}$  est supérieure à  $d_{i_pj}$ , alors on prend la valeur antérieure, mais on continue pour le reste des arcs.

Application :



1. Calcul de  $T_{02}$  :

$T_{02} = -\infty$  - On écrit l'expression  $T_{02} - T_{01} = -\infty - 0$   
 - on la compare à  $d_{12} = 4$   
 - on voit que :  $T_{02} - T_{01} = -\infty - 0 < 4$   
 alors on prend:

$T'_{02} = T_{01} + d_{12} = 0 + 4 = 4$  et comme nous n'avons pas d'autre chemins; alors la date  $T'_{02}$  est la date au plus tôt de l'événement  $E_2$ .

2. Calcul de  $T_{03}$  :

$T_{03} = -\infty$  - On écrit l'expression  $T_{03} - T_{02} = -\infty - 4$   
 - on la compare à  $d_{23} = 10$   
 - on voit que :  $T_{03} - T_{02} = -\infty - 4 < 10$   
 alors on prend :

$T'_{03} = T_{02} + d_{23} = 4 + 10 = 14$  et comme nous n'avons pas d'autre chemins; alors la date  $T'_{03}$  est la date au plus tôt de l'événement  $E_3$

3. Calcul de  $T_{04}$  : Evénement 4

$T_{04} = -$   
 - On écrit l'expression  $T_{04} - T_{02} = -\infty - 4$   
 - on la compare à  $d_{24} = 4$   
 - on voit que  $T_{04} - T_{02} = -\infty - 4 < 4$   
 alors on prend

$T'_{04} = T_{02} + d_{24} = 4 + 4 = 8$  et comme nous n'avons qu'un seul chemin alors la date  $T'_{04}$  trouvée est la date au plus tôt de l'événement  $E_4$  ;



4. CALCUL de T05 : Evenement 5

$$T05 = -\infty$$

- On écrit l'expression  $T05 - T02 = -\infty - 4$

- on la compare à  $d25 = 2$

- on voit que :  $T05 - T02 = -\infty - 4 < 2$

alors on prend

$$T'05 = T02 + d25 = 4 + 2 = 6$$

Comme nous n'avons qu'un seul chemin allant de l'événement 2 à l'événement 5, donc la date  $T'05 = 6$  est la date au plus tôt de l'événement 5

5. calcul de T06 : Evenement 6 :

$$T06 = -\infty$$

- On écrit l'expression  $T06 - T05 = -\infty - 6$

- on la compare à la durée  $d56 = 2$

- on voit que  $T06 - T05 = -\infty - 6 < 2$

alors on prend comme nouvelle valeur:

$$T'06 = T05 + d56 = 6 + 2 = 8$$

- Comme nous n'avons qu'un seul chemin allant de  $E_5$  à  $E_6$ , donc la date  $T'06 = 8$  est la date au plus tôt de l'événement 6

6/ Calcul de T07 : Evenement E7

$$T07 = -\infty$$

- On écrit l'expression :

$$T07 - T06 = -\infty - 8$$

- on la compare à  $d67 = 1$

- on voit que :  $T07 - T06 = -\infty - 8 < 1$

alors on prend :

$$T'07 = T06 + d67 = 8 + 1 = 9$$

- Recalculons l'expression :  $T'07 - T04 = 9 - 8$

- on la compare à  $d47 = 0$

$$T'07 - T04 = 9 - 8 = 1 > 0$$

- Donc la date au plus tôt de l'événement

$E_7$  est  $T'07 = 9$

7/ Calcul de T08 : Evenement : E8

$$T8 = -\infty$$

- On écrit l'expression

$$T08 - T06 = -\infty - 6$$

- on la compare à  $d68 = 2$

- on voit que :  $T07 - T06 = -\infty - 6 < 2$

alors on prend :  $T'08 = T06 + d68 = 8 + 2 = 10$

- Et comme nous n'avons qu'un seul chemin allant de  $E_6$  à  $E_8$  alors la date  $T'08 = 8$  est la date au plus tôt de l'événement  $E_8$ .

8°/ Calcul de  $T09$  : Evénement 9 .

a)  $T09 = -\infty$

- On écrit l'expression

$$T09 - T07 = -\infty - 9$$

- on la compare à  $d79 = 4$

- on voit que :  $T09 - T07 = -\infty - 9 < 4$

alors on prend:

$$T'09 = T07 + d79 = 9 + 4 = 13$$

b) - recalculons l'expression suivant le 2<sup>e</sup> chemin :

$$T'09 - T08 = 13 - 10 = 3$$

- on la compare à  $d89 = 0$

$T'09 - T08 = 3 > 0$  ; donc on garde la valeur de  $T'09$  déterminée précédemment .

c) - On écrit l'expression suivant le 3<sup>e</sup> chemins

$$T'09 - T03 = 13 - 14 = 1$$

- on la compare à  $d39 = 0$

- on voit que :  $T'09 - T03 = 13 - 14 = -1 < 0$

- on calcule :

$$T''09 = T03 + d39 = 14 + 0 = 14$$

- Donc  $T''09$  ainsi calculée est la date au plus tôt de l'événement  $E_9$

$$T''09 = T09 = 14$$

9°/ Calcul de  $T010$  : Evénement 10

$$T010 = -\infty$$

- On écrit l'expression:

$$T010 - T09 = -\infty - 14$$

- on la compare à  $d9-10 = 2$

- on voit que:

$$T09 - T07 = -\infty - 9 < 2$$

alors on prend :

$$T'010 = T09 + d9-10 = 14 + 2 = 16$$

- Et comme il y a un seul chemin allant de l'événement  $E_9$  à l'événement  $E_{10}$

donc  $T'010 = 16$  est la date au plus tôt de l'événement  $E_{10}$ .

10°/ - Calcul de  $T011$  : Evénement  $E_{11}$  :

$$- T011 = -\infty$$



- On écrit l'expression :

$$T_{011} - T_{010} = - \infty - 16$$

- on la compare à  $d_{10-11} = 1$

- on voit que :

$$T_{011} - T_{010} = - \infty - 16 < 1$$

alors on prend:

$$T'_{011} = T_{010} + d_{10-11} = 16 + 1 = 17$$

- Et comme il y a 1 seul chemin allant de l'événement E10 à l'événement E11 donc  $T'_{011} = T_{011} = 17$  ; c'est la date au plus tôt de l'événement E11 qui aussi la date au plus tôt de réalisation du projet.

#### ALGORITHME de B - ROY -

Comme point de départ on utilisera le tableau(I), où a été condensée, dans les colonnes (1),(2),(3),(4), et (5) toute l'information disponible sur les activités nécessaires pour mener à bien le projet; les colonnes(6)et (7) et (8) indiquent les résultats obtenus par l'application de l'algorithme.

On observera que les données disponibles, se repèrent à deux aspects.

- ordre logique de successions des activités
- et durées de celles-ci -

En toute rigueur, il n'est pas nécessaires de dessiner le graphe du programme pour déterminer le chemin critique; cependant il s'est avéré utile de le faire pour visualiser le projet - Ce qui n'est pas le cas, dans la méthode PERT, où l'existence possible d'activités virtuelles nous oblige au contraire, à disposer du graphe avant de commencer les calculs -

L'information contenue dans les colonnes (2) , (3) et (5) du tableau I, permet d'établir le tableau II grâce auquel on appliquera l'algorithme pour obtenir la date au plus tot de demarage de chaque activité.

En fait ce second tableau reprend les données fournies par le premier en les présentant différemment pour faciliter les calculs - La première ligne représente la liste des activités correspondant aux sommet du graphe -

En dessous de chacune de ces tâches, on a marqué celles qui la precedent immediat, avec leurs durées -Enfin on a ménagé des sous colonnes dont la raison d'être sera exposée plus loin -

- On attribue à D - debut des Operations - la date 0 et on écrit ce chiffre à gauche du D qui figure en tete de la première colonne, ainssi que dans les sous- colonnes à coté des autres D figurant dans le tableau.

Puis on cherche une colonne qui soit complète, c'est à dire qui possède autant d'éléments dans la sous-colonne que dans la colonne; on affectue alors la somme des quantités de chaque ligne et on conserve la somme maximale qu'on écrit, en tete de la colonne, à gauche de la lettre identifiant une activité du programme -



- TABLEAU DE B. Roy -

Designation Des Taches	Nomenclat.	Tâches precedantes	Taches suivantes	Durées (semaines)	$t_i$	$t_i^*$	Chemin Critique
Debut des Operations.	De	-	A	0	0	0	D*
Etude et Approb. du Projet	A	De	I, J, B	4	0	0	A*
Apprivoisement <sub>11</sub> en brique	I	A	4-7	4	4	6	I
Apprivoisement <sub>11</sub> en Ferme	J	A	3-9	10	4	4	J*
Organisation de chantier	B	A	C	2	4	5	B
Fouilles.	C	B	D et E	2	6	7	C
activité fictive.	4-7	I	F	0	8	10	4-7
Beton fondation.	D	C	F	1	8	9	D.
Beton Faniveaux.	E.	C	8-9	2	8	12	E
activité fictive.	8-9.	E.	G	0	10	14	8-9
activité fictive.	3-9.	J	G	0	14	14	3-9*
maçonnerie brique	F.	Det 4-7.	G	4	9	10	F
montage Fermes	G.	F-3.9 et 8-9.	H	2	14	14	G*
Revetement-sol.	H	G	FIN.	1	16	16	H*
Fin des travaux.	FIN.	H	-	0	17	17	Fin*
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)



ordre de succession logique des activités -

P. 12

Exemple de  
Processus de  
calcul -

	G	H	FIN.
9	F = 4	G = 2	H = 1
14	3-9 = 0		
10	8-9 = 0		

$$\begin{array}{|l} 4+9 = 13 \\ 0+14 = \textcircled{14} \\ 0+10 = 10 \end{array}$$

	G	H	FIN.
$\textcircled{14}$	16	17	
9	F = 4	G = 2	H = 1
14	3-9 = 0		
10	8-9 = 0		

calcul de date de debut au plus tot des activites -



On répète systématiquement ce processus- Les valeurs qu'on a trouvées une fois écrites en tête des colonnes, sont reproduites dans les sous-colonnes à côté des lettres correspondantes ce qui permet de compléter les sous-colonnes et de déterminer de nouvelles colonnes .

Finalement on pourra écrire un nombre à côté du mot Fin, indiquant la fin des travaux - la compréhension de l'algorithme est facilité par la figure IV. Tandisque le resultat final est indiqué sur le tableau III/.

Cet algorithme conduit toujours à la solution du problème, sauf lorsqu'il existe des circuits dans le programme - Cette éventualité n'est pas à considérer puisqu'elle correspond à une erreur de logique dans la description du projet -

L'algorithme qu'on vient de présenter possède l'avantage de ne pas nécessiter l'énumération successive des sommets du graphe; il est également d'application manuelle simple et on peut résoudre grâce à lui des problèmes possédant un nb assez élevé de sommets et d'activité -

Dans notre exemple, la fin des travaux ou du projet aurait lieu, au plus tôt à la date 17 -

Pour déterminer les dates au plus tard de mise en route des différentes activités, on construit un nouveau tableau ( N° V ), où on considère les activités qui suivent immédiatement celles qui sont portées en tête de colonnes - A côté du mot FIN, on écrit la valeur, précédemment calculée, de la date de réalisation du projet, c'est à dire 17, et on applique le même algorithme en changeant simplement les mots somme par différence et maximale par minimale -

Ceci permet d'obtenir le tableau (VI) où en tête, à côté de chaque lettre identifiant une activité est marquée la date  $t_i$  correspondante -

Les tâches dont les dates de début au plus tôt et au plus tard coïncident ( activités critiques ) sont indiquées par une astérisque dans la colonne 8 du tableau (I) ; leur suite constitue comme on sait le chemin critique -

Le calcul des différentes marges peut être effectué également sans difficulté permettant ainsi de compléter l'information déjà obtenue -



ordre logique de Successions des activités (on s'intéresse aux activités précédentes -)

II

	D	A	B	I	J	C	4-7	D	E	8-9	3-9	F	G	H	FIN
Λ		D:0	A:4	A:4	A:4	B:2	I:4	C:2	C:2	E:2	J:10	D=1 4-7:0	F=4 3-9:0 8-9:0	G:2	H:1

calcul de Date au plus tôt

De debut des activités

III

	D	A	B	I	J	C	4-7	D	E	8-9	3-9	F	G	H	FIN
0	0	4	4	4	4	6	8	8	8	10	14	9	14	16	17
0	0	D:0	A:4	A:4	A:4	4	B:2	4	I:4	6	C:2	6	E:2	8	J:10
												8	D=1 4-7:0	9	F=4 3-9:0 8-9:0
												8	14	14	G=2
												8	10	8-9:0	16
															H=1

calcul des Doij par l'Algorithme de B. Roy



ordre logique de succession des Activités' (On s'intéresse aux activités suivantes.)

D	A	B	I	J	C	4-7	D	E	8-9	3-9	F	G	H	FIN
A=4	I=4 J=10 B=4	C=2	4-7=4	3-9=10	D=2 E=2	F=0	F=1	8-9=2	G=0	G=0	G=4	H=2	FIN=1	

Fig: V

calcul de date de debut au plus tard des activités-

D	0	A	0	B	5	I	6	J	4	C	7	4-7	10	D	9	E	12	8-9	14	3-9	14	F	10	G	14	H	16	FIN	17
A=4	0	I: 4 J: 4 B: 4	6	C=2	7	4-7: 4	10	3-9: 10	14	D: 2 E: 2	9 12	F: 0	10	F: 1	10	8-9: 2	14	G: 0	14	G: 0	14	G: 4	14	H: 2	16	FIN: 1	17		

Fig: VI

calcul des D<sub>aij</sub> par l'Algorithme de B. Roy-



CHAPITRE VI = SCHEMA DES ANTERIORITES  
=====

## Le Schema des Anteriorités.

### 1) Introduction .

Les Graphiques reseaux que nous avons exposés jusqu'à present, ont utilisé le schema à fleches.

Dans ce genre de schema , ainsi comme nous le savons , on represente une activité par une flèche et les noeuds du graphique, representaient des evenements .

- Il y a aussi une autre representation courante dite le schema des anteriorités " ou le schema " à noeuds activités " ou " encore le schema à " cercles" qui represente les activités par des noeuds et qui utilise les arcs pour represente les relations sequentielles entre activités -

- Chaque activité est numerotée avec un chiffre qui s'inscrit à l'in-  
terieur du cercle qui marque l'activité , Le numerotage se fait dans le sens du developpement technologique des activités -

- La figure suivante, donne le graphe correspondant à celui etudié jusqu'à present, après avoir été transposé -

Representons notre programme par les 2 schemas suivants : .

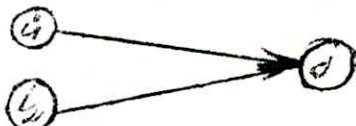
Le schema des anteriorités est beaucoup plus simple a appliquer et à modifier - Dans le schema des anteriorités, l'addition d'une activité revient simplement à placer un noeud ; mais dans le schema à flèche, cela amène à changer des positions.

Au dessus du cercle on peut ecrire en signe le nom de l'activité - A droite du cercle, au dessus de la flèche on ecrit les dates de fin au plus tôt et au plus tard de l'activité FOi et FAi Adroite du cercle, au dessous de la flèche, montre que l'activité ou les activités qui succèdent ne peuvent commencer qu'après un delai du commencement de l'activité anterieure, égale à la durée de cette activité -

- Sur le schema precedant, les activités (i); (j) et B ,c'est à dire contrat brique, fermes et organisation du chantier, lesquelles succèdent l'activité A ( Projet + arrêté ) ne peuvent pas commencer qu'après au moins 4 semaines du debut de l'activité A -

Si une activité j suit la fin d'une autre activité , les cercles qui represente ces deux activités sont unis par une flèche orienté vers la deuxième activité -

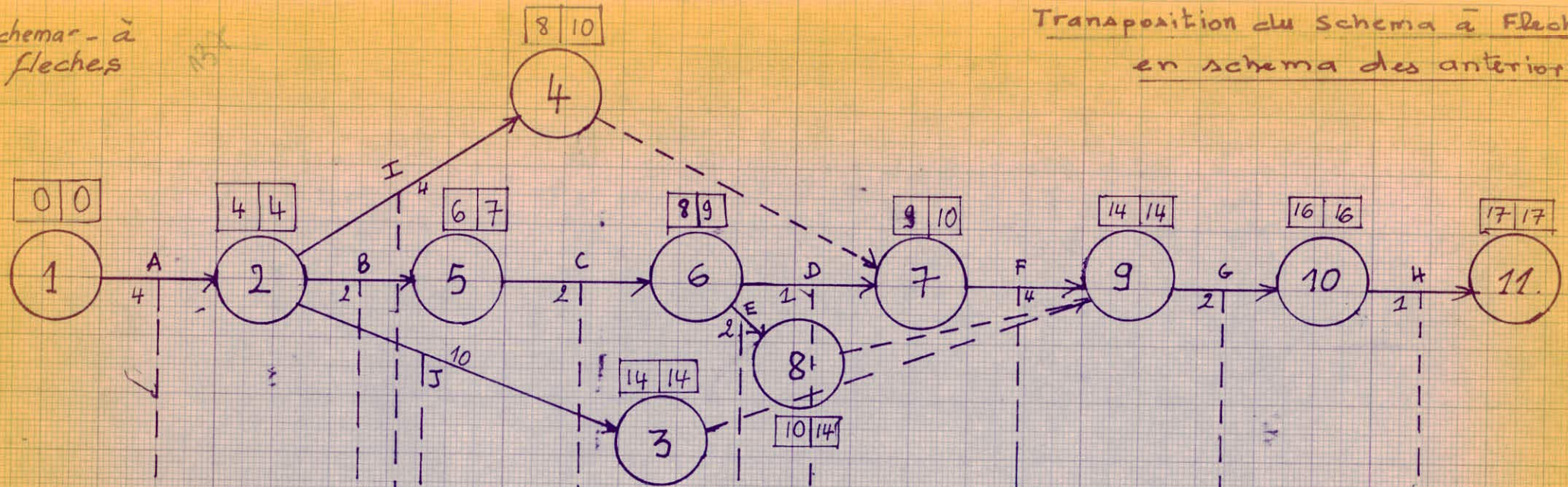
Si une activité J ne peut commencer qu'après la fin des plusieurs activités 1 , 2 , 3 ... on represente conformement à la figure ci dessous.



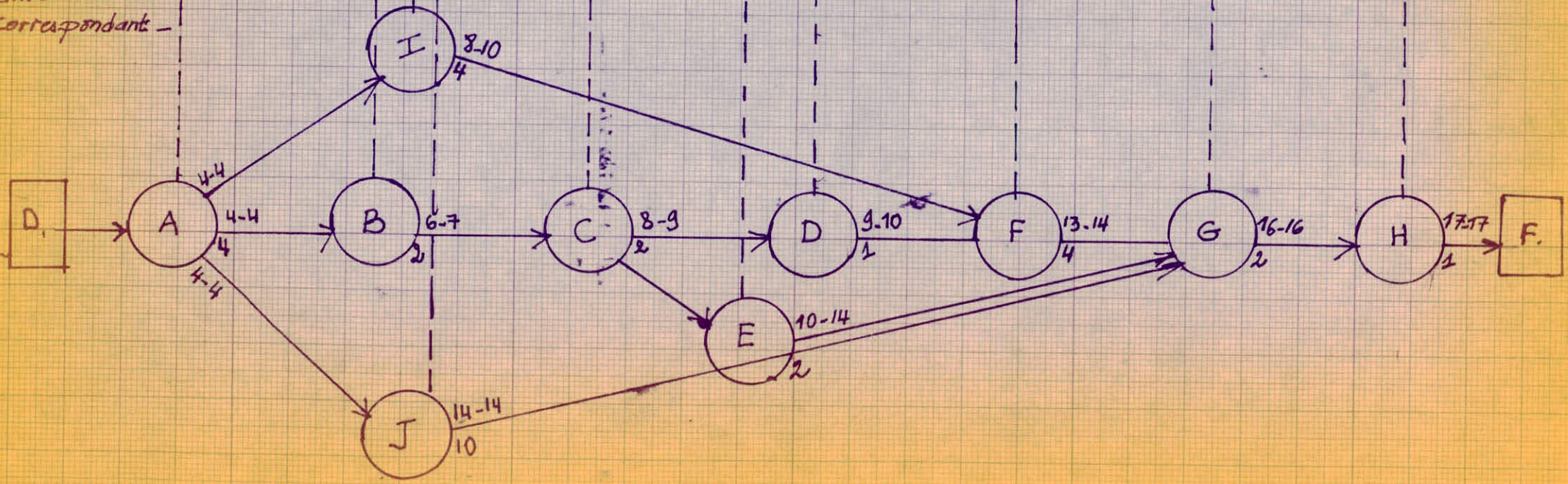


Schema - à fleches

Transposition du Schema à Fleches en schema des antériorités

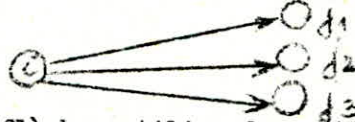


Schema des antériorités correspondants





Si plusieurs activités ne peuvent pas commencer qu'après la fin d'une autre (i), on représente comme on voit ci dessous -



Le Schema à flèches utilise des activités fictives surtout dans des cas suivants -

C suit A et B -

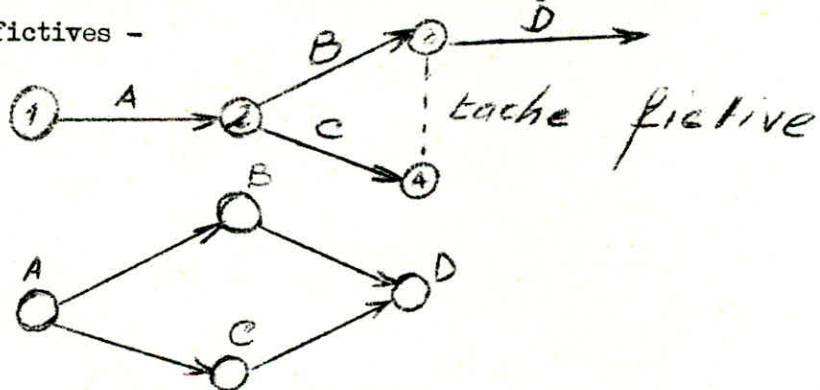
D suit seulement B -

Nous donnerons quelques exemples qui peuvent être rencontrés -

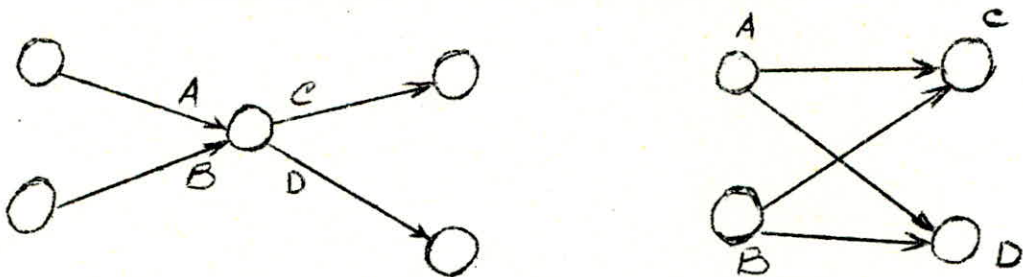
1/ Operations  
paralleles .//

B et C suivent la tache A et la tache D ne peut debuter qu'après la fin des tâches B et C -

Le Schema à flèche, representé ci dessous, introduit une flèche virtuelle - Par contre le schema des anteriorités correspondant est sans etapes et sans activités fictives -



2°) Operations dépendantes et indépendantes .



S.A. fleches

S.D. anteriorité .

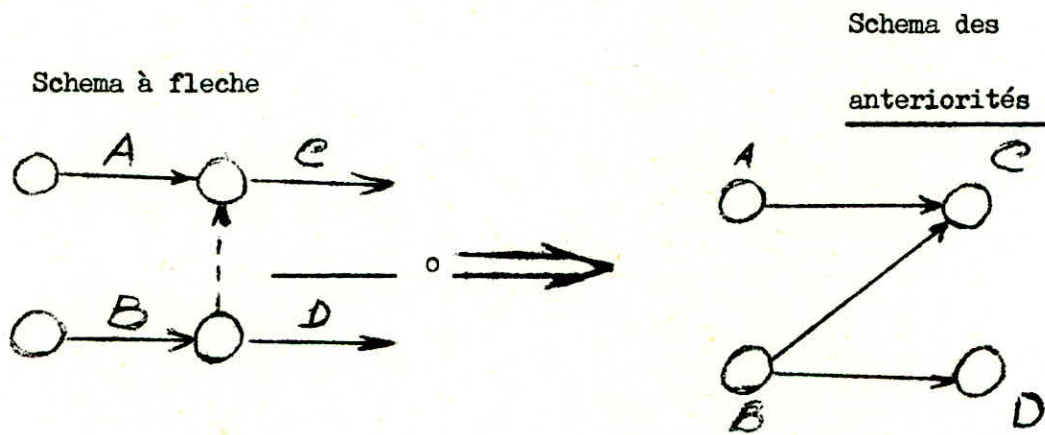
Les activités C et D succèdent à A et B, sur la figure si dessus on voit les deux representations .

- Maintenant supposons que C succède à A et B mais que D succède seulement à B -



- Le Schema à fleche introduit une étape et une activité fictives . Dans la representation par Schema des antériorités, il n'est pas nécessaire d'introduire des événements et activités fictives ./

---



CHAPITRE VII = EFFICACITE DU LOTISSEMENT  
=====



## EFFICACITE DU LOTISSEMENT D'UN OUVRAGE.

Introduction : Nous avons vu, dans le premier chapitre, 1 modèle de planning des des travaux d'un ouvrage; qui est le graphique de GANTT .

Celui - ci représente les activités par des rectangles .

Nous rappelons le principe du graphique Gantt, en considérant l'exemple du hall industriel.

On décompose l'ouvrage en processus composants qui sont :

- Fondation
- Béton Fondation
- Charpente métalliques
- Revêtement sol

A l'aide de la formule Universelle, nous

D'autre part, d'après les dimensions de l'ouvrage, nous avons calculé les quantités des travaux qui sont respectivement :

A l'aide de la formule Universelle, nous avons calculé les durées de réalisation de chaque processus composants :

$$t = \frac{Q}{Np. e}$$

NO d'ordre	DESIGNATION	Q	t (s)
1	- Fondation	7200 m <sup>3</sup>	6
2	- Béton Fondation	1000m <sup>3</sup>	2
3	- Murs Briques	4320 m <sup>2</sup>	4
4	- Charpentes, Met.	1920 m <sup>2</sup>	3
5	- Revêtement sol	1900 m <sup>2</sup>	1

D'après ces données, on représente le graphique Gantt, qui est simple et rapide .

N° d'ordre	DESIGNATION	Durées en semaines					
		0	6	8	12	15	17
1	FONDATIONS	▨					
2	BET.FONDATION		▨				
3	Murs Briques			▨			
4	Charpentes Mét.				▨		
5	Revêtement					▨	

Remarque : ce graphique de Gantt présente de gros inconvénients, car c'est un graphique qui est muet, en effet, il n'indique pas quelles sont les activités de l'ouvrages qui peuvent tolérer du retard sans affecter la durée de réalisation du projet .

C'est pour cela qu'on a renoncé à cette méthode de représentation du planning des travaux; qui est trop ancienne et surtout qui présente beaucoup d'inconvénients. Mais ce graphique a eu le mérite d'être utilisé durant plusieurs années; dans les différents domaines de la construction .

Hélas, comme toute chose; elle naît, elle vit son temps et elle meurt .

A/ transposition du cyclogramme en graphique GANTT

\* Méthode basée sur les cyclogramme.

Nous avons vu précédemment la représentation simple du graphique de Gantt.

Pour parer à ces insuffisances, on a inauguré un nouveau planning des travaux de l'ouvrage basée sur les cyclogrammes.

Nous exposons cette méthode sur un exemple simple et concret : Hall industriel qui a été subdivisé en 6 Secteurs de travail, égaux -

On subdivise, les travaux de réalisation du hall industriel en processus composants, comme suit :



N° d'ordre	DESIGNATION	Quantités	Norme de <i>Production</i>
1	- Fouilles en Fondation	7200 m <sup>3</sup>	20 m <sup>3</sup> /h.P
2	- Coulage Beton Fondation	1000 m <sup>3</sup>	0,25 m <sup>3</sup> /hh
3	- Murs en Briques	4320 m <sup>2</sup>	0,50 m <sup>2</sup> /hh
4	- Charpentes métalliques	1920 m <sup>2</sup>	$\frac{1}{3}$ m <sup>2</sup> / hh
5	- revêtement du sol.	1900 m <sup>2</sup>	1,5 m <sup>2</sup> / hh.

donc nous avons 6 groupes d'activités et pour des raisons économiques et technologiques, on divise la première groupe " Fouilles en Fondation" en deux processus composants :

- Fouilles Fondation Mécanique
- Fouilles Fondation Manuelle

Nous avons estimé que 80% des travaux sont réalisés mécaniquement à l'aide d'une Pell et 20% manuellement.- qui est le cas courant.

Calculons les quantités des travaux correspondant à :

- Fouille mécanique
- Fouille manuelle

• Fouilles Mécaniques :  $Q_1 = \frac{80 \times 7200}{100} = 5760 \text{ m}^3$

-  $N_{p1} = 20 \text{ m}^3/\text{h.Pell.}$

• Fouilles Manuelles :  $Q_2 = \frac{20 \times 7200}{100} = 1440 \text{ m}^3$

$N_{p2} = 0,25 \text{ m}^3/\text{h;h.}$

Calculons la durée de réalisation des Fouilles.

Pour cela on tient compte de la réalité dans le chantier, matériel disponible effectif etc.

On dispose d'une Pell de capacité 500l

$$t = \frac{Q}{N_{p.e}}$$

$$Q = 5760 \text{ m}^3$$

$$N_p = 20 \text{ m}^3/\text{h.Pell}$$

$$e = 1 \text{ Pell}$$

$$\text{d'où } t_M = \frac{5760}{20 \times 1} = 288 \text{ h} = 36 \text{ j} = 6 \text{ semaines}$$

$$1 \text{ semaines} = 6 \text{ jours ouvrables} = 48 \text{ heures}$$

Donc nous avons besoin de 2 homme pour la pell et 6 camions : auto - basculant donc 6 hommes.

- L'effectif en homme pour les Fouilles mécaniques est:

$$e_M = 8 \text{ hommes.}$$

D'autre part on considère que les fouilles manuelles ont une durée de 288h  
 nombre d'heures de travail donc  $t_M = t_M = 288h = 36j = 6$  semaines

- L'effectif en homme pour les fouilles manuelles est :

$$t_m = \frac{Q_2}{N_{p2}.e_m} \implies e_m = \frac{Q_2}{N_{p2}.t_m} = \frac{1440}{0,25 \times 288} = 20h$$

!- Coulage de béton Fondation : on dispose d'une mini-centrale à béton; avec  
 avec une norme de production :  $N_p = 10 \text{ m}^3/h$

- On calcul la durée par la même formule qui précédemment.

$$t = \frac{Q}{N_p.e} \quad \begin{array}{l} \text{avec } Q = 1000\text{m}^3 \\ N_p = 10\text{m}^3/h \\ e = 1 \text{ mini-central} \\ e_g = 4 \text{ hommes} \end{array}$$

donc  $t = \frac{1000}{10 \times 1} = 100h = 12,5j = 2$  semaines

- Calculons l'effectif des bétoniste:

pour couler  $10\text{m}^3$  de béton il nous faut une heure de temps et nous avons  
 la normes de production d'1 bétoniste est :  $N_p = 0,25 \text{ m}^3/h$ .

d'ou on tire l'effectif:

$$t = 1h = \frac{Q}{N_p.e} = \frac{10 \text{ m}^3}{0,25 \text{ m}^3/h \times h}$$

$$\implies e = \frac{10 \text{ m}^3}{0,25 \times 1} = 40 \text{ bétonistes.}$$

- Calculons le nombre de Dumper necessaires:

1Dumpe a une capacité de  $4 \text{ m}^3/h$ .

donc le nombre de Dumpe est :  $n_D$

$$n_D = \frac{10 \text{ m}^3/h}{4\text{m}^3/h} = 2,5 \text{ donc } n_D = 3$$

$$n_D = 3 ; e_D = 3 \text{ hommes.}$$

- Calculons le nombre d'aiguille vibrants avec une norme de production  
 $N_p = 0,70h/m^3$  donc le nombre d'aiguille vibrante est

$$n_A = \frac{10}{0,7} = 14$$

- il nous faut 2 grues pour alimenter la mini- centrale à béton donc  
 $e_g = 2 \times 3 = 6$  hommes.

- Maconnerie - Briques

- Calcul de la durée ; nous disposons d'une équipe de 30 hmes = e

D'autre part la quantité des tracaux est :

$$Q = 4320 \text{ m}^2 ; \text{ la norme de production } N_p = 0,25 \text{ m}^2/h.h.$$

d'où

$$t = \frac{4320}{0,25 \times 30} = 576h = 24 \text{ jours} = 4 \text{ semaines}$$



- Matériel utilisés : il nous faut 1 bétonnière de capacité 125l, 1 autobasculant et 1 Dumper ; l'effectif estimé pour le Fonctionnement de ce matériel est de 6 hommes-

- Charpente métalliques.

La quantité des travaux est de  $1920 \text{ m}^2$  la norme de production est de  $\frac{1}{3} \text{ m}^2/\text{h.h.}$  l'effectif de charpentier dont nous disposons est de 30 hommes.

d'où on calcul la durée :

$$t = \frac{1920}{192 \times 30} = 192\text{h} = 24 \text{ j} = 4 \text{ semaines}$$

matériel utilisé :

- Une grue donc 3 hommes;

il en faut au total  $e = 33$  hommes.

- Revêtement sol :

La quantité des travaux est de :  $1900 \text{ m}^2$  la norme de production est de :  $1,5 \text{ m}^2/\text{hh.}$

l'effectif dont nous disposons est de 13 hommes.

d'où la durée :

$$t = \frac{1900}{1,5 \times 13} = 96\text{h} = 12 \text{ j} = 2 \text{ semaines}$$

matériel utilisé :

- 1 bétonnière de capacité 500 litres avec 1 effectif de 4 hommes
- 1 Dumper : donc 1 homme.

Nous rappelons quelques principes sur les cyclogramme

a) les processus composants doivent être continus sur tous les secteurs d'activités.

b) les processus composants doivent respecter les condition technologiques et séquentielles.

c) Nous devons respecter la synchronisation entre les activités des différents secteurs.

Donc la représentation d'un planning des travaux en cyclogramme est simple, simple, rapide et facile.

Nous porterons en ordonnée le nombre de secteur de travail et en *abscissa* la durée en semaines ou en relève: 1relève = 8h = 1jour.

Sur -chaque droite représentant le processus, on indique la durée de réalisation de l'activité sur un secteur, car nous avons supposé que nous avons divisé en  $\emptyset$  secteurs de travail égaux.

Exemple : Pour l'activité Fouille en Fondation:

Nous avons divisé l'activité en 6 secteurs et sur chaque secteur la durée de réalisation des Fouilles est de 6 semaines. Donc la durée totale pour réaliser les fouilles de notre hall industriel est :

$$d = 6 \times 6 = 36 \text{ semaines.}$$

On pourrait indiquer aussi l'effectif en hommes et en matériel au dessus de la droite représentant les processus composants l'activité.

Mais ces indications rendraient l'exploitation et la lecture du cyclo-gramme peu -- clair et difficile .

Alors, on a pensé à transcrire ce cyclogramme en graphique de Gantt modernisé qui est beaucoup plus parlant et explicite .

Pour ce faire, on établit d'abord le cyclogramme comme indiqué ci-dessous puis on projette les débuts et les fins de tous les processus composants, dans un tableau immédiatement au dessous du cyclogramme dans lequel sont indiqués les activités par des rectangles de longueur égale à la durée de réalisation de l'activité.

Et, à gauche de ce graphique Gantt, on indique le numéro d'ordre de l'activité, la désignation de l'activité, les quantités totales, l'effectif total, le matériel, la durée en semaines de l'activité pour un secteur et les normes de production.

A ce graphique de Gantt transcrit du cyclogramme; on ajoute différents diagrammes telque - Diagramme des effectif

- Diagramme du matériel
- Diagramme du sable
- Diagramme du béton etc .

Dans cette nouvelle méthode d'organisation des travaux; le graphique Gantt est beaucoup plus parlant et nous montre les temps morts c'est à dire les marges totales de chaque activité, ces indications sont précieuses car elles nous permettent de faire des glissements des activités dans les intervalles de marges totales afin d'obtenir une organisation efficace des travaux et un emploi de l'effectif en hommes uniforme.

De plus, on obtient une meilleure organisation du matériel et une utilisation rationnelle de celui-ci, et par conséquent une réduction du coût de réalisation du projet.

Ce cyclogramme combiné avec le graphique Gantt peut être amélioré par une meilleure organisation des différents activités. En effet, pour éliminer les temps mort, on choisit une durée de réalisation de chaque processus égale:

$t_1 = t_2 = t_3 = t_4 = t_5 = t_6 \dots \dots = t_{n-1} = t_n$  . Dans notre exemple on choisit  $t = 6$  semaines et on obtient le cyclogramme suivant en tenant compte de la synchronisation sur les différents secteurs et par ce fait on élimine les temps morts.



Remarque : après avoir fait le lotissement et la transposition du cyclogramme en graphique de Gantt, nous avons obtenu une réduction du délai de réalisation du projet qui était de 73 semaines et maintenant de 63 semaines.

En même temps, par le fait de l'augmentation de la durée moyenne de réalisation des groupes d'activités 3<sup>e</sup>, 5<sup>e</sup>, 6<sup>e</sup> on a obtenu une dépense plus petite car la loi régissant le coût d'une activité en fonction de sa durée de réalisation, varie conformément au graphique ci-dessous :



On remarque que : plus la durée de réalisation d'une activité augmente; plus le coût diminue.

Cette diminution du coût est due au fait que nous avons augmenté les durées de réalisation des groupes d'activités : 3<sup>e</sup>, 5<sup>e</sup> et 6<sup>e</sup> et de plus nous avons supprimé les temps morts entre les activités.

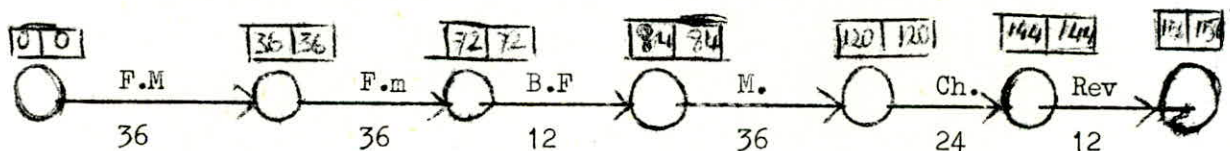
Ceci nous conduit au coût du projet le plus économique.

#### B:/ Transposition du cyclogramme en graphique réseau -

Introduction : Il est maintenant très intéressant d'élaborer le graphique réseau à partir du cyclogramme pour montrer les avantages du lotissement des travaux.

A/ Elaboration du graphique réseau à partir de l'énoncé du thème: hall industriel:

On obtient le graphique suivant:



Donc nous avons obtenu une durée d'exécution de 156 semaines qui est plus grande que celle obtenue à l'aide du cyclogramme d'organisation à qui est de 73 semaines .

Notons , par ailleurs que pour établir le cyclogramme, on a subdivisé l'ouvrage en secteur de travail, .Dons en lotissant le front total de travail en secteur; on obtient le cyclogramme. ( I ) ; dans lequel,seul la condition de synchronisation et de non chevauchement prises en compte; et par suite on transpose celui-ci en graphique réseau dans lequel on considère que les temps morts sont des contraintes.

Ainsi on obtient le graphique réseau au plus tôt de réalisation des activités on obtient une durée d'exécution de 73 semaines; Donc on gagne 83 semaines; soit 53,2 % sur la durée d'exécution. Ceci montre l'efficacité du lotissement des travaux.

B/ Elaboration du graphique réseau et du cyclogramme; en considérant le même module de temps pour tous les processus.

On établit le cyclogramme N° 2; en choisissant comme module de temps de 6 semaines pour tous les processus, sur tous les secteurs. D'après le cyclogramme on obtient une durée d'exécution de 63 semaines qui est une date déjà plus réduite que celle obtenue antérieurement; cette méthode est appelée " méthode en Bande ou à flux " .

En transposant le cyclogramme ainsi obtenu; on obtient le graphique réseau N° 2, correspondant. On constate que par cette organisation on a toutes les activités qui sont critiques, ceci rend difficile la surveillance et l'exécution de tous les processus pour le chef de chantier. D'autre part du point de vue économique; nous avons obtenu un meilleur résultat et une utilisation des moyens et des ressources beaucoup plus rationnelle que précédemment.

C/ Elaboration du graphique réseau à partir du cyclogramme qui ne tient compte que de la condition de non- chevauchement .

On obtient le cyclogramme N° 3 ; et la durée d'exécution est égale à 53 semaines.

L'inconvénient de cette méthode est que les travaux sur les secteurs ne sont pas continus, sur les 4 dernières processus.

La transposition de ce cyclogramme en graphique réseau nous donne une durée de réalisation de 57 semaines; Donc nous avons gagné du temps par rapport au cas précédent; et par suite gain sur le coût de réalisation .

- La 2e méthode consiste en la présentation du graphique à barres ou de GANTT.

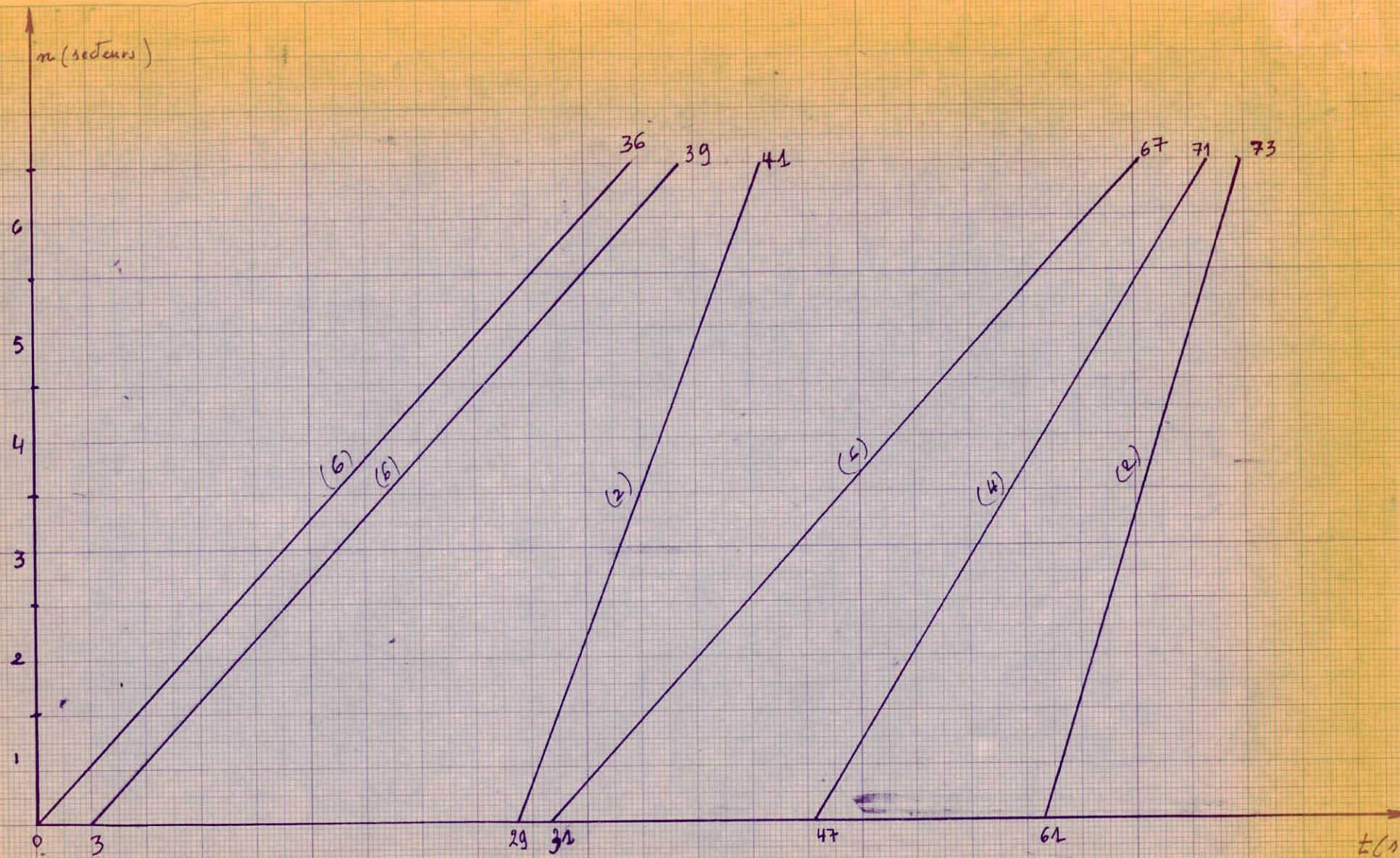
- Les activités sont représentés par des rectangles horizontaux, de longueur égale à la durée de l'activité correspondante quant à la largeur du rectangle; elle n'a aucune importance du point de vue signification, car on aurait pu faire une représentation en batonnets de longueur égale à la durée de l'activité.

- Les relations séquentielles entre les activités sont obtenues en faisant pour chaque rectangle la liste des activités immédiatement antérieures et postérieures pour chaque activité et, sont indiqués par leur symbole respectif avant et après le rectangle représentant l'activité.

Les marges totales et libres sont indiquées comme des prolongations du rectangle représentant la durée des activités. Par conséquent le rectangle marque les points suivants :



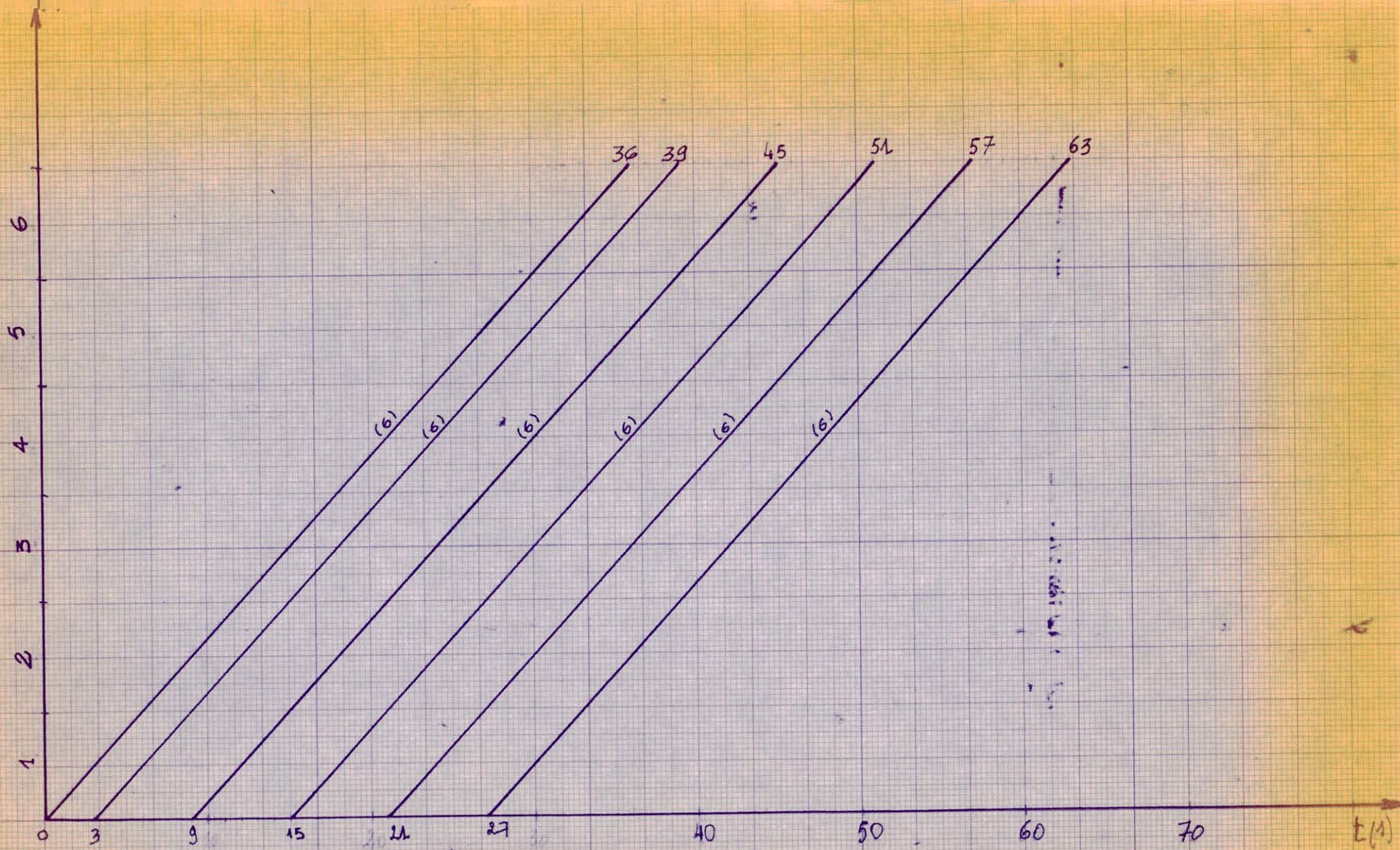
177



Cyclo gramme qui tient compte de la  
condition de synchronisation et de  
non chevauchement.



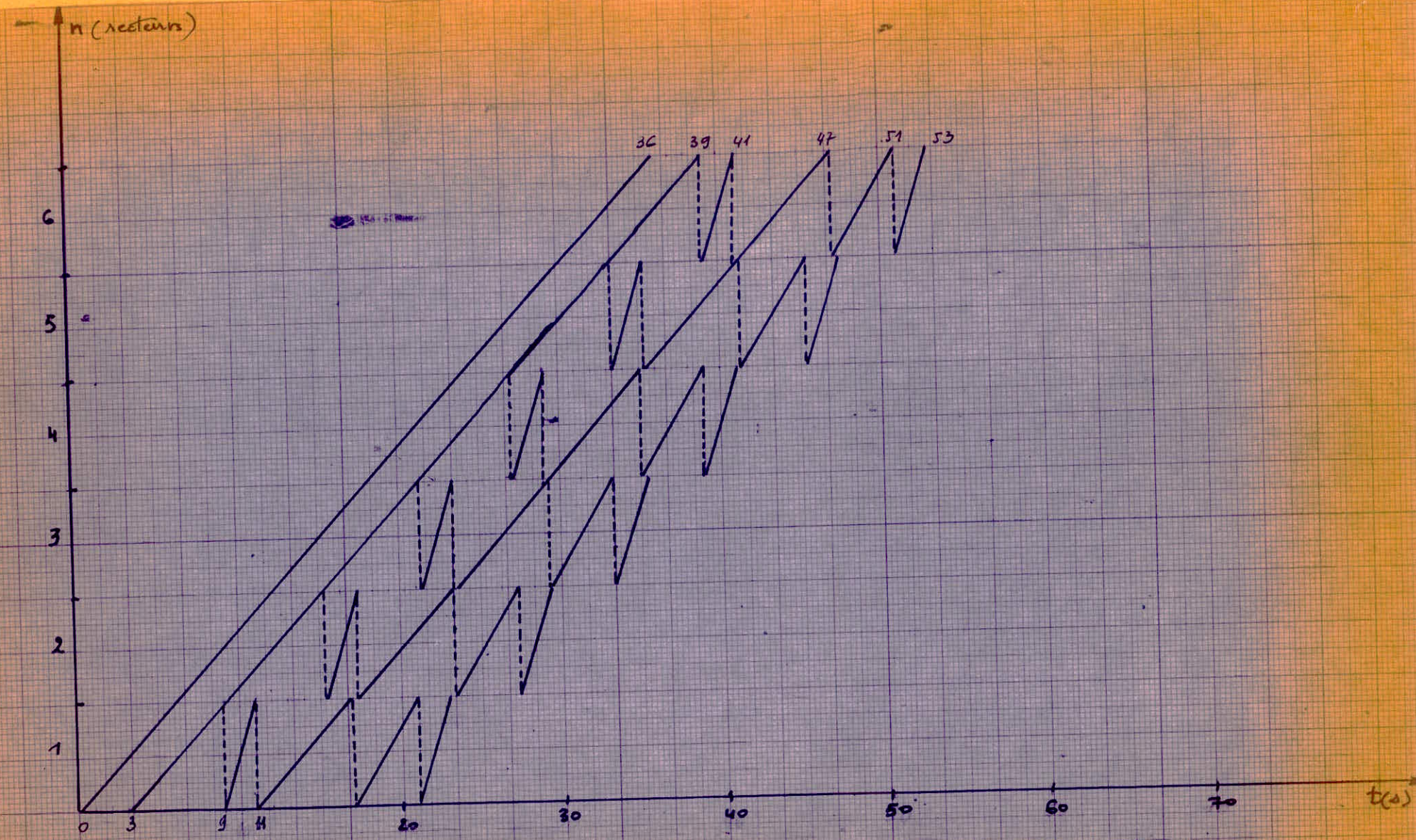
170



cyclogramme à bandes



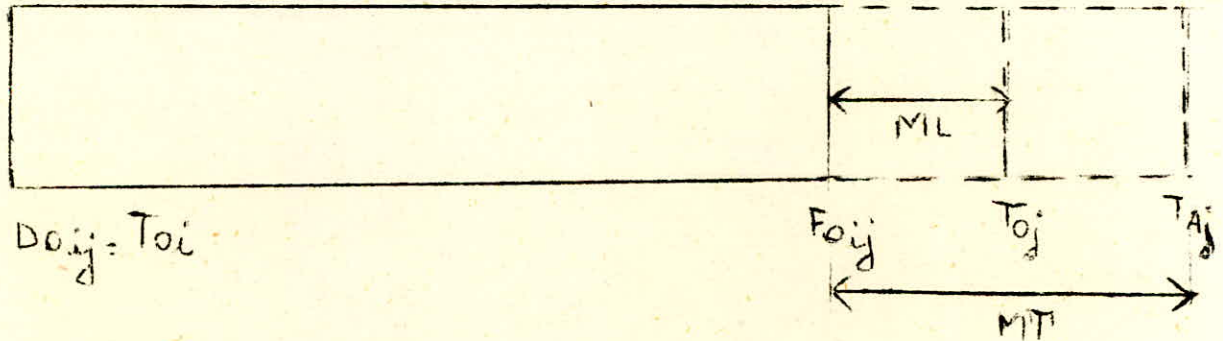
F  
183



Cyclogramme qui ne tient compte que  
de la condition de non chevauchement.



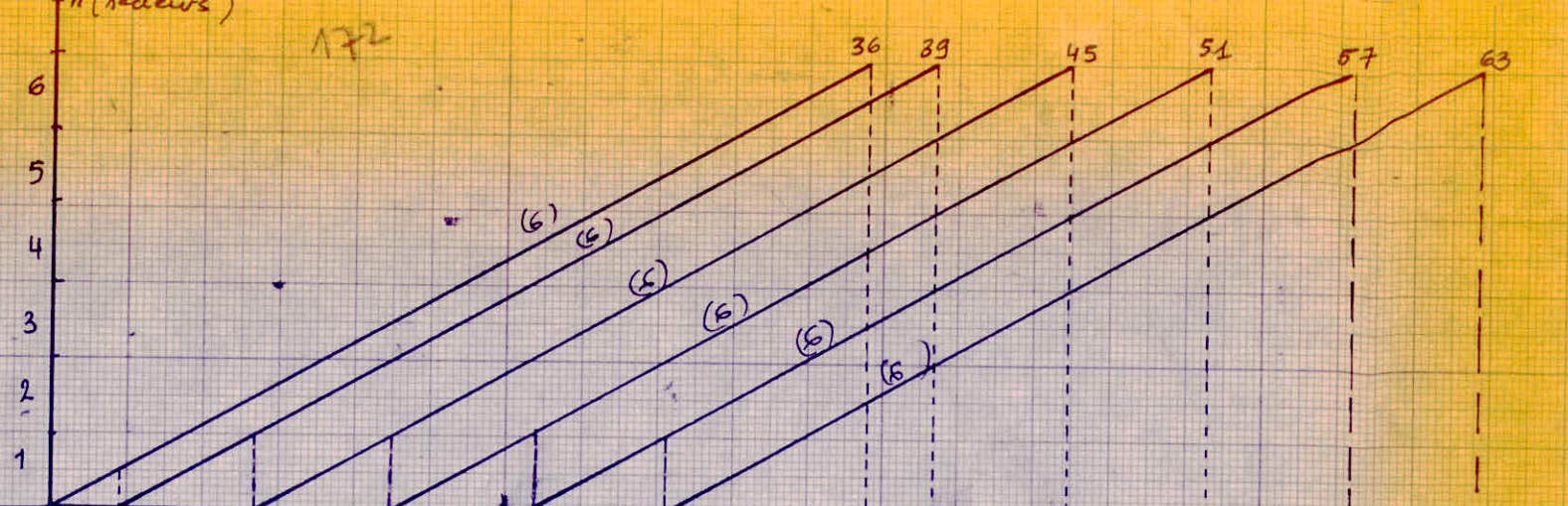
- Soit les dates de début au plus tôt des activités et les dates de fin au plus tôt et au plus tard des activités.



( Suite page suivante )



Q: quantité de travaux.  
 e: effectif en hommes.  
 M: matériel.  
 t: durée en semaines.  
 Np: Norme de Production.  
 B: bétonnière.  
 A.B: Auto basculante.  
 M.C: mini centrale à Béton.  
 D: Dumper.



N° ordre	Designation	Q	e	M	t	Np.	3	9	15	20	27	36	39	45	51	57	63
1	Fouilles Mécaniques	5760 m³	8	1 pell. sol. CAB.	6s.	20 m³/j.											
2	Fouilles Manuelles.	1140 m³	20		6s.	0,25											
3	Béton Fondat.	1000 m³	53	1 M.C. 2 grillés 3 dump.	2s.	0,25											
4	Murs en briques.	1320 m²	36	1 B. 125 l. 1 AB. 1 dump	6s.	0,5											
5	Charpente	1420 m²	33	1 grue	4s.	1 m²/3j.											
6	Revetent. sol.	1900 m²	18	1 B. sol. 1 dump	2s.												



D'autre part on indique au dessus de chaque rectangle les ressources nécessaires pour la réalisation de chaque activité.

Voir ci-joint la présentation du diagramme GANTT, aux responsables chargés de la réalisation du projet du hall industriel .

- Cette représentation a une grande importance parcequ'elle presente plusieurs avantages -

- elimination des sommets et des creux du point de vue d'une utilisation rationnelle des ressources. ( effectif, materiel, materiaux.)

- Reduction des depenses -

Les reserves de temps nous donne la possibilité de changer la simultanéité du démarrage des differents activités au alors d'augmenter la durée de certaines activités -

- d'où les depenses diminuent sans toucher à la date finale du projet

## 2°) DIAGRAMME DE RESSOURCES -

- A la lumière de ce graphique à barre, on elabore les diagrammes de ressource. ressources.

\* humaine : effectif.

\* materiaux: beton, ferme, brique .....

\* materiel : pelle, betonière, aiguille vibrante - etc .....

Si les differentes diagrammes presentent de grandes variations de sommets et de creux, alors on glisse les activités dans l'intervalle  $D_{0ij} - T_{ij}$  afin de pouvoir eliminer tous ces sommets et ces creux indesirables; de ce fait on obtient un diagramme plus stable ( c'est à dire avec une période de stabilité la plus grande possible .)

\* Pour le cas du hall industriel on a consideré que :

- pour le beton de Fondation \_\_\_\_\_ on coule une quantité  $Q = 10 \text{ m}^3/\text{h}$

- pour le beton caniveau : on coule une quantité  $Q_{\text{can.}} = 5 \text{ m}^3/\text{heure}$

- maçonnerie \_\_\_\_\_ on coule  $Q_{\text{maç.}} = 2 \text{ m}^3/\text{heure}$

- Revêtement \_\_\_\_\_ on a  $Q_{\text{rev}} = 4 \text{ m}^3/\text{heure}$

Pour eliminer le sommet marquant l'etape (8-9) ou alors A-B, qui demande une production de beton par heure, beaucoup trop forte ( $15 \text{ m}^3/\text{h.}$ ) on fait glisser l'activité BC d'une semaine ===== on obtient de ce fait un sommet plus bas, évalué à  $10 \text{ m}^3/\text{h.}$  (tracé en vert sur le graphe -)

Ce qui permet une reduction des moyens de production sans toute fois decaler la date finale de réalisation du projet -

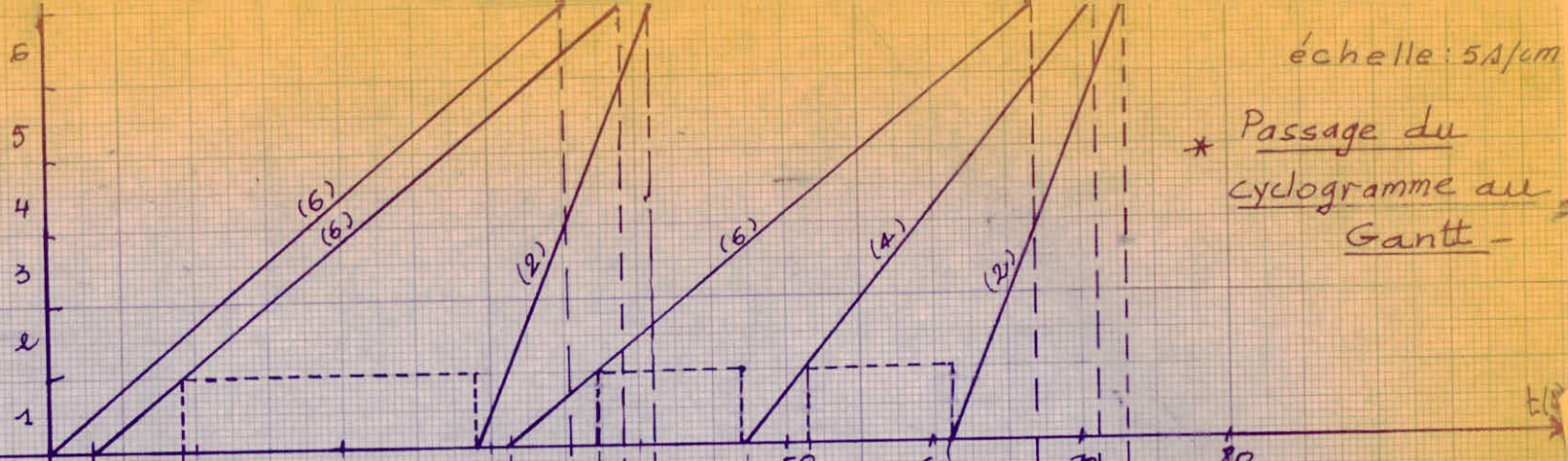
- On peut faire de même pour l'activité ; maçonnerie on la fait glisser d'une semaine pour pouvoir abaisser le sommet C-D de  $7$  à  $5 \text{ m}^3/\text{h}$  -



e: effectif en homme  
 M: matériel  
 t: durée en semaine  
 Np: Norme de production  
 B: bétonnière  
 A.B Auto-basculante  
 M.C Mini centrale à Béton  
 D: Dumper

échelle: 5A/cm

\* Passage du  
cyclogramme au  
Gantt -



N° ordre	Designation	Q	e	M	t	Np
1	Fouilles mécaniques	5760 m <sup>3</sup>	8	1 Pell 500l 6 A.B.	6Δ	20 m <sup>3</sup> /h
2	Fouilles manuelles	1440 m <sup>3</sup>	20	/	6Δ	0,25
3	Béton fondation	1000 m <sup>3</sup>	53	1 m.c. 2 quilles 3 d'ump	2Δ	0,25
4	MURS BRIQUES	4320 m <sup>2</sup>	36	1 B. 1 esl 1 A.B 1 d'ump	6Δ	0,5
5	Charpente	1920 m <sup>3</sup>	33	1 grue	4Δ	$\frac{1}{3}$ m <sup>2</sup> /h
6	Revet sol	1300 m <sup>2</sup>	18	1 B. 500l 1 d'ump	2Δ	/



Ce cas est représenté par le tracé rouge sur le \_\_\_\_\_ ce qui nous permet aussi de réduire les moyens de production d'avantage -

Observation et .

remarques sur le diagramme beton -

- L'établissement du diagramme beton nous permet de réduire l'effectif existant sur le chantier :

en effet si on considère qu'il faut 12 hommes pour le coulage d' $1 \text{ m}^3$  de beton /heure . on a  $15 \text{ m}^3/\text{heure}$  \_\_\_\_\_  $15 \times 12 = 180 \text{ hommes/heure}$

Alors que si on a  $10 \text{ m}^3/\text{heure}$  \_\_\_\_\_, on doit utiliser seulement un effectif de :

$$12 \times 10 = \underline{\underline{120 \text{ hommes/heure}}}$$

On réduit ainsi l'effectif de 60 hommes des conséquences évidentes auront lieu sur la restauration, l'hébergement et les conditions de vie de l'effectif restant ainsi que pour le coût de réalisation du projet final -

- L'établissement du diagramme beton ; permet aussi, par voie de conséquences, de réduire le matériel de construction .

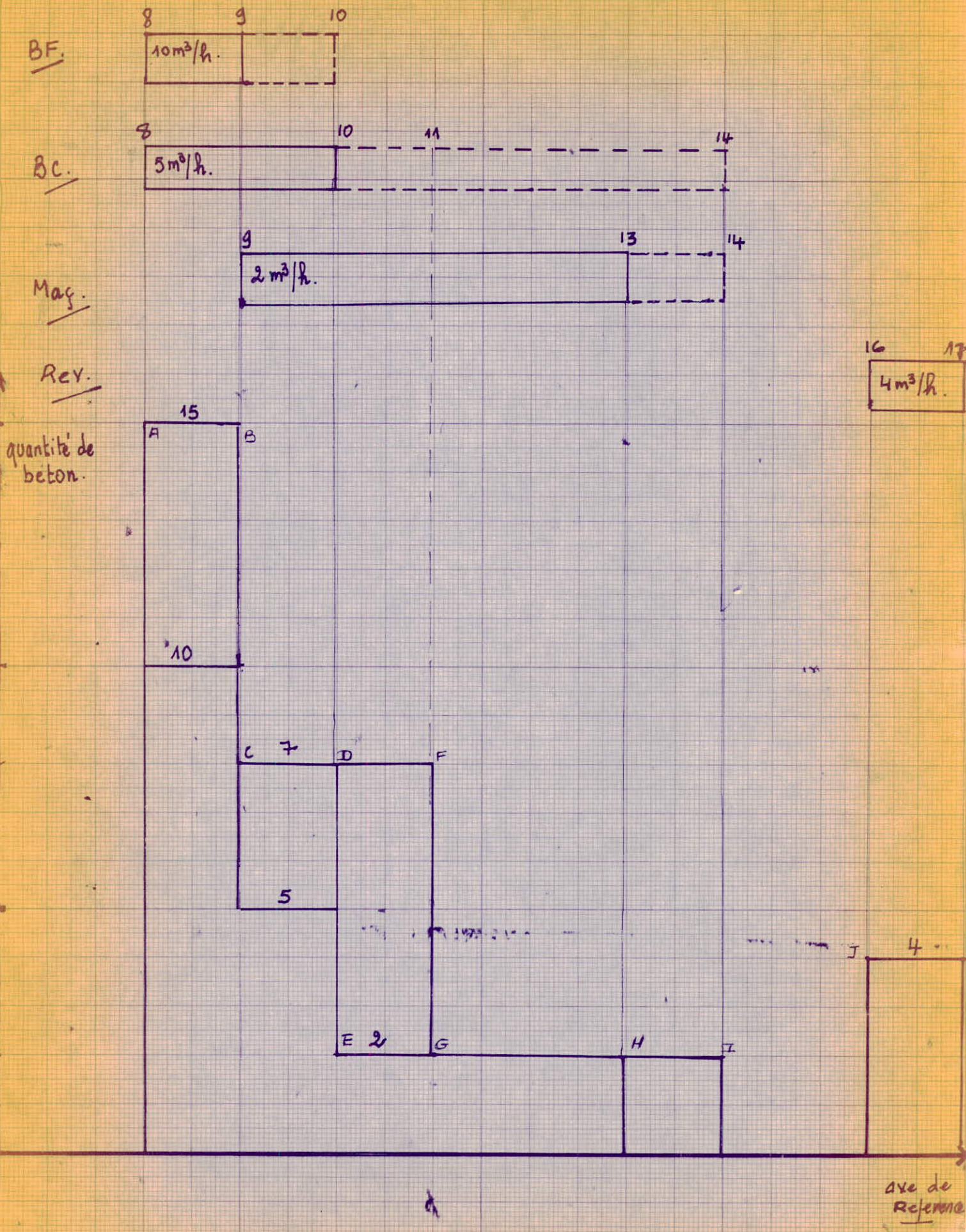
En effet si on a une grue dont la norme de production est de  $5 \text{ m}^3/\text{h}$  pour les  $15 \text{ m}^3$  de beton, il nous faudrait 3 grues; alors que pour les  $10 \text{ m}^3$  il faut seulement 2 grues ;

- De même que pour une bétonnière à 350 l de capacité :  $2,5 \text{ m}^3/\text{h}$  on doit utiliser 6 bétonnières pour satisfaire les  $15 \text{ m}^3/\text{h}$ . alors que pour les  $10 \text{ m}^3/\text{h}$  on doit seulement utiliser 4 bétonnière -

De ce fait on voit qu'on a réduit considérablement les moyens de productions sans toute fois augmenter le délai de réalisation du projet final /



DIAGRAMME DU BETON



quantité de  
beton.

axe de  
Référence



CHAPITRE VIII + =

*NO* O D A L I T E S

=====



## MODALITES D'APPLICATION D'UN PROGRAMME.

1) Communication du programme et la transposition en termes calendaires du graphique réseau.

Introduction : Une fois qu'on a établi un programme, il faut le communiquer à ceux qui participent à l'exécution et au contrôle du travail. Il y a plusieurs façons de le faire:

- La première méthode, c'est la présentation du graphique réseau, complété avec toutes les données nécessaires sur les chantiers de la manière suivante :

Le graphe donne directement et en détail tous les renseignements. Au dessus de la flèche est donnée l'appellation de l'activité, et le symbole de celle-ci; au dessous, la durée de l'activité.

Dans les cases, au dessus de la flèche indiquant l'activité, on inscrit les dates de début et de fin au plus tôt et au plus tard de chaque activité en dates calendaires.

À l'aide d'un tableau de conversion, les dates sont transformés en dates calendaires

Ces dates calendaires sont inscrites dans 1 rectangles divisé en 4 cases où sont inscrites les dates calendaires au plus tôt et au plus tard de chaque activité.

Application à notre exemple: Programme du hall Prenons le calendrier 1978, et déterminons les dates au plus tôt de début, au plus tard de début, de fin au plus tôt et de fin au plus tard de chaque activité du programme de réalisation du hall industriel .

### CALCUL DES DATES CALENDAIRES:

1°) activité A : Pour cela prenons la durée de l'activité proj.Arret.

$d_{12} = 4 \text{ semaines} = 24 \text{ jours de travail}$  ; à l'aide du tableau de reconv-  
ersion des dates on voit que l'activité P1,2 doit démarer le 2 janvier 1978, qui est la date au plus tôt de début (D012) de l'activité. Donc D012 = 2 janvier qui est aussi la date au plus tard de début de l'activité (DA12); car c'est une activité située sur le chemin critique.

Ces 2 dates D012 = DA12 = 2 janvier 1978, seront inscrites dans les 2 cases situées à gauche du rectangle se trouvant au dessous de l'activité P1,2 Voir page .... graphique à flèche.







La durée de l'activité étant de 28 jours ouvrables par conséquent, on lit dans le tableau de reconversion dates, la date de fin du plus tôt et au plus tard de l'activité P1,2 : 30 janvier 1978 qui est la date F012 = FA12 = 30 janvier. Cette date sera inscrite dans les 2 cases de droite du rectangle se trouvant au dessous de l'activité P1-2.

La date F012 et FA12 sont égales car c'est une activité critique.

2e Activité : Contrat. Approvisionnement Fermes :

la durée de l'activité P2-3 est de 10 semaines donc  $d_{2,3} = 10 \times 6 = 60$  jours ouvrables.

On lit, sur "le tableau de reconversion des dates", la date de fin du plus tôt et au plus tard de l'activité P2,3 : F023 = FA23 = Lundi 10 avril 1978 et cette date sera inscrite comme indiqué sur le diagramme; à droite dans le rectangle divisé en 4 cases. D'autre part la date de début au plus tôt et début au plus tard de l'activité P2,3 ; coïncident avec les dates de fin au plus tôt et au plus tard de l'activité critique immédiatement précédente.

3e/ Activité ; E3-9: C'est une activité fictive, elle ne consomme ni temps, ni argent; par conséquent les dates de début au plus tôt, au plus tard, et de fin au plus tôt et au plus tard de cette activité fictive coïncident car elle est située sur le chemin critique .

4e/ Activité P9,10 : Montages Fermes.

On fait la même constatation que précédemment, c'est une activité se trouvant sur le chemin critique, donc la date de début au plus tôt et de début au plus tard coïncident avec les dates de fin au plus tôt et de fin au plus tard de l'activité immédiatement précédente, située sur le chemin critique.

Donc D09-10 = DA9-10 = Lundi 10 Avril 1978;

La durée de l'activité étant de 2 semaines donc  $d_{9-10} = 6 \times 2 = 12$  jours ouvrables; et à l'aide du tableau de reconversion des dates en dates calendaires; on lit la date de fin au plus tôt et la date de fin au plus tard de l'activité F09-10 = FA9-10 = Lundi 24 Avril 1978; qui sera inscrite dans les cases de droite du rectangle; se trouvant sous la flèche indiquant l'activité.

P9-10 : Montages Fermes

5e/ Activités: P10-11: revêtement sol .

- La date de début au plus tôt et de début au plus tard de cette activité sont égales aux dates de fin au plus tôt et au plus tard de l'activité immédiatement antérieure et se trouvant sur le chemin critique . Donc F09-10 = FA9-10 = D010-11 = DA10-11 = Lundi 24 Avril 1978.

- La date de fin au plus tôt et au plus tard est égale à :
- La durée de l'activité est égale à 1 semaines donc  $d_{10-11} = 1 \times 6 = 6$  jours ouvrables.

- A l'aide du tableau de reconversion des dates en dates calendaires" on lit Mardi 2 Mai 1978 . D'où  $F_{010-10} = FA_{10} - 11 =$  Mardi 2 Mai 1978 qui est la date de fin au plus tôt et au plus tard du projet.

### CALCUL DES DATES CALENDAIRES POUR

#### Les activités non-critiques.

1°) Activité P2-4 : Contrat . Approvisionnement Brique

a) La date au plus tôt de début de l'activité P2,4 est égale à la date de fin au plus tôt de l'activité P1,2 ; qui est :  $FA_{12} = 30$  janvier 1978 =  $D_{02-4}$

b) la date de début au plus tard de l'activité P2-4 est :

- La durée de l'activité est de 4 semaines donc  $d_{2-4} = 4 \times 6 = 24$  jours OUVRABLES.

Or la date de début au plus tard d'une activité est donnée par:

$$DA_{ij} = FA_{ij} - d_{ij} = TA_j - d_{ij}$$

donc.

$$DA_{24} = FA_{24} - d_{2-4} = 10 - 4 = 6 \text{ semaines}$$

$$DA_{2-4} = 6 \text{ semaines} = 6 \times 6 = 36 \text{ jours OUVRABLES}$$

- A l'aide du tableau de reconversion des dates calendaires on lit :

Ainsi pour l'activité P2-4 on aura.

$DA_{2-4} = 13$  fevrier 1978 cette date est calculée en partant bien sûr de l'origine -

Quant au calcul de la date de fin au plus tard de l'activité P2-4 on a  $FA_{2-4} = TA_j = 10^{\text{e}}$  semaine c'est à dire, en reconvertissant en date calendaire on aura :  $FA_{2-4} = 13$  Mars 1978.

#### Activité P2-5.

La date de début au plus tôt de cette activité ( $D_{02-5}$ ) est égale à la date de fin au plus tôt de l'activité précédente P(1-2); C'est à dire -  $D_{02-5} = 30$  janvier 1978.

- La date de fin au plus tôt de cette activité ( $F_{02-5}$ ) est égale à la date de début au plus tôt de P2-5 à laquelle on ajoute la durée de l'activité.

$$F_{02-5} = D_{02-5} + d_{2-5} = 30 \text{ jours} + 2 \times 6 \text{ jours OUVRABLES}$$

$$F_{02-5} = 13 \text{ fevrier 1978.}$$

- La date de debut au plus tard de cette activité ( $DA_{2-5}$ ) est égale à :

$$DA_{2-5} = FA_{2-5} - d_{2-5} = TA_5 - d_{2-5}$$

$DA_{2-5} = 7 - 2 = 5$  semaines l'activité P2-5 sent donc debuter au plus tard 5<sup>e</sup> semaines c'est à dire en date calendaire :

$$DA_{2-5} = 5 \times 6 = 30 \text{ e jours OUVRABLES}$$

$$\underline{DA_{2-5} = 6 \text{ fevrier 1978 .}}$$



Quant au calcul de la date de fin au plus tard de l'activité P2-5 ,  
on a :  $FA2-5 = TA5 = 7$  semaines.

$$FA2-5 = 7 \times 6 = 42^{\text{e}} \text{ jour OUVRABLES.}$$

par conséquent si la date FA2-5 se situe au 42<sup>e</sup> jour ouvrable on aura la date  
calendaire correspondante:  $FA25 = 20$  février 1978.

#### Activité P5-6.

- La date de debut au plus tôt de cette activité (D05-6) est égale à la  
date de fin au plus tôt de l'activité précédente P2-5 -  
donc  $D05-6 = 13$  février 1978 .

- La date de fin au plus tôt de cette activité (F05-6) est égale à la  
date de debut au plus tôt de P5-6 à laquelle on ajoute la durée de l'activité.

$$F05-6 = D05-6 + d2-5 = 13 \text{ février } 78 + 2 \times 5 \text{ jours}$$

$$F05-6 = 13 \text{ février } + 12 \text{ jours ouvrables -}$$

$$F05-6 = 27 \text{ février date calendaires.}$$

- La date de debut au plus tard de l'activité P5-6 est donnée par la  
formule :  $D^*A.5-6 = FA5-6 - d5-6$

$$DA56 = TA6 - d5-6$$

$$DA5-6 = 9 - 2 = 7 \text{ semaines.}$$

l'activité P(5-6) peut donc debuter au plus tard au bout de la 5<sup>e</sup> semaine,  
c'est à dire en date calendaire.

$$DA5-6 = 7 \times 6 = 42 \text{ j}$$

$$\text{Par consequent } DA(5-6) = 20 \text{ février } 1977$$

- Quant au calcul de la date de fin au plus tard de l'activité A5-6.

$$FA5-6 = TA.6 = 9$$

$$FA5-6 = 9 \times 6 = 54 \text{ jours ouvrables.}$$

Par consequent si la date FA55 se situe au 42<sup>e</sup> jours ouvrables on aura l. . . t.  
la date calendaire correspondante :  $FA5-6 = 6$  mars 1978.

#### Activité P6-7.

- La date de debut au plus tôt de cette activité est égale à la date de fin  
de fin au plus tôt de l'activité précédente c'est à dire

$$P5-6 \quad \text{_____} \quad D06-7 = 27 \text{ février } 1978.$$

- La date de fin au plus tôt (F06-7) sera par consequent  $F06-7 = D06-7 +$   
 $d2-5$  .

$$F06-7 = 27 \text{ février } 1978 + - 1 \times 6$$

$$F06-7 = 27 \text{ février } + 6 \text{ jours ouvrables -}$$

$$\text{_____} \quad F06-7 = 6 \text{ mars } 1978.$$

- Quand à la date de debut au plus tard de l'activité P6-7 , on l'obtient  
l'obtient par :  $DA6-7 = TA7 - d6-7$

$$DA6-7 = 10 - 1 = 9$$

$DA6-7 = 9 \times 6 = 54$  l'activité P6-7 peut donc démarer au plus tard au bout de 54 jours ouvrables, par conséquent  $DA6-7 = 6$  mars 1978 en date calendaire-

Quant à la date de fin au plus tard de l'activité P(6-7), on a :

$$FA6-7 = TA7 = 10$$

$FA6-7 = 10 \times 6 = 60$  jours ouvrables; en reconvertissant en date calendaire on aura:

$$FA6-7 = 13 \text{ mars } 1978 -$$

Activité P6-8 :

- La date de debut au plus tôt de cette activité est égale à la date de fin au plus tôt de l'activité précédente c'est à dire :

$$D06-8 = 27 \text{ février } 1978 .$$

- La date de fin au plus tôt (F06-8) sera par conséquent donné par :

$$F06-8 = D06-8 + d6-8 .$$

$$F06-8 = 27 \text{ février } 78 + 2 \times 6$$

$$F06-8 = 27 \text{ février } 78 + 12 \text{ jours ouvrable.}$$

$$F06-8 = 13 \text{ mars } 1978 -$$

la date au plus tard de debut est donné par:

$$DA6-8 = FA-6.8 - d6-8$$

$$= TA8 - d6-8$$

$$DA68 = 14 - 2 = 12$$

d'où  $DA68 = 12 \times 6 = 72$  jours ouvrables.

c'est donc à le 72<sup>e</sup> jours ouvrables qui est la date de réalisation au plus tard de l'activité P6-8 =  $DA68 = 27$  mars 1978 -

- Quant à la date de fin au plus tard on aura:

$FA6-8 = TA8 = 14$  \_\_\_\_\_  $FA68 = 14 \times 6 = 84$  jours ouvrables en conversion calendaire on aura :

$$FA6-8 = 10 \text{ Avril } 1978 -$$

Activité P7-9 .

- La date de debut au plus tôt de l'activité P7-9 est égale à la date de fin au plus tôt de l'activité précédente P6-7 -

$$D07-9 = 6 \text{ mars } 1978 .$$

- La date de fin au plus tôt de l'activité P7-9 sera par conséquent:

$$F07-9 = D07-9 + d7-9$$

$$F07-9 = 6 \text{ mars } 78 + 4 \times 6 \text{ jours ouvrables.}$$

$$F07-9 = 6 \text{ mars } 78 + 24 \text{ jours OUVRABLES.}$$

$$F07-9 = 3 \text{ Avril } 1978 -$$

- Quant à la date de debut au plus tard on aura :



DA7-9 = TA9 - d7-9.

DA7-9 = 14 - 4 = 10 semaine.

d'où DA7-9 = 10 x 6 = 60 jour ouvrables.

qui est la date de réalisation au plus tard de l'activité P7-9 = DA(7-9) = 13 mars 1978 .

- Quant à la date de fin au plus tard de l'activité P(7-9) on a :

FA(7-9) = TA9 = 14 semaine.

FA(7-9) = 14 x 6 = 84 jours ouvrables.

En conversion calendaire on aura :

FA(7-9) = 10 Avril 1978 .

Remarque:

\* On voit très bien que les activités P7-9, P8-9 et P2-3 ont des dates de fin au plus tard toutes égales (10 Avril 1978) -

Notre projet commence donc le 2 janvier 78 et doit finir au plus tard le 2 mai 1978 -







CHAPITRE IX = /)/) I S E A J O U R

=====

F) introduction.

Pendant l'exécution des travaux, interviennent des situations qui ne correspondent plus à la programmation initiale établie à l'aide du graphique réseau, ce qui impose la mise à jour du graphique et ceci pour faire face aux nouvelles conditions -

- La mise à jour du graphique réseau; constitue l'opération de constater l'avancement des travaux à un certain moment, c'est à dire de constater les activités qui sont complètement finies, celles qui restent à exécuter; on élabore alors un nouveau graphique réseau où sera mentionner le nouveau chemin critique et la date finale de réalisation -

- On doit faire, cette actualisation, périodiquement, à des intervalles de temps régulier et ceci afin d'avoir une bonne suivie des travaux et pour pouvoir assurer le délai nécessaire et par voie de conséquence de prendre des mesures efficaces pour rattraper les retards -

- Cette actualisation du graphique réseau est faite à des périodes courtes ( 10 - 15 jours.) et ça en fonction des possibilités -

- Pour une bonne actualisation, il est nécessaire d'être en rapport direct avec les personnes qui ont la responsabilité de l'exécution des travaux

Pour le nouveau graphique réseau, le tableau de durée des activités s r. l. sera le suivant:

\* Pour les activités qui sont complètement finies, sera notée la durée zero -

\* Pour les activités qui sont en cours, seront notées les durées restantes pour l'accomplissement de ces activités -

\* Pour les activités qui n'ont pas été commencé, seront notées les durées inscrites dans le graphique réseau initial:-

En tenant compte de ces durées, et dans le cas où le graphique réseau n'a pas eu de changement structuels( ce qui est le cas général), on élabore le Pert-Temps. actualisé -

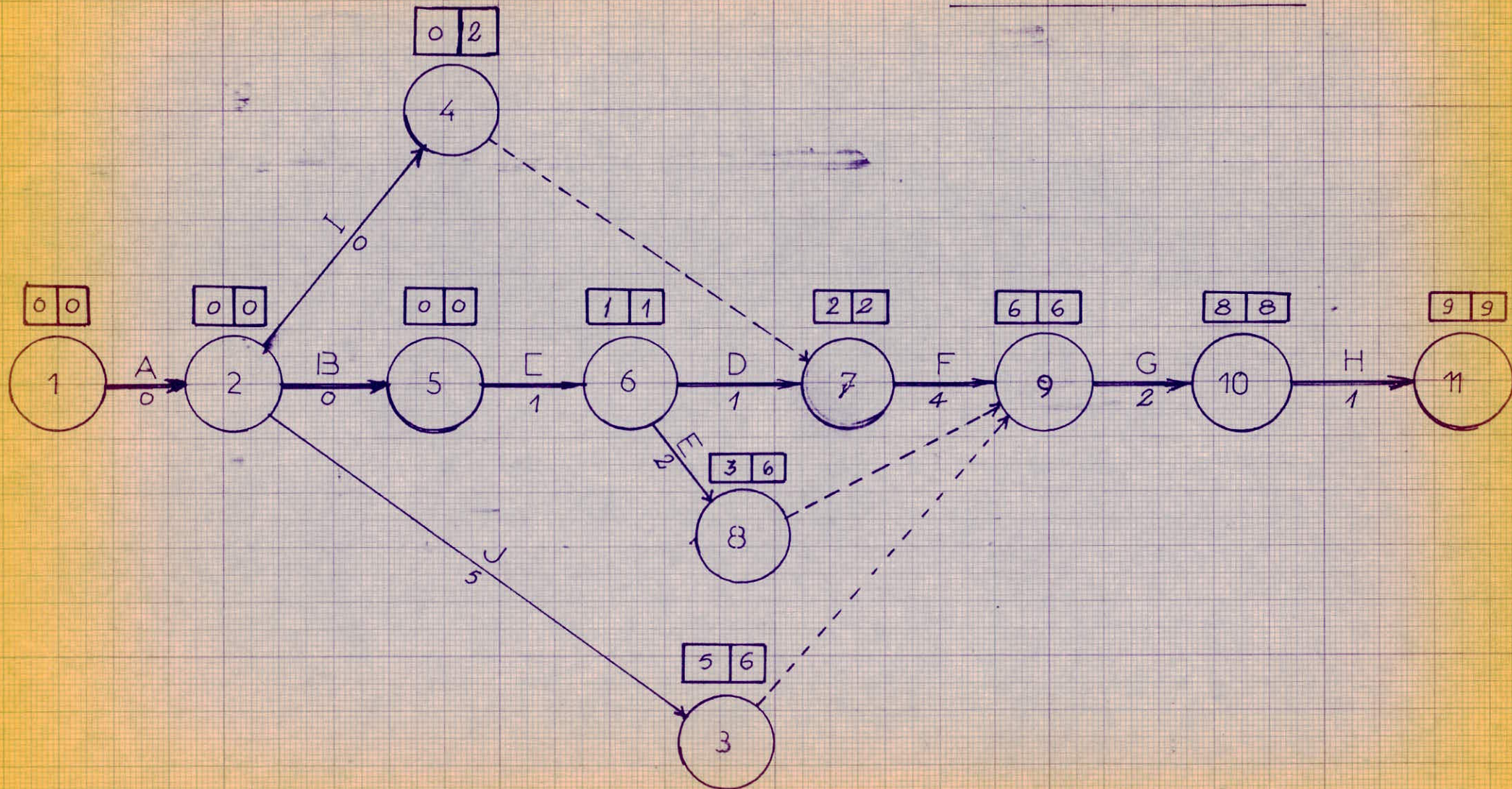
on calculera ainsi les nouvelles dates au plus tôt et au plus tard et les marges \*

Si le nouveau chemin critique conduit à une durée totale d'exécution plus grande que celle établie initialement, on fera alors une analyse pour pouvoir s'encadrer dans le délai contracté -

- La réduction de la nouvelle durée sera faite ainsi qu'on il a été dit dans le chapitre réduction des délais - par : comme 2



Representation PERT apres  
10 semaines de travail.





- Réduction des durées des activités critiques -
- Lotissement des activités critiques -

Introduction de nouvelles technologies dans la réalisation des activités critiques (ou des activités qui deviennent critiques).

## 2) Applications.

Après cette brève introduction sur le contrôle du projet et la sa mise à jour, on prendra comme exemple le cas du hall industriel =

Si on fait l'analyse de l'état des travaux après 10 semaines de travail c'est à dire après 60 jours ouvrables dont la date calendaire est le 13 mars 78 ; on obtient l'état des travaux suivant :

P (1-2) finie.	P(2-5) : finie
P(2-3) en cours .	P(5-6) : en cours de finition
P(2,4) - finie	P(6-7) reste à faire.
	P(6-8) <u>reste à faire</u>

l'analyse des durées pour activer les activités en cours donne :

- \* pour l'activité 2-3 / il reste encore 5 semaines pour achever celle-ci
- \* Pour l'activité 5-6 / reste encore une semaine pour l'achever -

On fait le graphe ainsi comme il a été dit en présentant comme suit.

- Les activités terminées par une durée nulle
- Les activités en cours les durées:
  - \* P2-3 - 5 semaines
  - \* P5-6 - 1 semaine .

on obtient le graphique suivant : - Les activités non commencées par les durées initiales -

La durée du chemin critique, le nouveau, sera de 9 semaines.

La durée totale des travaux :  $10+9 = 19$  semaines

donc les travaux marquent un retard de 2 semaines.

Quelles sont les mesures qu'on doit prendre pour s'encadrer dans le délai contractuel ?

- On doit réduire les activités situés sur le chemin critique, tracé en bleu -

- On doit aussi intervenir au niveau de l'activité P(8-9). (qui est la maçonnerie.) en réduisant le délai d'1 semaine  $1/2$  -

- Pour l'activité P(10-11) on doit la réaliser en  $1/2$  semaine au lieu d'1 semaine et ceci en changeant la technologie (utiliser une pompe à béton qui a une norme de production plus grande .)

Le nouveau graphique réseau sera par conséquent :

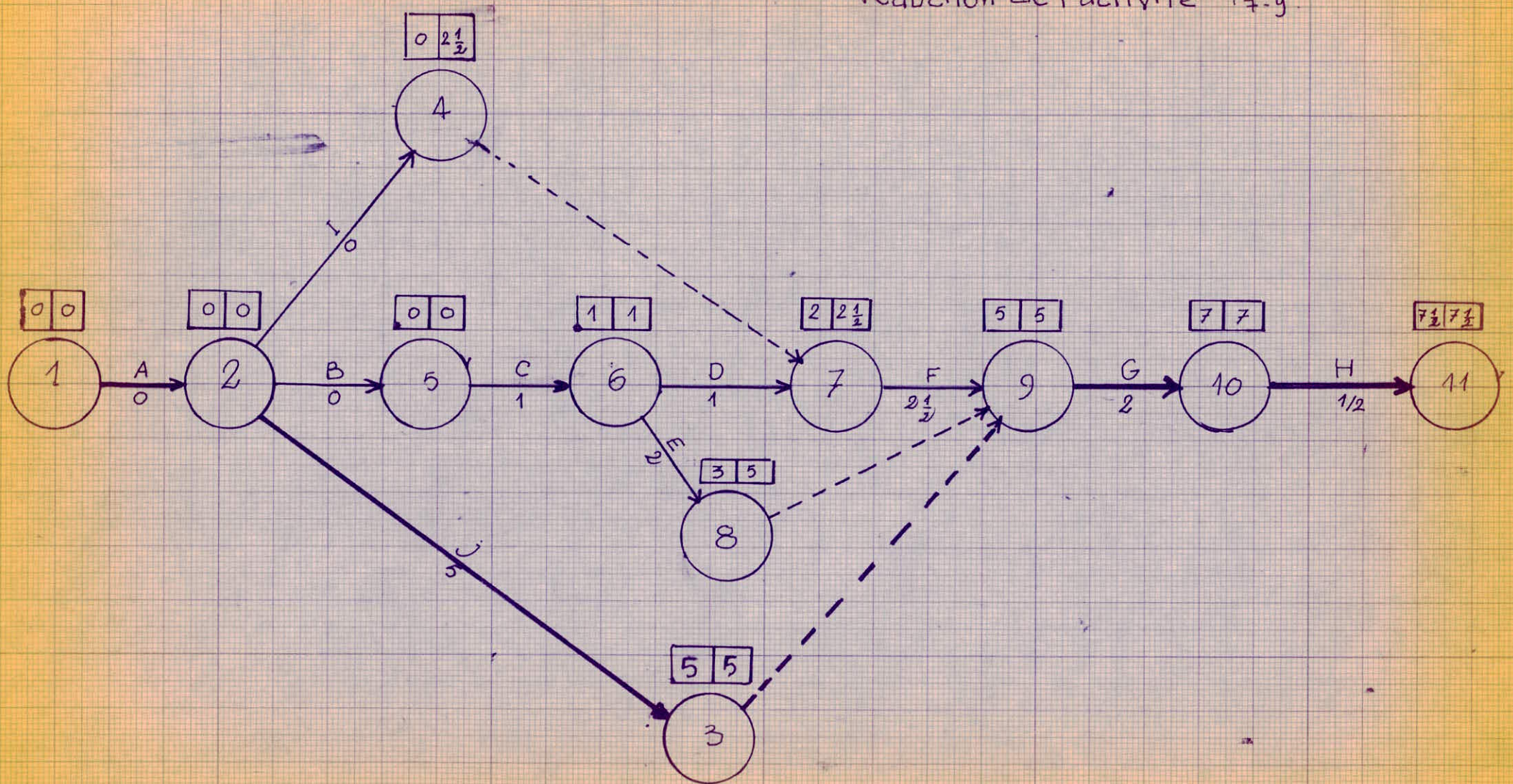
le chemin critique à changer une fois de plus la durée totale du projet et le projet retombe à :

$10 + 7 \frac{1}{2}$  s.



Reseau PERT apres  
reduction de l'activite' P<sub>7-9</sub>

190





il reste une 1/2 semaine à rattraper.

L'activité P(2-3) étant devenue activité critique, on peut réduire la durée de 5 semaines en 4 semaines 1/2 en exigeant de l'usine, d'activer la fabrication des fermes, en utilisant la nouvelle technologie sous-plasme -

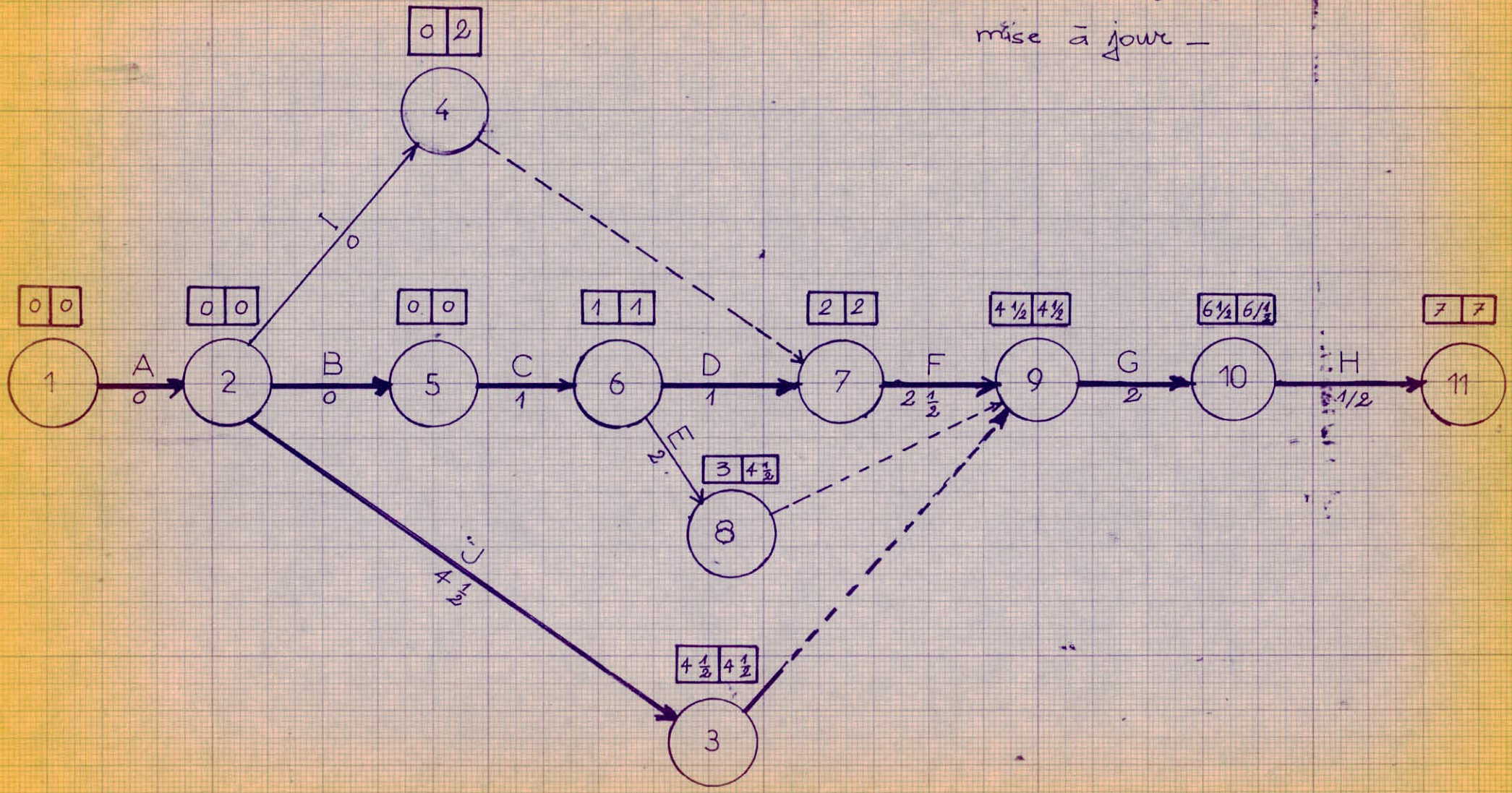
Le nouveau Graphique sera donc :

On obtiendra donc cette fois-ci 2 chemins critiques, mais la durée finale du projet est respectée :  $10 + 7 = 17$  semaines -

Cette mise à jour de l'avancement des travaux doit se faire d'une manière uniforme et régulière; c'est à dire établir un Pert-temps toutes les fins de mois pour notre projet qui dure environ 4 mois. Et ce n'est que comme ceci qu'on peut contrôler convenablement le respect des dates théoriques calculées auparavant /.



Repeau PERT apres reduction  
de l'activite' P<sub>10-11</sub> et  
mise à jour -





CHAPITRE XI = // T U D E // C O N O M I Q U E





## LE PERT/ COUT.

### 1) introduction -

Chaque tâche figurant sur le graphe a été étudiée sous deux aspects :  
- sa durée et son cout .

Afin d'étudier sur le plan économique l'indice de la réduction de la durée de chacune d'elles, il est nécessaire de connaître les augmentations de dépenses consécutives à ces réductions -

- IL est en effet possible que la réduction d'une durée s'accompagne par la mobilisation de moyens nouveaux.

Il est donc très probable que ces modifications de potentiels entraînent des augmentations de dépenses -

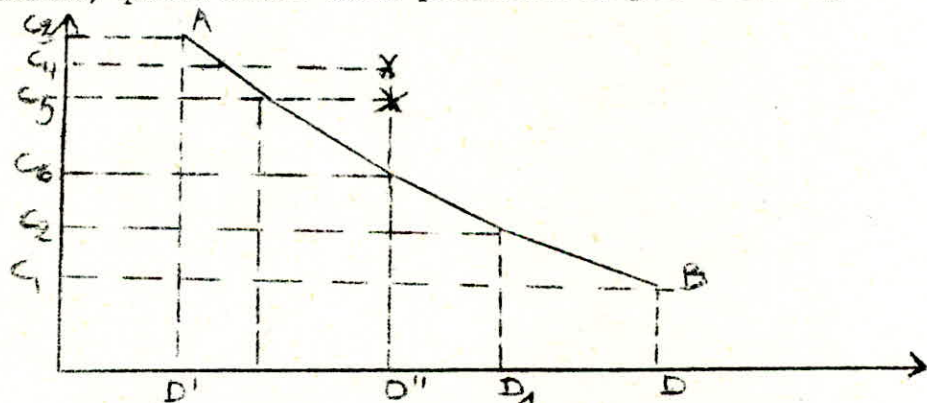
- Sur le schéma ci dessous, on constate que la courbe représentative de l'augmentation de la dépense est en fait un assemblage de plusieurs segments.

- Au point B, pour une durée normale D on obtient un cout C 1 .

- En réduisant le délai d'une unité, par exemple; on obtient une durée D 1 à laquelle correspond un cout C 2 .

A la limite de la réduction possible des délais, on obtient une durée d'exécution D' pour un cout de C 3 .

- Il serait intéressant de faire apparaître pour 1 durée d'exécution D'', quel pourrait être le cout, et parmi toute les possibilités d'atteindre ces nouveaux délais, quelle serait celle présentant le plus d'avantage.



- Sur ce graphique, 3 possibilités sont offertes pour obtenir la durée D'' pour 3 coûts différents =

C4 - C5 - C6

la dernière C6 est la plus économique -

Le raisonnement à suivre comportera les étapes suivantes .

- tracer le graphe et faire apparaître le chemin critique -

- Sélectionner une activité dont la durée peut être raccourcie et située sur le chemin critique. Parmi les activités pouvant être choisies, on retient celle dont la modification de durée entrainera la charge la plus faible.

- déterminer la durée maximale de raccourcissement sans que d'autres activités ne deviennent critiques-

- effectuer le raccourcissement total et calculer la dépense supplémentaire.

- faire apparaître le nouveau chemin critique

- recommencer les mêmes recherches jusqu'à l'obtention du délai minimum-

- Sélectionner les meilleures possibilités -

\* Le tableau ci après donne pour chaque tâche de l'exemple retenu au cours de notre étude, la durée minimale et l'augmentation du coût de chacune d'elles pour 1 réduction de délai d'1 jour.

Le Principe de méthode consiste à diminuer la durée pour les activités critiques, en commençant par les activités pour lesquelles le coût par unité de temps gagné (CUTG/j) est le plus petit.

## 2) Application

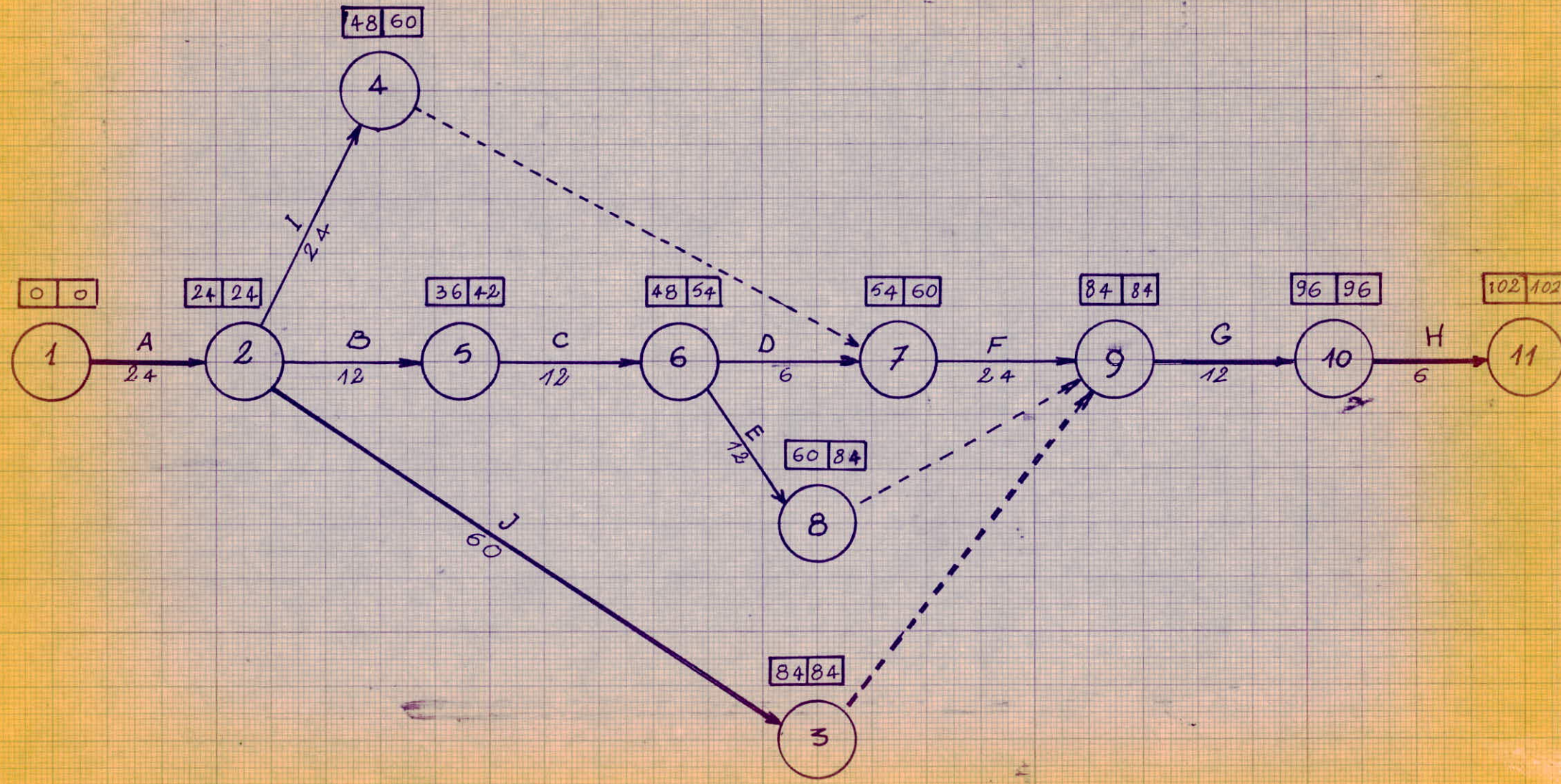
- Le tableau sera donc .

Projet	durée prévue	durée minimale	C U T G/j
étude	24	20	3000
App.Frem.	60	48	1000
APP. Briq.	24	18	500
Org. Chant.	12	9	1000
Fouilles	12	9	2000
Bet F.	6	5	15000
Bet c.	12	6	2000
Maçon.	24	18	1800
Mont. Charp.	12	12	-
Revet.	6	4	700



65/4

Reseau PERT dont les dates  
sont transformées en jours.





Après avoir établie ce tableau, ds lequel on reserve la colonne N° 2 pour les durées d'exécution, prévue par le contrat et dans la colonne N° 3 les durées d'exécution obtenue, après avoir réduit au maximum chaque activité- quant à la colonne N°4, on portera le CUTG/j de chaque activité( cout par unité de temps gagné: c'est a dire 1 j )

On soulignera les activités dites critiques, et apres avoir transformé les durées en jours, on établira le chemin critique sur le graphique reseau, il est 1 - 3 - 9 - 10 - 11 -

On commence les operations par les activités critiques dont le CUTG/j est le minimum; c'est à dire l'activité revêtement : CUTG/j = 700DA.

Sa reduction est de 2jours -

On avait trouver auparavant, avant toute reduction, que le delai final de realisation etait de 102 jours, par consequent la durée de l'ouvrage devient maintenant égale à 100 jours.

Quant l'accroissement du point devue coût il sera de :  $2 \times 700 = 1400DA$  -

Si on veut diminuer encore la durée globale d'exécution, il faudrait maintenant intervenir au niveau de l'activité J . (appriv.en ferme.)

les données sont les suivantes :

- la reduction est de 12 jours.

- donc le coût sera augmenter de :

$12 \times 1000 = 12.000 DA$  .

et le coût final, il sera de :

$1400 + 12.000 = 13\ 500 DA$  -

L'établissement du nouveau chemin critique donnera , la durée final d'exécution de 94 jours, ce chemin critique est : 1-2-5-6-7-9-10-11 .

- Sur ce chemin critique nouveau, on recherche l'activité dont le CUTG/j est le minimum, c'est à dire l'activité Organisation du chantier .

- Son CUTG/j = 1000 DA

- sa reduction = 3 j

le cout sera donc :

$1000 \times 3 = 3000 DA$  -

et le cout globale de :  $13600 + 3000 = 16600 DA$  ;

L'établissement du nouveau chemin critique donnera le delai final de realisation c'est à dire de 91 j .

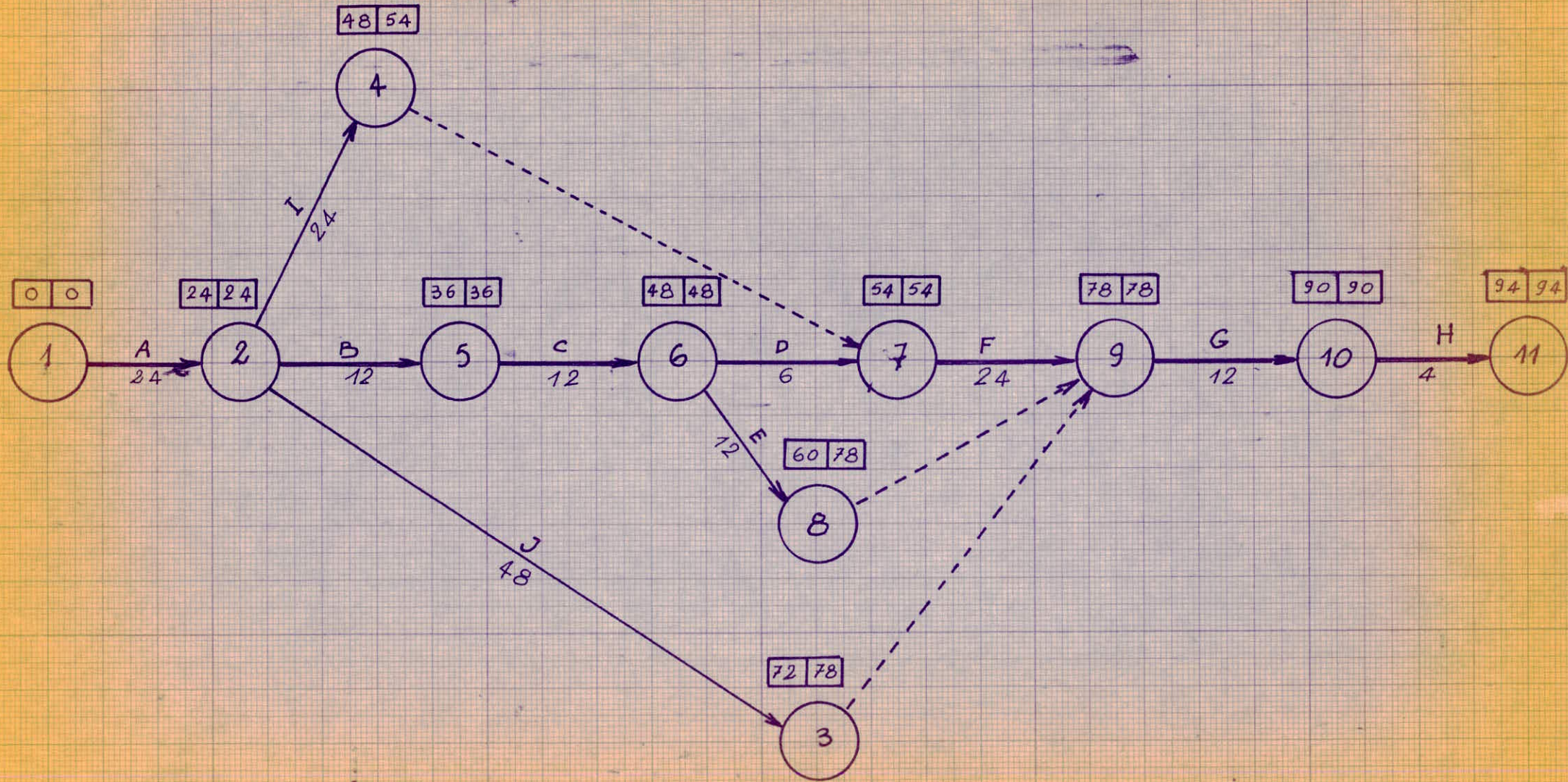
et ce chelin est le :

- 1-2-5-6-7-9-10-11-

On appliquera le même principe; en effet sur ce nouveau chemin critique, on recherche l'activité dont le CUTG/j est minimum : c'est à dire l'activité Beton fond.



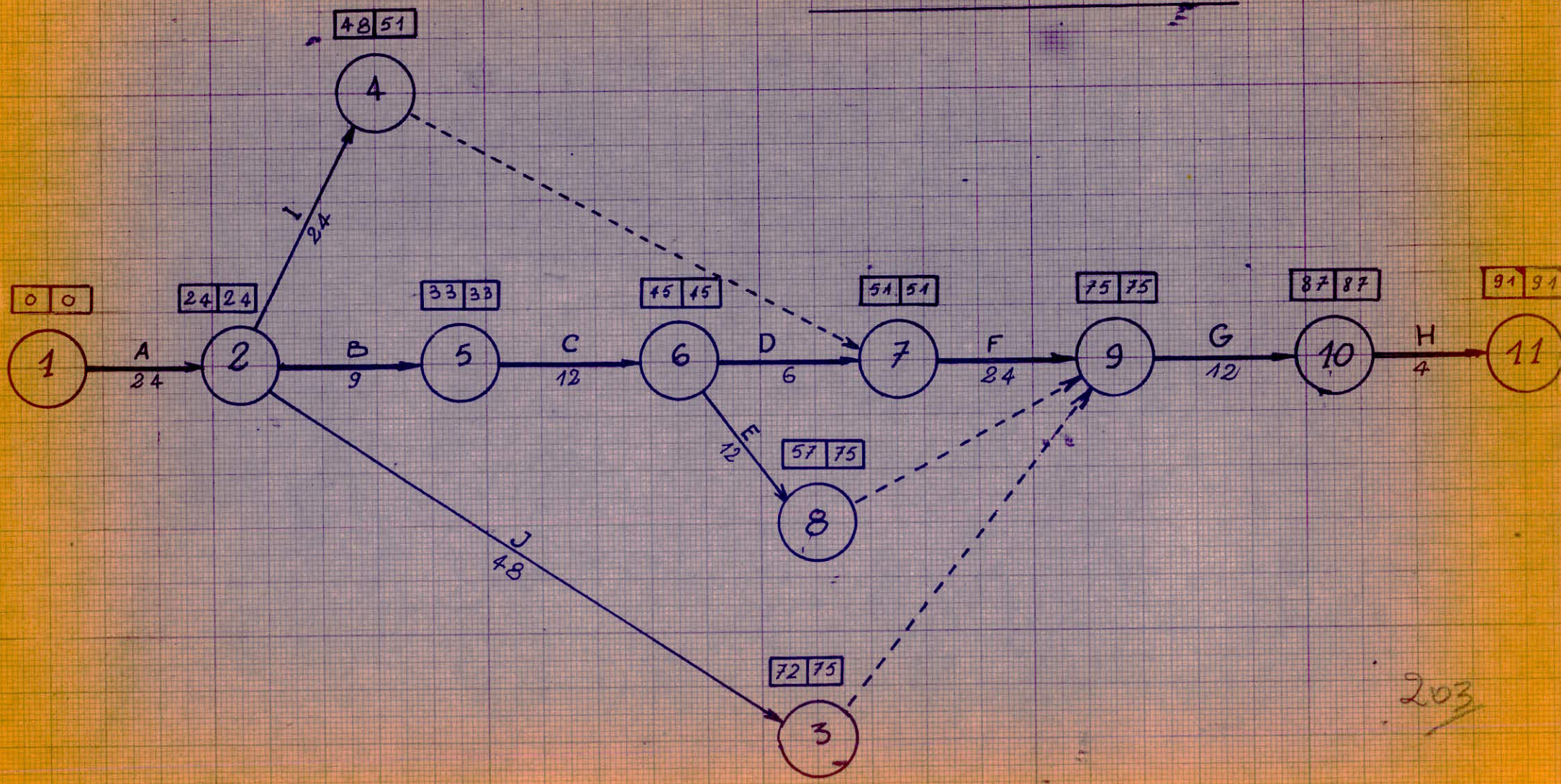
Graphique Réseau apres Reduction  
de l'activite' P2-g



2011



Graphique Réseau apres une autre reduction : activité P<sub>2-5</sub>



203



- son CUTG/j = 1500 DA .
- sa durée de réduction : 1 jours -

le cout sera donc :

$$1 \times 1500 = 1500 \text{ DA -}$$

le cout global :

$$16600 + 1500 = 18100 \text{ DA .}$$

Quant à la durée finale de l'ouvrage, elle sera donnée par l'établissement du nouveau chemin critique ( qui d'ailleurs n'a pas changé )

on trouve : 90 j

C'est maintenant l'activité "maçonnerie" qui nous interesse :

Son CUTG/j est de 1800 DA .

Sa réduction est de 6 j .

$$\text{donc : } 1800 \times 6 = 10800 \text{ DA -}$$

Le cout total :

$$18100 + 10.800 = 28\ 900 \text{ DA .}$$

On recherche le chemin critique, pour trouver le delai de realisation final de l'ouvrage -

On constate que la réduction de 6 jours de l'activité "maçonnerie" nous conduit à une date de realisation finale de 88 jours. Alors que cette date là, peut être obtenue avec une réduction de seulement de 2 jours ( ceci à cause du fait que le chemin critique change. )

- Donc si on réduit l'activité "maçonnerie" de 2 jours seulement on aura : - le CUTG/j = 1800 DA

$$\text{le cout partiel : } 2 \times 1800 = 3600 \text{ DA -}$$

$$\text{le cout global : } 18100 + 3600 = 21700 \text{ DA -}$$

alors que ce cout global etait de 28900 DA -

L'economie sera par consequent de :

$$28900 - 21700 = 7200 \text{ DA -}$$

Après avoir adopté donc, la nouvelle situation on recherche le chemin critique : noté : 1-3-9-10-11 /

C'est finalement, au tour de l'activité Projet et étude que se fera la réduction :

- Son CUTG/j = 3000 DA .

- Sa réduction de 4 jours.

$$\text{- Le cout partiel sera : } 4 \times 3000 = 12000 \text{ DA .}$$

- LE cout total de :

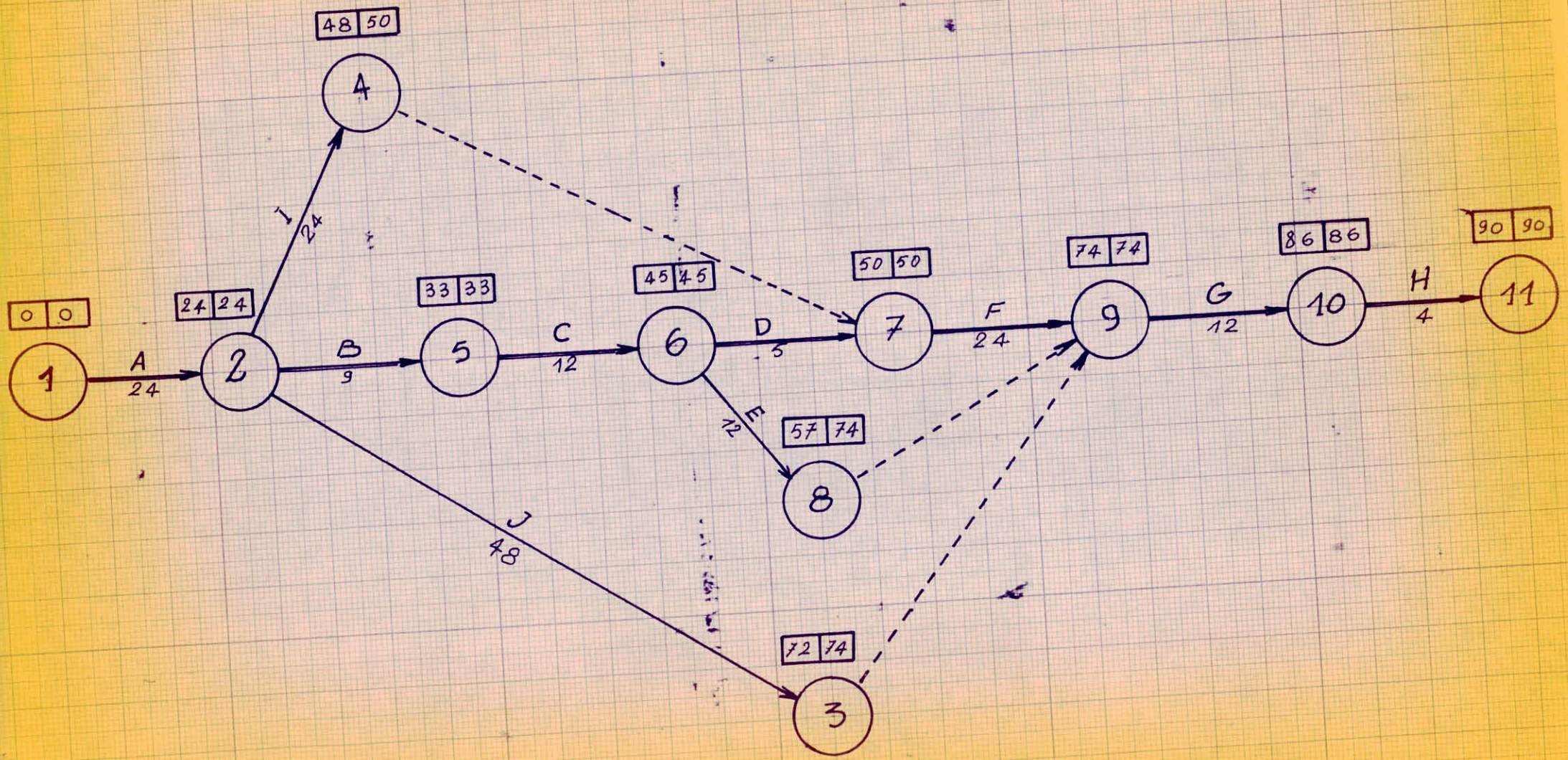
$$21700 + 12000 = 33700 \text{ DA .}$$

Quant au delai final, il sera donné par l'établissement du chemin critique . cette date de realisation est de 84 jours .



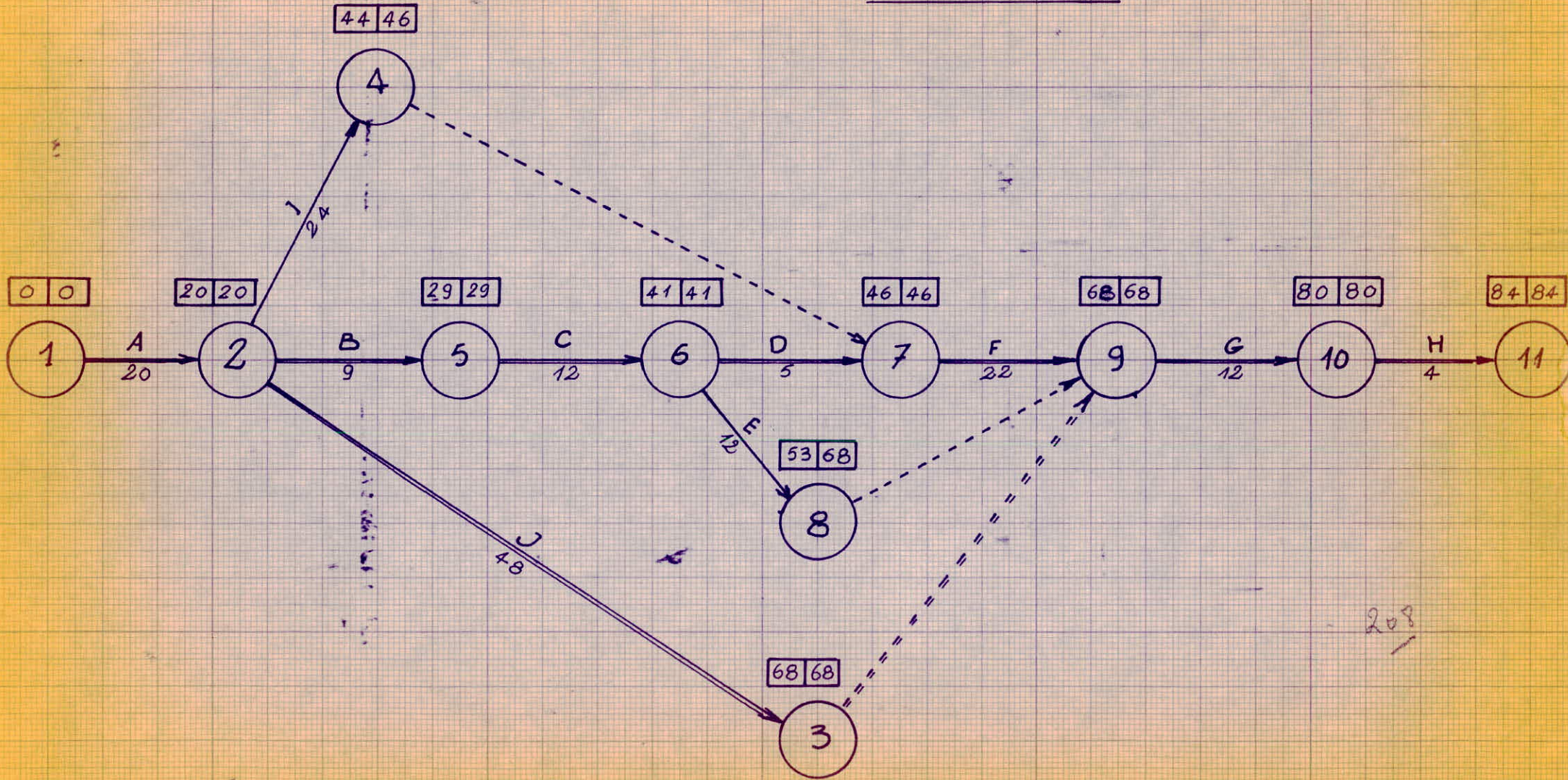
204

Graphique Réseau apres une nouvelle reduction : activite: P67.





Graphique Réseau final après réduction.  
de l'activité P<sub>1-2</sub>.





- On elabore le tableau final, on y incorporant une nouvelle colonne dite de resultat, et une autre, reservee à l'observation -

1	2	3	4	5	6
	durée Prevue	durée minimale	Resultat	CUTG/j	obs.
Projet etude	24	20	20	3000	/
AppV. Ferme	60	48	48	1800	/
AppV. Brique	24	18	24	500	pos.
Org. Chant.	12	9	9	1000	/
Fouille	12	9	12	2000	pos.
Bet. Fond.	6	5	5	1500	/
Bet. Caniv.	12	6	12	2000	pos.
Maçon.	24	18	22	1800	pos.
Mont. Charp.	12	12	12	/	/
Revet. Sol	6	4	4	700	/

### 3) Conclusion:

Pour les 4 possibilités qui restent, les reductions de delais, n'enjenge rien sur le delai de realisation final de l'ouvrage (car on est conditionner par le chemin critique,)

Par consequent, si on essaie de reduire Cette 4 activités, restantes, on peut dire que ce sera de l'argent perdu pour le budget global - en fin de compte on doit investir une somme de 33700 DA pour avoir une reduction du delai final de 18 jours -



CONCLUSION GENERALE

=====

## CONCLUSION GENERALE .

On sait que dans une réalisation, c'est au terme ou à l'approche du terme d'une opération, que les retards et les dépassements de coût deviennent flagrants. L'analyse très poussée et aisément exploitable des graphiques réseaux permet de suivre chacune de ces déviations dès qu'elle apparaît, c'est à dire bien longtemps avant l'achèvement de l'ouvrage, c'est à dire au moment où il est encore temps d'agir ou de réagir -

- Les graphiques réseaux sont donc un outil de direction. Il doivent d'abord informer rapidement les échelons responsables, et les plus élevés, des résultats acquis et de la tendance générale, et cela avec précision, sans les imprécisions habituelles des approches grossières ou manuelles -

Ils sont un outil prévisionnel et permettent à tout moment de simuler, donc de prévoir les conséquences réelles des décisions possibles, et cela sur les plans délais, coût, humain -

- et investissement .....

/ Ces deux aspects, délais et coût, sont accessibles avec autant de finesse et de précision qu'il est souhaitable et cela sans entraîner de difficulté de synthèse.

Ces deux aspects constituent des avantages considérables, mais il faut aussi compter à l'actif de cette méthode, l'entraînement progressif de tous les membres coopérant à une opération, vers une optique commune, un travail en équipe, vers une plus grande et commune efficacité -

- On ne doit pas se laisser dérouter par les obstacles rencontrés. La méthode est élémentaire dans ses applications les plus simples. Elle exige cependant beaucoup de rigueur, d'attention, de discipline, et parfois d'autorité - elle doit aboutir à partir d'un responsable de niveau élevé, interne ou externe à la distribution de documents simples directement utilisables par les responsables de la réalisation -

Après une phase d'élaboration bien menée, un plan correctement établi il est extrêmement important que les engagements de délais et de coûts soient respectés à l'intérieur d'une limite raisonnable.

Ces méthodes mettent en valeur, clairement, les points de déviations et leurs conséquences. Elles appellent donc la mise en place de procédures de pénalités à imposer pour le non respect des engagements, librement discutés dans la phase d'analyse.

Il y a donc, dans l'exploitation de ces résultats une méthode rationnelle d'établir des pénalités et éventuellement des primes pour le bon.



ou le non respect des marges autorisés par le programme.

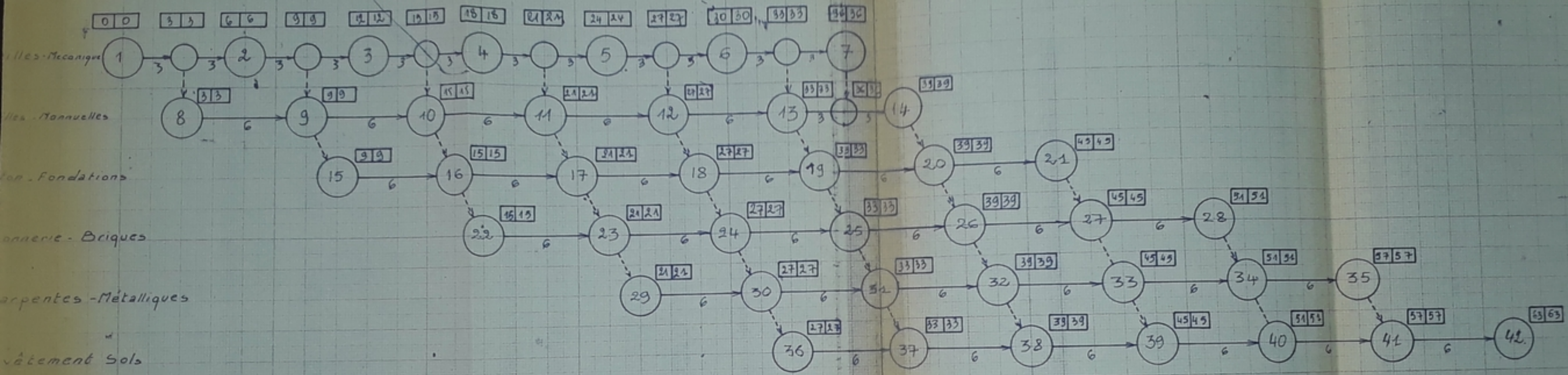
A travers ces différents aspects de problèmes concrets posés par la pratique de ces méthodes, exposées dans ce présent projet, nous pensons que l'utilisation de cet outil correspondent **parfaitement** aux fonctions principales de la Direction à n'importe quel niveau soit-il \*

En définitive, ces méthodes apportent une aide efficace, dans les domaines :

- de la rapidité d'exécution.
- de l'économie.
- de la coordination.
- du contrôle.

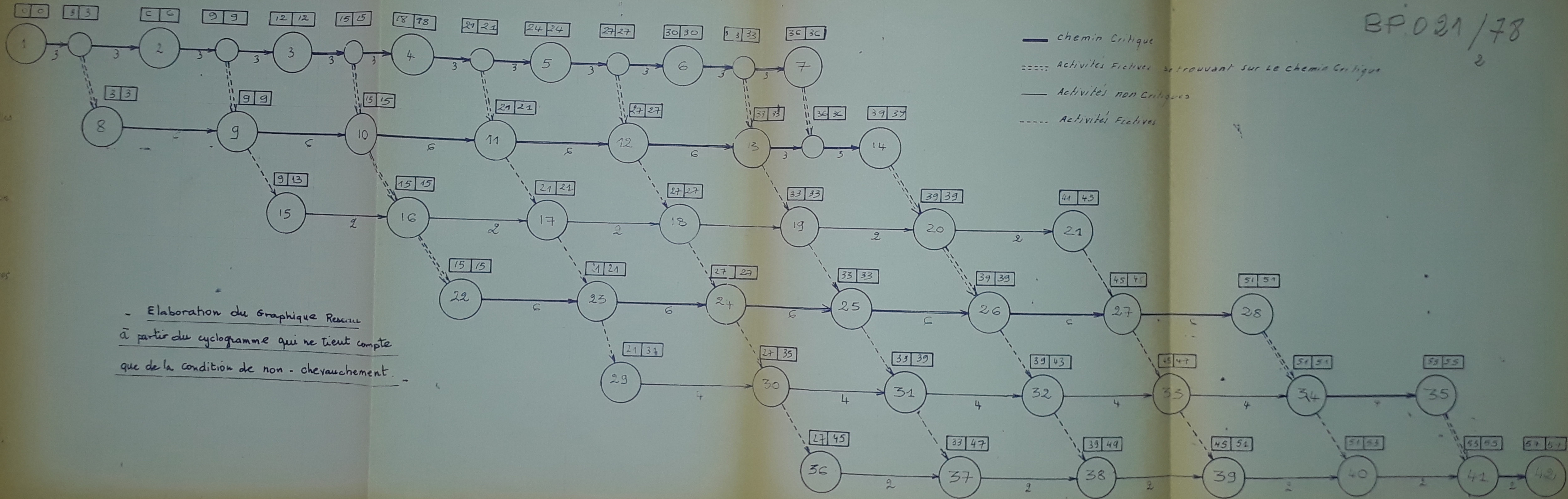
— / / / / / / / / / / .





transposition du cyclogramme en bande parfaite  
en graphique réseau

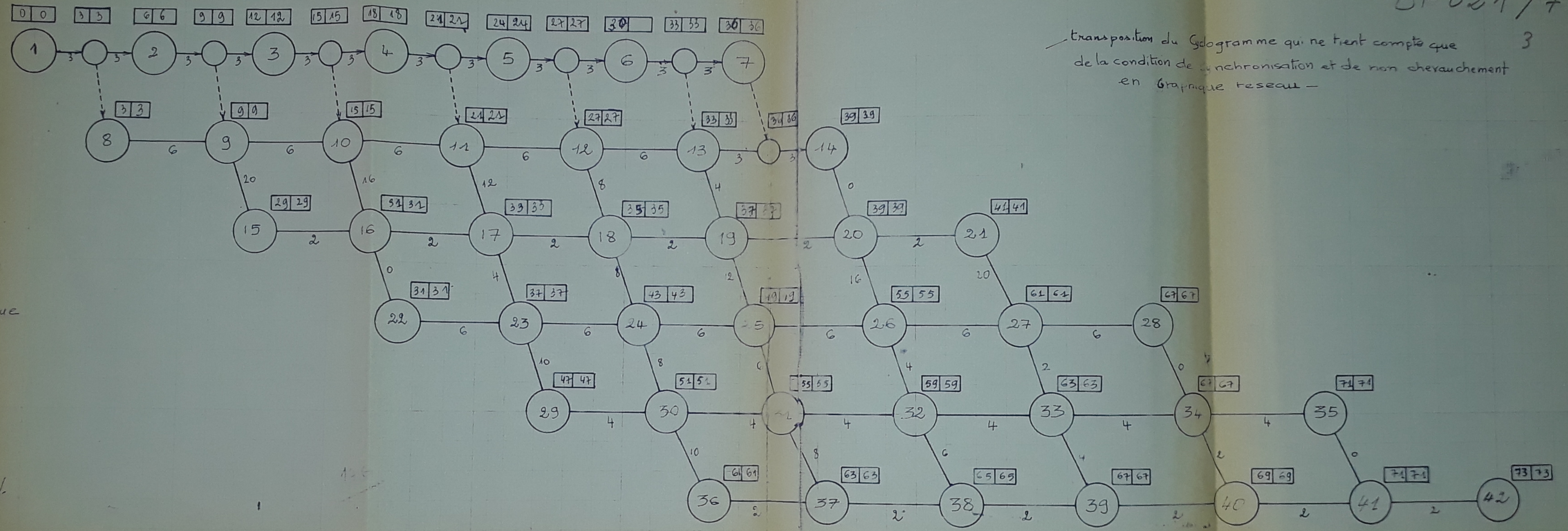




- Elaboration du Graphique Réseau  
à partir du cyclogramme qui ne tient compte  
que de la condition de non-chevauchement.



Transposition du Cyclogramme qui ne tient compte que de la condition de synchronisation et de non chevauchement en Graphique Réseau -



Les Menuiseries

Les Menuelles

Belon fondations

Mur en brique

Charpente

Remplacement Sol.

125



