

UNIVERSITE D'ALGER

2/78

2e1

Ecole Nationale Polytechnique

DEPARTEMENT GENIE CIVIL

المدرسة لوطنية للعلوم الهندسية

PROJET DE FIN D'ETUDES

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

BIBLIOTHÈQUE

**PLAN DE MISE EN ŒUVRE DE L'EXECUTION D'UN
REMBLAI NECESSAIRE A L'IMPLANTATION D'UNE
USINE**

Proposé et dirigé par :

R. CIOROIU

Etudié par :

AIT-AHCENE Idir

Promotion Juin 1978

UNIVERSITE D'ALGER

Ecole Nationale Polytechnique

DEPARTEMENT GENIE CIVIL

PROJET DE FIN D'ETUDES

**PLAN DE MISE EN ŒUVRE DE L'EXECUTION D'UN
REMBLAI NECESSAIRE A L'IMPLANTATION D'UNE
USINE**

Proposé et dirigé par :

R. CIOROIU

Etudié par :

AIT-AHCENE Idir

Promotion Juin 1978

À MON FILS SAÏD

À TOUS MES PARENTS

À TOUS MES AMIS

À TOUS MES ENSEIGNANTS

TABLE DES MATIERES :

INTRODUCTION GENERALE	1
THEME DU PROJET	3
CHAPITRE I : Generalites sur la nature et la tenue des terrains - terrassements	6
CHAPITRE II : Optimisation de la repartition des terres par la programmation lineaire	51
CHAPITRE III : Choix du materiel et calcul des ressources	73
CHAPITRE IV : Elaboration de la base de vie du chantier	115
CHAPITRE V : Planning des travaux et calcul des indices technico-economiques	132
BIBLIOGRAPHIE	137.

INTRODUCTION GENERALE

Les chantiers de terrassements, longtemps à l'écart de toute mécanisation, ont constitué une pierre d'achoppement pour tout projet de construction de grande envergure et ce pour deux raisons principales :

- l'utilisation d'une main-d'œuvre sans qualification mais nécessairement nombreuse posait un grand problème de recrutement dans les régions développées où le niveau professionnel de la population active était élevé,
- le rendement très faible des ouvriers et l'importance des volumes mis en jeu contribuaient à allonger les temps d'exécution et empêchaient tout effort de construction intensif dans les régions moins développées.

Aussi la nécessaire industrialisation des travaux de terrassements peut être accomplie par deux types de moyens :

- moyens mécaniques : ce sont principalement des engins à très haut rendement qui permettent,

- 2 -

outre un raccourcissement des temps d'exécution, d'élever le niveau de qualification des ouvriers.

- études technico-économiques: elles permettent grâce à la collecte des performances des engins d'améliorer leur rendement et d'orienter les utilisateurs dans leur choix.

De plus, une bonne organisation des chantiers et des méthodes économétriques aident à rentabiliser au maximum le matériel. Parmi celles-ci, la programmation linéaire occupe une place de choix grâce aux excellents résultats auxquels elle aboutit et la grande variété des domaines de son application.

En effet, elle résout aussi bien des problèmes de stocks (un des problèmes les plus ardues de la construction en Algérie), de transports (où elle permet de faire des économies étonnantes) que des questions de maintenance et de remplacement du matériel. Ceci permet de définir une politique rationnelle, basée sur des bases scientifiques, d'approvisionnement et de production.

-3-
THEME DU PROJET

Pour l'implantation d'une usine, on a besoin d'exécuter un remblai, subdivisé en trois secteurs dont les caractéristiques sont :

Secteur N°	Hauteur (m)	Volume total (nécessaire) (m ³)
1	2	100.000
2	2,5	200.000
3	3,5	180.000

Pour cela, on dispose aux alentours de quatre mamelons dont les caractéristiques et les éloignements sont :

Mamelons	A	B	C	D
Hauteur h (m)	4	2	2	4
Volume disponible (x 1.000 m ³)	200	50	100	130
Distance d (km)	3	2-2,5	2,5-3	5

Des études de prix ont déterminé le prix unitaires des terrassements excavés dans un mamelon et transportés vers un secteur.

Ces prix unitaires tiennent compte de la

distance à parcourir, des moyens de transport et d'excavation et d'investissements nécessaires (ponts, pose de macadamis, ...).

Du mamelon A au secteur 1 :	15 D.A./m ³
" " " " " 2 :	18 "
" " " " " 3 :	22 "
Du mamelon B au secteur 1 :	22 "
" " " " " 2 :	20 "
" " " " " 3 :	15 "
Du mamelon C au secteur 1 :	28 "
" " " " " 2 :	25 "
" " " " " 3 :	22 "
Du mamelon D au secteur 1 :	30 "
" " " " " 2 :	22 "
" " " " " 3 :	32 "

Les terrains sont des terrains meubles moyens (2^e catégorie) avec une cohésion moyenne.

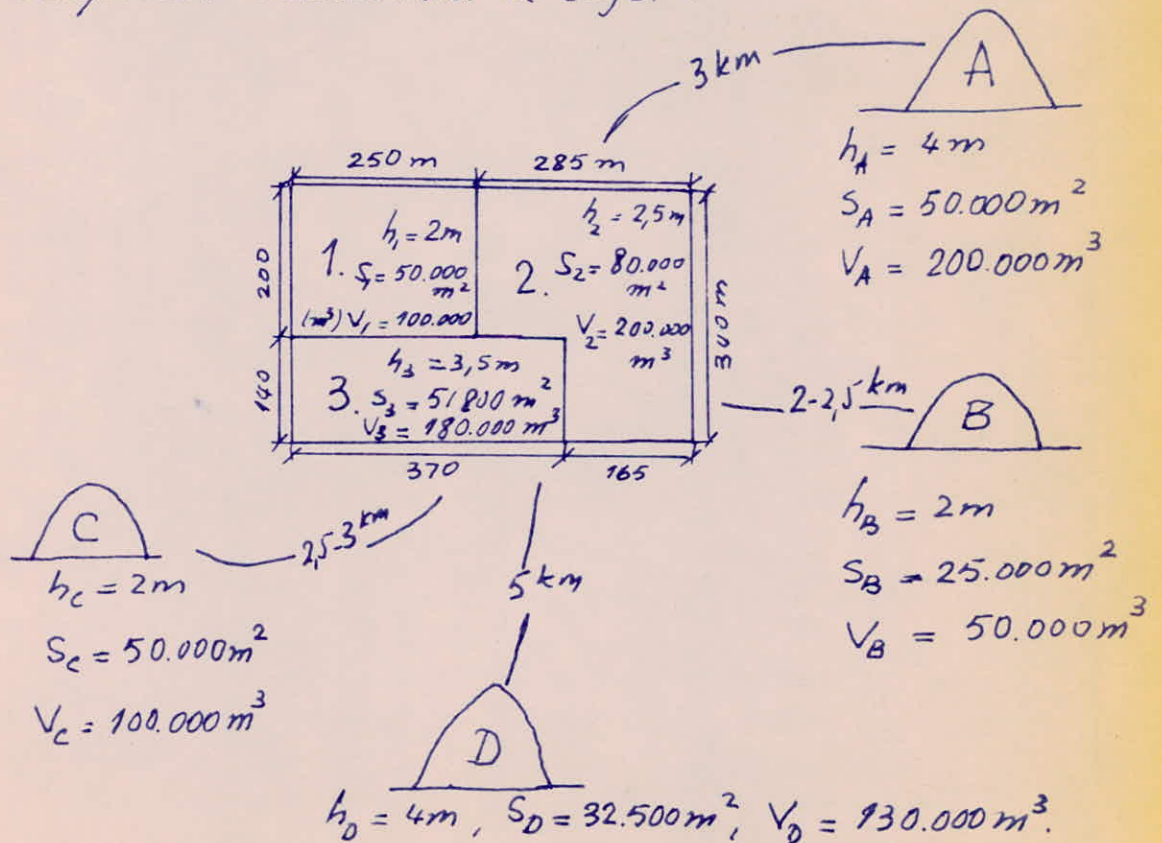
La surface occupée par :

- le remblai : 182.000 m²
- les déblais : 157.000 m².

On demande :

1. la repartition optimale des terrassements entre les quatre sources de debblais et les trois secteurs de remblai.
2. le calcul des ressources en :
 - materiel
 - effectifs.
3. l'elaboration de la base de vie
4. le planning des travaux et le calcul des indices technico-économiques.

Esquisse resumant le sujet :



CHAPITRE I :
GENERALITES SUR LA NATURE
ET LA TENUE DES TERRAINS
EXECUTION DES
TERRASSEMENTS.

CHAPITRE I. I.1. INTRODUCTION

Les travaux de terrassements occupent une place importante dans la plupart des chantiers de travaux publics.

Ils forment ainsi la partie principale de l'exécution des voies de communication et une part non négligeable dans toutes les constructions nécessitant un remaniement du sol (en niveau et en contenu), ce qui est presque toujours le cas.

Ils sont divisés en deux parties :

- les terrassements généraux : exécutés à l'aide de gros engins mécaniques, avec déplacement de masses importantes de terres, c'est le cas notamment pour les routes, voies ferrées, aérodrômes, terre-pleins pour ouvrages d'art, remblai pour implantation d'usine, etc...
- fouilles pour ouvrages d'art : elles mettent en jeu de faibles quantités mais sont exécutées en plusieurs endroits, on les rencontre dans l'exécution des fondations, des tranchées pour canalisations, etc...

Les facteurs principaux influençant la réalisation des terrassements sont :

* l'eau : sa présence nécessite des dispositifs de drainage coûteux et l'utilisation d'engins flottants en mer et en rivière.

** la nature du sol : ce facteur est essentiel car il détermine la méthode de travail et a une influence décisive sur le prix de revient des terrassements.

Cette importance est telle qu'on a été amené à établir des classifications des terres spécifiques aux travaux de terrassements.

C'est cette classification et le phénomène du foisonnement des terres qui seront étudiés avant de présenter les diverses opérations entrant dans l'exécution des terrassements.

I.2. ETUDE DES TERRAINS

I.2.1. CLASSIFICATIONS

Il existe beaucoup de classifications, chacune répondant à des besoins particuliers.

Du point de vue des possibilités d'extraction, on distingue deux catégories :

1. les terrains tendres : terre végétale sèche, sable sec, gravier fin, ...

2. les terrains moyens : terre végétale humide, terre grasse mêlée de sable, sable humide, sable argile compact, gravier fin argileux compact, gros gravier, tourbe, ...

3. les terrains durs : terre grasse mêlée de pierres, terre argileuse, gros gravier argileux compact, argile, marne, éboulis désagrégés, ...

4. les terrains très durs : argile humide, marne compacte, éboulis consistants, grès tendres, ardoise friable, pierres calcaires crevasseés, roche décomposée, ...

1. les roches tendres : calcaire tendre, ardoise, conglomérats, ...

2. les roches dures : calcaire dur, granit, gneiss, ...

3. Les roches très dures : granit et gneiss compacts, quartz, quartzite, syénite, porphyre, basalte, ...

Cette classification présente un grand intérêt dans le cas des roches dures, car elle permet de déterminer le mode de perforation des trous de mines, la consommation d'explosifs donc le prix de revient de l'extraction.

Outre cette classification élémentaire, on adopte pour les travaux de remblayage les classifications américaines suivantes :

* La classification établie par CASAGRANDE pour l'Aéronautique Américaine.

** la classification de l'Administration des Routes Publiques (PRA).

La première classification est reproduite sur la feuille suivante.

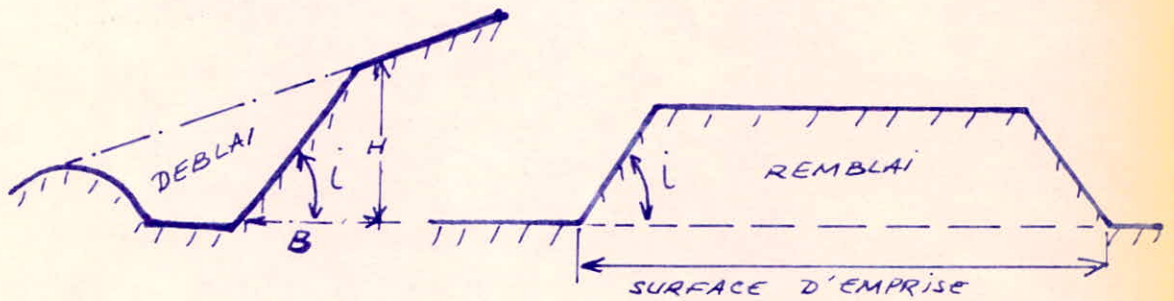
I.2.2. INCLINAISON DES TALUS

La nature des terrains influe sur l'équilibre et la stabilité des talus pour le remblai et les déblais.

Ces talus qui délimitent les terrassements doivent avoir une certaine inclinaison pour pouvoir tenir en équilibre stable.

Cette inclinaison est définie par l'angle "i" ou sa tangente :

$$\operatorname{tg} i = \frac{H}{B}$$



L'angle "i" doit avoir une valeur inférieure à celle de l' "ANGLE DU TALUS NATUREL" qui est l'angle qu'adopterait le talus quand il est soumis à l'action prolongée des agents atmosphériques.

La détermination de l'angle du talus naturel doit être faite :

- CLASSIFICATION IUIX DES SOLS -

par CASAGRANDE

CLASSIFICATION GENERALE		GROUPES - DESIGNATIONS	DENSITE SECHE MAX.	INDICE DES VIDES	
SOLS A GROS ELEMENTS	GRAVIERS ET SOLS GRAVELEUX	Gravier et melanges graviers - Sable, de bonne granulometrie. Peu ou pas de fins...	> 2,0	< 0,35	
		Melanges gravier - Sable, Argile de bonne granulometrie - Excellent liant....	> 2,10	< 0,30	
		Graviers et melanges graviers. Sable de mauvaise granulometrie - Peu ou pas de fins..	> 1,85	< 0,45	
		Graviers avec fins - Graviers tres limoneux, Graviers argileux - Melanges graviers. Sable. Argile de mauvaise granulometrie...	> 1,95	< 0,40	
	SABLES ET SOLS SABLEUX	Sables et sables graveleux de bonne granulometrie. Peu ou pas de fins...	> 1,95	< 0,40	
		Melanges sable - Argile de bonne granulometrie - Excellent liant....	> 2	< 0,35	
		Sable de mauvaise granulometrie - Peu ou pas de fins.....	> 1,60	< 0,70	
		Sables avec fins - Sables tres limoneux - Sables argileux - Melanges sables. Argile de mauvaise granulometrie.....	> 1,70	< 0,60	
	SOLS A ELEMENTS FINS	SOLS A ELEMENTS FINS DE COMPRESSIBILITE FAIBLE OU MOYENNE.	Limons inorganiques. Sables tres fins - Farine de roche - Sables fins limoneux ou argileux de faible plasticite.....	> 1,60	< 0,70
			Argiles inorganiques a basse ou moyenne plasticite - Argiles sableuses, limoneuses ou maigres.....	> 1,60	< 0,70
Limons organiques - Limons - Argiles de basse plasticite'.....			< 1,45	< 0,90	
SOLS A ELEMENTS FINS DE HAUTE COMPRESSIBILITE.		Sables fins et sols limoneux micasses ou avec diatomées, limons elastiques	< 1,60	> 0,70	
		Argiles inorganiques a haute plasticite - Argiles grasses.	> 1,45	< 0,90	
		Argiles organiques organiques de moy. a h. plasticite	< 1,60	> 0,70	
SOLS A ELEMENTS ORGANIQUES FIBREUX A TRES HAUTE COM PRESSIBILITE	Tourbes et autres sols marécageux a haute teneur en matieres organiques..	—	—		

* lors de l'étude du projet pour fixer les profils et déterminer les surfaces d'emprise ainsi que pour calculer les volumes exacts des terrassements,
** lors de l'exécution des terrassements pour leur donner une inclinaison assurant une bonne stabilité aux ouvrages.

L'expérience montre que :

- la présence d'eau diminue la valeur de l'angle à adopter, ainsi les terrains secs ont un angle plus élevé que les terrains immergés (abondantes infiltrations), les drainages pouvant améliorer la stabilité de ces derniers.

- pour les talus exécutés en saison sèche, on doit prévoir des angles tels que l'action des pluies abondantes en saison humide ne modifie pas notablement la forme du talus.

Dans la pratique, on adopte suivant la nature du sol, l'angle d'inclinaison donné par le tableau suivant (cet angle est inférieur à l'angle de talus naturel) :

NATURE DU
TERRAIN

	TALUS DE DEBLAIS EN TERRAINS NATURELS				TALUS DE DEBLAIS EN TERRAINS RAPPORTES. TALUS DE REMBLAIS.			
	TERRAINS SECS		TERRAINS IMMERGES		TERRAINS SECS		TERRAINS IMMERGES	
	i	tg i	i	tg i	i	tg i	i	tg i
ROCHER DUR...	80°	5/1	80	5/1	45	1/1	45	1/1
ROCHER TENDRE OU FISSURE	55	3/2	55	3/2	45	1/1	45	1/1
DEBRIS ROCHEUX, EBOULLIS, CAILLOUX...	45	1/1	40	4/5	45	1/1	40	4/5
TERRE FORTE MELEE DE PIERRES TERRE VEGETALE	45	1/1	30	1/2	35	2/3	30	1/2
TERRE ARGILEUSE, ARGILE, MARNE	40	4/5	20	1/3	35	2/3	20	1/3
GRAVIER, GROS SABLE NON ARGILEUX...	35	2/3	30	1/2	35	2/3	30	1/2
SABLE FIN NON ARGILEUX	30	1/2	20	1/3	30	1/2	20	1/3

I.2.3. FOISONNEMENT-TASSEMENT

Lorsqu'on extrait des terres, leur volume augmente : c'est le gonflement des terres ou foisonnement.

Ceci peut s'expliquer par le fait que les particules très proches les unes des autres en terrain naturel s'éloignent lors de l'extraction à cause des chocs et des diverses manipulations qu'elles subissent d'où une augmentation de "l'indice des vides" qui entraîne une augmentation de volume.

Cependant, lors de leur exposition aux agents atmosphériques, les déblais tassent, d'où la nécessité de définir trois (3) coefficients :

* le coefficient de foisonnement initial :

$$F = \frac{V - V_0}{V_0}$$

V_0 : Volume des terres avant extraction,

V : " " " " mesuré dès l'extraction.

** le coefficient de foisonnement persistant :

$$F' = \frac{V' - V_0}{V_0}$$

V' : Volume des terres après tassement naturel des déblais

*** le coefficient de tassement naturel :

$$T = \frac{V - V'}{V}$$

On peut l'exprimer en fonction de F et F' :

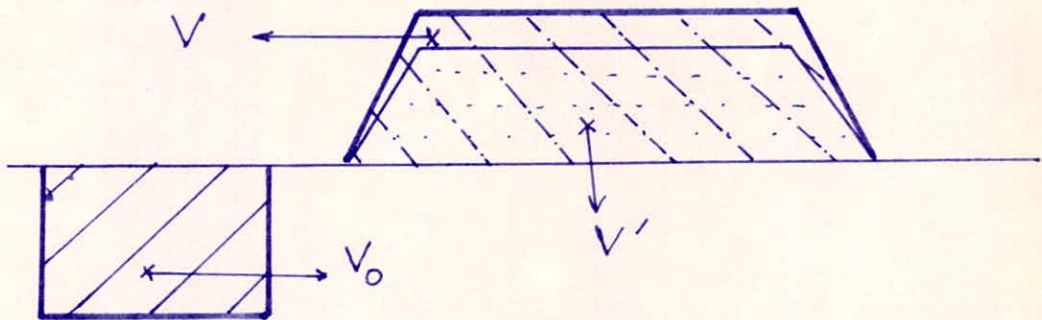
$$F = \frac{V - V_0}{V_0} \quad \Rightarrow \quad V = F \cdot V_0 + V_0 = V_0 (1 + F)$$

$$F' = \frac{V' - V_0}{V_0} \quad \Rightarrow \quad V' = F' \cdot V_0 + V_0 = V_0 (1 + F')$$

$$\Rightarrow T = \frac{V_0 (1 + F) - V_0 (1 + F')}{V_0 (1 + F)} = \frac{1 + F - 1 - F'}{1 + F}$$

$$T = \frac{F - F'}{1 + F}$$

Nous schematisons les divers volumes V, V_0, V' ainsi :



Il va sans dire que la valeur de ces coefficients depend de la nature des terrains, nous reproduisons dans le tableau ci-après quelques valeurs experimentales :

NATURE DU TERRAIN	COEFFICIENTS DE FOISSONNEMENT		COEFFICIENTS DE TASSEMENT T
	INITIAL F	PERSISTANT F'	
TERRE VEGETALE, SABLE...	10 - 15%	1 - 1,5%	8 - 12%
GRAVIER.....	10 - 15%	1,5 - 2%	12 - 15%
TERRE GRASSE MELEE DE SABLE...	20 - 25%	2 - 4%	15 - 17%
TERRE ARGILEUSE	25 - 30%	4 - 6%	17 - 19%
ARGILE	30 - 35%	6 - 7%	19 - 21%
ARGILE ET MARNE TRES COMPACTES.....	40 - 65%	8 - 15%	23 - 30%
MARNE	35 - 40%	7 - 8%	21 - 23%
EBOULLIS	30 - 40%	8 - 15%	17 - 18%
ROCHER COMPACT EXTRAIT A LA MINE (TOUJOURS VENANT)	40 - 65%	25 - 40%	10 - 15%

I.3. GENERALITES SUR L'EXECUTION DES REMBLAIS.

I.3.1. INTRODUCTION

Pour la réalisation du projet global de remblayage, on éclate les travaux en processus composants qui sont des opérations élémentaires de nature différentes et qui mettent en jeu des techniques et des moyens différents.

L'exécution des travaux est ainsi divisée en six (6) processus composants :

1. le piquetage des déblais et du remblai;
2. le décapage de la couche végétale,
3. le pré-compactage du sol au-dessous du remblai;
4. l'excavation dans les mamelons,
5. le transport des terres vers les secteurs de remblai;
6. Nivellement et compactage du remblai avec consolidation des talus.

Avant d'aborder l'étude de ces processus, nous donnons quelques notions sommaires sur le cubage des terrassements.

I.3.0. CUBAGE DES TERRASSEMENTS

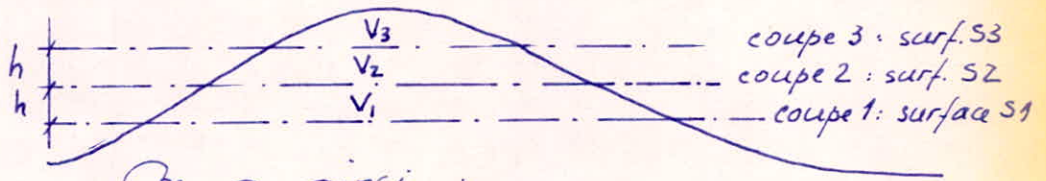
Le cubage des terrassements est déterminé en assimilant les contours existants et les contours définis à des polygones parfaits. Les deux (2) méthodes les plus couramment utilisées sont :

1. METHODE DES PLANS COTÉS :

Elle consiste à relever le quadrillage obtenu lors du piquetage et à en calculer les volumes.

Une amélioration de cette méthode consiste à utiliser les courbes de niveau :

COUPE VERTICALE DU TERRAIN



On a ainsi :

$$V_1 = \frac{S_1 + S_2}{2} \times h$$

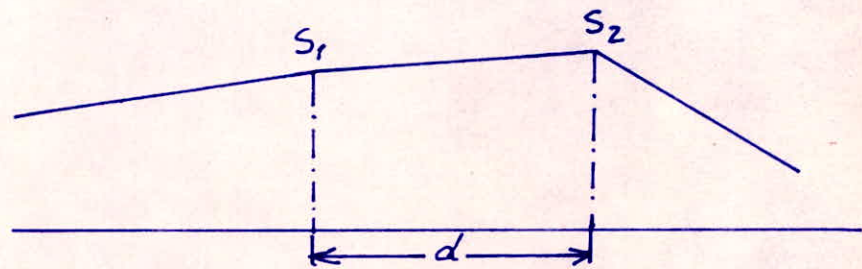
$$V_2 = \frac{S_2 + S_3}{2} \times h$$

Pour les tranches du sommet :

$$V_3 = S_3 \times \frac{h}{2}$$

2. METHODE DES SURFACES DES PROFILS-TYPES :

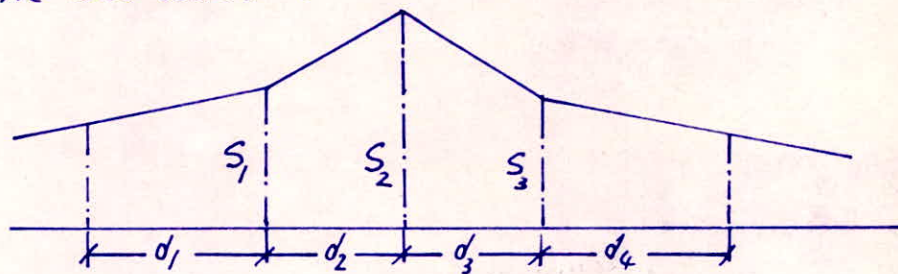
Pour la détermination des surfaces des profils on utilise soit un planimètre, soit des abaques donnant la surface en fonction de la hauteur au centre, de l'inclinaison des pentes, etc....



Le volume compris entre les 2 surfaces des profils-types est :

$$V = \frac{S_1 + S_2}{2} \times d.$$

On peut procéder aussi par le calcul de la "moyenne des aires" :



$$V_T = S_1 \frac{d_1 + d_2}{2} + S_2 \frac{d_2 + d_3}{2} + S_3 \frac{d_3 + d_4}{2} + \dots$$

Les volumes ainsi calculés doivent être corrigés par le coefficient de foisonnement pour les opérations de transport.

I.3.2. PIQUETAGE

Le piquetage est une opération qui consiste à matérialiser le projet de terrassement sur le terrain, en reportant les éléments caractéristiques.

Les éléments géométriques des terrassements sont classés suivant deux catégories :

— 1. Voies de communications, aéroports :

- Axe longitudinal de la voie
- Profil en long
- Profils en travers ayant servi à calculer les terrassements.

— 2. Usines, grandes aires, gares :

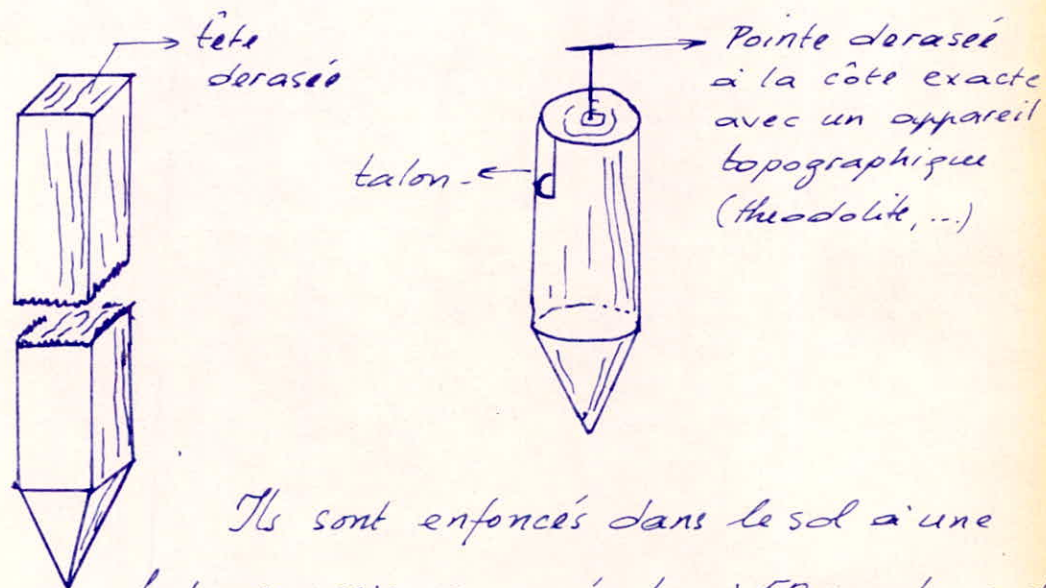
- × Quadrillage à mailles de dimensions plus ou moins grandes
- × Cotes du terrain naturel et du sol définitif.

L'exécution du piquetage est réalisée avec deux sortes de piquets :

- a. les piquets principaux sont placés :
 - + aux extrémités des alignements droits et courbes
 - × " " " rampes et des pentes
 - × au sommet de chaque courbe

x à l'intersection de l'axe avec les profils en travers caractéristiques.

Ils sont exécutés en bois dur de section carrée de 8 à 10 cm de côtés ou circulaire de 8 à 10 cm de diamètre.



Ils sont enfoncés dans le sol à une fiche supérieure ou égale à 50 cm dans des massifs de béton de 50cm^3 . La tête du piquet indique l'altitude exacte du terrassement. Quand elle est à une distance supérieure à 30 cm de la plateforme, on inscrit le nombre de "dem" exacts sur le piquet.

Chaque piquet est reporté en plan et en altitude sur le plan du terrassement.

- b. les piquets intermédiaires : placés à environ tous les 30 m, ils indiquent notamment les arêtes des acotements, les limites des déblais, etc...

Le piquetage donne lieu à un procès-verbal.

I.3.3. DECAPAGE

Le decapage consiste à supprimer toute matière végétale susceptible de rentrer dans la composition des terres de remblai et d'en diminuer la résistance, provoquant ainsi des tassements différentiels dangereux.

Pour éviter cela, on exécute sur les plateformes de déblais et de remblai, un déboisement total et un défrichage de la couche végétale sur une épaisseur de 20 cm.

Le déboisement peut se faire manuellement mais il exigerait une main-d'œuvre importante et occasionnerait une grande perte de temps.

Pour pallier à ces inconvénients, on utilise un bulldozer. Cependant, il est recommandé de ne pas lancer l'engin contre l'arbre, il faut plutôt essayer la résistance du tronc en l'attaquant lentement et le plus haut possible, puis on le secoue jusqu'à déracinement complet, ce qui évite d'avoir à arracher les racines comme lors de la coupe.

Cependant, pour les arbres de gros diamètres (> 50 cm), on utilise des boules d'acier.

Le décapage se fait en abaissant la lame du bulldozer jusqu'à l'épaisseur voulue et en dégageant la matière hors de l'emprise du remblai ou du déblai, les débris végétaux sont ensuite brûlés ou utilisés pour gazonner les talus.

A titre de comparaison, étant donné que cette opération a été pendant longtemps réalisée manuellement, nous donnons ici quelques normes de temps pour un décapage complet par un homme :

- défrichage des arbrisseaux : $15H / 100m^2$.

- Nettoyage des terrains des feuilles et des branches, récupération en tas brûlés sur place :

$$N_T = 1,90H / 100m^2$$

- Nettoyage des terrains de l'herbe et des broussailles, excavation à la pelle sur 5cm, chargement dans la brouette, rassemblement en tas et évacuation par camion : $7,65H / 100m^2$.

Ce qui donne une norme de temps de :

$$N_T = 23,55H / 100m^2 \text{ de surface décapée.}$$

Or pour toutes ces opérations réunies, un bulldozer de 150 ch. a une norme de temps:

$$N_T = 0,20^H / 100 \text{ m}^2$$

Ce qui augmente le rendement de plus de cent (100) fois et la productivité du chantier d'autant.

C'est à travers ces tâches élémentaires que l'on remarque l'importance de l'utilisation des engins et celle de l'organisation rationnelle des chantiers.

I.4. PRE-COMPACTAGE

Après le décapage et suivant la nature du sol de la plateforme sur laquelle sera exécuté le remblai, certaines opérations préliminaires sont nécessaires :

→ pour les sols à faible cohésion, il est nécessaire d'exécuter un pré-compactage pour consolider l'assise du remblai,

→ en présence d'eau, ou si les travaux sont exécutés en saison pluvieuse, il faut prévoir une inclinaison pour le ruissellement des eaux et par la suite des drains sur le talus du remblai.

Rependant, dans le cas des sols à cohésion moyenne, on estime que le passage du bulldozer et des autres engins (scrapers, dumpers, ...) lors des diverses opérations, est suffisant pour obtenir une plateforme assez compacte, d'autant plus qu'on commence à compacter la première à 20 cm au-dessus de cette assise.

I.5. EXCAVATION

L'excavation, désigné aussi par fouille ou abattage, consiste en l'extraction de la matière contenue dans le sol.

Le mode opératoire dépend essentiellement de la nature du terrain et du but de l'excavation (déblai sur grande surface, tranchées, ...).

Conformément à la classification donnée au paragraphe I.2. b., nous présentons l'excavation pour les deux types de terrains :

- x terrains meubles
- x terrains rocheux.

I.5.1. TERRAINS MEUBLES

L'excavation manuelle ne se fait plus que pour de petites quantités, dans tous les autres cas, on utilise des engins mécaniques.

EXCAVATION MANUELLE :

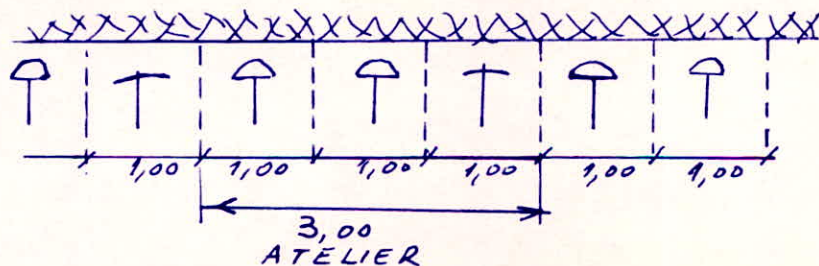
Cette excavation se fait à la pelle lorsque le terrain est peu compact, sinon on le désagrège en le piochant.

Suivant la nature du terrain, on constitue des "ateliers" ou équipes de travail composées de :

. 2 piocheurs et 1 pelleteur pour les terrains compacts

. 2 pelleteurs et 1 piocheur pour les terrains tendres.

Chaque ouvrier a un front de travail de 0,70 m et l'excavation se fait par couches successives pour les grandes surfaces.

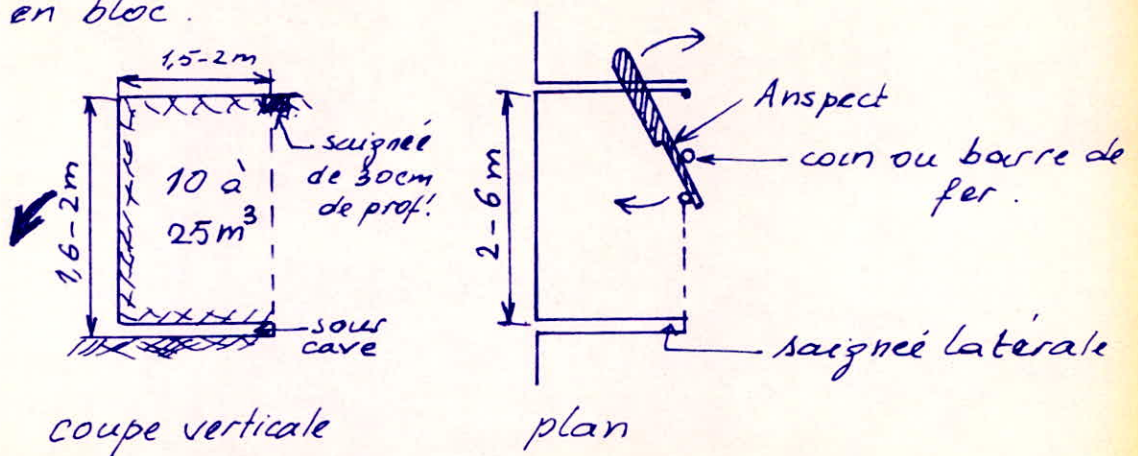


Nous reproduisons ci-après quelques rendements des terrassiers :

NATURE DU TERRAIN	Pelleter (m ³ /h)	Charger (m ³ /h)	Outils
TERRAINS TENDRES, TERRES VEGETALES, GRAVIER,	0,5- -0,15	0,55- -1,6	PELLE
TERRAINS MOYENS	0,35- -0,9	0,4- -1	Pelles-pioche Pics Coins
TERRAINS COMPACTS	0,25- -0,70	0,55- -1,6	Pioches Pics Coins

Pour l'exécution des tranchées, il faut donner une pente douce aux talus pour éviter leur éboulement et, dans le cas de tranchées profondes, aménager des voies d'accès pour le dégagement des déblais.

Signalons enfin pour les sols compacts, le procédé par abattage ou havage qui consiste à isoler une masse de terre et à l'extraire ensuite en bloc.



EXCAVATION MECANIQUE

La mécanisation du processus d'excauation s'est généralisée sur les chantiers de grande et moyenne importance, elle réduit notablement les durées et augmente le rendement général des entreprises de terrassements. le mode opératoire et la nature des engins sont dictés par :

- la disposition du terrain
- la nature du terrassement à exécuter.

On distingue ainsi les divers types d'excauation suivants :

1. en butte
2. en fouilles
3. en nivellement
- 3'. en puits (très rare)
4. en tranchées,

1. Excauation en butte :

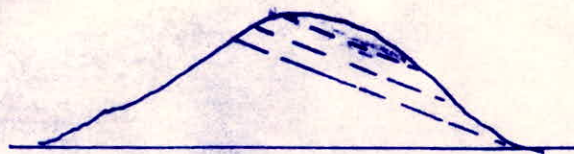
Elle se fait quand le terrain à débayer se trouve au-dessus du niveau du sol (collines, mamelons, buttes, ...). Suivant la hauteur du mamelon, on opère soit avec des serapers soit avec des pelles en buttes.

* excavation par scrapers :

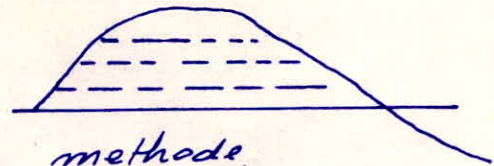
Le scraper est utilisé quand la hauteur du mamelon ne dépasse pas 2 m (cas des mamelons B et C). Cet engin est décrit en détail au chapitre III.2.

Il est recommandé quand on dispose d'une surface d'excavation importante et peu inclinée car il excave par raclage sur une distance de 20 m, de plus il permet de décharger en couches d'épaisseur régulière et réglable.

Pour augmenter son rendement, on doit excaver en pente, en commençant toujours par la partie supérieure du mamelon.



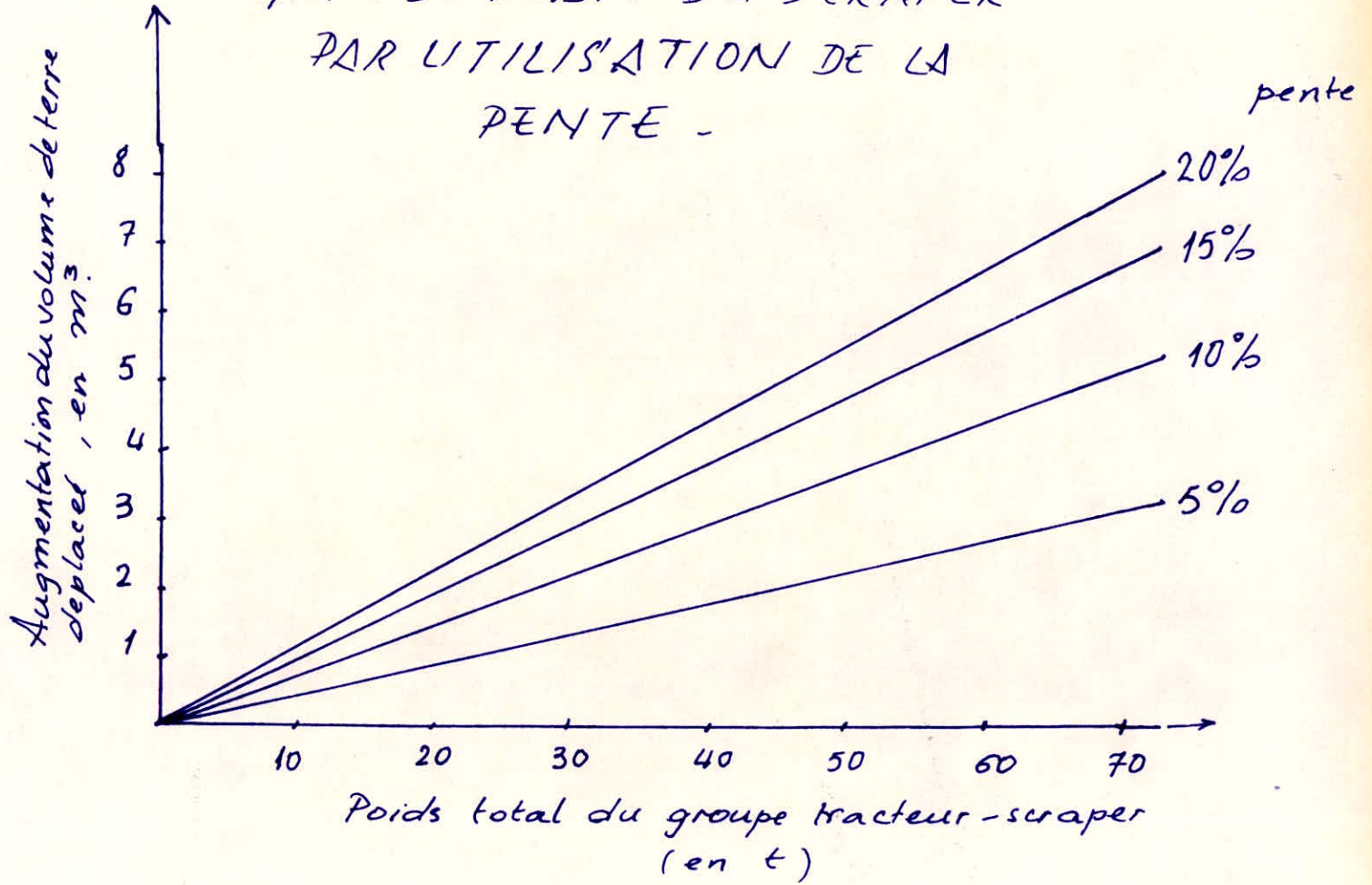
methode correcte



methode incorrecte

L'augmentation du rendement est donnée par le diagramme suivant en fonction de la pente :

GAIN DE DEBIT DU SCRAPER PAR UTILISATION DE LA PENTE -



** excavation par pelles en butte :

Pour pouvoir excaver avec une pelle en butte dans des conditions rentables, il faut une hauteur d'attaque supérieure à 2m (mamelons A et D).

La description de cet engin est détaillée au III.C.

L'efficacité de la pelle en butte vient de la grande puissance appliquée au godet, ce qui lui permet d'excaver dans divers types de sols, cependant il faut vérifier que :

- x le travail de la pelle se fait dans de bonnes conditions économiques, en évaluant la quantité totale à excaver,
- x la hauteur du front est suffisante pour remplir le godet en une seule course, sans toutefois être trop grande (risque d'éboulement),
- x le rapport entre la capacité de la pelle et celui de l'engin de transport est un nombre entier voisin de 5-10.
- x l'engin de transport peut se mettre dans une position favorable lors de son chargement par la pelle.

Les accidents pouvant se produire étant graves, nous donnons succinctement les causes fréquentes et quelques précautions pour les éviter :

- x causes : + chutes de matériaux du godet,
- + deversement de l'engin
- + choc du godet avec la machine
- + rupture du câble de levage

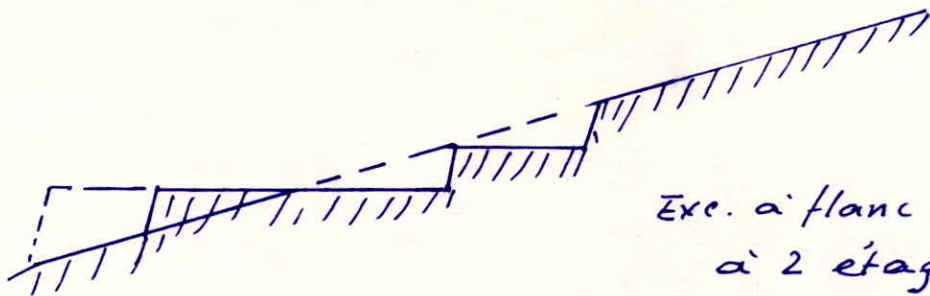
- x précautions : x éloigner les ouvriers du rayon d'action du godet

x bien caler le châssis, en le montant si nécessaire sur un plancher en bois.

x vérifier régulièrement les câbles.

Le procédé d'excavation le plus répandu est " l'excavation en parallèle ", les chenilles sont perpendiculaires au bras du godet en excavation et lui sont parallèles en chargement.

Quand la hauteur de travail est grande, on utilise plusieurs engins travaillant en étages :

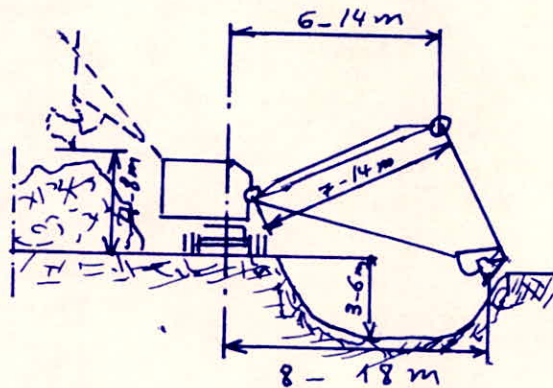


Exc. à flanc de coteau à 2 étages

2. Excavation en fouille :

Pour excaver en fouille, c'est-à-dire au-dessous du niveau du sol, on utilise soit la pelle retrocaveuse ("retro") ou le dragline.

La pelle retrocaveuse est obtenue par modification du système de levage de la pelle en butte et de son godet.



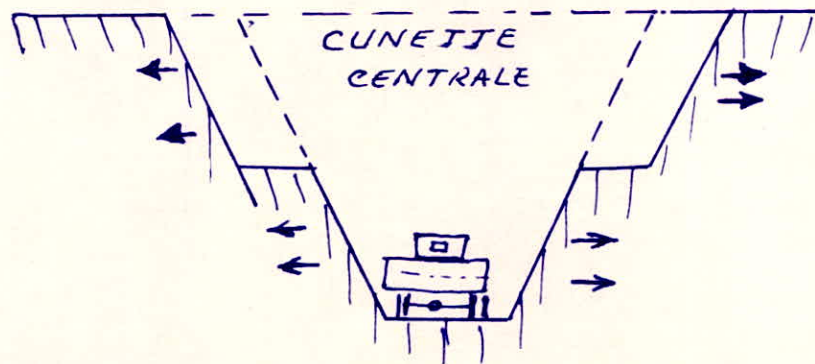
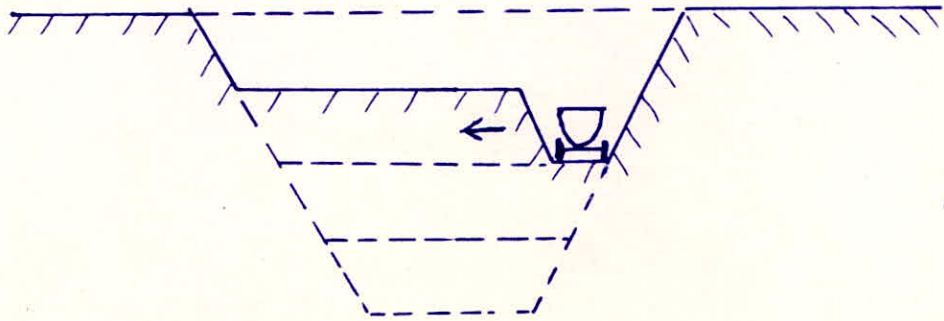
le DRAGLINE

Quand on dispose d'une hauteur importante, on peut faire travailler la pelle "retro" et la pelle en butte en tandem.

Pour l'excavation en fouille, on adopte généralement les deux procédés d'attaque :

- attaque par cunette latérale
- attaque par cunette centrale.

CUNETTE LATÉRALE



3. Excavation en nivellement

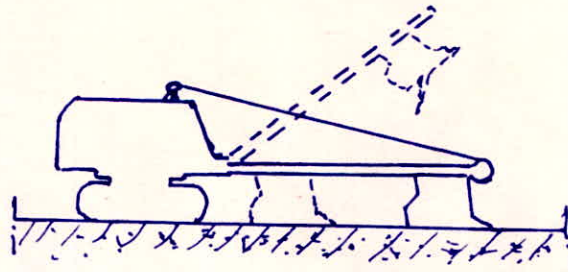
Ceci constitue un cas particulier où on excave sur de faibles profondeurs en terrain plat.

On utilise pour cela une pelle équipée en

niveleuse

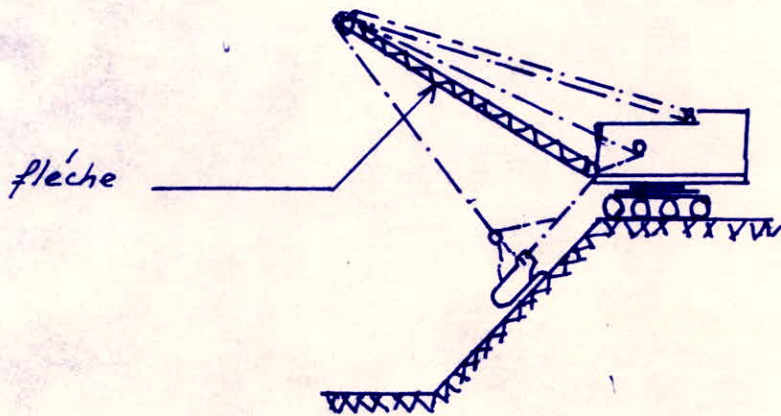
← 5-13m →

← 2-6 m →



NIVELEUSE

Mais le dragline est le plus fréquemment utilisé. Il possède une flèche à grande portée, constituée par une poutre à treillis et qui prend des positions de l'horizontale à la verticale. Il permet ainsi de niveler sur de grandes distances et possède un rendement élevé.



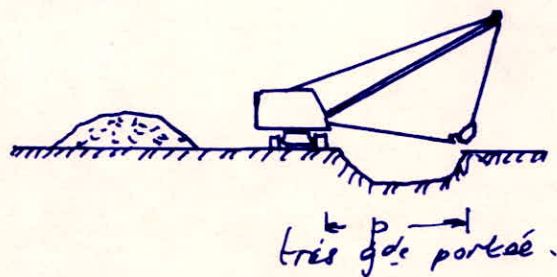
4. Creusement de tranchées :

Ce travail est rencontré lors de l'exécution des fondations importantes et pour la pose de canalisations où l'on se heurte parfois à des problèmes ardues de traversée de rivière.

Pour les tranchées de fondations assez larges, on peut utiliser carrément le bulldozer.

Dans le cas des tranchées étroites mais peu profondes, la pelle retrocaveuse est plus indiquée.

On réserve généralement l'emploi du dragline aux tranchées profondes et aux travaux en rivière où sa flèche lui permet d'excaver même au-delà de la traversée de rivières.



Dans le cas de tranchées très importantes et des mines, on installe un excavateur multigodets à très haut rendement.

I. 5.2. TERRAINS ROCHEUX

Dans le cas des terrains rocheux, on ne peut pas excaver directement avec des engins mécaniques, une désagrégation préalable est nécessaire.

Cette (dégr) désagrégation peut se réaliser de deux manières :

- sans explosifs
- avec explosifs

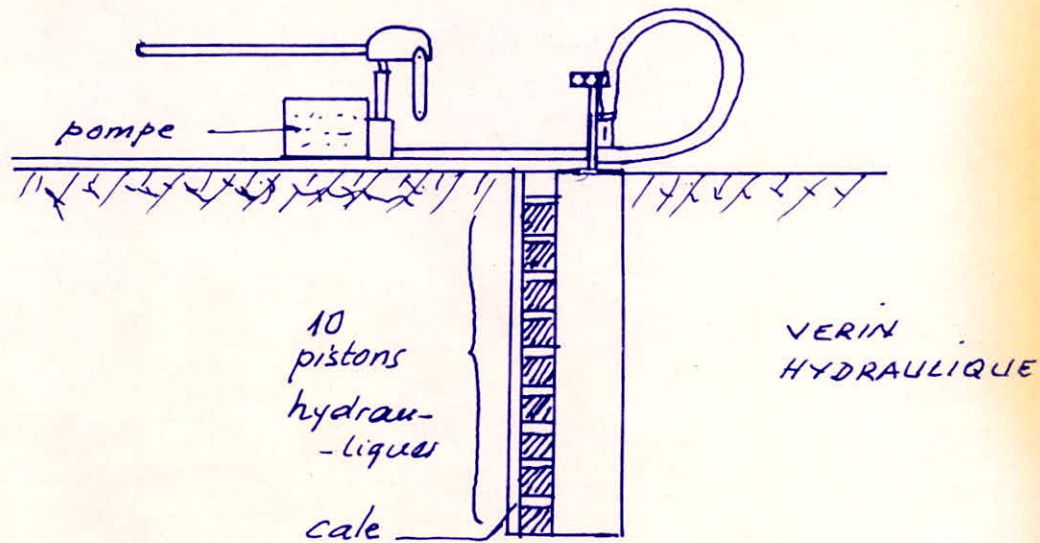
DESAGREGATION SANS EXPLOSIFS :

Elle est employée quand :

- la quantité à extraire est faible,
- lors du creusement de tranchées dans les agglomérations.

La pioche et la masse sont très rarement utilisés, elles ont fait place aux marteaux piqueurs à air comprimé pour les faibles épaisseurs et aux verins hydrauliques

Le schéma ci-après montre un verin hydraulique.



DESAGREGATION AVEC EXPLOSIFS :

Nous examinerons la perforation de trous et les explosifs couramment utilisés :

- LA PERFORATION :

Elle peut se faire à la main, avec la "barre à mine" en acier de longueur de 1,50-3,00 m et de 30 à 40 cm de diamètre avec une extrémité recourbée.

La profondeur obtenue ne dépasse guère 1,50 m et le rendement est très médiocre.

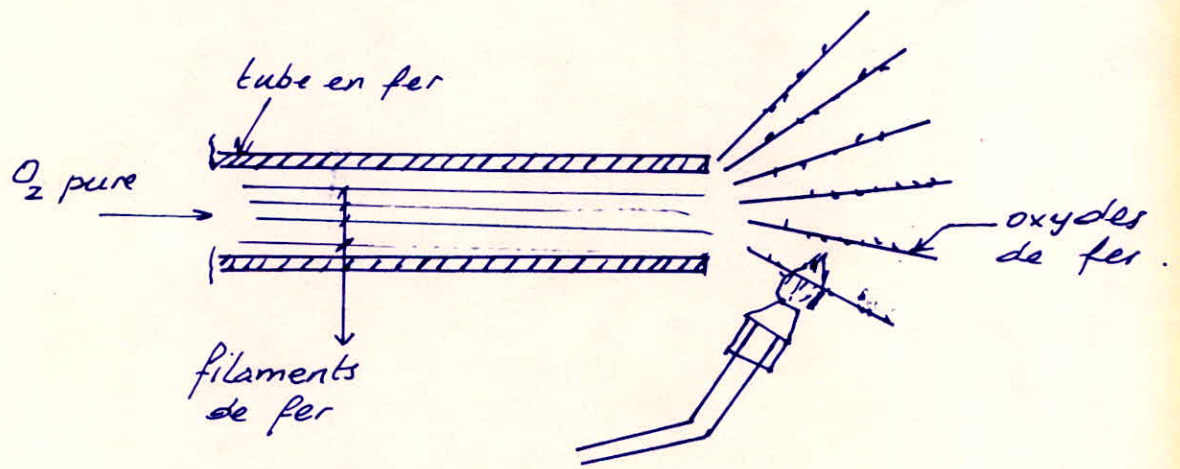
Dans la majorité des cas, la perforation s'exécute avec des moyens mécaniques :

- par marteaux perforateurs qui sont soit à air comprimé, soit à essence, avec une pointe au carbure de tungstène, très résistante et qu'on

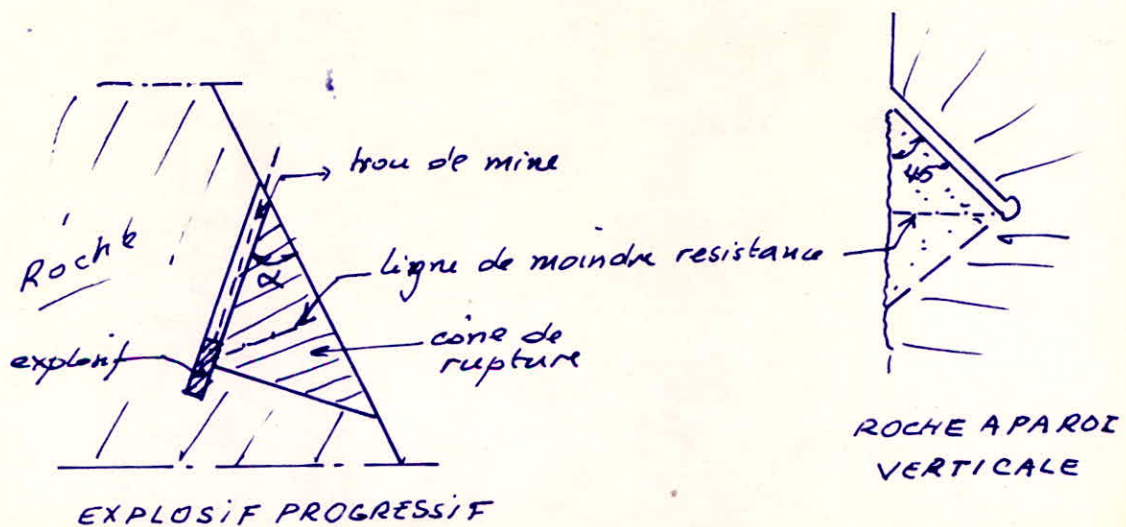
peut changer suivant la nature du terrain.

Cet outil est le plus couramment utilisé.

- perforation thermique, souvent préféré à la perforation chimique car demandant moins de qualification et comportant moins de risques :



La disposition du trou de mine dans la roche influe beaucoup sur le volume désagrégé, les schémas suivants donnent quelques positions favorables :

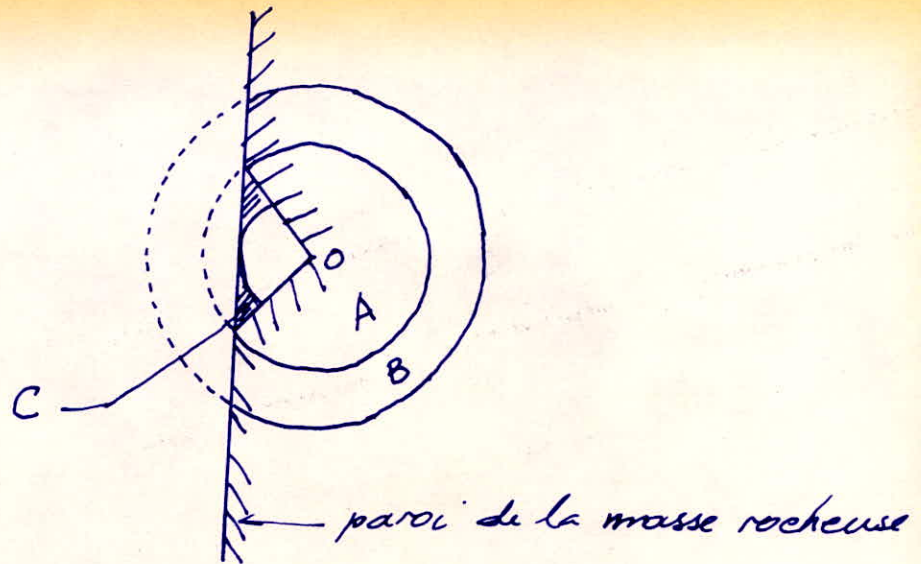


- LES EXPLOSIFS -

Pour éviter une description détaillée fastidieuse, nous donnons les principaux explosifs sous forme de tableau :

EXPLOSIF	Puissance (*)	APPLICATIONS.
Poudre Noire	50-60	Roches tendres, carrières à ciel ouverts (calcaire, gypse, ...)
DYNAMITE (à base de nitroglycérine)	90-150	Roches très dures à sec (tunnels) Roches dures fissurées
EXPLOSIFS CHLORATÉS (Cheddite, minelite, ...)	86-103	Terrains rocheux à l'air libre, interdit ds les mines acides.
EXPLOSIFS DE SURETÉ N° 0	115	Special T.P. Roches dures (peu humides)
1	111	" " et 1/2 dures
2	102	" 1/2 " et tendres
3	77	" " " " " (t. abs.)
AIR LIQUIDE (O ₂ liquide)	50-150	Roches 1/2 dures et tendres A éviter ds les roches à pyrites.
(*) Référence 100 pour l'acide picrique pur (ou mélinite).		

L'action de l'explosif crée dans la roche trois zones suivant l'état de la matière après l'explosion, le schéma suivant en montre les dispositions :



zone A : de rayon R : zone d'explosion (detente)

" B : " $R\sqrt{2}$: " de friabilité

" C : zone non marquée.

O : centre de l'explosif.

Le rayon R est donné par la formule :

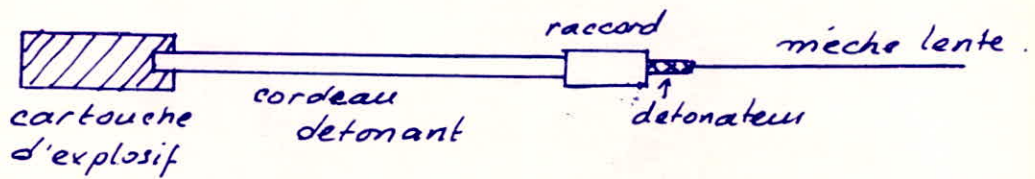
$$R_{(m)} = k \sqrt[3]{P}$$

k : coefficient dépendant de la nature de l'explosif et du terrain

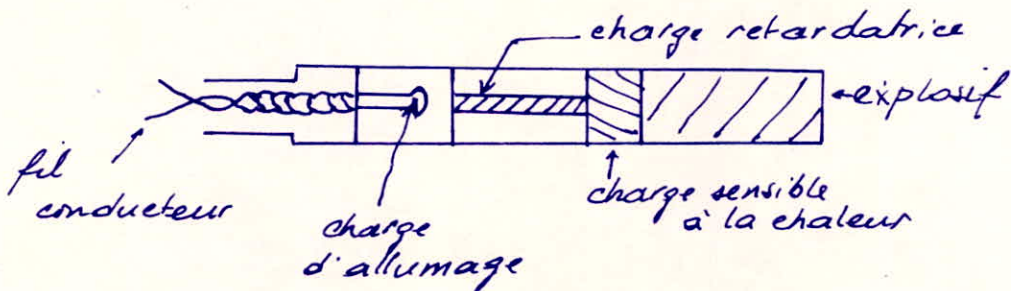
P : poids d'explosifs en kg.

— MISE A FEU DES EXPLOSIFS :

La mise de ces explosifs se fait généralement par une mèche lente arrivant sur un détonateur qui provoque l'explosion par l'intermédiaire d'un cordeau détonant :



Elle peut se faire également par un dispositif de mise à feu électrique qui permet une commande à distance avec amorce retardée :



Il existe, bien entendu, des variantes utilisant ces principes de base, donnant des explosifs échelonnés, des mises à feu de plusieurs explosifs placés en des endroits différents, des allumages différés,...

Pour obtenir un même effet, il faut

dynamite gomme	Nitroglycerine	Dynamite	Poudre Noire
1 kg	1,20 kg	1,5-2 kg	2,50

Pour abattre 1 m³ de terrain il faut

Nature du terrain	Granit	Quartz	Schistes
Poids de l'explosif (g)	460	370	200

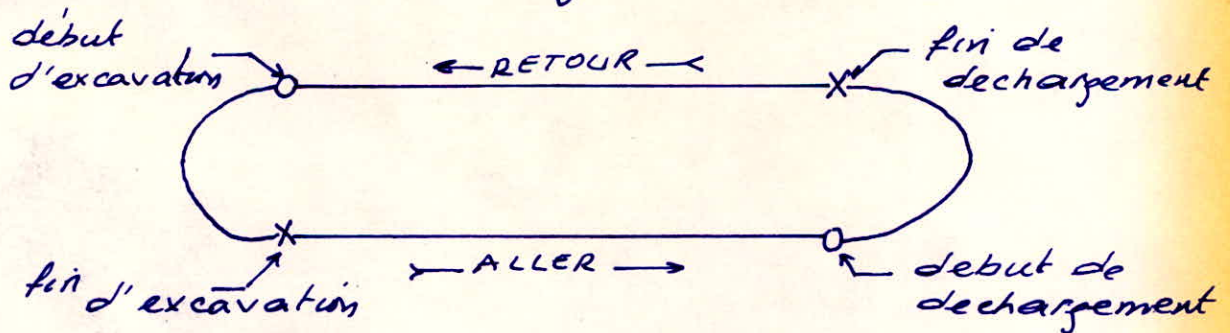
I.6. TRANSPORT DES DEBLAIS :

D'une manière générale, le transport des terres dépend :

- de la quantité de déblais extraits à l'heure,
- du cube total à extraire,
- distance de transport du déblai au remblai,
- état et inclinaison de la piste.

La condition primordiale à respecter est que la quantité évaluée doit être à tout instant égale à la quantité extraite pour assurer au chantier un fonctionnement continu.

Pour le choix des engins, on étudie le "cycle de transport" qui est généralement :



La durée de ce cycle est décomposée en :

- temps d'attente avant chargement (moy. 3') : t_1
- temps de chargement (moy. 2') : t_2
- temps de déchargement : t_3

— temps de roulement: t_4 (en aller et retour).

La durée de ce cycle permet de déterminer le nombre d'engins nécessaires pour maintenir un excavateur en fonctionnement continu (cf. chap. VII).

Les moyens de transports les plus utilisés sont:

- x la brouette (33-80 l) sur très petits chantiers et courtes distances,
- x les dumpers et les camions,
- x la voie ferrée,
- x les chalands en rivière, les plans inclinés, les téléphériques, ...

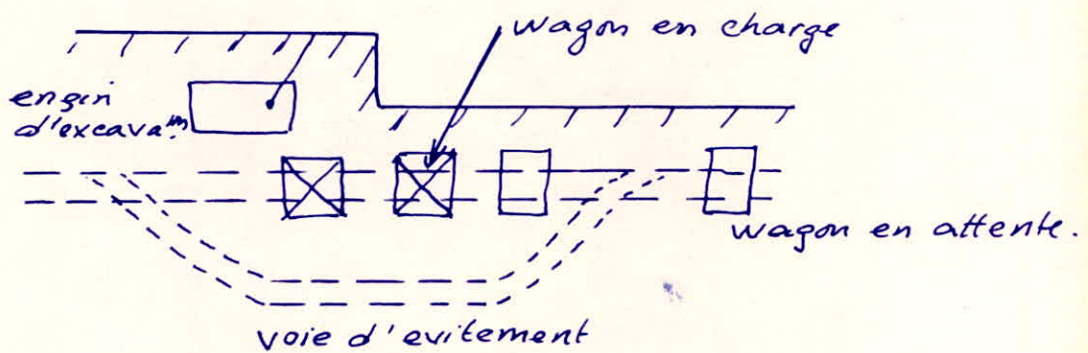
Les camions sont adaptés aux longs trajets où leurs grandes vitesses leur confèrent un très haut rendement, par contre les dumpers atteignent de grandes capacités (jusqu'à 50t) et supportent mieux les pistes et les rampes.

Les dumpers et les camions tendent à supplanter tous les autres moyens de transport sur chantiers car:

- x ils s'adaptent à tous terrains,
- x ils se chargent et se déchargent facilement et rapidement,

- ils permettent un fonctionnement continu de l'excavateur (manœuvre de mise en position aisée),
- ils peuvent être utilisés à d'autres usages : ravitaillement en pièces, en eau, ...

Le matériel ferroviaire est surtout utilisé en mines où les trajets sont constants ce qui permet l'établissement définitif de la voie avec aménagement de voies d'évitement pour les wagons vides :



La capacité des wagons doit être un sous-multiple de la capacité de l'excavateur et la puissance de traction doit être étudiée en fonction de la pente de la voie et du poids total des wagons chargés.

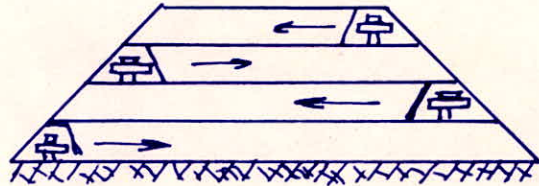
En fait, le grand problème des transports a été de tous temps de déterminer la répartition des déblais, ce problème fait l'objet du chap. II.

I.7. MISE EN PLACE ET COMPACTAGE DES REMBLAIS.

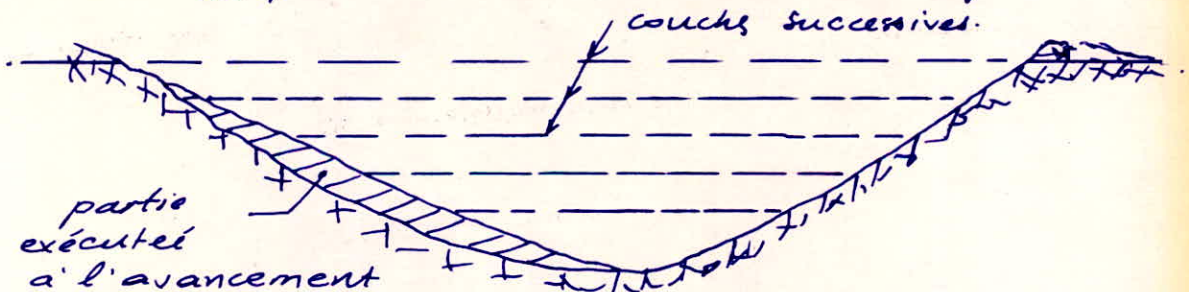
I.7.1. MISE EN PLACE - NIVELLEMENT.

La plupart des engins permettent un premier damage des déblais déposés et pour profiter de cet avantage, on utilise les procédés suivants :

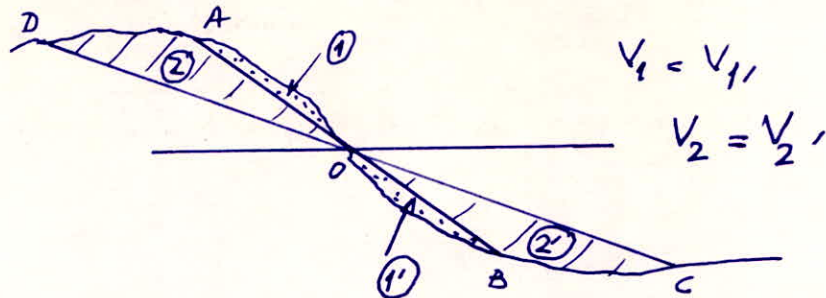
- * remblayage par couches successives à l'avancement.



- ** par couches successives et relevages :



- *** en terrain à forte pente :



Le nivellement s'effectue pour la matière déposée par dumper en monticules ou en cordons.

La lame du bulldozer est relevée jusqu'à mi-hauteur du monticule et l'engin doit avancer à vitesse constante.

I.7.2. COMPACTE DU REMBLAI

Dans tout ouvrage de travaux publics, un mouvement ultérieur des terres risque d'avoir de graves conséquences sur la construction.

Pour cela, suivant la nature des surcharges prévues sur le remblai, le compactage de celui-ci s'impose pour augmenter sa résistance et par là même sa densité.

Suivant la nature du sol, on distingue deux principaux procédés :

—x la vibration pour les sols sans cohésion, sur des couches de faible épaisseur (< 30 cm), la fréquence des vibrations doit être aussi proche que possible de la fréquence critique du sol,

—x le roulage (ou damage), qui consiste à appliquer une forte charge au sol pour en diminuer l'indice des vides.

Dans le cas de la vibration, on utilise des rouleaux vibrants qui compactent uniquement la couche superficielle de 1,50 - 2,00 m.

Les vibrateurs sont des plaques de 1,00 m de diamètre qui ont une fréquence de 1500 tours/mn avec un rendement moyen de 100 à 200 m³/h.

Cependant, le compactage en surface doit se compléter par le passage de rouleaux lisses (aussi bien dans le cas de la vibration que du roulage).

Le damage se fait généralement à l'aide de rouleaux à pieds de moutons (décrits au III.5.2a).

La teneur en eau joue un rôle important pour l'obtention de la densité voulue.

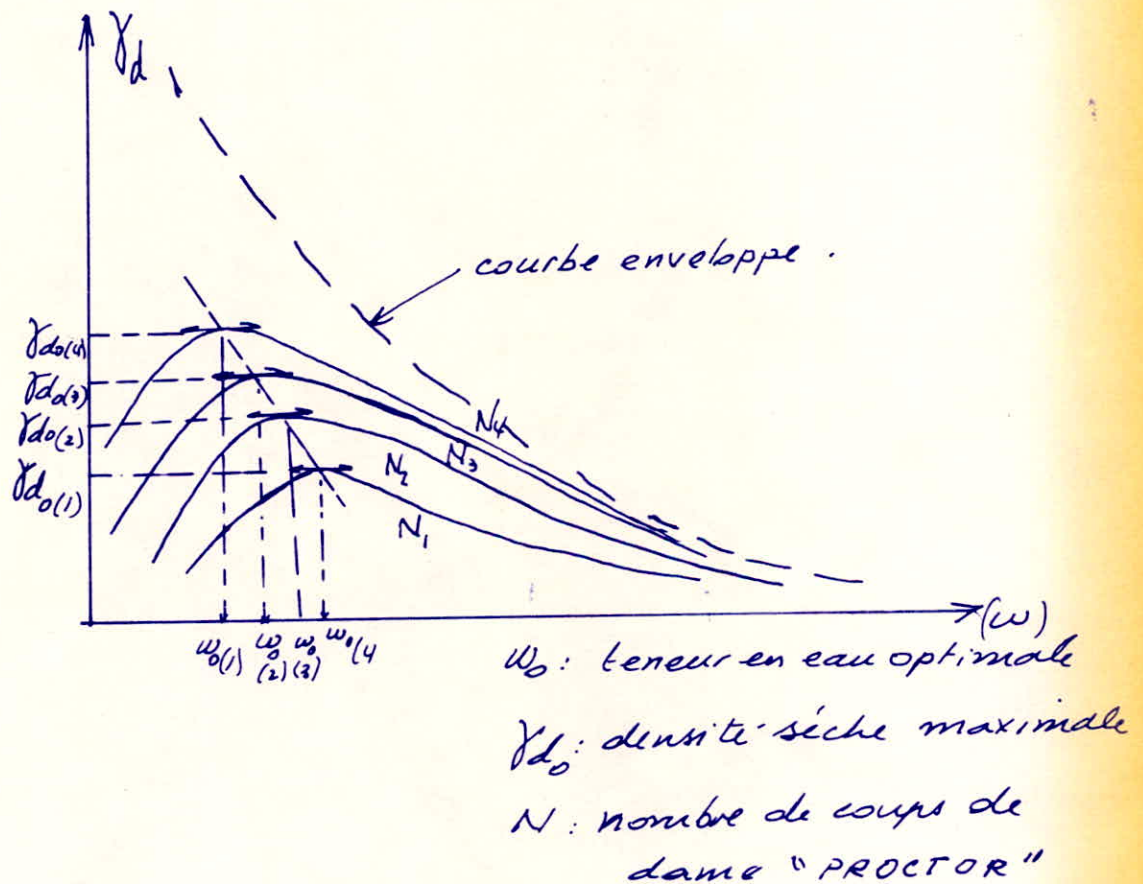
En effet, quand elle est élevée, presque tous les vides sont occupés par de l'eau, de sorte que l'indice des vides diminue peu et le sol reste peu compact : un drainage est alors nécessaire.

Par contre, quand elle est trop faible, le compactage devient difficile car c'est l'eau interstitielle qui joue le rôle de lubrifiant et permet aux grains solides de se déplacer

pour obtenir la compacité maximale, on y remédie en arrosant régulièrement les couches.

De là, découle la nécessité pour un sol déterminé, de connaître sa teneur en eau optimale.

Celle-ci est obtenue par l'essai PROCTOR qui aboutit à la courbe PROCTOR donnant la densité sèche (γ_d) en fonction de la teneur en eau (w).



Cette courbe confirme le fait que :

- x pour " w " élevé, " γ_d " est faible ($\gamma_d < \gamma_{d0}$).
- x pour " w " trop faible ($< w_0$), γ_d est faible ($< \gamma_{d0}$)

Elle montre aussi que la teneur en eau optimale dépend du nombre de coups de dame PROCTOR, donc du nombre de passes de l'engin sur le remblai, ce qui permet d'obtenir la densité voulue en exécutant un nombre de passes approprié.

Signalons que dans le cas de chantiers et de voies de communications importants, le contrôle du compactage s'impose et peut être réalisé de deux manières:

—x par mesure de ρ_d après prélèvement, ou par poinçonnement à l'aiguille PROCTOR.

—x par passage d'un compacteur lourd décelant les zones faibles, ou par deflectographes.

Un contrôle sévère des engins de compactage permet d'éviter des erreurs qui, même décelés ultérieurement, augmentent sensiblement le prix des travaux.

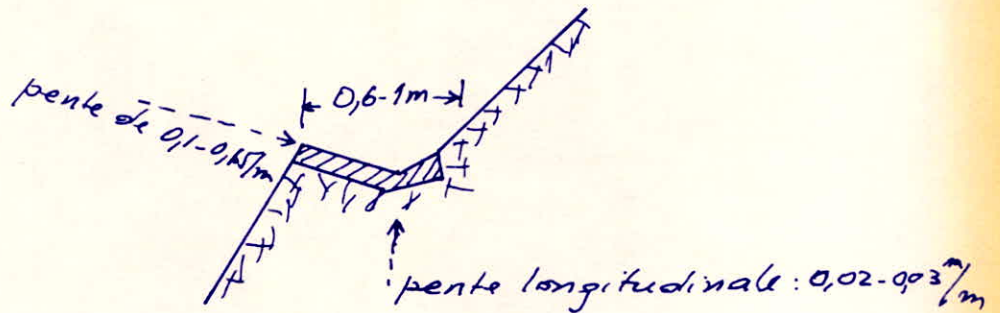
I. 7.3. CONSOLIDATION DU TALUS.

Pour le réglage du talus, on laisse toujours un "gras", ce qui permet de dresser le talus à la côte définitive par decapage plutôt que par apport.

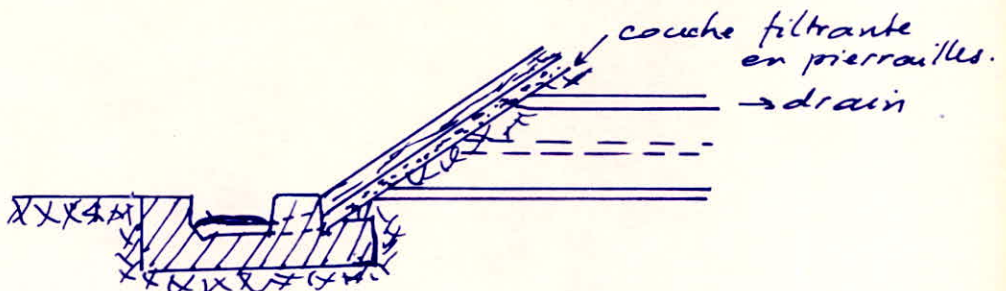
Ce dressement s'effectue au scraper en gradins qui sont ensuite aplanis par un bulldozer ou une niveleuse.

Le talus définitif doit être protégé contre l'érosion par des plantations ou un gazonnement.

Un gradin disposé tous les 4-5m permet l'évacuation des eaux de ruissellement :



Un drain général doit être exécuté pour les eaux de suintement :



CHAPITRE II :

OPTIMISATION DE LA REPARTITION

DES TERRES PAR LA

PROGRAMMATION LINEAIRE .

REPARTITION OPTIMALE DES TERRASSEMENTS.

II. 1. INTRODUCTION

Avant d'aborder le calcul des ressources en hommes et en matériel, il est nécessaire de déterminer la répartition des terrassements entre les quatre sources de déblais et les trois secteurs de remblai.

La répartition optimale sera cherchée par la programmation linéaire dont les principes et diverses méthodes de résolution du problème des transports sont exposés ci-après.

II. 2. PROGRAMMATION LINEAIRE

II. 2. 1. EXPOSE GENERAL

Les programmes linéaires constituent un modèle mathématique des phénomènes économiques et organisationnels.

Ils consistent à optimiser une fonction économique ou fonction-but (ex: maximiser les bénéfices, minimiser les prix de revient, les temps

d'attente, ...) sous certaines contraintes.

Ces contraintes, ou objectifs, sont des relations linéairement indépendantes entre les variables, celles-ci devant être nécessairement positives ou nulles.

L'énoncé général d'un tel programme se présente ainsi :

Soient " $m \times n$ " variables : $x_{ij} \geq 0, \forall i, \forall j$.

$x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1j}, \dots, x_{1n}$

$x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2j}, \dots, x_{2n}$

\vdots
 $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{in}$

\vdots
 $x_{m1}, x_{m2}, \dots, x_{mj}, \dots, x_{mn}$

On forme " m " équations linéairement indépendantes, représentant les contraintes :

$$(S) \begin{cases} a_{11}x_{11} + a_{12}x_{12} + \dots + a_{1j}x_{1j} + \dots + a_{1n}x_{1n} = b_1 \\ a_{21}x_{21} + a_{22}x_{22} + \dots + a_{2j}x_{2j} + \dots + a_{2n}x_{2n} = b_2 \\ \vdots \\ a_{i1}x_{i1} + a_{i2}x_{i2} + \dots + a_{ij}x_{ij} + \dots + a_{in}x_{in} = b_i \\ \vdots \\ a_{m1}x_{m1} + a_{m2}x_{m2} + \dots + a_{mj}x_{mj} + \dots + a_{mn}x_{mn} = b_m \end{cases}$$

Sous une forme condensée, le système (S) peut s'écrire :

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_{ij} = b_i, \quad i = 1, \dots, m.$$

Le problème consiste alors à optimiser la fonction économique :

$$Z = c_{11} x_{11} + c_{12} x_{12} + \dots + c_{ij} x_{ij} + \dots + x_{mn} c_{mn}$$

On peut aussi l'écrire :

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

c_{ij} : constante, représentant par exemple le coût unitaire.

Le système (S) est un système de "m" équations à "m x n" inconnues, il est donc indéterminé.

Pour lever cette indétermination, on doit se fixer les valeurs de :

$$m \times n - m = m(n-1) \text{ inconnues.}$$

On obtient ainsi un système que l'on peut résoudre par la méthode de CRAMER.

Cependant, on fera attention à ne retenir que les systèmes donnant des solutions positives ou nulles, le choix de $m(n-1)$ variables doit être judicieux.

II.2.2. METHODE MATHEMATIQUE :

Dans notre cas, les variables sont les quantités de terres à transporter, exprimées en milliers de m^3 , nous les noterons ainsi :

De A vers les secteurs 1,2,3 : x_{A1}, x_{A2}, x_{A3}

De B " " " " : x_{B1}, x_{B2}, x_{B3}

" C " " " " : x_{C1}, x_{C2}, x_{C3}

" D " " " " : x_{D1}, x_{D2}, x_{D3}

Les contraintes sont imposées par le fait que la somme des quantités transportées à partir d'un mamelon doit être égale à la disponibilité de celui-ci (ce qui donne 4 équations), et par le fait que la somme des quantités transportées vers un secteur doit le satisfaire entièrement (ce qui fait 3 équations).

Le modèle mathématique sera donc formé par le système suivant :

$$(S) \begin{cases} x_{A1} + x_{A2} + x_{A3} = 200 \\ x_{B1} + x_{B2} + x_{B3} = 50 \\ x_{C1} + x_{C2} + x_{C3} = 100 \\ x_{D1} + x_{D2} + x_{D3} = 130 \\ x_{A1} + x_{B1} + x_{C1} + x_{D1} = 100 \\ x_{A2} + x_{B2} + x_{C2} + x_{D2} = 200 \\ x_{A3} + x_{B3} + x_{C3} + x_{D3} = 180 \end{cases}$$

La fonction-but sera le prix de revient total des terrassements:

$$\bar{\Phi} = \sum_{i=A}^D \sum_{j=1}^3 c_{ij} x_{ij}$$

c_{ij} : représentant le coût unitaire du mamelon "i" au secteur "j".

$$\begin{aligned} \bar{\Phi} = & 15x_{A1} + 22x_{B1} + 28x_{C1} + 30x_{D1} \\ & + 18x_{A2} + 20x_{B2} + 25x_{C2} + 22x_{D2} \\ & + 22x_{A3} + 15x_{B3} + 22x_{C3} + 32x_{D3}. \end{aligned}$$

Le système (S) contient 7 équations à 12 variables. En réalité, il existe une relation entre les variables qui exprime le fait que la quantité totale extraite est égale à la quantité totale reçue par les secteurs. Ceci réduit le système (S) à 6 relations linéairement indépendantes. Il est indéterminé et son indétermination est d'ordre : $12 - 6 = 6 \rightarrow$ nombre de solutions possibles : ∞^6

Pour le résoudre, on fixe la valeur de six (6) inconnues et on calcule les autres.

Pour avoir la solution optimale, on remplace dans la fonction-but les inconnues par leurs valeurs.

On élimine les systèmes donnant des valeurs négatives et les valeurs impossibles (celles dépassant les disponibilités ou les besoins).

Comme on cherche à minimiser Φ , on a intérêt à annuler les six inconnues dont on choisit les valeurs parmi les inconnues aux prix unitaires les plus élevés.

MAMELONS SECTEURS	A	B	C	D	TOTAL NECESSAIRE (x 1000m ³)
1	¹⁵ x_{A1}	²² x_{B1}	²⁸ x_{C1}	³⁰ x_{D1}	100
2	¹⁸ x_{A2}	²⁰ x_{B2}	²⁵ x_{C2}	²² x_{D2}	200
3	²² x_{A3}	¹⁵ x_{B3}	²² x_{C3}	³² x_{D3}	180
TOTAL DISPONIBLE (x 1000m ³)	200	50	100	130	480

On annule les variables suivantes :

$$x_{D3} = 0, x_{D1} = 0, x_{C1} = 0, x_{C2} = 0, x_{B1} = 0$$

$$x_{A3} = 0.$$

Le système d'équations sera alors ramené à un système de CRAMÉR qu'on résoud mathématiquement :

$$(S) \begin{cases} x_{A1} + x_{A2} = 200 \\ x_{B2} + x_{B3} = 50 \\ x_{C3} = 100 \\ x_{D2} = 130 \\ x_{A1} = 100 \\ x_{A2} + x_{B2} + x_{D2} = 200 \\ x_{B3} + x_{C3} = 180 \\ x_{A3} = 0, x_{B1} = 0, x_{C1} = 0, x_{C2} = 0, x_{D1} = 0, x_{D3} = 0 \end{cases}$$

Les solutions sont :

$$x_{A1} = 100, x_{A2} = 100, x_{B2} = -30, \\ x_{B3} = 80, x_{C3} = 100$$

Toutes ces valeurs sont satisfaisantes sauf x_{B2} qui est négative, donc le système choisi avec ces six (6) variables nulles ne convient pas.

Donc théoriquement, on doit changer les variables à annuler, on choisit six (6) parmi douze (12) inconnues, ce qui donne un nombre de systèmes possibles de :

$$n = \binom{12}{6} = \frac{12!}{(12-6)!6!} = \frac{12 \times 11 \times 10 \times 9 \times 8 \times 7}{6 \times 5 \times 4 \times 3 \times 2 \times 1}$$

$$n = 924 \text{ systèmes possibles}$$

D'autre part, comme on peut donner d'autres valeurs à ces six (6) inconnues, le nombre de systèmes devient vite énorme.

Et c'est là qu'on rencontre le principal inconvénient de cette méthode, elle demande beaucoup de temps et de travail pour aboutir à la solution optimale.

Ainsi, des méthodes intuitives (ou méthodes initiales) ont dû être créées et par la suite améliorées. Ces méthodes font l'objet des paragraphes suivants.

II.3. METHODES INITIALES

II.3.1. METHODE DU COUT MINIMUM :

On dresse la matrice de répartition :

Mam. Sect.	A	B	C	D	Tot. Nec.
1	1 15 100	4 22 —	6 20 —	7 30 —	400 0
2	2 18 100	3 20 —	5 25 —	4 22 100	200 400 0
3	4 22 —	1 15 50	4 22 100	8 32 30	180 130 30 0
Tot. disp.	200 100 0	50 0	100 0	130 30 0	

On porte dans chaque case, en haut à droite, le prix unitaire (ex: case A1 : 15 DA/m³).

On numérote les paramètres (prix unitaires) par ordre de grandeur croissant, on inscrit le numéro en haut à gauche dans chaque case.

En respectant l'ordre de numérotation, on alloue les quantités nécessaires dans chaque case dans les limites des ressources disponibles.

On corrige au fur et à mesure le total des quantités de ressources nécessaires et disponibles.

Les résultats obtenus sont les suivants :

Du mamelon A	au secteur 1	:	100.000 m ³				
"	"	"	2	:	100.000 "		
"	"	B	"	"	3	:	50.000 "
"	"	C	"	"	3	:	100.000 "
"	"	D	"	"	2	:	100.000 "
"	"	"	"	"	3	:	30.000 "

Le prix total est donné par la fonction-but :

$$\bar{\Phi} = 18 \times 100.000 + 15 \times 100.000 + 15 \times 50.000 + 22 \times 100.000 + 22 \times 100.000 + 32 \times 30.000$$

$$\bar{\Phi} = 9.410.000,00 \text{ D.A.}$$

II. 3. 2. METHODE DU COIN NORD- OUEST :

On dresse la matrice de repartition :

M. S.	A	B	C	D	Tot. Nec.
1	100 ¹⁵	— ²²	— ²⁸	— ³⁰	100 0
2	100 ¹⁸	50 ²⁰	50 ²⁵	— ²²	200 100 50 0
3	— ²²	— ¹⁵	50 ²²	130 ³²	180 130 0
Tot. Disp.	200 100 0	50 0	100 50 0	130 0	.

On part du coin Nord-Ouest du tableau et on longe la diagonale N-O.

On dispose donc dans la case A1 les quantités nécessaires dans la limite des ressources, on obtient pour la première ligne (secteur 1 saturé) :

$$x_{A1} = 100, \quad x_{B1} = 0, \quad x_{C1} = 0 \quad \text{et} \quad x_{D1} = 0.$$

On complète la première colonne avec les ressources disponibles en A ($200 - 100 = 100$) :

$$x_{A2} = 100, \quad x_{A3} = 0$$

On sature le secteur 2, la deuxième colonne donne :

$$x_{B2} = 50 \quad \text{et} \quad x_{B3} = 0$$

Et la deuxième ligne se complète ainsi :

$$x_{c2} = 50 \quad \text{et} \quad x_{D2} = 0$$

On complète la troisième colonne :

$$x_{c3} = 50$$

Et enfin la dernière case est remplie :

$$x_{D3} = 130$$

On a obtenu ainsi la répartition suivante :

Du mamelon A au secteur 1 : 100.000 m³

" " A " " 2 : 100.000 m³

" " B " " 2 : 50.000 "

" " C " " 2 : 50.000 "

" " C " " 3 : 50.000 "

" " D " " 3 : 130.000 "

La fonction-but prendra la valeur :

$$\begin{aligned} \bar{\Phi} &= 15 \times 100.000 + 18 \times 100.000 + 20 \times 50.000 \\ &\quad + 25 \times 50.000 + 22 \times 50.000 + 32 \times 130.000 \end{aligned}$$

$$\bar{\Phi} = 10.810.000,00 \text{ D.A.}$$

Conclusion :

Cette méthode donne une répartition plus coûteuse que celle du coût minimum.

II. 3.3. METHODES DES DIFFERENCES MAXIMALES :

On établit la matrice de répartition en introduisant une colonne et une ligne supplémentaires où figureront les différences entre les plus petits paramètres et les suivants :

M S	A	B	C	D	Dif. Max.	Tot. Nec.
1	15 -	22 -	20 -	30 -	7	100
2	18 -	20 -	25 -	22 -	2	200
3	22 -	15 -	22 -	32 -	7	180
Dif. Max.	3	5	3	8		
Tot. Disp.	200	50	100	130		

On fait la différence sur chaque ligne et chaque colonne entre le plus petit paramètre (ici le prix unitaire) et le suivant, on porte ces différences dans les cases prévues à cet effet.

On choisit la plus grande différence (ici : 8) et on alloue la quantité nécessaire dans les limites des ressources dans la case qui à le paramètre

minimum dans la colonne (ou la ligne) de cette différence (ici case D2).

On établit maintenant la même matrice sans la colonne D satisfaite :

S. \ M.	A	B	C	Diff. Max.	Tot. Nec.
1	¹⁵ 100	²² -	²⁸ -	7	100 0
2	¹⁸ -	²⁰ -	²⁵ -	2	70
3	²² -	¹⁵ -	²² -	7	180
Diff. Max	3	5	3	-	-
Tot. Disp.	200 100	50	100	-	-

On refait le même travail :

- On calcule les différences entre le plus petit des paramètres et son suivant pour chaque ligne et pour chaque colonne.

- On choisit la différence maximale : 7

- On alloue la quantité nécessaire à la case de plus faible paramètre dans la ligne de cette différence : A1 : 100

On corrige à fur et à mesure les disponibilités dans les mamelons et les besoins dans les secteurs.

On retrace la matrice sans la ligne 1 (secteur 1 saturé):

S \ M	A	B	C	Dif. Max.	Tot. Nec.
2	— ¹⁸	— ²⁰	— ²⁵	2	70
3	— ²²	50 ¹⁵	— ²²	7	180 30
Dif. Max.	4	5	3		
Tot. Disp.	100	50 0	100		

La différence maximale est : 7, on remplit la case au plus petit paramètre (B3) et on refait la matrice sans la deuxième colonne (mamelon B vide) après avoir corrigé les besoins du secteur 2.

On continuera ainsi jusqu'à ce que les ressources soient toutes épuisées et que les secteurs soient entièrement satisfaits.

M \ S	A	C	Dif. Max.	Tot. Nec.
2	70 ¹⁸	- ²⁵	7	70 0
3	30 ²²	100 ²²	0	130 0
Dif. Max.	4	3		
Tot. Disp.	400 30 0	100 0		

La case A3 est prioritaire et enfin le secteur 3 est saturé avec ce qui reste en A et C.

On a obtenu finalement la matrice suivante :

M \ S	A	B	C	D	Tot. Nec.
1	100 ¹⁵	- ²²	- ²⁸	-	100
2	70 ¹⁸	- ²⁰	- ²⁵	130 ²²	200
3	30 ²²	50 ¹⁵	100 ²²	- ³²	180
Tot. Disp.	200	50	100	130	480

Cherchons le prix total des terrassements par le calcul de la fonction-but :

$$\Phi = 15 \times 100.000 + 18 \times 70.000 + 22 \times 130.000 \\ + 22 \times 30.000 + 15 \times 50.000 + 22 \times 100.000$$

$$\Phi = 9.230.000,00 \text{ D.A.}$$

— Cette méthode est meilleure que les deux précédentes.

Déjà, à ce niveau, on a une idée de l'économie qu'on peut obtenir en utilisant la programmation linéaire, entre deux répartitions différentes, on fait un gain :

$$10.810.000,00^{\text{DA}} - 9.230.000,00^{\text{DA}} = 1.580.000,00 \text{ D.A.}$$

alors que ce travail ne nécessite qu'un court laps de temps et un investissement insignifiant (paie des calculateur).

II. 4. METHODE D'AMELIORATION

On part d'une solution de base obtenue par une méthode initiale, par exemple celle du coût minimum.

M \ S	A $v_1 = 15$	B $v_2 = 2$	C $v_3 = 9$	D $v_4 = 19$	Tot. Nec.
1 $u_1 = 0$	15 100	22 -	28 -	30 -	100
2 $u_2 = 3$	18 100 ⊖	20 -	25 -	22 ⊕	200
3 $u_3 =$	22 ⊕	15 50	22 100	32 ⊖ 30	180
Tot. Disp.	200	50	100	130	480

On affecte des paramètres (correspondant au prix) à la première colonne : u_1, u_2, u_3 et à la première ligne : v_1, v_2, v_3, v_4 .

Pour les cases occupées uniquement, on dresse l'équation :

$$u_i + v_j = c_{ij}$$

On obtient les six (6) équations à sept (7) inconnues suivantes :

$$(S) \begin{cases} u_1 + v_1 = 15 \\ u_2 + v_1 = 18 \\ u_3 + v_2 = 15 \\ u_3 + v_3 = 22 \\ u_2 + v_4 = 22 \\ u_3 + v_4 = 32 \end{cases}$$

Pour résoudre ce système, on fixe par exemple : $u_1 = 0$, ce qui nous donne un système de CRAMER de 6 équations à 6 inconnues dont les solutions sont :

$$u_1 = 0, v_1 = 15, v_3 = 9, u_3 = 13, v_4 = 19 \\ u_2 = 3, v_2 = 2.$$

Ces valeurs sont reportées dans la matrice.

Pour les cases NON OCCUPEES, on établit la fonction :

$$\varphi_{ij} = c_{ij} - (u_i + v_j).$$

Les valeurs de ces fonctions sont :

$$\varphi_{1B} = c_{1B} - (u_1 + v_2) = 22 - (0 + 2) = 20$$

$$\varphi_{1C} = 28 - (0 + 9) = 19$$

$$\varphi_{1D} = 30 - (0 + 19) = 11$$

$$\varphi_{2B} = 20 - (3 + 2) = 15$$

$$\varphi_{2C} = 25 - (3 + 9) = 13$$

$$\varphi_{A3} = 22 - (13 + 15) = -6.$$

Parmi les valeurs négatives, on choisit celle qui a la plus petite valeur absolue, dans notre cas, seule φ_{A3} est négative.

A partir de la case A3, on construit un polygone à côtés horizontaux et verticaux et dont les sommets, outre la case A3, sont des cases occupées. On obtient le rectangle :

$$A3 - A2 - D2 - D3.$$

On affecte la case A3 du signe \oplus et les autres sommets alternativement du signe \ominus et du signe \oplus .

On fait la permutation de la quantité minimum parmi les sommets, sans changer les totaux en ressources et en besoins. Ici, on permet de 30.000 m^2 .

Ceci nous donne la repartition suivante :

S \ M	A $v_1 = 15$	B $v_2 = 8$	C $v_3 = 15$	D $v_4 = 19$	Tot. Nec.
1 $u_1 = 0$	15 100	22 —	28 —	30 —	100
2 $u_2 = 3$	18 70	20 —	25 —	22 130	200
3 $u_3 = 7$	22 30	15 50	22 100	32 0	180
Tot. Disp.	200	50	100	130	480

On continue à appliquer les mêmes opérations jusqu'à ce qu'on obtienne toutes les fonctions ψ_{ij} positives, on a alors la solution optimale.

On renumérote donc la matrice de la même manière : u_1, u_2, u_3 pour la première colonne et v_1, v_2, v_3, v_4 pour la première ligne.

On forme les équations :

$$u_i + v_j = C_{ij}$$

pour les cases occupées seulement :

$$u_1 + v_1 = 15$$

$$u_3 + v_2 = 15$$

$$u_2 + v_1 = 18$$

$$u_3 + v_3 = 22$$

$$u_3 + v_1 = 22$$

$$u_2 + v_4 = 22$$

là aussi, on pose : $u_1 = 0$, ceci nous donne les solutions suivantes :

$$u_1 = 0, v_1 = 15, u_2 = 3, u_3 = 7, v_2 = 8, \\ v_3 = 15, v_4 = 19.$$

On reporte ces valeurs sur la figure et on forme, comme auparavant, les fonctions :

$$\varphi_{ij} = c_{ij} - (u_i + v_j)$$

pour les cases NON OCCUPEES seulement, ceci nous donne :

$$\varphi_{1B} = c_{1B} - (u_1 + v_2) = 22 - (0 + 8) = 14$$

$$\varphi_{1C} = 28 - (0 + 15) = 13$$

$$\varphi_{1D} = 30 - (0 + 19) = 11$$

$$\varphi_{2B} = 20 - (3 + 8) = 9$$

$$\varphi_{2C} = 25 - (3 + 15) = 7$$

$$\varphi_{3D} = 32 - (7 + 19) = 6$$

Toutes ces fonctions sont positives, on a donc atteint la solution optimale.

CHAPITRE III :

CHOIX DU MATERIEL ET

CALCUL DES RESSOURCES

CALCUL DES RESSOURCES

III. 1. PIQUETAGE.

Le piquetage est une opération à exécuter manuellement (et avec des outils), elle ne nécessite pas la présence d'engins mécaniques spéciaux.

Une équipe confectimne, transporte, manipule et implante les piquets, pieux, longrines, etc...

Cette équipe est composée de :

- x un opérateur topographique pour désigner l'emplacement exacts des piquets et leurs côtes,
- x un chapevrier pour les confectimner
- x et enfin un manoeuvre pour aider au transport et à l'implantation.

La norme de temps pour une équipe ($e=3$) est :

$$N_T = 33^h / 10.000 \text{ m}^2 \text{ par homme.}$$

La quantité de travail est constituée par la surface des 3 secteurs de remblai et des 4 mamelons de déblai :

$$Q = 182.000 + 157.000 = 339.000 \text{ m}^2.$$

La durée est donc :

$$T_h = \frac{Q}{N_p \times e} = \frac{Q \times N_T}{e} = \frac{339.000 \times 33}{10.000 \times 3} = 372,9^h$$

En jours ouvrables, on obtient :

$$T_j = \frac{T_h}{8} = \frac{372,9}{8} = 46,6 \text{ jours ouvrables.}$$

Pour réduire cette durée, on prendra : $e = 4 \text{ eq} = 12 \text{ H}$

$$T_j = \frac{46,6}{4} = 11,6$$

$$T = 12 \text{ j.o.}$$

$$e = 12 \text{ H}$$

III. 2. DECAPAGE

III. 2. 1. LE BULLDOZER

Le bulldozer est un appareil polyvalent indispensable à tout chantier de terrassement.

Il existe une très grande variété de ces engins dont les principaux sont :

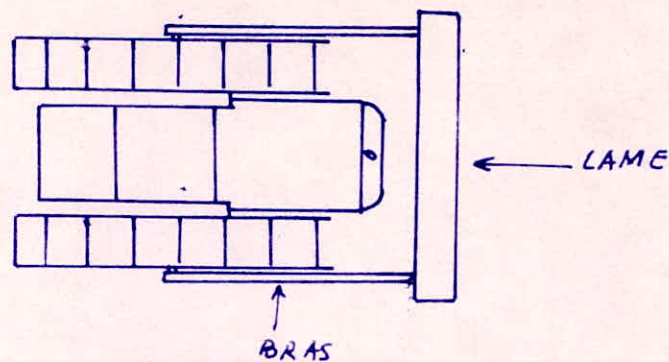
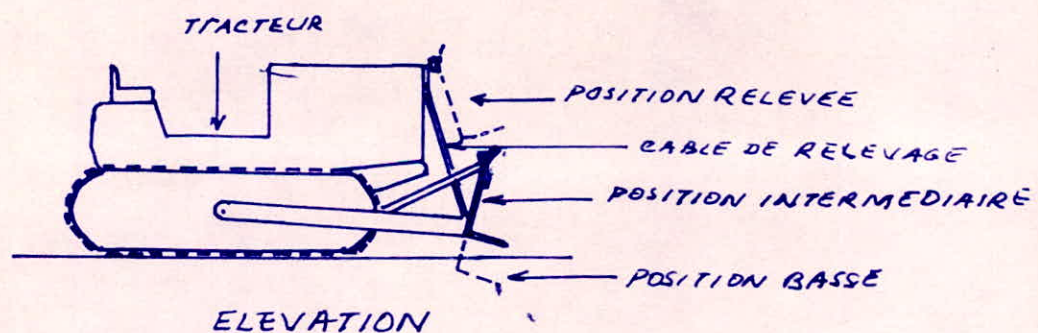
- le bulldozer, proprement dit,
- l'angledozer, dont la lame peut pivoter par rapport à l'axe longitudinal de l'engin,
- le tiltdozer, le tipdozer, le clearing dozer, le pushdozer, ...

Pour le decapage, nous utiliserons un bulldozer de 150 ch. qui servira de pusher lors de l'excavation, nous en donnons une brève description avec quelques applications.

α . description : Le bulldozer est formé d'une lame rigide fixé à un tracteur dont la puissance peut aller jusqu'à 400 ch.

La lame, droite ou légèrement courbe, est disposée perpendiculairement à l'axe de la machine. Elle est fixée au tracteur par deux longerons, et peut être levée ou descendue par une commande hydraulique ou à câbles.

Les chenilles du tracteur lui permettent de grimper des pentes abruptes et d'être utilisable sur des terrains difficiles.



-PLAN-

β. Champ d'application :

Il peut être utilisé dans des travaux divers :

- excavation en ligne droite sur une faible épaisseur
- refoulement, mise en tas des débris,
- remblayage des ravins,
- traçage des pistes,
- stockage des minerais, notamment le charbon,
- il sert de pusher, lors de l'excavation avec scrapers,
- confection de barrages en terres, creusement de fossés, etc...

III. 2.2. CALCUL DES RESSOURCES

La norme de temps pour un bulldozer de 150 ch décapant à une profondeur de 20 cm est :

$$N_T = 0,20 \text{ h} / 100 \text{ m}^2.$$

La norme de production est donc :

$$N_p = \frac{1}{N_T} = 500 \text{ m}^2 / \text{h}$$

La quantité de travail est la surface totale des remblais et des déblais :

$$Q = 339.000 \text{ m}^2.$$

La durée sera (pour $e = 1$ bulldozer)

$$T_h = \frac{Q}{N_p \times e} = \frac{339.000}{500 \times 1} = 678 \text{ h}$$

La conversion en jours ouvrables donne :

$$T_j = \frac{T_h}{8} = \frac{678}{8} = 84,7 \approx 85 \text{ jours ouvrables}$$

On utilisera 2 bulldozers (4 hommes) :

$$T_j = \frac{85}{2} = 42,5 \text{ j.o.}$$

$$T_j = 43 \text{ j.o.}$$

$$e = 4 \text{ H, 2 bulldozers.}$$

III. 3. EXCAVATION - TRANSPORT

III. 3. 1. INTRODUCTION

Lors de l'excavation et du transport des déblais, on essaie d'utiliser au mieux le matériel dont on dispose et ce pendant le plus vite possible.

De plus, la description des engins utilisés ne sera pas reprise pour le même type d'appareils et on se contentera de n'en donner que les caractéristiques entrant dans le calcul des ressources.

Signalons enfin que le tracteur utilisé lors du décapage sera repris comme pusher lors de l'excavation par scrapers dans les mamelons B et C.

III. 3. 2. LE SCRAPER

Le scraper est un engin de terrassement utilisé à plusieurs tâches. Il consiste essentiellement en une benne racleuse, traînée par un tracteur à chenilles, sur pneumatiques, ou automotrice.

Il existe deux types de scrapers :

- le scraper à déchargement par l'arrière,
- le scraper à déchargement par l'avant.

Le premier type étant pratiquement abondant, on ne s'intéressera qu'au second.

α. Description du scraper à vidage par l'avant.

La benne racleuse est montée sur un châssis qui est supporté par deux essieux à 4 roues.

—x le châssis est formé de sections rectangulaires soudées, il est relevé à l'avant pour permettre le braquage des roues à 90° .

—x A l'avant, le châssis repose sur une rotule au milieu de l'essieu avant, ce qui permet aux roues avant d'être indépendantes et de s'adapter aux mauvais terrains.

—x les deux roues arrière forment avec cette rotule une suspension à trois points pour le châssis

→ la benne racleuse est en tôles d'acier, renforcées par des profilés soudés.

→ la lame qui est fixée à la partie arrière inférieure de la benne, est incurvée pour obtenir une bonne coupe et un remplissage maximum,

→ le tablier avant, forme la partie mobile de la benne, sa concavité est telle qu'elle permet la pénétration des matériaux sans résistance lors de l'excavation,

→ les éléments de direction sont soit des câbles, soit des vérins hydrauliques; les câbles exigeant une superstructure au-dessus de la benne, on préfère la commande hydraulique qui permet une meilleure visibilité et un moindre encombrement.

β. fonctionnement.

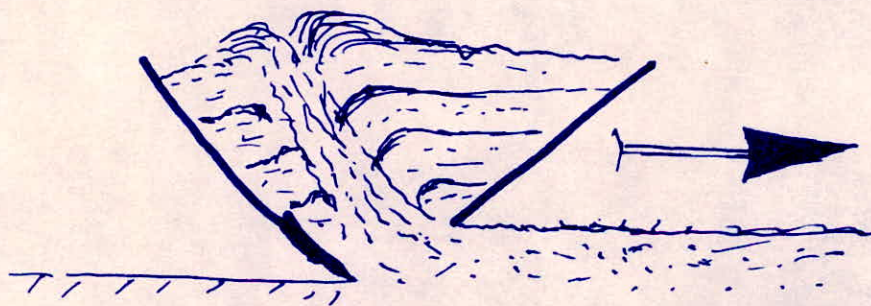
Le scraper peut à lui seul exécuter les trois opérations essentielles du terrassement :

- excavation
- transport
- décharge et nivellement

* Excavation (ou radage) :

Le tablier avant étant relevé, on abaisse la benne jusqu'à la profondeur de coupe voulue. La lame découpe ainsi le copeau qui s'engouffre dans la benne.

Le mode de remplissage de la benne a été comparé à la formation d'un cratère car la terre s'agglutine au fond de la benne et le sol franchit (de) un tunnel de hauteur croissante comme l'indique le schéma suivant :



Pendant cette phase, le tracteur doit développer une grande puissance pour vaincre :

- x l'effort de cisaillement de la lame dans le sol pour permettre l'extraction,
- x la force de gravité et l'effort de frottement de la matière à l'intérieur de la benne pour permettre le remplissage,

-x l'effort de roulement de l'engin.

Les deux premiers efforts croissent si mesure que la benne se remplit donc durant cette opération d'excavation le tracteur fournit un gros effort et une solution sera proposée pour le soulager.

** transport :

Quand la benne est pleine, on la relève et le tablier avant se ferme sous le poids propre des matériaux.

Avant de commencer le transport, on doit s'assurer de l'étanchéité de la benne, pour cela, on la ferme progressivement pour permettre au tablier de bien coller à la benne grâce aux secousses du transport.

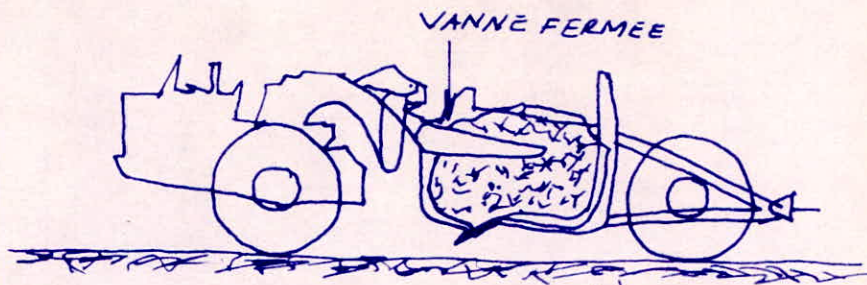
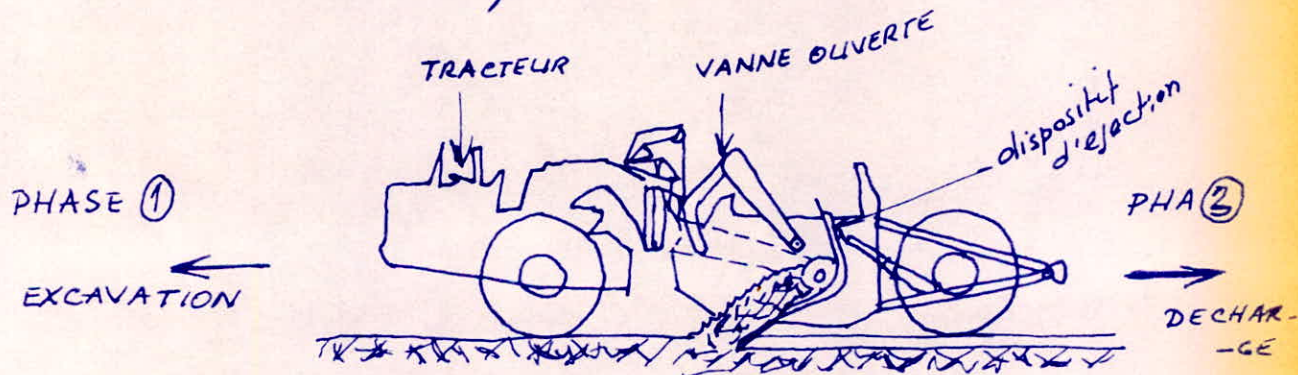
Pendant le trajet, on essaye d'éviter les virages trop serrés pour que les pneus ne touchent pas les parties saillantes du scraper. Signalons enfin qu'au retour, à vide, le scraper peut être utilisé à entretenir la piste en abaissant la lame qui nivelle ainsi le sol.

*** Décharge et nivellement :

Quand on arrive au point de déversement du remblai, la benne est abaissée au niveau de remblayage voulu, on soulève légèrement le tablier pour laisser s'écouler les matériaux à l'avant de la benne. La paroi coulissante permet d'éjecter les matériaux restants hors de la benne.

L'étalement ainsi obtenu est prêt à être compacté sans nivellement supplémentaire.

Nous reproduisons ci-contre les 3 phases d'opérations d'un scraper :



PHASE ② . TRANSPORT

γ. Emploi d'un pusher :

Comme il a été précisé précédemment, c'est lors de l'excavation que le scraper fournit l'effort maximal.

Ainsi, si on doit utiliser un scraper traîné par un tracteur puissant, la puissance de ce tracteur est mal utilisée pendant les phases de transport et de déchargement qui représentent près de 80% du temps d'utilisation de l'engin.

C'est pour palier à cette faiblesse de rendement du tracteur qu'a été mise en service la méthode du pusher.

Le scraper est tiré par un tracteur qui fournit l'effort de roulement et la moitié de l'effort maximal de l'excavation, l'autre moitié de cet effort est fournie par un tracteur de renfort, le PUSHER, équipé d'une plaque-tampon à l'avant et qui pousse le scraper pendant la charge des matériaux. Cette méthode réduit même la durée de chargement de la benne.

Le pusher est un tracteur à chenilles ou à pneumatiques d'une grande puissance (> 100 ch.)

Les pneumatiques sont les plus utilisés car ils permettent une grande mobilité du tracteur qui peut aller ainsi d'un scraper à un autre en un temps minimum.

Pour maintenir le pusher continuellement en service, on doit calculer le nombre de scrapers qu'il peut desservir, ce nombre dépend de la distance que parcourt le scraper et de son temps de charge (qui est égal au temps d'utilisation du pusher), il est donné par :

$$\text{Nbre de pushers} = \frac{\text{Durée du cycle du scraper (mn)}}{\text{Durée du cycle de charge (mn)}}$$

En fait, le pusher peut servir entre-temps à d'autres usages et pour plus de 4 scrapers, on utilise un pusher pour trois scrapers supplémentaires.

5. Champ d'application et choix :

La majorité des travaux de génie-civil ne comportant pas de longues distances, permettent une bonne utilisation des scrapers, ceux-ci prennent une part importante dans les travaux :

- x de routes : défrichage, terrassement, nivellement...
- x terrains d'aviation : excavation, transport, remblayage...

-x d'aménagements hydrauliques : barrages en terres, étangs artificiels,...

-x de mines et carrières à ciel ouvert, etc...

Le choix d'un scraper dépend surtout du volume des travaux et de leur temps total d'exécution. En règle générale, on choisit les petits scrapers pour de courtes distances et les gros engins pour les longues distances où le motorscraper à pneus est à préférer car il permet d'obtenir un très grand débit quoiqu'avec le renfort d'un pusher puissant.

III. 3.3. MAMELON C - SECTEUR 3.

Comme il a été indiqué au chapitre sur les généralités de l'exécution des terrassements, l'excavation dans les mamelons B et C se fera à l'aide de motorscrapers et comme la distance de ces mamelons au remblai est grande ($> 2.000\text{m}$), ils seront secondés par des pushers de même puissance qu'eux : 150ch^2 .

La quantité de travaux est représentée par le volume à ramener de C à A 3, elle est donnée

par la répartition obtenue au chapitre II :

$$Q_{c3} = 100.000 \text{ m}^3 \text{ de terres non foisonnées.}$$

La norme de production est fonction de :

- x la charge effective du scraper du scraper: 8 m^3
- x la puissance du motorscraper et du pusher: 150 ch .
- x la durée du chargement: 60 s .
- x la longueur de chargement: 20 m .
- x la vitesse moyenne de transport: 20 km/h .
- x la distance moyenne du lieu d'excavation au lieu de remblayage: $d_{c3} = \frac{2,5+3}{2} = 2,750 \text{ km}$.

D'autre part, elle tient du phénomène de foisonnement qui se manifeste lors du transport, elle est alors :

$$N_p = 25 \text{ m}^3/\text{h} \text{ (terre excavée, transportée, déchargée.)}$$

La durée en heures de travail est ($e=1$)

$$T_h = \frac{Q_{c3}}{N_p \times e} = \frac{100.000}{25 \times 1} = 4.000 \text{ heures}$$

En jours ouvrables, elle sera :

$$T_j = \frac{T_h}{8} = \frac{4.000}{8} = 500 \text{ jours ouvrables.}$$

Vu la grande durée de cette opération et la mauvaise (excavation) du pusher, on prend :

$$e = 5 \text{ motorscrapers} \Rightarrow e' = 2 \text{ pushers.}$$

$$T_p = \frac{Q_{c3}}{N_p \times e} = \frac{100.000}{25 \times 5} = 800 \text{ h}$$

$$T_j = \frac{T_h}{8} = \frac{800}{8} = 100 \text{ j.o.}$$

Excavation - transport de C à 3 :

$$T_j = 100 \text{ j.o.}$$

5 motorscrapers

2 pushers

$$e = 7 \text{ hommes}$$

III.3.3.2. MAMELON B. SECTEUR 3.

La quantité de travail est :

$$Q_{B3} = 50.000 \text{ m}^3$$

La norme de production fait intervenir les mêmes puissance, vitesse, charge effective, mais la distance moyenne est :

$$d_{B3} = \frac{2.000 + 2.500}{2} = 2.250 \text{ m}$$

Ceci augmente la norme de production :

$$N_p = 28 \text{ m}^3/\text{h.}$$

Pour un motorscraper, on aura :

$$T_H = \frac{Q_{B3}}{N_p \times e} = \frac{50.000}{28 \times 1} \approx 1786 \text{ h.}$$

$$T_j = \frac{1786}{8} = 223,5 \approx 224 \text{ jours ouvrables.}$$

On garde les 5 motorscrapers et les deux pushers, on aura une durée :

$$T_j = \frac{224}{5} = 44,8 \approx 45 \text{ j.o.}$$

Excavation-transport de B à 3 :

$$T_j = 45 \text{ j.o.}$$

5 motorscrapers

2 pushers

e = 7 hommes

III. 4. PELLE EN BUTTE

α. DESCRIPTION :

Contrairement au scraper, la pelle en butte est un engin qui reste immobile pendant le chargement.

Parmi ces excavateurs à chargement stationnaire, outre le montage sur chenilles ou sur pneumatiques, on distingue cinq types principaux :

- la pelle en butte
- la pelle en fouilles ou retrocaveuse
- la pelle de manutention
- le dragline
- l'excavateur avec benne à grappin,
- la grue

Ils sont à rotation complète (360°) ou partielle.

Ils ont tous en commun le chariot inférieur, et la superstructure, de sorte qu'il existe des engins pouvant jouer le rôle de plusieurs (grâce) grâce à des équipements accessoires démontables.

Nous décrivons ci-après le chariot inférieur, la superstructure et la pelle en butte qui nous intéresse.

* le chariot inférieur :

Le chariot inférieur est constitué par un châssis métallique monté sur pneumatiques, sur rails, sur chenilles ou sur plateforme fixe.

Dans le cas du châssis monté sur chenilles, il arrive qu'on utilise des chenilles à galets ou à roues.

Autour de deux roues situées d'un même côté, on enroule une chaîne composée de chaînons de 0,40 à 1,00 m de large, constitués par des patins en acier.

Les galets servent à répartir le poids de l'engin sur toute la surface des chenilles, de sorte que la pression exercée sur le sol reste faible.

Une bonne adhérence des chenilles permet d'escalader des rampes de 30%.

Le dispositif est mieux adapté aux mauvais terrains que les pneumatiques, il présente une mobilité suffisante pour l'excavation en butte, d'où sa préférence à la plate-forme fixe et ne nécessite pas beaucoup de main-d'œuvre, contrairement au dispositif sur rails.

~~**~~ la superstructure pivotante:

Elle est constituée d'un châssis sur lesquels sont répartis les éléments principaux suivants:

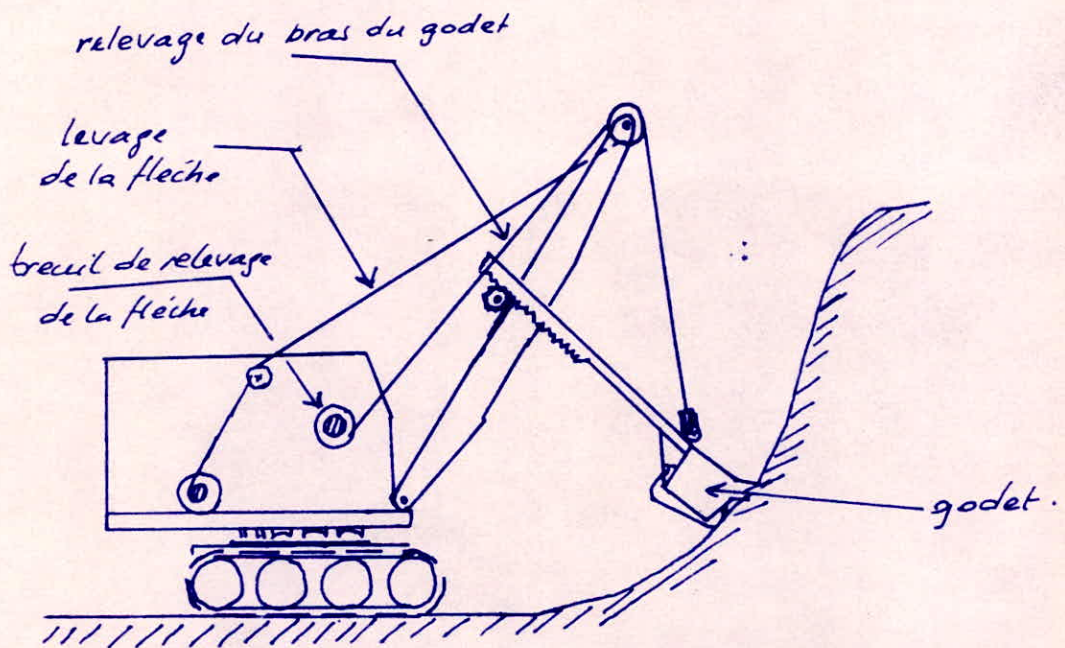
- le moteur,
- les organes de commande de l'excavateur en translation et en rotation,
- la cabine du conducteur,
- le treuil de relevage de la flèche.

Le poids de ces éléments doit être judicieusement réparti pour assurer une pression uniforme sur le chariot inférieur mais aussi

une vérification aisée des différents organes car la pelle en butte nécessite un entretien et une vérification continus pour assurer un bon rendement.

Signalons enfin qu'il existe un dispositif d'éclairage sur la pelle en butte pour le travail de nuit.

*** la pelle en butte :



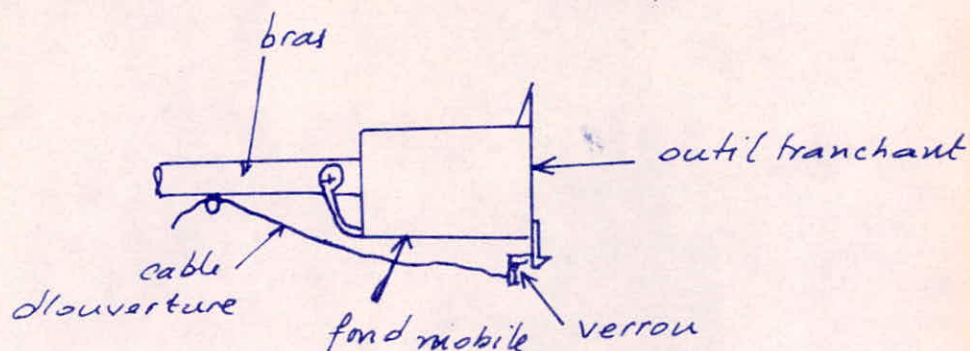
Le châssis porteur reste immobile et la superstructure peut pivoter lors du chargement du dumper.

Le mécanisme d'excavation est constitué par :

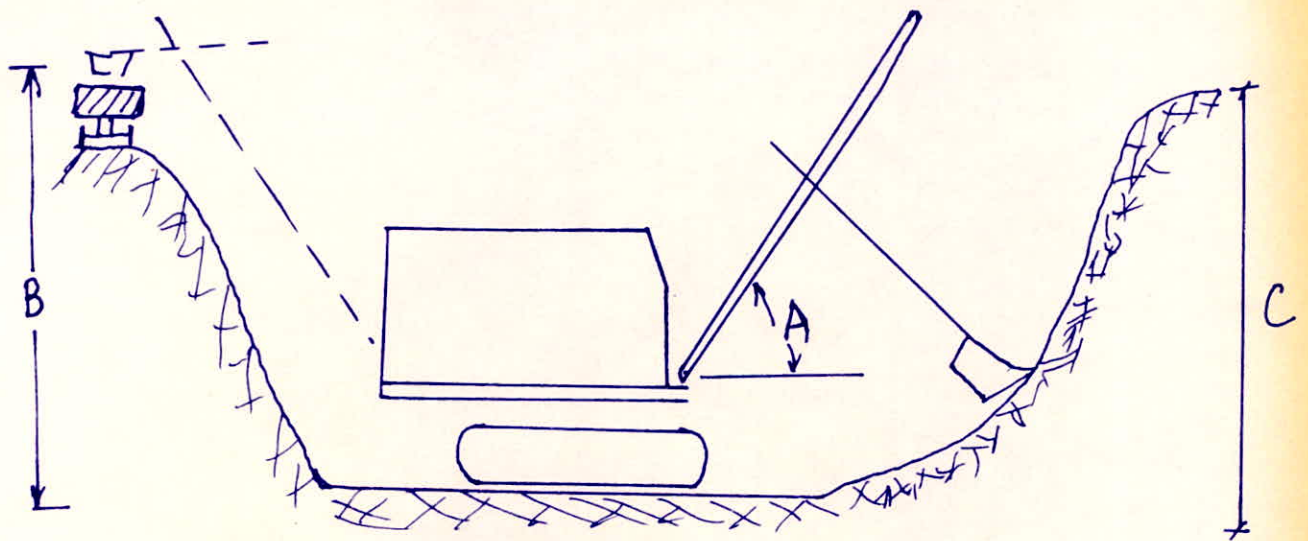
— une flèche, constituée par des profils métalliques qui est mobile dans le plan vertical et est actionnée par le treuil de relevage. Cette flèche prend des positions de 20 à 70° par rapport à l'horizontale,

— un bras, terminé par un godet, il coulisse par l'intermédiaire d'une crémaillère lui permettant ainsi un mouvement horizontal de retrait et d'avance et un pivotement vertical d'attaque (position basse à haute, ...)

— le godet est une forte caisse en acier munie de dents en acier très dur à l'avant et d'un fond ouvrable mobile autour d'un axe porté par le bras, pour le vidage :



Nous donnons les caractéristiques de quelques pelles dans le tableau suivant (voir annotations sur le schéma) :



CAPACITE NOMINALE DU GODET (M ³)	0,375	0,75	1,12	1,5	2,25	3
(A) INCLINAISON MAXIMALE DE LA FLECHE (°)	45- -60°	47- -60°	45- -60°	47- -60°	45- -50°	45- -50°
(B) HAUTEUR MAXIMALE DE DECHARGEMENT (M)	4,35- -5,50	5,10- -6,15	5,55- -6,95	5,5- -7,1	6- -6,53	5,8- -6,07
(C) HAUTEUR MAXIMALE D'ATTAQUE (M)	—	7,35- -8,60	7,85- -9,75	8,55- -10,15	9,3- -9,52	— -12,20
(D) PROFONDEUR MAXIMALE D'ATTAQUE (M)	1,6- -1,2	2,1	2- -2,4	2,35- -2	2,3- -3	— -3
POIDS APPROXIMATIF DE LA MACHINE (T)	13,5	24,75	40,5	56,7	73	110

β - FONCTIONNEMENT :

L'excavation avec une pelle en butte se compose essentiellement de :

- mise en position du godet
- excavation de la matière (remplissage du godet)
- rotation et déchargement de la matière sur l'engin de transport.

La flèche étant réglée, on laisse tomber le godet jusqu'à la position verticale de son bras et on avance l'engin pour appuyer les dents du godet contre le terrain.

L'excavation se fait par relevement du godet, ses dents mordant le terrain qui le remplit. On exécute des mouvements d'attaque (avance) et de retrait (recul) pour pouvoir remplir les matières dures et pour régler la profondeur de coupe, qui est choisie en fonction de la hauteur à excaver pour qu'en fin de course, le godet soit juste rempli.

À la suite de quoi, on amorce un mouvement de retrait pour le dégager et on fait pivoter la machine en abaissant ou en relevant le bras

pour atteindre en fin de giration la meilleure position de déchargement possible.

La giration terminée, on rapproche le plus possible le godet de la benne de transport et on ouvre le fond amovible pour déverser la matière. La fermeture de ce fond se fait lors de la remise brusque du godet en position d'excavation.

f. Champ d'application et choix :
La pelle en butte est particulièrement indiquée pour :

- excavation sur de faibles hauteurs,
- " " de grandes hauteurs : utilisation de plusieurs travaillant en étages,
- le remplissage des tremies et des rubans transporteurs dans les carrières, etc...

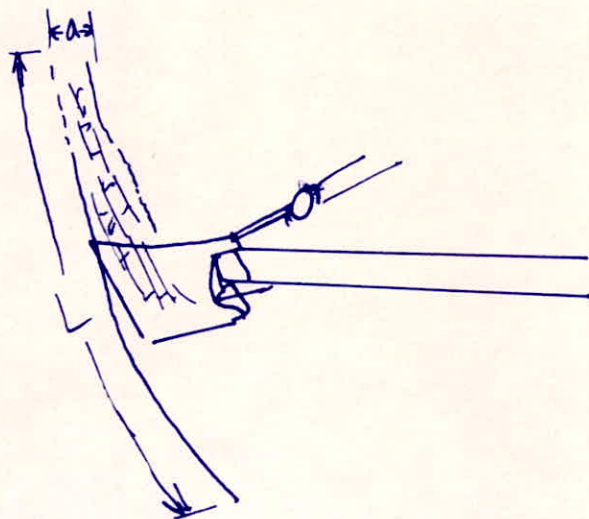
Elle peut, accessoirement, servir à d'autres usages tels que : creusement de tranchées étroites, chargement et déchargement de gros blocs, etc...

En général, une grande pelle est plus économique qu'une petite car elle excave un plus grand volume. Mais on peut être amené

à réduire la capacité de la pelle pour son prix, des raisons d'encombrement (travail en zone urbaine, en tunnel, ...) ou des causes techniques (petits concasseurs dans les carrières).

Quand on essaie d'avancer le volume à déblayer avec précision, on choisit une pelle dont la course optimale d'attaque correspond au front de travail (hauteur du déblai).

La course optimale d'attaque « L » est la course du godet depuis la pénétration dans la matière (base du talus) jusqu'à l'arrêt de la coupe, aussitôt le godet rempli.



a : largeur du copeau.

L : course optimale.

La course d'attaque optimale est donnée par:

$$L = \frac{C'}{a.l.f}$$

f : coefficient de forsonnement : 1,20 .

C' : capacité effective du godet avec débordement en chapeau :

$$C' = 1,2C$$

C : capacité nominale du godet (en m^3)

L : course optimale = front de travail des mamelons A et D = 4 m.

$$L = \frac{C'}{a.l.f} = \frac{1,2C}{a.l.f}$$

$$\Rightarrow \frac{L}{C} = \frac{1,2}{L.a.f} = \frac{1,2}{4 \times 0,2 \times 1,20} = \frac{1}{0,8}$$

Le godet est caractérisé par le rapport:

$$\frac{C}{l} = \frac{0,8}{1} = \frac{1}{1,2}$$

Comme la capacité à extraite est moyenne (330.000 m^3)

on prend : $C = 1 m^3$. $l = 1,20 m$.

III.3.5. LE DUMPER

Le dumper est un engin particulièrement adapté au transport sur les chantiers où il tend à supplanter le camion.

En effet, son moteur est du même type que celui des tracteurs, avec une grande réserve de puissance pour lui permettre de vaincre les divers obstacles souvent rencontrés sur le chantier.

Le châssis, en profilés très robustes, peut résister aux torsions latérales et longitudinales pendant les manœuvres en tous terrains.

Pour le transport de la terre, la benne est en tôles épaisses renforcées par des traverses, son fond lisse facilite le déversement de la matière transportée.

Sur les dumpers de petite capacité, le culbutage se fait par gravité; pour les autres, il est commandé par vérins hydrauliques et peut s'exécuter latéralement.

Sur certains modèles, le siège du conducteur est réversible et tout le poste de commande peut pivoter de 180° , ce qui facilite les manœuvres de marche arrière.

Le dumper est préféré au camion car son accélération est supérieure, son déversement plus rapide, ses pneus à basse pression permettent le travail en tous terrains, son adhérence est suffisante pour grimper les côtes les plus fortes. Cependant, un bon entretien des pistes permet d'éviter des chocs qui occasionnent des pannes fréquentes et une grande fatigue du conducteur, ce qui augmente les frais d'entretien et diminue la productivité.

Un dumper est plus rentable quand il est chargé à son maximum, les plus grosses charges doivent être placées à l'arrière pour faciliter le déversement ; il sera si possible plein à la descente et vide à la montée.

III. 6-α. EXCAVATION-TRANSPORT DE A A B :

* Calcul pour la pelle :

La quantité de travail est :

$$Q_{AB} = 30.000 \text{ m}^3$$

La norme de production tient compte de :

- la capacité nominale du godet : 1 m^3
- Nombre de coups de pelle à l'heure : 140
- nature et dureté du terrain : moyenne
- hauteur optimale d'attaque : 4 m

On obtient ainsi pour une pelle :

$$N_p = 70 \text{ m}^3/\text{h} \quad (\text{non foisonnés})$$

Avec une pelle (2 conducteurs + 1 terrassier = 3^H),
La durée d'exécution sera :

$$T_h = \frac{Q_{A3}}{N_p \times e} = \frac{30.000}{70 \times 1} = 428,6 \approx 429 \text{ h}$$

En jours ouvrables, la conversion donne :

$$T_j = \frac{429}{8} = 53,6 \text{ j.o.} \approx 55 \text{ j.o.}$$

** Calcul du nombre de dumpers :

Ce nombre est obtenu par la formule suivante :

$$N_D = \frac{Q}{N_{tj} \times 9}$$

N_D : nombre de dumpers

Q : quantité qui doit être transportée PAR JOUR

n_{tj} = nombre de cycles de transports par jour,

q : capacité du dumper

La quantité à transporter par jour est :

$$Q = N_p \times f \times 8$$

f : coefficient de foisonnement

8 : nombre d'heures de travail par jour.

$$Q = 70 \times 1,2 \times 8 = 672 \text{ m}^3.$$

On utilise un dumper de 10t. La densité du sol non excavé est :

$$\gamma = 1,8 \text{ t/m}^3.$$

Après excavation, il y a augmentation de l'indice des vides donc du volume sans changement de masse, la densité diminue et on n'a plus que :

$$\gamma = 1,7 \text{ t/m}^3.$$

Ceci permet de calculer la capacité du dumper en m^3 :

$$q = \frac{10 \text{ (t)}}{1,7 \text{ (t/m}^3)} = 6 \text{ m}^3.$$

Le nombre de transports journaliers est :

$$n_{tj} = \frac{\text{Durée du travail journalier, mn}}{\text{Durée d'un cycle de transports } T, \text{mn}}$$

On obtient ainsi :

$$M_{tj} = \frac{8 \times 60}{T}$$

La durée d'un cycle est décomposée en 4 temps :

$$T = t_1 + t_2 + t_3 + t_4$$

t_1 = temps d'attente avant le chargement, moyenne statistique : 3 mn.

t_2 : temps de chargement du dumper, ce temps est fonction de la norme de production et de la capacité du dumper :

$$t_2 = \frac{9 \text{ (m}^3\text{)}}{N_p \text{ (m}^3\text{/mn)}} = \frac{6}{70} \times 60 = 5'14''$$

on prend : $t_2 = 6'$.

t_3 : temps de décharge du dumper sur remblai : 2'

t_4 : temps de roulement du dumper sur le trajet mamelon A - secteur 3 en aller-retour avec une vitesse moyenne sur chantier :

$$V = 20 \text{ km/h}$$

La distance moyenne est :

$$d = d_{A3} + l_1 = 3.000 + 200 = 3200 \text{ m}$$

Le temps de roulement sera donc :

$$t_4 \text{ (mn)} = \frac{2 \times d \text{ (m)}}{V \text{ (m/h)}} \times 60 = \frac{2 \times 3200}{20000} \times 60 = 19,2$$

On arrondit à : $t_4 = 20'$

La durée du cycle sera donc :

$$T = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 = 3 + 6 + 2 + 20$$

$$T = 31'$$

De là, on peut calculer :

$$n_{tj} = \frac{8 \times 60}{T} = \frac{8 \times 60}{31} \approx 16 \text{ transports/jour/dumper.}$$

Le nombre de dumpers nécessaires obtenu est :

$$N_D = \frac{Q}{n_{tj} \times 9} = \frac{672}{16 \times 6} = 7 \text{ dumpers.}$$

En tenant compte du fait que le matériel principal est la pelle dont il faut assurer un fonctionnement continu sans interruption, il faut une réserve supplémentaire de dumpers de 20% :

$$N_D' = 1,20 \times N_D = 1,20 \times 7 = 8,40$$

En définitive, on prend :

$$N_D = 8 \text{ dumpers}$$

Chaque dumper sera servi par un conducteur et un aide, on aura, en résumé, un effectif total de :

Excavation-transport de A à 3 :

$$T_j = 55 \text{ j.o.}$$

1 pelle

8 dumpers

$$e = 3 + 16 = 19^{\#}$$

β . EXCAVATION-TRANSPORT DE A A 1 :

* On utilisera toujours le même type de pelle en butte :

$$N_p = 70 \text{ m}^3/\text{h.}$$

La quantité de travail (cf. chap. II) est :

$$Q_{A1} = 100.000 \text{ m}^3.$$

La durée d'excavation pour une pelle est :

$$T_h = \frac{Q_{A1}}{N_p \times e} = \frac{100.000}{70.000 \times 1} = 1.428,5^{\text{h}}$$

En jours ouvrables, elle sera :

$$T_j = \frac{1428,5}{8} = 178,5 \approx 180 \text{ j.o.}$$

** Calcul du nombre de dumpers :

$$N_D = \frac{Q}{m_j \times 9}$$

La quantité Q à évacuer par jour est égale à celle qu'excauve la pelle en une journée, elle sera donc :

$$Q = N_p \times 8 \times f = 70 \times 8 \times 1,20$$

$$Q = 672 \text{ m}^3$$

On utilise le même type de dumpers :

$$q = 6 \text{ m}^3$$

Le nombre de cycles par jour est :

$$N_{tj} = \frac{8 \times 60}{T}$$

8×60 : durée d'une journée de travail, en mn.

T : durée d'un cycle de transport, en mn.

D'autre part, seule la durée de roulement va changer dans le cycle :

t_1 : temps d'attente : 3'

t_2 : temps de chargement : 6'

t_3 : temps de déchargement : 2'

$$t_4 = \frac{2 \times d_{AR}^{(m)}}{V(m/h)} \times 60 = \frac{2 \times 3.000}{20.000} \times 60 = 18'$$

On a ainsi un cycle de transports qui dure :

$$T = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 = 3 + 6 + 2 + 18 = 29'$$

Le nombre de transports par jour est :

$$M_{tj} = \frac{8 \times 60}{T} = \frac{8 \times 60}{2,9} = 16,55 \text{ br/j.}$$

Le nombre de dumpers sera :

$$N_D = \frac{Q}{M_{tj} \times 9} = \frac{672}{16,55 \times 6} = 6,76 \approx 7 \text{ dumpers}$$

On y ajoute un dumper de reserve :

$$N_D = 8 \text{ dumpers.}$$

En definitive, on a :

Excavation-transport A-1 :

$$T_j = 180 \text{ j.o.}$$

1 pelle

8 dumpers

$$e = 3 + 16 = 19^H$$

f. EXCAVATION-TRANSPORT DE A A 2.

* La quantité de travail et la norme de production sont :

$$Q_{A2} = 70.000 \text{ m}^3, N_{p_1} = 70 \text{ m}^3/\text{h.}$$

La durée d'exécution est ainsi :

$$T_h = \frac{Q_{A2}}{N_{p_1} \times e} = \frac{70.000}{70 \times 1} = 1.000 \text{ h}$$

Ce qui donne en jours ouvrables :

$$T_j = \frac{T_h}{8} = \frac{1000}{8} = 125 \text{ j.o.}$$

** Calcul du nombre de dumpers :

On utilise la même pelle, le même genre de dumpers et la distance est égale à celle de A-1, donc on aura le même nombre de dumpers :

$$N_D = 8 \text{ dumpers.}$$

Excavation-Transport A-2 :

$$T_j = 125 \text{ j.o.}$$

1 pelle

8 dumpers

$$e = 3 + 16 = 19^{\text{h}}$$

Σ. EXCAVATION-TRANSPORT D-2 :

$$Q_{D2} = 130.000 \text{ m}^3$$

$$N_p = 70. \text{ m}^3/\text{h} \Rightarrow T_h = \frac{130.000}{70 \times 1} = 1857 \text{ h.}$$

$$T_j = \frac{1857}{8} = 232 \text{ j.o.}$$

Calcul du nombre de dumpers :

La distance de roulement est grande :

$$t_4 = \frac{2 \times d^{(m)}}{V(m/h)} \times 60 = \frac{2 \times 5.000}{20.000} \times 60 = 30 \text{ mn}$$

$$T = t_1 + t_2 + t_3 + t_4, \quad t_1, t_2 \text{ et } t_3: \text{inchangés}$$

$$T = 3 + 6 + 2 + 30 = 41'$$

$$M_{tj} = \frac{8 \times 60}{T} = \frac{8 \times 60}{40} = 11,7 \text{ transp./jour}$$

$$N_D = \frac{Q}{M_{tj} \times 9} = \frac{672}{11,7 \times 6} = 9,57 \approx 10 \text{ dumpers.}$$

Les 20% de reserve donnent un total de :

$$N_D = 12 \text{ dumpers.}$$

On a ainsi pour l'excavation-transport D-2:

$$T_j = 232 \text{ j.o.}$$

1 pelle

12 dumpers

$$e = 3 + 24 = 27^H$$

III. 4. NIVELLEMENT-COMPACTAGE.

Le nivellement est exécuté au moyen d'un bulldozer, il se fera au fur et à mesure du déchargement des matières par les engins de transport. Un bulldozer de 120 ch. a la norme de temps:

$$N_T = 0,315 \text{ h} / 100 \text{ m}^3 = 0,315 \text{ h} / 500 \text{ m}^2$$

(épaisseur
de 20 cm)

Comme le sol est de cohésion moyenne, le compactage se fera par damage. On utilisera des rouleaux à pieds de moutons pour le damage et des rouleaux lisses pour la finition de la couche supérieure.

α. DESCRIPTION DES ROULEAUX A PIEDS DE MOUTONS :

Ce sont de gros cylindres disposés dans des cadres métalliques et reliés au tracteur par des barres d'attelage.

Ces rouleaux compresseurs sont soit vides, soit remplis d'eau ou de sable pour augmenter la pression exercée sur le sol.

Des foulours, ou pieds de mouton, sont disposés en quinconce sur ces cylindres, ils ont une longueur de 18 à 23 cm.

On remarquera cependant que le poids de tout ce système ne s'exerce que sur un petit nombre de foulours, de sorte qu'il produit une pression très forte.

L'intérêt de ce système réside dans le fait qu'il agit par (or) compression ascendante, de bas en haut de la couche à damer. Ainsi c'est la couche qui se trouve à 20 cm qui est damée la première et la compression des couches supérieures s'appuie sur une base solide, de sorte que toute poche d'air est éliminée.

Les quelques chiffres ci-après représentent les caractéristiques principales des rouleaux à pieds de mouton les plus usuels :

- surface foulante du pied : 40 cm^2
- largeur utile d'un attelage : 1,22 m.
- hauteur " " " : 1,40 m
- les poids des sections sont fonction du remplissage et déterminent la pression sur le sol :

. section à vide de poids : 1350 - 1600 kg

. section remplie d'eau : - 2100 kg

. " " de sable : - 3250 kg

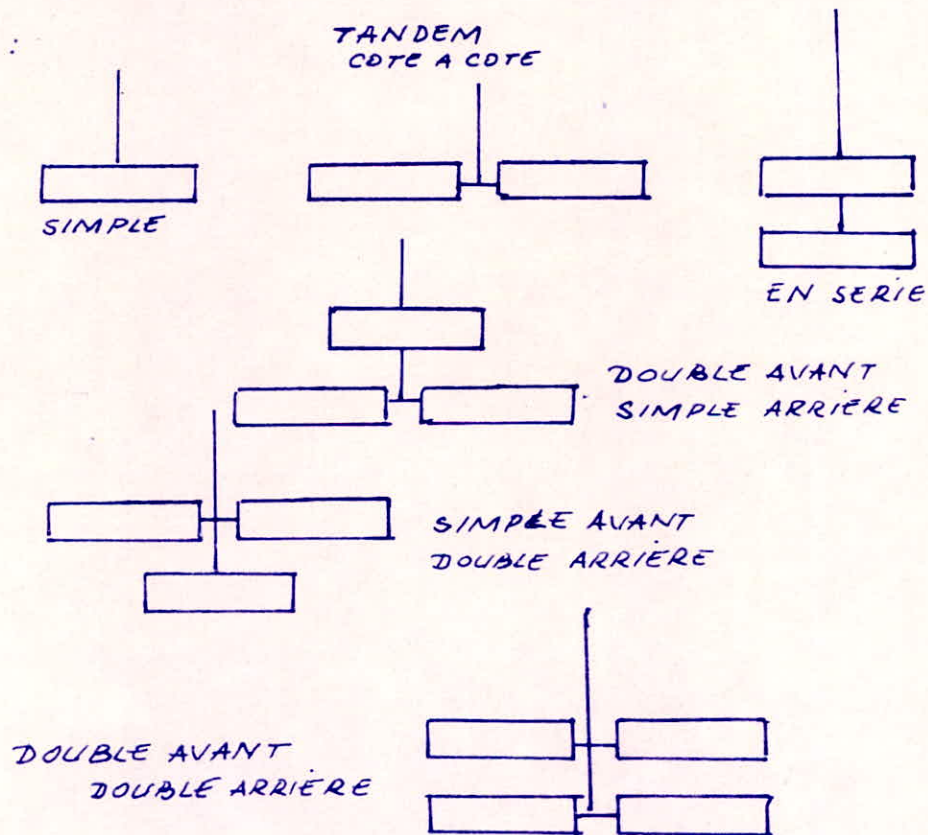
Les pressions y correspondant sont :

- à vide : 17 kg/cm²

- pleine d'eau : 27 kg/cm²

- pleine de sable : 41 kg/cm².

Il existe plusieurs manières pour atteler les sections ensemble, les principaux modes d'attelage sont :



Les débits sont variables suivant la cohésion du terrain, sa teneur en eau, le nombre de passes et la profondeur de la couche à compacter.

Pour deux rouleaux à pieds de mouton de 5t tirés par un tracteur de 65 ch, la norme de temps est:

$$N_T = 1h / 100m^3 = 1h / 500m^2.$$

β. CALCUL DE LA QUANTITÉ DE TRAVAIL :

La quantité de travail est représentée par le volume des terres déchargées à niveler et à compacter.

Les opérations "nivellement" et "compactage" se font consécutivement sur une couche, il sera considéré qu'elles sont simultanées pour l'ensemble du remblai.

On prend l'origine des temps au premier jour d'excavation, les quantités de terrain déposées sur le chantier sont variables en fonction des volumes excavés, ainsi on est amené à établir un "DIAGRAMME DE COMPACTAGE" qui détermine les besoins en fonction du temps d'engins de compactage.

γ. NOMBRE DE BULLDOZERS :

La quantité maximale à niveler est :

$$Q = 350 \text{ m}^3/\text{h}.$$

La norme de production est :

$$N_p = \frac{1}{N_T} = \frac{1}{0,315/100} = \frac{100}{0,315} \text{ m}^3/\text{h}.$$

Le nombre de bulldozers sera alors :

$$n = \frac{350}{\frac{100}{0,315}} = 1,025 \rightarrow n = 2 \text{ bulls.}$$
$$e = 24$$

δ. NOMBRE D'ATTELAGES DE 2 ROULEAUX A PIEDS DE MOUTONS.

On a trois périodes distinctes sur le diagramme de compactage :

* Durant les 145 premiers jours :

$$Q = 350 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$N_p = \frac{1}{N_T} = \frac{1}{1/100} = 100 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\Rightarrow n = \frac{Q}{N_p} = \frac{350}{100} = 3,5 \rightarrow n = 4 \text{ attelages de 2 rouleaux}$$

** Du 145^e jour au 180^e jour :

$$Q = 210 \text{ m}^3/\text{h} \quad , \quad N_p = 100 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\Rightarrow n = \frac{Q}{N_p} = \frac{210}{100} = 2,1$$

→ $n = 2$ attelages de
2 rouleaux

*** Du 180^e jour au 232^e jour ouvrable :

$$Q = 70 \text{ m}^3/\text{h}, \quad N_p = 100 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\rightarrow n = \frac{70}{100} = 0,7 \rightarrow n = 1 \text{ attelage de } 2 \text{ rouleaux.}$$

N.B. Chaque attelage est conduit par un homme et un rouleau lisse sera utilisé pour le damage de la couche superficielle :

0-145 : 4 attelages
2 rouleaux lisses
 $e = 6^H$

145-180 : 2 attelages
1 r. lisse
 $e = 3^H$

180-232 : 1 attelage
1 r. lisse
 $e = 2^H$

CHAPITRE IV :

ELABORATION DE LA BASE DE VIE

DU CHANTIER

BASE DU CHANTIER

IV. 1. INTRODUCTION

La nécessité d'établir une base de vie sur le chantier est dictée par :

— des problèmes d'ordre économique : quand le chantier se trouve loin de toute agglomération, le transport des ouvriers de la ville au lieu de travail nécessite un investissement important dans les moyens de transport et l'hébergement en ville du personnel qui n'en est pas originaire, sans compter la baisse du rendement qui résulte de la fatigue des ouvriers lors du voyage et de l'augmentation du nombre d'heures pendant lesquelles ils sont mobilisés.

— des problèmes d'ordre technique : l'éloignement de la direction du chantier provoque une grande perte de temps dès qu'un incident relevant de sa compétence se produit, de plus le contrôle et le suivi des travaux devient plus difficile, ce qui peut entraîner des retards dans l'exécution des travaux et un relâchement général, occasionnant un mauvais entretien du matériel, une mauvaise exécution des travaux, etc...

Tout en remédiant à ces inconvénients, la base crée un cadre de vie et de travail qui renforce les liens entre travailleurs et qui concentre leur attention sur leur activité professionnelle.

Pour répondre à ces besoins, la base doit comporter, outre des bureaux pour l'administration, des constructions à caractère social plus ou moins élaborés suivant la durée prévue pour le chantier et le nombre de personnes qui sont appelés à y séjourner.

Ainsi, avant de présenter les constructions provisoires constituant la base, nous calculerons en premier lieu l'effectif total directement productif, puis l'effectif total nécessaire à la réalisation des travaux.

IV.2. CALCUL DES EFFECTIFS

Le diagramme des effectifs directement productifs montre qu'on doit baser le calcul sur :

$$N_{dp} = 80 \text{ hommes.}$$

Cependant, l'effectif total comporte :

1. des techniciens : pour organiser, diriger et surveiller les travaux :

$$N_{Tech} = 08\% \cdot N_{dp} = 0,08 \times 80 \approx 7 \text{ hommes}$$

2. un personnel administratif : chargé de la tenue des dossiers administratifs, du personnel (recrutement, paie, ...), de la comptabilité, etc...

$$N_{ad} = 10\% N_{dp} = 0,10 \times 80 = 8 \text{ hommes}$$

3. des mécaniciens, affectés à l'atelier d'entretien et de réparation courante, nécessaire à cause de la présence sur chantier d'un grand nombre d'engins :

$$N_{at. \overline{rep.}} = 10\% \cdot N_{dp} = 8 \text{ hommes}$$

4. diverses autres personnes, s'occupant notamment de la garde des locaux, du service sanitaire, de la restauration, du nettoyage,...

$$N_{div.} = 10\% \cdot N_{dp} = 8 \text{ hommes.}$$

Le nombre total de personnes présentes sur le chantier sera alors :

$$N = N_{dp} + N_{Tech.} + N_{ad.} + N_{act.rep.} + N_{div.}$$

$$N = 80 + 7 + 8 + 8 + 8$$

$$N = 111 \text{ hommes.}$$

REPARTITION EN CATEGORIES PROFESSIONNELLES

On répartit cet effectif en trois catégories :

- ouvriers spécialisés (s)
- ouvriers qualifiés (q)
- manœuvres. (m)

1. l'effectif directement productif est réparti en :

- ouvriers spécialisés : 60%

$$N_{dp}(s) = 0,60 \times N_{dp} = 0,60 \times 80 = 48 \text{ \#}$$

- ouvriers qualifiés : 20%

$$N_{dp}(q) = 0,20 \times 80 = 16 \text{ \#}$$

- manoeuvres : 20%

$$N_{Op(m)} = 0,20 \times 80 = 16^H$$

2. Les techniciens sont des ouvriers spécialisés à 100%.

$$N_{Tech(s)} = 1,00 \times N_{Tech.} = 7^H$$

$$N_{Tech.(q)} = 0$$

$$N_{Tech(m)} = 0$$

3. le personnel administratif est reparti comme suit :

- ouvriers spécialisés : 75%

$$N_{ad.(s)} = 0,75 \times N_{ad} = 0,75 \times 8 = 6^H$$

- ouvriers qualifiés : 25%

$$N_{ad.(q)} = 0,25 \times N_{ad} = 0,25 \times 8 = 2^H$$

$$N_{ad(m)} = 0.$$

4. Le personnel de l'atelier de réparation est constitué :

- ouvriers spécialisés : 75%

$$N_{at.rep.(s)} = 0,75 N_{at.rep.} = 0,75 \times 8 = 6^H$$

- ouvriers qualifiés : 25%

$$N_{at.rep.(q)} = 0,25 \times 8 = 2^H$$

$$N_{at.rep.(m)} = 0.$$

5. le reste de l'effectif sera divisé en :

- ouvriers qualifiés : 25%

$$N_{div.(q)} = 0,25 \times N_{div} = 0,25 \times 8 = 2^H$$

- manoeuvres : 75% :

$$N_{div(m)} = 0,75 \times 8 = 6^H$$

$$N_{div(s)} = 0.$$

Le calcul des effectifs totaux par catégorie donne :

1. Ouvriers spécialisés :

$$N(s) = N_{Op(s)} + N_{Tech(s)} + N_{Ad(s)} + N_{at.rep(s)} + N_{div(s)}$$

$$N(s) = 48 + 7 + 6 + 6 + 0$$

$$N(s) = 67^H$$

2. Ouvriers qualifiés :

$$N(q) = N_{Op(q)} + N_{Tech(q)} + N_{Ad(q)} + N_{at.rep(q)} + N_{div(q)}$$

$$N(q) = 16 + 0 + 2 + 2 + 2$$

$$N(q) = 22^H$$

3. Manoeuvres :

$$N(m) = N_{Op(m)} + N_{Tech(m)} + N_{Ad(m)} + N_{at.rep(m)} + N_{div(m)}$$

$$N(m) = 16 + 0 + 0 + 0 + 6$$

$$N(m) = 22^H$$

Le taux de spécialisation est :

$$\frac{N(s)}{N} = \frac{67}{80} \times 100 \rightarrow 84\%$$

Ce taux est élevé grâce à la mécanisation du chantier.

IV.3. CONSTRUCTIONS PROVISOIRES

Ces constructions seront prévues d'une part pour satisfaire les exigences tecnico-administratives du chantier :

1. bureaux
2. atelier d'entretien et de réparation
3. parking

d'autre part pour créer de bonnes conditions de vie aux travailleurs :

4. dortoirs
5. douches
6. vestiaires
7. restaurant
8. toilettes
9. infirmerie
10. magasin.

1. LES BUREAUX :

Les bureaux sont destinés aux techniciens et au personnel administratif, l'effectif intéressé sera donc :

$$N_{\text{Adl.}} + N_{\text{Tech.}} = 8 + 7 = 15^H$$

Les normes exigent une surface par personne de:
 5m^2 .

La surface totale sera donc :

$$S_{bur.} = 15 \times 5 = 75\text{m}^2 \approx 80\text{m}^2$$

On utilisera :

$$S_{bur.} = 8 \times 10.$$

2. Atelier d'entretien et de réparation :

Vu la grande dimension des engins utilisés, nous consacrons à l'atelier une surface totale de :

$$S_{at.} = 30 \times 10 = 300\text{m}^2$$

Il se composera de :

- magasin de pièces de rechange : 5×5
- pièce pour le gardien : 5×5
- petit bureau : $5 \times 3,5$
- aire de réparation.

3. Parking :

Il sera réalisé à côté de l'atelier de réparation, en étendant une couche de 20cm de tout-venant, et en l'entourant d'une basse clôture; il occupera une superficie de :

$$S_{park.} = 25 \times 30 = 750\text{m}^2.$$

4. DORTOIRS :

Vu que le chantier est loin de toute agglomération, l'effectif total sera appelé à y séjourner, les dortoirs seront prévus pour :

$$N = 111 \text{ H}$$

La surface pour une personne est : $6,5 \text{ m}^2$.

La superficie totale sera donc :

$$S_{\text{dort.}} = 6,5 \times 111 = 721,5 \text{ m}^2.$$

L'effectif total sera reparti en 3 dortoirs :

* un dortoir composé de 18 chambres à 3 lits :

$$N_1 = 3 \times 18 = 54 \text{ H}$$

$$S_{d,1} = 43,5 \times 10 = 435 \text{ m}^2.$$

** deux dortoirs communs à 28 personnes :

$$N_2 = 2 \times 28 = 56 \text{ H}$$

$$S_2 = 2 \times 162,75 = 325,5 \text{ m}^2$$

Le gardien de l'atelier loge dans la pièce près du magasin de pièces détachées :

$$N = N_1 + N_2 + 1 = 54 + 56 + 1 = 111 \text{ H}$$

La surface totale est légèrement modifiée :

$$S_{\text{dort.}} = S_{d,1} + S_2 = 435 + 325,5 = 760,5 \text{ m}^2.$$

5. DOUCHES

La surface nécessaire à une personne est : $0,15 \text{ m}^2$

Pour l'ensemble du personnel, elle sera :

$$S_d = 0,15 \times 111 = 16,65 \text{ m}^2.$$

6. VESTIAIRES :

Les vestiaires sont prévus pour les effectifs directement productifs et ceux de l'atelier de réparation courante et d'entretien :

$$N_{\text{vest.}} = N_{\text{dp}} + N_{\text{at.rep.}}$$

$$N_{\text{vest.}} = 80 + 8 \longrightarrow N_{\text{vest.}} = 88 \text{ H}$$

La surface pour une personne est : $0,7 \text{ m}^2$.

La surface totale sera :

$$S_{\text{vest.}} = 0,7 \times 88 = 61,6 \text{ m}^2.$$

On prend :

$$S_{\text{vest.}} = 6 \times 10.$$

7. RESTAURANT :

Il est utilisé par l'effectif total et contient toutes les annexes nécessaires (cuisine, chambre froide, ...)

Vu que le nombre de travailleurs n'est pas trop élevé, la restauration se fera en une seule relève, ce qui permet un gain de temps par rapport aux variantes prévoyant plusieurs relèves.

La surface spécifique à une personne est : $1,35 \text{ m}^2$

La surface totale à prévoir sera donc :

$$S_{\text{rest.}} = 1,35 \times 111 = 149,85 \text{ m}^2$$

On prendra :

$$S_{\text{rest}} = 20 \times 7,75 = 155 \text{ m}^2.$$

8. TOILETTES :

Les normes exigent $0,05 \text{ m}^2$ par personne, ce qui donne :

$$S_{\text{Toil.}} = 0,05 \times 111 = 5,55 \text{ m}^2$$

9. INFIRMERIE :

Vu les risques d'accident dus à la manipulation des engins, une infirmerie assurant les premiers soins s'impose.

Surface pour une personne : $0,2 \text{ m}^2$

Surface totale :

$$S_{\text{Inf.}} = 0,2 \times 111 = 22,2 \text{ m}^2$$

On prend :

$$S_{\text{Inf}} = 4,5 \times 5 = 22,5 \text{ m}^2.$$

10. MAGASIN :

Il contiendra les produits de consommation courante :

$$S_{\text{Mag.}} = 5 \times 10 = 50 \text{ m}^2.$$

Toutes ces constructions sont judicieusement regroupées, la base est en général, entourée d'une basse clôture. Le plan général du chantier indique les emplacements exacts.

Enfin, l'eau potable constituant un élément de vie indispensable, on prévoit son approvisionnement :

- Normes de consommation :

15 l / personne / 24h	---	15 x 111 = 1665 l.
Refectoire: 30 l / pers. / 24h	30 x 111 = 3330 "
Douches: 30 l / pers. / 24h	30 x 111 = 3330 "
Total		<u>8325 l / 24h</u>

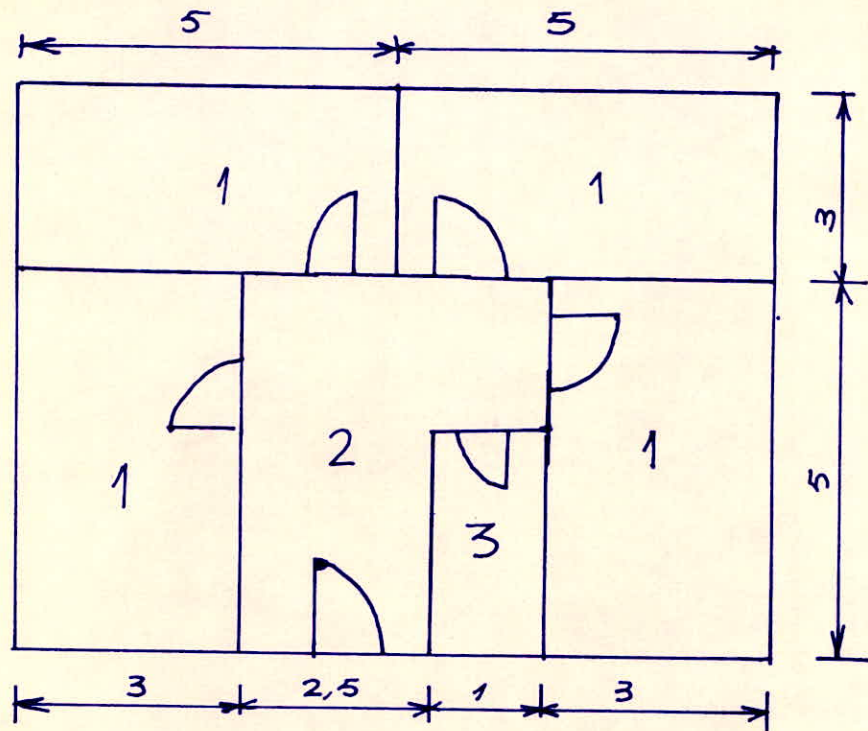
Coefficient d'utilisation : 1,20

$$1,20 \times 8325 = 9990 \text{ l / 24h}$$

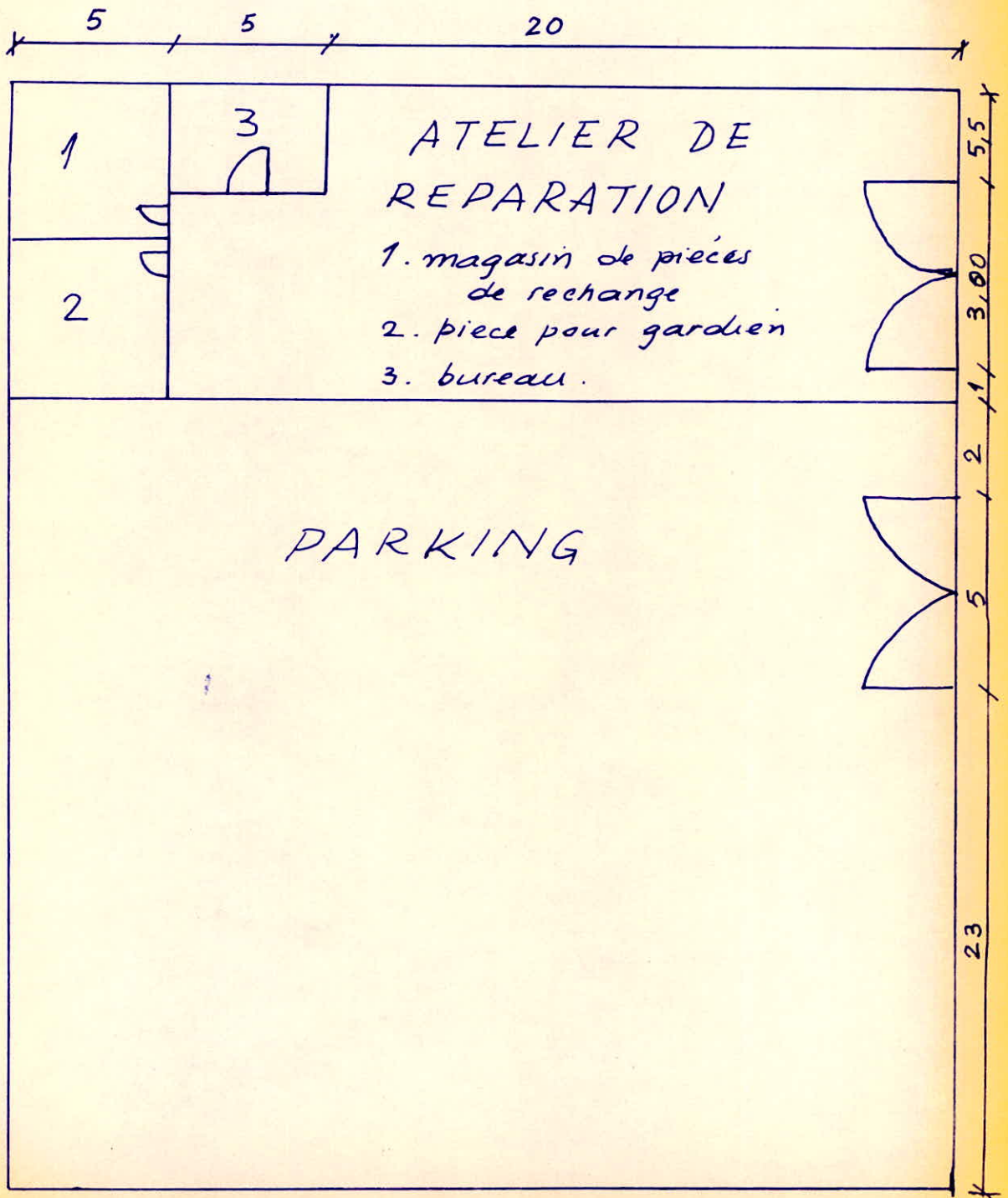
On utilisera une citerne de 5.000 l qui fera deux voyages par jour :

$$C_2 = 5.000 \times 2 = 10.000 \text{ l / 24h}$$

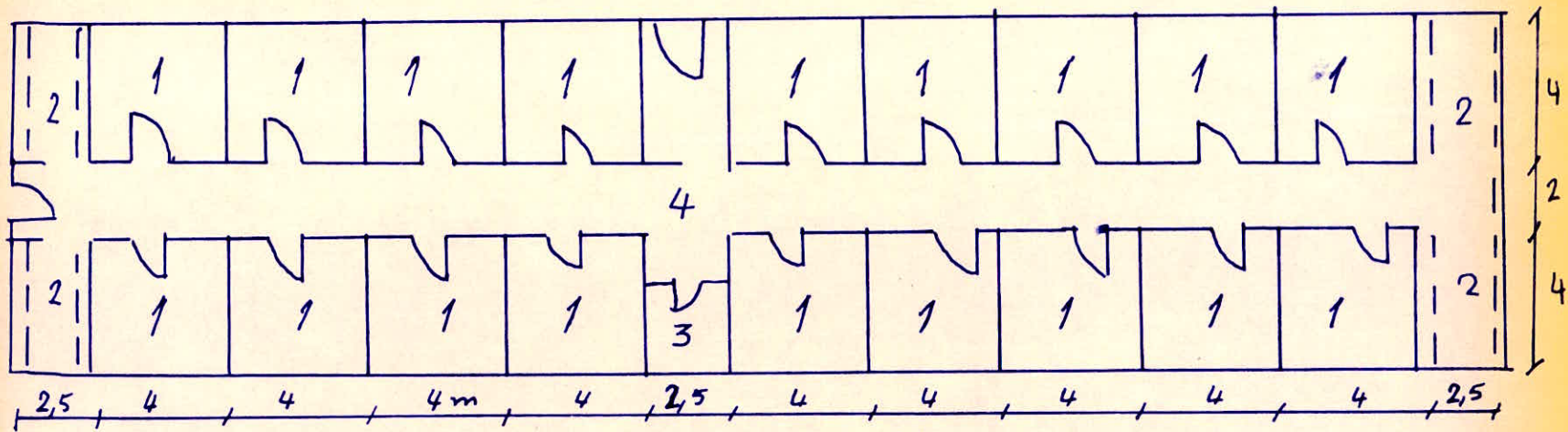
BUREAUX



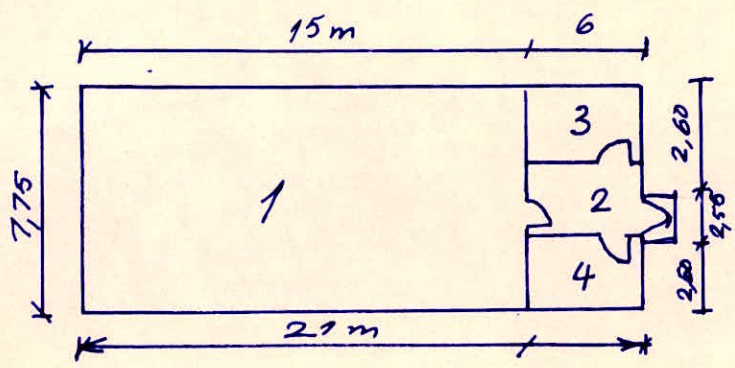
1. bureau
2. hall d'entrée
3. toilettes.



DORTOIR A 18 CHAMBRES DE 3 LITS

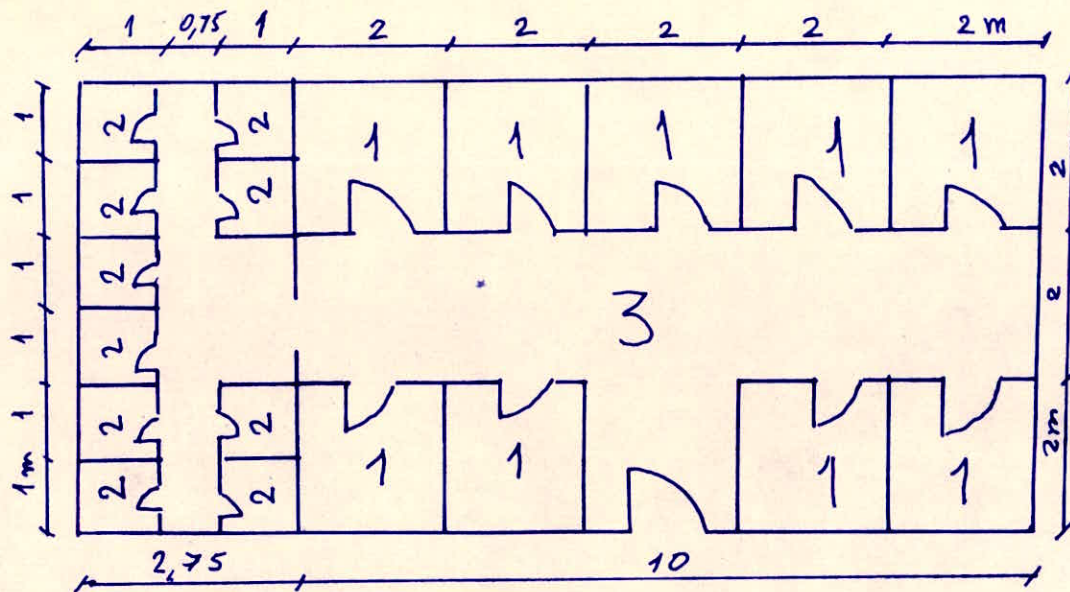


1: chambre - 2: lavabos - 3: toilette - 4: couloir.



2x DORTOIR COMMUN A 28 PERSONNES

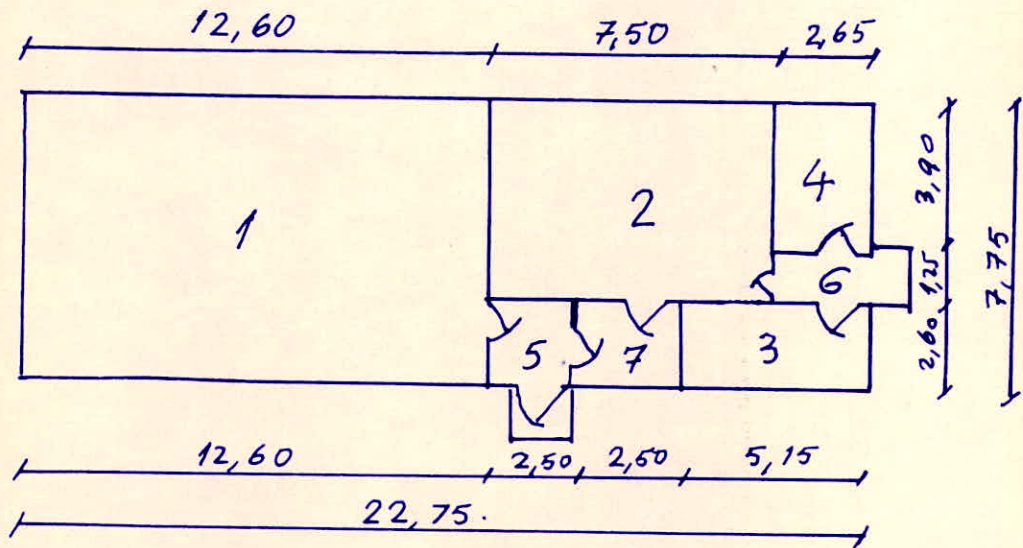
- 1: dortoir (107,4m²)
- 2: vestibule (8,5m²)
- 3: lavabos (8,2m²)
- 4: séchoir (8,2m²)



VESTIAIRES + DOUCHES.

- 1: vestiaires .
- 2: douches
- 3: hall.

RESTAURANT



1: salle à manger

2: cuisine

3: preparation

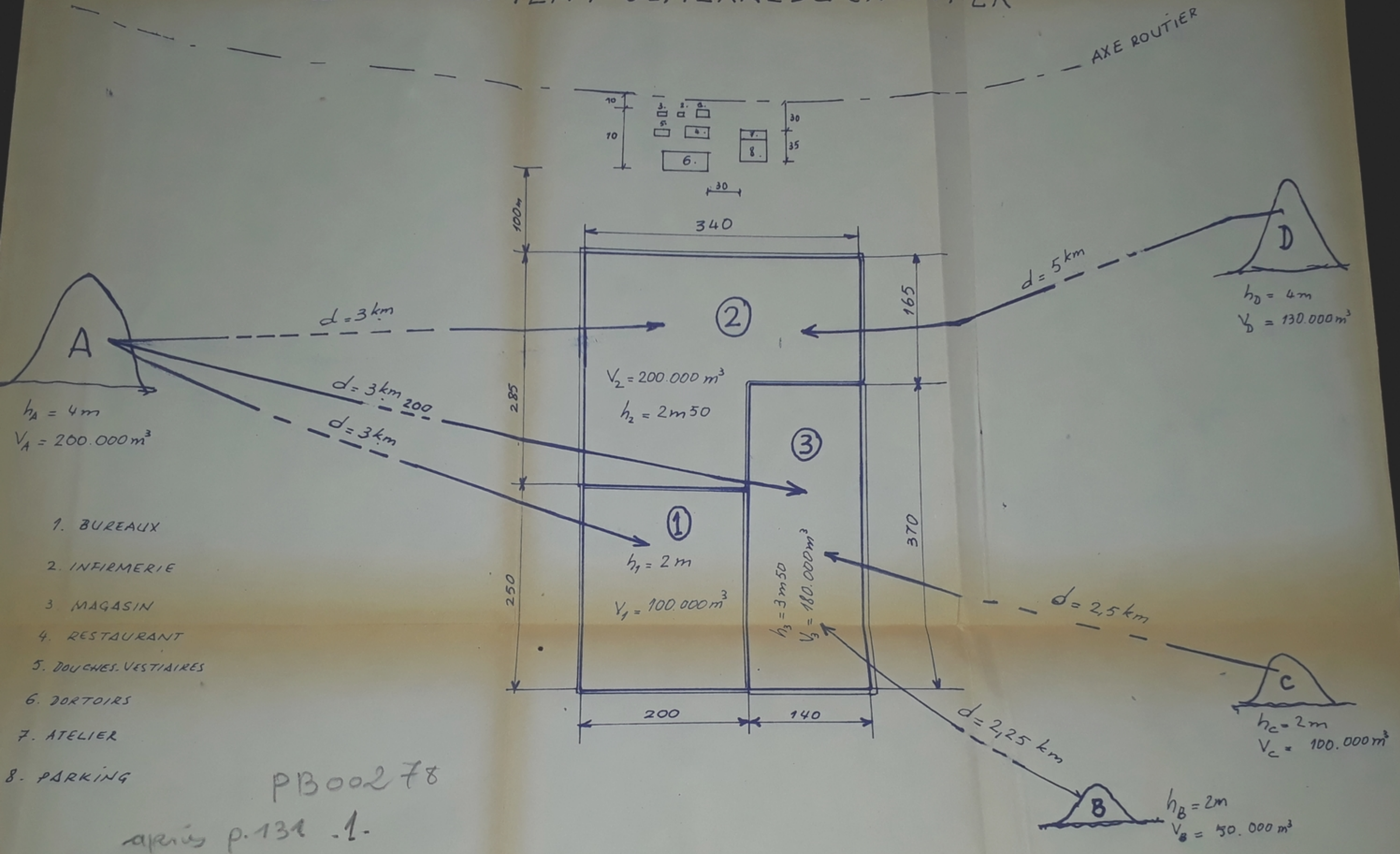
5: vestibule

4: chambre froide

7: bureau

6: couloir

EMPLACEMENT GENERAL DU CHANTIER



$h_A = 4m$
 $V_A = 200.000 m^3$

- 1. BUREAUX
- 2. INFIRMERIE
- 3. MAGASIN
- 4. RESTAURANT
- 5. DOUCHES VESTIAIRES
- 6. DORTOIRS
- 7. ATELIER
- 8. PARKING

$V_2 = 200.000 m^3$
 $h_2 = 2m50$

$V_1 = 100.000 m^3$
 $h_1 = 2m$

$V_3 = 180.000 m^3$
 $h_3 = 3m50$

$h_D = 4m$
 $V_D = 130.000 m^3$

$h_C = 2m$
 $V_C = 100.000 m^3$

$h_B = 2m$
 $V_B = 50.000 m^3$

PB00278

après p.131 .1.

PLANING GENERAL DES TRAVAUX

N°	DESIGNATION	QUANTITE DE TRAVAIL	EFFECTIFS	MATERIEL	DUREE (J.o.)
1	PIQUETAGE	339.000 m ²	12	—	12
2	DECAPAGE	339.000 m ²	4	2 bulls.	43
3	INSTALLATION DE BASE	—	50	—	30
4	EXCAVATION TRANSPORT C-3	100.000 m ³	7	5 motoscrapers 2 pushers	100
5	EXCAV. TRANS. B-3	50.000 "	7	"	45
6	EXCAV. TRANS. A-3	30.000 "	19	1 pelle 8 dumpers	55
7	EXCAV. TRANS. A-1	100.000 "	19	"	180
8	EXCAV. TRANS. A-2	70.000 "	19	"	125
9	EXCAV. TRANS. D-2	130.000 "	27	1 pelle 12 dumpers	232
10	COMPACTAGE	339.000 m ²	6-3-2	4 rouleaux a p. d. m. 2 rouleaux lisses	232
11	NIVELLEMENT	339.000 m ²	2	2 bulls	232

TEMPS D'EXECUTION

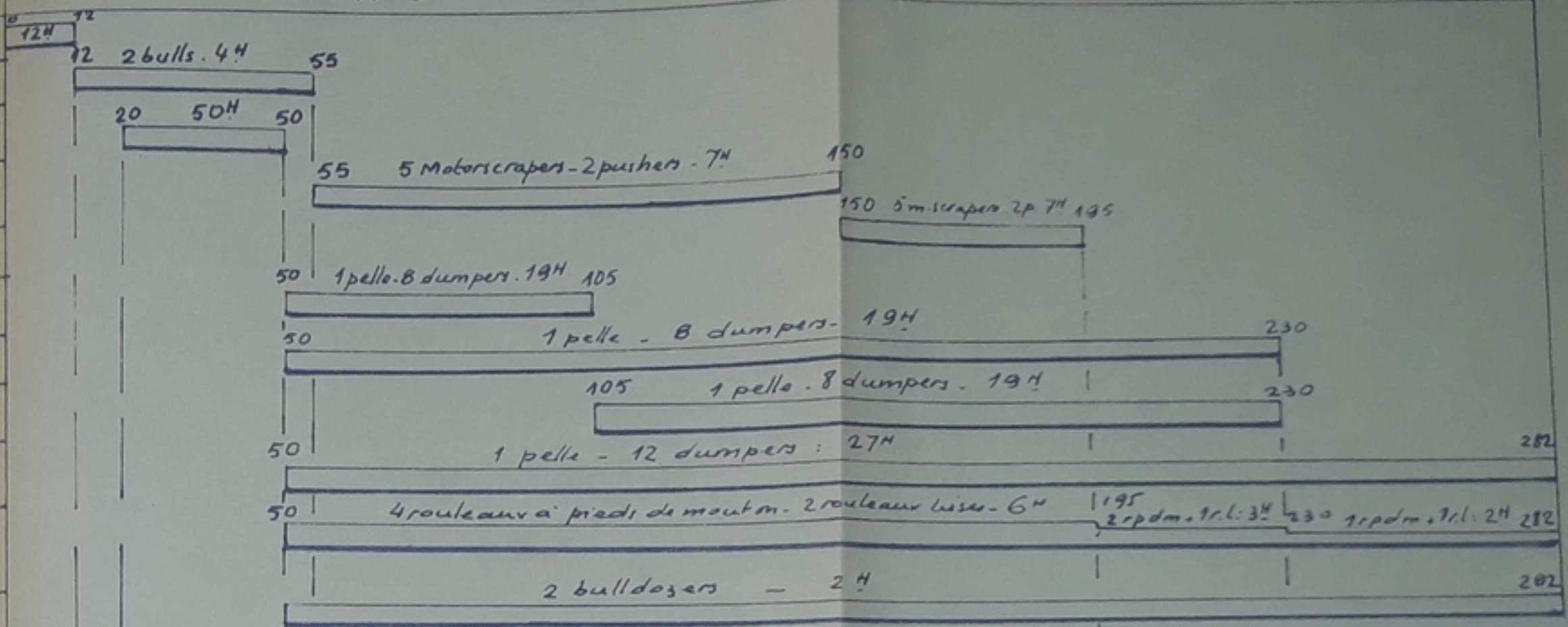
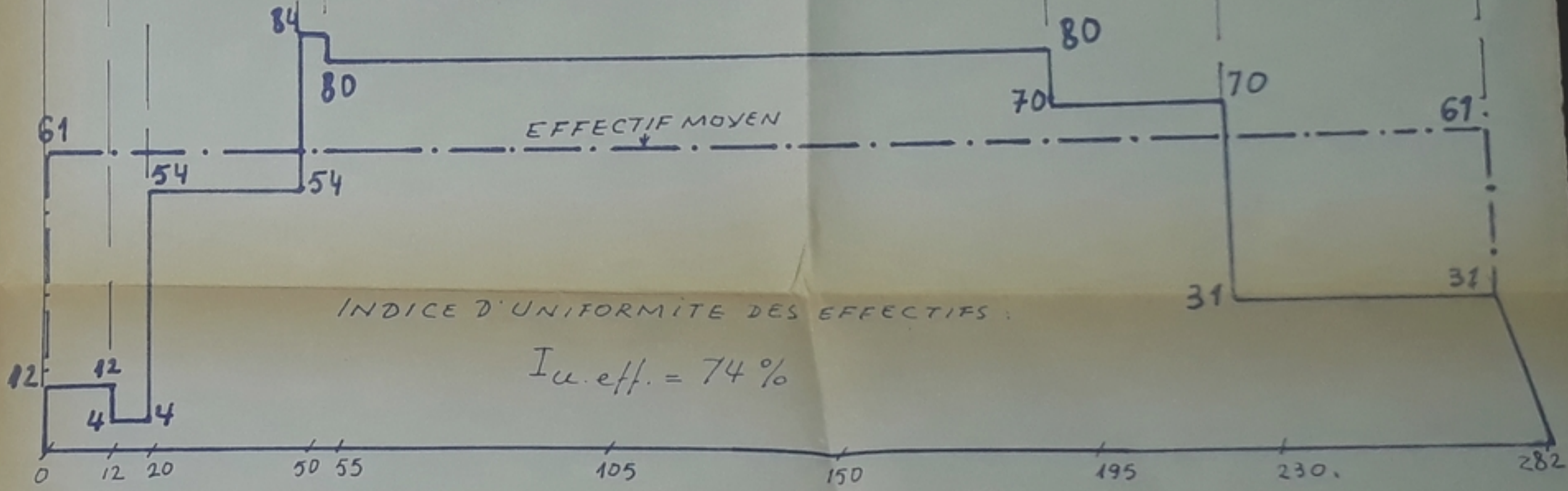


DIAGRAMME DES EFFECTIFS



PB 00 278

après p 131 - 2

CHAPITRE V :

PLANNING DES TRAVAUX

CALCUL DES INDICES

TECHNICO -

- ECONOMIQUES.

V. PLANNING DES TRAVAUX ET INDICES TECHNICO-ECONOMIQUES.

1. VOLUME TOTAL DE TRAVAIL :

Exprime en jour-hommes, cet indice donne une idée sur l'importance du chantier et des travaux :

$$V_{T.tr.} = \sum n_H \times d$$

n_H : nombre d'hommes

d : durée ou période de travail, en jours.

Pour le calculer, on utilise le diagramme des affectifs directement productifs :

$$V_{T.tr.} = 12 \times 12 + 4 \times 8 + 54 \times 30 + 84 \times 5 + 80 \times 140 \\ + 70 \times 35 + 31 \times 53$$

$$V_{T.tr.} = 17.509 \text{ jour-hommes.}$$

2. VOLUME DE TRAVAIL SPECIFIQUE PAR 1.000 M³ DE DEBLAIS.

$$V_{tr.sp.} = \frac{V_{T.tr.}}{V_{deb.(M^3)}} \times 1000 = \frac{17.509}{480.000} \times 1000$$

$$V_{tr.sp./1000m^3} = 36,50 \text{ jour-hommes.}$$

3. PRODUCTIVITE JOURNALIERE PAR HOMME :

Cet indice est deduit du volume de travail specifique :

$$\text{Prod. journ./homme} = \frac{1000}{36,50} = 27,4 \text{ m}^3/\text{j.h.}$$

Dans les memes conditions, si l'execution des travaux etait manuelle, la productivite sera :

$$\text{Prod. (man.)} = 1 \text{ m}^3/\text{j.h.}$$

Ainsi par l'industrialisation, on multiplie la productivite par 27 !

4. PRODUCTION MENSUELLE PAR HOMME :

$$\text{Prod. mois.h} = 27,4 \frac{\text{m}^3/\text{h}}{\text{j.o./mois}} \times 26 = 712,4 \frac{\text{m}^3}{\text{mois.h}}$$

5. La PRODUCTIVITE PECUNIERE PAR MOIS PAR HOMME :

$$\text{Prod. pec.} = 19,25 \frac{\text{D.A./m}^3}{\text{h.mois}} \times 712,4 \frac{\text{m}^3/\text{m.h}}$$

$$\text{Prod. pec./h.mois} = 13.713,40 \frac{\text{D.A.}}{\text{m.h}}$$

19,25 DA/m³ : prix unitaire.

En ALGERIE, la productivité pecunière par homme par mois dans la branche de la construction est :
$$\text{Prod. pec. moy.} = 5.000,00 \text{ D.A. / h.m.}$$

Là aussi, la ~~cette~~ grande productivité est due au haut niveau de mécanisation de ce chantier.

6. PRODUCTION MOYENNE JOURNALIÈRE :

Elle permet de suivre le rythme des travaux :

$$P_{\text{moy.j.}} = \frac{V_{\text{Tot. debl. (m}^3\text{)}}}{\text{Durée tot. (j)}} = \frac{480.000 \text{ m}^3}{282 \text{ j.}} =$$

$$P_{\text{moy.j.}} = 1702 \text{ m}^3/\text{j.}$$

7. PRODUCTION MENSUELLE :

$$P_{\text{mens.}} = P_{\text{moy.j.}} \times 26 \text{ j.o./mois} = 1702 \times 26$$

$$P_{\text{mens.}} = 44.252 \text{ m}^3/\text{mois.}$$

8. EFFECTIF MOYEN :

Cet indice représente la moyenne des effectifs utilisés par jour :

$$E_{\text{f. moy.}} = \frac{V_{\text{T. tr.}}}{\text{Durée tot.}} = \frac{17.509}{282} = 62 \text{ H/j.}$$

9. INDICE D'UNIFORMITE DES EFFECTIFS :

Effectif maximum : 84 H

Effectif moyen : 62 H.

$$I_{u.eff.} = \frac{62}{84} = 0,74 \Rightarrow I_{u.eff.} = 74\%$$

10. ESTIMATION DES TRAVAUX :

Cette estimation a été établie par la programmation linéaire (chap. II) sur la base des prix fournis dans le thème du projet :

$$Est. = 9.230.000,00 \text{ D.A.}$$

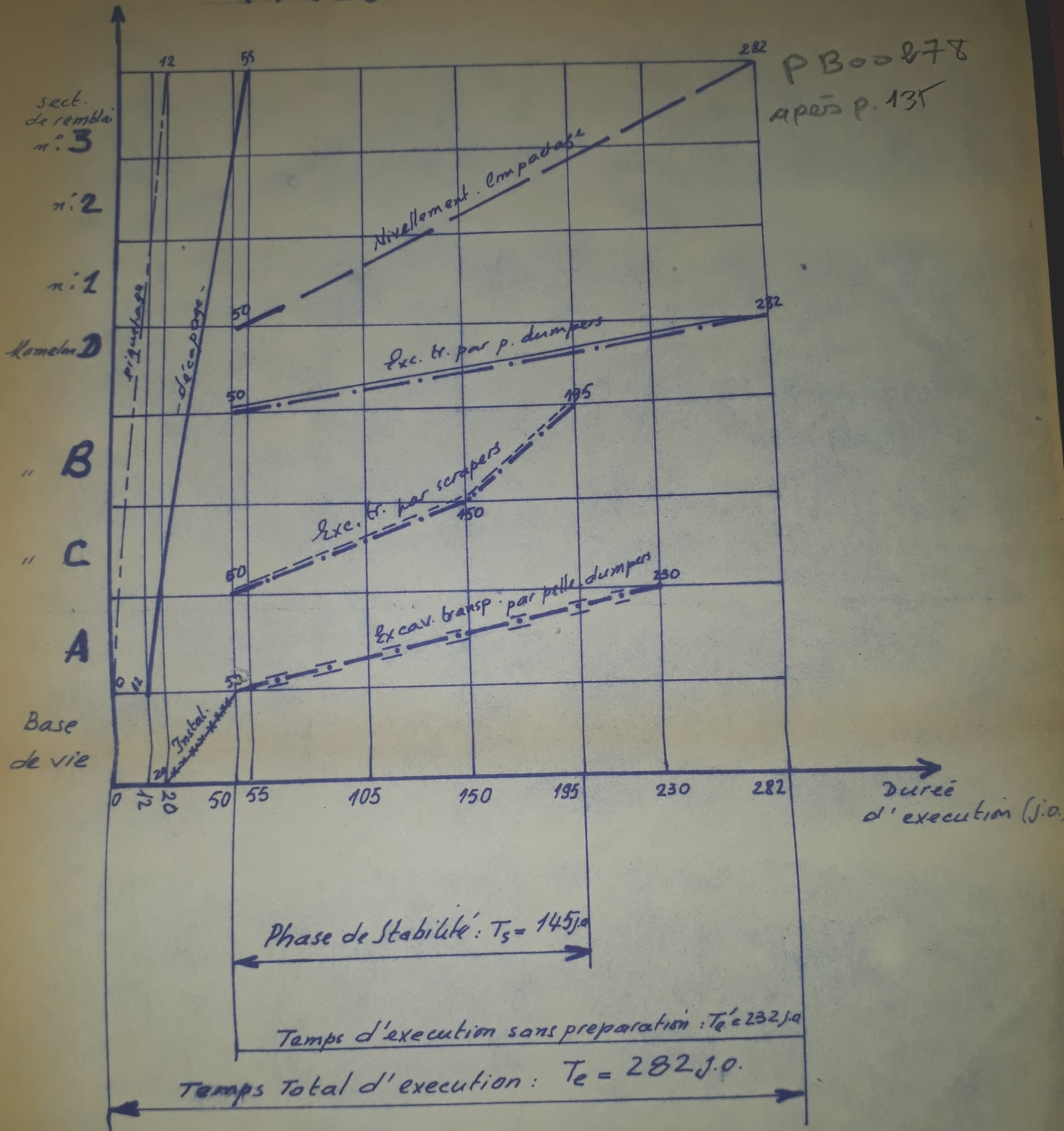
11. PRIX UNITAIRE :

$$P_{unit.} = \frac{Est. (D.A.)}{V_{Tot. Debl. (m^3)}} = \frac{9.230.000}{480.000}$$

$$P_{unit.} = 19,25 \text{ D.A./m}^3$$

8 secteurs.

CYCLOGRAMME DES TRAVAUX



N.B. Si on néglige les activités de décapage et de piquetage qui sont des opérations de préparation de courte durée, on peut définir un indice de stabilité

$$I_s = \frac{T_s}{T_e'} = \frac{145}{232} = 0,625$$

CONCLUSION

GENERALE

Quoique succincte et limitée, l'étude de cet exemple de travaux de terrassement montre, à travers le calcul des indices technico-économiques, le triple objectif atteint par l'industrialisation et l'organisation des travaux :

1. L'abaissement du prix de revient total des travaux par l'utilisation de la programmation linéaire,
2. Les possibilités de promotion des travailleurs offertes par la mécanisation du chantier (l'indice de spécialisation est de 84%)
3. La très haute productivité pecunière mensuelle (plus du double de la moyenne nationale).

BIBLIOGRAPHIE

1. les engins mécaniques de chantier, par A. GABAY
et J. ZEMP - SPES Lausanne - BORDAS Paris. 1971
2. Technique des travaux, par M. JACOBSON - tome III
Librairie polytechnique BERANGER - Paris .
3. Methodes et modeles de la recherche operationnelle. 1
par A. KAUFFMAN - DUNOD. Paris 1962.

