

RÉGIE AUTONOME DES TRANSPORTS PARISIENS

L'ORDONNANCEMENT
DES PROJETS PAR LES PLANNINGS
A CHEMIN CRITIQUE



**L'ORDONNANCEMENT
DES PROJETS PAR LES PLANNINGS
A CHEMIN CRITIQUE**

SOMMAIRE

I. — Rôle du planning	3
II. — Évolution des méthodes de planning.....	3
III. — Éléments du planning	5
IV. — Établissement du planning	7
V. — Mise à jour du planning	12
VI. — Plannings de détail	13
VII. — Plannings de charge	13
VIII. — Optimisation de la durée en fonction du coût.....	15
<hr/>	
ANNEXE I. — Planning suivant la méthode PERT classique.....	16
ANNEXE II. — Exemples de plannings.....	17



L'ORDONNANCEMENT DES PROJETS PAR LES PLANNINGS A CHEMIN CRITIQUE

par René CESBRON-LAVAU

Ingénieur chef de division
à la direction des Travaux Neufs

I - ROLE DU PLANNING

Lorsque la réalisation d'un projet est décidée, il est nécessaire de préciser, pour chaque tâche :

quoi ?
où ?
comment ?
quand ?

Les notices descriptives et les plans répondent aux deux premières questions.

Pour répondre à la troisième question, il y a lieu de :

- définir les méthodes d'exécution;
- rechercher la succession optimale des tâches en établissant le planning (*ordonnancement*).

Le planning permet de répondre, pour chaque tâche, à la question « quand ? ».

Le responsable du planning (technicien, ingénieur ou organisme spécialisé) est chargé de :

- concentrer les renseignements; définir un ordonnancement optimum des tâches; établir le calendrier correspondant;
- diffuser à chaque service les renseignements nécessaires pour prévoir l'exécution des tâches qui lui incombent;
- surveiller l'avancement des travaux; recueillir les indications susceptibles d'entraîner des modifications de l'ordonnancement;
- étudier ces répercussions et fournir au commandement tous renseignements utiles pour lui permettre de prendre les décisions nécessaires.

II - ÉVOLUTION DES MÉTHODES DE PLANNING

Le planning « à barres » — ou planning de Gantt — couramment utilisé, permet de suivre facilement l'exécution d'un projet.

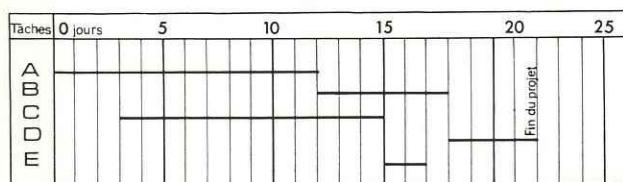


Fig. 1

Mais son élaboration présente des difficultés. En effet :

- les contraintes liant les diverses tâches ne sont pas indiquées;
- la modification d'un élément — par exemple la durée d'une tâche — entraîne souvent un remaniement important du planning.

Le premier inconvénient peut être évité dans le cas de projets simples :

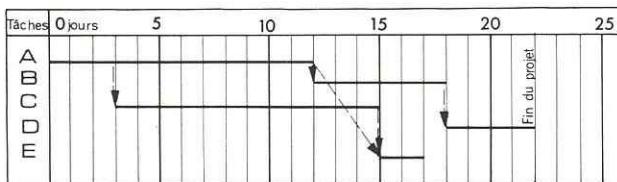


Fig. 2

Doc. 171

Mais la représentation des contraintes manque de clarté lorsque le planning comporte de nombreuses tâches. Il vaut mieux, alors, placer bout à bout sur une même ligne, le plus grand nombre possible de tâches successives.

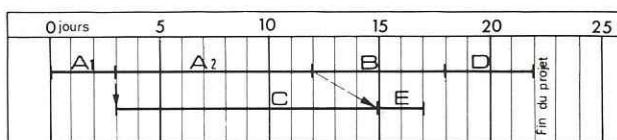


Fig. 3

Doc. 172

Pour éviter le deuxième inconvénient, il est nécessaire d'adopter une représentation différente où l'échelle des temps est remplacée par l'indication numérique des durées et des dates. Le planning ci-dessus prend la forme suivante :

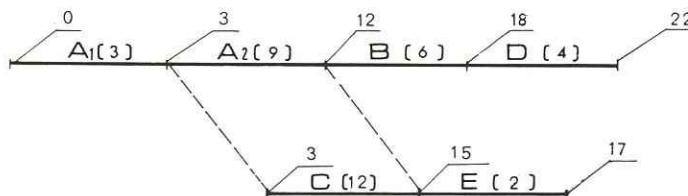


Fig. 4

Doc. 173

Sous cette dernière forme :

- 1° les contraintes apparaissent clairement;
- 2° la suite de tâches qui présente la plus longue durée et, de ce fait, détermine la date de fin d'exécution de l'ensemble du projet, est mise en évidence (*chemin critique*).

Une étude plus approfondie des tâches placées sur ce chemin (*tâches critiques*) permet, le plus

souvent, de prendre des dispositions en vue de réduire la durée d'exécution du projet;

3° on peut déterminer :

- le nombre de jours dont on peut allonger la durée d'une tâche, ou retarder le début de cette tâche, sans que la date prévue pour la fin de l'exécution du projet en soit affectée (*marge totale*);
- le nombre de jours dont on peut allonger la durée d'une tâche, ou retarder le début de cette tâche, sans que l'époque de début de la tâche suivante en soit affectée (*marge libre*);

4° l'exécution des tâches critiques peut être spécialement surveillée. Il en est de même pour les tâches dont la suite constitue un chemin dont la durée totale comporte une faible marge (*chemin « sub-critique »*);

5° il est possible, en cas de retard sur l'exécution d'une tâche :

- de déterminer les conséquences de ce retard;
- de neutraliser ou d'atténuer, le cas échéant, ces conséquences en prenant de nouvelles dispositions (renforcement des moyens d'exécution, modification de l'enchaînement des tâches, etc.);

6° des projets complexes, comportant plusieurs centaines de tâches, peuvent être traités manuellement sans difficulté.

Pour les projets plus importants — certains comportant plusieurs milliers de tâches — les plannings peuvent être traités sur ordinateur;

7° on peut établir le planning « à barres », si on le préfère pour la phase d'exécution.



Les avantages que présente cette forme de planning tendent à en généraliser l'emploi.

Deux méthodes de base, dites « de chemin critique », sont actuellement employées :

a) Méthode PERT classique

La « méthode PERT » (Program Evaluation Research Task) a été mise au point aux U.S.A. pour l'élaboration du projet POLARIS (voir annexe I).

Dans un planning PERT, les segments représentent les tâches et les points — figurés généralement sous forme de cercles repérés — représentent les étapes.

Repères	Tâches	Durée jours
1 2	A1	3
2 3	A2	9
3 4	B	6
2 5	C	12
4 6	D	4
5 6	E	2
3 5	Tâche fictive	0

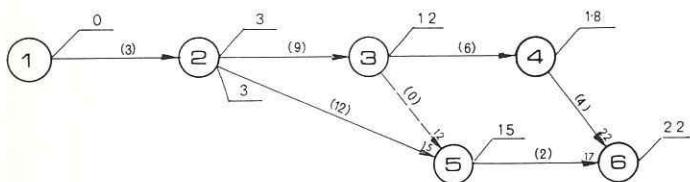


Fig. 5

Doc. 174

Nota ; l'ensemble constitué par les points et les liaisons est souvent désigné par le terme de « graphe ». Les points sont également désignés sous le terme de « sommets du graphe » et les liaisons sous le terme d'« arcs ».



Le développement de la méthode PERT et des calculatrices électroniques a favorisé la mise au point de programmes d'ordonnancement permettant de traiter sur machines certains problèmes concernant les grands projets.

Les divers programmes peuvent être rattachés à cinq programmes essentiels :

- PERT-TIME — traite uniquement les problèmes concernant la durée d'un projet;
- PERT-COST — prend en compte la notion de coût lié à une tâche et détermine un bilan comptable;
- C.P.M. — (Critical Path Method) fournit les éléments nécessaires pour choisir entre plusieurs solutions fondées sur la variation du coût en fonction de la durée;
- « Man and resource scheduling » — permet d'établir un planning en tenant compte de la limitation des ressources en main-d'œuvre et en équipement;
- RAMPS — constitue la synthèse des deux programmes précédents et peut porter sur plusieurs projets.

b) Méthode des potentiels - tâches

La méthode des « potentiels - tâches » (ou des « points - tâches ») mise au point par la S.E.M.A. (1), part du principe qu'une tâche est convenablement définie par sa date de début et sa durée.

L'étape « fin » de chaque tâche n'est donc plus représentée; l'élaboration du planning et les remaniements de la structure s'en trouvent facilités.

Cette méthode permet également le traitement sur ordinateur. Il existe actuellement un programme-machine qui peut prendre en compte des ensembles de 8 000 tâches à 20 000 contraintes et tenir compte des coûts et des moyens (à chaque tâche on peut affecter jusqu'à 15 catégories d'effectifs et 65 catégories d'équipement).

En raison des avantages qu'elle présente, cette méthode a été choisie pour l'étude qui va suivre.

(1) Société d'Économie et de Mathématique Appliquées.

III - ÉLÉMENTS DU PLANNING

(Méthode des potentiels - tâches)

Graphe

— Les sommets du graphe représentent le début des tâches.

Un sommet est généralement représenté sous forme d'un rectangle comportant l'indication de la tâche et de sa durée;

— les arcs représentent les contraintes existant entre le début des tâches.

Tâches et contraintes

Les opérations ou travaux sont découpés en autant de « tâches » qu'il est nécessaire pour permettre de figurer un déroulement normal de l'ensemble.

Ce découpage est donc réalisé, non en fonction du volume de la tranche de travaux considérée, mais en vue de mettre en évidence les interférences ou « contraintes » entre tâches telles que, par exemple :

1° B commençant au plus tôt après achèvement de A (durée de A : 12 jours — durée de B : 6 jours).

Cette contrainte s'exprime par un arc reliant les deux rectangles désignant le début des tâches A et B.

La durée de cette contrainte est ici de 12 jours.

Par convention on n'inscrit pas cette durée lorsque la contrainte exprime qu'une tâche B ne peut commencer qu'après achèvement d'une tâche A.



Fig. 6

Doc. 175

2° C commençant au plus tôt 3 jours après début de A (ou A réalisée à 25 %) (durée de C : 12 jours).

Cette contrainte s'exprime par un arc reliant, avec indication de la durée correspondante, les deux rectangles désignant le début des tâches A et C.

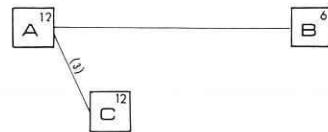


Fig. 7

Doc. 176

Nota : On peut considérer cette représentation comme la projection des tâches et des contraintes représentées comme suit :

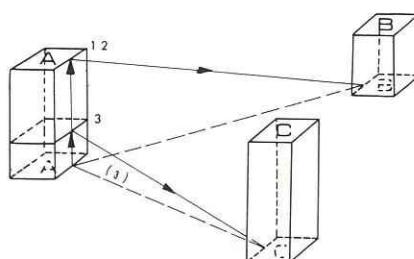


Fig. 8

Doc. 177

Lorsque 3 jours se sont écoulés depuis le début de la tâche A, la tâche C peut commencer; lorsque la tâche A est terminée, la tâche B peut commencer; etc.

3° D commençant au plus tôt après achèvement de B (durée de D : 4 jours).

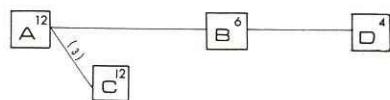


Fig. 9

Doc. 178

4° E commençant après achèvement de A et C (durée de E : 2 jours).

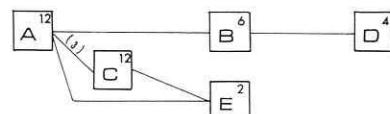


Fig. 10

Doc. 179

5° C se terminant au plus tard 4 jours avant la fin de A.

Il peut arriver, en effet, que l'exécution du dernier tiers d'une tâche A soit conditionnée par l'achèvement d'une tâche C.

La tâche A doit alors être décomposée en deux tâches élémentaires :

A₁ — durée 8 jours ;

A₂ — durée 4 jours.

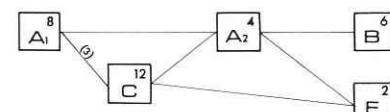


Fig. 11

Doc. 180

6° contrainte de durée nulle ou négative.

Pour faciliter l'étude du planning, on peut être amené à utiliser les représentations suivantes :

a) contrainte de durée nulle,

N commençant en même temps que M :

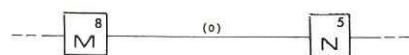


Fig. 12

Doc. 181

b) contrainte de durée négative,
Q commençant 6 jours avant le début de P :

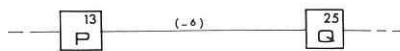


Fig. 13

Doc. 182

Dates de début

La date de début d'une tâche s'inscrit au-dessus du rectangle désignant cette tâche.

L'étude du planning permet de déterminer les dates limites entre lesquelles une tâche peut commencer.

Soit : début au plus tôt 10 jours écoulés depuis l'origine;
début au plus tard 16 jours écoulés depuis l'origine.



Fig. 14

Doc. 183

Si la tâche est critique, les deux dates se confondent.



Fig. 15

Doc. 184

Indication des étapes principales

Il est parfois commode de matérialiser sur le planning une étape importante — par exemple : fin du gros œuvre.

On utilise alors la même représentation que pour les tâches, avec une durée d'opération nulle.

Soit le planning :



Fig. 16

Doc. 185

L'introduction de l'étape « fin du gros œuvre » ne change en rien le déroulement des opérations :

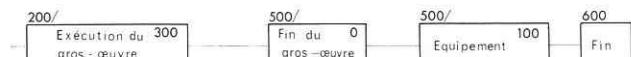


Fig. 17

Doc. 186

Unités de temps

Suivant la nature du projet à étudier, l'unité de temps peut être : minute - heure - jour - semaine ou décade - mois - etc.



L'ensemble des tâches et des contraintes constitue les éléments du planning.

Nota : Une « tâche » n'est pas nécessairement constituée par une opération élémentaire. Elle peut correspondre à l'enveloppe d'un groupe d'opérations dont les contraintes internes n'ont pas d'incidence directe sur d'autres tâches du planning. Par exemple : « installation de l'ensemble des machines-outils ».

IV - ÉTABLISSEMENT DU PLANNING

Généralités

Le planning est un « modèle » du déroulement des opérations préliminaires et des travaux constituant la réalisation de l'ensemble d'un projet.

Il doit donc :
1° tendre à faire apparaître les conditions optimales

de cette réalisation, compte tenu des impératifs fixés :

- soit durée minimale;
- soit coût minimum;
- soit compromis entre durée minimale et coût minimum (cas le plus fréquent);

2° comporter uniquement des éléments réalisables, c'est-à-dire tenant compte des possibilités d'exécution connues ou raisonnablement prévisibles (autorisations administratives, financement, études, main-d'œuvre, organisation des chantiers).

L'estimation des durées doit être effectuée avec le plus grand soin, car, pour les tâches disposées en chaîne, les erreurs d'estimation se cumulent.

Si les estimations sont, dans l'ensemble, optimistes, il apparaîtra, en cours d'exécution, des retards incompréssibles qui entraîneront des à-coups défavorables à la bonne marche de l'opération.

Si elles comportent, dans l'ensemble, des marges de sécurité excessives, la date de fin des travaux ressortant du planning sera anormalement retardée, ce qui, en général, est inadmissible.

Le même soin doit être apporté à l'estimation du coût des opérations. Si les coûts avancés sont sous-estimés, les dépassements importants qui résultent de l'exécution du projet conduisent à des difficultés sur le plan financier. S'ils sont surestimés, la Direction peut être amenée à retarder l'exécution du projet, ou à le réduire, ou même à l'abandonner.

Recherche des renseignements

- a) les divers services fournissent les éléments les concernant, soit :
- liste des tâches;
 - durée des tâches;
 - liste des contraintes.



Fig. 18

Doc. 187

L'intégration au planning général des divers renseignements fait ressortir de nouvelles interférences entre tâches et, par conséquent, permet de déceler les points où il est nécessaire d'apporter des modifications :

- soit pour lever des impossibilités;
- soit pour parvenir à une utilisation meilleure ou plus économique des moyens en personnel et en matériel;
- soit pour réduire la durée totale des travaux.

b) les services (S et Q, par exemple) intéressés par les points signalés procèdent à un nouvel examen et indiquent les modifications possibles.



Fig. 19

Doc. 188

Ces modifications peuvent conduire à des impossibilités, compte tenu des éléments d'un autre service (R par exemple). La mise au point du planning est alors également faite avec l'aide de ce service.

On procède de même lors des mises au point effectuées pendant l'exécution des travaux.



Pour commencer à établir le planning il n'est pas nécessaire d'en connaître tous les éléments.

Compte tenu des renseignements que l'on possède, on établit une ébauche qui permet déjà d'approcher la réalité.

A partir de cette ébauche, en procédant de proche en proche, on peut préciser les autres éléments et construire le planning correspondant à la réalité, telle qu'on peut la prévoir au moment considéré.

Soit P le planning et R la réalité que l'on cherche à cerner. L'approche de cette réalité s'effectue donc comme suit :

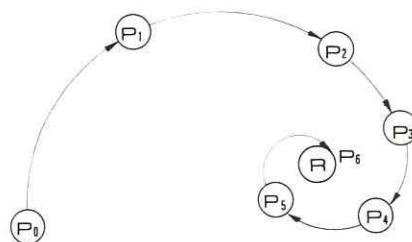


Fig. 20

Doc. 189

Ébaucher le planning dès que le projet est connu dans ses grandes lignes ne permet pas, en effet, de définir, à ce stade, toutes les tâches, ni de les situer dans le temps.

Étant donné le caractère « dynamique » du planning, cela ne présente aucun inconvénient.

Bien au contraire, l'expérience montre qu'en procédant ainsi il est possible de déterminer l'incidence des points restant à définir et de porter, en priorité, son attention sur ceux qui présentent un caractère d'urgence.

La durée d'exécution du projet se trouve ainsi nettement diminuée.

Matérialisation graphique

Les sommets du graphe représentent le début des tâches.

Les arcs représentent les contraintes.

Soit un projet comportant 6 tâches :

Tâches	Durée (en jours)
A	12
B	6
C	12
D	4
E	2
F	2

Ces tâches sont liées par les contraintes suivantes :

Tâches	Contraintes
	Début :
A	4 jours écoulés après l'origine
B	A et C terminées
C	3 jours écoulés après le début de A
D	B terminée
E	A et C terminées
F	B et E terminées

Les différentes phases de l'établissement du planning se présentent comme suit :

a) graphe de structure

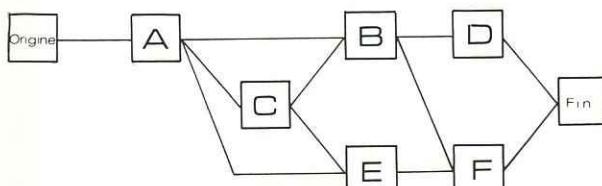


Fig. 21

Doc. 190

b) indication de la durée des tâches et des contraintes

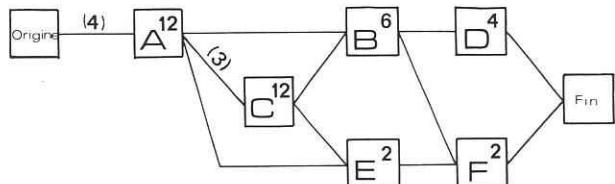


Fig. 22

Doc. 191

c) dates de début « au plus tôt »

On calcule de proche en proche, en partant de l'origine, la date de début « au plus tôt » de chaque tâche, ce qui détermine la date au plus tôt de la fin de l'exécution du projet (d'où l'expression « caler le graphe à gauche »).

Lorsque plusieurs « chemins » aboutissent à un sommet, c'est le nombre le plus élevé qui représente la date de début au plus tôt de la tâche correspondant à ce sommet.

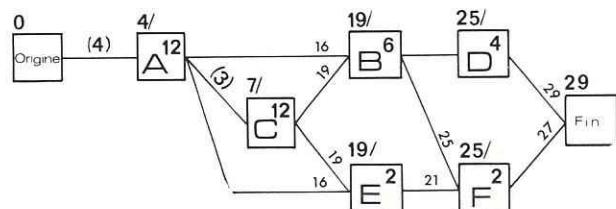


Fig. 23

Doc. 192

d) dates de début « au plus tard »

On calcule de proche en proche, en partant de la date de la fin, la date de début « au plus tard » de chaque tâche, c'est-à-dire la date limite à laquelle chaque tâche doit commencer pour ne pas retarder la date de la fin de l'exécution (d'où l'expression « caler le graphe à droite »).

Lorsque plusieurs chemins — en partant de la fin — aboutissent à un sommet c'est le nombre le plus faible qui représente la date de début au plus tard de la tâche correspondant à ce sommet.

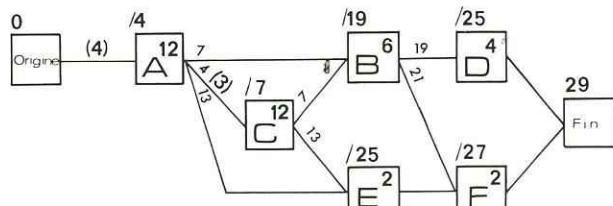


Fig. 24

Doc. 193

le planning devient :

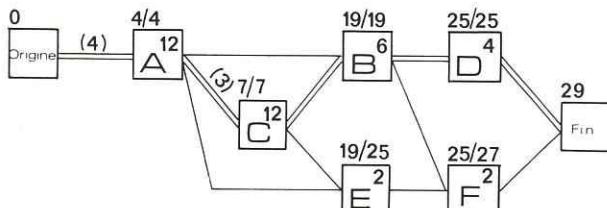


Fig. 25

Doc. 194

e) marges

On déduit du planning pour chaque tâche, la « marge totale », c'est-à-dire le nombre de jours dont on peut retarder le début de la tâche sans retarder la date de la fin d'exécution du projet.

On voit que : la tâche E présente une marge totale de 6 jours,
la tâche F présente une marge totale de 2 jours.

Si l'on décide de commencer la tâche E au bout de 25 jours, la tâche F devra commencer au bout de

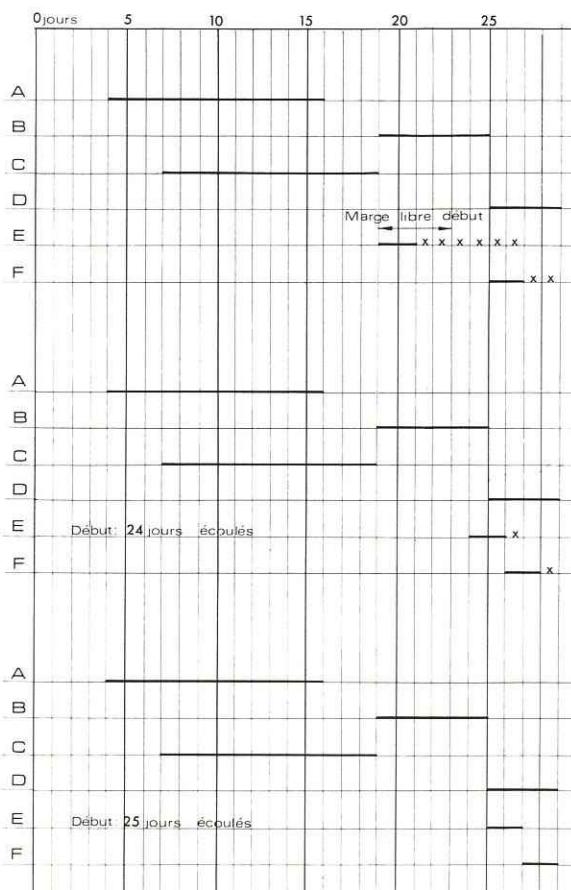


Fig. 26

Doc. 195

27 jours. On ne disposera donc plus d'aucune marge sur cette tâche.

En revanche, la tâche E peut commencer à une date quelconque entre 19 et 23 jours écoutés sans qu'il y ait de répercussion sur la date au plus tôt de la tâche F (voir fig. 26).

Cette marge — égale à 4 jours dans le cas présent — est dite « marge libre ».

Si la faculté d'utiliser les marges était laissée aux échelons d'exécution, la marge totale serait absorbée dès les premières tâches et tous les chemins deviendraient critiques.

Comme il serait impossible de porter l'effort sur toutes les tâches restant à exécuter, la date de fin du projet se trouverait inévitablement retardée.

Il faut, au contraire, s'efforcer de conserver les marges le plus longtemps possible, en vue d'annuler ou d'amortir les conséquences d'un retard imprévu.

C'est pourquoi seul le commandement peut disposer des marges.

f) résultats

Les résultats sont indiqués ci-après :

Tâches	Durée	Début		Marge	
		au plus tôt	au plus tard	totale	libre
A	12	4	4	0	0
B	6	19	19	0	0
C	12	7	7	0	0
D	4	25	25	0	0
E	2	19	25	6	4
F	2	25	27	2	2
Fin		29			

Ils permettent d'établir le calendrier, connaissant la date fixée pour l'origine et, le cas échéant, le diagramme de Gantt correspondant.

Il est facile de repérer les tâches critiques (tâches ne présentant aucune marge) et la suite de ces tâches (chemin critique indiqué sur le planning de la figure 25 par un double trait).

Optimisation de l'ordonnancement

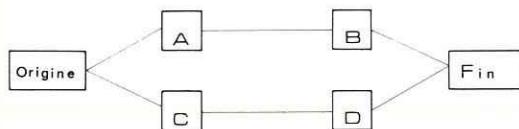
Une fois le planning ébauché, il y a lieu d'essayer d'approcher le plus possible des conditions optimales, compte tenu de certains critères (durée, coût, moyens, etc.) classés suivant l'ordre d'importance que l'on s'est fixé (voir chapitres VII et VIII).

Pour réduire la durée d'un projet, il y a lieu de procéder comme suit :

Soit quatre tâches A, B, C, D, telles que :

Désignation	Contraintes à satisfaire avant le début de la tâche	Durée (jours)
A	3 jours écoulés depuis le démarrage	8
B	A terminée	6
C	6 jours écoulés depuis le démarrage	4
D	C terminée	9
Fin		

Le « graphe de structure » se présente comme suit :



et le planning :

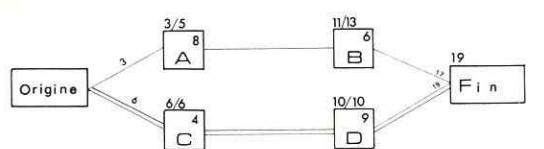


Fig. 27-28

Doc. 196-197

La suite des tâches A, B se termine au bout de 17 jours.

La suite des tâches C, D se termine au bout de 19 jours.

Le chemin critique passe par C et D.

1^{er} cas : la durée de 19 jours conduit à la date limite fixée pour la fin des travaux.

On peut conserver ce planning en remarquant que tout retard sur la date prévue pour le début des tâches C et D ou sur les durées de ces tâches retardera nécessairement l'exécution de l'ensemble du projet.

En revanche, il existe une marge de 2 jours pour la suite des tâches A, B.

Les résultats découlent du planning :

Désignation	Début (jours écoulés depuis l'origine)		Marge	
	au plus tôt	au plus tard	totale	libre
A	3	5	2	0
B	11	13	2	2
C	6	6	0	0
D	10	10	0	0
Fin	19			

On en déduit directement le calendrier.

2^e cas : l'ensemble du projet doit être réalisé dans le plus court délai.

La durée des tâches et les contraintes constituant le chemin critique (origine, C, D, fin) sont examinées à nouveau. Il apparaît que les temps initialement prévus peuvent être réduits.

Les nouvelles données s'établissent comme suit :

Désignation	Contraintes à satisfaire avant le début de la tâche	Durée (jours)
C	5 jours écoulés depuis le démarrage	3
D	C terminée	7

Le planning devient :

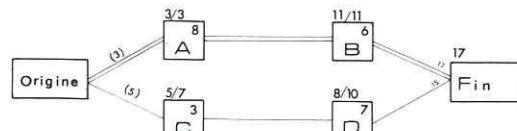


Fig. 29

Doc. 198

Le chemin critique passe alors par A, B.

La durée des tâches et les contraintes correspondantes sont examinées. Il en ressort que seule la durée de la tâche A peut être réduite (4 jours au lieu de 8).

Le planning devient alors :

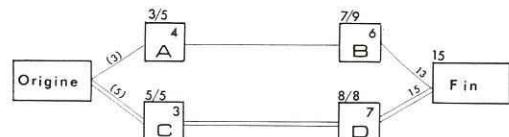


Fig. 30

Doc. 199

Le chemin critique passe à nouveau par C, D. Comme il n'est plus possible de réduire la durée de cette suite, la durée d'exécution de l'ensemble du projet ne peut pas être inférieure à 15 jours.

On peut alors :

- soit conserver les nouvelles données, ce qui laisse une marge de deux jours sur la suite A, B;
- soit ramener à 6 jours la durée d'exécution de A.

Dans la première hypothèse, les résultats s'établissent comme suit :

Désignation	Jours écoulés depuis l'origine		Marge	
	Commencement au plus tôt	Commencement au plus tard	totale	libre
A	3	5	2	0
B	7	9	2	2
C	5	5	0	0
D	8	8	0	0
Fin	15			

On en déduit directement le calendrier.

Exemple : Construction d'un immeuble à usage de bureaux.

Suivant les prévisions fondées sur les méthodes traditionnelles d'étude, la durée des travaux ne pouvait pas être ramenée à la limite contractuelle.

L'établissement du planning suivant la méthode potentielle a montré que le chemin critique passait par les tâches suivantes :

- chape du sous-sol,
- pose du ventilateur.

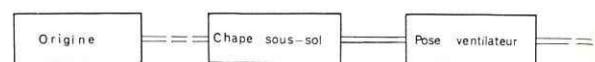


Fig. 31

Doc. 200

L'étude de ce chemin critique a permis de constater qu'un gain de temps pouvait être obtenu en commençant la chape du sous-sol par le local du ventilateur.

Le nouveau planning se présentait alors comme suit :

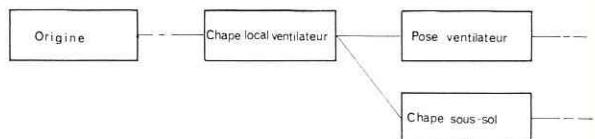


Fig. 32

Doc. 201

Après cette modification, le chemin critique passait par une autre suite de tâches dont la durée a pu être également réduite, ce qui a reporté le chemin critique sur une nouvelle suite de tâches.

En répétant l'opération de proche en proche jusqu'à ce que le chemin critique coïncide avec une suite où ni la durée des tâches ni celle des contraintes ne pouvaient être réduites, l'équipe chargée d'étudier le planning est parvenue à diminuer dans une large mesure la durée totale des travaux et à la ramener en deçà de la limite contractuelle.

V - MISE A JOUR DU PLANNING

Pour rester un outil efficace, le planning doit être mis à jour aussi souvent qu'il est nécessaire.

En effet, les conditions fixées à l'origine se modifient dans le temps pour diverses raisons :

- des études plus poussées peuvent faire apparaître une difficulté qu'un premier examen n'avait pas permis de déceler;
- des difficultés techniques qui se sont fait jour en

cours de réalisation du projet peuvent conduire à prévoir un retard ou à modifier l'ordre des opérations;

- des tâches se sont terminées plus tôt — ou plus tard — que prévu;
- des indications — formulées sur des bases incertaines — peuvent être rectifiées en fonction de données récentes, etc.

Le planning est immédiatement révisé si les modifications signalées ont des répercussions importantes sur le déroulement de la suite des opérations; dans

le cas contraire, les modifications sont prises en compte à l'occasion des mises à jour périodiques.

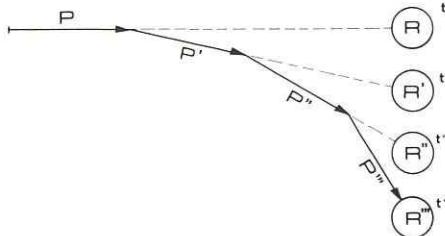


Fig. 33

Doc. 202

VI - PLANNINGS DE DÉTAIL

Dans le cas de grands projets, il peut être intéressant, afin de ne pas surcharger le graphe, de développer, au moyen de plannings de détail, certaines parties du planning d'ensemble. Cela permet de mieux les définir et d'en surveiller de plus près l'exécution.

Exemple : Aménagement d'un atelier.

Le planning général comporte :

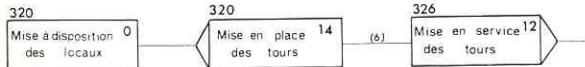
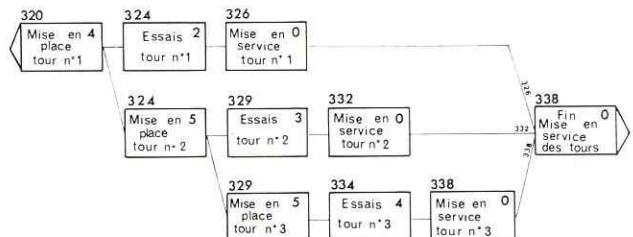


Fig. 34

Doc. 203

Le planning de détail permet de fixer les dates de mise en service de chaque tour :



Doc. 204

VII - PLANNINGS DE CHARGE

Lorsque plusieurs projets — ou parties d'un même projet — font appel à des moyens dont la capacité est limitée (bureaux d'études, main-d'œuvre spécialisée, moyens financiers, engins de chantier, etc.), il est indispensable d'établir un planning de charge pour chacune des catégories de moyens considérées.

Les problèmes posés par l'utilisation des moyens sont simplifiés par le traitement sur ordinateur des

plannings, grâce aux programmes-machine spécialement conçus à cet effet.

Mais il est tout aussi nécessaire d'en tenir compte dans le cas du traitement manuel (1).

Exemple :

Mise en place d'escaliers mécaniques dans les stations d'une ligne de métro en construction.

On ne dispose — au maximum — que de cinq équipes de monteurs.

(1) Des méthodes sont en cours d'élaboration pour simplifier la résolution de ces problèmes.

Il y a lieu de procéder comme suit :

- Rechercher dans les plannings de détail des stations les dates prévues pour la pose des escaliers mécaniques.
 - Reporter sur un planning de charge l'ensemble de ces données.
 - Si les prévisions nécessitent, à un moment donné, l'intervention de plus de cinq équipes, il est nécessaire de décaler la date de pose d'un ou plusieurs escaliers mécaniques.
 - Reporter sur le planning de charge « pose des escaliers mécaniques » les nouvelles dates ainsi déterminées.
- Pour cela rechercher dans les divers plannings de détail des stations les escaliers mécaniques dont la date de pose — prévue à ce moment-là — peut être décalée en retardant le moins possible la date de mise en service de l'ensemble des stations.

- Si ces prévisions nécessitent, à nouveau, à un autre moment, l'intervention de plus de cinq équipes, il y a lieu de décaler la date de pose d'un ou plusieurs escaliers mécaniques.

On procède ainsi jusqu'à ce que, à aucun moment, le nombre d'équipes de pose ne soit supérieur à cinq.

Nota : Pour employer au mieux les équipes, il y a lieu d'opérer en essayant d'assurer en permanence l'emploi des cinq équipes.

Il peut également arriver que le fait de limiter la main-d'œuvre de montage aux cinq équipes disponibles conduise à prolonger de façon inacceptable la durée d'exécution du projet. Il faut alors prévoir l'utilisation d'un nombre supérieur d'équipes (par prélèvement sur d'autres chantiers ou par formation de nouveaux spécialistes).

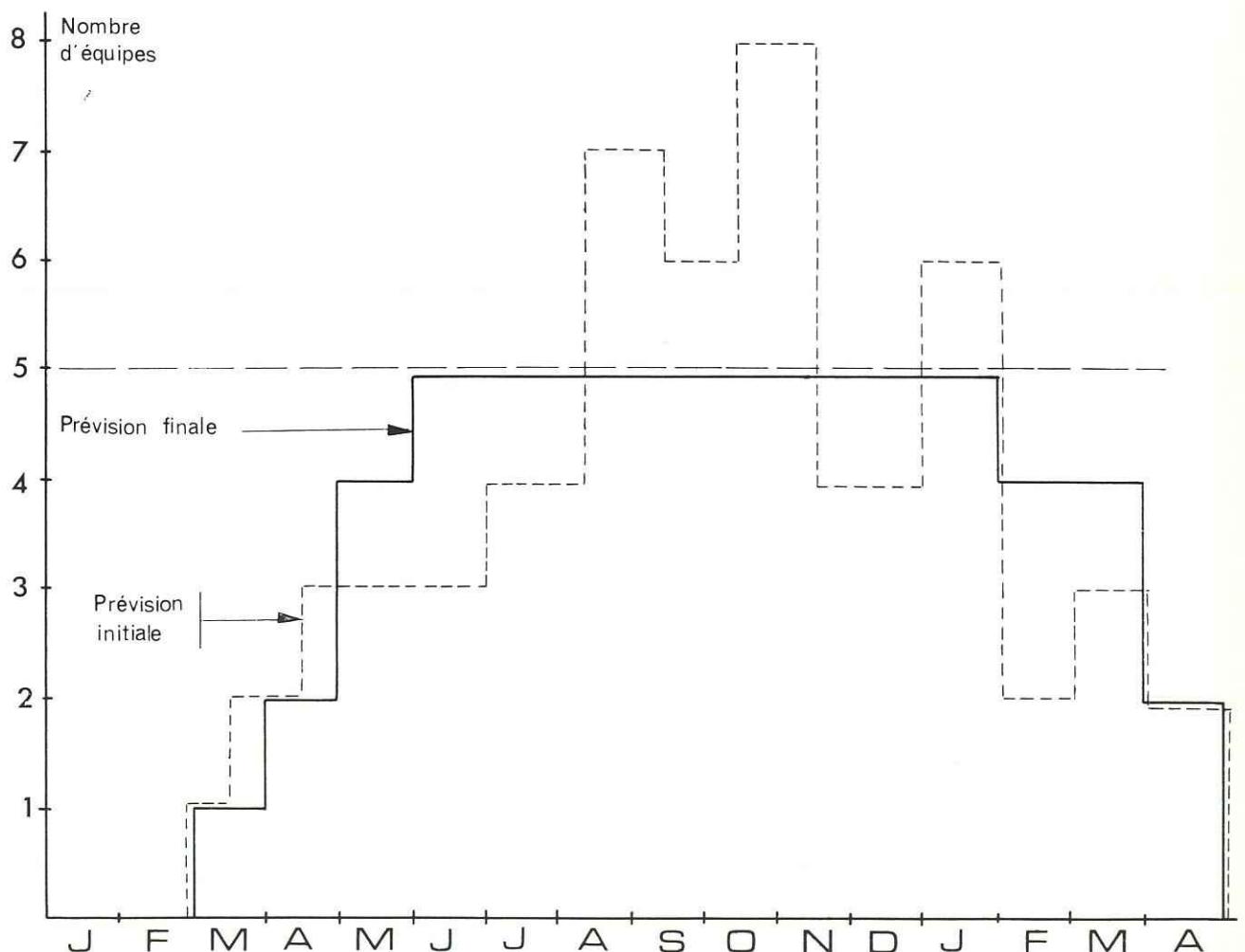


Fig. 36

Doc. 205

VIII - OPTIMISATION DE LA DURÉE EN FONCTION DU COUT

Il existe généralement une relation entre le coût d'une tâche et sa durée.

On peut en effet, le plus souvent, diminuer la durée d'un chantier en mettant en œuvre des moyens supplémentaires (équipes, engins de chantier, etc.).

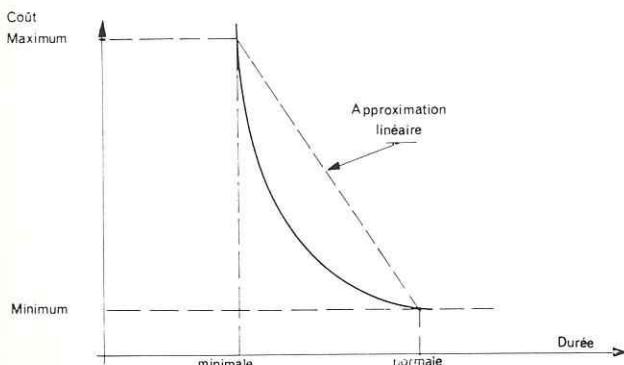


Fig. 37

Doc. 206

Le rapport entre le coût et la durée varie suivant les tâches.

Pour réduire la durée d'exécution de l'ensemble d'un projet il y a donc lieu de rechercher sur le chemin critique la tâche pour laquelle la réduction d'une unité de temps entraîne l'augmentation minimum du coût.

En répétant cette opération, on peut définir le coût direct de l'ensemble du projet en fonction de la durée d'exécution.

Connaissant par ailleurs le coût indirect (frais généraux, intérêts, etc.), on peut déduire le coût total de l'ensemble du projet et déterminer :

- soit la durée optimale si on cherche à atteindre le coût minimum, ce qui est le cas général;
- soit la durée minimum pour une augmentation du coût limitée à une valeur donnée;
- soit l'augmentation du coût pour une durée que l'on a fixée.

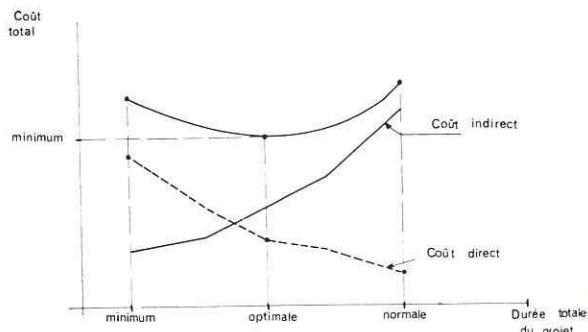


Fig. 38

Doc. 207

ÉTABLISSEMENT DU PLANNING SUIVANT LA MÉTHODE PERT CLASSIQUE

Bien qu'il y ait certaines analogies entre la méthode des potentiels-tâches et la méthode PERT, cette dernière utilise des conventions différentes, indiquées ci-après :

- les sommets du graphe représentent les étapes (début, fin d'une tâche).

Un sommet est généralement représenté sous forme d'un cercle comportant l'indication de l'étape.

- les arcs représentent les tâches.

Une tâche est donc définie par les deux sommets situés aux extrémités de l'arc correspondant.

Soit deux sommets m, n du graphe correspondant respectivement au début et à la fin d'une tâche T. Cette tâche est définie par l'arc (mn) :



Fig. 39

Doc. 208



Fig. 40

Doc. 209

Si une deuxième tâche T' commence en même temps que T et finit également en même temps, on ne peut établir le graphe comme suit :

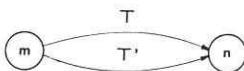


Fig. 41

Doc. 210

En effet, la tâche T' serait également définie par l'arc (mn).

Il y a donc lieu d'introduire un sommet supplémentaire q tel que la tâche T' soit définie par l'arc (mq) et de relier les sommets q et n par une tâche fictive de durée nulle (qn).

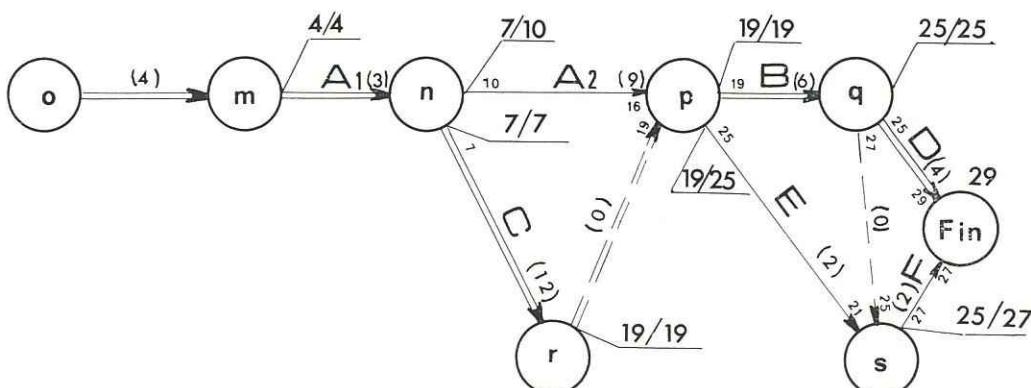


Fig. 42

Doc. 211

Le graphe s'établit comme suit :

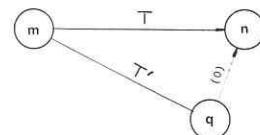


Fig. 43

Doc. 212

Suivant cette méthode, le graphe de la figure 22 devient :

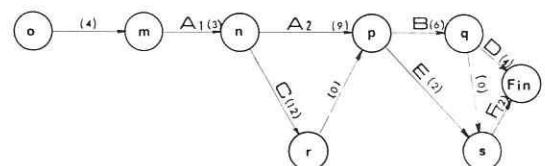


Fig. 44

Doc. 213

On voit que certaines contraintes sont représentées de façon plus explicite (la tâche C débute au point n situé sur l'arc représentant la tâche A, décomposée en deux tâches, A1 durée 3 jours et A2 durée 9 jours). Mais les arcs représentant les tâches fictives peuvent compliquer la lecture du graphe si leur nombre est élevé. De plus, il est parfois nécessaire de reprendre le graphe pour ajouter ou retrancher une contrainte, ce qui se présente plus rarement dans le cas de la méthode des potentiels-tâches.

Le planning s'établit de manière analogue à celle utilisée dans la méthode des potentiels-tâches :

- 1° date de début au plus tôt : caler le graphe à gauche;
- 2° date de début au plus tard : caler le graphe à droite.

On retrouve les résultats énoncés plus haut (p. 10)

ANNEXE II

EXEMPLES DE « PLANNINGS »

1 - Un planning de détail ou d'exécution

Remplacement d'une tuyauterie dans une usine (voir planche 1).

On procède comme suit :

- établissement de la liste des tâches,
- définition de la durée de chaque tâche,
- établissement du planning compte tenu des contraintes entre les diverses tâches,
- définition à l'aide du planning des dates de début de chaque tâche (au plus tôt et au plus tard),
- calcul des marges,
- établissement du planning « à barres ».

Nota : cet exemple a été traité par les deux méthodes de chemin critique.



REEMPLACEMENT D'UNE TUYAUTERIE DANS UNE USINE

Numéro opérations (PERT)	LIBELLÉ DES OPÉRATIONS	Durée (jours)	Date de début		Marge	
			au plus tôt	au plus tard	totale	libre
1 . 2	Constitution de l'équipe de réparation. Outilage	9	0	0	0	0
2 . 3	Mesure. Plans de la vieille tuyauterie.	2	9	9	0	0
3 . 4	Liste détaillée des besoins en matériel .	1	11	11	0	0
1 . 5	Délai de mise hors service de la vieille tuyauterie.....	30	0	15	15	0
5 . 6	Décontamination et nettoyage	1	30	45	15	0
4 . 6	Montage des échafaudages.....	2	12	44	32	17
4 . 7	Approvisionnement en tuyaux	34	12	12	0	0
4 . 8	Approvisionnement en robinetterie.....	45	12	15	3	0
6 . 9	Démontage de la vieille tuyauterie	7	31	46	15	15
7 . 9	Découpage des sections tuyaux.....	7	46	46	0	0
9 . 10	Mise en place des sections tuyaux.....	6	53	53	0	0
10 . 11	Soudure des sections tuyaux.....	2	59	59	0	0
8 . 11	Mise en place de la robinetterie.....	1	57	60	3	3
11 . 12	Ajustage et connexion de la robinetterie.	1	61	65	4	0
11 . 13	Calorifugeage.....	5	61	61	0	0
12 . 14	Essais de pression	1	62	66	4	4
13 . 14	Démontage des échafaudages	1	66	66	0	0
14 . 15	Nettoyage et mise à disposition	1	67	67	0	0
4 . 5	Tâche fictive (liaison de séquence PERT).	0				
6 . 8	Tâche fictive (liaison de séquence PERT).	0				

2 - Un planning d'ensemble

Aménagement d'un atelier (voir planche II).

Compte tenu de la mise en service, sur une ligne de chemin de fer, de voitures supplémentaires d'un type nouveau, il est nécessaire de modifier l'atelier chargé des grandes révisions et de l'entretien du matériel roulant de cette ligne.

Le projet comporte :

- a) l'agrandissement de l'atelier de grande révision;
- b) la transformation du hall de petite révision;
- c) la modification du faisceau de voies électrifiées.

Remarques

1° L'atelier doit continuer à fonctionner pendant les travaux. Son accès doit donc être maintenu en service en dehors du samedi et du dimanche. Exceptionnellement cet accès peut être fermé le vendredi.

Les travaux de voie sont donc exécutés en plusieurs phases, du vendredi au dimanche, et un tracteur diesel permet de mettre hors service les caténaires pour en faciliter la transformation.

- 2° La plaque tournante ne peut être déposée qu'après la mise en service du pont tournant.
- 3° Les voies de garage doivent être rétablies dans le plus court délai possible.
- 4° Le poste de levage doit être prêt à la date prévue pour la livraison du nouveau matériel roulant.
Ces deux derniers points engendrent sur le planning des chemins critiques partiels.
- 5° L'atelier de petite révision doit être également prêt à la date prévue pour la livraison du nouveau matériel roulant (1^{er} Mars 1966).

Le planning est réalisé en vue de la coordination entre les divers services, étant entendu qu'il existe, pour l'exécution des travaux, des plannings partiels plus détaillés.

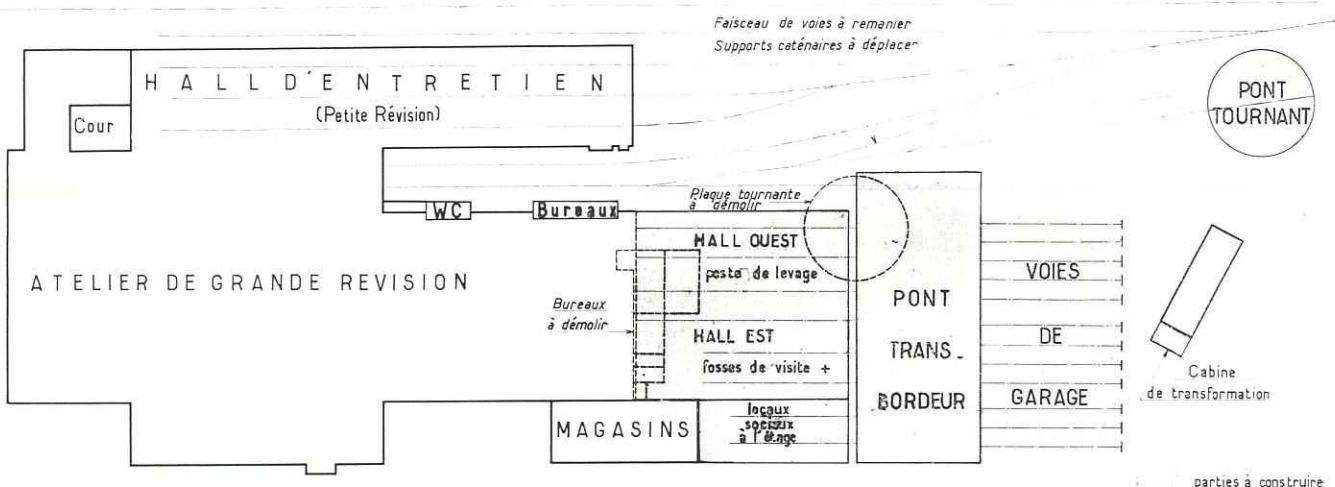


Fig. 44

Doc. 213

Voir le Calendrier au Verso →

CALENDRIER

Nombre de jours écoulés depuis le 1^{er} Janvier 1965

1965													
	I j	II f	III m	IV a	V m	VI j	VII j	VIII a	IX s	X o	XI n	XII d	
1	F	31	59	90	F	151	181	D	243	273	F	334	
2	1	32	60	91	D	152	182	213	244	274	305	335	
3	D	33	61	92	122	153	183	214	245	D	306	336	
4	3	34	62	D	123	154	D	215	246	276	307	337	
5	4	35	63	94	124	155	185	216	D	277	308	D	
6	5	36	64	95	125	D	186	217	248	278	309	339	
7	6	D	96	126	F	187	218	249	279	D	310	340	
8	7	38	66	97	127	158	188	D	250	280	311	341	
9	8	39	67	98	D	159	189	220	251	281	312	342	
10	D	40	68	99	129	160	190	221	252	D	313	343	
11	10	41	69	D	130	161	D	222	253	283	F	344	
12	11	42	70	101	131	162	192	223	D	284	315	D	
13	12	43	71	102	132	D	193	224	255	285	316	346	
14	13	D	D	103	133	164	F	225	256	286	D	347	
15	14	45	73	104	134	165	195	D	257	287	318	348	
16	15	46	74	105	D	166	196	227	258	288	319	349	
17	D	47	75	106	136	167	197	228	259	D	320	350	
18	17	48	76	D	137	168	D	229	260	290	321	351	
19	18	49	77	F	138	169	199	230	D	291	322	D	
20	19	50	78	109	139	D	200	231	262	292	323	353	
21	20	D	D	110	140	171	201	232	263	293	D	354	
22	21	52	80	111	141	172	202	D	264	294	325	355	
23	22	53	81	112	D	173	203	234	265	295	326	356	
24	D	54	82	113	143	174	204	235	266	D	327	357	
25	24	55	83	D	144	175	D	236	267	297	328	F	
26	25	56	84	115	145	176	206	237	D	298	329	D	
27	26	57	85	116	F	D	207	238	269	299	330	360	
28	27	D	D	117	147	178	208	239	270	300	D	361	
29	28			87	118	148	179	209	D	271	301	332	
30	29			88	119	D	180	210	241	272	302	333	
31		D		89		150		211	242		D	364	
1966													
	I j	II f	III m	IV a	V m	VI j	VII j	VIII a	IX s	X o	XI n	XII d	
1	F	396	424	455	D	516	546	577	608	638	F	699	
2	D	397	425	456	486	517	547	578	609	D	670	700	
3	367	398	426	D	487	518	D	579	610	640	671	701	
4	368	399	427	458	488	519	549	580	D	641	672	D	
5	369	400	428	459	489	D	550	581	612	642	673	703	
6	370	D	D	460	490	521	551	582	613	643	D	704	
7	371	402	430	461	491	522	552	D	614	644	675	705	
8	372	403	431	462	D	523	553	584	615	645	676	706	
9	D	404	432	463	493	524	554	585	616	D	677	707	
10	374	405	433	D	494	525	D	586	617	647	678	708	
11	375	406	434	F	495	526	556	587	D	648	F	D	
12	376	407	435	466	496	D	557	588	619	649	680	710	
13	377	D	D	467	497	528	558	589	620	650	D	711	
14	378	409	437	468	498	529	F	D	621	651	682	712	
15	379	410	438	469	D	530	560	F	622	652	683	713	
16	D	411	439	470	500	531	561	592	623	D	684	714	
17	381	412	440	D	501	532	D	593	624	654	685	715	
18	382	413	441	472	502	533	563	594	D	655	686	D	
19	383	414	442	473	F	D	564	595	626	656	687	717	
20	384	D	D	474	504	535	565	596	627	657	D	718	
21	385	416	444	475	505	536	566	D	628	658	689	719	
22	386	417	445	476	D	537	567	598	629	659	690	720	
23	D	418	446	477	507	538	568	599	630	D	691	721	
24	388	419	447	D	508	539	D	600	631	661	692	722	
25	389	420	448	479	509	540	570	601	D	662	693	D	
26	390	421	449	480	510	D	571	602	633	663	694	724	
27	391	D	D	481	511	542	572	603	634	664	D	725	
28	392	423	451	482	512	543	573	D	635	665	696	726	
29	393			452	483	D	544	574	605	636	666	697	727
30	D			453	484	F	545	575	606	637	D	698	728
31	395			454		515		D	607	668		729	

D : Dimanche

F : Jour Férié

