

UNIVERSITE D'ALGER

16/78

1ea  
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D'ALGER

المدرسة لوطنية للعلوم الهندسية

— المكتبة —

THÈSE DE FIN D'ETUDES

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

BIBLIOTHÈQUE

Genie Civil

**ETUDE TECHNICO-ECONOMIQUE DES  
METHODES D'ORGANISATION DES  
CHANTIERS DE CONSTRUCTIONS**

PROMOTION 1972 - 1977

JANVIER 1978

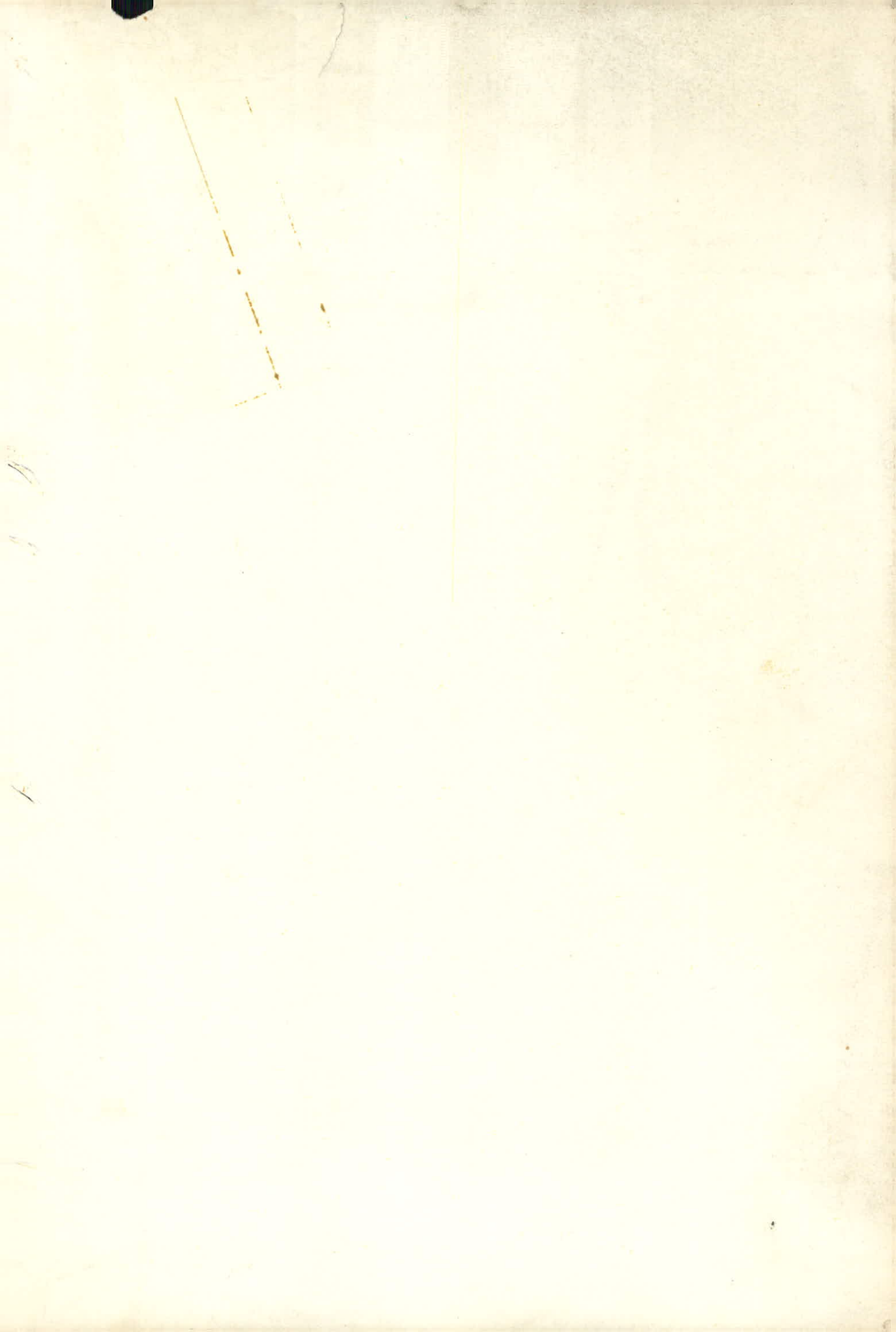
Proposé et suivi par :

Pr. Ing. CIOROIU RADUCAN.

Etudie par :

S. LOUNIS

A. MENAD



UNIVERSITE D'ALGER

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D'ALGER



**ETUDE TECHNICO-ECONOMIQUE DES  
METHODES D'ORGANISATION DES  
CHANTIERS DE CONSTRUCTIONS**

PROMOTION 1972 - 1977

JANVIER 1978

Proposé et suivi par :  
Pr. Ing. CIOROIU RADUCAN.

Etudie par :  
S. LOUNIS  
A. MENAD

Je dedie ce modeste travail à mes parents, à mes frères et à mes sœurs qui ont accepté bien des sacrifices pour me permettre de poursuivre mes études.

Je n'oublierai pas tous mes amis qui ont partagé mes meilleurs et mes pires moments.

A tous mes camarades.

A. Menad

Je dedie ce modeste travail à mes parents et tous mes amis.

Lounis . S

A La veille de quitter l'Ecole Nationale Polytechnique, il nous est agreable d'exprimer ici nos plus sincères remerciements à tous les professeurs et assistants qui ont contribué, chacun en ce qui le concerne à notre formation d'ingenieur.

Une reconnaissance toute particulière est destinée au Professeur Ingénieur CIOROIU Raducan, qui nous a confié le fruit de son indeniable experience, de 40 années de carrière dans l'activité des constructions.

Que le service programmation de l'OMRC de Oued Smar trouve ici, l'expression de nos remerciements pour les services qu'ils ont bien voulu nous rendre.

MENAD Ahmed

Lounis slimane

Etude Technico-economique des Méthodes d'Organisation  
des Chantiers de Constructions.

SOMMAIRE

Introduction .

Première partie

I - ACTIVITES DES CONSTRUCTIONS .

A - Considerations generales .....	1
1 - Specificités de la production des constructions .....	3
2 - Structures de la prod. des constructions . Processus de Cons. ....	8
B - Principes generaux et paramètres employés dans l'orga- -nisation de la réalisation des processus de constructions .....	19
C - Principes fondamentaux de l'activité des constructions	
C1 : Principes fondamentaux .....	36
C2 : Relations entre le coût et la durée de réalisation d'une construction .....	39

Deuxieme partie

II . Methodes d'organisation des processus de constructions .

A - Methodes d'organisation des processus simples .....	53
1 - Methode successive .....	55
2 - Methode en parallele .....	62
3 - Methodes successive superposée .....	65

## B\_ Methodes d'organisation des processus complexes :

1_ Rappels et definitions .....	69
2_ Methode successive .....	73
3_ Methode en parallele .....	76
4_ Methode à la chaine	
4-1: Principe de la methode .....	79
4-2: Etude du phenomène de Synchronisation .....	82
4-3. Methode en "convoyeur" ou en "bandes" .....	88
4.4 . Methode avec des chaines partielles rythmiques .....	94
4-5. Methode à la chaine successive superposée .....	97
4-6. Methode à la chaine "rapide" ou "modulée" .....	103
4-7. Efficacité de la methode à la chaine .....	108
4-8 . Analyse des principes de la methode à la chaine .....	111
4-9 . Etude du phenomène de repetitions .....	113
4-10. Parametres de qualité d'une chaine .....	119
4-11. Graphique de representation. Planning des travaux .....	126

## Troisième partie

### III Application à l'organisation de l'exécution d'une usine industrielle .

1_ calcul des differents paramètres .....	136
2_ Etablissement des plannings .....	140
3_ Diagrammes de consommations, stock et integral .....	143
4_ Calcul du necessaire d'outillage .....	161

## Introduction .

L'ALGERIE , pays en pleine phase de développement à des rythmes rarement atteint à travers le monde , a lancé pour cette année ( 1977 ) un plan d'investissement en valeur de 37.000.000.000 DA , ce qui représente un accroissement de 42% par rapport à 1976 , et de 300% par rapport à 1974 qui est la première année du second plan quadriennal (1974-1977).

Le taux de constructions dans ce grand volume d'investissement est d'environ de 30 à 40% ce qui représente en valeur 11 à 12 milliards de Dinars Algeriens .

Le document présenté par le ministre des finances au début de cette année , et plus récemment les orientations présidentielles , insistent beaucoup sur l'accroissement de la productivité du travail , de l'efficacité économique , et sur la diminution des durées de réalisations des Objectifs.

Pour les constructeurs algériens (quelques centaines de milles environ) qui manipulent tant de milliards , revient l'immense , dure et belle responsabilité d'une bonne organisation des études des projets , et surtout de l'exécution des constructions respectives :

- dans un bref délai .
- de haute qualité
- à un coût minimum (de bon marché)
- Sans accidents humains .



- de grande durabilité .

Pour ce volume de 11 à 12 milliards de D.A., l'achèvement en avance d'un mois, accompagnée d'une diminution des consommations de ressources de 1%, conduisent aux grandes économies, d'environ 5 à 600 millions de D.A.

Mais les possibilités sont encore plus grande, bien entendu, avec des efforts soutenus.

Pour atteindre ces objectifs, l'activité de constructions doit être scientifiquement organisée, surtout, parce qu'elle a des particularités et des spécificités par rapport à d'autres branches de l'économie nationale.

Et à cette grande et lourde tâche, mais tâche d'honneur, tous les algériens sont appelés à contribuer.

En ce sens, nous espérons que par ce projet de fin d'études nous apporterons une modeste contribution à UNE MEILLEURE ORGANISATION DE L'ACTIVITE DES CONSTRUCTIONS EN ALGERIE.

CIOROIU

LOUNIS

MENAD

RADUCAN

SLIMANE

AHMED

## Première Partie

- Considérations Générales

- Relations «coût - durée»

## I: Activités des constructions:

La production des constructions est composée de processus de travail qui ont comme résultat la réalisation de constructions diverses à savoir : usines, fabriques, centrales électriques, voies de communications, ponts habitations, écoles etc...

Comme dans n'importe quelle branche de l'économie nationale (industrie, ou autres...) nous rencontrons les mêmes éléments constitutifs notamment:

Les hommes (ouvriers, techniciens, ingénieurs, employés) qui utilisant, les moyens de travail (matériels de constructions, moyens de transports, installations et équipements de constructions); préparent transportent et mettent en œuvre des objets de travail (matières premières, matériaux semi-fabriqués, prefabriqués et ensembles prefabriqués) servant pour la réalisation des constructions de toutes sortes.

Les hommes constituent la "force de travail"

Les "moyens de travail" et "les objets de travail" constituent

les "moyens de productions"

L'ensemble "Force de travail" et "moyens de productions" forment les « forces de production »

En résumé nous obtenons l'organigramme suivant :

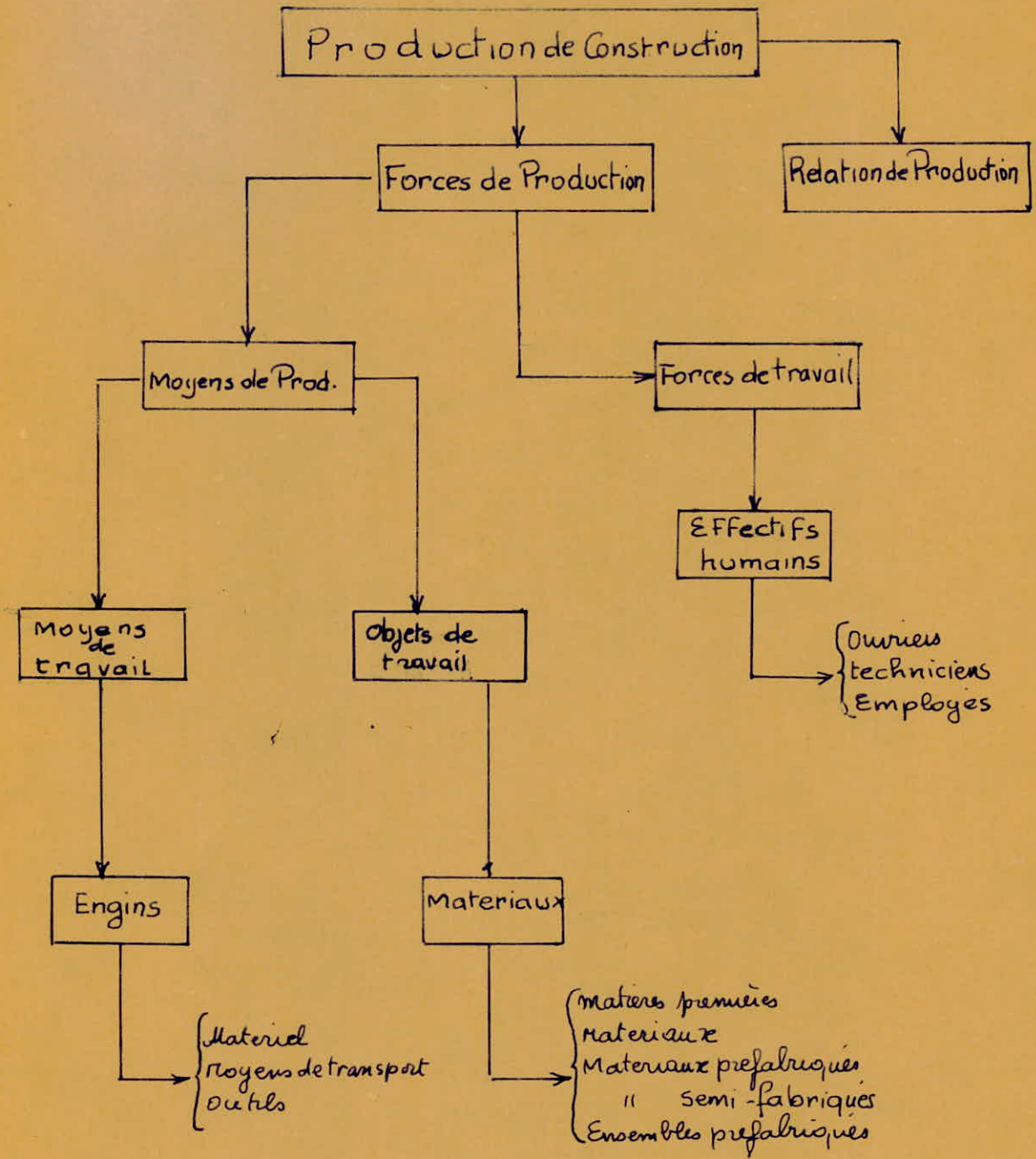


Diagramme de La Production des constructions

### 1 - Specificités de la production des constructions:

Bien que semblable à bien des points de vue à d'autres branches de l'économie nationale, l'industrie des constructions présente toutefois certains caractères qui lui sont spécifiques; parmi les plus importants nous pouvons signaler:

a - La mobilité (ou la non sédentarisation) des processus de constructions. En effet les travaux de constructions sont exécutés sur des emplacements toujours nouveaux. Dans l'industrie le processus de production est fixe, les ouvriers utilisent le matériel et les outils, préparent les matériaux dans des unités de production fixes alors que les produits réalisés (ciment, tissus, voitures etc...) s'utilisent ailleurs que leur lieu de production. Par contre les produits des constructions (barrages, logements, ponts etc...) sont immobiles et s'utilisent au lieu même où ils ont été réalisés, ceci impose que le processus entier de production des constructions avec les moyens nécessaires: forces de travail et moyens de production; change d'emplacement d'un ouvrage à un autre.

Même dans le cadre d'un même objet d'ailleurs, le processus de production de construction est mobile; les formations de travail passant d'un poste de travail à un autre. Une conséquence immédiate, est que la production industrielle se faisant sur des emplacements fixes permet l'étude

l'étude d'une organisation rationnelle et son application à longue période de temps. Inversement la mobilité des processus de constructions impose à chaque reprise de travail sur un autre chantier une étude spéciale de l'organisation de l'exécution, des bases de productions, des technologies à employer etc... ce qui augmente les difficultés d'organisations et de direction de l'exécution des travaux de construction. Il importe donc que chaque ingénieur de Génie-civil connaisse parfaitement tous les problèmes organisationnels.

Actuellement on essaie de remédier à ce caractère défavorable de l'activité des constructions, par l'utilisation de plus en plus grande de la prefabrication; pour laquelle le travail s'effectue à l'usine; ce qui signifie qu'une partie importante du travail nécessaire prend un caractère industriel. Cependant son rayon d'action est limité par le poids et le volume des éléments applicables seulement dans un rayon déterminé (Pls de transport, manipulations...)

b- Par ailleurs les processus de productions des constructions se déroulent en plein air (à l'extérieur); par opposition aux processus de production industrielles qui se passent dans des espaces clos, où sont créées des conditions normales de travail. Dans le premier cas (à savoir l'industrie des constructions); les processus de pro-

-duction se trouvent sous l'influence directe des divers facteurs atmosphériques (intempéries) : température, humidité etc... ce qui rend difficile tant le travail des ouvriers donc diminue la productivité, que les conditions de réalisation technologiques des travaux : par exemple certains travaux comme les enduits, les bétons etc... imposent des mesures de protections qui entraînent des coûts supplémentaires élevés pouvant aller jusqu'à 10 à 15%, et des énormes pertes de temps.

C - D'autres parts les constructions présentent une grande diversité : halls industriels, logements, routes, barrages etc... ; ce qui n'est pas le cas de l'industrie où la production se fait en série. On dit que la production de construction est une production "unicat" (unisériée ou singulière) ; elle demande une étude spéciale pour chaque construction. Dans l'industrie la projection et l'organisation de l'exécution est faite une seule fois pour la série entière de produits. Le problème présente de l'importance vis à vis de :

- la consommation de travail de projection.
- la durée de réalisation des constructions
- l'organisation de l'exécution.

On peut remédier à cela par la "typification" ou "standardisation" des constructions (ponts-types, logements-types, écoles-types etc...) ou de certains éléments des

constructions. ( poutres, poteaux, semelles etc.... ) c'est à dire par l'élaboration de projets-types par exemple pour habitations, écoles, halls industriels, dépôts etc...

Il faut cependant remarquer que même pour des objets de construction semblables, l'emplacement donne une variation de prix en moyenne de 15 à 20% ( dues aux conditions de fondations, aux distances de transports.... )

Il faut également relever que la normalisation ne peut jouer son rôle dans toutes les régions où l'architecture a une si grande importance.

d- Une autre particularité est : le grand poids des constructions. La réalisation d'une construction nécessite un transport de grands volumes de :

- terrassements
- d'agregats minéraux
- de briques, ciments, acier etc...

les dernières statistiques relevés ont montré que pour les constructions : Batiment - Travaux Publics (B.T.P), le poids moyen de matériaux déplacés pour un million de DA de constructions est d'environ 4000 à 5000t et peut atteindre pour des travaux d'hydroamelioration 30 à 40.000t ; tandis que dans l'industrie on manipule seulement 100 à 150t de matériaux, ceci entraine l'utilisation d'un très grand nombre de moyens de transports (gues, bull-



- dozers, moyens de transport, voies de communication etc....) exécutés spécialement pour la réalisation des constructions.

Pour remédier à cette particularité défavorable on recommande l'utilisation :

- de matériaux légers: Keransite, perlites, argiles expansés qui nous donnent des bétons deux à trois fois plus légers que ceux réalisés à l'aide d'agregats minéraux.

- de masse plastiques, de l'aluminium, de l'amianté ciment, qui réduit à  $\frac{1}{3}$  le poids des constructions.

e- La production des constructions est composée d'une grande variété et complexité de processus de constructions. On compte actuellement 30.000 articles de devis dont la réalisation nécessite des ouvriers qualifiés pour 100 professions différentes en ce qui concerne la préparation et la mise en oeuvre. On relève encore 100.000 Typo-dimensions de matériaux réalisés à l'aide de plus de 200 types d'outillages de constructions. Le coût des matériaux utilisés dans l'activité des constructions revient à environ 20% de la valeur du devis de la construction, leur transport et manipulations comptent pour 10% de la valeur de la construction.

Toutes ces particularités de l'activité des constructions imposent pour chaque objet de construction l'élaboration d'un projet d'organisation qui établit sur la base de calcul d'optimisation :

-8-

- les technologies optimales des processus de constructions
- La succession des processus de constructions (ordre d'exécution)
- Les quantités de travaux pour chaque processus.
- Les quantités de ressources (ouvriers, matériaux, outils (énergie, air comprimé, réseaux techniques et const. provisoires)
- leur échelonnement en temps.
- La durée d'exécution de l'objectif ; les dates de début et d'achèvement des divers objectifs composants.

## 2- Structure de la production de constructions. Processus de constructions.

La production de construction est composée de processus de construction. La réalisation d'une construction quelconque signifie donc la connaissance puis l'exécution de ses processus. Pour exemple, pour édifier un bâtiment industriel (hall) il est nécessaire d'effectuer les processus suivants :

- nivellement du terrain (terrassements)
- Fouilles en fondation
- bétonnage des fondations.
- Exécution de l'isolation hydrofuge
- Exécution de la maçonnerie.
- Exécution des planchers
- Exécution de l'enduit
- Montage des outillages technologiques, ventilations etc..

à leur tour chacun de ces processus se réalise par d'autres processus de :

- a) préparation
- b) transport
- c) mise en oeuvre

Par exemple le processus de bétonnage se réalise par :

- a) le processus de préparation qui consiste en :
  - extraction, lavage et triage du gravier et du sable
  - la préparation du béton dans une centrale à béton, ou dans une bétonnière ou bien encore manuellement
- b) le processus de transport : qui consiste dans le transport du béton préparé jusqu'au point de mise en oeuvre, c'est à dire jusqu'au poste de travail
- c) le processus de mise en oeuvre qui consiste en coulage épanouage compactage etc du béton dans le poteau, poutre etc

cette première classification est faite du point de vue de l'endroit où se déroulent les processus

- dans la base de production
- en route ( de la base de production jusqu'au poste de mise en oeuvre )
- au poste de travail où s'effectue la mise en

oeuvre.

On peut également faire une autre classification aussi du point de vue de la complexité technologique et organisationnelle.

La production de la construction est constituée par :

- opérations élémentaires
- processus simples
- processus complexes
- articles de devis, travaux de constructions
- cycles de travaux
- objets de constructions

Nous allons définir et illustrer par des exemples chacune de ces composantes.

### Opérations Élémentaires :

C'est le plus simple processus effectué sans que les ouvriers changent les outils de travail

exemple :

- le déroulage et la rectification des barres d'acier
- découpage en barre droite
- transport au banc de travail
- le pliage (ou le coulage)
- le transport au dépôt ou au poste de travail

constituent des opérations élémentaires du processus simple « la confection d'une armature »

de la même manière

- l'humectation des briques
  - l'extension de la ficelle
  - l'étendue de la couche de mortier
  - le rangement des briques
  - le remplissage des joints (avec du mortier)
  - vérification de la verticalité et de l'horizontalité
- sont les opérations élémentaires du processus simple de la construction d'un mur en maçonnerie de briques. (La hauteur maximum est un mètre vingt sinon il aurait fallu un échaffaudage d'où l'intervention d'un charpentier, et le processus devient plus compliqué c'est à dire un processus complexe)

### Processus Simple

Il est constitué d'un ensemble d'opérations élémentaires, et se réalise par une formation minimum de travail dénommée équipe.

Ainsi le processus simple : le coulage du béton composé des opérations élémentaires suivantes :

- nettoyage et humectation du coffrage
- montage et démontage de la plateforme de travail
- lavage des surfaces d'arrêt (d'interruption) et l'arrosage avec du lait de ciment
- coulage et dispersion du béton

- vibration du béton
- nivellement des surfaces
- l'extraction des repères et le remplissage des trous

et demande une équipe comprenant dans des conditions moyennes :

- deux bétonistes
- un charpentier
- un manoeuvre

L'étude des opérations élémentaires et des processus simples est nécessaire pour l'établissement des normes de production et de temps en construction.

### Processus Complexes

Il est constitué d'une série de processus simples :

Par exemple le processus complexe " l'ossature en béton armé " est composé des processus simples suivants :

- montage du coffrage
- montage de l'armature
- coulage du béton
- décoffrage
- mesures de protections

De la même manière l'exécution du processus complexe enduit en trois couches est composée des processus simples suivants :

- repiquage, grattage, et lavage de la partie à

enduire (ou bien, nettoyage, humectation de la maçonnerie ou du béton sur lesquels on l'applique)

- exécution d'une couche d'amorçage ou gobetis (3 mm)
- exécution d'une couche intermédiaire ou crepis (8 à 15 mm.)

- exécution d'une couche de finition (face vue) (5 à 15 mm)

D'autres part pour diverses nécessités technologiques, organisationnelles ou d'élaboration de devis on a créé divers groupements de processus plus ou moins complexes dénommés en construction comme suit :

Les Articles de devis : sont des processus complexes ou des processus simples utilisés dans l'élaboration des devis, aussi on peut trouver dans certains devis des articles comme suit :

- Coffrage
- acier doux
- acier tor

Ce sont des processus simples de coulage du béton ou de montage de coffrage ou d'armatures

On peut également trouver les articles suivants :

- béton armé en fondation
  - béton armé en élévation
- qui contiennent implicitement
- le montage du coffrage

- montage de l'armature
- coulage du béton
- décoffrage

Ce sont donc des processus complexes

On peut aussi citer comme exemple les articles suivants :

des travaux de terrassement qui contiennent

- décapage
- terrassement en grande masse
- fouilles en tranchées
- fouilles en rigoles

des travaux de maçonnerie qui contiennent :

- maçonnerie en brique pleine
- maçonnerie en brique creuse
- maçonnerie en brique agglos

des travaux d'étanchéité

- 'étanchéité' multicouche
- joint de dilatation
- protection par gravillons

des travaux de charpente métallique :

- étude
- construction en atelier ( ravitaillement fermes et accessoires )
- transport



- montage sur chantier.

Actuellement on estime à 30.000 les articles de devis.

Pour élaborer un planning, il est possible de considérer un groupement de travaux, par exemple : travaux de fondations, celui-ci est composé de processus simples et complexes suivant :

- terrassement général
- Fouilles en fondations
- bétonnage en fondations

On peut également organiser un chantier par lots ou cycles de travaux. On appelle cycle un élément de construction constitué d'une série de processus de constructions simples et complexes liés par des considérations technologiques ou organisationnelles.

Par exemple :

- lot de cycle 0 : constitué de tous les travaux nécessaires au dessous du niveau 0 du b
- Lot de cycle de structure de résistance: Tout ce qui concerne la structure (poutres, poutrelles, poteaux, planchers)
- Lot de cycle de finissage: qui comprend les travaux de finissage (enduits, peintures, revêtement du sol.)

Enfin le processus de constructions d'objets ou objets de constructions comprend tous les processus qui ont comme résultat une réalisation quelconque : hall de production

un pont, une station de pompage, un poste de transformation etc...

Une autre classification des processus de constructions peut être faite selon la manière dont sont mis en mouvement les objets de travail (matières premières, matériaux, matériaux semi-fabriqués, préfabriqués ou ensembles), par la force de travail (ouvriers); de ce point de vue on distingue :

- Processus manuels
- Processus mécanisés
- Processus mécanisés-complexes
- Processus automatisés.

Les processus manuels: sont ceux qui sont réalisés par l'action directe de l'ouvrier sur l'objet de travail (matériau) avec des outils usuels (ordinaires) : on peut citer: l'excavation du terrain à la pelle, ou même avec les bras, chargement manuel des buses dans un camion etc... etc...

Les processus mécanisés : sont ceux réalisés par l'action de la machine sur les objets de travail, l'ouvrier ayant seulement le rôle de démarrage de la machine, de la conduire et de surveiller son fonctionnement.

Les processus mécanisés complexes : sont ceux pour lesquelles toutes les opérations élémentaires com-

-posants ou tous les processus composants sont réalisés mécaniquement (avec une machine). Ainsi le processus complexe "excavations" est un processus mécanisé complexe, si tous les processus simples composants suivants:

- Processus d'excavation
- Processus de chargement dans un moyen  
de transport
- Processus de transport
- Processus de déchargement
- Processus de nivellement en dépôt, ou en  
remblai
- Processus de compactage en dépôt ou en  
remblai

sont tous, absolument tous réalisés mécaniquement.

- Les processus automatisés : sont ceux qui sont réalisés par l'action directe de la machine sur des objets de travail. La machine se déclenche par une simple impulsion donnée par l'ouvrier.

Dans la branche de construction on rencontre de tels processus pour :

- La préparation des bétons et des mortiers.
- La préparation des carcasses d'armatures.
- Le réglage automatique des gâches.
- L'évidence automatique des travaux réalisés  
(emploi de l'ordinateur...)

Par exemple dans une station automatique de préparations

-18-

des bétons le conducteur du moyen de transport du béton; dumper, camion malaxeur, pousse un bouton qui déclenche le mécanisme entier de production du béton à la marque désirée et qui du bunker coule dans le moyen de transport respectifs.

## B: Principes généraux d'organisation et les Paramètres employés dans l'organisation de la réalisation des processus de Constructions:

La réalisation proprement dite d'une construction quelconque (usine, route, immeuble ou autres ...) suppose la réalisation des différents processus composants, qui doivent être effectués dans l'ordre imposé par la technologie des travaux. Ainsi par exemple la pose des cloisons dans un niveau donné ne peut se faire que lorsque l'on a au minimum deux planchers au-dessus (principe fondamental). De la même manière un enduit extérieur se fait de haut en bas et une fois que l'enduit intérieur soit sec ; etc ... Par conséquent, pour réaliser leurs projets d'une façon efficace les chantiers doivent travailler selon un plan de mise en œuvre qui indique:

- 1 - L'éclatement ou la décomposition du projet de construction en ses éléments constitutifs que nous appellerons suivant le cas "Processus" ou "activités" ou "tâches" ou bien encore "travaux de constructions". Dans la suite du texte nous utiliserons indifféremment "activité composante" ou "processus composant"
- 2 - L'établissement des relations séquentielles
- 3 - Le calcul des quantités de travaux pour chaque processus composant.
- 4 - Calcul d'autres paramètres nécessaires dans l'organisation des processus composants.

5 - la détermination des procédés, des technologies et des méthodes d'organisation des processus respectifs.

6 - Evaluation des temps.

7 - Détermination des ressources.

8 - L'Elaboration du planning sous la forme d'un graphique GANTT ou d'un graphique réseau PERT ; et la prise de toutes les mesures concrètes pour la réalisation effective des processus.

Remarque: les deux méthodes de planification les plus utilisées dans le bâtiment sont le GANTT et le PERT; le graphique Gant ou "planning à barres" a beaucoup de qualités, notamment :

- Une présentation simple.
- Une élaboration rapide
- une lecture facile ; ce qui explique sa large utilisation dans les chantiers. Toutefois le graphique GANTT a des grandes difficultés, quand il s'agit de l'introduction des travaux supplémentaires ou des modifications, ce qui est courant dans la branche des constructions. En effet dans ce cas la reconstruction complète du graphique s'impose.

Ces dernières années la cadence accélérée des constructions, a conduit les planificateurs à lui substituer la méthode P.E.R.T, c'est à dire une méthode de planning par réseau permettant:

- L'Analyse des projets
- La précision du déroulement des travaux.
- L'identification de la suite des activités critiques conditionnant le délai global.

le pent definit le calendrier d'execution des activités, permet de reduire un delai trop long, et resoud le problème du contrôle du programme et de la mise à jour rapide et periodique des plannings. Ce document constitue la coordination.

Dans ce qui suit nous ferons une etude plus detaillee des differentes étapes du "plan de mise en oeuvre".

### 1 - La decomposition du projet en elements constitutifs:

Sur la base de la documentation technico-economique elaboree pour chaque objet de construction (Hall industriel, immeuble, route...) on procede à la subdivision du projet en processus composants. Generalement on prend comme processus composants les articles du devis.

Nous considerons comme activité, toute action necessaire à la realisation du projet et qui consomme du temps.

### 2 - L'etablissement des relations sequentielles entre les processus composants est faite selon deux principes:

- le premier principe consiste à partir du processus final du projet et à reculer en posant à chaque processus la question suivante: "Quel processus doit on accomplir immediatement avant ce processus?"

- l'autre principe consiste à partir de l'origine du projet et de progresser en posant à chaque processus la question suivante "Quel processus peut on entreprendre immediatement après ce processus". L'emploi conjoint de ces regles d'analyse permet d'obtenir très vite une succession valable pour les processus composants.

### 3 - Le calcul des quantités de travaux pour chaque processus:

Les quantités des travaux sont prises de l'avant métré ou du devis quantitatif. Nous désignerons les quantités de travaux par le symbole  $Q_i$ , l'indice  $i$  correspondant au processus courant  $i$ . Les unités de mesures peuvent être suivant les cas:

- le mètre cube ( $m^3$ ) : s'il s'agit des betons, des terrasses - sements etc...
- le mètre carré ( $m^2$ ) : s'il s'agit d'un enduit, cloisons, peintures
- le mètre (m) : s'il s'agit de joints, de plinthes, ...
- l'unité : s'il s'agit de portes, fenestres etc....

Comme nous pouvons le constater, cette façon d'obtenir les quantités de travaux  $Q_i$  en utilisant les indices technico-économiques moyens par catégorie de constructions, nous avons:

- des indices rapportés à 1 million de DA de travaux de constructions.

Exemple: 500  $m^3$  de béton correspond à 1 Million de DA de valeur de l'estimation de la construction.

- ou des indices rapportés au  $m^2$  de constructions.

Exemple: 170  $m^3$  de béton correspond à 100  $m^2$  de construction.

En dehors de cela, pour déterminer tous les éléments nécessaires à une organisation scientifique on a encore besoin d'un certain nombre de paramètres qui feront l'objet du chapitre qui suit:

### 4 - Calcul des autres paramètres:

#### 4-1: Volume de travail:

Notation:  $V_{Ti}$  où  $i$  se réfère au processus courant  $i$ .

On définit le volume de travail comme la quantité de travail nécessaire pour l'exécution de la quantité de travaux  $Q_i$  du processus  $i$ .



Pour des activités faites par des hommes :  $V_{Ti}$  est la quantité de main d'œuvre nécessaire pour l'exécution d'une quantité de travaux  $Q_i$  et est mesurée en "hommes-temps" notamment: hommes-heure ou hommes-relevés ou hommes-jours etc...

Pour des activités faites mécaniquement avec un certain matériel (pelle, grue, bulldozer, bétonnière....) le volume de travail  $V_{Ti}$  est mesuré en "engin-temps" par exemple : pelles-heure ; pelles-relevés ; pelles-jour ou grues-heures, grues-relevés, grues-jours. etc...

Plus généralement donc, le volume de travail est la durée de temps en heures, relevés, jours etc..., nécessaire à un exécutant (homme ou engin); pour réaliser la quantité  $Q_i$  de travaux pour le processus  $i$ . Désignons par  $t_{i1}$  la durée de temps dans laquelle un exécutant réalise les travaux  $Q_i$ , nous aurons la relation :  $t_{i1} = V_{Ti}$

si on utilise un effectif composé de  $e$  exécutants, alors la durée de réalisation :

$$t_{ie} = \frac{t_{i1}}{e} = \frac{V_{Ti}}{e}$$

d'où l'on déduit la relation :

$$\boxed{t_{ie} \times e = t_{i1} = V_{Ti}} \quad (1)$$

L'expression (1) est de la forme  $y = \frac{k}{x}$  qui est une hyperbole équilatère, et peut être représentée par le graphique suivant figure 1 ci après.

$$t_{ie1} = \frac{V_{Ti}}{e_1}$$

$$t_{ie2} = \frac{V_{Ti}}{e_2}$$

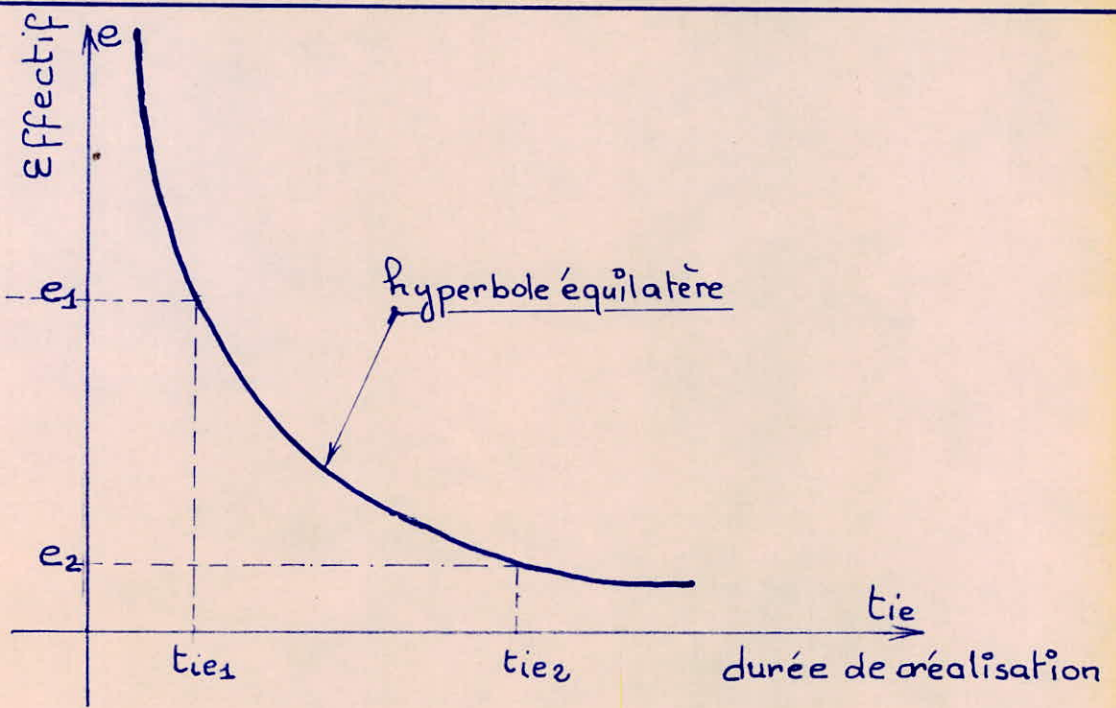


FIG 1 - Graphique effectif - durée de réalisation

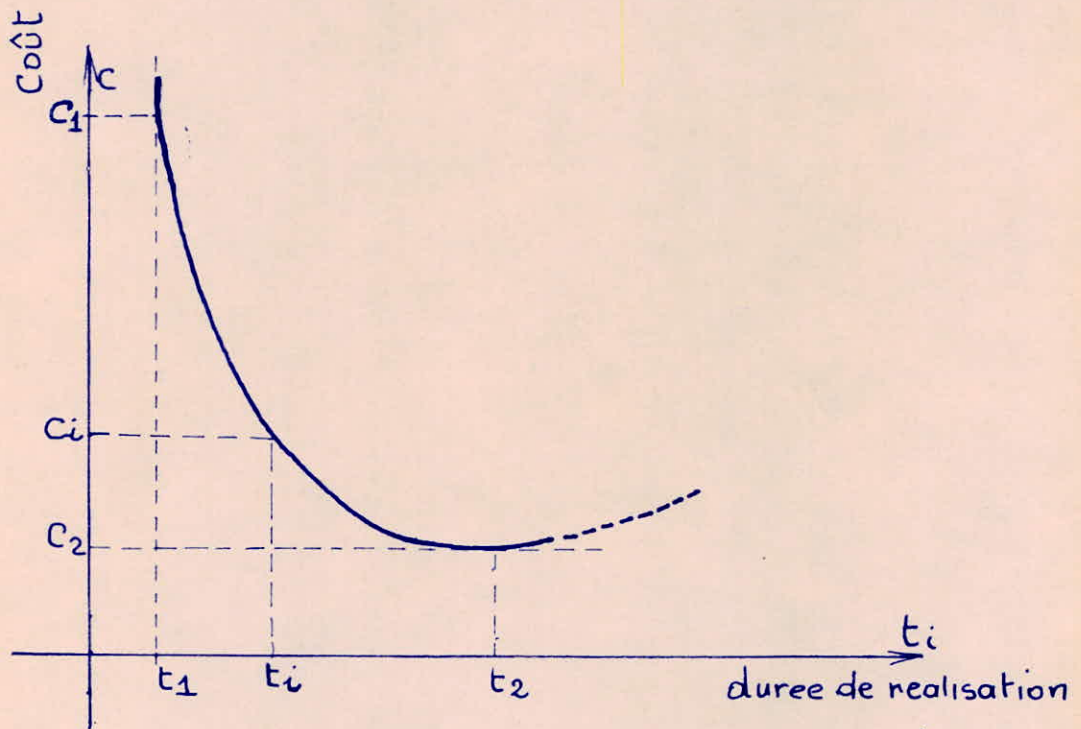


FIG 2: Graphique coût - durée de réalisation

Nous deduisons que la durée de réalisation des quantités de travaux  $Q_i$  est inversement proportionnelle à l'effectif utilisé.

#### 4-3 - Norme de temps :

Elle est désignée par le symbole  $NT_i$ . C'est le minimum de temps nécessaire à un homme pour réaliser une unité de travaux de bonne qualité pour le processus  $i$ .

Exemples :

- coulage du béton :  $NT_b = 4,9 \text{ heures-homme/m}^3$
- Execution d'une maçonnerie en briques :  $NT_m = 8 \text{ heures-homme/m}^3$
- Execution de  $100 \text{ m}^3$  d'excavation en terrain moyen pour une pelle de capacité :  $0,8 \text{ m}^3$  :  $NT_p = 2 \text{ heures-pelle/100 m}^3$ .

Entre le volume de travail  $V_{T_i}$ , la quantité de travaux  $Q_i$  et la norme de temps  $NT_i$  pour la réalisation d'un même processus de construction, nous avons la relation suivante.

$$\boxed{V_{T_i} = Q_i \times NT_i} \quad (2)$$

#### 4-4 - Norme de production :

Elle est désignée par le symbole  $N_{p_i}$ . C'est la quantité de production de travaux  $i$  de bonne qualité (terrassements, coulage du béton, ... etc...) effectué par un exécutant (homme ou engin ou homme-engin) dans une unité de temps.

Exemples :

- la norme de production de coulage du béton pour un ouvrier dans une heure est :  $N_{p_{cb}} = 0,202 \text{ m}^3 / \text{heure-homme}$ .
- La norme de production de l'execution d'une maçonnerie, pour un maçon dans une heure est  $N_{p_m} = 0,125 \text{ m}^3 / \text{heure-homme}$ .

- La norme de production de l'exécution de l'excavation de terrassement pour une pelle dans une heure est:  $N_{pp} = 50 \text{ m}^3 / \text{heure-pelle}$

Remarque: les normes de production et de temps sont élaborés par différentes méthodes: statistique, analytique, ou **milliseconde** constituent des catalogues de normes.

- Entre le volume de travail  $V_{Ti}$  nécessaire pour l'exécution d'une quantité de travaux  $Q_i$  d'un processus de construction  $i$  et la norme de production  $N_{pi}$  pour le même processus existe la relation:

$$\boxed{V_{Ti} = \frac{Q_i}{N_{pi}}} \quad (3) \quad \frac{[\text{m}^3]}{[\text{m}^3]/[\text{h}\cdot\text{h}]} = [\text{h}\cdot\text{h}]$$

En égalant les relations (2) et (3) ci-dessus, nous obtenons

$$V_{Ti} = Q_i N_{Ti} = \frac{Q_i}{N_{pi}}$$

$Q_i \neq 0$  implique

$$N_{Ti} = \frac{1}{N_{pi}}$$

La norme de p temps est donc l'inverse de la norme de production pour le même processus de constructions.

De la même manière en éliminant  $V_{Ti}$  entre (3) et (1); On obtient une relation d'une importance capitale en construction

qui lie les paramètres - de temps  
- de quantités de travaux  
- des effectifs de ressources

$$\boxed{t_{iex} = \frac{Q_i}{N_{pi}}} \longrightarrow \boxed{t_{ie} = \frac{Q_i}{N_{pi} \times e}} \quad (4)$$

La durée d'exécution est égale au rapport entre la quantité de

de travaux et le produit entre la norme de production et les ressources (effectifs, ouvriers, ou nombre d'engins ou flux de matériaux.)

N.B. Il faut retenir que  $N_{pi}$  est la quantité de production pour le processus  $i$  obtenu pour l'unité de ressource  $e$  (qui peut être : hommes, engins de construction, matériaux, argent). Pour une même quantité de travaux  $Q_i$ ,  $N_{pi}$  étant une constante (pour le même processus et pour la même technologie); la relation

(4) peut être écrite sous la forme

$$t_{ie} = \frac{K^t}{e} \quad \text{ou} \quad t_{ie} \times e = K$$

ce qui veut dire que pour diminuer la durée d'exécution, il faut augmenter le flux de ressources dans le même rapport; Or l'augmentation du flux de ressources entraîne une augmentation des dépenses du chantier, par conséquent le coût direct de la réalisation d'un processus de construction est une fonction du temps  $C = f(t)$ . La variation du coût direct en fonction de la durée de réalisation est illustrée par la figure 2 ci après.

#### 4-5 - Effectif $e_h$ .

C'est le nombre d'ouvriers nécessaires à exécuter les quantités de travaux de constructions. Si la durée des travaux est établie (en général c'est le cas), alors l'effectif nécessaire  $e_h$  est donnée par la relation (4)

$$e_{hi} = \frac{Q_i}{N_{pi} \times t_{ie}}$$

Pour une bonne organisation le nombre d'ouvriers doit être un multiple

du nombre d'ouvrier contenu dans la formation minimum; par exemple pour le bétonnage, il faut avoir un multiple de 5 ouvriers. Il doit également correspondre à l'espace disponible au poste de travail, donc satisfaire la relation :

$$e_i \times S_{opt} < S_p.$$

où  $e_i$  = effectif.

$S_{opt}$  = espace (surface, longueur, volume) optimum pour un ouvrier

$S_p$  : espace disponible au poste de travail.

4-6 : Nombre d'engins de constructions:  $e_m$ .

4-7 - Intensité du flux de matériaux:  $e_m$ .

Toutes les considérations faites pour le paramètre 4-5 sont valables pour les paramètres 4-6 et 4-7.

4-8 - Front de travail :

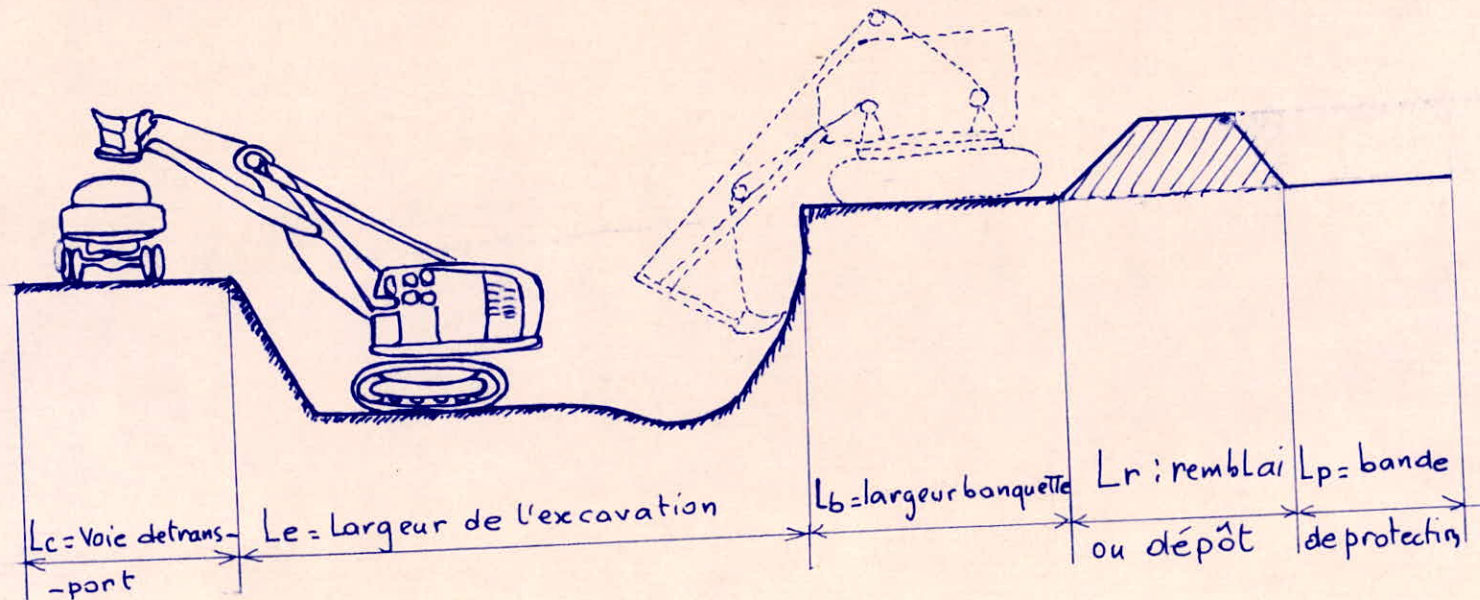
C'est l'espace sous forme de surface, de volume ou longueur dans lequel les équipes dotés du matériel, matériaux et différents équipements, exercent leurs activités pour la réalisation de la construction projetée. L'étendue et la forme du front de travail nécessaire pour l'exécution d'un ouvrage dépendent de la nature de cet ouvrage et de la technologie de réalisation adoptée. Ainsi par exemple l'espace nécessaire à l'exécution d'un canal est donnée par la largeur de l'excavation des voies nécessaires aux moyens de transports, largeur de la banquette et de la base de dépôt comme l'indique la figure 3 :

$$L = L_e + l_c + l_b + l_r + l_p.$$

FIG: 3 : Front de travail nécessaire à l'exécution d'un canal

$$L = L_e + L_c + L_b + L_r + L_p.$$

-29-



Dans le même ordre d'idées, l'espace nécessaire pour l'exécution d'un mur en briques est une bande le long du mur de 2,50 mètres de largeur, servant pour le mouvement des ouvriers le dépôt de matériaux : briques et mortier et pour la circulation de tombereaux comme l'indique la figure 4 ci après. (voir page: 31)

Quand on utilise des grues pour le levage des matériaux la largeur se réduit à 1,50 mètres seulement, car l'espace réservé aux tombereaux disparaît. L'échafaudage qui est une plateforme utilisée pour l'exécution des murs respecte d'ailleurs ces dimensions. L'unité de mesure pour le front de travail peut être le mètre, le mètre carré ( $m^2$ ) ou le mètre cube ( $m^3$ ). Il est évident que les dimensions du front de travail doivent être en parfaite corrélation avec l'effectif utilisé pour assurer une productivité maximale. En effet un nombre trop grand d'ouvriers sur un espace limité (trop petit) rend la circulation difficile, donc une gêne réciproque entre les ouvriers ayant pour conséquence une faible productivité. De la même façon un espace trop grand conduit à des pertes de temps dues aux grands parcours pour les matériaux, matériels et pour les ouvriers.

Un autre facteur important exerçant une influence considérable sur la productivité de travail est donné par le diagramme de la figure 5 page (32) ; représentant la variation de la productivité d'un mason en fonction de la hauteur de l'assise du mur au dessus de la plateforme de travail.



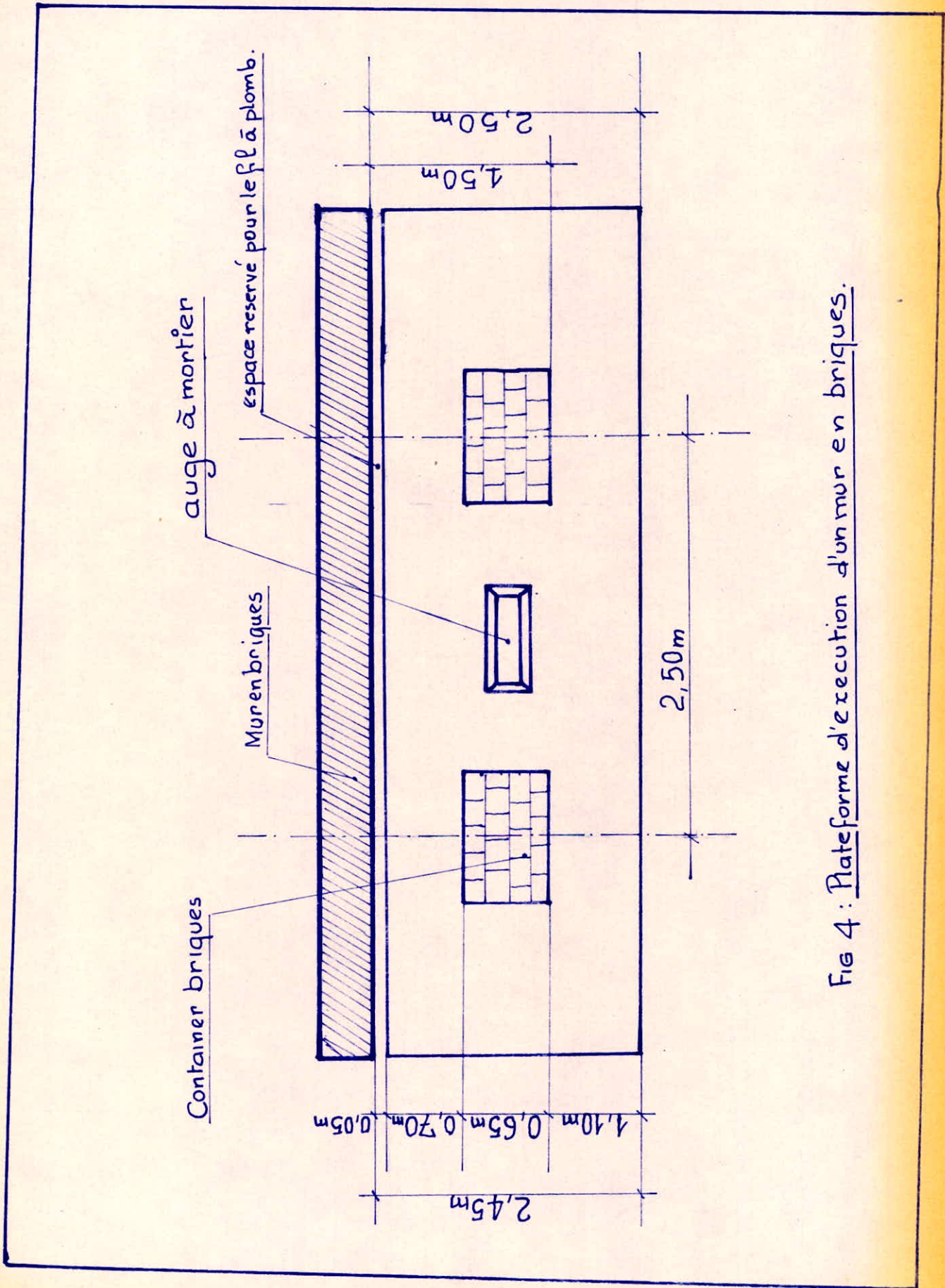


Fig 4 : Plateforme d'exécution d'un mur en briques.

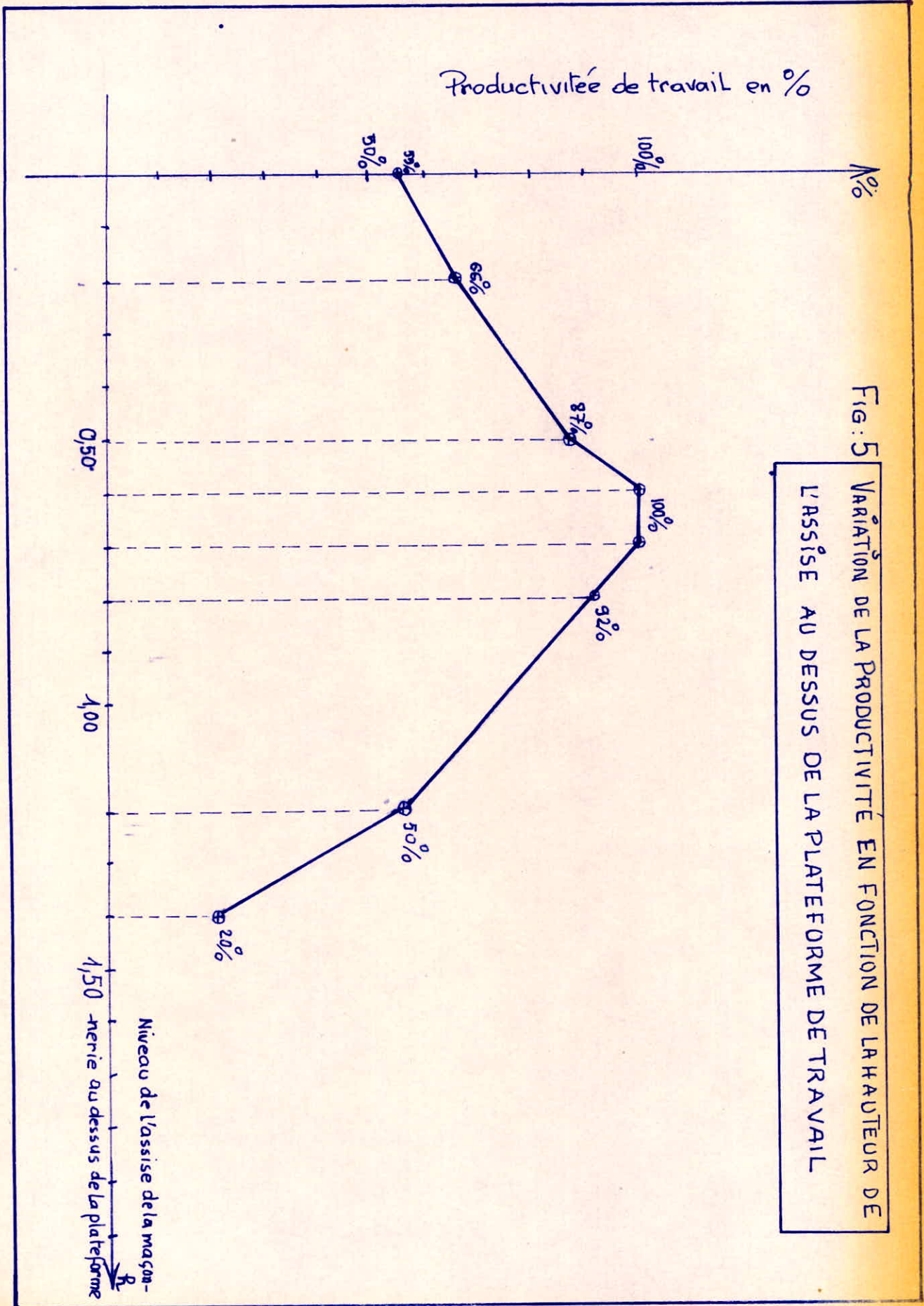


FIG: 5 VARIATION DE LA PRODUCTIVITÉ EN FONCTION DE LA HAUTEUR DE L'ASSISE AU DESSUS DE LA PLATEFORME DE TRAVAIL

On obtient un maximum de productivité pour la hauteur de 0,60 à 0,70 m. Pour la hauteur de 1,20 m la production diminue de 50%. Afin de palier à cet inconvénient l'organisation du poste de travail pour la maçonnerie se fait pour des tronçons de mur de 1,20 m de hauteur au maximum; mieux encore on a créé des plateformes télescopiques qui assurent (réglent) en permanence la hauteur optimale de travail de 0,70 m au dessus de la plateforme.

La figure 6 page (34) montre le schéma d'une plateforme télescopique de Type "PIAT".

Nous désignons par "front de travail total" l'espace total dans lequel se déroulent les travaux de réalisation d'un ouvrage. En général on ne dispose pas du "front total de travail" nécessaire pour l'exécution d'un ouvrage ou d'un processus composant dès le commencement des travaux. On peut tout de même rencontrer ce cas, nous citons par exemple: le processus de nivellement ou d'une fouille en rigole jusqu'à 1,50 m de profondeur dans un terrain plan et dépourvu de démolition, disposent dès le début des travaux du front total de travail. Ce n'est pas le cas du processus "d'exécution du toit" qui n'aura son front de travail qu'après avoir exécuté les murs correspondants. Il en est de même pour l'enduit qui n'a le sien qu'après avoir exécuté les murs, eux mêmes devant respecter la condition d'avoir deux planchers finis au dessus du secteur où ils doivent être exécutés.

Plus fréquemment on dispose au début d'un "front partiel de travail" et puis au fur et à mesure que les travaux avancent se créent de nouveaux fronts pour les autres processus composants.

1. Plateforme
2. Gardes corps
3. Cremaillères
4. Glissières
5. Ecrus
6. Construction.

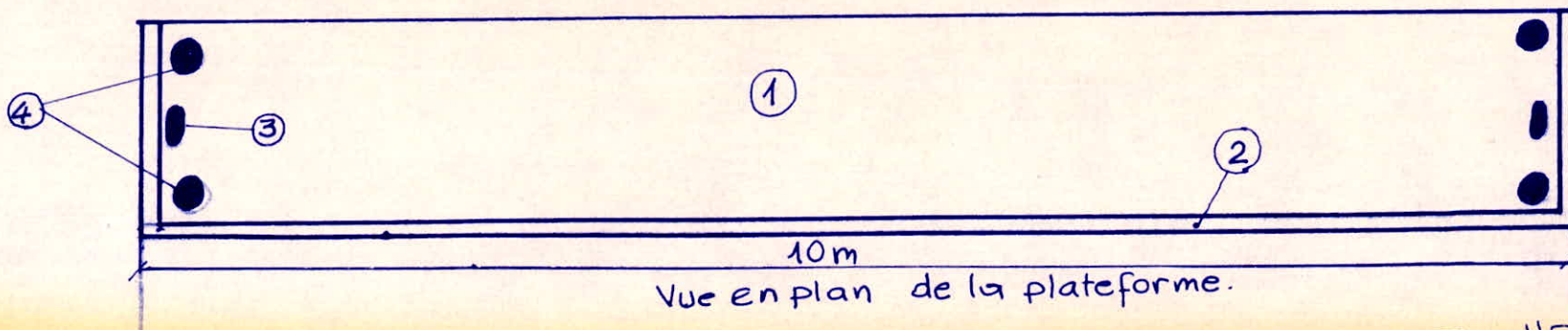
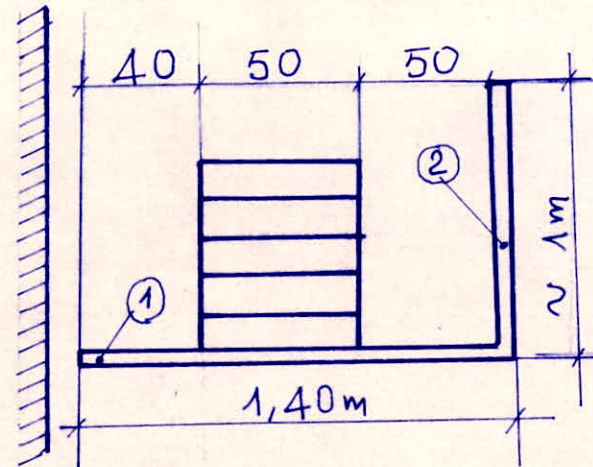
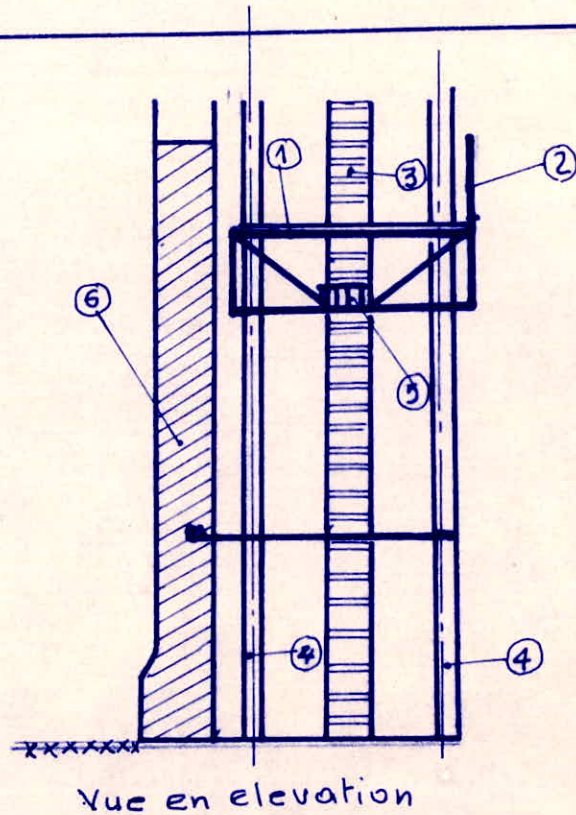


FIG: 5 Schema d'un échafaudage Telescopique Type "PIAT"

Exemples : Au fur et à mesure que les fouilles en fondation avancent se créent des fronts de travail pour le bétonnage, puis pour l'exécution des murs et ainsi de suite ....

Une fois créé le front partiel de travail il faut l'organiser ou le subdiviser en "secteurs de travail" qui est le tronçon du front destiné à l'exécution du travail par les équipes (ou formations de travail).

Le secteur de travail doit être suffisant pour permettre aux équipes de travailler sans gêner. Par exemple pour un hall industriel, le secteur est égal à une ou plusieurs travées. Pour un immeuble le secteur est égal à un étage. Le projet d'organisation de l'exécution d'une construction établit pour chaque objet de construction les secteurs de travail respectifs. Nous désignons les secteurs par les symboles  $S^1$ ;  $S^2$ , ...,  $S^1$ , ...,  $S^n$ .

Remarque: Le secteur de travail représente une délimitation d'organisation dépendant des méthodes d'organisation utilisées.

Il est recommandé, chaque fois qu'il sera possible de faire la division de la construction en secteurs égaux. Du point de vue des quantités de travaux nous considérons que deux secteurs sont égaux même s'il y'a entre eux un écart de  $\pm 15\%$  en ce qui concerne les quantités de travaux y contenues.

#### 4-9 - Module de temps $t_i^A$ :

On désigne par "module de temps" et l'on note  $t_i^A$ , la durée d'exécution des travaux  $Q_i^A$  d'un processus  $i$  sur un secteur  $A$ . L'unité de mesure est, soit l'heure, la relève, le jour ou autres....

Le module de temps est un nombre entier de relèves et le module de temps minimum est la relève.

### Conclusion:

En resume nous dirons que :

- Le nombre de processus ( $m$ ) obtenus après eclatement du projet, leurs sequentialités, les quantités de travaux  $Q_i$  pour chaque processus de construction, les normes de travail  $N_{pi}$ ,  $N_{Ti}$ , le volume de travail  $V_{Ti}$  constituent l'ensemble des "Paramètres Technologiques".

- L'effectif  $e_h$ , le materiel  $e_M$ , les quantites de materiels  $e_m$ ; le front de travail, le nombre de secteurs de travail ( $n$ ) sont des "Paramètres d'organisation" ou "Paramètres organisationnels".

- Le module de temps  $t_i^d$ , la duree d'execution  $t_{ei}$  sont des "Paramètres de temps".

## C - Principes fondamentaux de l'activité des constructions.

### C.1: Principes fondamentaux:

Une Organisation rationnelle et scientifique de l'execution d'un ouvrage ou d'un processus composant doit necessairement, respecter un certain nombre de principes fondamentaux de la branche des constructions, dont voici succinctement les plus importants:

L'activité des constructions a atteint ces dernières années un haut degré d'industrialisation, donc une utilisation accrue des techniques les plus modernes, necessitant une dotation en materiel et en personnel très qualifiés des unités de constructions dont la rentabilisation impose une utilisation permanente, continue des forces de production. En effet

Le matériel est frappé durant sa vie par l'usure physique provoquée par le fonctionnement, mais aussi par l'usure morale provoquée par le temps. A l'époque actuelle le matériel doit s'amortir entre 3 ou 4 années au maximum. Cet amortissement est assuré par la production qu'il réalise, et s'il ne travaille pas à sa pleine capacité, les réalisations ne peuvent couvrir les frais d'amortissement. Il en est de même pour les effectifs humains, s'il y a une interruption dans l'activité, le personnel abandonne les unités de constructions et cherche un travail ailleurs, on perd ainsi les immenses dépenses faites pour sa formation.

D'autres parts, les forces de productions (matériel et ouvriers) doivent être utilisées en permanence à leur capacité pleine, c'est ce que l'on appelle "le principe de l'uniformité".

On déduit de ce bref exposé, que dans l'activité des constructions il faut respecter manifestement les principes de la "Continuité" de l'"uniformité" avec sa conséquence "la rythmicité" qui constituent les principes fondamentaux de l'activité des constructions. Le principe de "la continuité" signifie:

- Un travail sans interruption du matériel et des ouvriers pendant la relève de travail.
- Une alimentation continue du poste de travail avec les ressources nécessaires.
- Une livraison continue de production finie des constructions.
- Une prévision (assurer) en permanence des fronts de travail de réserve.

Le principe de l'uniformité signifie que:

- les quantités de ressources approvisionnées sur chantier;

Soient les mêmes dans les mêmes périodes de temps.

- Les formations de travail (équipes) conservent en permanence leurs effectifs et leurs dotations en matériel.

- Les quantités de travaux de constructions réalisés sont égales dans des périodes de temps égales.

### Remarque importante:

Les Analyses technico-économiques ont montré que l'efficacité économique pour l'économie nationale augmente quand le délai de réalisation diminue, bien que pour la diminution de la durée d'un processus le coût correspondant augmente. Ce compromis est étudié dans le chapitre intitulé "Relation coût-durée". Les calculs effectués pour l'Algérie <sup>montrent</sup> qu'une diminution d'un mois du délai d'exécution des constructions <sup>prévues</sup> pour l'année 1977, apporte une économie d'environ 200 millions de DA. [2% de 10 ou 12,5 Milliards d'investissements], c'est à dire l'équivalent de 1000 logements. Il en découle qu'un autre principe important consiste à obtenir "un bref délai d'exécution"

D'autre part en utilisant à plein les techniques et les technologies modernes, avancées et une bonne organisation nous pouvons obtenir de grandes économies importantes par rapport aux devis des constructions.

Pour l'Algérie, des économies de 1% conduisent à une économie annuelle d'environ 120 millions de DA et comme elles peuvent atteindre 5 à 6% de la valeur du devis, ceci signifie 500 à 600 millions de DA équivalent de 2000 à 3000 logements le quatrième principe important est donc "La diminution du coût des constructions"



Enfin pour conclure nous dirons que :

- La continuité
- L'uniformité et l'rythmicité
- le délai minimum
- le coût minimum

Constituent l'ossature d'une organisation scientifique de l'exécution d'une activité des constructions.

Il ressort de cette étude que les notions de coût, et de délai de réalisation sont indissociables et même (on le verra par la suite) déterminantes dans le choix des méthodes d'organisations à employer. On s'attache particulièrement à réduire au maximum la durée sans augmenter le coût correspondant.

Pour permettre une meilleure approche du problème nous nous proposons de procéder dans le chapitre suivant à une étude approfondie des relations existant entre le coût et le temps d'exécution et à souligner son impact sur les méthodes d'organisations à employer.

## C-2 Relation entre le coût et la durée de réalisation d'une construction.

### a - Coût - durée pour une activité composante :

Chaque temps d'exécution peut varier entre deux bornes  $D_a$  et  $D_n$  imposées par des considérations techniques ou économiques. La durée  $D_n$  dite durée normale et correspond à un coût minimal. Le temps  $D_a$  correspond par contre à la durée durée de l'activité lorsque celle-ci est accélérée au maximum et le coût correspondant est maximal.

Par conséquent si nous désignons par  $C$  le coût de l'activité et par  $t$  la durée nous pouvons admettre que :  $C = f(t)$ , signifiant que le coût d'une activité est une fonction de sa durée de réalisation. Celle-ci est représentée par une courbe d'allure suivante

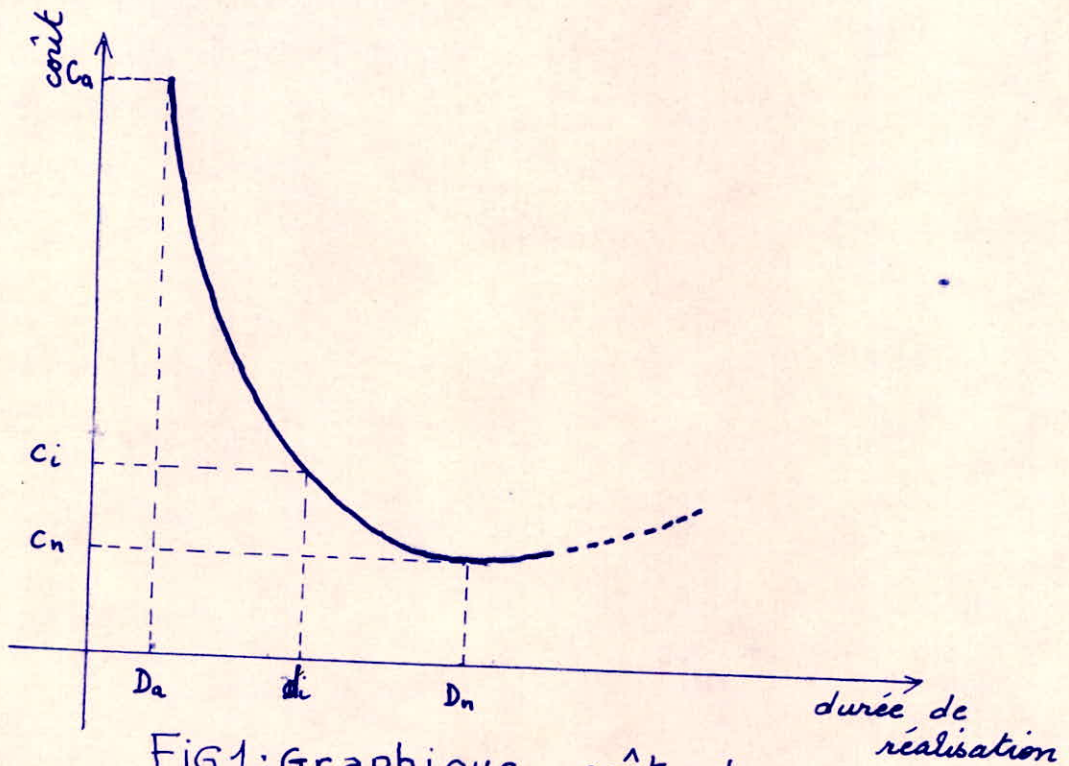


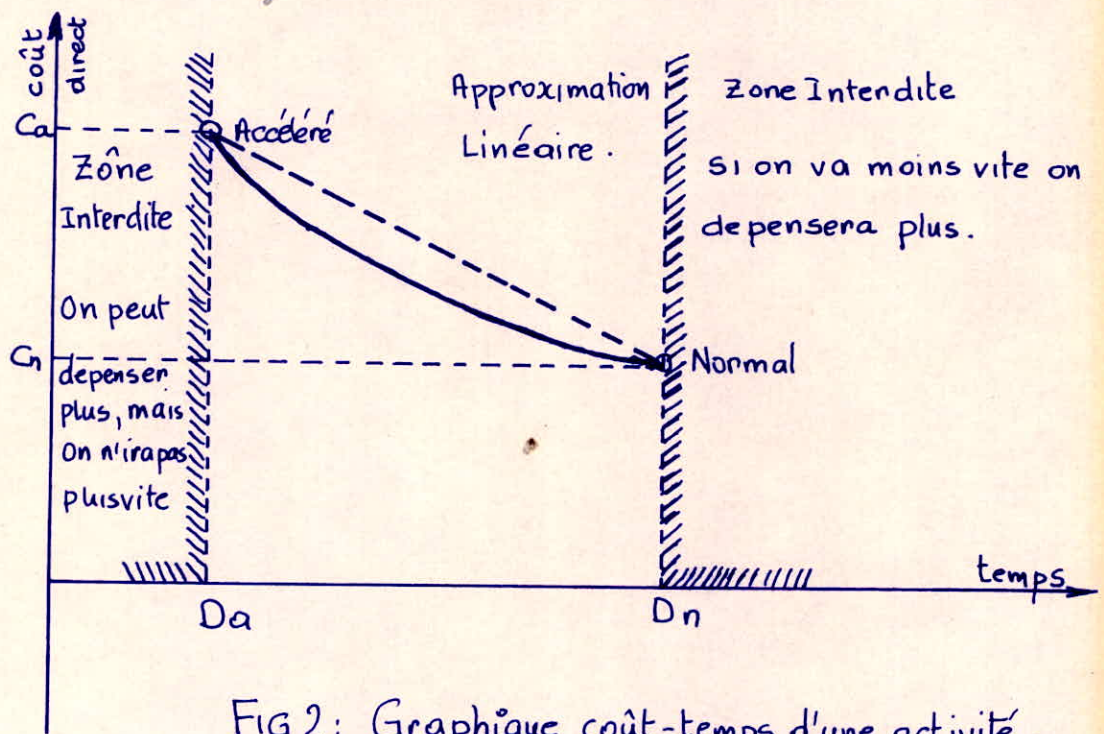
FIG1: Graphique coût - temps d'une activité

à une durée quelconque  $d_i$  correspond un coût  $c_i$ . Nous constatons que la réduction de la durée de réalisation d'une activité entraîne une augmentation des dépenses. Le coût passe par un minimum très plat, puis augmente pour des conditions anormales de travail correspondant à une utilisation insuffisante des moyens en main d'œuvre ou en matériel.

-41-

On définit :

- Le coût normal : C'est la somme minimum d'argent nécessaire pour la réalisation d'une activité.
- La durée normale  $D_n$  : C'est la durée minimum de temps pour réaliser l'activité au coût normal  $C_n$ .
- La durée accélérée  $D_a$  : C'est la durée absolument minimum pour la réalisation d'une activité.
- Le coût accéléré  $C_a$  : C'est le coût minimum pour accomplir l'activité à sa durée accélérée  $D_a$ .

FIG 2: Graphique coût-temps d'une activité.

Observations :

Nous constatons que si on augmente la durée au delà de  $D_n$ , le coût correspondant augmente en conséquence ceci paraît assez vraisemblable à cause d'une faible

utilisation des forces de productions employées.

De la même manière; on peut augmenter indéfiniment le coût au delà du  $C_a$  sans arriver à diminuer la durée en de ça de  $D_a$ . Nous delimitons ainsi deux régions que nous appelons "zone interdite" où il est formellement interdit d'effectuer le travail.

La relation entre coût et durée d'une activité est illustrée par la fig 2. Dans la plupart des cas on suppose que la variation est linéaire entre le point "normal" et le point "accélééré". (Il est possible cependant de traiter des cas particuliers plus compliqués: variation par palier etc.) On peut alors calculer le coût supplémentaire correspondant à la diminution unitaire de la durée ou "le coût par unité de temps gagnée" en abrégé C.U.T.G, en calculant la pente de la droite AB représentant l'approximation linéaire de la courbe considérée on obtient:

$$C.U.T.G = \frac{C_a - C_n}{D_n - D_a}$$

Si on tient compte du fait que chaque activité est caractérisée par une courbe propre, il en résulte que pour chaque activité, on obtient un C.U.T.G qui lui est caractéristique. Le C.U.T.G est donc fonction de la nature de l'activité.

Les statistiques ont montré que pour diminuer de 10% la durée normale d'une activité le C.U.T.G augmente en

moyenne de 2% à 20% de la valeur du coût normal  $C_n$ .

### b) Coût d'un projet

Rappelons qu'un projet est un ensemble d'activités liées entre elles par des considérations technologiques et organisationnelles. On distingue :

- le coût direct d'un projet
- le coût indirect d'un projet
- le coût total d'un projet

Dans le coût d'un projet interviennent le coût direct et le coût indirect à cause de l'association comptable des dépenses. Le coût direct est la somme des dépenses associées directement aux activités composantes faites pour :

- les salaires de la main d'œuvre utilisée directement à la réalisation des activités
- les matériaux consommés sur le chantier
- le matériel employé

#### b-1) Étude du coût direct d'un projet

On définit :

- le coût normal d'un projet ( $C_{np}$ ) : c'est la somme minimum d'argent dépensée pour réaliser le projet correspondant
- la durée normale d'un projet ( $D_{np}$ ) : c'est la durée minimum de réalisation du projet au coût normal. (point A sur la fig 3)

Il faut retenir que le projet étant un ensemble d'activités

le coût normal du projet sera égal à la somme des coûts normale de ces activités.

$$C_{np} = \sum C_{na}$$

En effet, toutes les activités étant effectuées à leur durée normales, elles coûtent le prix normal, et le total représente le coût direct minimum du projet.

Remarque : Toutes les activités composant le projet étant effectuées à leurs durée normales, la durée normale du projet est inférieure (ou très rarement égale) à la somme des durées normales des activités composantes.

$$D_{np} \leq \sum D_{na}$$

Les justifications de cette affirmation seront données au chapitre « Graphique réseau ». Si la durée d'exécution dépasse  $D_{np}$ , le coût augmente en conséquence, à cause d'une mauvaise utilisation des forces de travail (ouvriers, matériel etc...)

Toute accélération d'une activité augmentera le coût; mais pour gagner du temps, nous chercherons à accélérer la tâche dont le coût du temps gagné (C.U.T.G) est le plus faible sur le chemin critique. On définit alors :

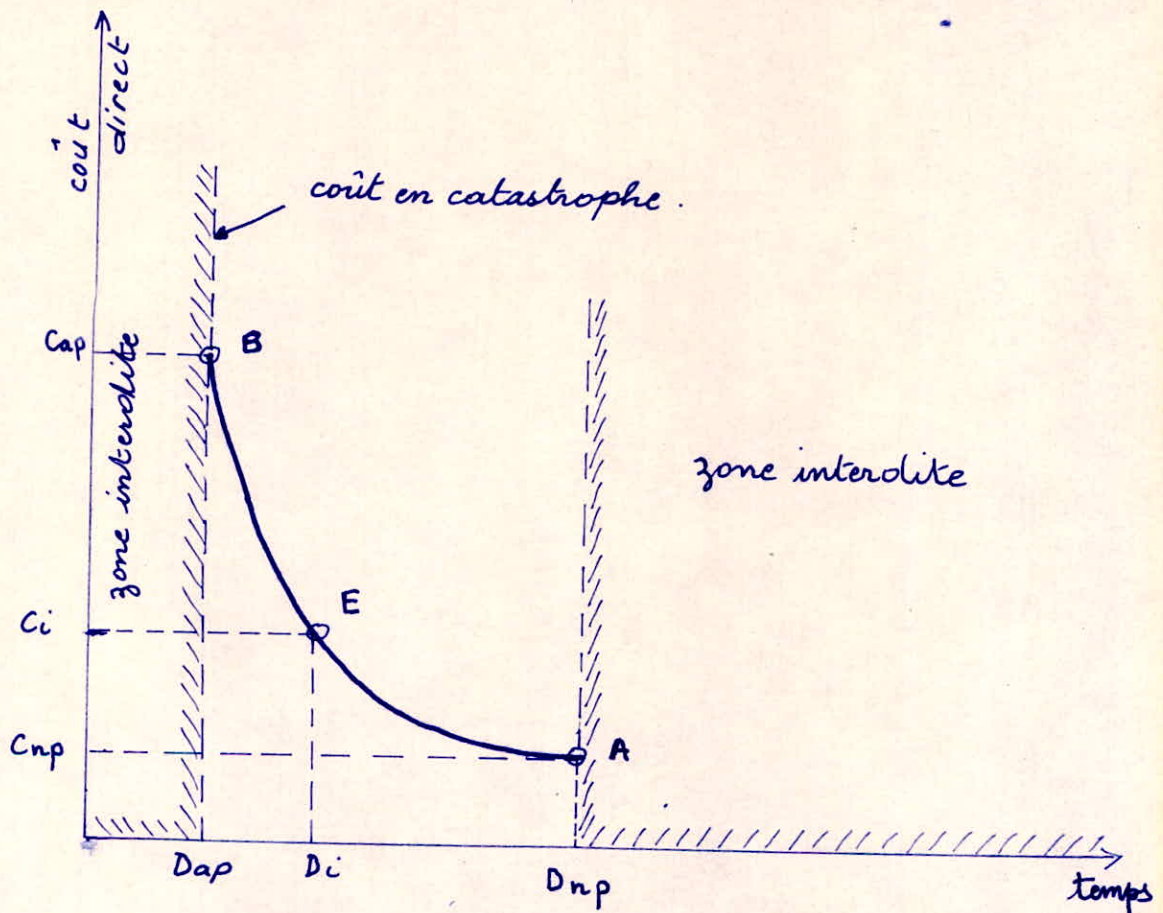
- la durée accélérée d'un projet : c'est la durée minimum (ou minimum, minimumum); pour réaliser le projet. Il n'est pas nécessaire d'accélérer toutes les activités, car dans ce cas le coût direct serait maximum

- le coût accéléré d'un projet : c'est le coût minimum pour réaliser le projet à la durée accélérée (point B sur fig 3)

$$C_{ap} \leq \sum C_{qa}$$

Si  $C_{ap} = C_{aa}$  le coût considéré est dit "en catastrophe" car on dépense en plus sans que la durée du projet ne diminue en de ça de  $D_{ap}$

Entre les deux points A et B on trace une courbe représentant la relation "coût direct - temps" d'un projet c'est une hyperbole. Pour une durée intermédiaire  $D_i$ , le coût du projet sera  $C_i$ , et le point E sur la courbe représente cette situation. Les parties hachurées sont les zones interdites



- FIG 3 - Relation coût direct - durée d'un projet

b - 2 : Coût indirect d'un projet :

C'est la somme des dépenses qui sont associées aux travaux dans leur ensemble faites pour :

- les salaires de l'administration et du personnel des bureaux.
- les dépenses de l'administration pour le téléphone, l'entretien des bureaux, pénalités éventuelles, pertes etc ...

La variation en fonction du temps est en général une courbe, mais on l'assimilera à une droite pour simplifier.

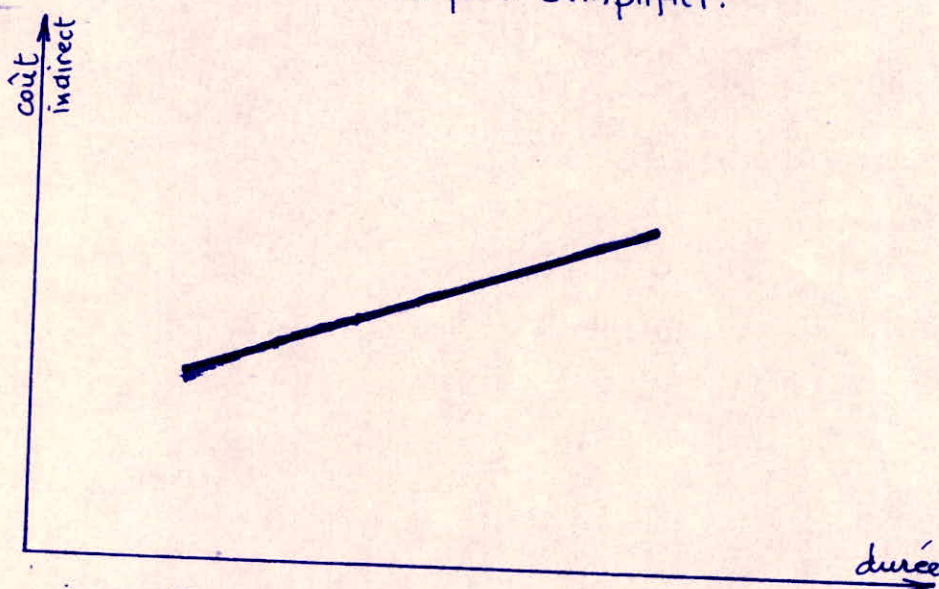


FIG:4 : Graphique du coût indirect d'un projet en  $f(t)$  :

Le coût indirect d'un projet augmente en fonction de l'augmentation de la durée de réalisation du projet.

Le coût total d'un projet est donc égal à la somme du coût direct et du coût indirect du projet.

La représentation du coût total d'un projet sera obtenue en faisant la somme des ordonnées des courbes coût direct (FIG 3) et coût indirect (FIG 4), pour chaque abscisse. On obtient ainsi la courbe de la FIG 5 page 48. ci-après.



On constate que la courbe du coût total présente un minimum qui correspond à un coût total minimum ou "coût optimum", et à une durée  $D_0$  entre  $D_n$  et  $D_a$  dite durée optimum pour les exécutants. Il résulte donc pour les entreprises exécutantes une durée  $D_{0E}$  intermédiaire entre  $D_a$  et  $D_n$ , qui correspond à un coût minimum pour l'entreprise. Celle-ci a donc intérêt à établir son calendrier de réalisation en se basant sur cette durée. En effet une réduction du délai en de ça de  $D_{0E}$  lui apportera des dépenses supplémentaires : Les statistiques ont montré que pour une réduction de 10% de la durée d'un projet représente 7% de dépenses supplémentaires pour l'entreprise de réalisation. Mais l'état (ou le client en général) est intéressée par une durée encore plus petite, car chaque diminution lui apporte de grands avantages. Citons entre autres :

- la mise en place à l'avance et l'utilisation immédiate des différents investissements. du fait de cet avancement de la mise en place de l'investissement correspondant se créent de nouvelles ressources et notamment :

- un revenu net supplémentaire qui varie en fonction du temps gagné : s'il s'agit d'une nouvelle usine, la nouvelle production est supérieure qualitativement et plus bon marché que celle existante

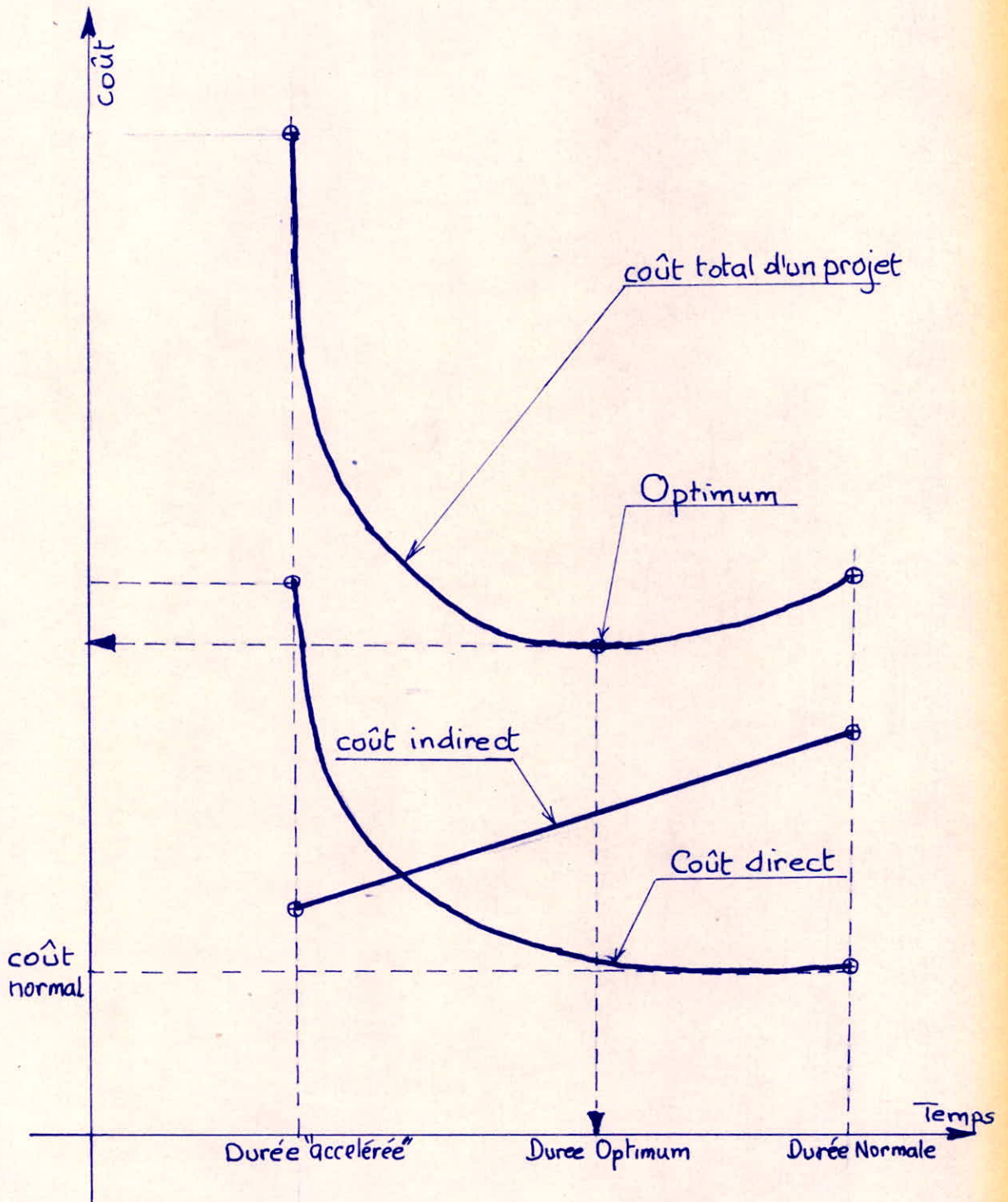


FIG 5 : Graphique "coût total d'un projet"

- Une diminution de l'effet de l'immobilisation des fonds qui varie en fonction du temps gagné également. On peut considérer que la variation en fonction du temps gagné du revenu net supplémentaire et de la diminution de l'effet d'immobilisation de fonds est linéaire. D'autres parts en faisant la somme des ordonnées des droites représentatives des revenus nets supplémentaires et de la diminution de l'effet d'immobilisation des fonds on détermine une "courbe résultante" qui est aussi une droite (enfoncé sur le graphe). La figure : 6 page 50 illustre cette situation.

Si on superpose cette courbe "résultante" à celle du coût total d'un projet considéré dans le chapitre précédent Fig: 5. On obtient la courbe des dépenses totales ou du prix de revient total de l'ouvrage en fonction de la durée ; nous résumons cela sur la figure : 7 page :

### b3 : Etude du compromis coût-temps.

Nous venons de voir que la réduction de la durée d'exécution en deçà de la durée optimum  $DOE$ , s'accompagnait pour l'entreprise exécutant les travaux, par des dépenses supplémentaires ; mais en même temps, nous avons remarqué que l'état avait au contraire intérêt à réduire encore plus cette durée, pour les avantages que nous avons déjà signalé auparavant.

L'Etude de la figure 7 page : 52 va nous permettre d'éclaircir cette apparente contradiction, et d'en tirer les conclusions qui s'imposent :

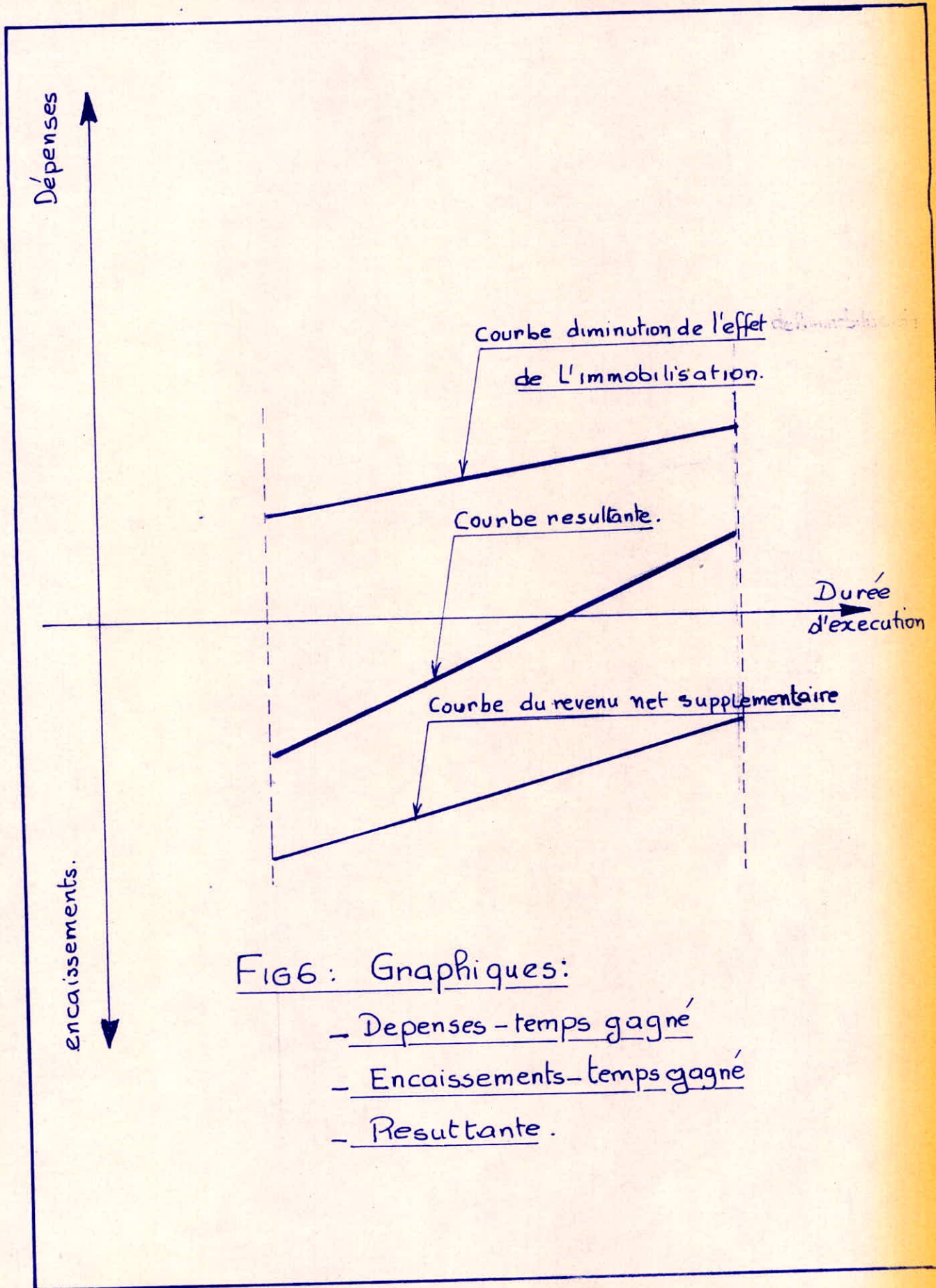


FIG 6 : Graphiques :

- Dépenses - temps gagné
- Encaissements - temps gagné
- Résultante.

La figure 7 page : 52 représente la courbe des dépenses totales de l'ouvrage qui est la résultante de la courbe du coût total du projet en fonction du temps et de la courbe des revenus net supplémentaires en fonction du temps gagné. On remarque que le minimum se déplace vers la gauche et la durée correspondante passe de  $DOE$  à  $DOEN$  où :

$DOE$  = durée optimum pour l'entreprise

$DOEN$  = durée optimum pour l'économie nationale.

Parallèlement le coût total du projet augmente pour l'entreprise exécutante (courbe (1)) ; et diminue pour l'économie nationale. (courbe résultante).

Si nous appelons :

..  $E_T$  : l'économie totale réalisée par l'état en réduisant la durée de  $DOE$  jusqu'à  $DOEN$ .

.  $DSE$  : Les dépenses supplémentaires effectuées par l'entreprise de construction pour faire passer la durée de  $DOE$  à  $DOEN$ .

Nous constatons sur le graphe que les économies réalisées par l'état permettent d'une part de rembourser l'entreprise de construction pour couvrir sa perte et d'autre part de conserver une marge bénéficiaire que nous appellerons "Gain total définitif pour l'économie nationale"  $G_{DOEN} = E_T - DSE$   
Ce bénéfice sera utilisé par l'état dans d'autres investissements, et va permettre d'améliorer les conditions de vie des populations.

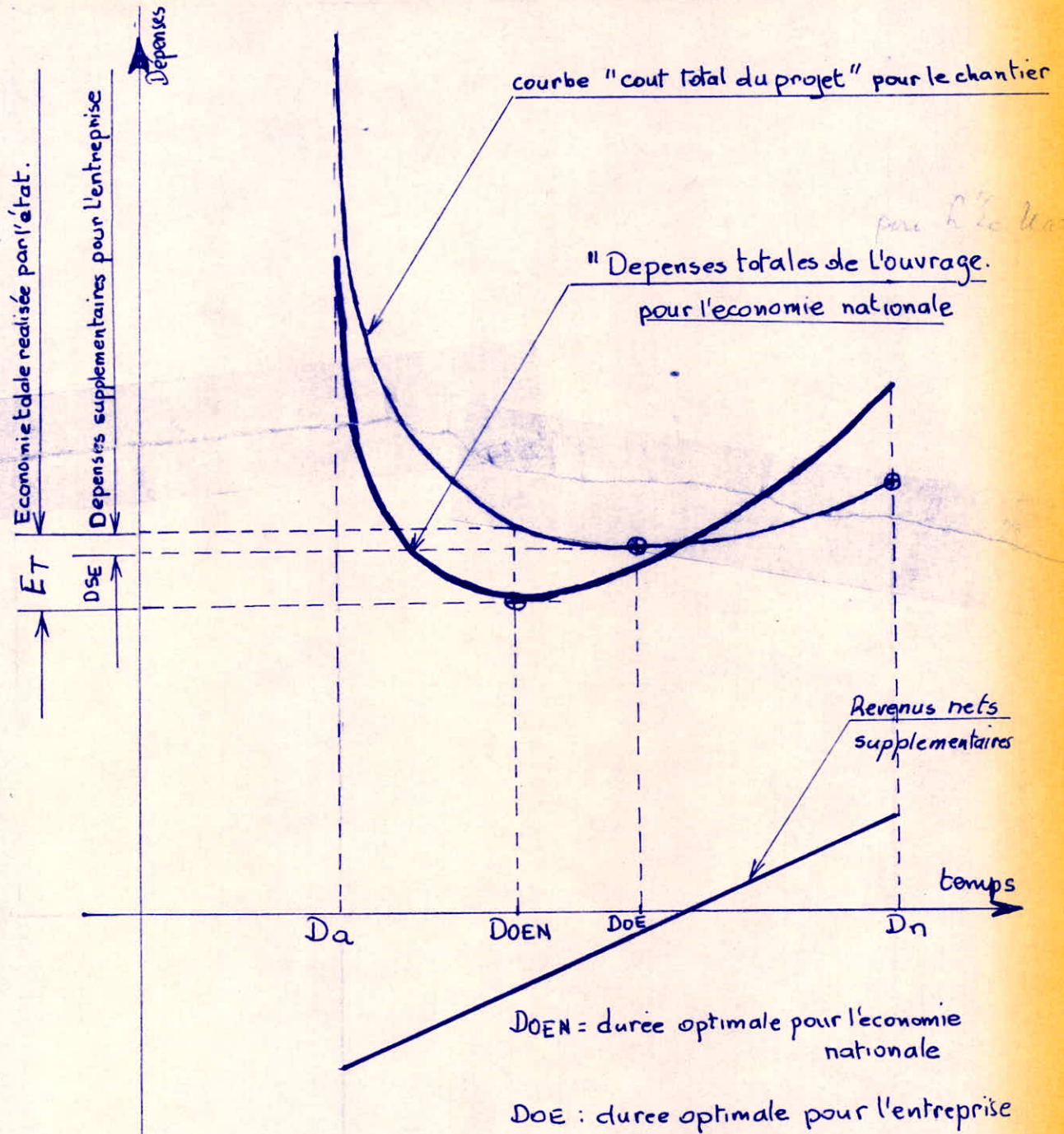


FIG 7: Graphique "Depenses totales de l'ouvrage en fonction du temps:"

DEUXIEME PARTIE  
ETUDE TECHNICO-ECONOMIQUE  
DES METHODES D'ORGANISATION  
DES PROCESSUS DE CONSTRUCTIONS.  
THEORIE + APPLICATIONS

Dans les chapitres précédents qui constituent en quelque sorte une introduction au sujet, et une base indispensable à la bonne compréhension de la suite de l'exposé, nous avons essayé de montrer l'importance de la branche de construction et ses caractères spécifiques, ensuite nous avons étudié sa structure et ses principes fondamentaux, et enfin nous avons défini les différents paramètres mis en jeu, et établi les principales relations qui les lient entre eux. Avec ces connaissances il est possible d'aborder le chapitre concernant les méthodes d'organisation proprement dites, qui est le but de cette étude.

## II MÉTHODES D'ORGANISATION DES PROCESSUS DE CONSTRUCTIONS

### A) Méthodes d'organisation des processus simples

Rappelons qu'un processus simple est un processus de construction réalisé par une formation simple de travail dénommée "équipe". Citons pour mémoire le montage du coffrage, le montage d'armature, le coulage du béton, la maçonnerie en briques etc... Chacun de ces processus est réalisé par une équipe spécialisée - équipe de coffreurs, de



ferrailleurs etc ...

En réalité dans la branche des constructions on ne rencontre que très rarement (presque jamais) des objets de constructions constitués d'un seul processus simple comme l'excavation d'une tranchée dans un terrain moyen, mais pour des considérations purement didactique et pour permettre une meilleure compréhension des méthodes d'organisation des travaux de constructions, des objets et complexes de constructions et plus tard, d'un projet entier, qui seront exposés par la suite; il est nécessaire de commencer par organiser les choses les plus simples. Il est bon de remarquer que tous les grands travaux qu'on vient de citer ne sont en réalité qu'un ensemble de processus simples. De la même manière la notion de point matériel n'a aucun sens physique, mais elle suffit pour décrire des phénomènes physiques les plus compliqués.

Il existe plusieurs méthodes d'organisation des processus simples, mais qui peuvent se réduire à ~~ces trois~~ ~~trois~~ qui sont les plus utilisées

- méthode successive
- méthode en parallèle
- méthodes intermédiaires et surtout parmi elles la méthode successive superposée.

Toutes ces méthodes se basent sur les principes suivants :

- La division du processus en  $n$  secteurs de travail (en général inégaux) :  $S^1, S^2, S^3, \dots, S^{\lambda}, \dots, S^n$

un secteur courant se note  $S_i^{\lambda}$  ou  $\lambda \in n$  ( $n$  ensemble des entiers naturels)

- Calcul des quantités de travaux du processus  $i$  pour chaque secteur  $S_i^{\lambda}$

soit  $Q_i^1, Q_i^2, Q_i^3, \dots, Q_i^{\lambda}, \dots, Q_i^n$

On calcule également pour chaque secteur :

- le volume de travail  $V_{Ti}^{\lambda}$ , en utilisant les normes de travail (temps) correspondantes  $V_{Ti}^{\lambda} = Q_i^{\lambda} \times N_{Ti}$

soit  $V_{Ti}^1, V_{Ti}^2, V_{Ti}^3, \dots, V_{Ti}^{\lambda}, \dots, V_{Ti}^n$

- l'effectif : (homme ou engin) d'après la relation

$$e_i = \frac{Q_i^{\lambda}}{N_p \times t_i^{\lambda}} \quad e_i^1 = e_i^2 = e_i^3 = \dots = e_i^{\lambda} = e_i^n = e_i$$

Conformément au principe fondamental de l'uniformité la formation de travail conserve en permanence le même effectif  $e_i$

- le module de temps : en se basant sur les résultats précédents (1<sup>re</sup> partie)  $t_i^{\lambda} = \frac{Q_i^{\lambda}}{N_{pi} \times e_i}$

On a alors :  $t_i^1, t_i^2, t_i^3, \dots, t_i^{\lambda}, \dots, t_i^n$

En pratique on part ou de l'effectif  $e_i$ , ou du module de temps  $t_i^{\lambda}$  pour déterminer le paramètre manquant.

### 1 : Méthode successive :

La méthode successive consiste en ce que le processus simple est exécuté par une seule équipe qui conserve son effectif

humain et matériel, et qui alimentée uniformément en matériaux attaque et réalise successivement les quantités de travaux sur chaque secteur.

Cette équipe (la même) entre sur le premier secteur attaque et exécute la quantité de travaux  $Q_1^{\wedge}$  correspondante en  $t_1^{\wedge}$  relèves, puis passe sur le 2<sup>e</sup> secteur et ainsi de suite jusqu'au n<sup>ème</sup> secteur.

Nous avons plusieurs manières de représenter cette activité, les plus importantes sont : le graphique linéaire GANTT et le cyclogramme des travaux qui est de loin la meilleure.

### FIG II, A1a et b

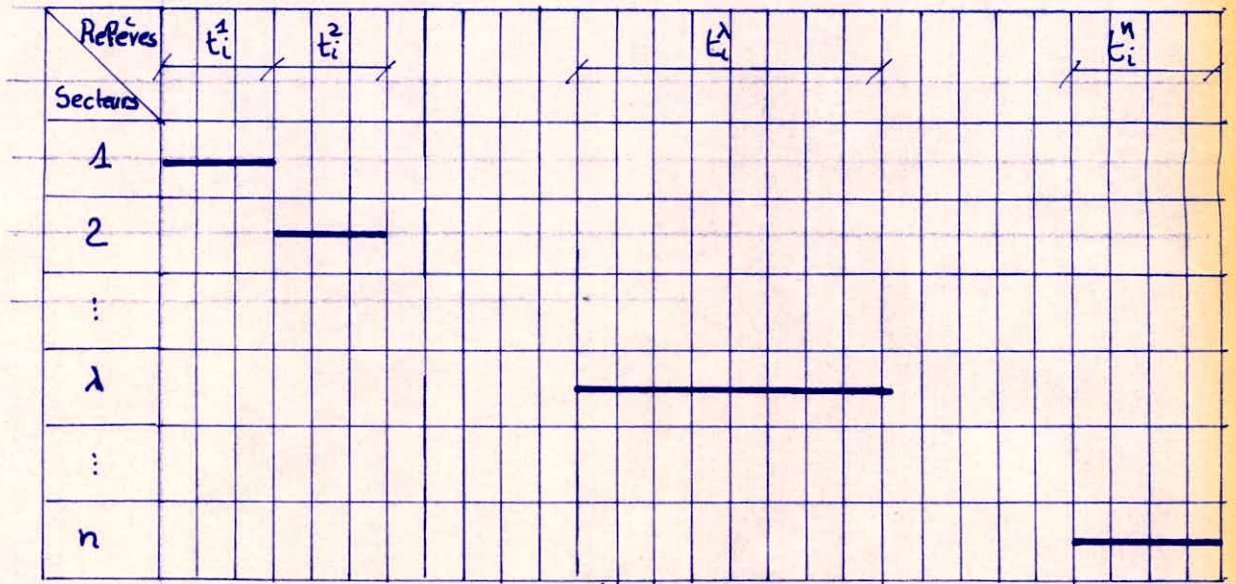
En effet, la deuxième représentation présente plusieurs avantages, notamment; elle permet:

- La lecture directe des durées de réalisation.
- Le contrôle rapide de la succession des travaux (uniformité, continuité, non chevauchement)
- Et donne une image correcte de la réalité, du mouvement de l'équipe et de la réalisation des travaux.

Il est donc recommandé d'utiliser les cyclogrammes des travaux. Sur le graphique précédent, il en résulte que la durée d'exécution

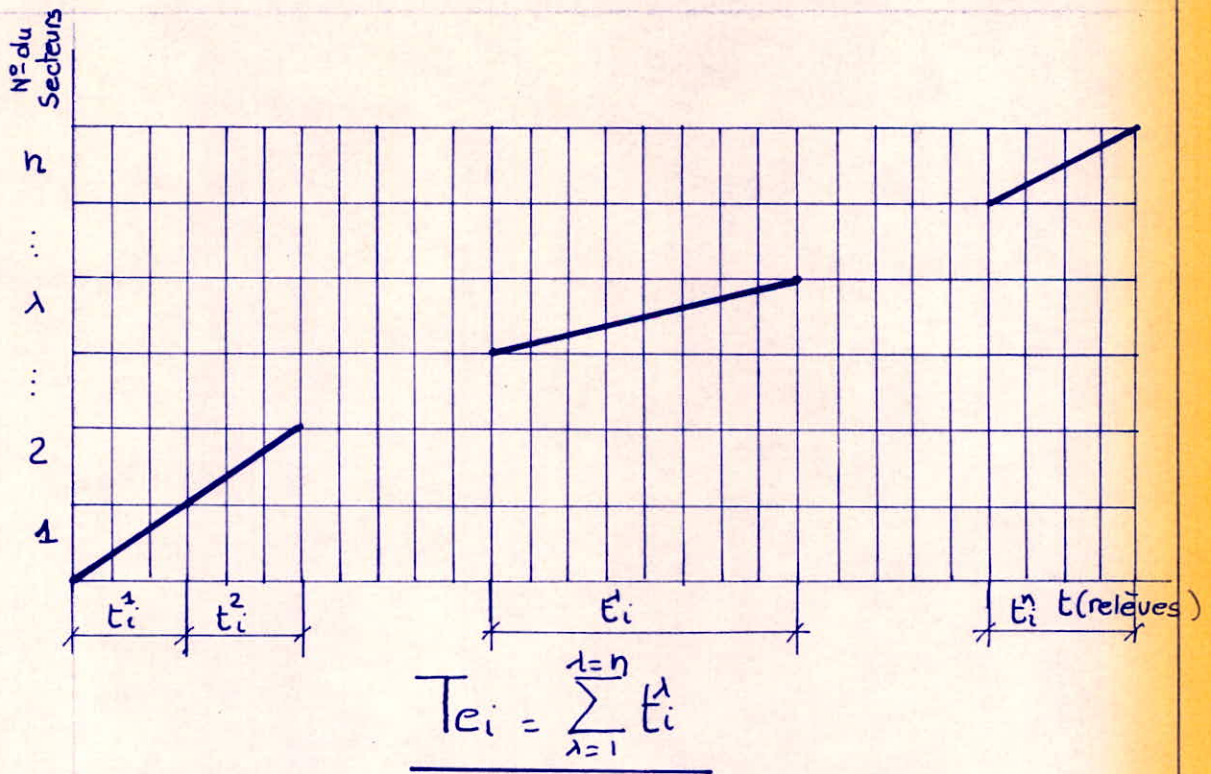
$$T_{ei} = \sum_{i=1}^{i=n} t_i$$

Pour établir correctement un cyclogramme; Il faut tenir compte des contraintes internes d'un processus simple" qui constituent les postulats suivants:



$$T_{e_i} = \sum_{\lambda=1}^{\lambda=n} t_i^{\lambda}$$

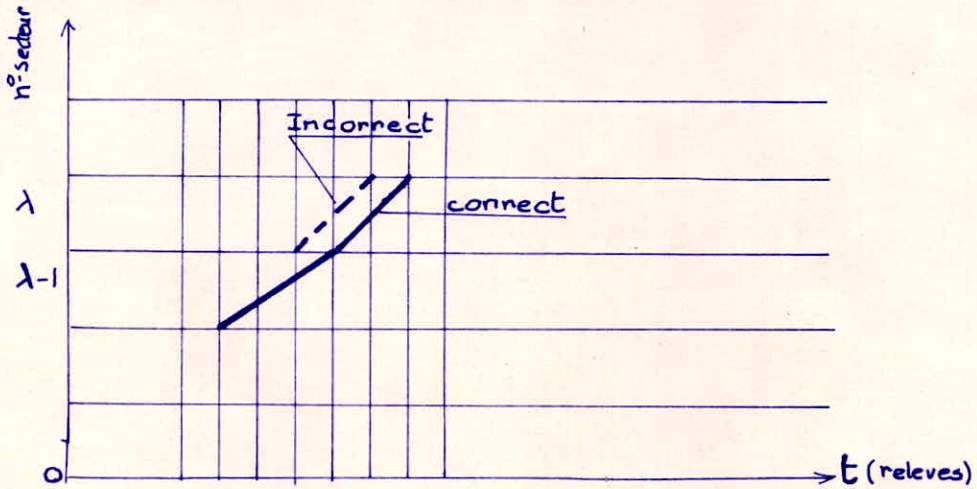
FIG II A1-a : Graphique linéaire GANTT



$$T_{e_i} = \sum_{\lambda=1}^{\lambda=n} t_i^{\lambda}$$

FIG:II, A1-b: Cyclogramme des travaux.

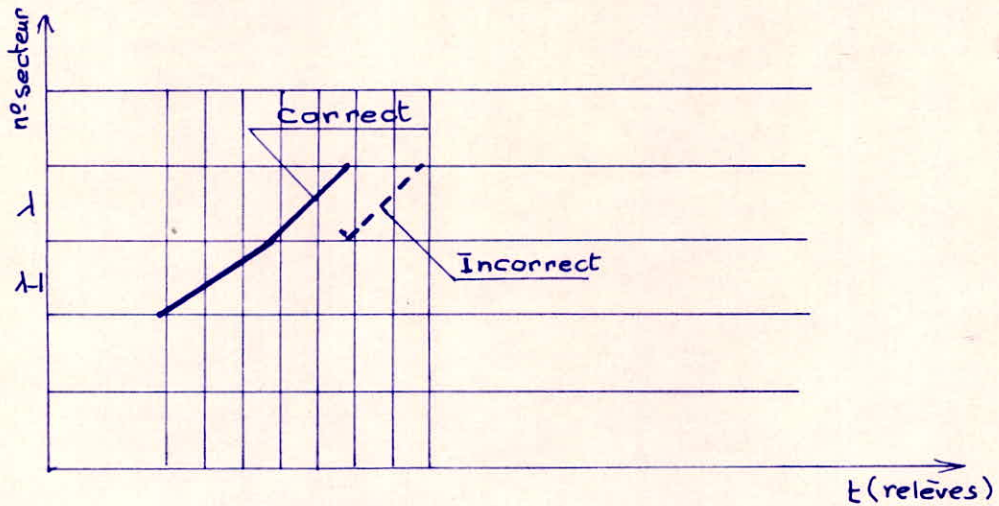
1: Postulat de non chevauchement :



Les travaux sur un secteur  $\lambda$  ne peuvent pas démarrer avant la fin des travaux sur le secteur  $\lambda-1$ .

Remarque: Il peut arriver que cette situation se présente en réalité, mais alors l'équipe est scindée en deux et on travaille avec deux formations distinctes.

2: Critère de continuité ou d'ininterrompabilité des travaux:



Les travaux sur un secteur  $\lambda$  doivent commencer juste au moment où s'achèvent les travaux sur le secteur  $\lambda-1$ ; c'est-à-dire qu'il n'est pas permis d'interrompre les travaux.

Dans le cas le plus général, les secteurs sont inégaux, les modules de temps sont aussi inégaux on dit que la succession est non rythmique. Malgré cela cette méthode d'organisation respecte les principes fondamentaux, à savoir la continuité et l'uniformité dans la production.

En effet. L'équipe conserve toujours une activité continue s'il ne manque pas de matériaux, outils ou autres matériels, mais cette faiblesse qui est d'ordre purement organisationnelles ne peut en aucun cas être imputée (attribuée) à la méthode d'organisation elle-même.

L'équipe a d'autre part un nombre constant d'ouvriers remet une même production journalière et consomme une même quantité journalière de matériaux. Chaque fois qu'on a la possibilité on préfère diviser le front de travail en secteurs égaux, du point de vue du volume de travail soit  $Q_i^1 = Q_i^{1+1}$  ; . Dans ce cas les modules de temps seront aussi égaux:  $t_i^1 = t_i^{1+1} = t_i$

Remarque:

On dit que deux secteurs sont égaux, du point de vue de leur quantité de travaux, même s'il y a entre eux une différence de  $\pm 15\%$ .

Dans le cas où :

$t_i^1 = t_i^{1+1} = \dots = t_i^n = t_i$  alors la durée d'exécution  $T_{ei}$  devient:  $T_{ei} = n t_i$  Fig II, A2

Cette méthode successive est correcte, mais elle donne des durées d'exécution trop grandes.

Nous avons montré que  $t_{ei} = \sum_{\lambda=1}^n t_i^{\lambda}$ ; donc pour diminuer la durée d'exécution  $t_{ei}$ , il est nécessaire de diminuer  $t_i^{\lambda}$ .

Le module de temps  $t_i^{\lambda}$  est donné par la relation suivante

$$t_i^{\lambda} = \frac{Q_i}{N_{pi} \times e}$$

Comme  $Q_i$  est donnée pour un processus quelconque, donc est fixé; pour diminuer  $t_i^{\lambda}$ , nous avons deux possibilités:

- La première consiste à augmenter l'effectif, mais comme nous l'avons signalé auparavant chapitre I, A4-5 et IA4-8 cette majoration a une limite "la saturation du front de travail" par conséquent elle ne présente pas un grand intérêt. Par contre,

pour la deuxième possibilité on peut améliorer la technologie en utilisant des ouvriers qualifiés et des techniques avancées, ce qui se traduit dans la relation précédente par une majoration de la norme de production  $N_{pi}$ .

Voici un exemple très concluant:

La norme  $N_{pi}$  pour la préparation du béton, varie avec la technologie adoptée.

1°) préparation manuelle:

$$N_{pi} = \frac{1}{7,40} = 0,15 \text{ m}^3/\text{h.H}$$

2°) préparation avec la bétonnière

$$N_{pi} = \frac{1}{2,50} = 0,4 \text{ m}^3/\text{h.H}$$

3°) preparation avec la centrale à beton

$$N_{p_i} = \frac{1}{0,20} = 5 \text{ m}^3/\text{h.H}$$

Donc pour des quantites de travaux égales et pour des effectifs égaux  $e_i$ , nous aurons

$$t_{eb \text{ man}} = \frac{Q_i}{0,15 e_i}$$

$$t_{eb \text{ cent}} = \frac{Q_i}{5 e_i}$$

$$\frac{t_{eb \text{ cent}}}{t_{eb \text{ man}}} = \frac{0,15}{5} = 0,03 \Rightarrow t_{eb \text{ centrale}} = 3\% t_{eb \text{ man}}$$

Donc pour le processus simple de préparation du béton, la durée d'exécution en utilisant la centrale à béton est égale à 3% de la durée d'exécution en préparant le béton manuellement et ceci pour un effectif identique.

Autre exemple : le coulage de béton :

1°) en utilisant une grue :

$$N_{p_i} / \text{beton} = \frac{1}{5} = 0,20 \text{ m}^3/\text{h.H}$$

2°) pompe à béton : (32 m<sup>3</sup>/h de débit pour 8 hommes)

$$8 \text{ hommes heure} \rightarrow 32 \text{ m}^3$$

$$\frac{8}{32} \leftarrow 1 \text{ m}^3$$

$$\Rightarrow \text{la norme de temps } N_{TCB} = \frac{8}{32} = 0,25 \text{ h.H/m}^3$$

$$\Rightarrow N_{p_{CB}} = \frac{1}{N_{TCB}} = \frac{1}{0,25} = 4 \text{ m}^3/\text{h.H}$$



d'où pour une même quantité de travaux  $Q_i$  et un même effectif

$$\frac{t_e \text{ pompe}}{t_e \text{ grue}} = \frac{4}{0,2} = 20$$

$$t_e \text{ pompe} = 20 t_e \text{ grue}.$$

Donc la durée d'exécution en utilisant une grue est 20 fois plus petite qu'en utilisant une pompe à béton.

Pour établir la technologie à utiliser on fait des calculs d'optimisation qui tiennent compte des disponibilités des ressources (matériel, matériaux, argent (fond nécessaire) etc...)

Si le facteur décisif est la durée d'exécution, on utilisera alors des technologies avancées qui conduisent à un module de temps  $t_i^\lambda$  minimum. Pour la méthode successive on obtiendra ainsi une durée d'exécution  $t_e = \sum_{\lambda=1}^{\lambda=n} t_i^\lambda$  qui sera minimum et au dessous de laquelle, la durée ne peut plus être diminuée.

Si les conditions l'imposent, par exemple s'il faut coûte que coûte achever les travaux en une durée très courte (plus petite que celle dont on vient de parler); il convient alors de changer complètement de méthode d'organisation.

## 2 : La méthode parallèle :

Exécution d'un processus simple par "méthode parallèle"

La méthode parallèle d'organisation de l'exécution d'un processus simple consiste à effectuer simultanément les travaux sur tous les secteurs de travail. On dispose alors d'autant d'équipes que de secteur, soit  $n$  équipes pour  $n$  secteurs. Chacune des équipes

rentre sur son secteur, attaque et exécute les quantités de travaux correspondantes, puis abandonne le processus. Toutes les équipes travaillent en même temps.

Nous obtenons le cyclogramme des travaux suivant :

$$\text{FIG II, A3} \quad \text{et } t_{ei} = \max(t_i^A) = t_i^n$$

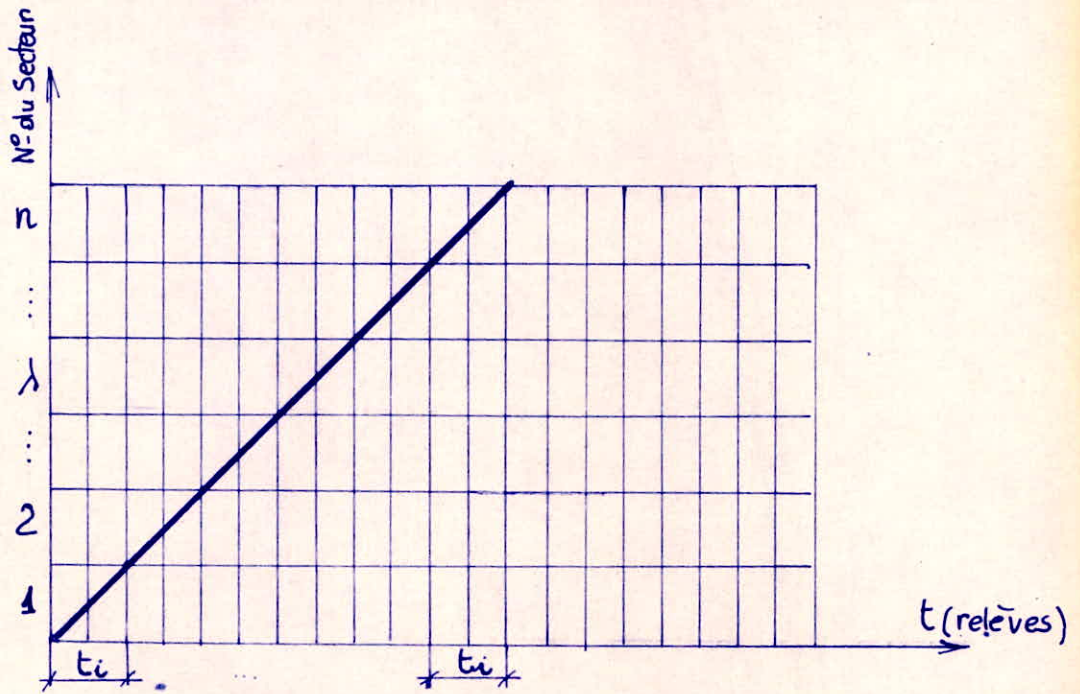
Interprétation :

On remarque que le délai de réalisation est nettement plus petit, mais la méthode a plusieurs inconvénients, en effet elle exige :

- un front total de travail disponible dès le commencement des travaux, ce qui est en général irréalisable.
- un grand nombre d'équipes qui seront obligées d'abandonner leurs postes, une fois les travaux achevés sur les  $n$  secteurs constituant le processus ceci entraîne une grande fluctuation des forces de travail
- un flux très important et continu de matériel et de matériaux, ce qui est très difficile à réaliser

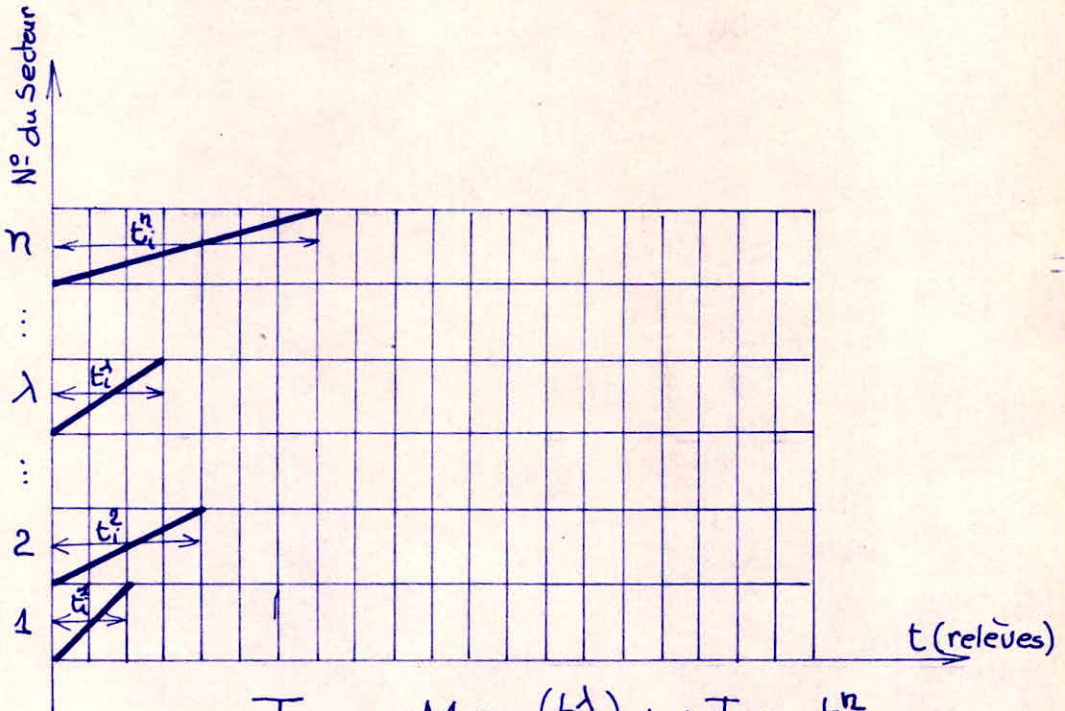
Toutes ces contraintes conduisent à des coûts supplémentaires exagérés. En définitive, bien que le délai d'exécution soit le plus petit, ce qui est très important, la méthode ne présente un intérêt réel que dans des cas très rares, tels que dans des cas d'accident, incendie puisque demandant des conditions très difficiles à réunir et entraînant des dépenses trop grandes.

Toutefois elle se révèle très efficace quand les travaux doivent être réalisés à tout prix dans une durée relativement courte, c'est



$$T_{ei} = n t_i$$

FIG II, A2: Methode successive cas  $t_i^1 = t_i^2 = t_i$



$$T_{ei} = \text{Max}(t_i^1) \text{ ici } T_{ei} = t_i^n$$

FIG II, A3: Methode en Parallèle :

le cas du rétablissement d'une circulation interrompue (rupture d'un pont ou autre ...) ou d'une section industrielle accidentée etc ...

Entre ces deux méthodes extrêmes : la méthode successive conduisant à des temps d'exécution trop longs, et la méthode parallèle dont les conditions sont difficiles à réunir et les coûts trop grands, on peut trouver un faisceau de méthodes intermédiaires qui demandent des forces de production intermédiaires et conduisant à des délais de réalisations acceptables. Ce sont donc les méthodes les plus courantes. Nous exposerons une de ces méthodes qui est la plus employée c'est la méthode successive superposée.

### 3: La méthode successive superposée :

d'exécution d'un processus simple

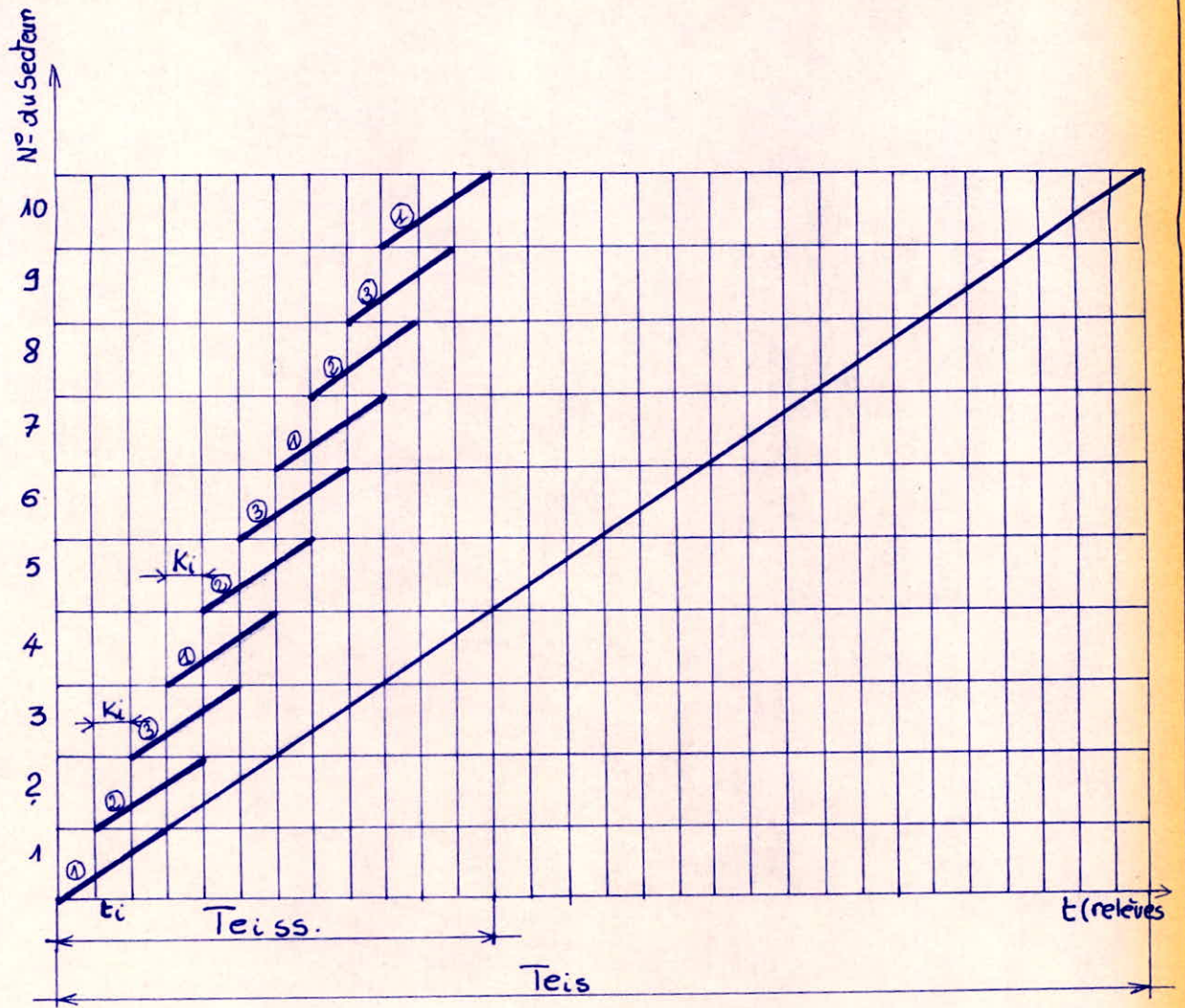
Pour permettre une exposition facile, claire et plus systématique considérons un processus simple décomposé en  $n$  secteurs égaux.

Pretons par exemple :

- nombre de secteurs :  $n = 10$  secteurs
- module de temps :  $t = 3$  relèves
- nombre d'équipes :  $b = 3$  équipes

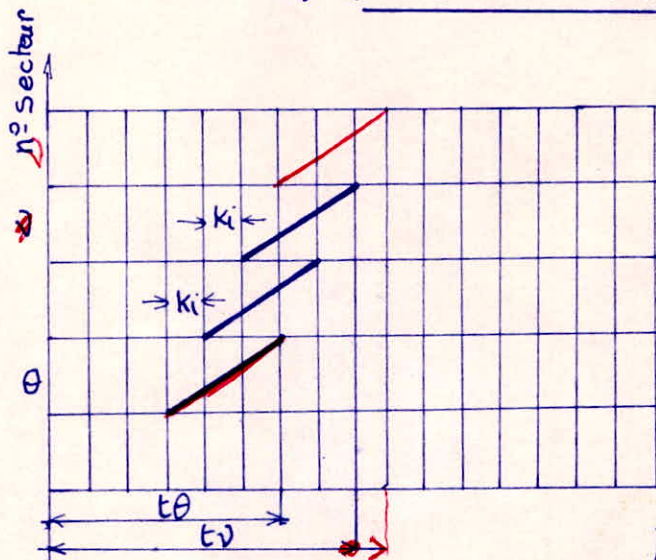
#### FIG II, A4 : CYCLOGRAMME.

Dans cette méthode on dispose d'un nombre intermédiaire d'équipes identiques que nous noterons  $b$ . La succession se fait de la manière suivante : la première équipe rentre sur le premier secteur et exécute les travaux, la seconde rentre sur le deuxième



$$\underline{Teiss = ti + (n-1)Ki}$$

FIG II, A4 : Methode successive superposée.



$t_i$  : Module de temps

$b_i$  : Equipes

$K_i$  : Module de rythmicite

$$\boxed{t_i = b_i \times K_i}$$

FIG: II, A5.

secteur (immédiatement supérieur) avec un décalage  $K_i$  par rapport à la précédente dit module de rythmicité, et ainsi de suite les équipes se suivent avec le même décalage sur des secteurs qui se suivent. Lorsque la première équipe termine les travaux sur le premier secteur, elle rejoint le secteur immédiatement supérieur libre en respectant toujours l'intervalle  $K_i$  par rapport à l'équipe travaillant sur le secteur qui se trouve juste au dessus de celui qu'elle vient d'occuper.

la durée d'exécution est  $t_{ei} = t_i + (n-1) K_i$

Remarques:

$$1) \quad t_i + (n-1) K_i < n t_i = (n-1) t_i + t_i$$

$$\text{car } K_i < t_i$$

donc

$$\underline{t_{eiss} < t_{eis}}$$

La durée d'exécution pour la méthode successive superposée est inférieure à la durée d'exécution pour la méthode successive.

2) Essayons d'étudier les contraintes nécessaires pour assurer la continuité des équipes. F

Sur un tronçon du cyclogramme considérons deux positions consécutives de la même équipe, sur les secteurs  $\theta$  et  $\nu$

voir FIG: II, A5 page: 14

$$t_\theta = t_i + (\theta - 1) K_i \quad (1)$$

$$t_\nu = t_i + (\nu - 1) K_i \quad (2)$$

La différence (2) - (1) donne

$$t_\nu - t_\theta = (\nu - \theta) K_i \quad \text{or } t_\nu - t_\theta = t_i \text{ et } \nu - \theta = b_i$$

$(2) - (1) = t_i = b_i \cdot K_i$  donc le module de rythmicité est un sous multiple du module de temps  $t_i$

En résumé pour cette méthode d'organisation nous avons abouti aux deux relations suivantes :

et

$t_{eiss} = t_i + (n-1) K_i$ $t_i = b_i K_i$
--

Comme d'autres part nous avons cinq paramètres, qui sont mis en jeu

$n$  : nombre de secteurs

$t_e$  : durée d'exécution

$b_i$  : nombre d'équipes

$t_i$  : module de temps

$K_i$  : module de rythmicité

La connaissance de trois quelconque de ces paramètres seulement suffit pour déterminer tous les autres.

exemple :  $n = 10$

$$t_{eiss} = 24$$

$$t_i = 6$$

$$t_{eiss} = t_i + (n-1) K_i \quad \text{donne}$$

$$24 = 6 + 9 K_i \quad \Rightarrow \quad 9 K_i = 18 \quad \Rightarrow \quad K_i = 2 \text{ relèves}$$

$$t_i = b_i K_i \quad \Rightarrow \quad b_i = \frac{t_i}{K_i} = \frac{6}{2} = 3 \text{ équipes}$$

Conclusion : La méthode successive superposée, respecte les principes fondamentaux de la continuité et de l'uniformité, offre une entrée échelonnée des équipes sans embouteillage possible et demande un flux intermédiaire de ressources. C'est la méthode la plus connue à utiliser, et c'est la plus utilisée.

B): Méthodes d'organisation des processus complexes:

1: Rappels:

Définition : On appellera processus complexes les processus de constructions composés telle qu'une ossature en béton armé qui sera composée des processus simples suivants :

- montage de coffrage
- montage d'armatures
- coulage de béton
- décoffrage

soit  $m$  le nombre de processus simples composants, comme pour les méthodes d'organisation des processus simples on divisera le chantier en  $n$  secteur de travail égaux ou inégaux  $S^{\lambda}$ .

On calculera pour chaque secteur et chaque processus les quantités de travaux.

$$\begin{array}{ccccccc}
 Q_1^1, & Q_1^2, & Q_1^3, & Q_1^4, & \dots & Q_1^{\lambda} & \dots & Q_1^n \text{ pour processus 1} \\
 Q_2^1, & Q_2^2, & Q_2^3, & Q_2^4, & \dots & Q_2^{\lambda} & \dots & Q_2^n \text{ pour processus 2} \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\
 Q_m^1, & Q_m^2, & Q_m^3, & \dots & Q_m^{\lambda} & \dots & Q_m^n \text{ pour processus } m.
 \end{array}$$

On calculera pour chaque secteur et chaque processus le volume de travail  $V_i^{\lambda} = Q_i^{\lambda} \times N_{T_i}$ .

$$\begin{array}{ccccccc}
 V_{T_1}^1, & V_{T_1}^2, & V_{T_1}^3 & \dots & V_{T_1}^{\lambda} & \dots & V_{T_1}^n \\
 V_{T_2}^1, & V_{T_2}^2, & V_{T_2}^3 & \dots & V_{T_2}^{\lambda} & \dots & V_{T_2}^n \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\
 V_{T_m}^1, & V_{T_m}^2, & V_{T_m}^3 & \dots & V_{T_m}^{\lambda} & \dots & V_{T_m}^n
 \end{array}$$



On calculera l'effectif (homme, engin) pour chaque processus.

$$e_i = \frac{Q_i}{N_{pi} \times t_{ei}}$$

$$e_1, e_2, e_3, e_4, \dots, e_i, \dots, e_m$$

On calculera le module de temps sur chaque secteur et pour chaque processus  $t_i^\lambda = Q_i^\lambda / N_{pi} \times e_i$  on aura :

$$t_1^1, t_1^2, t_1^3, \dots, t_1^m \quad \text{pour le processus 1}$$

$$t_2^1, t_2^2, t_2^3, \dots, t_2^m \quad \text{pour le processus 2}$$

⋮

$$t_i^1, t_i^2, t_i^3, \dots, t_i^m \quad \text{pour le processus } i$$

$$t_m^1, t_m^2, t_m^3, \dots, t_m^m \quad \text{pour le processus } m$$

puis on déterminera la succession des processus simples composants.

Avant d'aborder la méthode successive, nous allons définir la notion de "pas" ou contrainte résultante.

definition: Le pas est la période de temps entre les commencements des processus  $i$  et  $i+1$  sur le même secteur  $\lambda$ .

FIG II, B1-a

$$\text{Calcul du pas : } K_i^\lambda = t_i^\lambda + \Delta_i^\lambda = t_i^\lambda (1 + \Delta_i^\lambda / t_i^\lambda) = t_i^\lambda \alpha_i^\lambda$$

$$\text{avec } \alpha_i^\lambda = 1 + \Delta_i^\lambda / t_i^\lambda$$

Pour un secteur donné le pas est donc proportionnel au module de temps, et en fonction des valeurs que peut prendre le coefficient de proportionnalité  $\alpha_i^\lambda$  nous distinguons les quatre cas suivants

1°) cas :

$$\alpha_i^\lambda = 1 \Rightarrow K_i^\lambda = t_i^\lambda \quad \text{et} \quad \Delta_i^\lambda = 0 \quad \text{on obtiendra}$$

alors le schéma de la fig II, B1-b.

On constate que le processus  $i+1$  commence immédiatement à la fin du processus  $i$  sur le secteur  $\lambda$  considéré on est alors en présence du "phénomène de synchronisation" qui en général s'impose.

2<sup>e</sup> cas :

$$\begin{aligned} \alpha_i^{\lambda} > 1 &\Rightarrow K_i^{\lambda} > t_i^{\lambda} \\ &\Rightarrow K_i^{\lambda} = t_i^{\lambda} + \tau_i^{\lambda} \end{aligned}$$

Sur le secteur  $\lambda$  le processus  $i+1$  commence après la fin du processus  $i$  avec un décalage  $\tau_i^{\lambda}$  qui peut être de deux natures différentes. FIG II, B1-c

- décalage de nature organisationnelle : c'est-à-dire prévu intentionnellement pour permettre une synchronisation sur un processus postérieur

- décalage de nature technologique : celui-ci est dû aux contraintes du processus antérieur, assurer les différentes attentes par exemple le durcissement du béton.

Le démontage des éléments qui ne supportent aucune charge faces verticales des poteaux et poutres se fait quarante huit heures après le bétonnage.

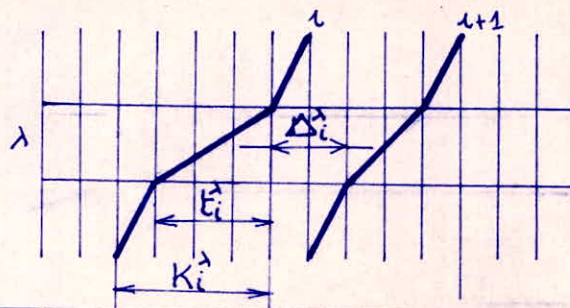
Le décoffrage ou l'enlèvement des supports qui maintiennent l'ossature des éléments du béton se fait au bout du 10<sup>ème</sup> et même 23<sup>ème</sup> jour pour les poutres porteuses.

Le séchage du gobelet attend une semaine pour être suivi du crepis

3<sup>e</sup> cas :

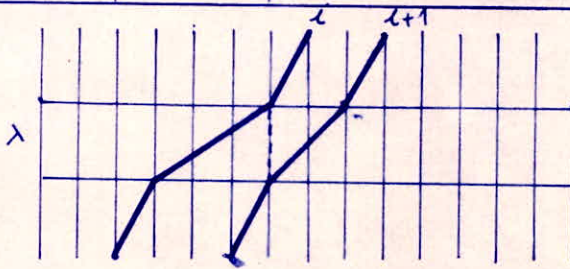
a- cas général

$$K_i^{\lambda} = t_i^{\lambda} + \Delta_i^{\lambda}$$



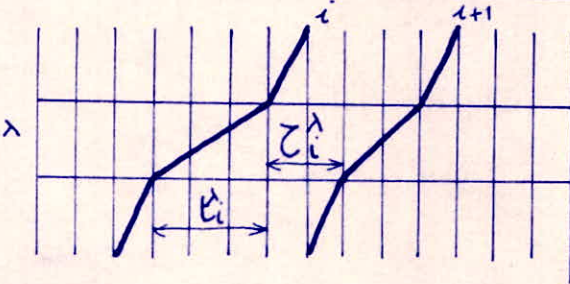
b- Cas: α\_i^λ = 1

$$K_i^{\lambda} = t_i^{\lambda}$$



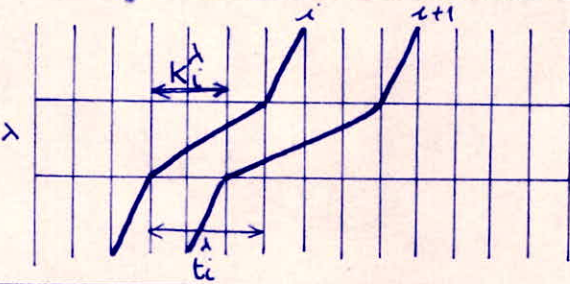
c- cas α\_i^λ > 1

$$K_i^{\lambda} = t_i^{\lambda} + \tau_i^{\lambda}$$



d- cas: α\_i^λ < 1

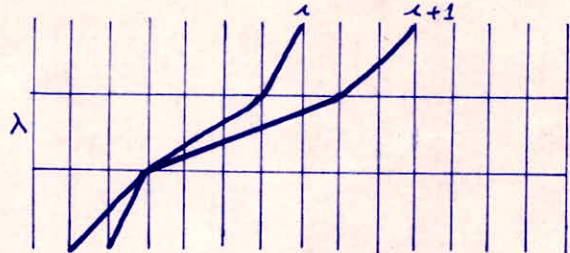
$$K_i^{\lambda} < t_i^{\lambda}$$



e- cas: α\_i^λ < 0 et

$$K_i^{\lambda} \leq 0$$

$$K_i^{\lambda} = 0$$



f- Cas: α\_i^λ < 0 et K\_i^λ < 0

$$K_i^{\lambda} < 0$$

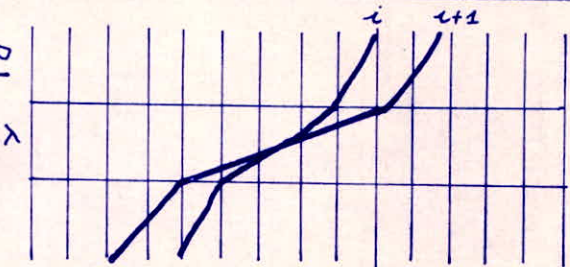


FIG II, B1 : LE PAS : Différents cas possibles:

$$\alpha_i^A < 1 \Rightarrow K_i^A < t_i^A$$

FIG II, B1-d

Il peut arriver pour une raison ou pour une autre qu'un processus quelconque débute avant l'achèvement du précédent, il faut alors prendre des mesures de sécurité exceptionnelles prévenir les risques d'accident qui peuvent résulter de ce chevauchement ce cas est en général à éviter.

4) cas

$$\alpha_i^A \leq 0 \Rightarrow K_i^A \leq 0 \text{ ceci entraîne}$$

a)  $K_i^A = 0$  c'est à dire que le processus  $i$  et  $i+1$  débutent ensemble sur le même secteur : FIG II, B1-e

b)  $K_i^A < 0$  le processus  $i+1$  débute avant le processus  $i$

FIG II, B1-f.

Ces deux derniers cas sont à rejeter complètement car le critère de non chevauchement n'est pas respecté. En définitive seuls les deux premiers cas seront à retenir, et sont les plus fréquents et en particulier on essayera de synchroniser chaque fois qu'il sera possible.

## 2: Méthode successive :

Pour l'étude de cette méthode on considèrera que l'on a un processus complexe composé de  $m$  processus simples,  $m$  secteurs inégaux et  $m$  équipes. Chaque processus étant réalisé par une équipe spécialisée, on déterminera d'abord les quantités de travaux  $Q_i^A$ , puis connaissant le module de temps pour chaque processus

imposé en général) il est facile de déduire l'effectif correspondant, les normes de productions étant tirées des catalogues en fonction des technologies employées.

La méthode successive consiste à réaliser successivement les processus simples composants, ces processus étant chacun des successions non rythmiques (c'est à dire chaque processus simple y est réalisé selon la méthode successive et dont les modules de temps sont différents d'un secteur à un autre  $t_i^A \neq t_{i+1}^A$ )

On établit alors le cyclogramme suivant : FIG II, B2

On obtient la durée de réalisation suivante : pour tous les processus

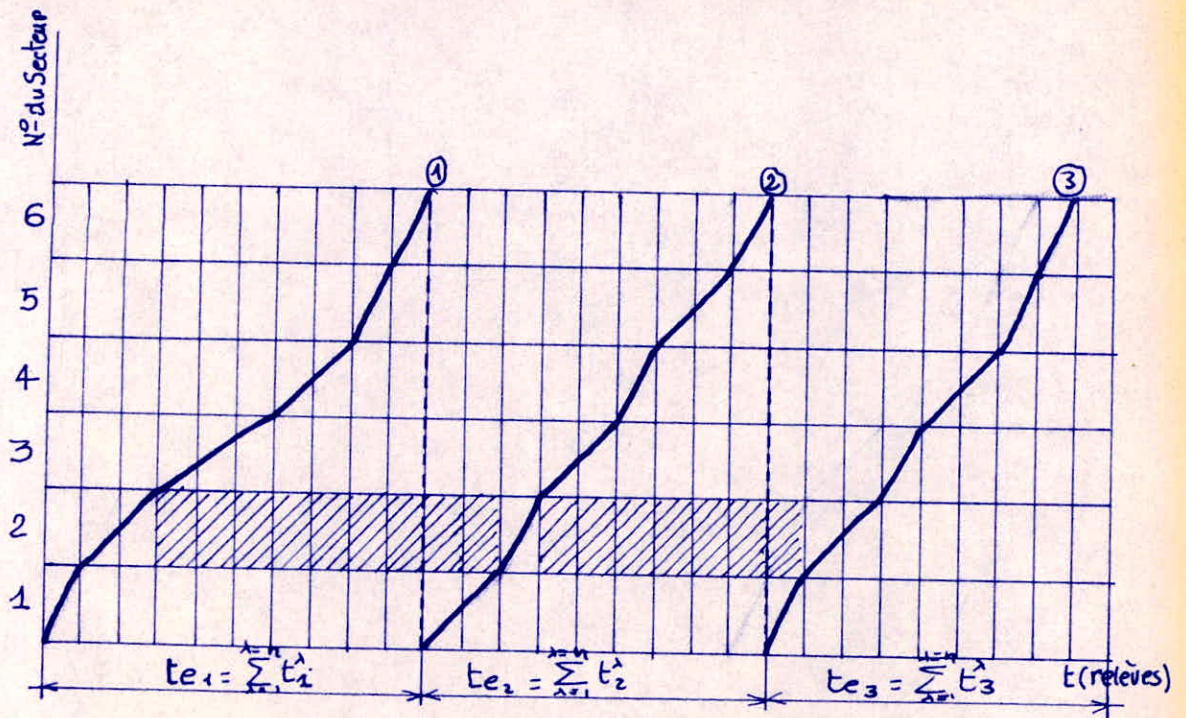
$$t_c = \sum_{L=1}^m \sum_{\lambda=1}^n t_i^A$$

Cette méthode respecte le principe de continuité et de non chevauchement. Elle utilise un nombre d'équipes égal au nombre de processus mais elle a une grande durée de réalisation et une grande période d'inactivité du chantier d'un processus à un autre (pendant qu'une spécialisée travaille les autres équipes ne font rien) ce qui entraîne un grand un grand décalage entre les commencements de deux processus  $i$  et  $i+1$  sur un même secteur  $\lambda$

$t_i^A$  très grand (voir

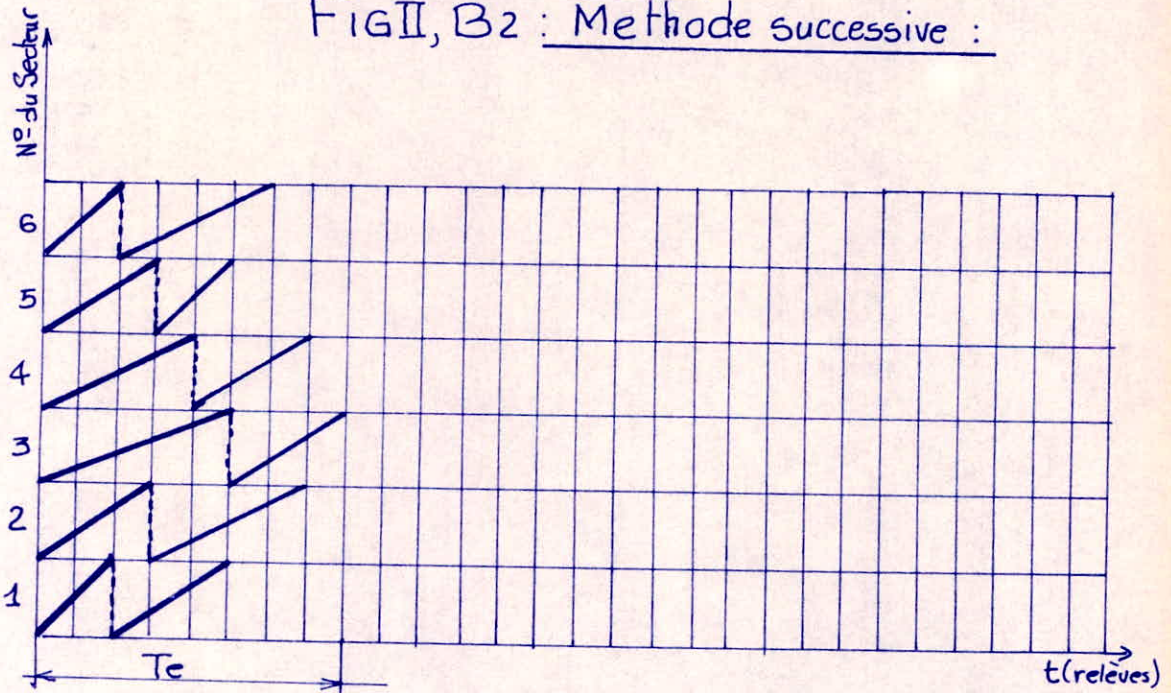
Ce grand décalage peut nuire aux travaux ou processus antécédant par exemple si les fouilles attendent longtemps le coulage du béton en fondation elles risquent d'ébouler.

Il existe plusieurs manières d'améliorer la méthode successive, nous traiterons la question dans les chapitres suivants



$$T_e = \sum_{l=1}^{i=m} \sum_{\lambda=1}^n t_i^{\lambda}$$

FIG II, B2 : Methode successive :



$$T_e = \max \sum_{i=1}^{i=m} t_i^{\lambda}$$

FIG:II, B3 : Methode en parallele :

### 3. Méthode en parallèle:

Cette méthode consiste à exécuter pour chaque processus simultanément sur les  $n$  secteurs les quantités de travaux  $Q_i^A$  à réaliser en respectant la synchronisation entre les différents processus sur chaque secteur. On obtient le cyclogramme de la figure FIG II, B3.

Pour cette méthode nous aurons la durée d'exécution qui sera égale à  $T_e = \max \sum_{i=1}^{l=m} t_i^A$  ; sur le cyclogramme on a  $T_e = \sum_{i=1}^{l=m} t_i^2$

Le besoin en main d'œuvre sera de  $n$  équipes par processus, donc pour les  $m$  processus on aura:  $m \times n$  équipes. L'avantage de cette méthode est la durée de réalisation qui sera très courtes.

Le chantier sera en pleine activité, et demandera beaucoup de forces de travail, qui seront par conséquent très mal utilisées à cause de l'espace restreint pour l'exécution des travaux. Cette méthode nous donnera une valeur du décalage  $Z_i^A$  nulle car on a synchronisation sur tous les secteurs entre chaque processus:  $t_i^A = K_i^A$ .

Comme nous l'avons déjà signalé, cette méthode présente beaucoup d'inconvénients. Elle est rarement utilisée.

---

Lors de l'étude de la méthode successive, nous avons soulevé le problème de la grande durée d'exécution qu'elle entraîne et surtout de longues périodes d'inactivité absolue, entre la fin d'un processus et le début du suivant, pendant les quelles le chantier dort. (Parties hachurées sur le cyclogramme de la FIG II, B2). Pour tenter d'améliorer la méthode nous, nous attaquerons donc particulièrement à cet aspect de la question en réduisant au maximum ces temps morts. Un procédé simple et qui ne nécessite aucun surplus de ressources, donc sans augmenter le coût, consiste à décaler successivement un processus quelconque  $i+1$  vers le précédent  $i$  jusqu'à ce que l'on obtienne une synchronisation sur au moins un secteur, tout en respectant les principes de continuité et de non-chevauchement.

La Figure FIG II, B4 page: 26 illustre ce Procédé:

Nous déplaçons le processus  $i+1$  vers le processus  $i$  ( $B \rightarrow B' \rightarrow B''$ ) jusqu'à ce que l'on obtienne une synchronisation sur un secteur (ici sur le 6<sup>e</sup> secteur). Au delà de cette position, nous aurons un chevauchement sur le 6<sup>e</sup> secteur; ce qui n'est pas permis. Donc le processus  $i+1$  démarre en  $B''$ . Nous avons ainsi ramené gratuitement la durée de  $OC$  à  $OC'$ .

L'Idéal c'est d'arriver à synchroniser chaque processus avec son précédent sur au moins un secteur. Celle qui réalise la synchronisation de tous les processus simples, sur au moins un secteur, est dite "Méthode en Continu" ou "Méthode à la chaîne".



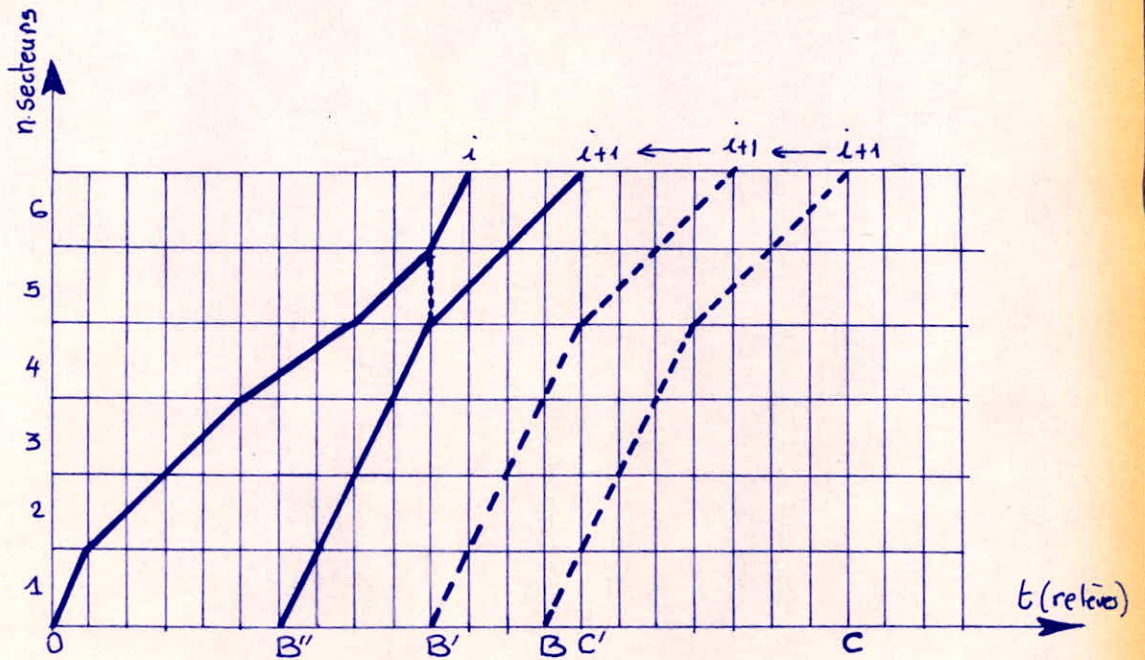


FIG II, B4 : Synchronisation :

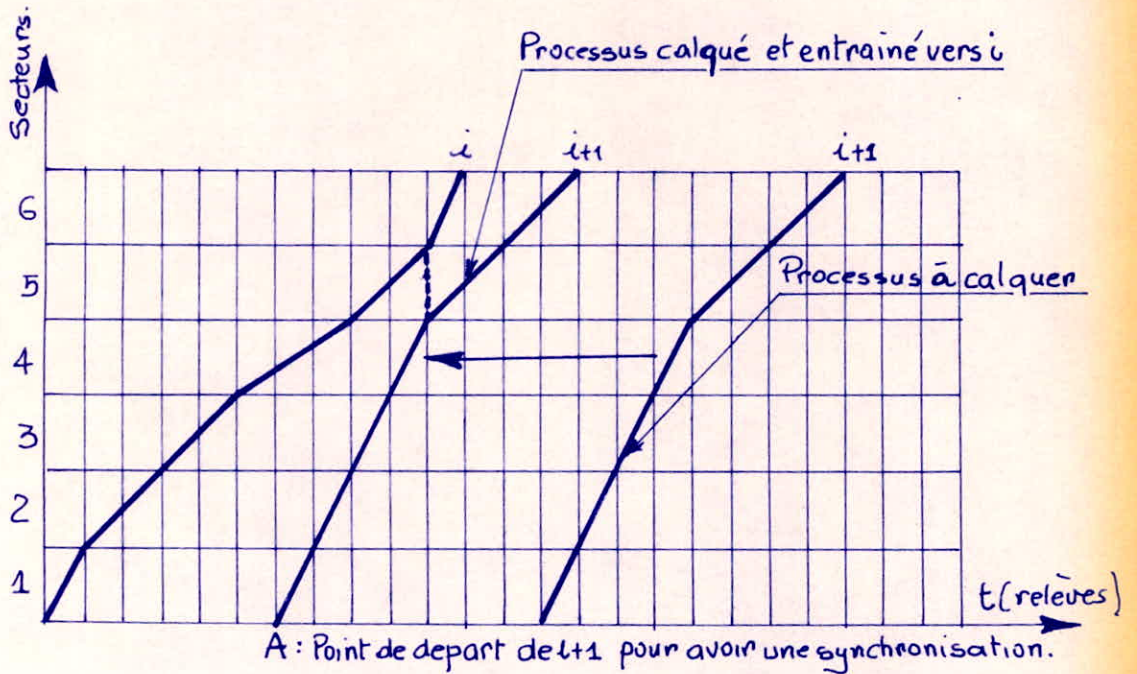


FIG II, B7 : Procedé de Synchronisation utilisant le calque :

#### 4 - Méthode à la chaîne:

##### 4-1 : Principe de la méthode :

La méthode d'exécution à la chaîne ou "en continu" d'une construction composée de plusieurs activités (ou processus), sur des secteurs de travail inégaux, consiste dans la réalisation des processus composants (appelés chaînes partielles), par des successions non rythmiques synchronisées entre elles. Chaque processus est exécuté par une équipe spécialisée ; d'effectif constant, dotée de tous les équipements et outils nécessaires ; cette équipe passe d'une manière continue d'un secteur à un autre. Sur chaque secteur les équipes se succèdent les unes après les autres, elles exécutent les travaux dans un ordre imposé par la technologie et de telle sorte que le décalage entre une équipe et la suivante soit aussi petit que possible ( $\tau_i$  minimum).

Les paramètres de base d'une chaîne de travail sont :

- Le nombre de processus composants ( $m$ )
- Le nombre de secteurs de travail ( $n$ )
- Le module de temps ( $t_i$ )
- le pas  $K_i$ .

Pour le calcul de la durée d'exécution correspondant à cette méthode; nous avons représenté ce mode d'exécution des travaux en "continu" par le cyclogramme de la figure:

FIG II, B5 page : 81

La date de fin d'exécution du dernier processus composant j l'ensemble de l'ouvrage, donne la durée d'exécution de la construction. En se basant sur ce graphe on peut donner une formulation mathématique des résultats obtenus:

$$T_e = \sum_{i=1}^{i=m} t_i^1 + \sum_{i=1}^{i=m-1} \tau_i^1 + \sum_{\lambda=2}^{\lambda=n} t_m^\lambda$$

Où  $\tau_i^1$  est le décalage organisationnel du processus i sur le secteur 1. Si de plus, il existe un décalage technologique du processus i sur le secteur 1, que nous notons  $\Delta_i^1$ , la durée d'exécution devient alors:

$$T_e = \sum_{i=1}^{i=m} t_i^1 + \sum_{i=1}^{i=m-1} \tau_i^1 + \sum_{i=1}^{i=m-1} \Delta_i^1 + \sum_{\lambda=2}^{\lambda=n} t_m^\lambda$$

Chaque fois qu'il sera possible, il est recommandé d'utiliser le même module de temps  $t_i^1 = t$  pour tous les secteurs et pour tous les processus on obtient alors: FIG II, B6 page 81

$$\sum_{i=1}^{i=m-1} \tau_i^1 = 0$$

$$\sum_{i=1}^{i=m} t_i^1 = mt$$

$$\sum_{\lambda=2}^{\lambda=n} t_i^\lambda = (n-1)t$$

et la durée d'exécution sera:

$$T_e = (m+n-1)t + \sum_{i=1}^{m-1} \Delta_i^1$$

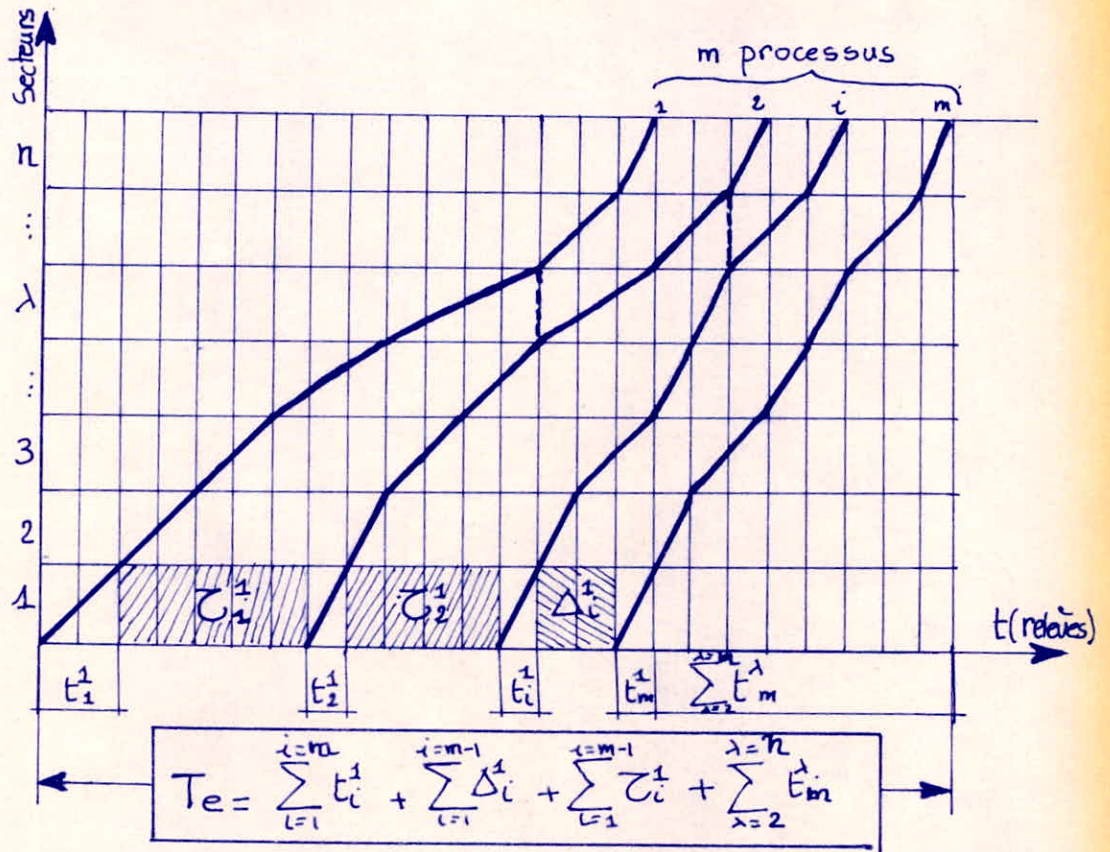


FIG II, B5 : Methode en "continu". CAS Général :

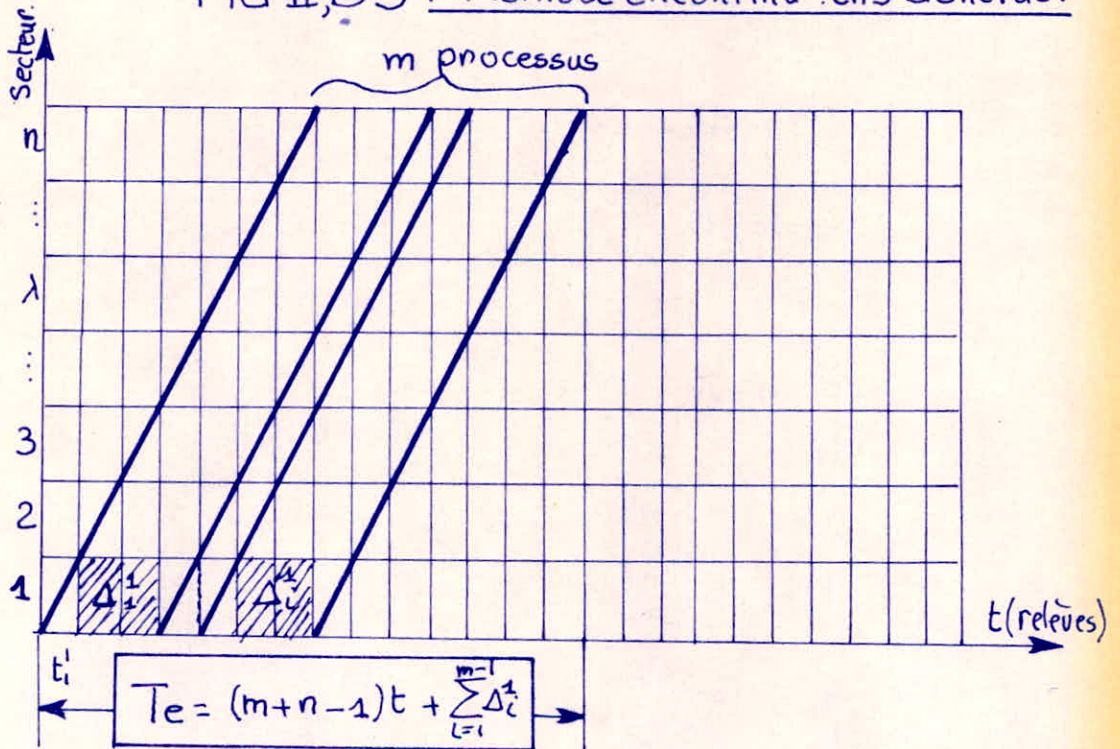


FIG II, B6 : Cas Particulier où  $t_i^\lambda = cte$  : Methode en "bandes" :

Ce dernier type d'organisation est dénommé "organisation en flux continu" ou "en bandes", c'est une méthode qui peut être utilisée pour des travaux homogènes sur toute leur étendue, dans ces conditions elle donne de meilleurs résultats.

#### 4.2 : Etude du phénomène de Synchronisation :

Comme on vient de le remarquer (Fig II, B4), le problème était de déterminer le moment de démarrage du processus  $i+1$  de manière à avoir au moins une synchronisation sur un secteur. Pour obtenir cette synchronisation et donc le point de départ du dit processus, nous disposons de deux (2) méthodes: Une méthode graphique et une méthode analytique.

##### 4.2-1 : méthode graphique:

a- Un premier procédé consiste à calquer sur une feuille transparente, le cyclogramme du processus  $i+1$ , puis à faire glisser ce calque vers le processus  $i$ , jusqu'à ce que sur un secteur le début du processus  $i+1$  corresponde exactement avec la fin du processus  $i$ , sur ce même secteur, on a alors synchronisation des deux processus sur ce secteur. Il est bon de remarquer qu'au delà de cette position, il y aura chevauchement, ce qui est interdit. Le point A (Fig II, B7) correspondant sur l'axe des temps, donne le moment de démarrage que nous recherchons: Le décalage ainsi obtenu sera minimum. On refait le même travail pour synchroniser le processus  $i+2$  avec le processus  $i+1$  sur ou moins un secteur et ainsi de suite... FIG II, B7 page: 78

-b- Un deuxième procédé utilise les principes fondamentaux de continuité et de non chevauchement :

On porte d'abord sur le cyclogramme le processus  $i$ , puis en supposant qu'il y'a synchronisation sur tous les secteurs nous traçons le processus  $i+1$ .

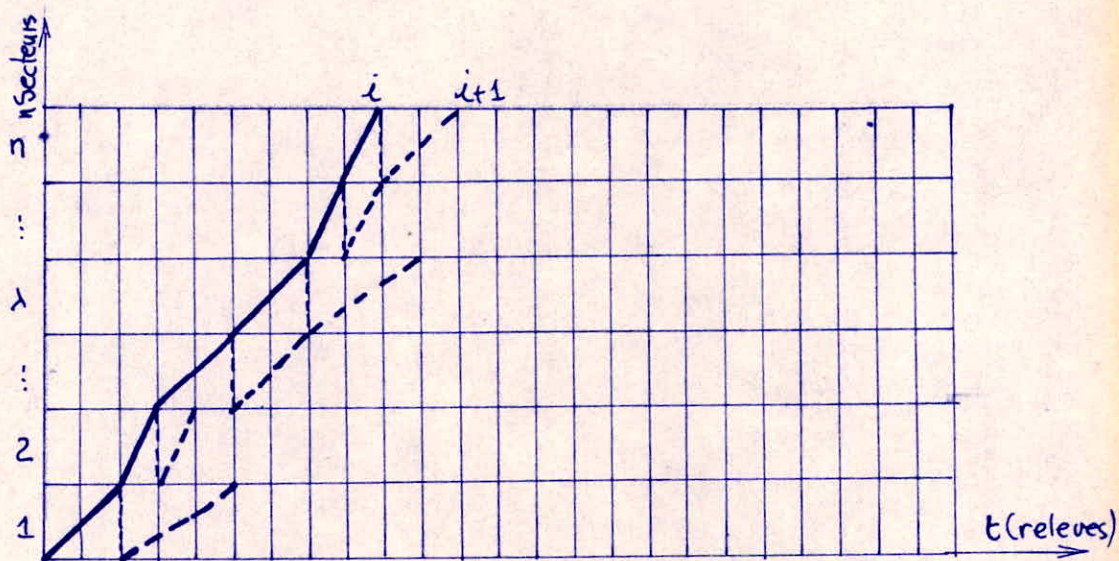


FIG II, B8 : Synchronisation (b)

Nous constatons que les principes fondamentaux ne sont pas respectés. Par conséquent, partant des deux postulats précités, on arrange le processus  $i+1$  (en pointillé sur FIG II, B8) de manière à avoir synchronisation sur un secteur tout en respectant ces postulats de continuité et de non chevauchement.

Afin d'illustrer ce procédé considérons l'exemple suivant :

Secteur	1	2	3	4	5	6
$t_1^A$	1	2	3	3	2	1
$t_2^A$	1	1	1	1	2	2

Le cyclogramme des travaux correspondant est donnée par la FIG II, B9 p 84

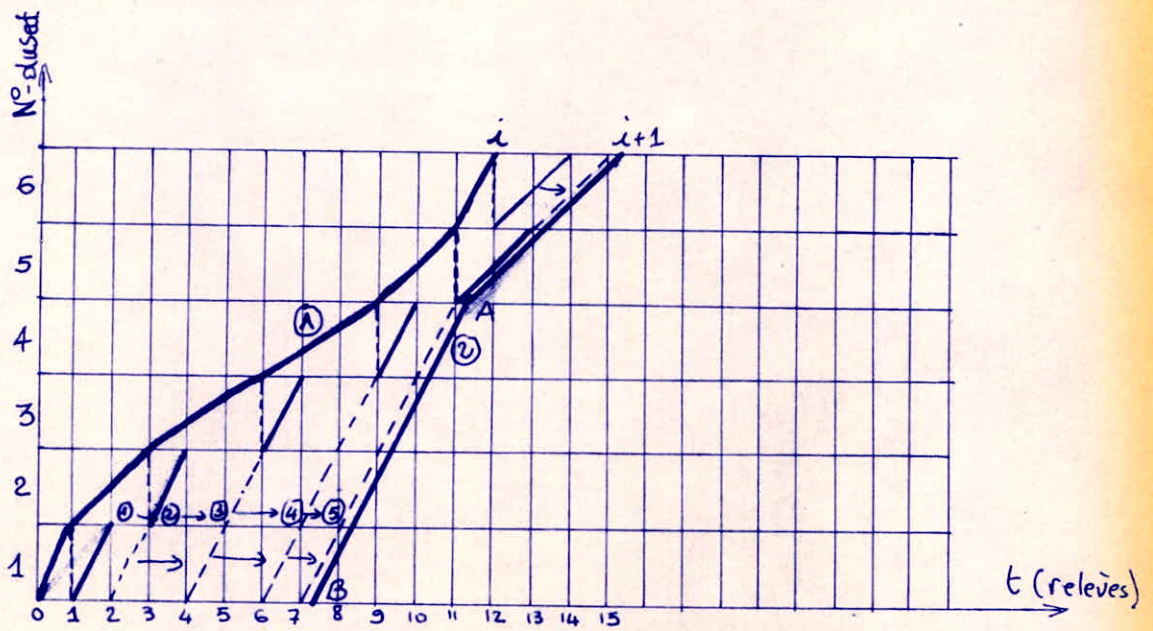


FIG II, B9 : Exemple de synchronisation (b)

Le processus ② est ainsi synchronisé sur le secteur 5 avec le processus ①. Le point A correspondant au démarrage du processus ② se trouve au bout de la 7<sup>e</sup> relève. Le décalage organisationnel ainsi obtenu sera  $\tau_1^1 = OA - t_1^1 = 7 - 6 = 6$  relèves. On ne peut pas diminuer plus ce décalage organisationnel car on risque de chevaucher sur le 5<sup>e</sup> secteur.

#### 4-2-2 Méthode analytique de détermination du début d'un processus pour obtenir une synchronisation sur un secteur quelconque:

Supposons que nous avons une synchronisation sur un secteur quelconque  $l$  : (FIG II, B10)  
 Considérons le contour polygonale fermé ABCDBEA ; nous savons (Règles de Chasles) que la projection sur un axe d'un contour polygonal fermé est nulle si l'on parcourt le contour dans un même sens.

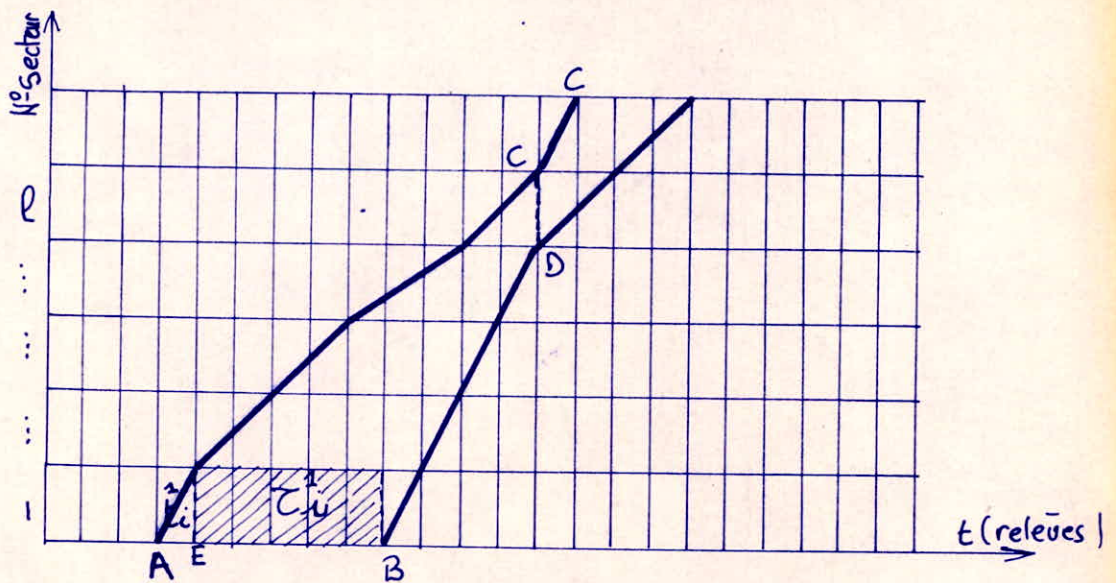


FIG II, B10 : Determination du décalage organisationnel.

Projetons donc ABCDBBA sur l'axe des abscisses

Proj. AC sur  $\vec{ot}$  :  $\rightsquigarrow \sum_{\lambda=1}^{\lambda=l} t_{\lambda}^{\lambda}$

Proj. CD sur  $\vec{ot}$  :  $\rightsquigarrow$

Proj. DB sur  $\vec{ot}$  :  $\rightsquigarrow - \sum_{\lambda=1}^{\lambda=l-1} t_{\lambda+1}^{\lambda}$

Proj. BE sur  $\vec{ot}$  :  $\rightsquigarrow - \tau_c^1$

Proj. EA sur  $\vec{ot}$  :  $\rightsquigarrow - t_c^1$

Leur somme est nulle

$$\sum_{\lambda=1}^{\lambda=l} t_{\lambda}^{\lambda} - \sum_{\lambda=1}^{\lambda=l-1} t_{\lambda+1}^{\lambda} - \tau_c^1 - t_c^1 = 0$$

$$\sum_{\lambda=2}^{\lambda=l} t_{\lambda}^{\lambda} - \sum_{\lambda=1}^{\lambda=l-1} t_{\lambda+1}^{\lambda} = \tau_c^1$$

nous venons d'établir l'expression analytique du décalage organisationnel. Il reste à déterminer sur quel secteur se produit la synchronisation ( l étant une inconnue dans la formule précédente)



Pour cela nous utilisons le principe du "décalage maximum". Si on suppose que la synchronisation se produit :

- 1°) sur le 1<sup>er</sup> secteur:  $\rightsquigarrow l=1 \rightsquigarrow$  Il correspond  $\tau_i^1$
- 2°) sur le 2<sup>nd</sup> secteur:  $\rightsquigarrow l=2 \rightsquigarrow$  Il correspond  $\tau_i^2$
- ⋮

Et ainsi de suite jusqu'à ce que la valeur du décalage commence à diminuer. La valeur de  $l$  pour laquelle nous obtenons un décalage  $\tau_i^1$  maximum, correspondra au secteur sur lequel se produit la synchronisation. La justification de ce principe s'obtient de l'observation du cyclogramme de la figure FIG II, Bg page 84. En effet, si la synchronisation se produit sur le premier secteur nous aurons  $\tau_i^1 = 0$ . Si elle se produit sur le deuxième secteur  $\rightarrow$  le début du processus  $i+1$  se déplacera un peu à droite sur le 1<sup>er</sup> secteur (puisqu'il n'y a pas de synchronisme) donc  $\tau_i^1 \neq 0$  et  $\tau_i^1 > 0$  ; et ainsi de suite de proche en proche. On peut le voir plus aisément sur la figure (FIG II, Bg). On remarque que jusqu'au secteur où l'on obtient la synchronisation, la partie inférieure du cyclogramme du processus  $(i+1)$  qu'on veut synchroniser, se déplace de gauche à droite  $\textcircled{1} \rightarrow \textcircled{2} \rightarrow \textcircled{3} \rightarrow \textcircled{4} \rightarrow \textcircled{5}$  et  $\tau_i^1$  croît dans la même proportion. Au-delà de cette position, la partie AB reste fixe, donc  $\tau_i^1$  fixe, si on essaie de diminuer  $\tau_i^1$  on tombe alors sur un chevauchement sur le secteur  $l$ , ou une discontinuité sur les secteurs inférieurs, ce qui est interdit. Par conséquent si  $\tau_i^1$  est maximum la valeur de  $l$  correspondante donne le secteur sur lequel se produit la synchronisation.

On peut reprendre l'exemple précédent et lui appliquer ce procédé:

Synchronisation supposée se produire sur le secteur:	$\sum_{\lambda=2}^{\lambda=l} t_{\lambda}^1$	$\sum_{\lambda=1}^{\lambda=l-1} t_{\lambda+1}^1$	$\tau_i = \sum_{\lambda=2}^{\lambda=l} t_{\lambda}^1 - \sum_{\lambda=1}^{\lambda=l-1} t_{\lambda+1}^1$
$l=1$	0	0	0
$l=2$	$t_2^2 = 2$	$t_{2+1}^1 = 1$	1
$l=3$	$t_2^2 + t_3^3 = 2+3=5$	$t_{2+1}^1 + t_{3+1}^2 = 1+1=2$	3
$l=4$	$t_2^2 + t_3^3 + t_4^4 = 5+3=8$	$t_{2+1}^1 + t_{3+1}^2 + t_{4+1}^3 = 2+1=3$	5
$l=5$	$t_2^2 + t_3^3 + t_4^4 + t_5^5 = 8+2=10$	$t_{2+1}^1 + t_{3+1}^2 + t_{4+1}^3 + t_{5+1}^4 = 3+1=4$	6
$l=6$	$t_2^2 + t_3^3 + t_4^4 + t_5^5 + t_6^6 = 10+1=11$	$\text{---} + t_{6+1}^5 = 4+2=6$	5

Par conséquent  $\tau_i^1$  est maximum pour  $l=5$ , soit une synchronisation sur le 5<sup>e</sup> secteur, comme nous l'avons obtenu sur la figure (FIG II, Bg) avec le procédé graphique b. Sa durée d'exécution est donnée par:

$$T_e = \sum_{i=1}^{i=2} t_i^1 + \sum_{l=1}^{l=2-1} \tau_l^1 + \sum_{\lambda=2}^{\lambda=6} t_{\lambda}^1$$

$$T_e = t_1^1 + t_2^1 + \tau_1^1 + \tau_2^1 + t_2^2 + t_2^3 + t_2^4 + t_2^5 + t_2^6$$

$$T_e = 1 + 1 + 6 + 1 + 1 + 1 + 2 + 2$$

$$T_e = 15 \text{ relèves}$$

Remarque: On arrive au même résultat en comptant sur le cyclogramme de la figure (FIG II, Bg), obtenue pour la résolution graphique (b) :  $T_e = 15$  relèves.

### 4.3 Méthode "en convoyeur" ou en bande

Toujours dans le souci d'améliorer la méthode considérons le cyclogramme suivant : FIG II, B 11 page 89

On remarque que bien qu'on ait synchronisation sur certains secteurs, il reste toujours une proportion de temps morts assez importants (parties hachurées) que nous n'avons pas réussi à éliminer. La durée d'exécution donnée par la formule

$$T_e = \sum_{i=1}^{i=m} t_i^\lambda + \sum_{\lambda=1}^{\lambda=m-1} T_i^\lambda + \sum_{\lambda=2}^{\lambda=n} t_m^\lambda$$

demeure toujours très grande. Pour réduire le délai d'exécution nous pouvons jouer soit sur le module du temps soit sur le décalage organisationnel.

Nous avons déjà vu que diminuer le module de temps conduisait à des quantités de ressources exagérées donc à des coûts élevés

(  $t_i = \frac{Q_i}{N p_i \times W_i}$  ) et à une mauvaise utilisation des forces de production.

Par conséquent on a plutôt intérêt à réduire au maximum et même annuler (si cela est possible) le terme  $\sum_{\lambda=1}^{\lambda=m-1} T_i^\lambda$

Pour se faire considérons deux secteurs quelconques p et l et supposons que le synchronisme se produit sur le secteur l FIG II, B 12 page : 89

Projetons le contour fermé sur l'axe des abscisses ot :

$$\begin{aligned} \vec{AC} + \vec{CD} + \vec{DB} + \vec{BE} + \vec{EA} &= 0 \\ \sum_{\lambda=p}^{\lambda=l} t_i^\lambda + 0 - \sum_{\lambda=p}^{\lambda=l-1} t_{i+1} - T_i^p - t_i^l &= 0 \end{aligned}$$

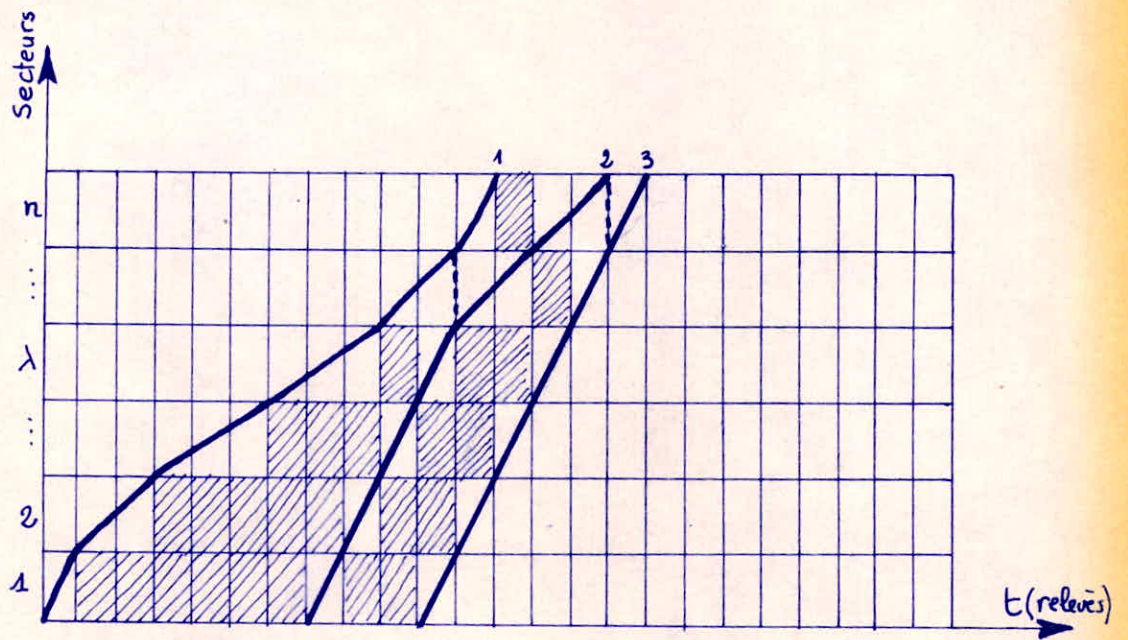


FIG II, B11 : Décalages organisationnels

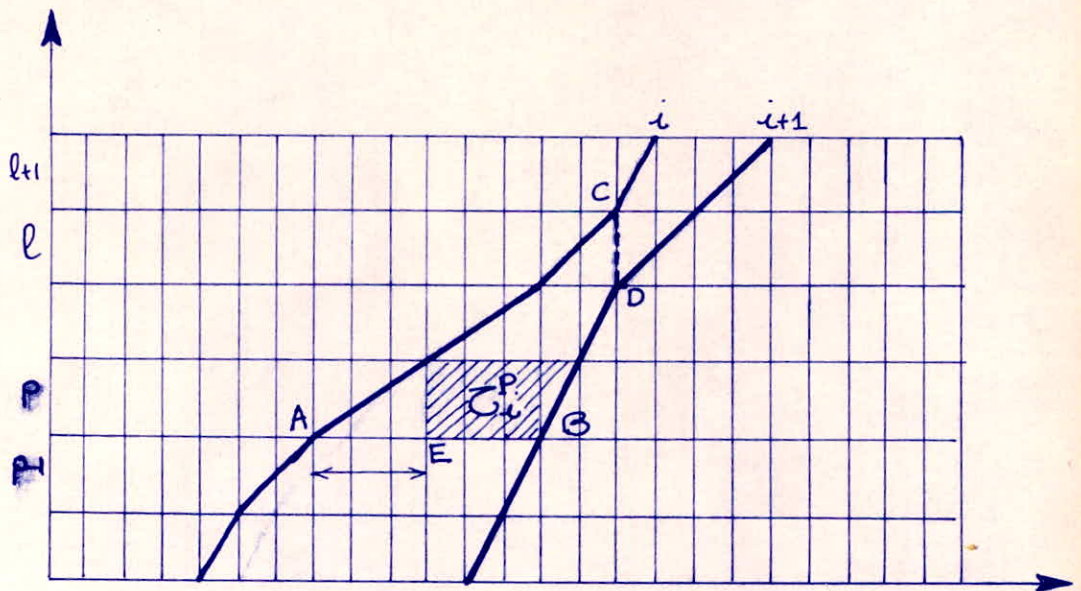


FIG II, B12 : Calcul du décalage organisationnel :

$$\sum_{\lambda=p+1}^{\lambda=l} t_i^\lambda - \sum_{\lambda=p}^{\lambda=l-1} t_{i+1}^\lambda = \tau_i^p$$

$$\sum_{\lambda=p+1}^{\lambda=l} t_i^\lambda - \sum_{\lambda=p+1}^{\lambda=l} t_{i+1}^{\lambda-1} = \tau_i^p$$

$$\sum_{\lambda=p+1}^{\lambda=l} (t_i^\lambda - t_{i+1}^{\lambda-1}) = \tau_i^p$$

Conclusion : Pour annuler  $\tau_i^p$  il faudrait que  $t_i^\lambda = t_{i+1}^{\lambda-1}$   
 $= t$  c'est à dire avoir le même module de temps pour tous  
les secteurs et pour tous les processus composants l'ouvrage.  
Nous obtenons ainsi une chaîne rythmique ; cette méthode  
est dite en bandes ou en convoyeur . Fig II B6 page 29  
Nous avons une synchronisation sur tous les secteurs et le  
délai d'exécution est donné par :

$$T_e = mt + 0 + (n-1)t = (m+n-1)t$$

si de plus il y'a un décalage technologique  $\Delta$

$$T_e = (m+n-1)t + \Delta$$

Nous avons déjà fait état de cette méthode tout à fait au  
début du chapitre .

Exemple 2 :

Soit à organiser un hall industriel en béton armé dont les  
caractéristiques sont les suivantes :

3 niveaux , 20 panneaux par niveau

Nous avons les quantités totales des travaux :

- montage de coffrage 12000 m<sup>2</sup>

- montage de l'armature 180t
- coulage du béton 1500 m<sup>3</sup>

Quantités de travaux par panneau

- montage de coffrage 200 m<sup>2</sup> ( 12000 : 60 = 200 )
- montage de l'armature 3t ( 180 : 60 = 3 )
- coulage de béton 25 m<sup>3</sup> ( 1500 : 60 = 25 )

Supposons par exemple qu'un secteur contient cinq (5) panneaux  
d'où  $n = 60 : 5 = 12$  secteurs différents

Des catalogues nous tirons les différentes normes correspondantes  
aux technologies employées .

$$N_{p\text{coff}} = 1 \text{ m}^2 / \text{heure} \cdot \text{Homme}$$

$$N_{T\text{arm}} = 2 \text{ h} \cdot \text{h} / \text{t}$$

$$N_{Tc\text{b}} = 4 \text{ h} \cdot \text{h} / \text{m}^3$$

Calcul des quantités de travaux par secteur

$$Q_{\text{coffrage}} = 5 \times 200 = 1000 \text{ m}^2$$

$$Q_{\text{armature}} = 5 \times 3 = 15 \text{ t}$$

$$Q_{\text{c béton}} = 5 \times 25 = 125 \text{ m}^3$$

Calcul des quantités de ressources (ici effectif  $e_i$ )

$$\text{formule universelle : } t_i = \frac{Q_i}{N_{p_i} \times e_i} \Rightarrow e_i = \frac{Q_i}{N_{p_i} \times t_i}$$

Supposons que le module de temps  $t_i = 5j = 5 \times 8 = 40 \text{ h}$

Les effectifs seront :

$$\text{- coffreurs : } e_{\text{coff}} = \frac{1000}{1 \times 40} = 25 \text{ hommes}$$

$$\text{- ferrailleurs : } e_{\text{fer}} = \frac{15}{1/20 \times 40} = 8 \text{ hommes}$$

- Betonnières:  $e_{CB} = \frac{125}{0,25 \times 40} = 13$  hommes

Nous obtenons le cyclogramme suivant: FIG II, B 14

Supposons qu'on ajoute le processus de décoffrage avec un décalage technolog-  
-Logique  $\Delta = 5$  relèves. Sa durée d'exécution sera:  $T_e = (m+n-1)t + \Delta =$

$$= (4+12-1) \times 5 + 5 = 80 \text{ relèves}$$

Ce résultat est vérifié graphiquement.

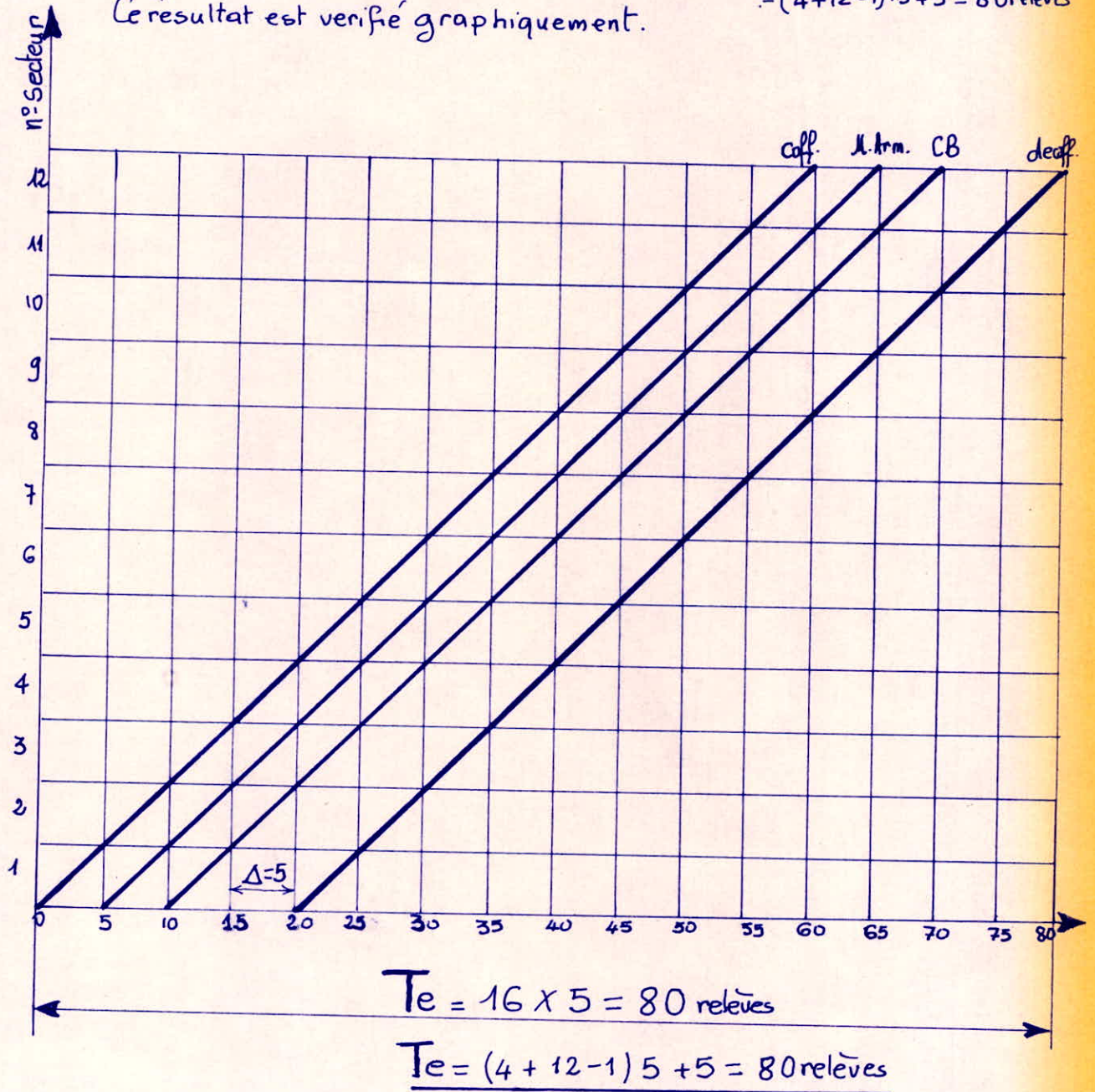


FIG II, B 14: Exemple méthode en bande

Conclusion :

Ainsi la méthode en bande ou en convoyeur constitue un cas particulier de la méthode à la chaîne. Cette méthode d'organisation de la réalisation d'un processus complexe, selon laquelle les équipes ou formations de travail, d'effectifs constants;

- réalisent les processus simples correspondants dans les mêmes durées de temps pour tous les processus composants et sur tout les secteurs.

- se succèdent sur le même secteur et pour tous les secteurs avec un même intervalle de temps;

conduit à d'excellents résultats. Elle s'applique le plus souvent dans l'organisation de l'exécution de bâtiments identiques ou des ouvrages linéaires (routes, chemin de fer, réseaux techniques etc...)

Autre exemple :

Un processus complexe composé de  $m=5$  relèves simples dont le premier et le dernier sont discontinus et doivent respecter un décalage technologique  $\Delta_1=6$  relèves ;  $\Delta_3=8$  relèves ; les autres sont continus. Le module de temps  $t=4r$  et le nombre de secteurs est  $n=4$ . Nous obtenons le cyclogramme suivant: FIG II, B15.

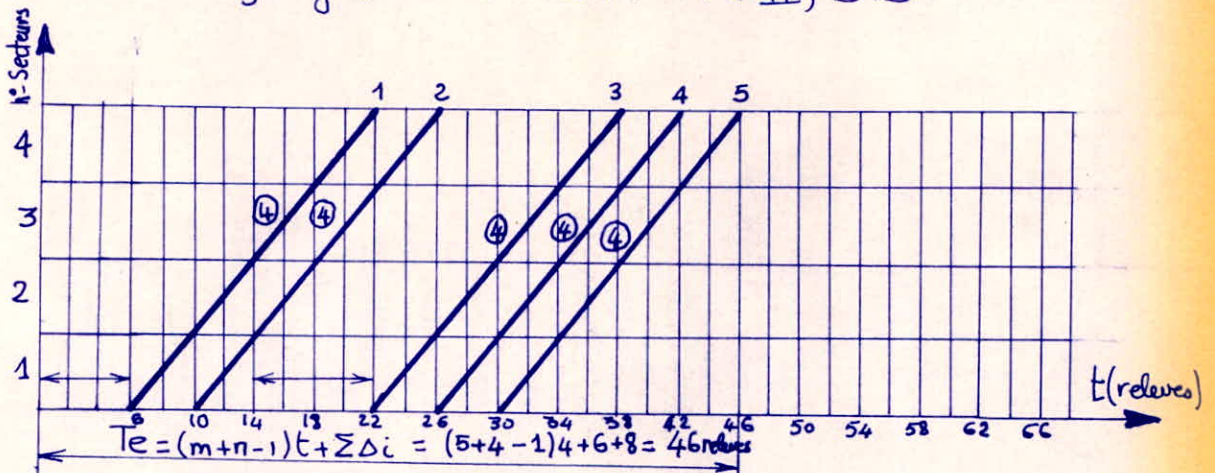


FIG II, B15 : Exemple 2 - Cyclogramme.



#### 4.4 Méthode avec des chaînes partielles rythmiques

Les conditions fondamentales nécessaires à l'organisation de l'exécution d'un processus complexe en bande sont :

- la subdivision (ou découpage) des fronts de travail en secteurs égaux et la détermination d'un module de temps constant sur tous les secteurs et pour tous les processus. Mais en général la division en secteurs égaux conduit à un module de temps constant sur tous les secteurs pour chaque processus ( $t_i^A = t_i$ ) sans réussir à égaler les modules pour tous les processus ( $t_i \neq t_{i+1} \neq t_j$ )
- le cyclogramme sera donc composé d'une série de processus simples synchronisés, chacun étant exécuté par une succession rythmique mais avec un module de temps différent d'un processus à l'autre.

La figure (FIG II B 16) ci dessous représente l'exécution d'un processus complexe, composé de  $m$  processus rythmiques avec des modules de temps différents.

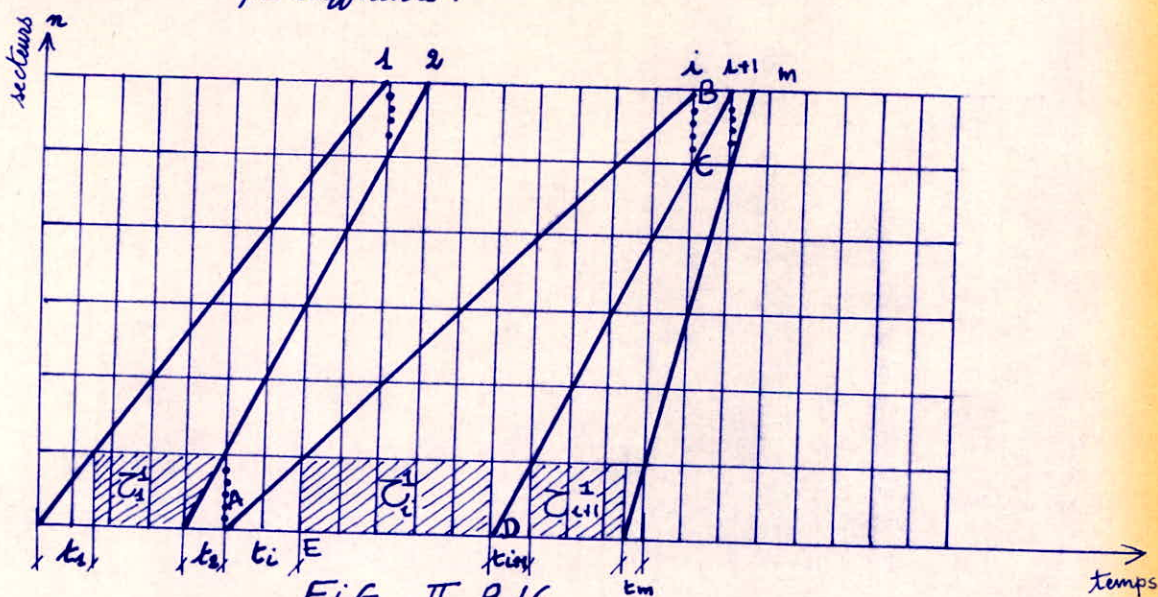


FIG II B 16

Cyclogramme de la méthode avec des chaînes partielles rythmiques

On remarque que dans ce cas la synchronisation se fait soit sur le premier secteur, soit sur le dernier secteur.

- Si  $t_i > t_{i+1}$  : On a une synchronisation sur le dernier secteur.
- Si  $t_i < t_{i+1}$  : On a une synchronisation sur le premier secteur.

Calcul du décalage organisationnel  $\tau_i^1$ :

Pour cela projetons le contour ABCDEA sur l'axe des abscisses  $\vec{Ot}$  (FIG II, B16):  $pr \vec{AB} + pr \vec{BC} - pr \vec{CD} - pr \vec{DE} - pr \vec{EA} = 0$  (th. de Chasles)

$$n t_i + 0 - (n-1) t_{i+1} - \tau_i^1 - t_i = 0$$

$$\tau_i^1 = (n-1) (t_i - t_{i+1})$$

La durée d'exécution  $T_e = \sum_{i=1}^{i=m} t_i + \sum_{i=1}^{i=m-1} \tau_i^1 + (n-1) t_m$  devient en

substituant à  $\tau_i^1$  sa valeur précédemment calculée :

$$T_e = \sum_{i=1}^{i=m} t_i + \sum_{i=1}^{i=m-1} (n-1) (t_i - t_{i+1}) + (n-1) t_m$$

$$T_e = \underbrace{\sum_{i=1}^{i=m} t_i}_{\text{terme ①}} + (n-1) \underbrace{\sum_{i=1}^{i=m-1} (t_i - t_{i+1})}_{\text{terme ②}} + \underbrace{(n-1) t_m}_{\text{terme ③}}$$

Observations: Dans le calcul du deuxième terme de cette expression on garde seulement les différences positives ( $t_i - t_{i+1} > 0$ ), parce que uniquement dans ce cas il y'a des décalages organisationnels  $\tau_i^1$  sur le premier secteur, les synchronismes se produisant sur le dernier secteur.

- Si parmi les processus simples il y'a des processus qui imposent des contraintes technologiques, alors le premier terme ① de la formule

précédente est remplacé par la somme des pas.  $K_i = t_i + \Delta_i$

$$T_e = \sum_{i=1}^{i=m} K_i + (n-1) \sum_{i=1}^{i=m-1} (t_i - t_{i+1}) + (n-1) t_m$$

EXEMPLE :

On demande la durée totale de l'exécution du processus complexe composé de 5 processus simples organisés comme des chaînes partielles rythmiques, selon la méthode à la chaîne :

Processus n°:	1	2	3	4	5	
module de temps:	6	2	6	4	2	

le nombre de secteurs est  $n = 6$ .

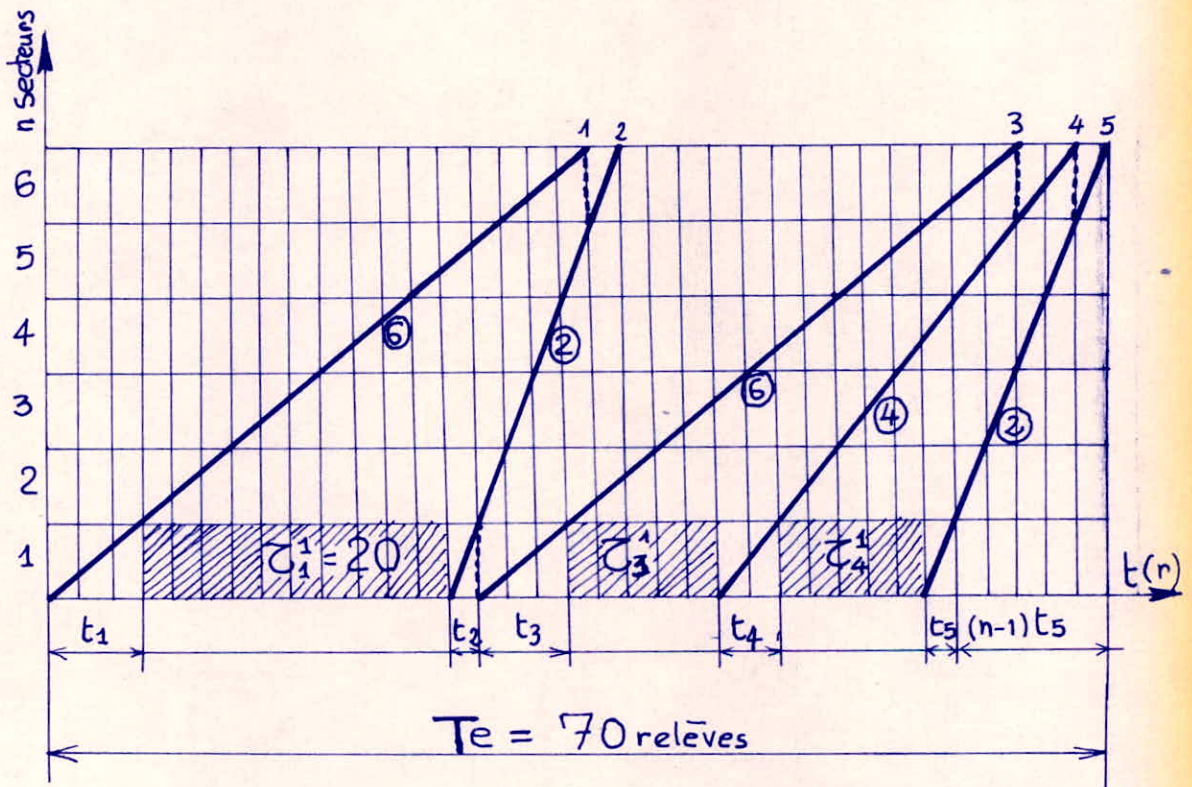


FIG II, B17 : chaînes partielles rythmiques.

Les termes composants l'expression de  $T_e$  sont :

$$\sum_{i=1}^3 t_i = 6 + 2 + 6 + 4 + 2 = 20 \text{ relèves}$$

$$\sum_{i=1}^{n-1} (t_i - t_{i+1}) = (6-2) + (6-4) + (4-2) = 8 \text{ relèves}$$

$$(n-1)t_m = \dots = (6-1)2 = 10 \text{ relèves}$$

En résumé :

$$T_e = 20 + 5 \times 8 + 10 = 70 \text{ relèves}$$

nbre d'équipes :  $B = 5$  équipes

### 4-5 - Methode à la chaine successive superposée :

La tâche principale pour l'organisation d'une activité de construction étant comme toujours la diminution de la durée totale d'exécution, dans cette optique nous allons organiser chaque chaîne partielle comme une succession superposée, donc utilisant plusieurs équipes en même temps pour chaque processus.

- Supposons que :
- le processus n° 1  $\rightsquigarrow$  utilise  $\rightsquigarrow$   $b_1$  équipes
  - le processus n° 2  $\rightsquigarrow$  utilise  $\rightsquigarrow$   $b_2$  équipes
  - ⋮
  - le processus n° i  $\rightsquigarrow$  utilise  $\rightsquigarrow$   $b_i$  équipes
  - ⋮
  - le processus n° m  $\rightsquigarrow$  utilise  $\rightsquigarrow$   $b_m$  équipes

Le module de rythmicité  $K_{oi} = \frac{t_i}{b_i}$  et la durée d'exécution s'obtient en considérant, dans un premier temps le cylogramme simple de la figure (FIG II, B18).

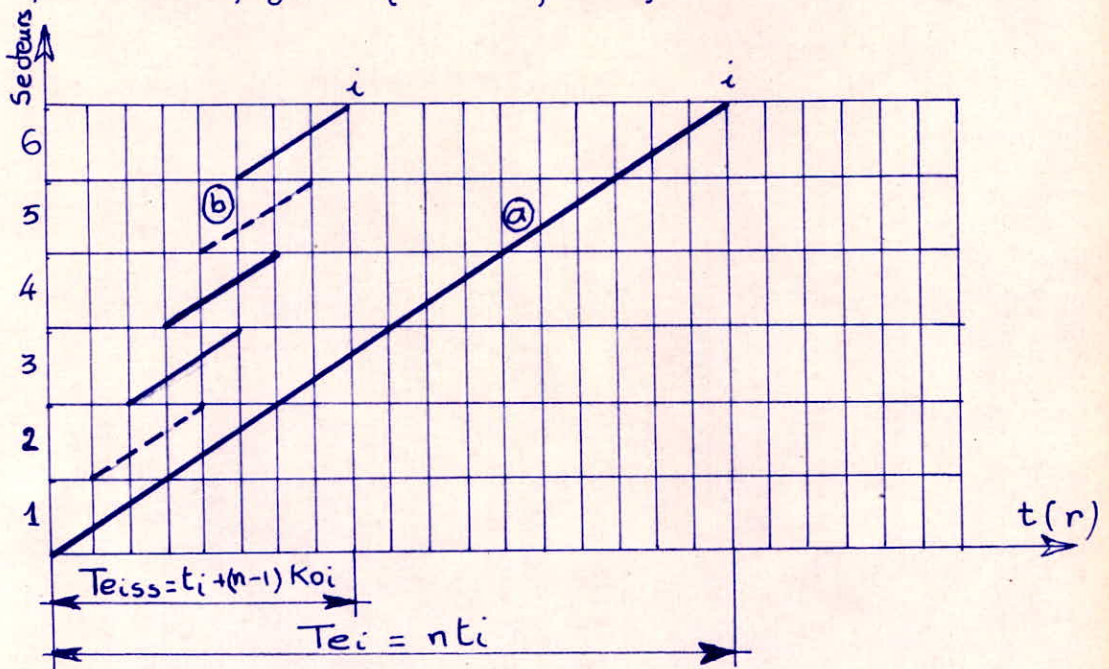


FIG: II, B18 : Methode successive superposée (chaîne)

La figure (FIG; II, B18) montre l'exécution d'un processus simple composant (i) soit comme une succession simple (a) utilisant une seule équipe, soit comme une succession superposée (b) utilisant  $b_i$  équipes (ici 3 équipes), la durée d'exécution correspondante est:

est:  $T_{ei} = t_i + (n-1) \frac{t_i}{b_i}$  est plus courte que  $T_e = n t_i$

Démonstration:

$$n t_i > t_i + (n-1) \frac{t_i}{b_i}$$

$$n t_i - t_i > (n-1) \frac{t_i}{b_i}$$

$$(n-1) t_i > (n-1) \frac{t_i}{b_i}$$

$$t_i \geq \frac{t_i}{b_i} \quad \text{Ceci est effectivement vérifié car : } b_i \geq 1$$

Considérons un cas plus général : La figure (FIG II, B19) montre l'organisation de l'exécution du processus complexe précédent (FIG II, B16) comme une succession superposée (chaines successives superposées) par l'introduction de plusieurs équipes pour chaque processus simple. Le processus n°1 par 3 équipes, les suivants par 2 équipes chacun.

Les chaînes partielles sont toujours synchronisées soit sur le premier secteur, soit sur le dernier secteur.

- Si  $K_{oi} > K_{oi+1}$  : Synchronisation sur le dernier secteur
- Si  $K_{oi} < K_{oi+1}$  : Synchronisation sur le premier secteur.

Remarque: On observe beaucoup de décalages organisationnels  $\tau_i$

la durée totale d'exécution est donnée par:

$$T_e = \sum_{i=1}^{i=m} t_i + \sum_{i=1}^{i=m-1} \tau_i + (n-1) K_{om}$$

Comme d'habitude, le calcul des décalages organisationnels  $z_i^1$ , s'effectue en projetant le contour polygonal ABCDEFGA sur l'axe des abscisses  $\vec{OT}$  : FIG: II, B20 page: 48

$$\text{Proj}\overline{ABC} + \text{Proj}\overline{CD} + \text{Proj}\overline{DEF} + \text{Proj}\overline{FG} + \text{Proj}\overline{GA} = 0$$

$$t_i + (n-1)K_{oi} + t_{i+1} - (t_{i+1} + (n-1)K_{oi+1} - z_i^1 - t_i) = 0$$

$$\text{on tire : } \boxed{z_i^1 = (n-1)(K_{oi} - K_{oi+1})}$$

Par consequent la durée d'exécution précédemment trouvée devient:

$$T_e = \underbrace{\sum_{i=1}^{i=m} t_i}_{(1)} + (n-1) \underbrace{\sum_{i=1}^{i=m-1} (K_{oi} - K_{oi+1})}_{(2)} + \underbrace{(n-1)K_{om}}_{(3)}$$

Pour le calcul du 2<sup>e</sup> terme (2), on garde seulement les différences positives  $(K_{oi} - K_{oi+1}) > 0$ , parce que seulement dans ce cas il y'a des décalages organisationnels sur le premier secteur. Le synchronisme se faisant sur le dernier secteur.

Si parmi les processus simples il y'a des processus discontinus (c'ad possédant des contraintes technologiques ou autres), on remplace la somme des modules de temps  $\sum_{i=1}^{i=m} t_i$  par la somme des pas.

$$\sum_{i=1}^{i=m} K_i = \sum_{i=1}^{i=m} (t_i + \Delta_i) \quad \text{et la durée d'exécution totale devient:}$$

$$\boxed{T_e = \sum_{i=1}^{i=m} K_i + (n-1) \sum_{i=1}^{i=m-1} (K_{oi} - K_{oi+1}) + (n-1)K_{om}}$$

Application: On reprend l'exemple de la figure (II, B17) traité précédemment par la méthode avec des chaînes partielles, rythmique, et on lui applique les résultats des chaînes successives superposées (FIG II, B21)

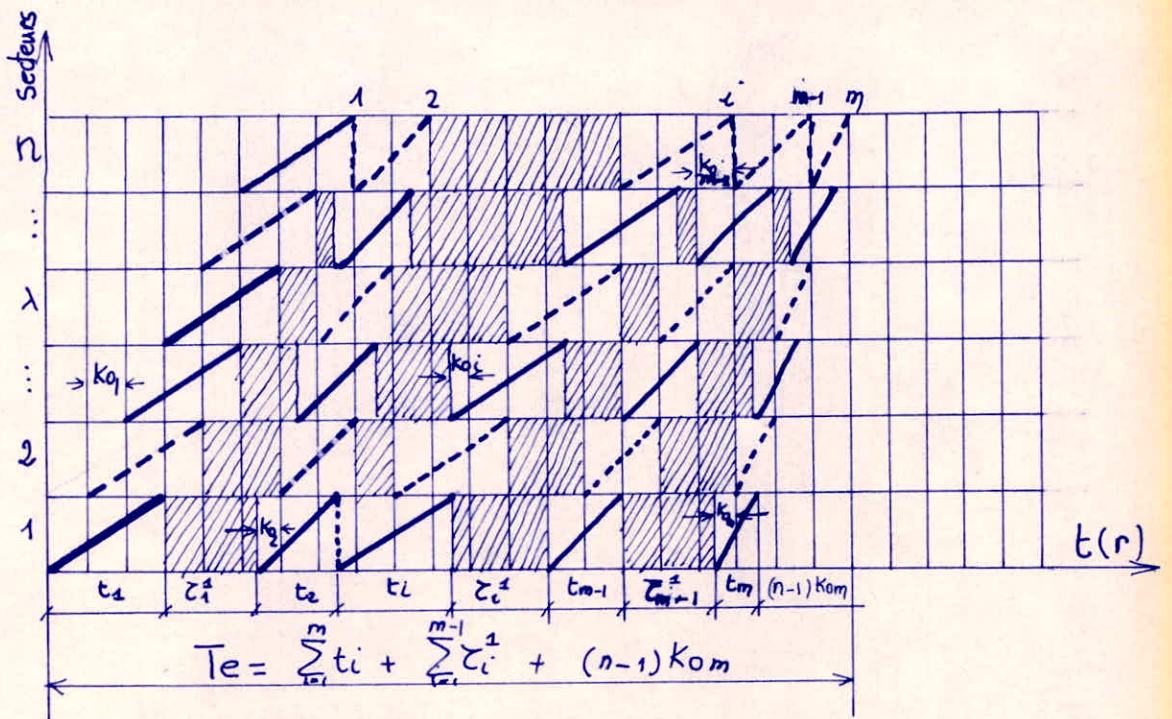


FIG II, B19 : Méthode à la chaîne successive superposée :

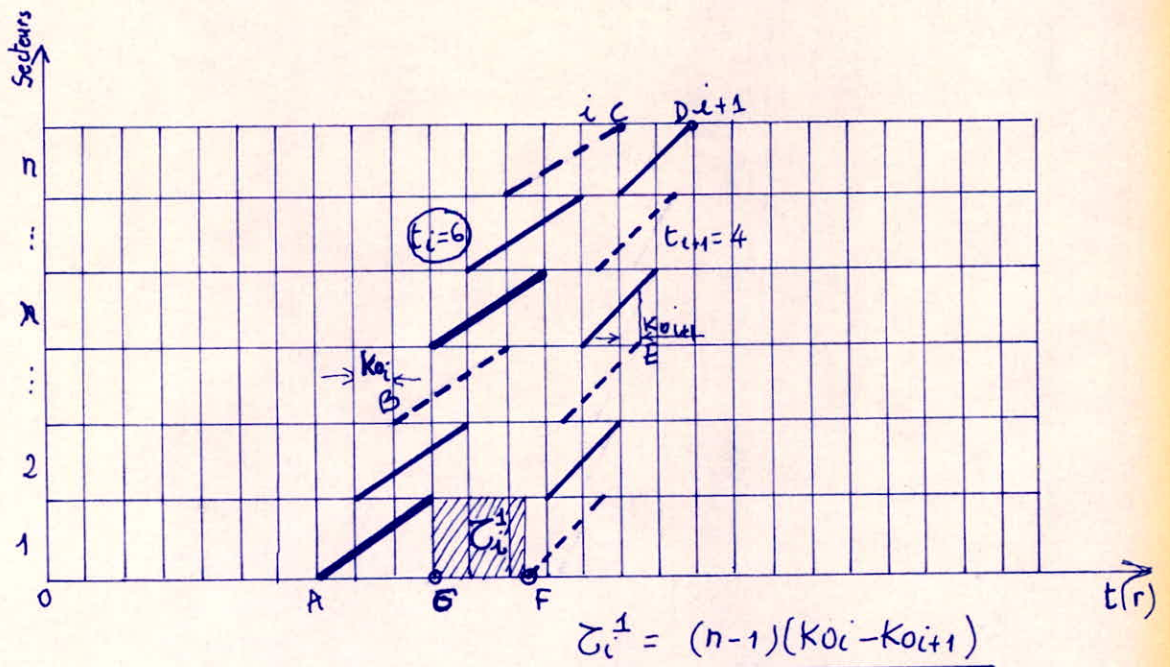


FIG II B20 : Calcul du décalage  $z_i^1$ .

Nous rappelons les modules de temps, les nombres d'équipes et les modules de rythmicité correspondants ( $k_{oi} = \frac{t_i}{b_i}$ ).

$t_1 = 6r$       $t_2 = 2r$       $t_3 = 6r$       $t_4 = 4r$       $t_5 = 2r$

$b_1 = 3$       $b_2 = 2$       $b_3 = 2$       $b_4 = 2$       $b_5 = 2$

$k_{o1} = 2$       $k_{o2} = 1$       $k_{o3} = 3$       $k_{o4} = 2$       $k_{o5} = 1$

La figure (FIG II B 21) en donne le cyclogramme respectif.

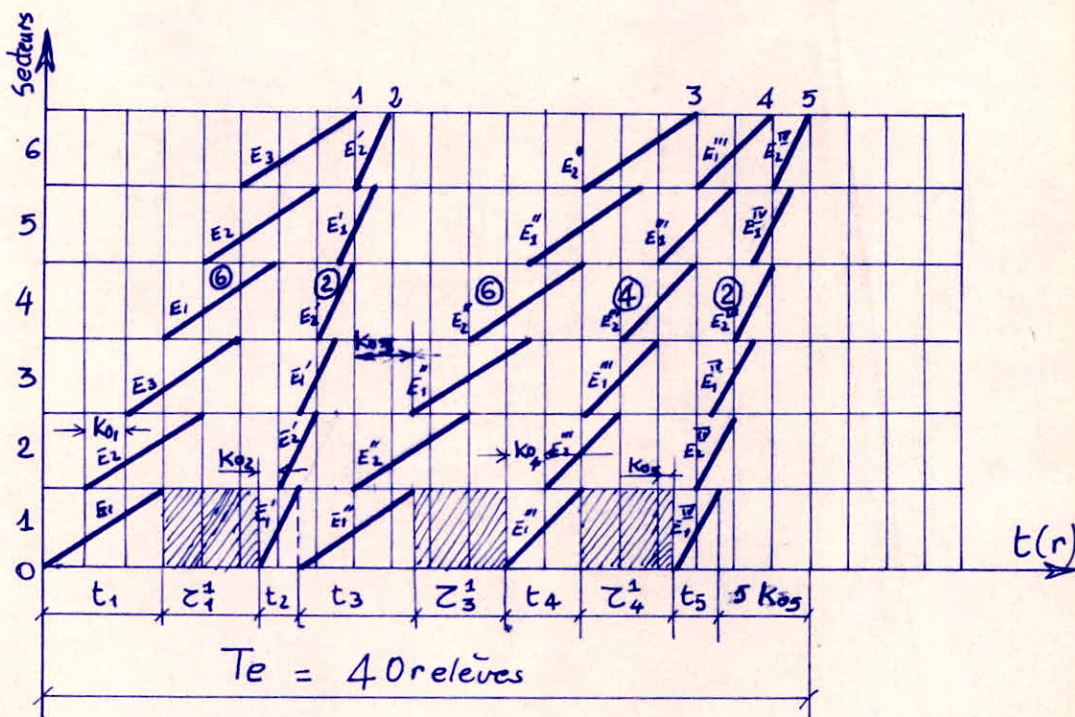


FIG II, B 21: Chaîne successive superposée exemple.

Les termes de l'expression de  $T_e$  sont:

$$\sum_{i=1}^{i=5} t_i = 6 + 2 + 6 + 4 + 2 = 20 \text{ relèves}$$

$$(n-1) \sum_{i=1}^{i=5} (k_{oi} - k_{oi+1}) = (6-1) ((2-1) + (3-2) + (2-1)) = 15r$$

$$(n-1) k_{o5} = 5 \times 1 = 5 \text{ relèves}$$

$T_e = 20 + 15 + 5 = 40 \text{ relèves}$   
 $B = 11 \text{ équipes}$



Ainsi le même processus organisé, comme une chaîne successive - superposée est réalisée en 40 relèves au lieu de 70r obtenues précédemment, par la méthode avec des chaînes partielles rythmiques. La durée est plus courte, mais maintenant on utilise 11 équipes au lieu de 5 équipes ; par conséquent, pour choisir la solution optimale, il faut au préalable :

1°) - Analyser, la disponibilité des ressources nécessaires :

- main d'œuvre
- flux de matériaux, dépôts, etc...
- outillages.

En effet, un nombre plus grand d'équipes nécessitent un flux plus grand de matériaux et de matériel, un front de travail plus grand.

2°) Evaluer les dépenses supplémentaires occasionnées par l'utilisation d'un plus grand nombre de main d'œuvre, pour les constructions provisoires (dortoirs, cantines, dépôts etc...) et pour l'acquisition de quantités plus grandes de matériel.

3°) Il faut ensuite estimer la production supplémentaire obtenue par la mise en service avant la date prévue.

Un tel calcul d'optimisation entre les frais supplémentaires et les gains supplémentaires permet un choix rationnel de la méthode à employer.

---

4-6 : Méthode à la chaîne modulée :

L'observation du diagramme de la figure (FIG II B19 page: 48) obtenue pour les chaînes successives superposées, montre l'existence de beaucoup de décalages organisationnels ( $\tau_i^\lambda$ ), c'est à dire des grandes périodes pendant lesquelles les fronts de travail ne sont pas occupés (parties hachurées). En éliminant ces temps morts on réduit le délai d'exécution sans augmenter le coût qui est un facteur très important. Pour cela considérons 2 processus quelconques  $i$  et  $i+1$  et calculons le décalage organisationnel  $\tau_i^\lambda$  sur un secteur  $\lambda$ .

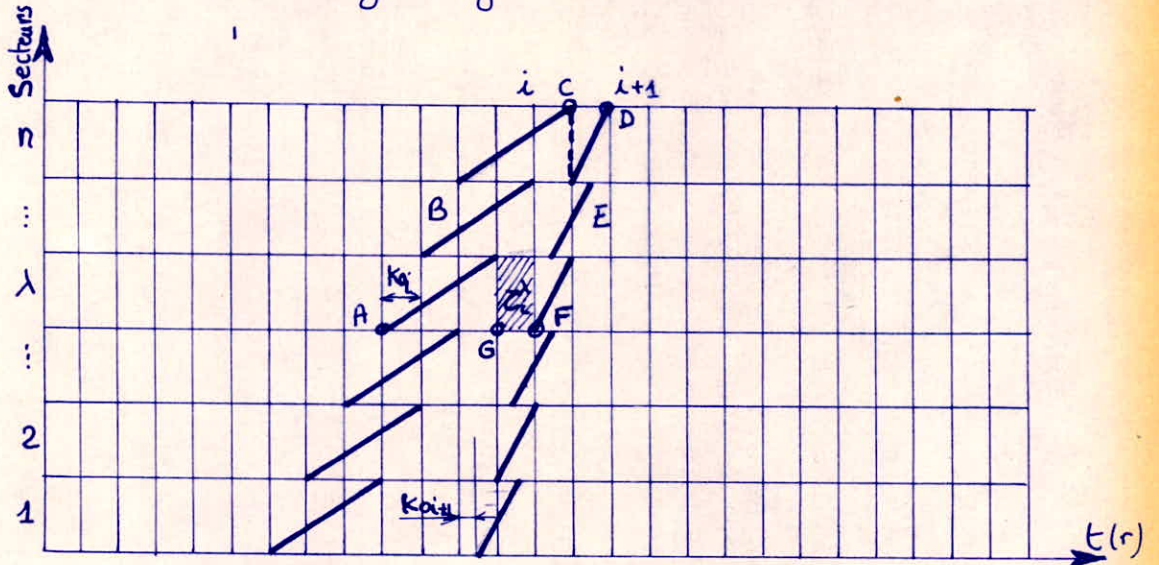


FIG II, B22: calcul de  $\tau_i^\lambda$

On projete le contour polygonal ABCDEFGA (Théo. de chasles) :

$$\text{Proj } \overline{ABC} + \text{Proj } \overline{CD} + \text{Proj } \overline{DEF} + \text{Proj } \overline{FG} + \text{Proj } \overline{GA} = 0$$

$$t_i + (n-\lambda) k_{oi} + t_{i+1} - [t_{i+1} + (n-\lambda) k_{oi+1}] - \tau_i^\lambda - t_i = 0$$

On obtient alors :

$$\tau_i^\lambda = (n-\lambda) (k_{oi} - k_{oi+1})$$

Il en decoule que pour annuler  $\tau_i^\lambda$  sur tous les secteurs et pour

tous les processus, il faut que  $K_{0i} = K_{0i+1}$  et conformément à la relation  $K_{0i} = \frac{t_i}{b_i}$  ; cette condition peut s'exprimer d'une autre manière :

$$K_{01} = K_{02} = \dots = K_{0i} = K_{0i+1} = \dots = K_0$$

$$\frac{t_1}{b_1} = \frac{t_2}{b_2} = \dots = \frac{t_i}{b_i} = \frac{t_{i+1}}{b_{i+1}} = \dots = \frac{t}{b} = K_0$$

$K_0$  est donc un diviseur commun des modules de temps. Par conséquent si  $t_1 \dots t_n$  sont des modules du temps et si le module de rythmicité est pris égal à un diviseur commun des modules du temps, alors les décalages organisationnels seront annulés. On verra par la suite que parmi les diviseurs communs des modules de temps  $t_i$ , il importe de choisir le plus grand ou PGCD, celui-ci donnant des résultats plus efficaces.

Cette opération qui permet de transformer l'exécution d'un processus composant comme des chaînes successives superposées avec des modules de rythmicité différents d'un processus à l'autre, en une organisation de l'exécution où les équipes se suivent avec le même module de rythmicité sur tous les secteurs et pour tous les processus est dite "Modulation de la chaîne" et la méthode ainsi obtenue sera appelée la méthode "à la chaîne modulée" ou bien "méthode à la chaîne rapide".

L'expression de la durée totale devient :

$$T_e = \sum_{i=1}^{i=m} t_i + 0 + (n-1)K_0 = \sum_{i=1}^{i=m} b_i k_i + (n-1)K_0$$

$$T_e = K_0 \sum_{i=1}^{i=m} b_i + (n-1)K_0 = (B + n-1) K_0 .$$

$$T_e = (B + n - 1) K_0$$

Elle est d'une forme analogue à  $T_e = (m + n - 1)t$ , obtenue pour la méthode en convoyeur. Dans le cas où certains processus sont discontinus avec des décalages technologiques  $\Delta i$ , alors

$$T_e = (B + n - 1) K_0 + \sum_{i=1}^m \Delta i$$

Application : On reprend le même exemple que les figures (FIG II B17) et (FIG II, B21).

Les modules de temps ont deux (2) diviseurs communs  $K_0 = 1$  et  $K_0 = 2$ , nous allons donc distinguer 2 cas que nous allons étudier séparément :

1)  $K_0 = 2$  :  $t_1 = 6$     $t_2 = 2$     $t_3 = 6$     $t_4 = 4$     $t_5 = 2$  relevés  
 $b_1 = 3$     $b_2 = 1$     $b_3 = 3$     $b_4 = 2$     $b_5 = 1$  équipes  
 $B = 10$  équipes

FIG: II, B 23 page: 54

2)  $K_0 = 1$  :  $t_1 = 6$     $t_2 = 2$     $t_3 = 6$     $t_4 = 4$     $t_5 = 2$  relevés  
 $b_1 = 6$     $b_2 = 2$     $b_3 = 6$     $b_4 = 4$     $b_5 = 2$  équipes  
 $B = 20$  équipes

FIG: II, B 24. page: 54

Les durées d'exécution calculées seront:

$K_0 = 2$	$T_{e1} = (10 + 5)2 = 30$ relevés	et $B = 10$ équipes
$K_0 = 1$	$T_{e2} = (20 + 5)1 = 25$ relevés	et $B = 20$ équipes

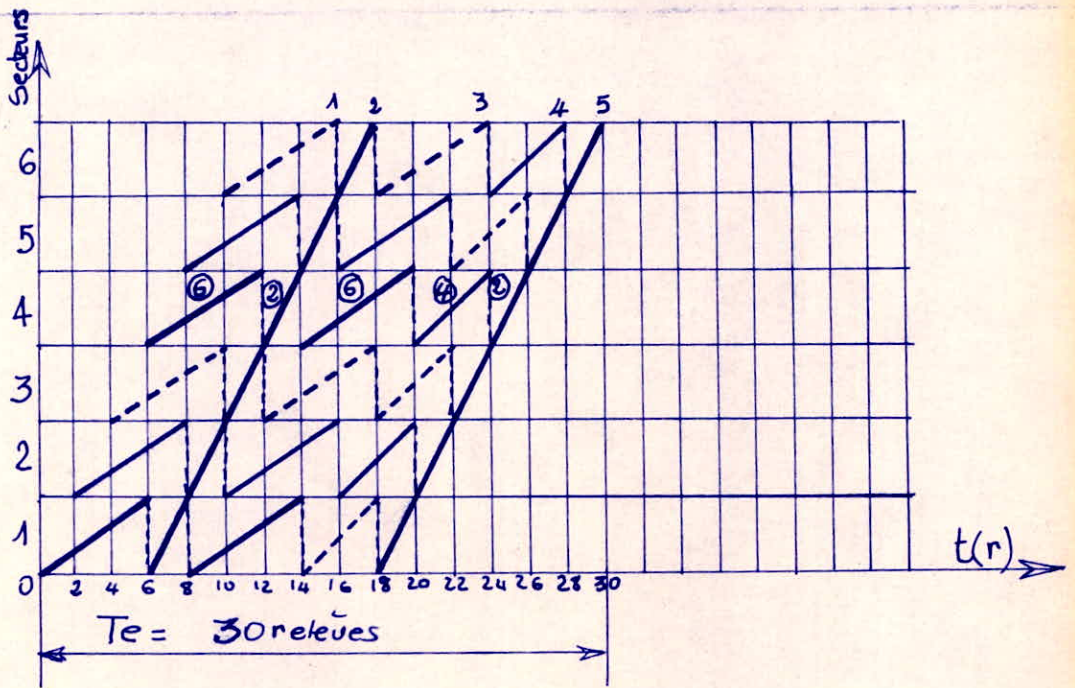


FIG: II, B23 : Methode à la chaine rapide avec Ko=2

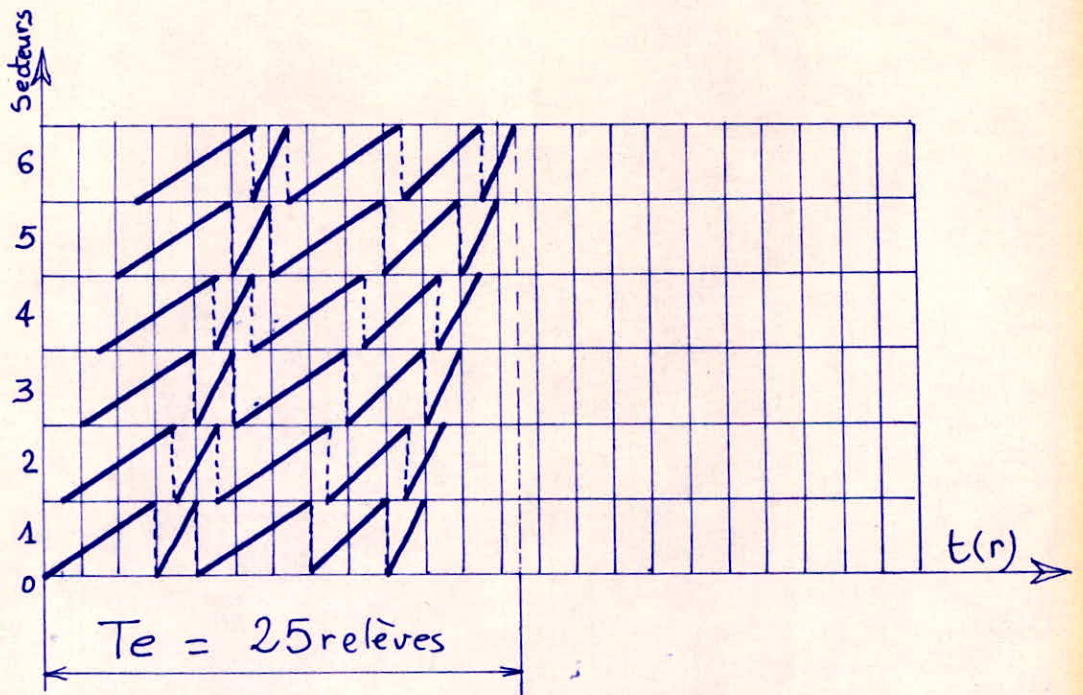


FIG: II, B24 : Methode à la chaine rapide avec Ko=1

En résumé nous avons :

$$K_0 = 2$$

$$T_e = 30 \text{ relevés}$$

$$B = 10 \text{ équipes}$$

$$K_0 = 1$$

$$T_e = 25 \text{ relevés}$$

$$B = 20 \text{ équipes}$$

On constate que pour une réduction d'environ 16% seulement de la durée d'exécution l'effectif est passé du simple au double entraînant ainsi une faible utilisation des ressources, par conséquent pour une organisation efficace, il est nécessaire de prendre le module de rythmicité égal au plus grand diviseur commun (PGCD) des modules du temps de tous les processus considérés.

---

4-7. Efficacité de la méthode à la chaîne :

Soit un processus complexe composé de  $m = 5$  processus simples ; le front de travail est subdivisé en 6 secteurs identiques. Les modules de temps sont :

$$t_1 = 6r ; t_2 = 2r ; t_3 = 6r ; t_4 = 4 ; t_5 = 2r$$

Nous avons organisé ce processus complexe suivant les différentes méthodes étudiées. Les cyclogrammes obtenus sont regroupés dans le tableau de la figure FIG II, B25 (PL01) nous y avons porté également les différentes durées d'exécution respectives et le nombre d'équipes utilisées.

Une étude comparative va nous permettre de dégager l'efficacité de chacune d'elle. Pour cela nous consignons les résultats sous forme d'un Graphique "ressources - temps" (FIG II, B26)

N° d'ordre	Designation de la méthode	Durée d'exécution	Effectifs Necessaire
1	Méthode successive	$T_e = 120$ relèves	$B = 5$ équipes
2	Méthode en parallèle	$T_e = 20$ relèves	$B = 30$ équipes
3	Méthode avec des chaînes partielles rythmiques	$T_e = 70$ relèves	$B = 5$ équipes
4	Méth. Successive Superposée	$T_e = 40$ relèves	$B = 11$ équipes
5	Méthode à la chaîne rapide avec $K_0 = 2$	$T_e = 30$ relèves	$B = 10$ équipes
6	Méthode à la chaîne rapide avec $K_0 = 1$	$T_e = 25$ relèves	$B = 20$ équipes

- 1. Methode successive
- 2. Methode en parallele
- 3. Meth. avec des chaines partielles rythmiques
- 4. Meth. Succ. superposée
- 5. Meth. à "la chaine rapide"  $K_0=2$
- 6. Meth. \_\_\_\_\_  $K_0=1$

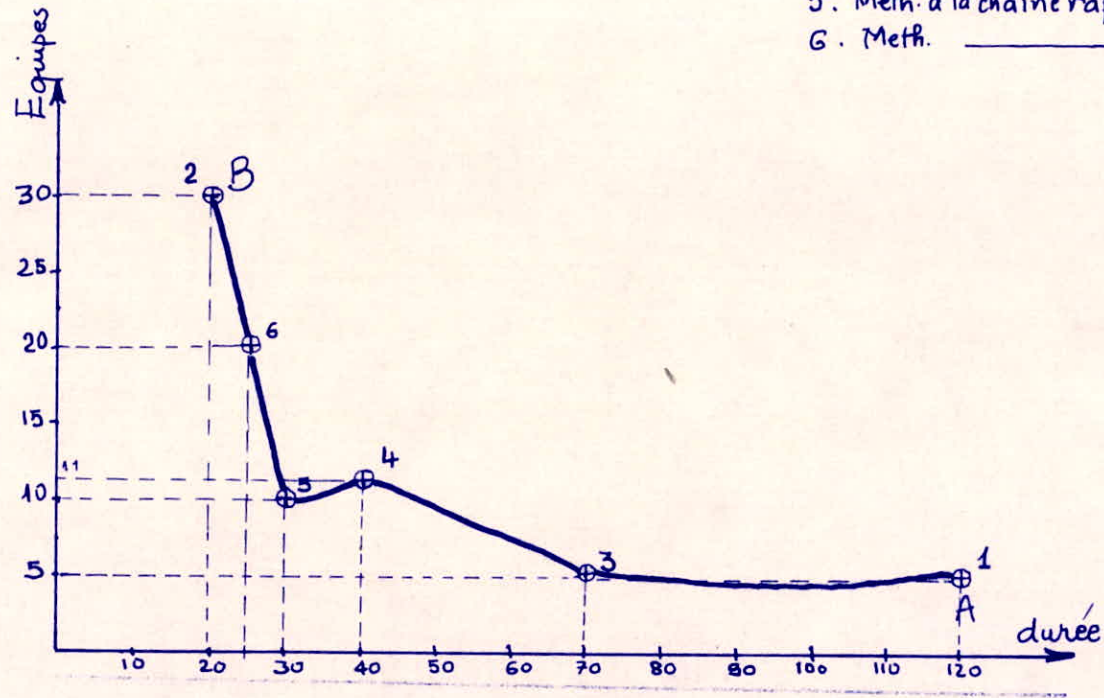


FIG II, B 26. Graphique "ressources-temps"



## Interpretation du graphique "Ressources - temps" (FIG II, B26)

On considère tout d'abord les deux points extrêmes A et B. Le point A représentant la méthode successive est caractérisé par un minimum de ressources, mais une durée d'exécution exagérée, le point B représentant la méthode en parallèle est au contraire caractérisée par une durée minimum, mais une quantité de ressources exagérées. Dans les 2 cas le coût de la construction devient trop élevé, car comme nous l'avons déjà signalé dans le chapitre "Relation coût-durée"; en deçà d'un seuil dit "durée d'exécution accélérée" le coût devient en catastrophe et au delà du seuil dit "durée normale" le coût augmente, à cause d'une mauvaise utilisation des forces de travail; par conséquent sauf dans des cas très rares, ces deux méthodes sont très peu utilisées.

Du point de vue utilisation du front de travail la méthode successive (1) et la méthode avec des chaînes partielles rythmiques (3) ont une faible occupation du front de travail. La méthode successive superposée (4) permet une réduction de la durée d'exécution et une occupation plus intense du front de travail. Enfin la méthode rapide à la chaîne avec un module de rythmicité égal au P.G.C.D des modules de temps de tous les processus, qui est de loin la meilleure, permet de réduire la durée d'exécution en diminuant le flux de ressources, ce qui est très important: En effet avec seulement dix (10)

10 équipes au lieu de onze (11) équipes, elle réduit de 25% la durée d'exécution obtenue par la méthode successive superposée; Ceci est rendu possible par l'élimination des différents décalages organisationnels lors de la modulation des chaînes, c'est à dire par une utilisation d'un même module de rythmicité sur tous les secteurs et pour tous les processus composants. La méthode à "la chaîne rapide" avec  $K_0 = 1$  n'est pas intéressante, car pour une réduction seulement d'environ 16% de la durée d'exécution, la quantité de ressource passe du simple au double.

#### 4-8. Analyse des principes de la méthode à la chaîne:

La méthode d'organisation à la chaîne et surtout les chaînes rapides qui sont des chaînes modulées, est une méthode scientifique qui assure une bonne organisation de l'exécution des ouvrages, — évite les gaspillages de temps de main d'œuvre et d'autres ressources, dans la branche des constructions. Elle reflète dans les cyclogrammes correspondant, avec une grande fidélité la dynamique des forces de production sur le chantier, leurs mouvements à chaque moment, leurs réalisations et ce qui leur reste à exécuter pour achever les tâches établies.

L'utilisation de la méthode à la chaîne est l'une des méthodes les plus importantes et primordiales pour une industrialisation des constructions: en effet la mécanisation complexe et la prefabrication seraient impossibles, sur les chantiers, et

par voie de conséquence, un degré d'industrialisation moindre, ce qui diminue l'efficacité de la branche des constructions.

Les données statistiques montrent que judicieusement appliquée la méthode à la chaîne permet d'obtenir d'excellents résultats;

notamment:

- Un accroissement de la productivité de la main d'œuvre de 15 à 20%
- Un abregement de la durée d'exécution de 15%
- Une diminution du coût de 10%
- Un achèvement rythmique et régulier des travaux.

Ces résultats sont rendus possibles par la qualité de l'organisation employée en particulier:

- La division de l'ouvrage en secteurs de travail (sectorisation avec les mêmes quantités de travaux ( $\pm 15\%$ ))
  - Eclatement de l'ouvrage en processus ou travaux composants
  - tenant compte des possibilités en ressources on détermine le module de temps pour chaque processus et sur chaque secteur.
  - La réalisation des travaux respectifs par des équipes spécialisées, qui en conservant leurs effectifs exécutent en permanence les mêmes travaux sans interruption (une équipe de charpentiers s'occupe toujours des coffrages), en utilisant uniformément et entièrement le matériel avec lequel elles sont dotées. Ces équipes laissent derrière elles les mêmes quantités de travaux finis en des périodes égales.
-

4-9. Etude du phénomène de répétitions:

Dans la branche des constructions, comme dans toute activité les ouvriers repétant les mêmes opérations acquierent au bout d'un certain temps une grande facilité dans l'exécution des travaux respectifs; les différents gestes devenant automatiques.

L'effet essentiel de la repetition sur le chantier est d'entraîner une réduction progressive du temps nécessaire pour effectuer des opérations identiques, successives et répétées.

Des instituts de recherches un peu partout dans le monde se sont penchés sur la question et ont abouti à des résultats surprenants que nous allons essayer d'exposer dans ce qui suit:

Sur la base des résultats obtenus sur le chantier et si l'on note par:

$T_1$ : La durée opérationnelle correspondant à l'exécution du travail pour la première fois

$T_2$ : La durée ..... 2<sup>ème</sup> fois

⋮

$T_x$ : La durée ..... x<sup>ème</sup> fois.

La relation entre les durées d'executions  $T_x$  et le nombre de répétitions  $x$  est donnée par la formule:

$$T_x = T_1 \frac{1-k}{x^k} \quad \text{ou } k = \text{cste.}$$

Ce phénomène est illustré par la courbe d'allure suivante (FIG II B27):

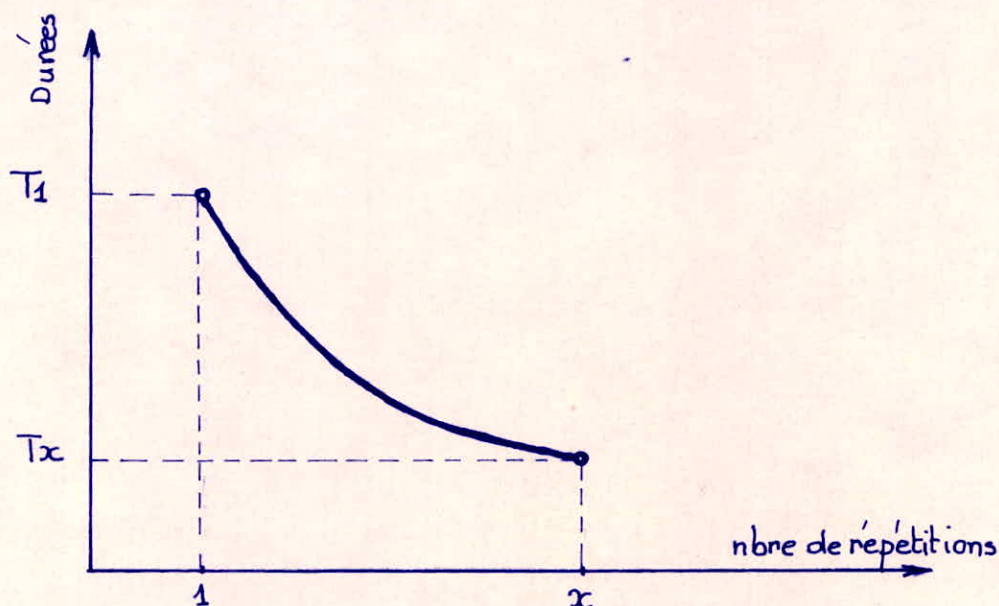


FIG II, B27 :  $T = f(\text{nombre de répétitions})$  :

Pour la branche des constructions  $K = 0,2$ . La formule précédente devient alors:

$$T_x = T_1 \frac{0,8}{x^{0,2}}$$

Si on double la durée de répétitions la durée correspondante devient :

$$T_{2x} = T_1 \frac{0,8}{(2x)^{0,2}} = 0,9 T_x$$

Ainsi si pour la première execution  $T = T_1$

à la 2<sup>ème</sup> execution:  $T_2 = 0,9 T_1$  et la durée d'execution est réduite de 10%

à la 4<sup>ème</sup> \_\_\_\_\_ :  $T_4 = 0,9 T_2 = 0,81 T_1$  et la durée est réduite de 19%

à la 8<sup>ème</sup> \_\_\_\_\_ :  $T_8 = 0,9 T_4 = 0,72 T_1$  \_\_\_\_\_ de 28%

à la 16<sup>ème</sup> \_\_\_\_\_ :  $T_{16} = 0,9 T_8 = 0,64 T_1$  \_\_\_\_\_ de 36%

Et ainsi de suite...

En plus de la réduction de la durée de réalisation sur un

sur un chantier la répétition d'un procédé permet en outre:

a- Un accroissement de la productivité.

Ainsi pour le coffrage d'un plancher, les résultats concernant la productivité en fonction du nombre de répétitions peut être illustré par le graphe de la figure (FIG II, B28) ci-après :

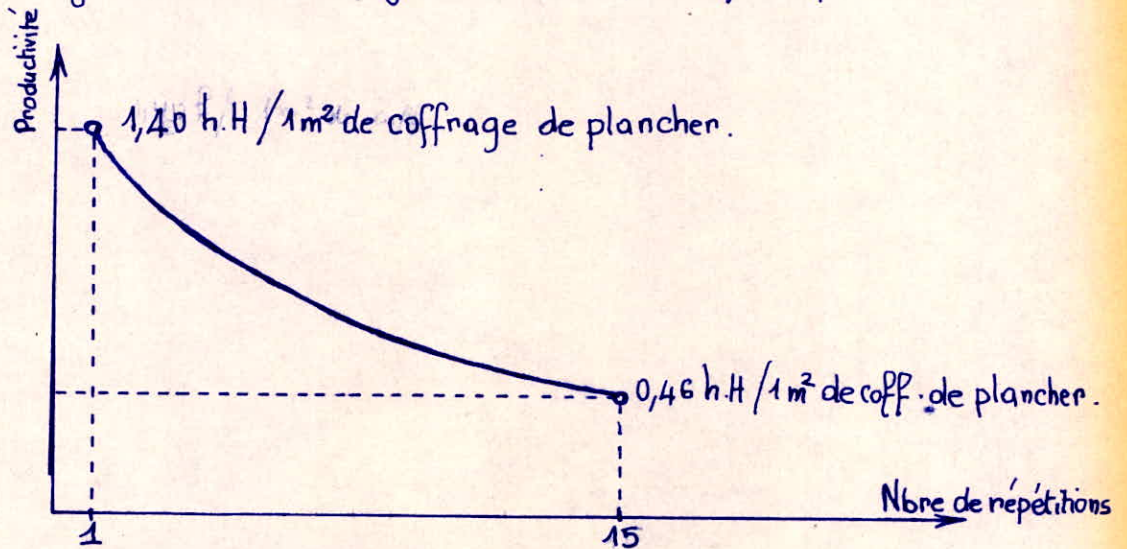


FIG II, B28 : Productivité = f (Nbre de répétitions).

D'autres parts, si on suppose que les équipes n'ont travaillé que sur du bâtiment durant tout le temps considéré et sans interruption, la productivité pour un ensemble d'immeubles d'habitations et calculée pour 1 m<sup>3</sup> d'immeuble ou 1 m<sup>2</sup> de plancher est représentée par la courbe (FIG II, B29) qui suit (page 116).

Remarque:

la norme donnée pour 1 m<sup>3</sup> d'immeuble peut être ramenée à 1 m<sup>2</sup> de plancher. Généralement la hauteur libre entre deux planchers pour un bâtiment d'habitation est d'environ  $h = 2,80 \text{ à } 3,00 \text{ m}$ , par

conséquent : à  $1\text{m}^2$  de plancher correspond un volume d'immeuble de  $3\text{m} \times 1\text{m}^2 = 3\text{m}^3$  ; et la norme de production donnée relativement à  $1\text{m}^3$  d'immeuble doit être augmentée dans le même rapport.

On obtient :

$$9\text{h.H} / 1\text{m}^3 \text{ d'Imm.} = 3 \times 9 \text{h.H} / 3 \times 1\text{m}^3 \text{ d'Imm.} = 27\text{h.H} / 1\text{m}^2 \text{ de plancher.}$$

$$4\text{h.H} / 1\text{m}^3 \text{ d'Imm.} = 3 \times 4 \text{h.H} / 3 \times 1\text{m}^3 \text{ d'Imm.} = 12\text{h.H} / 1\text{m}^2 \text{ de plancher.}$$

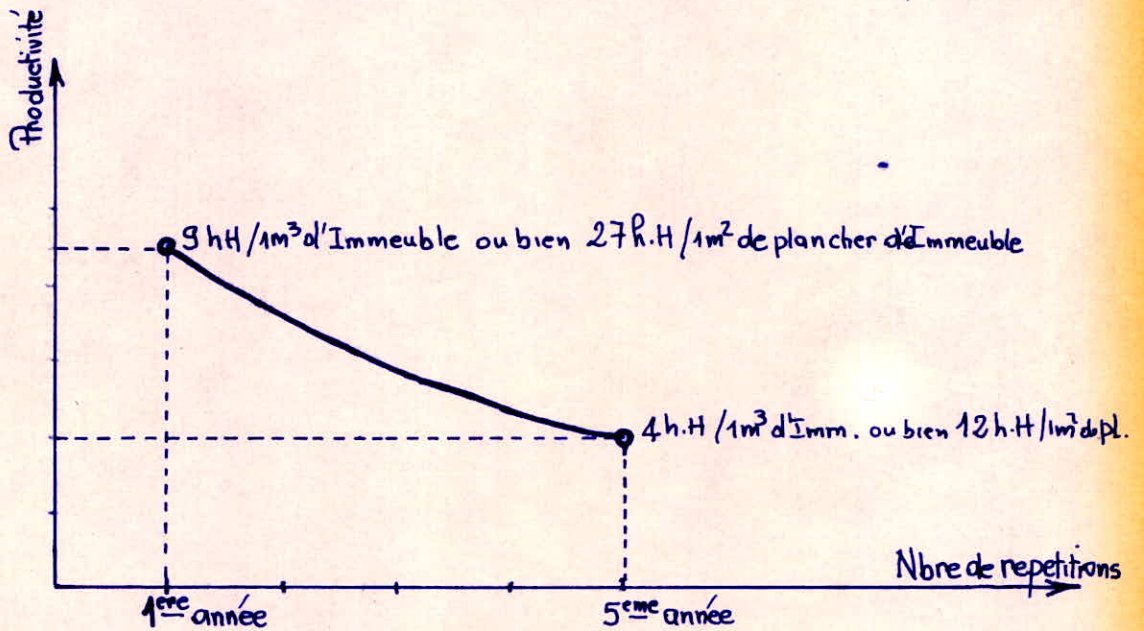


FIG II, B29 : Productivité = f(Nombre de répétition).

Pour illustrer ces considérations on peut prendre l'exemple de la Roumanie pour son accroissement de la productivité.

Nbre de logts	129	250	375	500	750
h.H/Logement	870	650	595	540	500
Taux en %	146%	110%	100%	90%	84%

On a obtenu des résultats analogues pour les grues, bétonnières et autres...

b. Une diminution du coût :

Toujours pour les immeubles d'habitations, les résultats obtenus en Hollande sont les suivants:

Pour 72 appartements	il correspond	100% du coût prévu.
432		80%
1152		77%

La condition fondamentale pour que la répétition produise des effets favorables sur les chantiers est la continuité. En effet une interruption des travaux due à une cause quelconque :

- Manque de front de travail
- Manque de Matériaux
- changement d'effectifs

ou autre ...

entraîne une discontinuité dans la courbe "  $T = f(\text{Nombre répétitions})$  " :

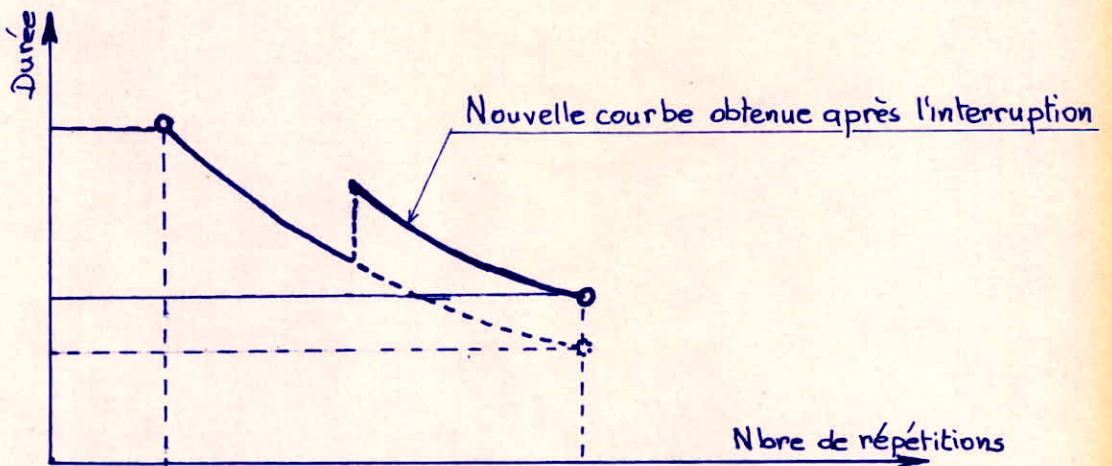


FIG II, B30 : Influence de l'interruption des travaux.

Les effets positifs du phénomène de répétition constituent un puissant argument théorique qui a conduit les unités de constructions à



se specialiser chacune dans une activité de la branche des constructions: Batiments, ponts, barrages, routes, finissage, plomberie, électricité, climatisation etc...

Un autre phénomène important qui merite d'être signalé est la "typification des projets", en effet la combinaison des deux phénomènes de "typification" et de "repetitions" donne des résultats plus intéressants et la courbe representative correspondante est plus accentuée.

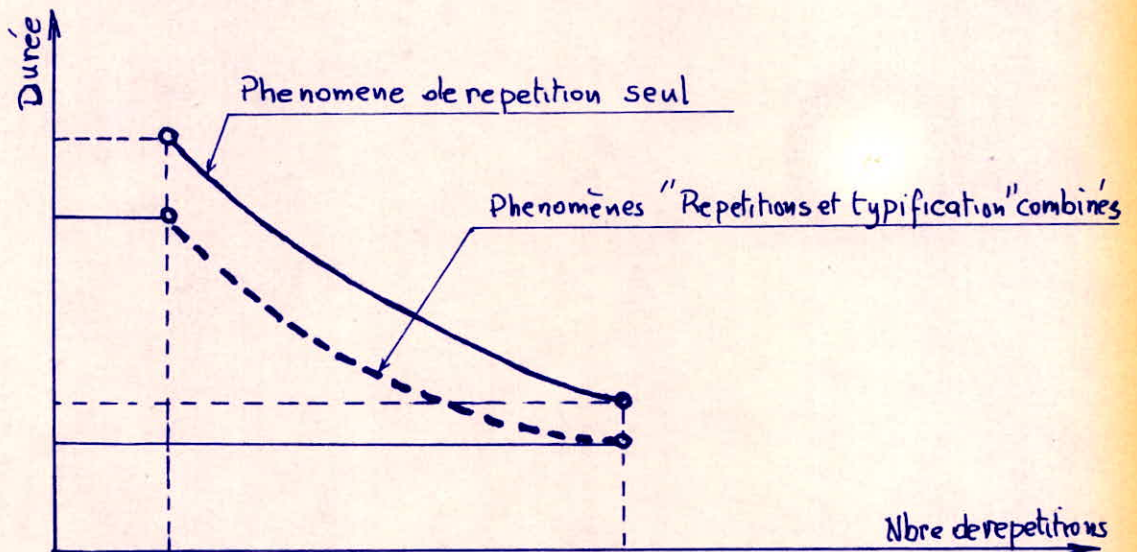


FIG II, B31 : "Typification et Repetitions" combinées

L'ALGERIE qui doit construire d'ici 1980, cent mille (100.000) logements est tenue pour bénéficier des avantages apportés par la "typification" et les "répétitions" combinées d'établir environ dix (10) projets-types qui vont se répéter sur tout le territoire National.

#### 4-10 Paramètres de qualités d'une chaîne:

Reprenons l'exemple 2 de la figure (FIG II, B14) page 91, qui consiste à organiser une ossature en Béton Armé comprenant 4 processus simples composants, par "la méthode en bandes", qui est un cas particulier de la méthode à la chaîne. Au dessous du cyclogramme des travaux, nous traçons, le graphe représentant la variation des ressources en fonction du temps. La figure (FIG II B31) page 120 représente le graphe en escalier auquel on aboutit. Il ressort que pendant le déroulement d'une chaîne on distingue trois périodes distinctes du point de vue variation des ressources (effectifs, matériel, matériaux etc...).

a - Une période de développement de la chaîne que l'on note  $T_d$  pendant laquelle les équipes rentrent sur le chantier de la première jusqu'à la dernière.  $T_d = (m-1)t$

b - Une période de stabilisation de la chaîne que l'on note  $T_s$ . Elle est comprise entre l'entrée de la dernière équipe et la sortie de la première équipe.

c - Une période de restriction  $T_r$  qui représente la durée entre la sortie de la première équipe et celle de la dernière équipe.

Dans notre cas où la chaîne est rythmique  $T_r = T_d = (m-1)t$

Par conséquent :

$$T_s = T_e - 2T_r = (m+n-1)t - 2(m-1)t = (n-m+1)t$$

$$T_s = (n-m+1)t$$

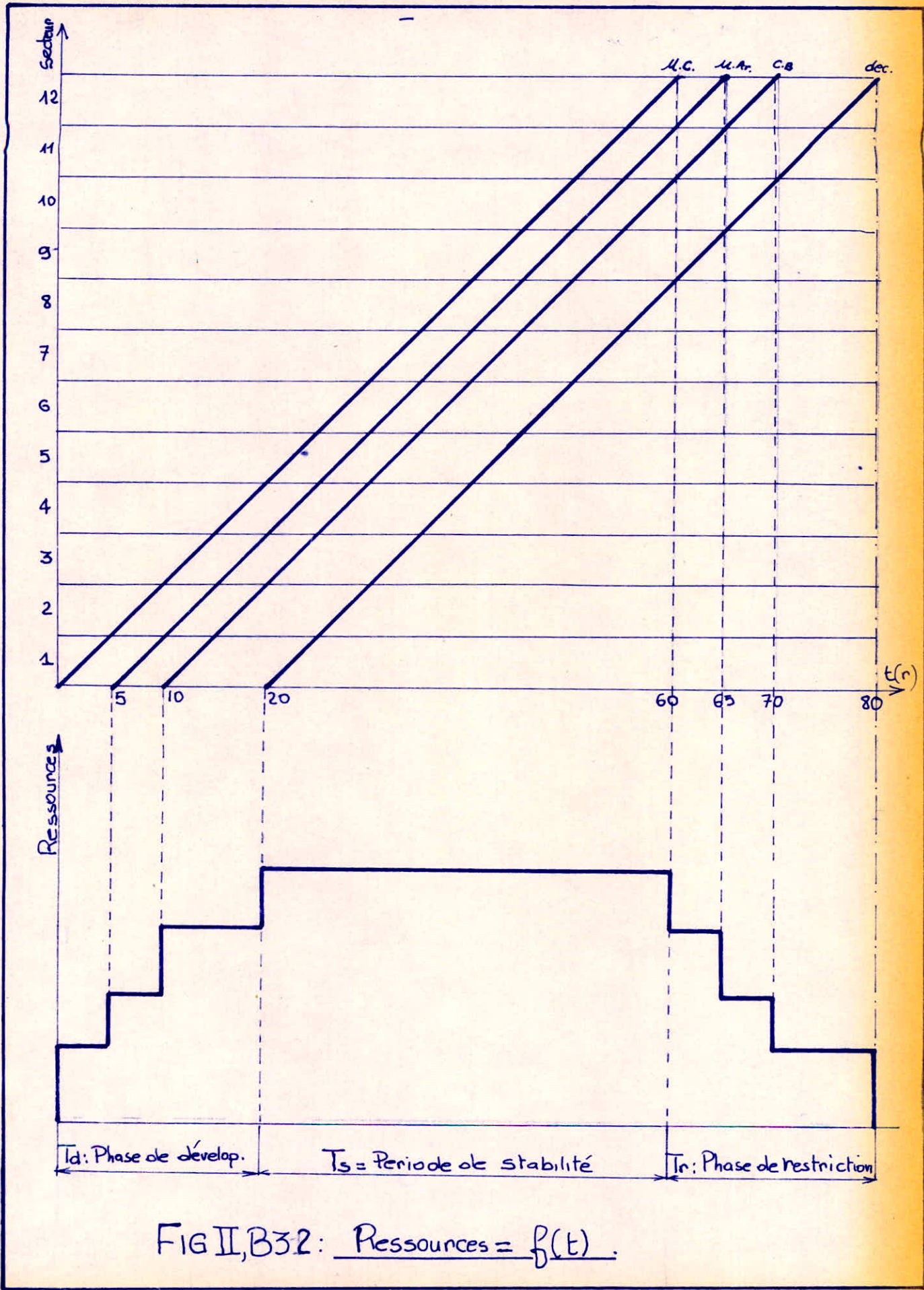


FIG II, B32: Ressources = f(t).

Remarque Importante:

Pendant les phases de déroulement et de restriction de la chaîne les équipes entrent ou sortent du chantier occasionnant ainsi un mouvement permanent et des grandes variations. A l'inverse la période de stabilisation est caractérisée par un flux uniforme d'approvisionnement, de consommation ou d'utilisation de ressources. Une fois organisée cette période se déroule facilement et d'une manière continue, on a donc intérêt à ce que le gros du travail se fasse durant cette période. On dira qu'une chaîne est plus efficace, si elle a une longue phase de stabilité  $T_s$ .

Pour apprécier la qualité d'une chaîne on recommande les paramètres suivants appelés "Paramètres de Qualité d'une chaîne".

a- Indice de stabilité  $I_s$ :

On appelle indice de stabilité le rapport entre la durée de la phase de stabilité  $T_s$  et la durée totale d'exécution  $T_e$ .

$$I_s = \frac{T_s}{T_e}$$

Dans le cas où  $T_d = T_r \Rightarrow T_e = T_s + T_d + T_r = T_s + 2T_d$

$$T_s = T_e - 2T_d$$

$$I_s = \frac{T_s}{T_e} = \frac{T_e - 2T_d}{T_e} = 1 - 2\frac{T_d}{T_e}$$

Pour la méthode en bande que venons d'étudier :  $T_d = (m-1)t$   
et  $T_e = (m+n-1)t$

$$I_s = 1 - \frac{2(m-1)}{m+n-1}$$

Nous constatons qu'une chaîne est d'autant plus efficace que l'indice de stabilité se rapproche de 1.

$$I_s \rightsquigarrow 1 \text{ quand } \frac{m-1}{m+n-1} = \frac{1}{1+\frac{n}{m-1}} \rightsquigarrow 0$$

Pour cela nous avons 2 possibilités :

1)  $(m-1) \rightsquigarrow 0 \Leftrightarrow m=1$  ce cas est à rejeter car il n'y a aucun ouvrage composé d'un seul processus.

2)  $n \rightarrow \infty$ .  $I_s \rightsquigarrow 1$

Ainsi pour permettre d'améliorer l'efficacité de la chaîne, il est nécessaire d'augmenter le nombre de secteurs, cela signifie pour les états en général et pour les entreprises de constructions en particulier qu'il faut prévoir des travaux à long terme afin d'assurer un grand front de travail pour les équipes et une continuité dans le temps (principe de continuité), d'où la nécessité d'établissements de programmes à long terme.

b - Indice d'utilisation uniforme des ressources (IUUR).

Reprenons le diagramme de ressources de la FIG II B32.

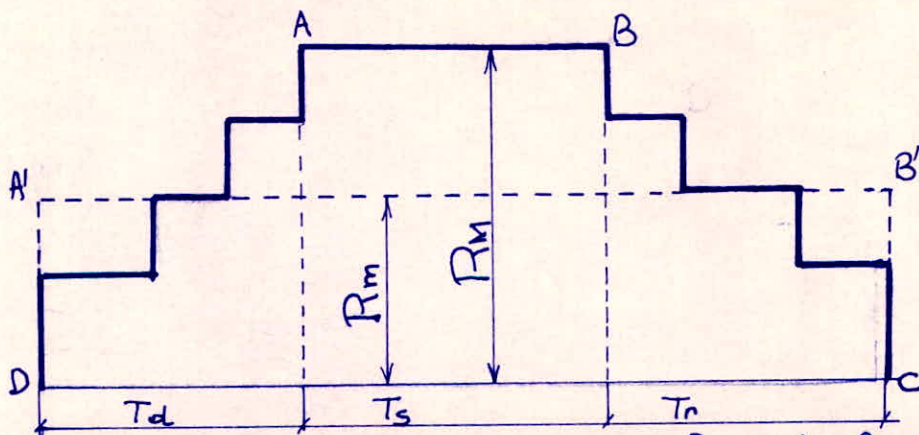


FIG II, B33 Utilisation Uniforme des Ressources (IUUR)

On définit :

$R_m$  = quantité moyenne de ressources .

$R_M$  : quantité de ressources maximale

Dans un premier temps on assimile le diagramme de ressources à un trapèze ABCD dont  $R_M$  est la hauteur maximale . La quantité de travaux  $Q$  est représentée par la surface du trapèze ABCD

$$Q_1 = \frac{T_s + T_e}{2} \times R_M$$

Dans un deuxième temps , on assimile le diagramme de ressources à un rectangle A'B'CD de largeur moyenne  $R_m$  , la quantité de ressources  $Q$  est alors

$$Q_2 = T_e \times R_m .$$

Nous dirons que nous avons une utilisation uniforme des ressources lorsque  $Q_1 = Q_2$ .

$$\frac{T_s + T_e}{2} \times R_M = T_e \times R_m$$

$$\frac{R_m}{R_M} = \frac{T_s + T_e}{2T_e} = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{T_s}{T_e} \right)$$

$$\text{Or } I_s = \frac{T_s}{T_e} = 1 - \frac{2(m-1)}{m+n-1}$$

$$\frac{R_m}{R_M} = 1 - \frac{m-1}{m+n-1}$$

Nous appelons " indice d'utilisation uniforme des ressources " le rapport entre la quantité de ressources moyenne et la quantité de ressources

maximale et l'on note :

$$I_{UUR} = \frac{R_m}{R_M} = 1 - \frac{m-1}{m+n-1} = \frac{n}{m+n-1}$$

$$I_{UUR} = \frac{1}{1 + \frac{m-1}{n}}$$

Une chaîne est d'autant plus efficace que l'indice d'utilisation uniforme des ressources se rapproche de 1.

$I_{UUR} \rightsquigarrow 1$  quand  $\frac{m-1}{n} \rightsquigarrow 0$  ceci entraîne que  $m \rightsquigarrow 1$  ou bien que  $n \rightsquigarrow \infty$  la deuxième possibilité est très importante, elle signifie que pour avoir une utilisation uniforme des ressources, il faut que les travaux s'étendent sur un grand nombre d'années, et que le front de travail soit assez grand pour permettre une continuité dans les travaux.

### C - Indice de productivité de la main d'œuvre $I_p$ .

On appelle indice de productivité de la main d'œuvre et l'on note  $I_p$ , la quantité de travaux réalisée par une équipe et par une unité de temps.

$$I_p = \frac{n}{T_e} \quad \text{où } n = \text{nbre de secteurs.}$$

$$I_p = \frac{n}{T_e} = \frac{n}{(m+n-1)t} = \frac{1}{\left(\frac{m-1}{n} + 1\right)t}$$

On voit que  $n \rightsquigarrow \infty \quad I_p \rightsquigarrow \frac{1}{t}$

Ainsi pour avoir une indice de productivité maximum il faut étendre les travaux sur un grand nombre d'années c'est à dire

assurer un front de travail infini pour ne pas interrompre l'activité.

### Conclusion:

L'Etude des paramètres de qualités d'une chaîne a montré dans tous les cas que pour obtenir une plus grande efficacité des méthodes d'organisation à la chaîne, il importe d'inclure dans la chaîne un grand nombre de constructions qui assurent un flux continu pour une longue période de temps. En général les planifications à moyen terme s'échelonnent sur des périodes allant de 4 à 5 années (plan quadriennal, plan quinquennal etc...)

Tous les indices de qualités sont supérieurs quand on assure la continuité du travail en temps, ce qui atteste une fois de plus le principe fondamental de continuité dans le travail dans la branche des constructions.

---



#### 4-11 Graphique de Représentation des Travaux : Planning des Travaux.

Dans les différents chapitres précédents nous avons procédé à une étude approfondie de toutes les méthodes d'organisation des processus simples ou complexes composants un ouvrage ou un objet de construction quelconque. Nous avons pour chacune d'elle élaboré les cyclogrammes correspondants et établi les formules donnant les durées d'exécutions respectives. Nous nous sommes particulièrement intéressés à la méthode d'organisation en "continu" ou à la "chaîne" et ses variantes. Sur la base des connaissances que nous avons acquises, nous sommes en mesure d'établir une pièce de synthèse appelée "Planning des travaux" qui est un élément très important dans l'exécution et le suivi des travaux sur le terrain.

Le planning des travaux est composée de deux parties essentielles:

- La première partie dite "partie technique du planning" est réservée aux données technico-économiques concernant chacun des processus considéré: numéro d'ordre (imposé par la technologie), désignation de l'activité, quantités de travaux, différents effectifs humains et matériels, quantités de ressources (humaines et matérielles), normes de travail et durées d'exécutions etc...

- La deuxième partie dite "plan calendaire du planning" est destinée à recevoir les différentes durées d'exécutions relatives à chacun des processus. Le mode usuel d'établissement de "planning des travaux" est le graphique GANTT. Nous distinguerons le graphique

GANTT traditionnel c'est à dire dans sa formulation originale et le graphique GANTT modernisé.

### \*) Graphique GANTT traditionnel :

Historique: Du nom du chercheur américain GANTT (1861-1919) qui le mit au point il fût utilisé exclusivement par tous les constructeurs du monde jusqu'aux alentours des années 40. Par la suite il a été remplacé progressivement par d'autres représentations plus évoluées. Toutefois ses différentes qualités et notamment sa simplicité font de lui un outils très apprécié par les constructeurs jusqu'à nos jours.

Principe : Il représente les activités de constructions par des rectangles dont la base représente la durée d'exécution à une certaine échelle. La figure (FIG II, B34) ci après en donne un modèle de "planning des travaux".

L Le Gantt traditionnel, tracé à la main, présente beaucoup d'avantages, en effet :

- Il respecte la sequentialité
- Il est d'une élaboration facile
- Il est d'une présentation simple.
- Il permet une lecture immédiate

De plus son expression graphique convient parfaitement aux techniciens de chantier. Par contre pendant la réalisation il est difficile d'obtenir des plannings mis à jour. En effet au cours du déroulement de tout chantier se produisent des incidents, des événements imprévus d'origines très

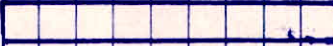
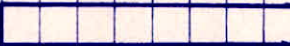
N° d'ordre	Designation des activités	Quantité de travail	Effectifs humains	Effectifs matériels	Durée d'exécution	Norme de travail	Temps (J, S, mois etc....)	observations
1	Fouilles en Fondation	1000m <sup>3</sup>	50	1pelle 0,50m <sup>3</sup>	46s.			
2	betonnage en Fondation	800m <sup>3</sup>	40		32s.			
3								
4								
5								
:								
Données técnico-économiques							Graphique calendaire	

FIG II B, 34 : Modèle de Graphique GANTT traditionnel.

très diverses (intempéries, retard de livraison, modifications apportées à certains plans), qui en ayant pour conséquences des retards ou des avances dans l'exécution d'une partie des travaux rendent le planning initialement établi difficilement utilisable. Le planning doit pouvoir permettre de suivre l'évolution réelle des travaux, il est donc nécessaire de pouvoir introduire facilement des informations nouvelles.

- D'autres parts il ne montre pas les activités qui doivent absolument être réalisées dans le temps prescrit et qui dans le cas contraire entraînerait un changement dans le délai final impartis (C'est à dire les soit-disants activités critiques ; pour lesquelles tout accroissement de la durée sur l'une quelconque se repercutera sur la date de réalisation de l'objectif final.)

- Il ne montre pas par ailleurs, l'intervalle de glissement possible des débuts et des fins, qui existent en réalité dans la pratique et qui rendent une organisation plus efficace. L'existence de cette marge signifie que la date de réalisation de l'activité peut se déplacer dans cet intervalle sans risquer de compromettre la date d'achèvement du projet. Ainsi par exemple si on fait coulisser la date de commencement des activités, on pourrait réduire le délai final sans pour cela augmenter les ressources: réduire la durée sans augmenter le coût est très important et rend l'organisation plus efficace (Relations "coût - durée").

Remarque: La suite des activités présentant des marges les plus faibles (nulles à la limite) détermine le soit-disant "Chemin Critique".

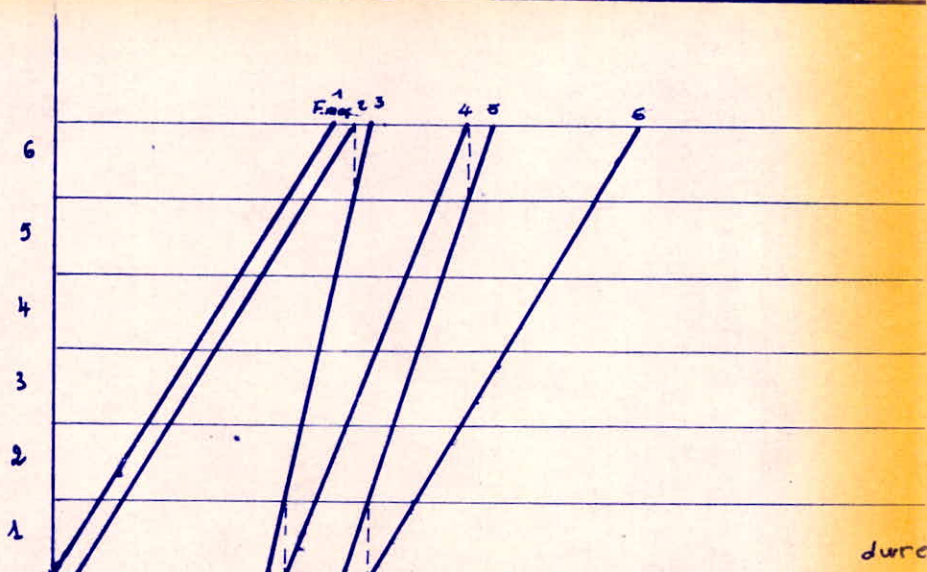
Pour remédier à ces faiblesses du GANTT traditionnel, nous faisons appel à une autre méthode de représentation utilisant les cyclogrammes, qui en introduisant la sectorisation permettent des marges dans lesquelles peuvent coulisser les débuts et de fin de travaux, sans changer le délai final. Le graphique Gantt ainsi obtenu est appelé "Graphique GANTT modernisé"

### b - Graphique GANTT modernisé :

Le principe est analogue à celui du Gantt traditionnel du point de vue de la représentation des activités de constructions par des rectangles dont la base est proportionnelle à la durée d'exécution de l'activité considérée, mais le graphique Gantt modernisé repose sur l'utilisation des cyclogrammes, qui eux retracent, la méthode d'organisation du travail à partir des paramètres de base que l'on s'est fixé et des relations séquentielles entre les processus imposées par la technologie. Une fois établi le cyclogramme des travaux suivant la méthode d'organisation employée, on trace alors juste au dessous le diagramme gantt correspondant, comme l'indique la figure (FIG II, 335) ci après page 131.

On tracera par la suite les différents diagrammes utiles :

- Diagrammes des effectifs
- Diagrammes de consommations (ciment, acier, sables....)
- Diagrammes d'approvisionnements
- et autres....



designatio des activités	quantité de travail	effectif humain	matériel	durée	Norme de travail	Temps (J, s, mois)	Observation
Fouilles en fondatio (mécaniques)	5760 m <sup>3</sup>	6	1 pelle 4 camions	6 s		e = 6	
Fouilles fondation (manuelles)	1440 m <sup>3</sup>	20		6 s		e = 20	
bétonnage des fondations	1000 m <sup>3</sup>	55		2 s		e = 55	
maçonnerie	4320 m <sup>2</sup>	33		4 s		e = 33	
Charpente	1920 m <sup>2</sup>	30		3 s		e = 30	
revêtement	1900 m <sup>2</sup>	18		6 s		e = 18	

diagramme des effectifs

diagramme de consommation du béton

diagramme de consommation du mortier

diagramme de consommation de béton + mortier

diagramme de consommation de: Sable - ciment  
Gravier ...

FIG. II, B 35 Modele de Graphique GANTT Modernisé

A l'instar de son homologue le gantt traditionnel ce graphique :

- respecte la sequentialité .
- d'une élaboration facile .
- d'une présentation simple .
- permet une lecture immédiate .

Mais aussi et surtout, il montre bien les marges dans lequel peuvent coulisser les debuts des activités sans que l'on risque de dépasser le délai final fixé . Ceci est rendu possible par l'introduction de la sectorisation . En effet nous remarquons sur le cyclogramme que nous pouvons déplacer certains processus de façon à obtenir par exemple une synchronisation sur tous les secteurs . Nous traçons de nouveau le gantt correspondant à ce nouveau cyclogramme (en pointillé sur la FIG II, B36) On obtient ainsi des intervalles dans lesquelles peuvent glisser les debuts et de fins des processus sans modifier la date d'achèvement du Projet . Il précise en outre les activités qui permettent du retard et celles qui ne le permettent pas (marges nulles)

La figure FIG II, B36 page 133 illustre ce fait.

Il permet d'autre part :

- Un contrôle journalier du chantier :

En effet pour un jour quelconque compris entre le debut et la fin des travaux , On connaît tous les processus qui sont en cours de réalisation sur le chantier, le nombre d'équipes, leurs

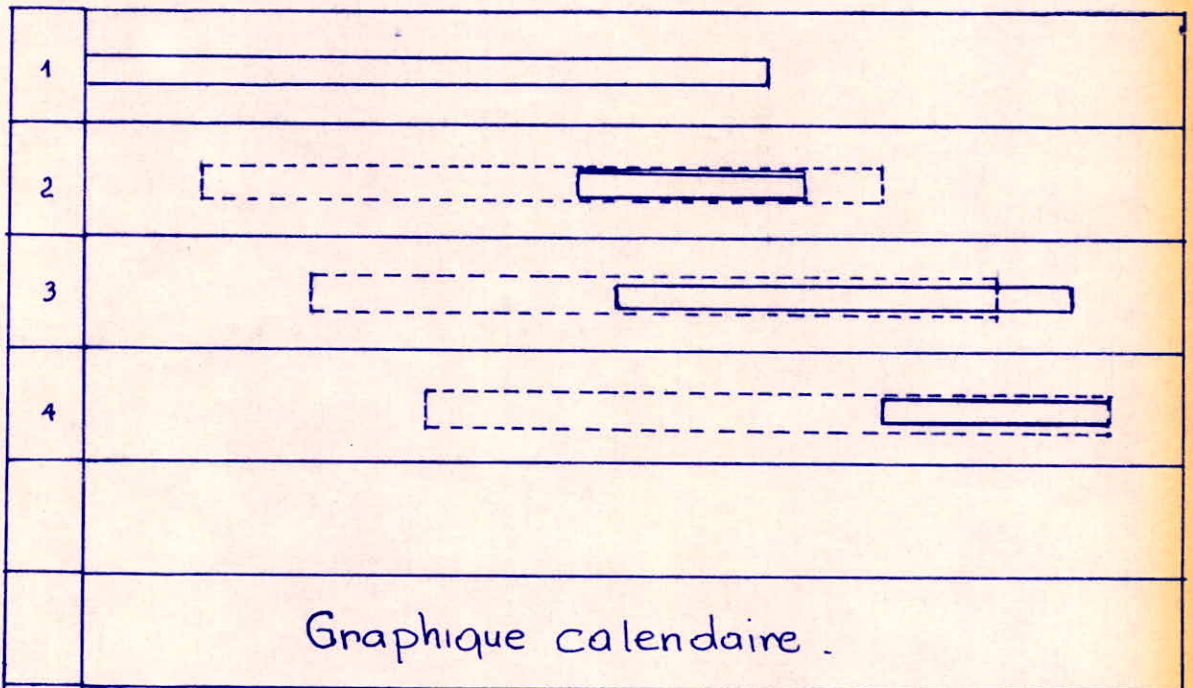
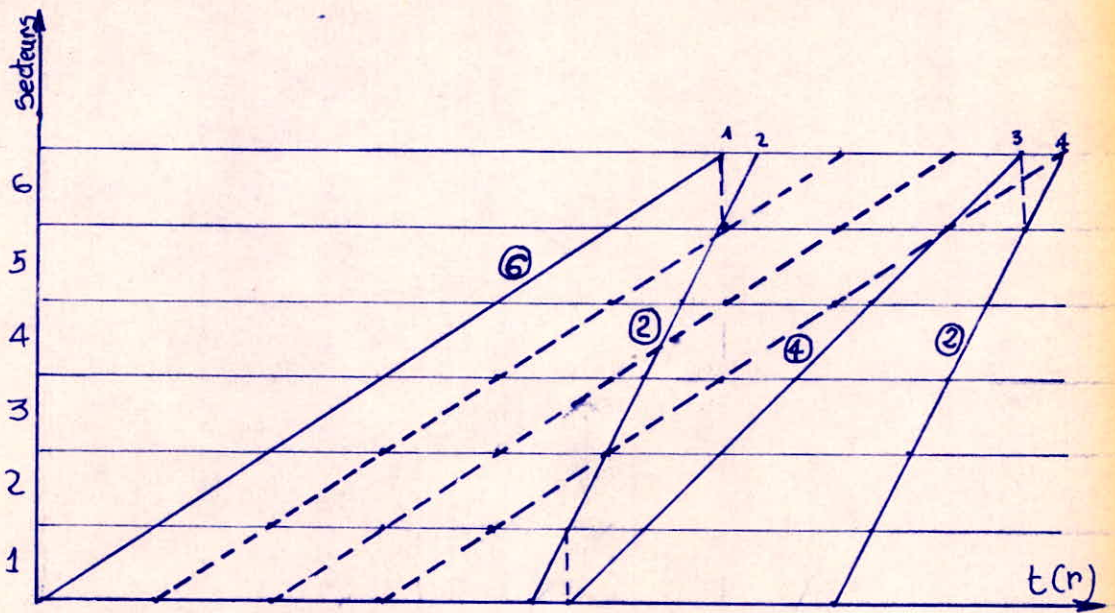


FIG II, B36 : Intervalles de glissement



emplacement exact sur le chantier, la quantité de travaux exécutée en ce jour ainsi que la nature et le nombre d'engins utilisés (voir les différents diagrammes d'effectifs, consommations, Approvisionnements, stocks etc...)

- Le contrôle de l'état d'avancement des travaux:

Connaissant les dates de débuts et de fin de chaque processus de constructions, on peut savoir dans un jour quelconque si on est en retard ou en avance et de combien de jour par rapport au planning initial. La méthode consiste à colorier les rectangles au fur et à mesure que les travaux s'exécutent et sont finis.

- de calculer (ou de connaître) les nécessaires de ressources au fur et à mesure de l'avancement des travaux (grâce aux différents diagrammes de ressources, de consommations etc... qui y sont annexés) Comme on le constate le GANTT modernisé présente beaucoup d'avantages qui font de lui un outil très apprécié des constructeurs.

Le GANTT modernisé est par ailleurs un complément indispensable à la méthode de planification par réseaux ou P.E.R.T. En effet la méthode P.E.R.T s'adresse essentiellement à l'ingénieur ou à l'architecte chargé de l'élaboration ou du suivi du projet, elle ne touche pas en général les techniciens du chantier qui exécutent les travaux et qui ont besoin par conséquent d'une représentation plus facile, graphique que est le Gantt modernisé.

Le graphique GANTT modernisé qui se base sur les cyclogrammes des travaux, est vivant, il parle et permet ainsi de suivre

Le mouvement des équipes. Pour cette raison dans la pratique on est obligé souvent de traduire le graphique réseau (P.E.R.T.) sous forme de Gantt qui est facilement utilisable sur chantier.

Par ailleurs, il est bon de signaler que quand il s'agit de grands ensembles ou du projet pris globalement on préfère le mode de planification par la méthode P.E.R.T, car l'établissement des cyclogrammes devient impossible, vu le grand nombre de processus qu'il faudrait introduire, mais pour des parties du projet on lui substitue le GANTT modernisé qui devient alors plus efficace.

De ce bref exposé il découle que les méthodes PERT et le graphique GANTT modernisé s'améliorent et se complètent mutuellement, leur utilisation combinée permettra une planification de n'importe quel projet aussi grand soit-il et un suivi aisé sur le chantier.

---

TROISIEME PARTIE

APPLICATION A L'ORGANISATION DE  
L'EXECUTION D'UNE USINE  
INDUSTRIELLE

### III Application à l'organisation de l'EXÉCUTION d'une usine industrielle.

Dans le but d'illustrer par un cas pratique les différentes considérations théoriques vues précédemment, on se propose d'organiser l'exécution d'un hall industriel subdivisé en six (6) secteurs de travail et sur lesquels nous devons réaliser les processus simples composants suivants :

Processus composant	Quantité de travaux par secteur	normes de travail
Fouilles en fondation 1. 80% mécanique 2. 20% manuelle	7200 m <sup>3</sup> 5760 m <sup>3</sup> 1440 m <sup>3</sup>	$N_p = 20 \text{ m}^3/\text{h.p}$ $N_p = 0,25 \text{ m}^3/\text{h.H}$
3 Bétonnage des fondations	1000 m <sup>3</sup>	$N_p = 0,25 \text{ m}^3/\text{h.H}$ on dispose d'une mini-centrale de 10 m <sup>3</sup> /h
4 Maçonnerie en briques	4320 m <sup>2</sup>	$N_p = 0,5 \text{ m}^2/\text{h.H}$
5 Charpente	1920 m <sup>2</sup>	$N_p = \frac{1}{3} \text{ m}^2/\text{h.H}$
6 Revêtement	1900 m <sup>2</sup>	$N_p = 1,5 \text{ m}^2/\text{h.H}$

1- Calcul des paramètres ( module de temps ou effectif ) pour chaque processus.

Les modules de temps sont donnés par la relation

universelle  $t = \frac{Q}{N_p \times W}$

ou  $Q$  : quantité de travaux par secteur  
 $N_p$  : norme de production  
 $W$  : effectif ( quantité de ressource )

1 jour = 1 relève = 8 h

1 semaine = 6 j

## Fouilles en fondation

### 1) fouilles mécaniques :

$$Q = 7200 \times 80 / 100 = 5760 \text{ m}^3$$

$$W = 1 \text{ pelle mécanique de } 0,500 \text{ m}^3 \text{ et } N_p = 20 \text{ m}^3 / \text{h.p}$$

$$t = 288 \text{ h} = 36 \text{ r} = 36 \text{ j} = 6 \text{ semaines}$$

### 2) fouilles manuelles :

$$Q = 1440 \text{ m}^3 \quad N_p = 0,25 \text{ m}^3 / \text{h.H}$$

Remarque : Par sécurité pour les ouvriers les fouilles manuelles commencent environ 3 semaines après le démarrage des fouilles mécaniques. On suppose par ailleurs que les terrassiers suivent la machine et réalisent les travaux dans une même durée. Par conséquent l'effectif humain nécessaire sera donné par :

$$W = \frac{Q}{N_p \times t} = \frac{1440}{0,25 \times 288} = 20 \text{ hommes}$$

### 3) bétonnage des fondations :

$$Q = 1000 \text{ m}^3 \text{ on dispose d'une minicentrale de } 10 \text{ m}^3 / \text{h}$$

ceci entraîne que le temps de préparation sera :  $t = \frac{1000}{10} = 100 \text{ h}$

$$100 \text{ h} = 12,5 \text{ relèves} \approx 2 \text{ semaines}$$

Remarque : le béton préparé doit être utilisé immédiatement après pour ne pas perdre de ses qualités, ce qui entraîne que le module de temps du coulage de béton est égal au temps mis pour sa préparation  $t = 2 \text{ s} = 12 \text{ j} = 96 \text{ h}$  l'effectif humain nécessaire

$$\text{sera alors } W = \frac{1000}{0,25 \times 96} = 42 \text{ bétonnistes}$$

le transport de béton se fait à l'aide de dumpers pouvant transporter  $4 \text{ m}^3 / \text{h}$  les distances sont supposées petites. La minicentrale.

produisant  $10 \text{ m}^3/\text{h}$  il faudrait 3 dumpers (3 conducteurs).

Le levage du béton se fait à l'aide de grue de capacité portante  $1,5 \text{ t}$  et effectuant 8 cycles/h ce qui veut dire qu'elle peut lever  $8 \times 1,5 = 12 \text{ t}$  de béton/h, la minicentrale produisant  $10 \text{ m}^3/\text{h}$  de béton qui correspond en poids à  $10 \times 2,4 = 24 \text{ t/h}$  ( $2,4$  densité du béton). On utilisera alors 2 grues ( $24/12 = 2$  grues) pour chaque <sup>grue</sup> il faudra un conducteur et 2 aides.

La vibration du béton se fait à l'aide d'aiguilles vibrantes dont la norme est  $0,75 \text{ m}^3/\text{h}$ , la minicentrale produisant  $10 \text{ m}^3/\text{h}$

$$\text{entraîne } w = \frac{10}{3/4} = 14 \text{ aiguilles vibrantes}$$

Recapitulatif :

préparation	1 minicentrale	4 hommes
bétonnage		42 bétonnistes
transport	3 dumpers	3 conducteurs
levage	2 grues	6 hommes
vibration	14 aiguilles	

au total l'effectif humain est 55 hommes.

#### 4) Maçonnerie en briques :

$$Q = 4320 \quad e = 30 \text{ maçons} \quad N_p = 0,5 \text{ m}^2/4 \cdot \text{H}$$

$$\text{Module de temps } t = \frac{4320}{30 \times 0,5} = 288 \text{ h} = 36 \text{ j} = 6 \text{ s}$$

Les matériaux utilisés sont les briques et le mortier

on utilise  $0,04 \text{ m}^3$  de mortier par  $\text{m}^2$  de maçonnerie réalisé or

30 maçons réalisent en 1 heure  $30 \times 0,5 \text{ m}^2 = 15 \text{ m}^2$  par conséquent

la quantité nécessaire de mortier par heure est  $15 \times 0,04 = 0,6 \text{ m}^3$

On utilisera une bétonnière de 300 l produisant  $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$   
On suppose qu'on réalise un mur à double cloisons à raison de 60 briques /  $\text{m}^2$ . Comme les maçons réalisent  $15 \text{ m}^2$  en 1 heure, le nombre de briques utilisées sera de  $60 \times 15 = 900$  briques pesant  $2,5 \text{ kg}$  chacune ce qui fera  $900 \times 2,5 = 2250 \text{ kg}$ . La quantité de matériaux à transporter sera  $2250 + 0,6 \times 2000 = 3450 \text{ kg}$ . On utilisera par cela un dumpers pour le transport et une grue (8t/4) pour le levage.

Recapitulatif :

maçonnerie		30 maçons
transport	1 dumper	1 homme
levage	1 grue	3 hommes
préparation du mortier	1 bétonnière 300 l $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$	2 hommes
	total	36 hommes.

5) Processus de montage de la charpente métallique:

$$Q = 1920 \text{ m}^2$$

module de temps imposée : 4 semaines = 192 h

$$N_p = \frac{1}{3} \text{ m}^2/\text{h} \quad \text{L'effectif nécessaire sera } w = \frac{Q}{N_p \times t} = \frac{1920}{\frac{1}{3} \times 192} = 30 \text{ h}$$

La quantité de travaux effectuée par heure et par secteurs sera de  $\frac{1920}{192} = 10 \text{ m}^2/\text{h}$ , la charpente pèse  $0,15 \text{ t}/\text{m}^2$  par conséquent le poids total à élever est  $10 \times 0,15 = 1,5 \text{ t}/\text{h}$  pour cela on utilise une grue de  $2 \text{ t}/\text{h}$

Recapitulatif :

montage	30 hommes	
levage :	3 hommes	au total : 33 h.

6) Processus de revêtement des sols:

$$Q = 1900 \text{ m}^2 \quad N_p = 1,5 \text{ m}^2/\text{h.H}$$

On réalise un revêtement de 0,20 m d'épaisseur ce qui constitue un volume de  $0,2 \times 1900 = 380 \text{ m}^3$  de béton, le module de temps étant imposé  $t = 2 \text{ s} = 96 \text{ heures}$ . L'effectif nécessaire sera

$$w = 1900 / 1,5 \times 96 = 13 \text{ hommes.}$$

la quantité de béton nécessaire par heure est  $380/96 = 4 \text{ m}^3/\text{h}$   
on utilisera :

pour le transport:	1 dumpers $4 \text{ m}^3/\text{h}$	1 conducteur
pour la préparation:	2 bétonnières 500l $2,5 \text{ m}^3/\text{h}$	4 hommes.
pour le vibrage	4 vibreurs de $1 \text{ m}^3/\text{h}$	

Récapitulatif :

transport	1 dumper $4 \text{ m}^3/\text{h}$	1 conducteur
préparation	2 bétonnières 500l ( $2,5 \text{ m}^3/\text{h}$ )	4 hommes
revêtement		13 hommes
	total	18 hommes

Remarque: on utilisera 10 ouvriers pour les travaux divers  
Le tableau Fig III, 1 page 141 ci après résume les résultats des calculs précédent.

2-ÉTABLISSEMENT DU PLANNING DES TRAVAUX :

L'organisation de l'exécution sera faite d'après la "méthode en continu" en particulier la méthode avec des chaînes partielles rythmiques: les modules de temps sont les suivants :

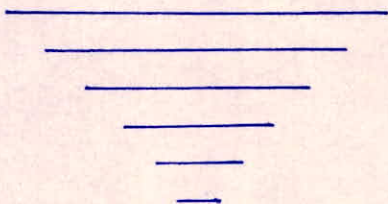
$$t_1 = 6 \text{ s}, t_2 = 6 \text{ s}, t_3 = 2 \text{ s}, t_4 = 6 \text{ s}, t_5 = 4 \text{ s}, t_6 = 2 \text{ s}$$



N° d'ordre	Dénomination des activités	Quantité de travaux par secteur	Effectif humain	Effectif matériel	durée	Norme de travail
1	Fouilles en fondation - mécanique -	5760 m <sup>3</sup>	6	4 camions (4 H) 1 pelle 0,500 m <sup>3</sup>	6 s	20 m <sup>3</sup> /h.p
2	Fouilles en fondation - manuelle -	1440 m <sup>3</sup>	20		6 s	Np = 0,25 m <sup>3</sup> /h.H
3	Bétonnage des fondations	1000 m <sup>3</sup>	55	1 munitrice 3 dumpers 2 grues 14 aiguilles vibrants	2 s	10 m <sup>3</sup> /h.m 4 m <sup>3</sup> /h.d 12 t/h.g 0,75 m <sup>3</sup> /h.a
4	Maconnerie en briques	4320 m <sup>2</sup>	36	1 dumper 1 grue 1 bétonnière 200 l	6 s	4 m <sup>3</sup> /h.d 8 t/h.g 1,5 m <sup>3</sup> /h.b
5	Montage de charpente	1920 m <sup>2</sup>	33	1 grue	4 s	2 t/h.g
6	Revêtement du sol	1900 m <sup>2</sup>	18	1 dumper 4 vibrans 2 bétonneuses 500 l	2 s	1 m <sup>3</sup> /h.v 2,5 m <sup>3</sup> /h.b
7	divers		10		73 s	

FIG : III, 1

On établit alors le cyclogramme des travaux et on trace le diagramme Gantt modernisé correspondant voir fig III, 2 planche 02. On a inclus également le diagramme des effectifs. Pour mettre en relief, l'existence des intervalles de glissement ou marges, dans lesquelles peuvent coulisser les débuts de processus sans risquer de dépasser le délai fixé; on organise les mêmes processus suivant la méthode en bande ou en convoyeur. On établit le cyclogramme des travaux et le graphique Gantt puis le diagramme des effectifs correspondants. voir figure III, 3 Planche 03



### 3- Diagrammes de consommation

Diagramme différentiel de stock

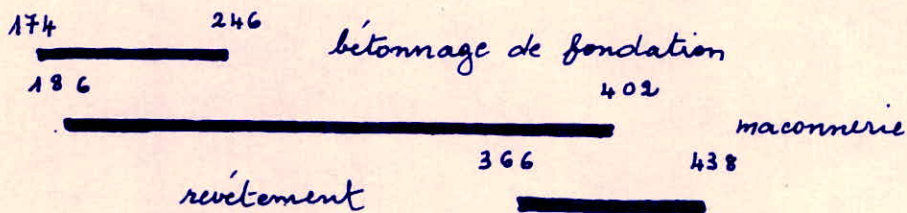
Diagramme intégral

Les diagrammes de consommation, d'approvisionnement ainsi que les diagrammes de stock et les diagrammes intégraux sont établis pour les plus importants matériaux utilisés pour la production de construction à savoir : ciment, sable, gravier, briques, acier, bois.

Ces diagrammes permettent de connaître journalièrement la consommation, l'approvisionnement, et le stock de chacun de ces éléments de base.

Diagramme de consommation :

C'est le diagramme essentiel, il est tracé à partir du diagramme Gantt. Connaissant l'échelonnement des processus et leur durée tels qu'ils sont indiqués dans le diagramme.



- bétonnage de fondation : ce processus commencera le 174<sup>ème</sup> jour et prendra fin le 246<sup>ème</sup> jour la consommation journalière de béton est  $80 \text{ m}^3$

- maçonnerie : ce processus commence le 186<sup>ème</sup> jour et se termine le 402<sup>ème</sup> jour avec une consommation de mortier égale à

4,8 m<sup>3</sup> par jour

- revêtement : ce processus commence au 366<sup>ème</sup> jour et prend fin au 438<sup>ème</sup> jour, la consommation journalière de béton pour ce processus est 32 m<sup>3</sup> FIG III, 4 page

Connaissant les consommations en matériaux pour chaque processus telles qu'elles sont calculées, il suffira de faire la somme des quantités de matériaux consommés journalièrement par l'ensemble des processus qui utilisent le même matériau le béton utilisé pour le bétonnage des fondations et le revêtement est dosé à : 300 kg de ciment / m<sup>3</sup> de béton

0,800 m<sup>3</sup> de gravier / m<sup>3</sup> de béton

0,400 m<sup>3</sup> de sable / m<sup>3</sup> de béton

par contre pour le mortier le dosage est : 360 kg de ciment par m<sup>3</sup> et 1,03 m<sup>3</sup> de sable.

A partir des consommations de béton et de mortier et du dosage de ceux-ci on pourra en déduire les diagrammes de consommation journalière pour tous les matériaux de base (ciment, sable, gravier et c...) pour notre cas nous ferons les diagrammes de consommation journalière pour le ciment et le gravier voir FIG III, 5a page FIG III, 6a page

En plus de ces diagrammes nous avons établi un diagramme de consommation horaire béton plus mortier qui nous a permis de déterminer le matériel nécessaire et leur durée d'utilisation voir fig III 7 page

### Diagramme d'approvisionnement

C'est le diagramme qui montre la quantité approvisionnée quotidiennement pour chacun des matériaux. Il est tracé à partir du diagramme de consommation en tenant compte des possibilités d'approvisionnement et de stockage du chantier.

Le principe du tracé est le suivant : d'après le diagramme de consommation on calcule la consommation journalière moyenne et on approvisionne quotidiennement le chantier en une quantité légèrement supérieure à la consommation journalière moyenne. Cette quantité à approvisionner est conditionnée par les impératifs du chantier à savoir :

- Elle doit correspondre autant que possible à un nombre entier de fois le tonnage de l'engin de transport du matériau à approvisionner ceci afin de permettre une rentabilisation maximum du matériel.

- Elle doit constituer un stock prévisionnel suffisant à la consommation graduelle du chantier représenté par le diagramme de consommation en aucun cas le chantier ne doit tomber en panne de stock même au moment où les consommations sont maximums.

- Elle ne doit cependant pas constituer un stockage excessif afin de ne pas dépasser les possibilités de stockage du chantier.

### Diagramme différentiel de stock :

C'est le diagramme qui représente la différence

entre la quantité approvisionnée et la quantité consommée c'est à dire le stock en fonction du temps.

Le stock doit être obligatoirement nul dès que la consommation des matériaux est nulle, puisque on part du principe que le chantier est approvisionné en une quantité égale à la consommation totale.

Le diagramme différentiel de stock permet de savoir le stock prévisionnel du chantier à chaque moment

Principe : soit à tracer le diagramme de stock pour le ciment d'après le diagramme de consommation du ciment la consommation totale est  $24 \times 12 + 25,7 \times 60 + 1,73 \times 120 + 11,3 \times 36 + 9,6 \times 36 = 2790t$  ce qui donne une consommation moyenne journalière de

$$\frac{2790}{264} = 10,57t$$

La consommation étant très importante durant les 72 premiers jours, on approvisionnera à raison de  $20t/j$  et 20 jours avant le début des travaux utilisant ce matériau c'est à dire à partir du 154<sup>ème</sup> jour, pour cela on dressera un tableau à la page suivante ce tableau contiendra les quantités approvisionnées, consommées, et stockées.

et voir Fig III 5 b page et Fig III 6 b page

Tableau récapitulatif pour le ciment

Observations	date	durée	approvisionnement	consommation	stock
début d'approvisionnement à 20 t/j	154	0	0	0	0 <del>100</del>
	174	20	$20 \times 20 = 400 \text{ t}$	0	400
	186	12	$12 \times 20 = 240 \text{ t}$	$12 \times 24 = 288 \text{ t}$	352 t
fin d'approvisionnement	246	60	$60 \times 20 = 1200 \text{ t}$	$25,7 \times 60 = 1542$	10 t
début d'approvisionnement à 2 t/j	247	-			
fin d'approvisionnement	366	120	$120 \times 2 = 240 \text{ t}$	$1,7 \times 120 = 204$	46 t
début d'approvisionnement à 15 t/j	367				
	402	36	$36 \times 15 = 540$	$36 \times 11,3 = 406$	179
fin d'approvisionnement	413	11	$11 \times 15 = 165$	$11 \times 9,6 = 105,6$	238
approvisionnement de 27 ce jour	414	1	$1 \times 2 = 2$	$1 \times 9,6 = 9,6$	231
	438	.	0	$9,6 \times 34 = 231$	0

-147-

Tableau recapitulatif pour le gravier

observations	date	durée	approvisionnement	consommation	stock
debut d'approvisionnement du gravier 30 m <sup>3</sup> /j	164	0	0	0	0
	174	10	900 m <sup>3</sup>	0	900 m <sup>3</sup>
fin d'approvisionnement	215	41	3690 m <sup>3</sup>	41 x 64 = 2624 m <sup>3</sup>	1966 m <sup>3</sup>
ce jour on approvisionne 18 m <sup>3</sup>	216	1	18 m <sup>3</sup>	64 m <sup>3</sup>	1920 m <sup>3</sup>
	246	30	0	30 x 64 = 1920	0
debut d'approvisionnement 30 m <sup>3</sup> /j	356	0	0	0	0
	366	10	300 m <sup>3</sup>	0	300 m <sup>3</sup>
fin d'approvisionnement	417	51	51 x 30 = 1530 m <sup>3</sup>	51 x 25,6 = 1305	524 m <sup>3</sup>
on approvisionne ce jour 14 m <sup>3</sup>	418	1	14	25,6	512 m <sup>3</sup>
	438	20	0	20 x 25,6 = 512	0



## Diagramme intégral

Il représente le bilan des consommations et des approvisionnements et permet l'évaluation du stock.

On représente une courbe des consommations cumulées en fonction du temps et une courbe des approvisionnements cumulés en fonction du temps. Etant donné que l'approvisionnement est calculé tel que l'on ait toujours un stock provisionnel, la courbe des approvisionnements cumulés doit être supérieure à la courbe de consommation cumulée et ne doit en aucun cas la couper, le cas contraire signifierait que le chantier consomme une quantité supérieure à celle dont il dispose ce qui est matériellement impossible et se traduirait par un arrêt éventuel des travaux. Pour un même jour on peut lire sur le diagramme le stock dont dispose le chantier en faisant la différence entre la quantité approvisionnée et celle consommée. Comme nous l'avons souligné tout à l'heure nous n'étudions que les diagrammes intégrals pour le ciment et le gravier seulement.

Principe du tracé du diagramme intégral des consommations :

Connaissant les quantités consommées journalièrement on trace le diagramme intégral en cumulant les consommations jour après jour on aura alors les tableaux suivants pour le ciment, et le gravier

Pour le ciment on aura.

durée	consommation /j	consommation	consommation cumulée
174 - 186	24 t	288 t	288 t
186 - 246	25,7 t	1542 t	1830 t
246 - 366	1,7 t	204 t	2034 t
366 - 402	11,3 t	406,8	2440 t
402 - 438	9,6 t	345,6	2790 t

Pour le gravier on aura .

Durée	consommation /j	consommation totale	consommation cumulée
174 - 246	64 m <sup>3</sup>	4608 m <sup>3</sup>	4608 m <sup>3</sup>
246 - 366	0	0	4608 m <sup>3</sup>
366 - 438	25,6 m <sup>3</sup>	1843 m <sup>3</sup>	6451 m <sup>3</sup>

A l'aide de ces résultats nous pourrions alors tracer le diagramme intégral des consommations pour le ciment et le gravier FIG III 8 page FIG III 9 page

Le diagramme intégral des approvisionnements doit être une courbe supérieure à la courbe des consommations cumulées et ne doit la couper en aucun cas et cette courbe est tracé à partir de certains impératifs du chantier qui sont la capacité de stockage et le nombre d'engins de transport dont dispose le chantier

Principe du tracé du diagramme intégral et deductions faites sur ces deux diagrammes d'approvisionnement et de

consommation.

Nous avons dit que la courbe intégrale des approvisionnement doit être supérieure à celle des consommations et son tracé dépend de la capacité de stockage du chantier et du matériel de transport dont il dispose. Pour cela on commencera notre approvisionnement à la date 162 c'est à dire 12 jours avant la consommation et à partir de ce point on tracera une droite parallèle  $O'A'$  au premier tronçon de la courbe de consommation ( $OA$ ) la pente de cette droite  $O'A'$  représente l'approvisionnement journalier donc cette pente peut être imposée par le matériel de transport dont dispose le chantier.

Pour le tronçon  $AB$  on tracera une droite  $A'B'$  // avec des temps la pente de  $A'B'$  étant nulle, l'approvisionnement sera nul. Pour le tronçon  $BC$  on tracera une droite  $B'C'$  ayant une pente supérieure à celle de  $O'A'$  donc un approvisionnement journalier supérieur à celui de  $O'A'$  et cessant à l'abscisse du temps du point  $C'$  se trouvant à la même ordonnée que le point  $C$ . La pente de la droite  $O'A'$  est  $2160/84 = 25,7$  On approvisionnera journalièrement de la date 162 à 246  $25,7$  t/jour alors que la pente de  $B'C'$  est  $630/24 = 26,2$  et l'approvisionnement de la date 366 à 390 est  $26,2$  t/jour la longueur du segment  $OO'$  représente 12j pendant lesquels l'approvisionnement se fera avant la consommation pour déterminer l'approvisionnement sur  $O'A'$  et  $B'C'$  il existe

une méthode qui consiste à tracer une série de triangles rectangles ayant pour côté commun la longueur  $00' = 12j$  ou un multiple de  $00'$  étant un côté de l'angle droit et on prendra plusieurs valeurs d'approvisionnement journalier que l'on multipliera par la longueur de  $00'$  et cette valeur trouvée seront les valeurs des deuxième côté de l'angle droit du triangle rectangle dont les valeurs sont exprimées en  $t$  pour le ciment et  $m^3$  pour le gravier pour chacune des valeurs on tracera l'hypothénuse correspondante, et celle qui sera parallèle à  $0'A'$  ou  $0'C'$  auront même pente donc même approvisionnement journalier. FIG III 8 page      FIG III 9 page

Nous pourrions deduire de ces diagrammes intégraux de consommation et d'approvisionnement le diagramme de stock et d'approvisionnement.

FIG III, 10 page pour ciment

FIG III, 11 page pour gravier

174

246

betonnage de fondation

402

maçonnerie

186

revêtement

366

438

80 m<sup>3</sup>

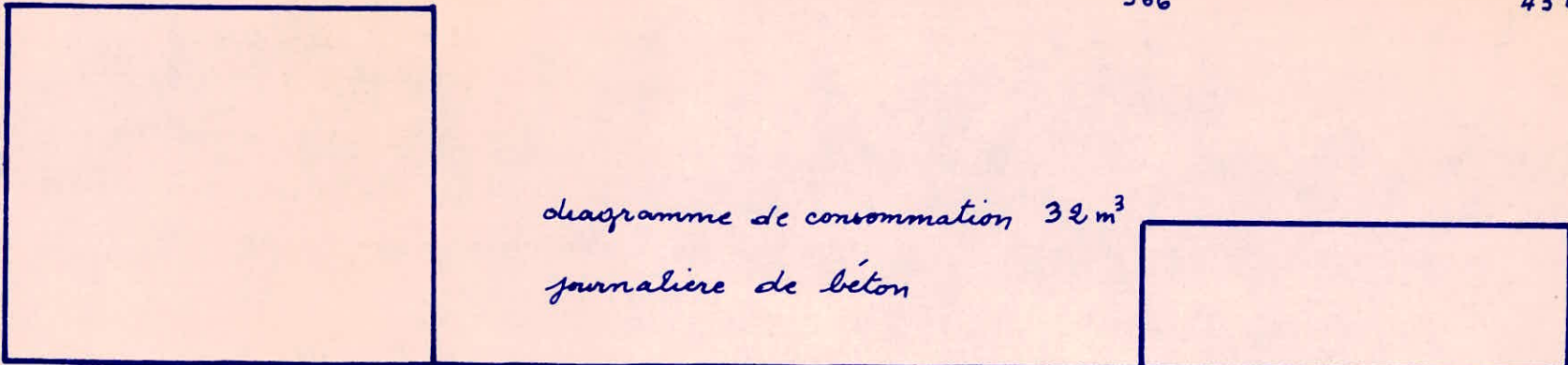


diagramme de consommation journalière de béton

174

246

366

438

155

diagramme de consommation journalière du mortier

4,8 m<sup>3</sup>

186

402



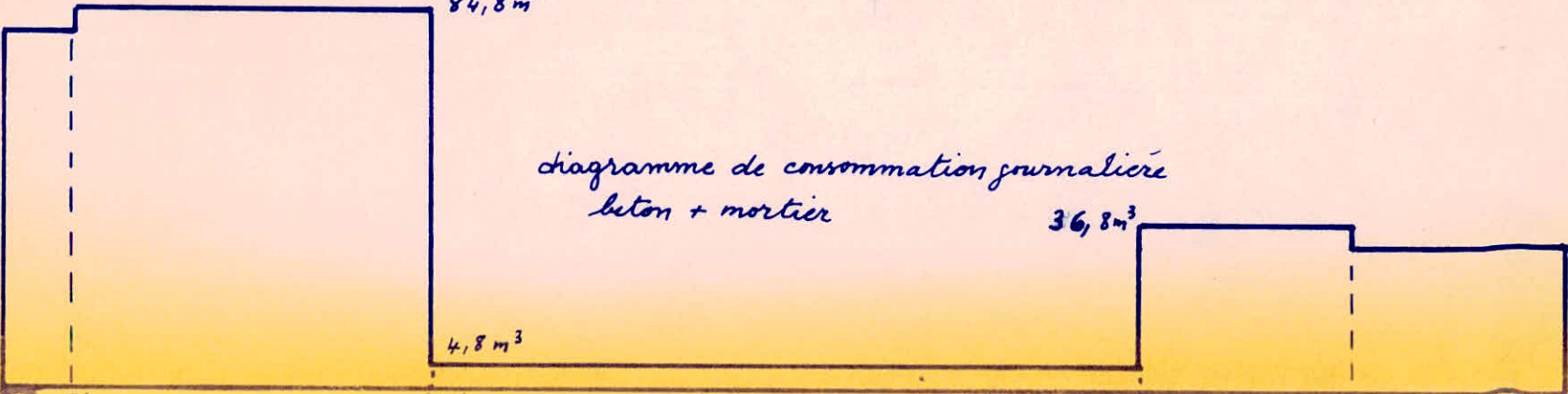
80 m<sup>3</sup>

84,8 m<sup>3</sup>

diagramme de consommation journalière béton + mortier

36,8 m<sup>3</sup>

32 m<sup>3</sup>



4,8 m<sup>3</sup>

Fig III, 4 : Diagramme de consommation

FIG III, 5a: diagramme de consommation journalière de ciment

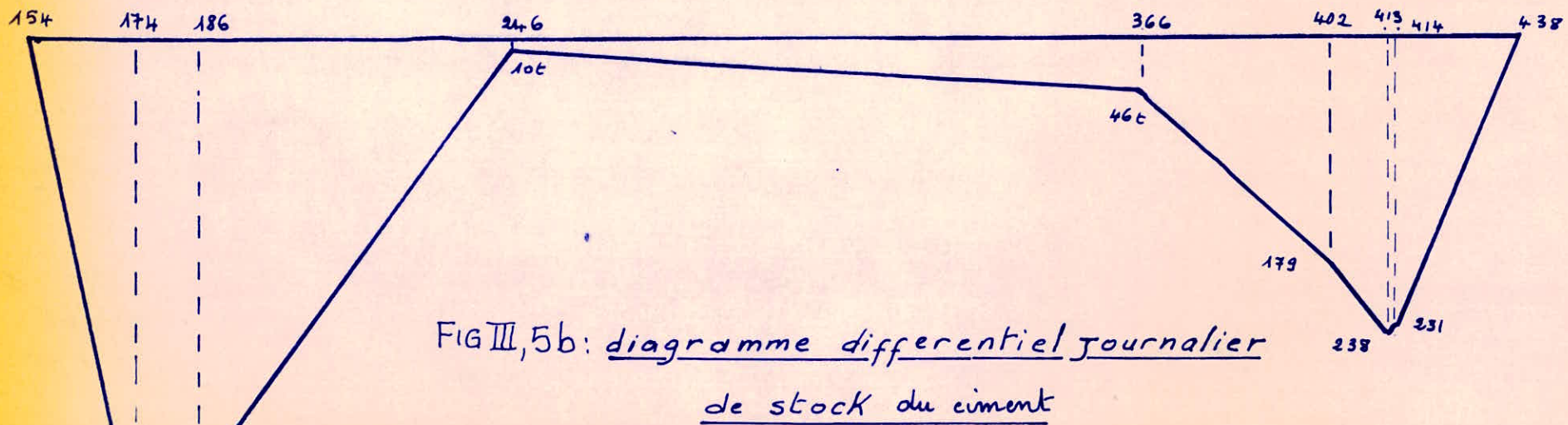
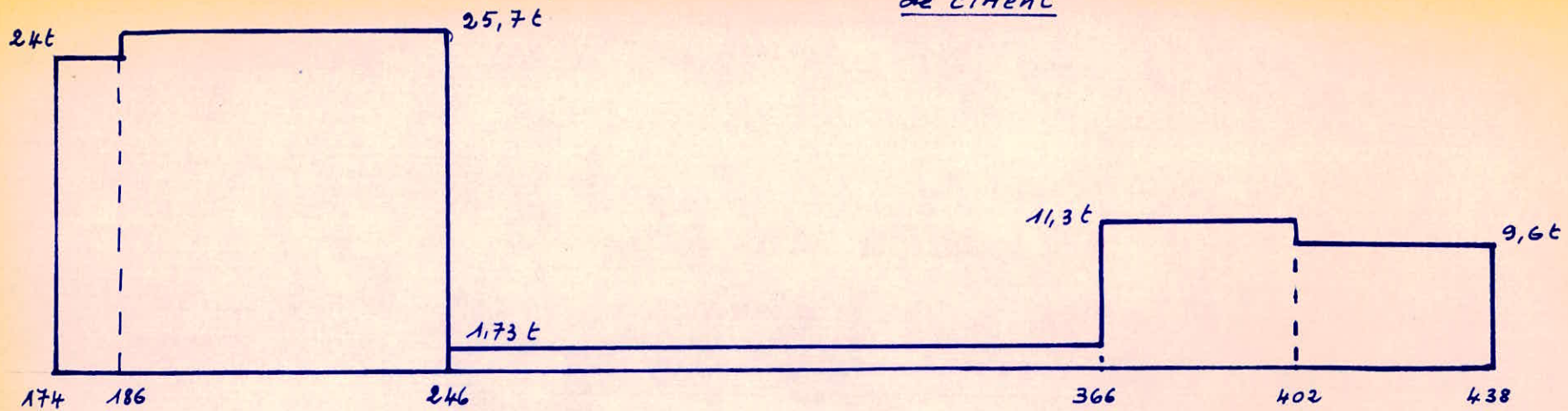
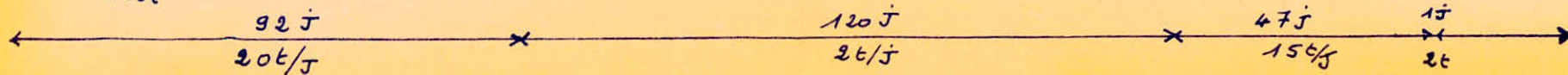
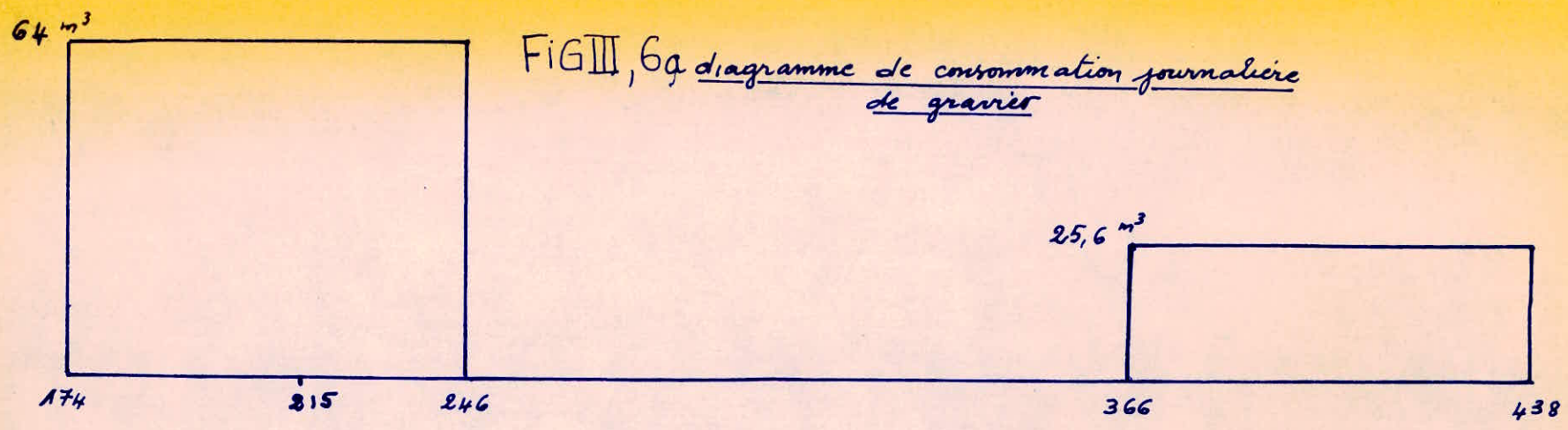


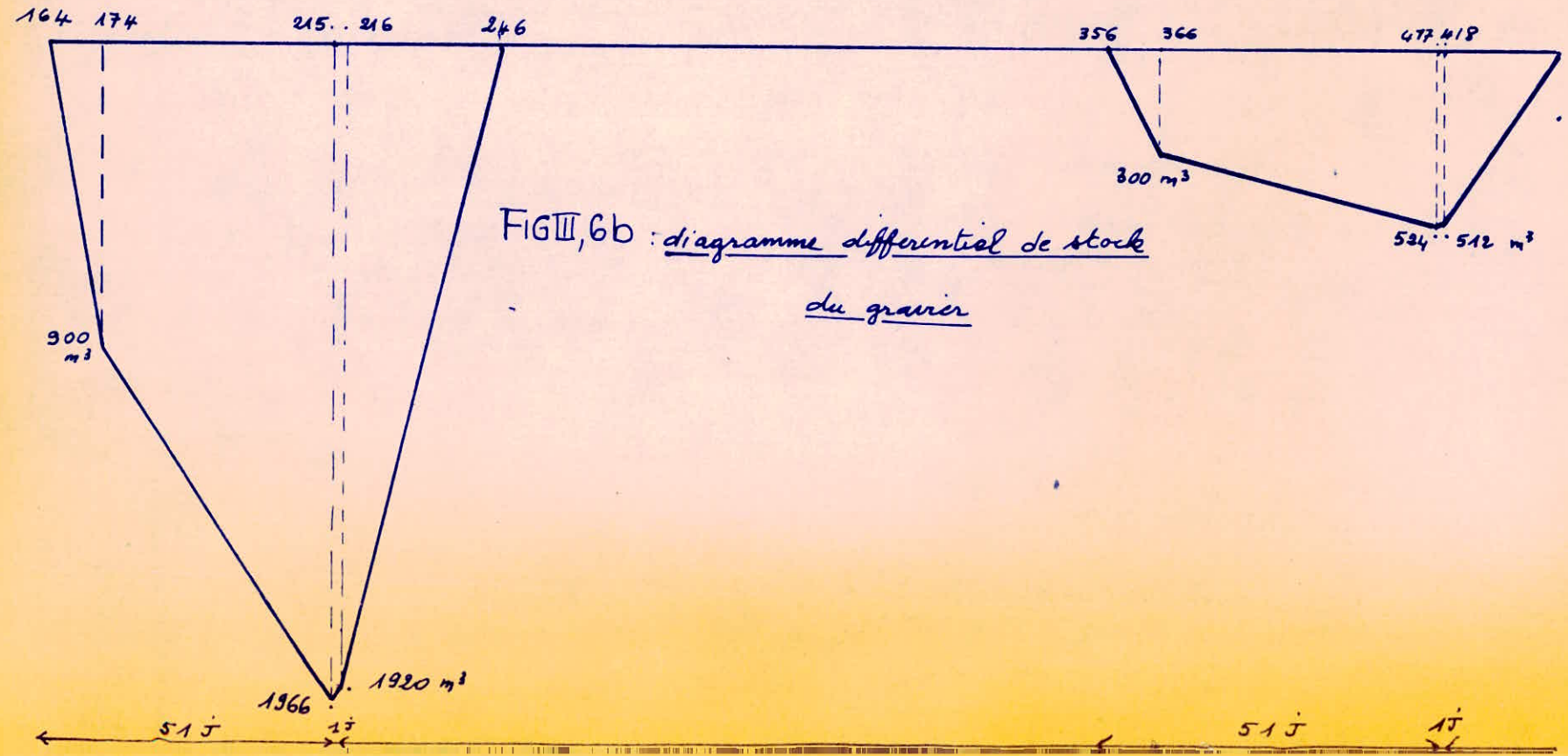
FIG III, 5b: diagramme différentiel journalier de stock du ciment



- 154 -



- 155 -



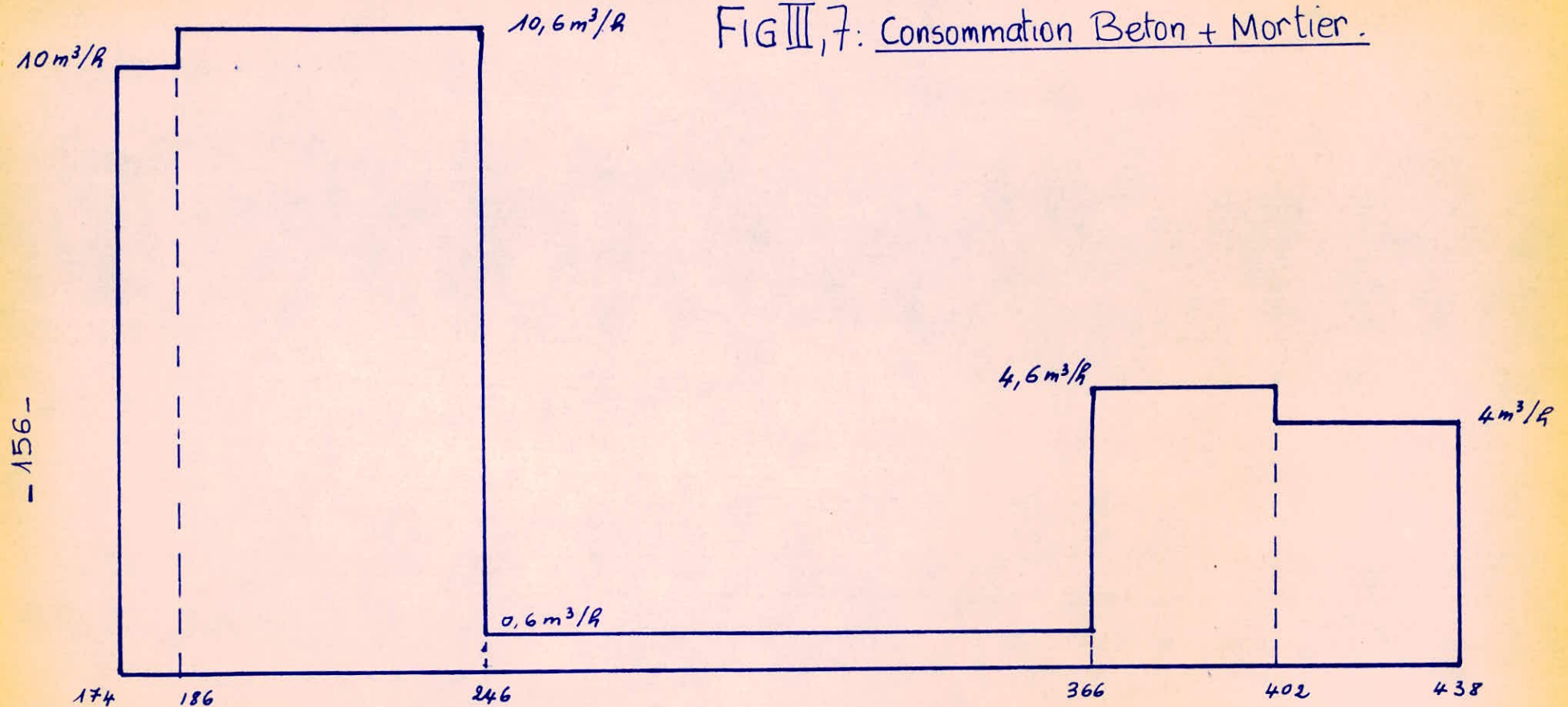


FIG III,7: diagramme de consommation horaire de  
béton + mortier

de la date 174 - 246 on utilisera une minicentrale produisant  $10 \text{ m}^3/\text{h}$

de 186 - 366 on utilisera une bétonnière 300l produisant  $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$

de 366 - 438 on utilisera 2 bétonnières 500l produisant  $2,5 \text{ m}^3/\text{h}$



FIG III, 8 :

— DIAGRAMME intégral des consommations pour le ciment  
 - - - DIAGRAMME intégral des approvisionnements

- 157 -

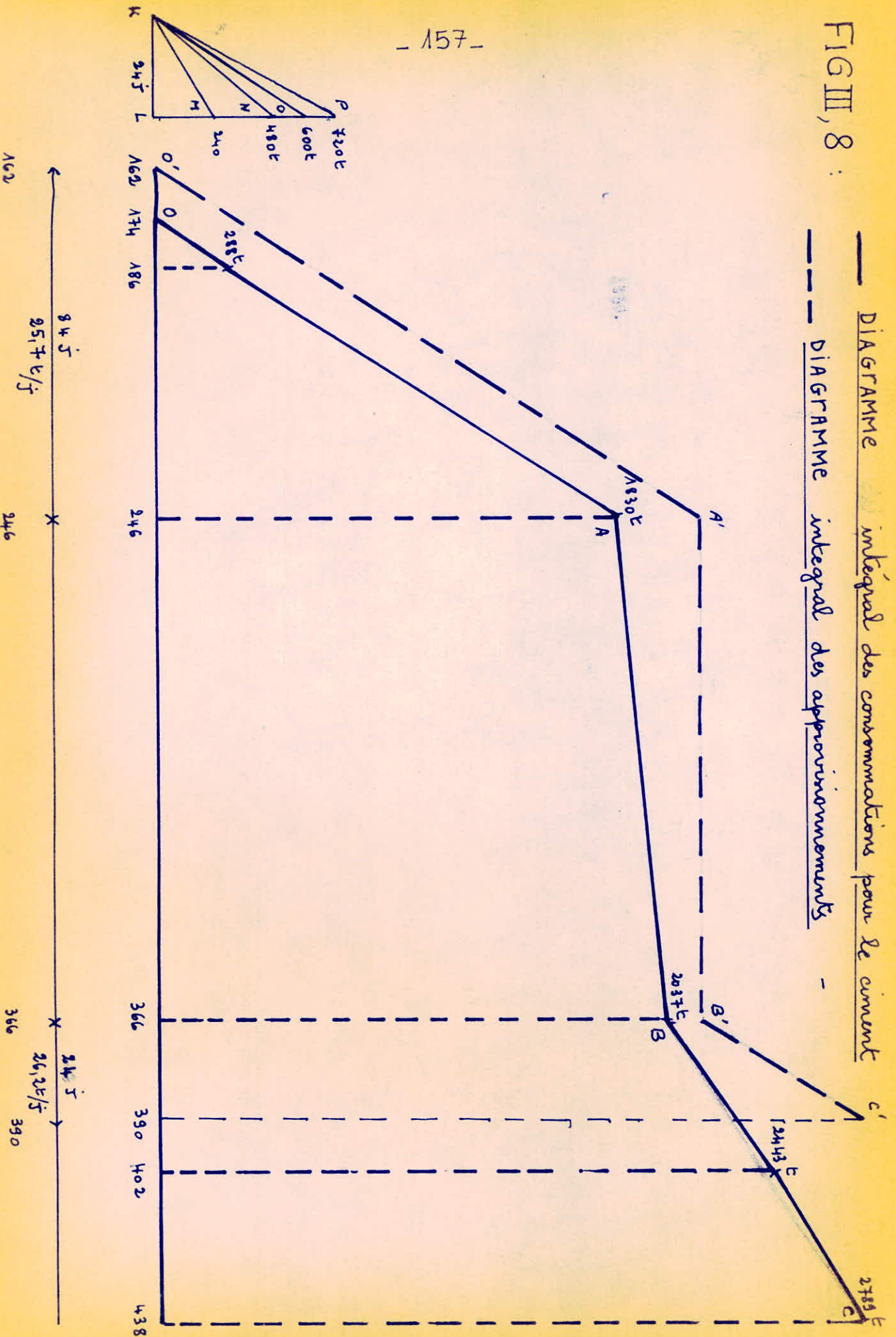
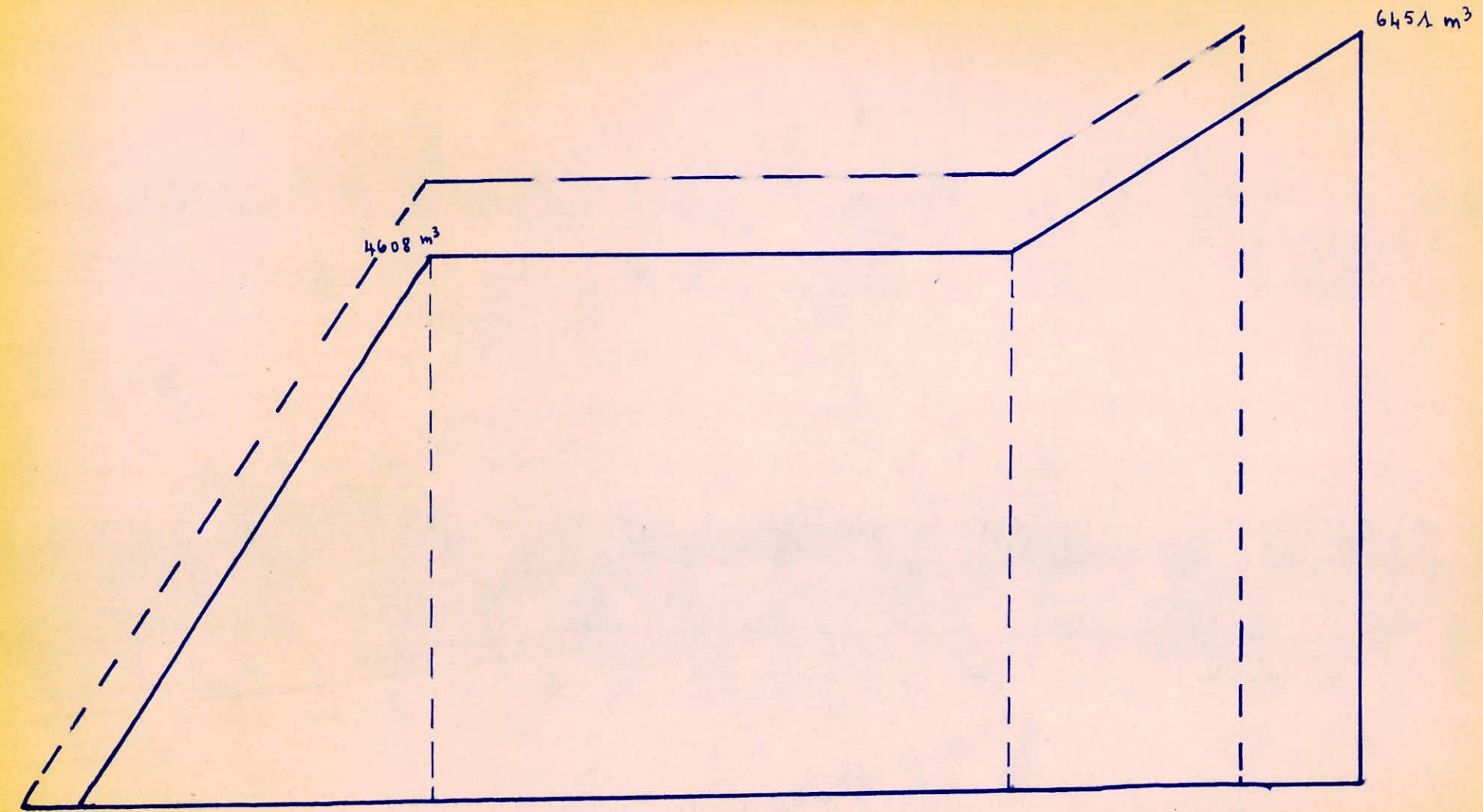


FIG III, 9.

— Diagramme intégral de consommation du gravier

- - - Diagramme intégral d'approvisionnement du gravier



162 174

246

366

414

438

162

84 J  
62,5 m³/J

246

366

48 J  
26 m³/J

414

FIG III, 10 Diagramme d'approvisionnement du  
ciment



diagramme différentiel de stock du ciment

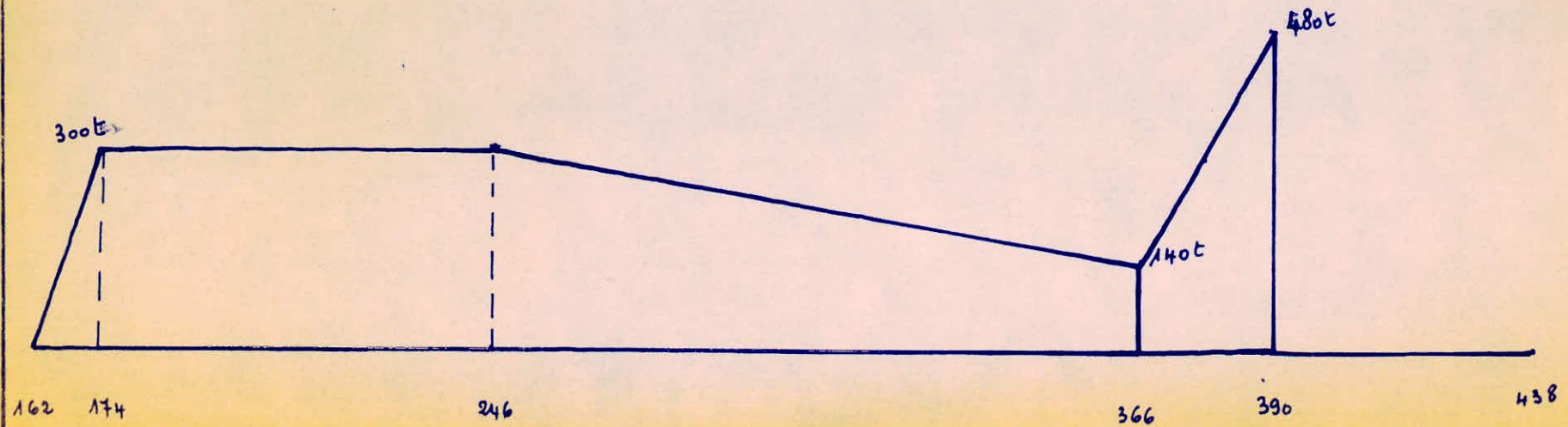


FIG III, 11: Diagramme différentiel de stock du gravier

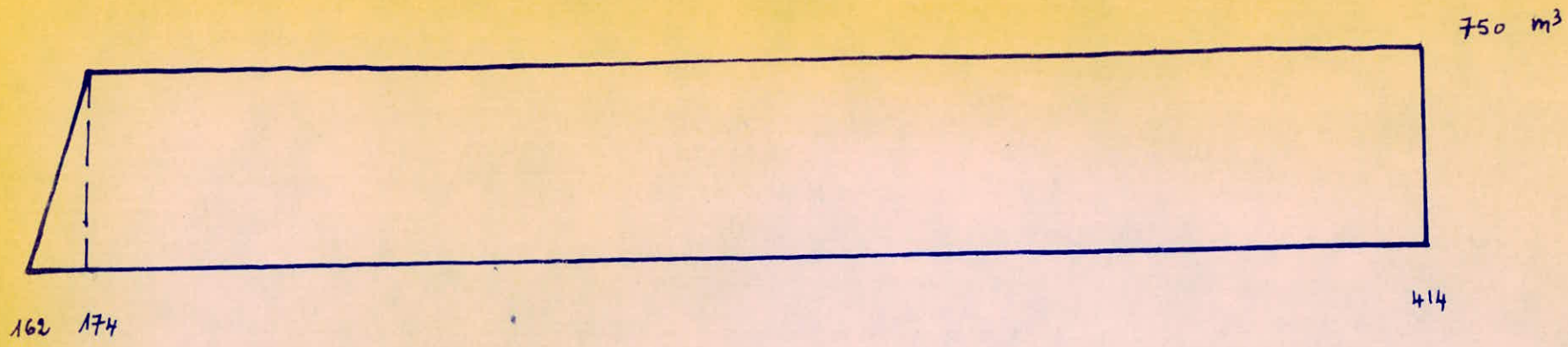
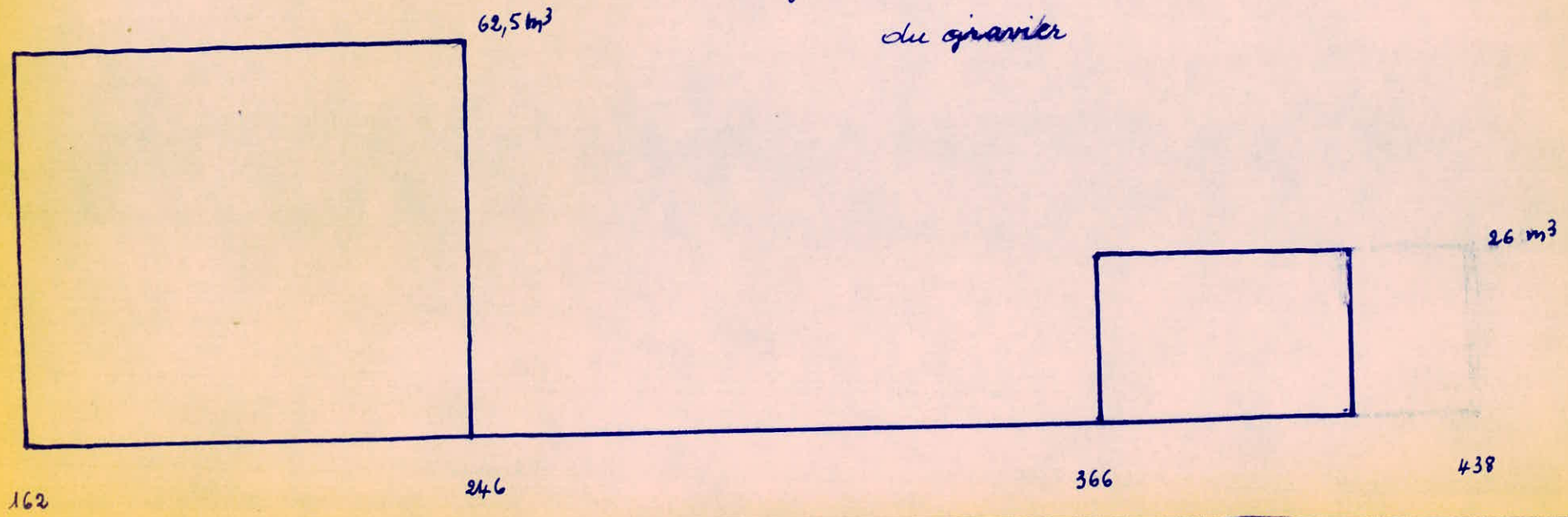


Diagramme d'approvisionnement du gravier



- 160 -

#### 4. Calcul du nécessaire d'outillage.

L'outillage représente les engins importants du chantier c'est à dire essentiellement les engins de terrassement, les engins de transport (camions), les grues et les bétonnières.

##### Calcul des engins de fouilles :

Les premières fouilles sont faites à l'aide d'une pelle mécanique d'une contenance de  $0,500 \text{ m}^3$  et dont la norme de production est  $20 \text{ m}^3/\text{h.p}$ . Pour réaliser un volume de fouille de  $5760 \text{ m}^3$  le nombre de pelle nécessaire pour réaliser ces travaux pendant un certain temps sera d'après la relation  $t = \frac{Q}{N_p \times w}$

$$t \times w = \frac{Q}{N_p} = \frac{5760}{20} = 288 \text{ h.p (heure.pelle)}$$

Pour réaliser donc ces travaux si on utilise une pelle il faut 288 h et si il n'ya qu'une seule relève par jour la durée est  $288/8 = 36 \text{ j}$  si il ya 2 relèves il faudra 18 jours. et si il ya 3 relèves/5 il faudra 12 j et si on utilise 2 pelle il faut 144 h c'est à dire 18 jours si il n'ya qu'une seule relève/jour et 9 jours si c'est 2 relèves/jour et 6 jours si c'est 3 relèves/jour. Suivant l'effectif matériel existant sur le chantier on choisira la solution la plus économique.

##### Calcul des engins de transport :

Les engins de transport essentiellement utilisés sont les dumpers pour le transport à l'intérieur du chantier et les camions pour les transports de l'intérieur vers l'extérieur ou vis versa. En général pour le transport de matériaux (sable, gravier, ciment etc...) on

utilise des camions a benne auto-basculantes ayant une certaine capacite. Pour calculer le nombre de camions necessaires il faudra savoir la quantite de materiaux a approvisionner journalierement au chantier, et le volume des fouilles journaliers (terres excedentaires provenant ds fouills).

le nombre de camions est donne par la relation :  $N = \frac{P}{nV}$

P: quantite de materiaux (ou terres) a transporter par jour

V : capacite de la benne

n : nombre de voyage accompli par un camion en 1 jour

N : nombre de camion.

39 semaines  $\approx 40 \times 7 = 280$  j

$P = 7200 / 40 = 30 \text{ m}^3/\text{jour}$

$$Nn = P/V$$

si on utilise des camions ayant une capacite  $V = 3 \text{ m}^3$

pour transporter  $\text{m}^3$  de terre on aura  $Nn = \frac{P}{V} = \frac{30}{3} = 10$

$Nn =$  nbre de camions  $\times$  nbre de voyages effectues par 1 camion en 1 jour

si le camion peut faire 10 voyage / jour en fonction de la distance de transport on utilisera un camion. dans notre cas on a utilise

4 camions donc le nombre de voyage / jour est  $10/4 = 2,5 \approx 3$

et ainsi de suite on peut fixe une donnee et calculer l'autre

ou bien s'arranger pour avoir le mode de transport le plus economique.

Pour le transport a l'interieur du chantier on utilisera les dumpers pouvant transporter  $4 \text{ m}^3/\text{h}$ . d'apres le diagramme de consommation la consommation maximal est  $10 \text{ m}^3/\text{h}$  donc le nombre de dumpers necessaire est  $10/4 \approx 3$  dumpers. Pour le transport du mortier.

et des briques dont la masse totale est 3450 kg on utilisera un dumper.

### Calcul de la grue de levage.

La minicentrale produisant  $10 \text{ m}^3/\text{h}$ , la densité du béton étant  $2400 \text{ kg/m}^3$  donc la quantité de béton à lever est  $24 \text{ t/h}$  On utilisera des grues <sup>de</sup> contenance  $1,5 \text{ t}$  et effectuant  $8 \text{ cycles/heure}$  donc devant  $12 \text{ h/h}$

le nombre de grue nécessaire sera  $24/12 = 2 \text{ grues}$ .

pour le levage des briques et du mortier on utilisera une grue dont la norme est  $8 \text{ t/hg}$

par contre pour le montage de la charpente on utilisera une grue de  $2 \text{ t/hg}$  qui est largement suffisante pour lever  $1,5 \text{ t/h}$ .

