

JICA LIBRARY



1119414191



国際協力事業団

16967

# RAPPORT FINAL

POUR  
L'ETUDE DE FAISABILITE DU PROJET  
D'UN SYSTEME DE TRANSPORT URBAIN DE TYPE METRO-AERIEN  
A CASABLANCA DU ROYAUME DU MAROC

●  
RAPPORT TECHNIQUE ET DONNEES

JUILLET  
1987

AGENCE JAPONAISE DE COOPERATION INTERNATIONALE

JICA

SDF
CR (3)
87-060(3/4)

# **RAPPORT FINAL**

POUR  
L'ETUDE DE FAISABILITE DU PROJET  
D'UN SYSTEME DE TRANSPORT URBAIN DE TYPE METRO-AERIEN  
A CASABLANCA DU ROYAUME DU MAROC

•  
**RAPPORT TECHNIQUE ET DONNEES**

**RAPPORT FINAL  
POUR  
L'ETUDE DE FAISABILITE DU PROJET  
D'UN SYSTEME DE TRANSPORT URBAIN DE TYPE  
METRO-AERIEN  
A CASABLANCA DU ROYAUME DU MAROC**

**RAPPORT TECHNIQUE**

**CHAPITRE 1 LEVE DES CONDITIONS NATURELLES**

- 1.1 ETUDE GEOTECHNIQUE**
- 1.2 ETUDE DE L'HYDROLOGIE**
- 1.3 ETUDE DE LA METEOROLOGIE**
- 1.4 SINISTRES SURVENUS**

**CHAPITRE 2 PLAN DE TRANSPORT**

- 2.1 PLAN D'EXPLOITATION DES TRAINS**
- 2.2 SYSTEME DE SECURITE D'EXPLOITATION**
- 2.3 SYSTEME INTEGRE DE GESTION**

**CHAPITRE 3 PLAN DES STATIONS**

**CHAPITRE 4 PLAN D'EQUIPEMENT ELECTRIQUE**

- 4.1 CALCUL DE LA CHUTE DE TENSION**
- 4.2 CALCUL DE LA CAPACITE DU REDRESSEUR**
- 4.3 INFLUENCE SUR LA SOURCE D'ALIMENTATION**
- 4.4 INSTALLATIONS DE SIGNALISATION ET DE PROTECTION**
- 4.5 INSTALLATIONS DE TELECOMMUNICATION**
- 4.6 EXAMEN D'OBSTRUCTION DE L'ONDE ELECTRIQUE**
- 4.7 PREVISIONS PORTANT SUR LE DEFAUT D'INDUCTION**
- 4.8 EXAMEN DES DEGATS CAUSES PAR LA CORROSION ELECTRIQUE**

**CHAPITRE 5 PLAN DU MATERIEL ROULANT ET PLAN DES GARAGES-ATELIERS**

- 5.1 PLAN DU MATERIEL ROULANT**
- 5.2 PLAN DES GARAGES-ATELIERS**

**DONNEES**

- 1. ETUDE DE DEPLACEMENT PERSONNE**
- 2. ANALYSE DE SENSIBILITE, ETC.**

**LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX**

**RAPPORT TECHNIQUE ET DONNEES**

**R** 

---

**APPORT TECHNIQUE**

## 1. Levé des conditions naturelles

L'étude a porté sur les conditions naturelles telles que la géologie, l'hydrologie, la météorologie et les sinistres survenus. Les renseignements recueillis serviront de base pour la détermination du tracé, le planning des ouvrages et la réalisation des travaux.

### 1.1 Etude géotechnique

L'étude géotechnique, une des études particulièrement importantes sur les conditions naturelles, a des relations étroites avec la conception préliminaire de l'infrastructure des ouvrages et par là exerce une grande influence sur le niveau d'investissement.

#### (1) Aperçu géologique

Vu que le Royaume du Maroc est riche en ressources minières telles que le phosphate (le pays renferme 70% de réserves de phosphate du monde), le fer, le charbon, etc., le Ministère de l'énergie et des Mines, en particulier a procédé depuis longtemps à des études géologiques.

Le Royaume du Maroc peut être divisé en quatre zones géologiques comme le montre la Figure 1.1 ;

- ① Zone de l'Anti-Atlas - Sahara où s'étendent les dépôts de boucliers continentaux et émergent çà et là les roches précambriennes.
- ② Zone du Haut Atlas - Moyen Atlas où les terrains permians jurassiques déformés par les mouvements orogéniques alpins couvrent les terrains primaires fortement plissés par les mouvements hercyniens.
- ③ Zone de Plateau - Plaine s'appelant Méséta et qui s'est stabilisée après les mouvements hercyniens.
- ④ Zone de la chaîne de montagnes du Rif où se rencontrent le nord au sud, de nombreux groupes de Nappes présentant l'effet le plus violent des mouvements orogéniques alpins.

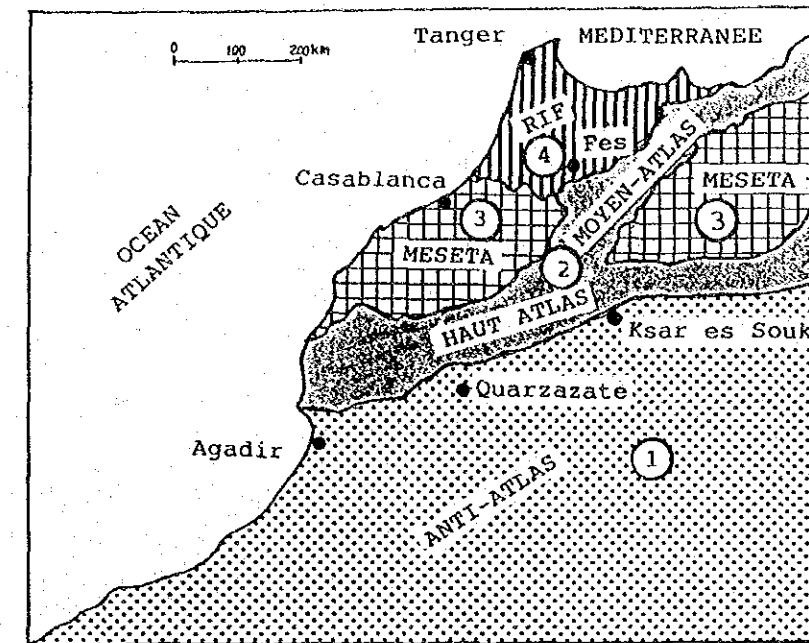


FIG 1.1 PLAN DES ZONES GEOLOGIQUES DU MAROC

#### (2) Levé géologique et topographique de Casablanca

La région Casablancaise offre une sorte de "frottis" des transgressions quaternaires (Fig. 1.2 et 1.3). On en compte 6 d'âge post-villafranchien, succédant à celle, beaucoup plus étalée du Moghrébien et toutes échelonnées sur une quinzaine de km de large à partir du rivage actuel. Sauf la plus récente, ces pulsations marines ont d'abord permis l'accumulation des dépôts de plage : sables, galets, coquilles, à la régression suivante, le sable coquillier de la plage se trouvait remanié en dunes parallèles au rivage; celles-ci étaient bientôt consolidées en "grès calcaires" ou calcarénites, à stratifications obliques entrecroisées, puis recouvertes, au moins dans les creux interdunaires, par des dépôts franchement continentaux. La limite précise atteinte par les mers post-villafranchiennes est marquée chaque fois par une falaise encochée à sa base.



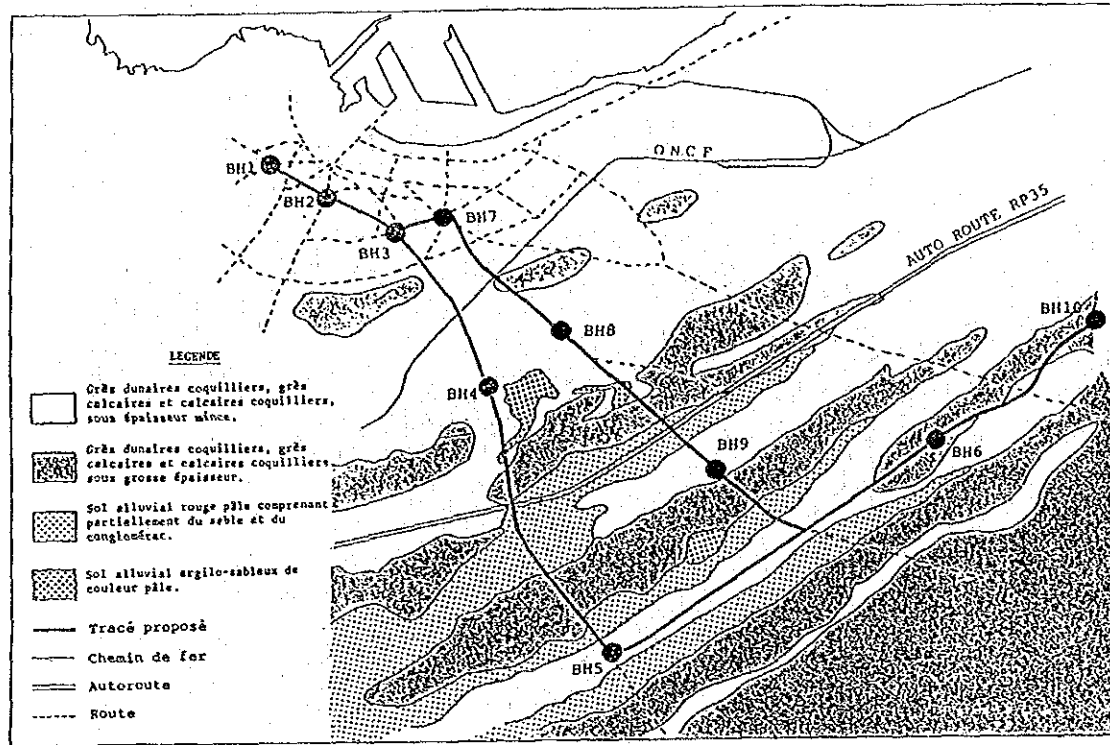


Fig. 1.2 Carte géographique de Casablanca

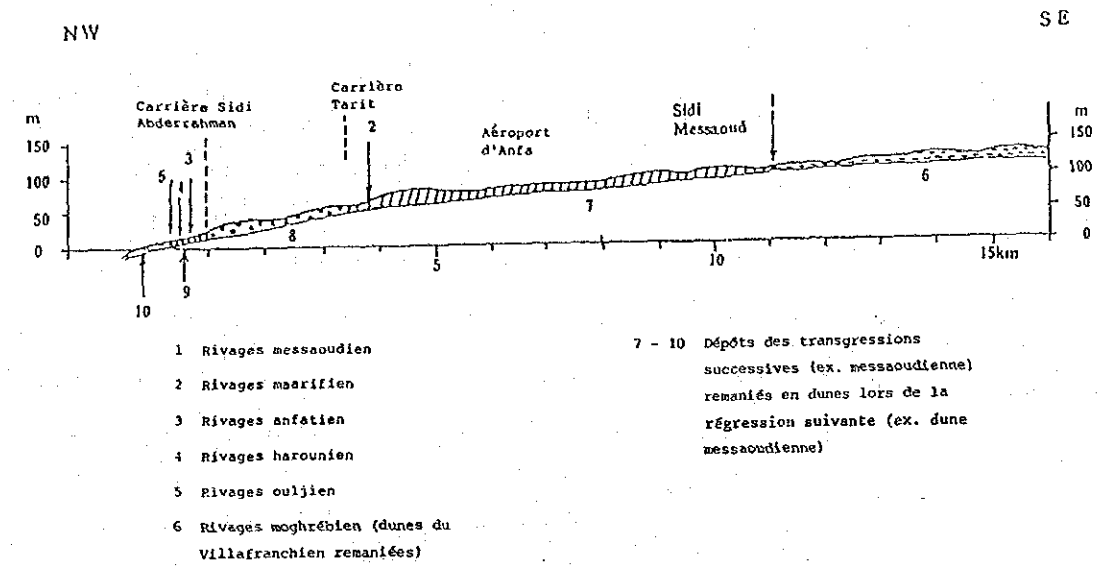


Fig. 1.3 Coupe topographique et géographique des dépôts marins quaternaires dans la région casablancaise (d'après : Beaudet 1969 et Biberson 1970)

Tableau 1.1 Stratigraphie du quaternaire marocain  
(d'après : A. Beaudet, 1969 ; C. Armabourg, 1969 ;  
G. Choubert et A. Faure - Muret, 1970)

Etages marins "Phase orogénique" = Epoque interpluviale	Etages continentaux "Phase orogénique" - Amont : Période pluviale Aval : Fin de période pluviale Embouchure : Epoque interpluviale	Rapport pensable		Faune marine	Faune - Flore continentale	Espèce humaine et culture de la pierre	Ages radiométriques (en années)
		Quaternaire Alpin	Quaternaire Méditerranéen				
Holocène	Rharbien	Pratiquement actuel Age historique			Actuel		
Pléistocène récent	Mellahien	"Atlantique" (Flandrien)	Versilien	Actuel		Nouvelle pierre Ibéro-maurisien Atérien (Fin, ancienne pierre) Mousterén	6 000
	Soltanien	Würm			Fin de subtropical (éléphant) et passage sur tempérée (ours, cerf, etc). Forêts ?		12 000 75 000
	Ouljien	Interglaciaire	Néotyrhénien	Subtropicale			80 000
Pléistocène intermédiaire	Tensifitien (I)	Riss			Subtropicale (rhinocéros, bison) savanne	Acheuléen développé	
	Rabatien (Harounien)	Riss interstadiaire	Eutyrrhénien				110 à 140 000
	Anfatien	Interglaciaire	Paléotyrhénien	Subtropicale scandinave. Régression tropicale	Savanne Bois et forêts		200 à 270 000
	Amirien	Mindel			Subtropicale avec ours et bovin. Bois et forêts subtropicaux (savanne)	Paléoacheuléen (Clacto-Abbevillien)	500 000 ?
	Maarifien	Interglaciaire	Milazzien ?	Influence de subtropicale scandinave		Fin de "Culture de galet"	700 à 1 000 000
Début de Pléistocène Villafranchien	Salétien	Günz ?				"Culture de galet" développée (Oldoway)	1 750 000 ?
	Messaoudien		Sicilien ?	Tropicale (Chili, Pérou)			2 000 000 ?
fin	Régréguien	Danube ?			Faune tropicale (Ethiopie, Inde)	Début de "Culture galet"	
(Piocène) Villafranchien = Pré-pléistocène	Moghreléen	Moulouyen	Villafranchien (Intermédiaire, postérieur)				
			Début de Calabrien Début de Villafranchien				4 000 000 ?

Le Présoltanien de P. Biberson n'a pas été figuré sur ce tableau, suivant l'interprétation retenue par G. Beaudet.

La nomenclature et l'âge de ces "étages" marins sont indiqués sur le Tableau 1.1. Chaque régression correspond à une période glaciaire reconnue en Europe, fixant l'eau dans les inlandsis ; chaque transgression correspond à un interglaciaire. L'étude du plateau continental a montré qu'une glaciation comme celle du Würm a dû abaisser de 150 m environ le niveau marin. Par contre, les transgressions post-villafranchiennes ne durent guère s'élever au dessus du niveau actuel de la mer, sauf semble-t-il, celle de l'Anfatien. L'altitude actuelle des dépôts dépend presque uniquement de l'épeirogenèse du secteur de côte considéré.

### (3) Reconnaissance des sols

#### 1) Choix des points de reconnaissance des sols

Les points de reconnaissance des sols ont été définis compte tenu des éléments suivants :

- L'étude porte sur les zones non couvertes par les études anciennement effectuées.
- L'étude vise les zones particulièrement concernées par les différents plannings tels que la détermination du tracé, le planning des stations, le planning d'exploitation des trains, le planning de l'atelier et le planning d'exécution des ouvrages de génie civil.
- Enfin, l'étude vise notamment les zones où sont prévus la tête de ligne, le terminus, les principales intersections, l'atelier, et également les lieux où le rayon de courbe est relativement faible.

Compte tenu des observations susmentionnées, dix points ont été choisis pour l'étude géotechnique (Voir la Figure 1.4).

### 2) Etude géotechnique et essais effectués

Des essais sur le terrain et en laboratoire ci-dessous ont été effectués pour clarifier la composition du sol du site et connaître des appréciations exactes relatives aux fondations des ouvrages.

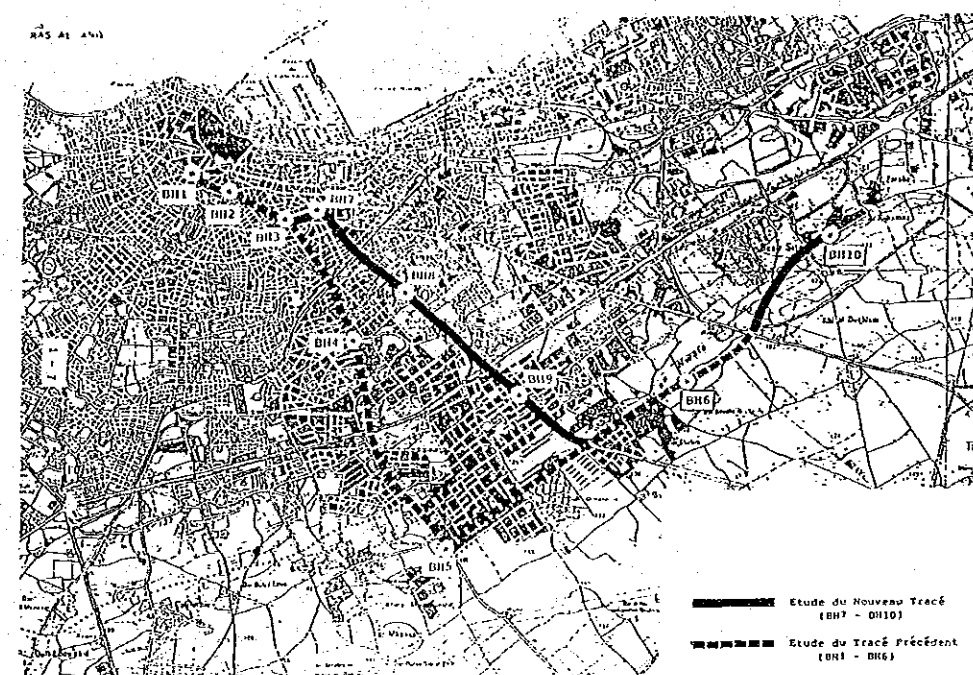


Fig. 1.4 Localisation des sondages

#### a) Essais sur le site

- Les essais de pénétration standard (S.P.T)
- Niveau de la nappe phréatique

#### b) Essais physiques en laboratoire

- Mesure du poids spécifique
- Mesure de la teneur en eau
- Analyse granulométrique
- Mesure de la perméabilité

c) Essais mécaniques en laboratoire

- Mesure de la résistance à la compression simple
- Essais de compressibilité

(4) Résultats des examens de la reconnaissance du sol

La reconnaissance a été limitée à l'exécution de dix (10) sondages carottés. Mais les essais de laboratoire sont peu nombreux par rapport au tracé de la ligne projetée. De ce fait, l'analyse du résultat des examens a été effectuée en profitant du résultat des études géotechniques précédemment effectuées.

Les formations rencontrées sont enregistrées ci-dessous de haut en bas.

- Sol supérieur
- Tuf sableux
- Sable avec conglomérats
- Grès calcaire dune (tendre à dur)
- Vase sableuse noire
- Marne silteuse
- Schiste cristallin

1) Schiste cristallin

L'assise rocheuse de Casablanca est constituée par un schiste sain, en l'occurrence le schiste cristallin sableux et boueux appartenant à la période Ordovicienne et Cambrienne de l'ère paléozoïque. D'ailleurs la partie supérieure est partiellement métamorphosée et n'est pas complètement du schiste. A Casablanca, le schiste s'étend largement sous forme d'une assise rocheuse et le niveau du toit du schiste est ascensionnel avec l'altitude ; le toit du schiste suit un faible pendage vers la côte (mer).

Si le schiste est observé avec des fissures, il est classé dans la catégorie de roche dure par sa solidité élevée. Par conséquent,

il n'y a aucun problème par rapport à la fondation des ouvrages lourds.

2) La marne silteuse

Une marne silteuse qui s'étend sur le toit du schiste sain avec une forte teneur en eau naturelle se trouve au niveau de BH2, BH3, BH4 et BH7. La marne est une couche tendre qui est un mélange sédimentaire comprenant du carbonate fin et des minéraux argileux appartenant à la période cénomaniennne du crétacé de l'ère mésozoïque. Elle contient aussi des couches différentes telles que les conglomérats du schiste et du grès. Par contre, les valeurs N d'essais SPT (Essais de Pénétration Standard) sont assez élevées à cause de la direction de ces conglomérats. La marne silteuse se trouve au niveau de BH2, BH3, BH4 et BH7 seulement ; zones qui présentent une dépression topographique : la marne se trouve à l'intérieur des zones limites. En outre, le grès calcaire dur est surmonté par une couche marneuse. Une telle formation se trouve dans des zones calcaires seulement et la théorie suivante serait prévue.

L'échelle faible de la topographie karstique est formée à cause de la solution des pierres limoneuses, tandis que la marne avait été déposée sur place. Dans d'autres théories, la marne était déposée sur des dépressions du sol dans des dunes de sable.

La marne silteuse ne peut guère être considérée comme couche portante à cause de sa teneur en eau. Il serait donc de procéder au choix du type de fondation le plus adapté après des études suffisantes. Cependant, comme on l'a déjà signalé, le grès calcaire dur est surmonté par la marne silteuse, il est pensable que les fondations soient posées dessus. L'étude des fondations sur des zones de la couche marneuse est difficile.

On doit donc procéder à d'autres reconnaissances afin de procéder à la conception de fondation des ouvrages si la marne est observée après avoir réalisé une campagne détaillée suivante :

- Epaisseur et limites de répartition de la marne silteuse
- Essais géotechniques sur la marne tels que l'essai de consolidation, essai de la charge horizontale, etc...
- Epaisseur et limites de répartition du toit du grès calcaire
- Essai de charge à plaque du toit du grès calcaire

### 3) Vase sableuse noire

La vase sableuse noire avait été rencontrée dans BH4 seulement avec une couche de 3,2 m à une profondeur de 2,6 à 5,8 m. Il apparaît évident que la vase sableuse noire avait été déposée avec une couche tendre et ayant eu une forte teneur en eau naturelle puisque la zone de BH4 présente une dépression topographique. Cette couche silteuse semble donc être déposée en forme de lentille, à cause des dépressions topographiques aux alentours des dunes de sable. Cette couche est aussi tendre que la marne et la valeur N du SPT (Essai de Pénétration Standard) est faible. Par conséquent, la vase sableuse noire n'est pas appropriée comme fondation des ouvrages, comme pour la marne et il faut utiliser des fondations sur pieux pour pénétrer cette couche.

### 4) Grès calcaire dune

Le grès dunaire contient environ 90 % de calcaire. La nature de ce grès calcaire dune possède des caractéristiques diverses telles que le sol détendu avec une couche tendre à dure et qui dépend de la profondeur et la localisation.

Cette variété de la nature du sol est formée à cause de la quantité du calcaire dans le grès, la dissolution de la nappe, cimentation chimique, etc. Cette formation peut se présenter sous quatre aspects tels que :

- ① de petits blocs de grès noyés dans une matrice sableuse
- ② Grès tendre

- ③ Grès dur avec des poches de sable
- ④ Grès dur très compact.

- ① La nature du grès est semblable à la fois à la couche sableuse et la matrice sableuse. Elle appartient aussi à un dépôt détendu, et cette couche pourrait créer un tassement au moment de la construction de l'ouvrage et n'est pas appropriée comme fondation d'ouvrage.
- ② Le grès montre un aspect poreux à cause de la dissolution du calcaire par la nappe ; possède une perméabilité et pourrait être altéré facilement. Il s'agit d'un sol où les jugements sont les plus difficiles pour étudier les fondations superficielles. Il est possible d'adopter une fondation superficielle si cette couche est assez épaisse. Cependant, nous conseillons de prendre des mesures, telles que de colmater les pores du grès avec du lait de ciment.
- ③ Il possède une rigidité suffisante pour une fondation superficielle pour l'ouvrage, car ce grès est dur avec des poches de sable. Au cas où cette couche est fine avec une couche tendre au dessous, on doit effectuer des études géotechniques telles que l'essai de chargement afin de choisir le type de fondation de l'ouvrage.
- ④ Il n'y a aucun problème avec les fondations superficielles.

Le grès calcaire est classifié comme au dessus, tandis que d'autres types de grès ne peuvent être classifiés car disposent de diverses propriétés telles que le grès cimenté ou semi-cimenté et ont une alternance de couches avec du sable ou du grès. Il faut donc choisir attentivement le type de fondation de l'ouvrage car le grès calcaire possède des propriétés très vastes.

### 5) Sable avec conglomérats

Ce type existe seulement dans les banlieues de Casablanca dans BH5, BH6, BH8 et BH9. Hormis la couche supérieure, le sable est

assez compact ; il serait donc possible de projeter l'ouvrage avec une fondation superficielle puisque la valeur N de l'essai de pénétration standard est très grande.

#### 6) Tuf sableux

Cette couche se trouve au près à la surface et la nature de ce sol diminue à l'extrême la résistance lorsqu'elle contient de l'eau et nécessite élimination du tuf sableux avant les travaux de fondation.

#### 7) Sol supérieur

Le sol supérieur doit aussi être retiré avant la construction.

### (5) Etude des fondations des ouvrages

Les observations sur le système de fondation pour des ouvrages prévus le long des tracés de présent projet, sont données ci-dessous, d'après les résultats de l'étude des sols.

#### 1) Etude des fondations pour le tracé A

Il n'y aura pas de problèmes d'adopter des fondations directes pour les ouvrages aériens le long du tracé de la Place Oued El Makhazine (BH1) au point 0k 500 m puisque le schiste se trouve presque à 5 m de profondeur depuis la surface du sol. Le schiste devient profond à partir de la localisation de 0k 500 m. L'ancien lit de l'Oued Bouskoura est situé probablement dans le voisinage ; et présente une dépression topographique. Donc, la marne silteuse à consistance molle existe dans ces endroits et des fondations sur pieux devraient être adoptées sur environ 400 m, le long du tracé de la route entre 0k 500 m et 0k 900 m. Cependant, le grès calcaire dur est sus-jacent à la marne silteuse afin que le pieux puisse pénétrer dans ces couches. La solution du pieu coulé sur place est recommandable pour la construction d'autant plus que cette zone est située au centre de la ville.

La marne silteuse se trouve, Place de la Victoire (BH3). Mais on envisage que la formation marneuse dispose d'une portée assez limitée et qu'elle est sous forme d'une lentille. Ajoutons que la marne silteuse est riche en conglomérats et se trouve sous forme cimentée. En outre, le grès dur se trouvant dans la partie supérieure de la marne silteuse à plus de 4 m d'épaisseur ; et le pieu pourrait donc ne pas être adapté pour la fondation de l'ouvrage. Ceci indique que la fondation directe serait adoptée pour l'ouvrage qui se situe dans la section entre 0k 900 et 3k 400 m.

Dans le cas où la solution retenue est le type de transport souterrain dans la section entre la Place Oued El Makhazine et la Place de la Victoire, une énorme main d'oeuvre serait exigée pour fouiller les rochers durs, à l'exception de la marne silteuse. Dans ce cas le soutènement avec des poutres ou des palplanches ne sera pas envisagé. Par contre, les fouilles à travers la méthode du ciel ouvert avec un talus de déblai presque vertical seront choisies pour la construction.

Pendant la construction d'un système souterrain, le problème qui se posera avec acuité est celui de la nappe phréatique qui traverse le grès poreux ; et dans ce cas là un système de drainage serait exigé pour fouiller plus profondément. Il faudra, au préalable, baisser le niveau d'eau phréatique par la méthode de pompage ou de puits profond, installé en dessous du niveau des fouilles.

Il y aura une autre dépression topographique près du Boulevard El Fida (BH4) semblable à celle de BH2. On constate aussi que les formations tendres telles que la vase sableuse noire et la marne silteuse sont disposées en forme de lentille.

Par conséquent, il y a lieu d'envisager pour cette zone des fondations sur pieux et la pointe du pieux doit atteindre le schiste. Pour connaître la longueur exacte de cette zone avec les fondations sur pieux, il faut procéder encore au sondage, mais on pense qu'il s'agira du secteur compris entre 3k 400 m et 4k 300 m.

Après 4k 300 m jusqu'à la fin du tracé, le sol tendre à faible valeur N de l'essai standard de pénétration existe seulement au près de la surface. Par conséquent, la fondation directe ne sera adoptée qu'après l'enlèvement du sol tendre. Signalons que même si le pieu est adopté, on envisagerait des pieux relativement courts.

## 2) Etude des fondations pour le tracé B

Le tracé B est identique au tracé A de la Place Oued el Makhazine (BH1) à la Place de la Victoire (BH3) et tel que mentionné plus-haut.

Au Rond Point de Dakar (BH7), se trouve de la marne ayant une épaisseur de couche de 13 m. On peut penser, que du fait que la topographie environnante constitue une dépression, il y a eu amoncellement de marne dans les cuvettes dunaires. Aussi, la répartition de marne est limitée et se présente sous forme de lentille.

Comme fondations des ouvrages, des fondations sur pieux seront utilisées et la section correspondante est de l'ordre de 500 m entre les points 2,0 km et 2,5 km. Ces pieux nécessitent la pénétration d'une couche de conglomérats et dans la mesure où les travaux sont exécutés au centre ville, les pieux en béton coulés sur place sont souhaitables.

Après avoir dépassé le point 2,5 km, la terre avec une petite valeur de N ne se trouve que près de la couche superficielle, une fois le point 2,5 km dépassé jusqu'à proximité du lieu d'aboutissement du présent tracé, Ce seront, soit les fondations superficielles qui seront utilisées, après retrait des couches molles supérieures, soit les fondations sur pieux, selon les endroits, mais, il s'agira des pieux relativement courts.

Le point d'arrivée du tracé (BH10), est formé d'une couche molle de petite valeur de N jusqu'à une profondeur de 6 m. Mais, un

garage-atelier y est prévu et la construction d'ouvrage aérien n'est pas envisagée.

## 3) Etude des fondations du tracé de la solution passant par l'avenue F.A.R

Une cuvette se trouve le long de l'avenue F.A.R. Place zallaga (devant l'hôtel Safir), à un niveau de 5,90 m. Aussi, on peut penser que dans le temps, l'oued Bouskoura devait se jeter dans la mer, dans ces environs. Le long de cet oued, une voie d'eau souterraine est formée et on peut prévoir que des problèmes d'eau se poseront au moment des travaux d'excavation à cause des infiltrations d'eau dans le grès poreux. Mais, comme ouvrages, ce sont ceux aériens et non souterrains qui y sont programmés, aussi les travaux d'excavation y sont peu nombreux et l'exécution des travaux avec le procédé de pompage semble possible.

## 1.2 Etude de l'hydrologie

### (1) Les précipitations

La pluviométrie annuelle à Casablanca est faible puisqu'elle n'a atteint que 462 mm au maximum au cours de ces 30 années (voir Fig. 1.5). Aucune rivière n'existe dans la ville. Par conséquent, l'étude de l'hydrologie a été effectuée plutôt sur le contrôle de la nappe phréatique que sur l'étude des eaux de surface et la hauteur pluviométrique.

La quantité de pluie tombée est faible en été et importante en hiver.

La quantité moyenne de pluie tombée au mois de Juillet n'atteint que quelques millimètres, ceci permettra de dire que presque aucune pluie ne tombe durant le mois de juillet. Par contre, les chutes moyennes de pluie au mois de décembre atteignent 95 millimètres au cours de ces 31 années (de 1950 à 1980), comme elles sont reportées dans la Fig. 1.6.

(2) La Nappe phréatique

La nappe a une très grande relation avec les formations et la pluviométrie. Le niveau topographique et géotechnique de Casablanca va en pente vers la mer (voir Fig. 1.3). Selon la reconnaissance géotechnique, le grès dunaire et le schiste altéré sont perméables, tandis que le schiste est imperméable. Et la formation schisteuse exerce une grande influence sur la direction de nappe. Par conséquent, on suppose que la direction de la nappe est la même que celle de la formation schisteuse c-à-d vers le nord ou le nord-ouest.

Le grès dunaire contenant du calcaire présente une forme poreuse due à la dissolution de la nappe et la cimentation chimique. Les pores du grès aussi provoquent de divers mouvements hydrauliques. Par conséquent, il paraît difficile de mesurer quantitativement la nappe qui s'écoule par la veine d'eau. Cependant, les coefficients de perméabilité sont indiqués à travers les méthodes suivantes compte tenu de l'analyse des résultats de la reconnaissance de la nappe précédente et du procédé statistique (Fig. 1.7 représente la localisation de la reconnaissance précédente de la nappe). Le coefficient de perméabilité a été supposé après l'avoir traité du point de vue de statistique.

1) Présomption du coefficient de perméabilité à travers l'analyse granulométrique.

Les courbes granulométriques recueillies figurent sur le graphique reporté dans Fig. 1.9. La granulométrie D20 a été prélevée à l'aide d'une courbe, et les coefficients de perméabilité sont reportés sur le Tableau 1.2.

La méthode de Greager a donné les coefficients suivants :

Grès calcaire	$k = 5,1 \times 10^{-3}$ cm/sec
Vase sableuse	$k = 1,8 \times 10^{-3}$ cm/sec

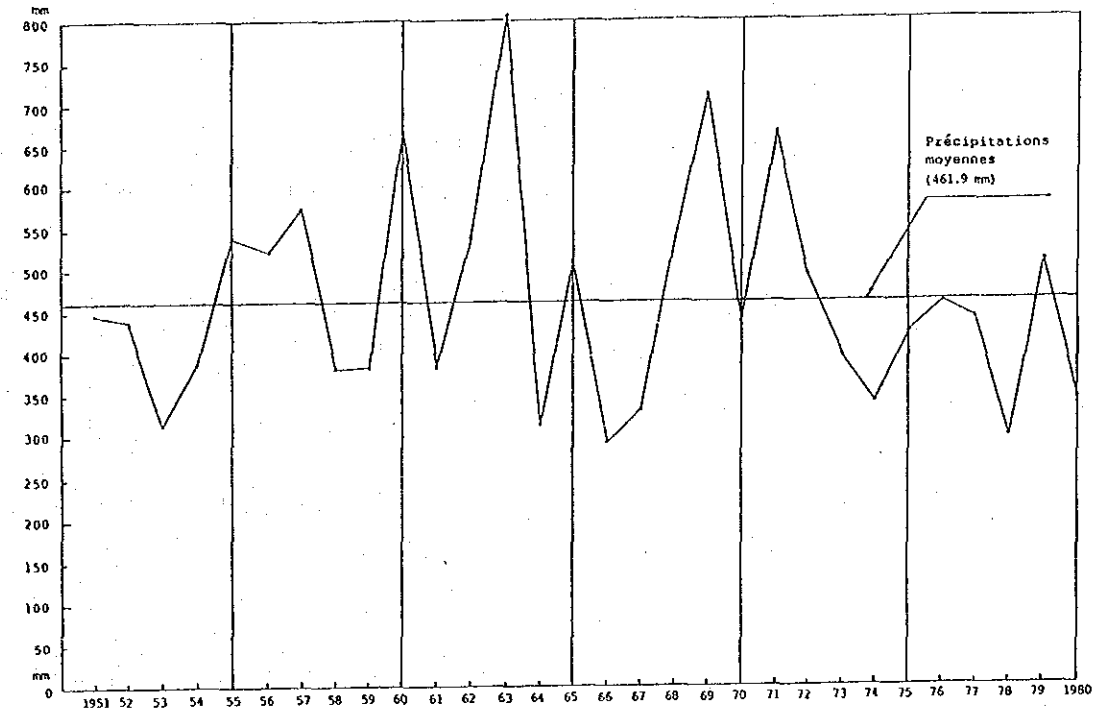


Fig. 1.5 Pluviométrie annuelle à Casablanca

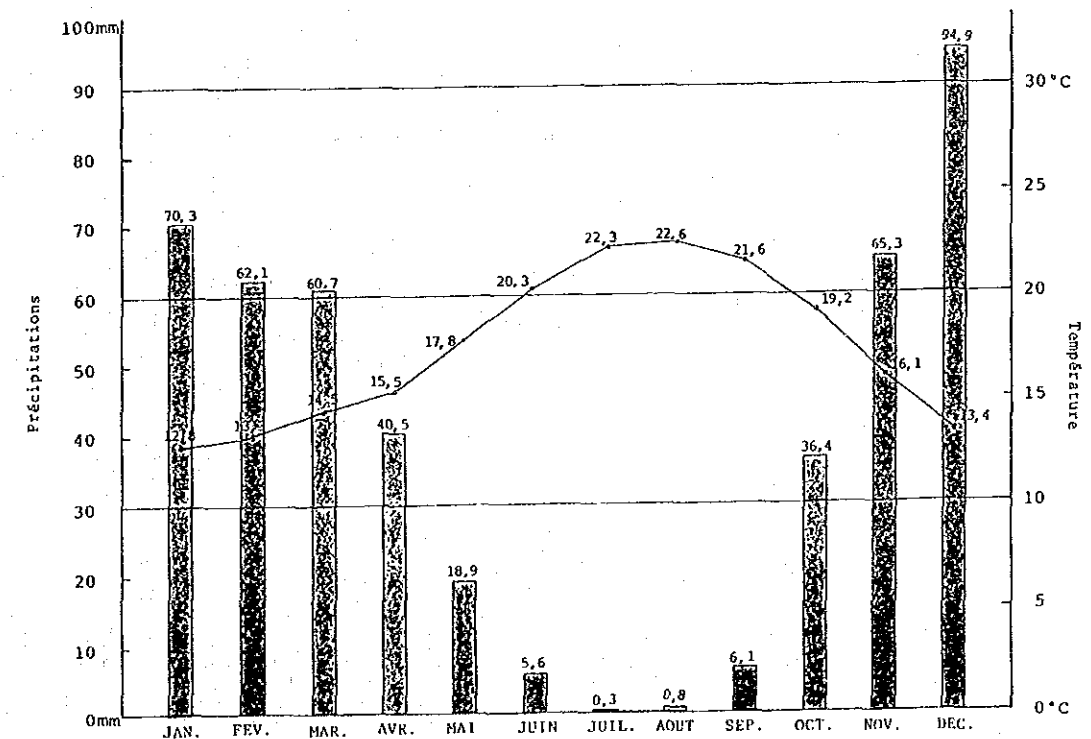


Fig. 1.6 Diagramme des précipitations et température (1950-1980)



2) Présomption du coefficient de perméabilité à travers les précédents résultats recueillis.

Les résultats de l'essai de pompage effectué au centre de la ville sont reportés sur la Fig. 1.7 et ils sont mis en évidence comme suivant :

Couche aquifère	Nombre des données	Coefficient de perméabilité k (cm/sec)		
		Max.	Mini.	Moyen
Grès et schiste	7	$1,12 \times 10^{-2}$	$3,07 \times 10^{-4}$	$4,1 \times 10^{-3}$
Schiste altéré	3	$2,01 \times 10^{-3}$	$5,48 \times 10^{-4}$	$1,4 \times 10^{-3}$

Les données ci-haut ont été analysées par ordinateur, mais les résultats seuls ont été repris, pour ne pas allonger le rapport.

### 3) Conclusion

Les valeurs présomptives des coefficients de perméabilité sont regroupées comme suit :

Couche aquifère	Coefficient de perméabilité k (cm/sec)
Grès	$4,1 \times 10^{-3}$ à $5,1 \times 10^{-3}$
Schiste altéré	$1,4 \times 10^{-3}$
Vase sableuse *	$1,8 \times 10^{-3}$

\* La vase sableuse se trouve dans BH4 seulement.

Compte tenu des résultats de la reconnaissance de la nappe, on a pu prévoir qu'il n'y a pas de nappe artésienne au centre de ville

de Casablanca et que les variations de niveau de la nappe sont dues à la pluviométrie. Il y a lieu de noter que les venues d'eau s'effectuent à travers le grès dunaire, le schiste altéré et la vase sableuse. La formation schisteuse non perméable exerce une très grande influence sur la direction de la nappe (voir Fig. 1.8).

Vu les résultats des coefficients de perméabilité, on a pu constater qu'aucun problème de nappe ne sera posé au moment de la construction. L'évacuation de l'eau jaillissant lors des travaux pourrait être assurée par pompage et puits profonds. Cependant, si la construction est prévue à proximité de la mer, où les précipitations dépassent la moyenne, il sera nécessaire de procéder à des mesures au moment de la construction.

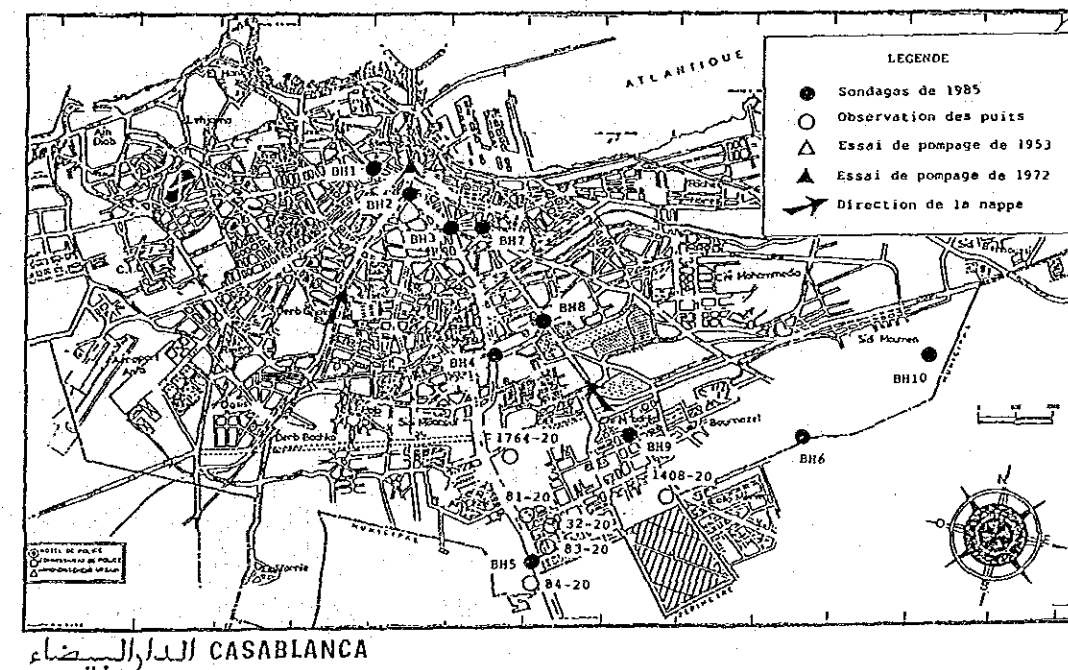


Fig. 1.7 Localisation de la Reconnaissance de la Nappe

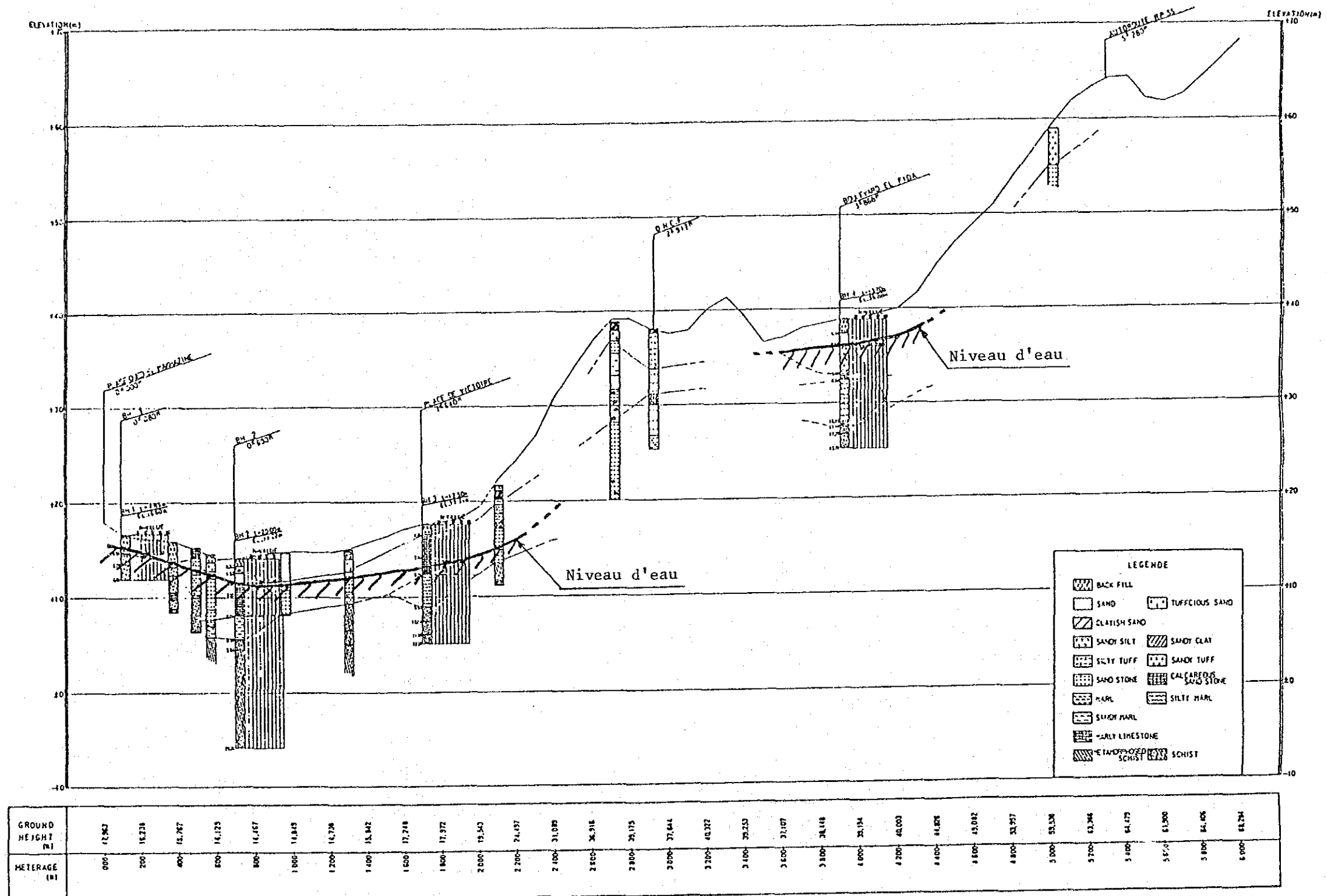
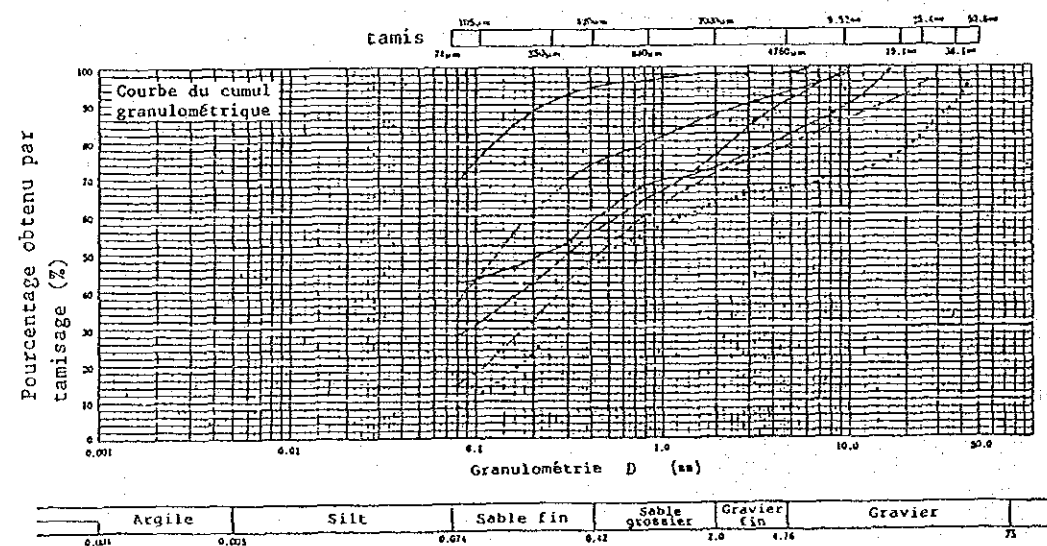


Fig. 1.8 Profil du niveau de la nappe

Tableau 1.2 Relation entre  $D_{20}$  et le coefficient de perméabilité (K) donné par Creager

$D_{20}$ (mm)	$k$ (cm/sec)	classification	$D_{20}$ (mm)	$k$ (cm/sec)	classification
0,005	$3,00 \times 10^{-4}$	Argile grossière	0,18	$6,85 \times 10^{-1}$	Sable fin
0,01	$1,05 \times 10^{-3}$	vase fine	0,20	$8,90 \times 10^{-1}$	
			0,25	$1,40 \times 10^{-2}$	
0,02	$4,00 \times 10^{-4}$	Silt sableux grossier	0,3	$2,20 \times 10^{-2}$	Sable moyen
0,03	$8,50 \times 10^{-4}$				
0,04	$1,75 \times 10^{-3}$				
0,05	$2,80 \times 10^{-3}$				
0,06	$4,60 \times 10^{-4}$	Sable très fin	0,45	$5,80 \times 10^{-2}$	
0,07	$6,50 \times 10^{-4}$				
0,08	$9,00 \times 10^{-4}$				
0,09	$1,40 \times 10^{-3}$				
0,10	$1,75 \times 10^{-3}$				
0,12	$2,6 \times 10^{-3}$	Sable fin	0,6	$1,10 \times 10^{-1}$	Sable grossier
0,14	$3,8 \times 10^{-3}$				
0,16	$5,1 \times 10^{-3}$				
			0,7	$1,6 \times 10^{-1}$	
			0,8	$2,15 \times 10^{-1}$	
			0,9	$2,8 \times 10^{-1}$	
			1,0	$3,60 \times 10^{-1}$	
			2,0	1,80	Gravier fin

Fig. 1.9 Courbe de gradation



### 1.3 Etude de la météorologie

#### (1) Direction et vitesse du vent

A Casablanca, le vent souffle du Sud-Ouest en hiver, et du Nord-Ouest au printemps. En été, la plupart des vents soufflent du Nord, et ils tournent au Nord ou à l'Ouest en automne. En rapprochant de l'hiver, le vent souffle de nouveau du Sud-Ouest.

Le vent est assez fort du printemps à l'été, mais relativement modéré durant toute l'année. La vitesse moyenne du vent se trouve entre 1,0 m/s et 5,0 m/s. De 1943 à 1975, pendant 33 ans, la vitesse du vent maximale a dépassé 50 m/s seulement deux fois. (la Fig. 1.10 représente la direction du vent au sol à Casablanca)

#### (2) Climat

L'écarte diurne moyen à Casablanca étant de 9,5 °C, il s'avère relativement grand. La température moyenne de l'été et de l'hiver étant respectivement de 22 °C et de 13 °C ; un grand écart ne se constate pas entre les deux. Mais la température maximale de l'été s'est élevée dans le passé, à 46 °C et par contre la température minimale de l'hiver a atteint dans le passé -3 °C.

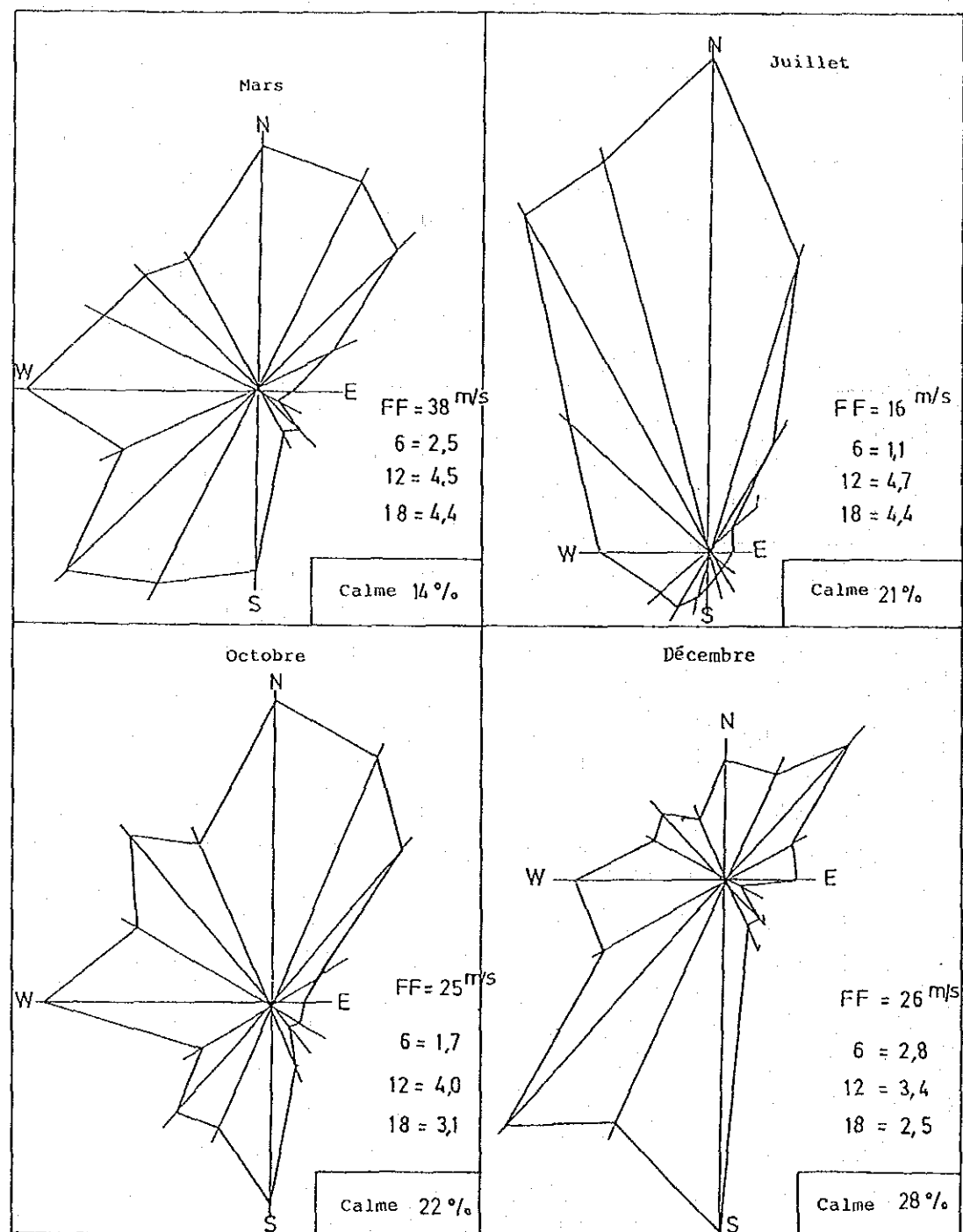
L'humidité est relativement grande. L'indice d'humidité est à son maximum à 6 heures du matin, soit 85 % en moyenne, puis dans la journée, il descend jusqu'à 70 % mais ne baisse pratiquement pas en dessous de 60 %. (Voir Tableau 1.3 et Fig. 1.6)

#### 1.4 Sinistres survenus

Les sinistres tels que le séisme, la tempête et le raz de marée ne sont presque pas survenus à Casablanca. Ceci a été confirmé par le rapport des sinistres établi par le service météorologique du Ministère de Transport. La Figure 1.11 représente les séismes historiques enregistrés au Maroc.

Tableau 1.3 Synthèse climatologique concernant la station de Casablanca (1951-1980)

Mois	Température (°C)			Humidité (%) 6h + 12H + 18h			Pression atmosphérique (MB) 6h + 12h + 18h			Vitesse du vent (M/S) 6h + 12h + 18h		Précipitations (MM)		
	MOYEN.	MAX	MIN	MOYEN.	MAX	MIN	MOYEN.	MAX	MIN	MOYEN.	MAX	MOYEN. TOTALE	Max. en 24h	MOYEN. DE JOURS
Janvier	12,8	17,3	8,3	81	95	64	1013,8	1019,0	1006,5	2,8	31	70,3	49,6	9,7
Février	13,3	17,8	8,8	79	95	59	1012,4	1019,3	1005,6	3,3	43	62,1	42,5	8,3
Mars	14,5	18,9	10,1	78	94	58	1016,4	1016,4	1005,9	3,6	38	60,7	42,0	9,3
Avril	15,5	19,7	11,3	78	95	59	1009,2	1013,3	1004,7	3,7	24	40,5	50,2	7,3
Mai	17,8	21,5	14,0	77	93	63	1009,3	1012,3	1006,8	3,7	21	18,9	50,7	5,1
Juin	20,3	23,5	17,0	79	94	63	1009,9	1012,0	1007,6	3,6	22	5,6	4,8	1,6
Juillet	22,3	25,5	19,1	79	95	61	1009,4	1011,5	1007,5	3,4	16	0,3	0,5	0,2
Août	22,6	25,9	19,2	77	96	63	1008,7	1010,3	1006,5	3,3	23	0,8	10,6	0,5
Septembre	21,6	25,3	17,8	79	95	63	1009,9	1012,2	1007,5	3,1	50	6,1	17,2	2,4
Octobre	19,2	23,4	14,9	78	94	52	1013,3	1013,2	1006,5	3,0	25	36,4	46,6	7,4
Novembre	16,1	20,7	11,5	79	93	58	1011,6	1015,6	1006,4	2,7	27	65,3	44,7	8,8
Décembre	13,4	17,8	9,0	81	94	64	1013,2	1018,7	1008,0	2,8	26	94,9	50,2	11,1
Total moyen.	17,4	21,4	13,4	79	94	61	1011,4	1014,5	1006,6	3,3	29	461,9	-	71,7



- Période 1943-1975 (33 ans)

- FF : Vent maximal absolu mensuel

- 6.12.18 indiquent les heures d'observation diurne

Fig. 1.10 Direction du vent au sol à Casablanca

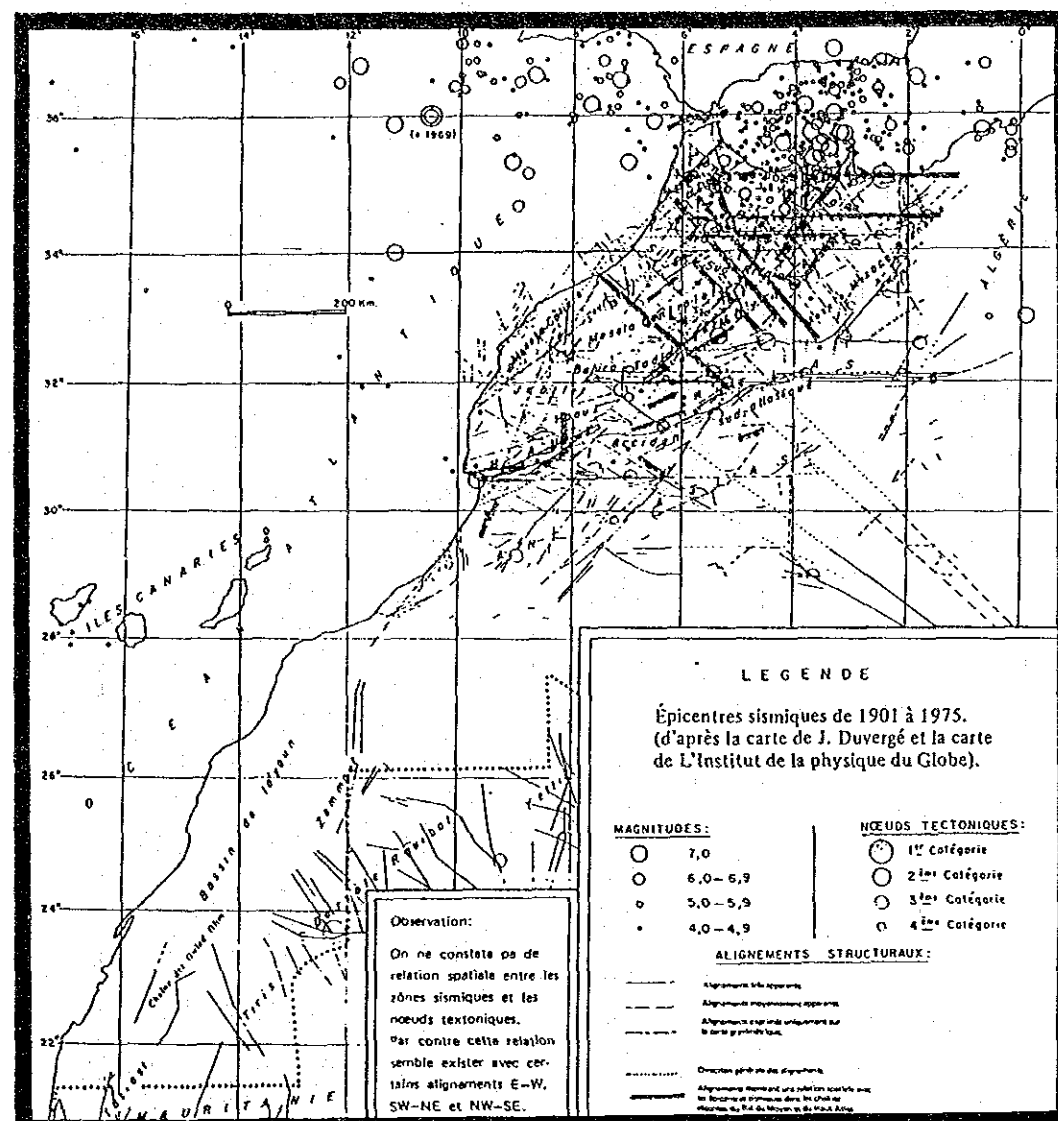


Fig. 1.11 Relations entre les alignements structuraux et les épicentres sismiques au Maroc

## 2. PLAN DE TRANSPORT

### 2.1 Plan d'exploitation des trains

Les performances du matériel roulant et autres paramètres constituant les conditions préalables au planning d'exploitation des trains sont les suivants :

#### (1) Performances du matériel roulant

Tableau 2.1 Performances du matériel roulant

Type		Roues métalliques	Pneus	Monorail
Paramètres				
Nombre de voitures d'une rame		4	4	4
Longueur d'une rame (m)		64	55	56
Vitesse maximale (km/h)		80	80	80
Accélération (km/h/s)		3,0	3,5	3,5
Décélération (km/h/s)	de service	2,5	3,5	3,5
	d'urgence	3,0	4,0	4,0
Nombre de places (pers./voiture)		96	92	90

#### (2) Limitation de vitesse

##### 1) Section courbe

Tableau 2.2 Vitesse limite

Rayon de courbe \ Type	Roues métalliques	Pneus	Monorail
450 m $\geq$ plus	80 km/h	km/h	km/h
400 "	75		
350 "	70	80	
300 "	65	75	80
250 "	60	65	70
200 "	55	60	65
150 "	50	50	55
125 "	45	45	50
100 "	40	40	45
100 <	30	35	40

##### 2) Aiguillage

- Roues métalliques : 45 km/h
- Pneus et Monorail : 30 km/h

##### 3) Section en déclivité

- 40 ‰ (tous les systèmes) : 70 km/h
- 60 ‰ (Pneus et Monorail) : 65 km/h

La vitesse de marche dans la section en déclivité est décidée par la performance de freinage des trains.

Notamment, la distance de freinage d'urgence pour l'arrêt impératif, liée à l'enclenchement, doit être définie comme condition fondamentale de l'exploitation des trains.

Elle est fixée à 600 m maxi. pour la ligne considérée.

De là, sera déterminée une valeur optimale couvrant l'exploitation et manoeuvre de service normal.

Correction de l'accélération et de la décélération dans la section en déclivité :

$$\alpha_c = \alpha_L \pm 0,032 \gamma$$

$\alpha_c$  : Accélération ou décélération corrigée (km/h/sec)

$\alpha_L$  : Accélération ou décélération dans la section de niveau (km/h/sec)

$\gamma$  : Déclivité (‰)

(3) Temps de parcours standard entre stations et entre terminus

Le temps de parcours standard entre stations est déterminé, à partir du temps obtenu de la courbe de marche, en une unité de 10 secondes, tandis que celle-ci est de 15 secondes pour les sections d'exploitation des trains générales.

Le Tableau 2.3 indique le temps de parcours standard par solutions.

(4) Plan d'exploitation des trains

Le plan d'exploitation des trains par solutions est donné au Tableau 2.4.

Tableau 2.4 Plan d'exploitation des trains (Heures de pointe : de 7 à 8 heures du matin)

Année	Solution Niveau de circulation Système	A-1	A-2	A-3	A-4	A-4'	A-5	A-6	B-1	B-1'	B-2	B-3	B-4	B-5
		Aérien		Souterrain/Aérien		Souterrain/ Au sol/Aérien	Aérien		Souterrain/ Aérien	Souterrain/ Au sol/Aérien	Souterrain/ Aérien	Aérien		
		Monorail		Pneus		Roues métalliques	Monorail		Roues métalliques	Pneus	Monorail	Pneus	Roues métalliques	
1993	Trafic (pers./h)	8 591	8 591	8 591	8 591	8 591	8 591	8 591	5 609	5 609	5 609	5 609	5 609	5 609
	Nombre horaire de trains	13	13	13	13	12	12	13	8	8	8	8	8	8
	Nombre horaire de places	4 680	4 680	4 784	4 784	4 608	4 608	4 680	2 880	3 072	2 944	2 880	2 944	3 072
	Coefficient d'utilisation (%)	184	184	180	180	186	186	184	195	183	191	195	191	183
1995	Trafic (pers./h)	8 893	8 893	8 893	8 893	8 893	8 893	8 893	5 734	5 734	5 734	5 734	5 734	5 734
	Nombre horaire de trains	13	13	13	13	12	12	13	9	8	9	9	9	8
	Nombre horaire de places	4 680	4 680	4 784	4 784	4 608	4 608	4 680	3 240	3 072	3 312	3 240	3 312	3 072
	Coefficient d'utilisation (%)	190	190	186	186	193	193	190	177	187	173	177	173	187
2000	Trafic (pers./h)	9 151	9 151	9 151	9 151	9 151	9 151	9 151	5 895	5 895	5 895	5 895	5 895	5 895
	Nombre horaire de trains	13	13	13	13	13	13	13	9	8	9	9	9	8
	Nombre horaire de places	4 680	4 680	4 784	4 784	4 992	4 992	4 680	3 240	3 072	3 312	3 240	3 312	3 072
	Coefficient d'utilisation (%)	195	195	191	191	183	183	195	182	192	178	182	178	192
2005	Trafic (pers./h)	9 419	9 419	9 419	9 419	9 419	9 419	9 419	6 033	6 033	6 033	6 033	6 033	6 033
	Nombre horaire de trains	14	14	14	14	14	14	14	9	9	9	9	9	9
	Nombre horaire de places	5 040	5 040	5 152	5 152	5 376	5 376	5 040	3 240	3 456	3 312	3 240	3 312	3 456
	Coefficient d'utilisation (%)	187	187	183	183	175	175	187	186	175	182	186	182	175

NOTE : Sections les plus utilisées :  
 Tracé A : entre les stations nos. 11 et 12  
 Tracé B : entre les stations nos. 7 et 8

Tableau 2.3 Temps de parcours standard entre stations et entre terminus par systèmes

Station n°	A-1 Monorail		A-2 Monorail		A-3 Pneus		A-4 Roues métalliques		A-4' Roues métalliques		A-5 Roues métalliques		A-6 Monorail		B-1 Monorail		B-1' Roues métalliques		B-2 Pneus		B-3 Monorail		B-4 Pneus		B-5 Roues métalliques			
	km	Des. Mont.	km	Des. Mont.	km	Des. Mont.	km	Des. Mont.	km	Des. Mont.	km	Des. Mont.	km	Des. Mont.	km	Des. Mont.	km	Des. Mont.	km	Des. Mont.	km	Des. Mont.	km	Des. Mont.	km	Des. Mont.	km	Des. Mont.
1																												
2	,6	1:00 1:20	,6	1:10 1:20	,6	1:20 1:20	,6	1:20 1:20	,6	1:20 1:20	,9	1:20 1:40	,9	1:30 1:40	,6	1:10 1:20	,6	1:00 1:20	,6	1:10 1:20	,8	1:20 1:30	,8	1:20 1:30	,8	1:10 1:30	,8	1:10 1:30
3	,5	1:00 1:00	,5	50 50	,5	1:00 1:00	,5	1:00 1:00	,5	1:00 1:00	,8	1:20 1:20	,8	1:20 1:30	,5	50 50	,5	1:00 1:00	,5	50 50	,5	50 50	,5	50 50	,5	50 50	,5	1:00 1:00
4	,5	1:00 50	,4	50 50	,4	50 50	,4	50 50	,5	1:00 1:00	,7	1:20 1:20	,7	1:10 1:10	,4	50 50	,4	50 50	,4	50 50	,7	1:10 1:10	,7	1:20 1:20	,7	1:20 1:20	,7	1:20 1:20
5	,5	1:00 50	,6	1:10 1:10	,6	1:10 1:10	,6	1:00 1:00	,5	1:00 1:00	,5	1:00 1:00	,5	50 50	,4	50 50	,4	50 50	,4	50 50	,5	50 50	,5	50 50	,5	50 50	,5	1:00 1:00
6	,7	1:10 1:10	,7	1:10 1:10	,7	1:10 1:10	,5	1:00 1:00	,6	1:10 1:10	,7	1:10 1:10	,7	1:10 1:10	1,3	1:50 1:50	,5	1:00 1:00	1,3	1:50 2:10	,5	1:10 1:10	,5	1:10 1:10	,5	1:00 1:20	,5	1:10 1:00
7	,5	50 50	,5	50 50	,5	50 50	,7	1:10 1:10	,4	50 50	,5	1:00 1:10	,5	50 50	,7	1:10 1:10	,6	1:10 1:10	,7	1:10 1:10	,7	1:10 1:10	,7	1:10 1:10	,7	1:20 1:20	,7	1:20 1:20
8	,5	50 50	,5	50 50	,5	50 50	,5	50 50	,5	1:00 1:00	,5	1:00 1:00	,5	50 50	,8	1:10 1:10	,9	1:30 1:20	,8	1:10 1:10	,7	1:10 1:10	,7	1:10 1:10	,7	1:10 1:10	,7	1:10 1:10
9	,7	1:10 1:00	,7	1:10 1:00	,7	1:10 1:00	,7	1:10 1:00	1,0	1:20 1:20	,7	1:10 1:10	,7	1:10 1:10	,5	50 1:00	,7	1:10 1:10	,5	50 1:00	,8	1:10 1:10	,8	1:10 1:10	,8	1:10 1:10	,8	1:10 1:10
10	1,0	1:30 1:20	1,0	1:30 1:20	1,0	1:30 1:20	1,0	1:30 1:20	,9	1:20 1:20	1,0	1:30 1:20	1,0	1:30 1:20	,9	1:30 1:20	,6	1:00 1:00	,9	1:30 1:20	,5	50 1:00	,5	50 1:00	,5	1:00 1:00	,5	1:00 1:00
11	,8	1:20 1:10	,8	1:20 1:10	,8	1:20 1:10	,8	1:20 1:10	1,6	2:00 1:50	,8	1:30 1:10	,8	1:20 1:10	,6	1:10 1:00	,9	1:30 1:20	,6	1:10 1:00	,9	1:30 1:20	,9	1:30 1:20	,9	1:30 1:20	,9	1:30 1:20
12	,7	1:00 1:00	,7	1:00 1:00	,7	1:00 1:00	,7	1:00 1:00	1,2	1:50 1:50	,7	1:00 1:10	,7	1:00 1:00	,8	1:20 1:10	,7	1:20 1:10	,8	1:20 1:10	,6	1:10 1:00	,6	1:10 1:00	,6	1:10 1:00	,6	1:10 1:10
13	1,2	1:40 1:40	1,2	1:40 1:40	1,2	1:50 1:50	1,2	1:50 1:50	1,3	1:40 1:40	1,2	1:40 1:40	1,2	1:40 1:40	,8	1:20 1:10	,7	1:10 1:10	,8	1:20 1:10	,8	1:20 1:10	,8	1:20 1:10	,8	1:20 1:10	,8	1:20 1:20
14	1,3	1:30 1:40	1,3	1:30 1:40	1,3	1:30 1:40	1,3	1:30 1:40	,9	1:20 1:20	1,3	1:40 1:40	1,3	1:30 1:40	1,2	1:30 1:30	,8	1:10 1:10	1,2	1:30 1:30	,8	1:20 1:10	,8	1:20 1:10	,8	1:20 1:10	,8	1:20 1:20
15	1,0	1:20 1:20	1,0	1:20 1:20	1,0	1:20 1:20	1,0	1:20 1:20	1,2	1:40 1:40	1,0	1:20 1:20	1,0	1:20 1:20	1,3	1:30 1:30	1,2	1:40 1:30	1,3	1:30 1:30	1,2	1:30 1:30	1,2	1:30 1:30	1,2	1:30 1:30	1,2	1:40 1:40
16	1,2	1:30 1:30	1,2	1:30 1:30	1,2	1:30 1:30	1,2	1:30 1:30	1,3	1:40 1:40	1,2	1:30 1:40	1,2	1:30 1:40	1,2	2:00 1:50	1,3	1:50 1:40	1,2	2:10 2:00	1,3	1:30 1:30	1,3	1:30 1:30	1,3	1:30 1:30	1,3	1:40 1:40
17	1,3	1:30 1:30	1,3	1:30 1:30	1,3	1:30 1:30	1,3	1:30 1:30	1,2	2:10 1:50	1,3	1:30 1:40	1,3	1:30 1:40			1,2	2:00 1:40			1,2	2:00 1:50	1,2	2:10 2:00	1,2	2:10 1:50	1,2	2:10 1:50
18	1,2	2:00 1:50	1,2	2:00 1:50	1,2	2:10 2:00	1,2	2:10 2:00			1,2	2:00 1:40	1,2	2:00 1:50														
Total	14,2	21:20 20:50	14,2	21:20 21:00	14,2	22:00 21:30	14,2	22:00 21:30	14,2	22:10 21:50	15,0	23:20 23:00	15,0	22:20 22:00	12,0	19:00 18:30	12,0	20:10 19:20	12,0	19:30 19:00	12,5	20:00 19:30	12,5	20:30 20:30	12,5	21:10 20:50		
Temps d'arrêt		8:00 8:00		8:00 8:00		8:00 8:00		8:00 8:00		7:30 7:30		8:00 8:00		8:00 8:00		7:00 7:00		7:30 7:30		7:00 7:00		7:30 7:30		7:30 7:30		7:30 7:30		7:30 7:30
Temps de parcours e.t.		29:30 29:00		29:30 29:00		30:00 29:30		30:00 29:00		30:00 29:30		31:30 31:00		30:30 30:00		26:00 25:30		28:00 27:00		28:30 26:00		27:30 27:00		28:00 28:00		29:00 28:30		



(5) Nombre requis de matériels roulants

La Fig. 2.1 montre le nombre requis de matériels roulants par solutions.

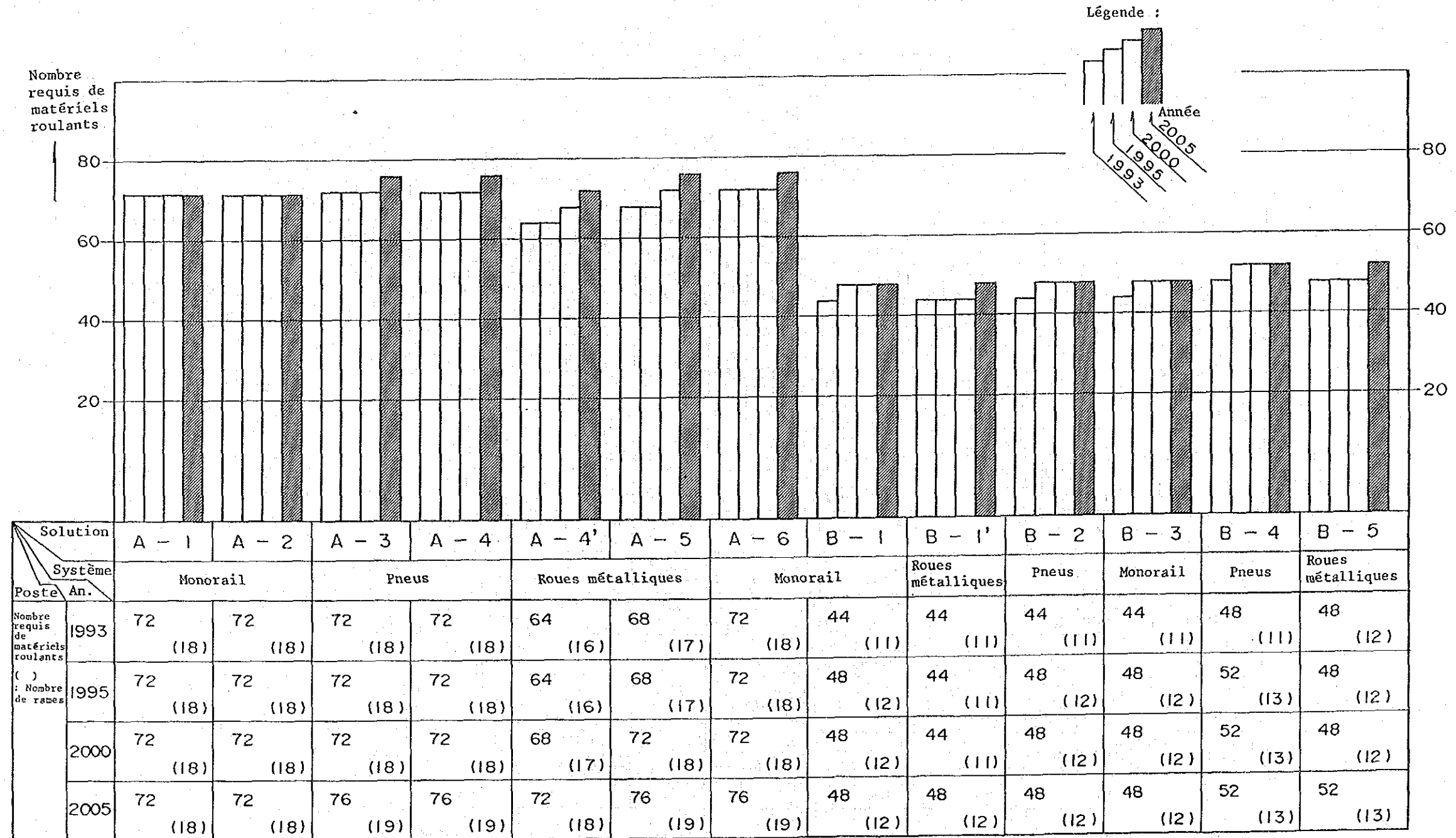


Fig. 2.1 Nombre requis de matériels roulants (par systèmes par années)

## 2.2 Système de sécurité d'exploitation

### (1) Enclenchement électronique

L'enclenchement à relais électrique étant déjà utilisé par l'ONCF, la description générale, avec l'illustration à la Fig. 2.2, portera sur l'enclenchement électronique à nouvellement introduire.

L'enclenchement électronique considéré sera un des éléments constitutifs du système intégré de gestion.

#### Fonctions fondamentales de l'enclenchement électronique

Les fonctions de l'enclenchement électronique, outre celles essentielles communes avec l'enclenchement à relais électrique, sont les suivantes :

##### 1) Poursuite des trains

Jugement sur la justesse de l'information de position des trains, pour améliorer la sûreté et le rendement de commande, avec jugement sur le bon fonctionnement de la détection de position.

##### 2) Fonctions liées à la sûreté de commandes

###### o Retour automatique de voie

Retour automatique de voie suivant la marche des trains ou du matériel roulant.

###### o Jugement automatique sur les manipulations au tableau de commande

Vérification et affichage aux cas d'impossibilité de former un itinéraire due à l'incompatibilité de telle ou telle commande, avec l'itinéraire déjà utilisé ou due à des manipulations erronées.

###### o Protection contre les fausses manoeuvres d'entretien

Affichage CRT des fausses manoeuvres et leur prévention par l'entrée préalable dans le programme d'entretien.

###### o Mise en inactif des aiguillages

Branchement à défaut de changement par l'aiguillage.

###### o Enregistrement des actions et diagnostic des défaillances

### 3) Autres fonctions supplémentaires

L'étude portera sur l'addition des fonctions ci-dessous, utilisant l'ordinateur universel du système homme-machine et de l'ordinateur PRC d'un autre système prévu.

###### o Détermination automatique d'itinéraire

Détermination des itinéraires suivant les numéros de train (numéros de service) pour la circulation en station lors de l'entrée et sortie du dépôt et lors de la manoeuvre du matériel roulant, avec jugement automatique sur leur compatibilité et contrôle de priorité.

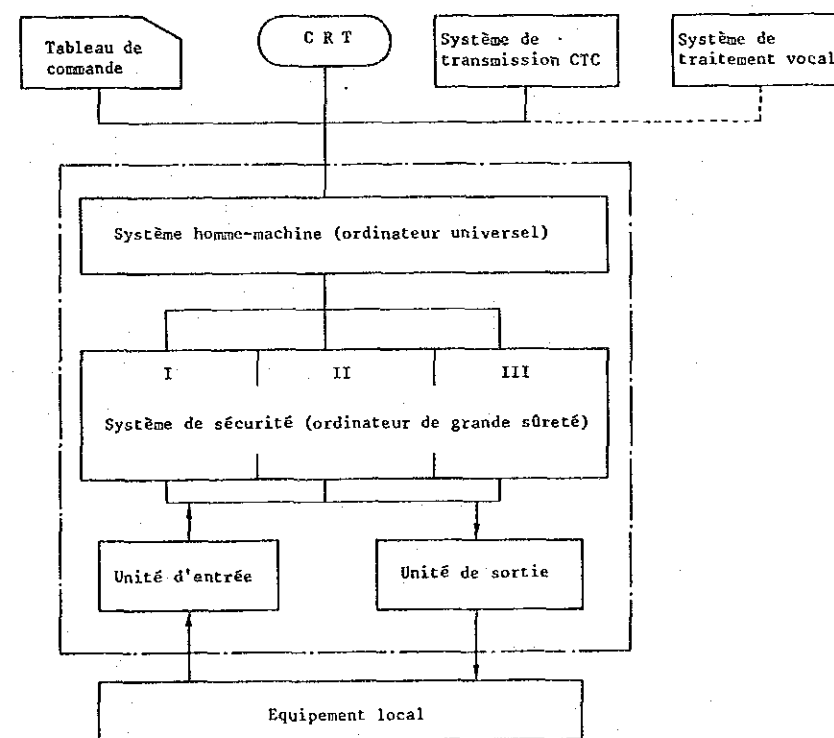


Fig. 2.2 Schéma simplifié du système d'enclenchement électronique

(Ordinateur du système homme-machine : mini-ordinateur)

- o Entrée des informations de commande
- o Conversion des informations de commande en celle d'itinéraire et transfert au système de sécurité
- o Sortie des différentes informations à afficher
- o Information d'entretien et autres fonctions de service

(Ordinateur du système de sécurité : système triple)

- o Entrée des informations locales
- o Traitement d'enclenchement à partir des informations locales et celles provenant du système homme-machine
- o Sortie des commandes pour l'équipement local
- o Poursuite du matériel roulant

(2) Différents systèmes ATS

Ils sont présentés à la Fig. 2.3.

2.3 Système intégré de gestion

Le détail du système est donné au Tableau 2.5.

Les résultats d'étude sur l'ensemble du plan de transport sont récapitulés au Tableau 2.6.

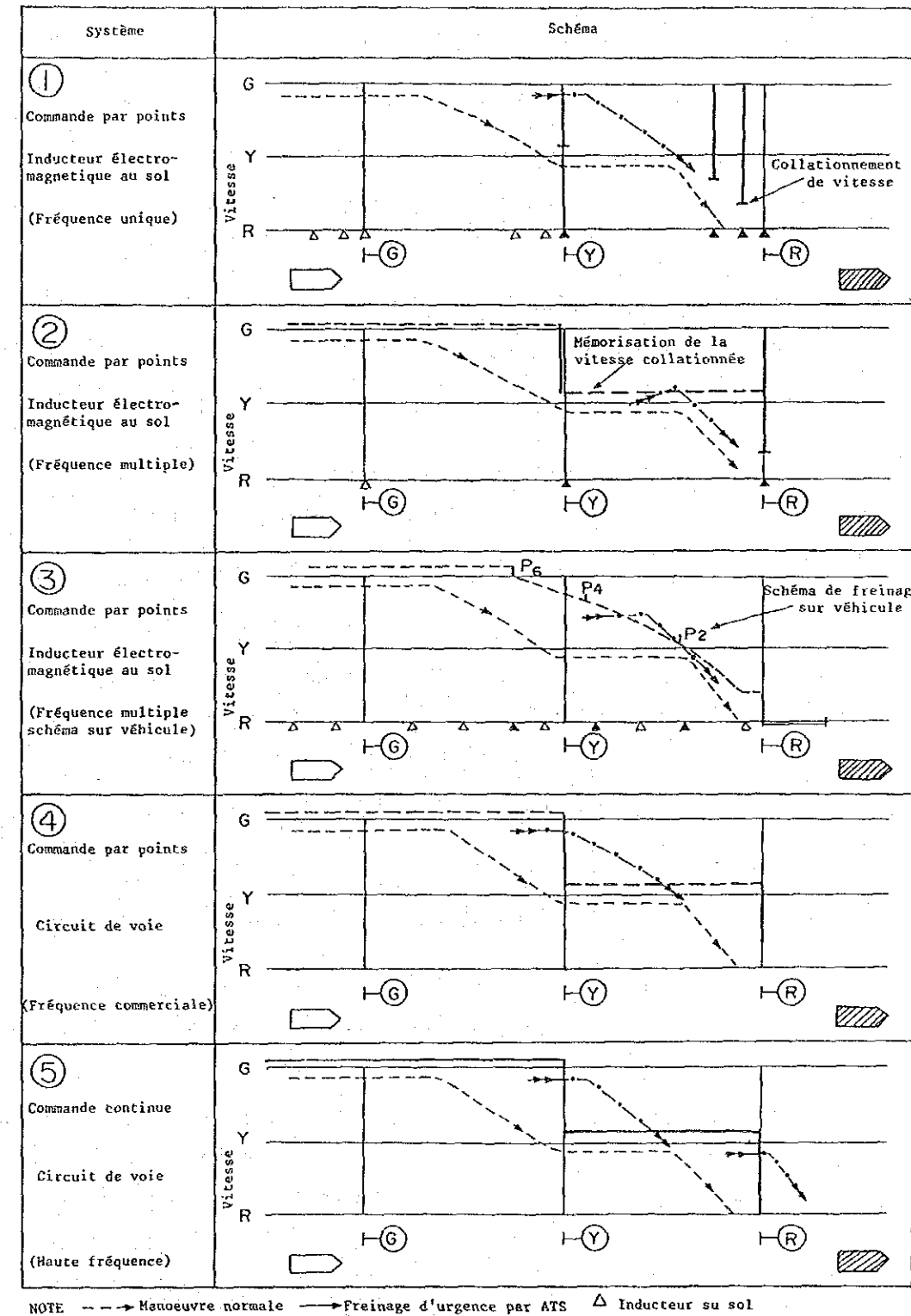


Fig. 2.3 Différents systèmes ATS

Tableau 2.5 Description générale des fonctions du système intégré de gestion (TTC)

Système		Fonctions	Description générale	Remarques
Système de gestion de service	CTC	Collecte et affichage centralisé des différentes informations  Transmission des informations de commande  Sortie pour entrée au PRC des informations d'affichage et de commande	Transmission cyclique et affichage centralisé des informations de position des trains, d'itinéraire et des équipements de protection contre les accidents  Transmission et contrôle des commandes à la main d'itinéraire, de freinage des trains et de commutation automatique-manuel.  Sortie des différentes informations d'entrée au PRC, telles que numéro et position des trains	Le système de transmission CTC constitue la base de tous les réseaux.
	PRC	Poursuite des trains  Commande d'itinéraire automatique  Jugement sur le bon ordre et la priorité des trains  Contrôle de départ  Traitement statistique des données d'exploitation des trains	Poursuite des trains au moyen de leur numéro et position, sortie des indications de déplacement pour l'affichage centralisé sur le tableau d'affichage CTC  Sortie automatique des commandes d'itinéraire, d'après les informations du graphique de marche, à l'approche et au départ de la station des trains  Sortie du jugement de priorité et de l'indication d'alarme aux cas de retard des trains ou l'incompatibilité de leur itinéraire  Sortie des commandes pour signal de départ, à partir de l'heure de départ du premier train et de la position du train précédent  Traitement en agrégat des données, telles que kilométrage parcouru et temps de retard des trains, et sortie sur imprimante au besoin	Affichage de la proposition par CRT à laquelle le personnel de commandement donne suite par la manipulation d'approbation.
Système de gestion du matériel roulant		Contrôle et traitement de mise en oeuvre du matériel roulant  Traitement statistique des données de kilométrage parcouru du matériel roulant  Gestion des historiques de visite et réparation du matériel roulant  Gestion des voies dans le garage-atelier	Etablissement du plan de mise en oeuvre journalière du matériel roulant, traitement des données réelles et sortie sur imprimante  Traitement en agrégat du kilométrage parcouru par matériels roulants et sortie sur imprimante  Sortie sur imprimante des historiques du matériel roulant, établis à partir des données de kilométrage parcouru, de visite et réparation, etc.  Sortie des données relatives à l'ordre d'entrée/sortie du dépôt et au programme de stationnement du matériel roulant, d'après les données traitées en matière de mise en oeuvre, d'historique de visite et réparation, etc.	Cette fonction couvre l'interface entre l'enclenchement électronique et l'ordinateur universel
Système de gestion d'électricité et de signalisation		Surveillance à distance et commande à main  Commande automatique des équipements de puissance  Traitement de réparation des pannes et de rétablissement d'alimentation  Traitement statique des données de puissance	Affichage, sur le tableau de commande de secteur, de l'état des équipements de puissance de la sous-station et sortie au besoin des commandes d'arrêt-marche des équipements  Sortie des commandes automatiques des équipements de puissance suivant le schéma de commande journalier des équipements  Traitement automatique des incidents et du rétablissement d'alimentation suivant la procédure concernée préalablement établie  Traitement en agrégat de la puissance et d'autres données	Y compris la surveillance centralisée de l'état de transmission d'onde signal, etc.
Système de gestion d'administration		Gestion des données des affaires de station  Transmission des données des affaires administratives	Traitement en agrégat des voyageurs et recettes de toute la ligne, à partir des entrées faites à la station sur le nombre de billets vendus, etc.  Transmission des différentes instructions et informations	Traitement centralisé des données du distributeur de billets installé à chaque station

Tableau 2.6 Plan de transport

Solution		A-1	A-2	A-3	A-4	A-4'	A-5	A-6	B-1	B-1'	B-2	B-3	B-4	B-5	
Niveau de circulation		Monorail		Pneus		Roues métalliques		Monorail		Roues métalliques	Pneus	Monorail	Pneus	Roues métalliques	
Facteur															
Kilomètre exploité ( ) : Souterrain		14,2	(1,9) 14,2	(1,9) 14,2	(3,3) 14,2	(6,8) 14,2	15,0	15,0	(2,6) 12,0	(3,7) 12,0	(2,6) 12,0	12,5	12,5	12,5	
Nombre de stations		18	18	18	18	17	18	18	16	17	16	17	17	17	
Temps de parcours (mn : sec)		n°1→	29:30	29:30	30:00	30:00	30:00	31:30	30:30	26:00	28:00	26:30	27:30	28:00	29:00
		n°2←	29:00	29:00	29:30	29:30	29:30	31:00	30:00	25:30	27:00	26:00	27:00	28:00	28:30
Nombre horaire de trains aux heures de pointe (de 7 à 8 heures du matin) ( ) : Intervalle de service		1993	13(4:40)	13(4:40)	13(4:40)	13(4:40)	12(5:00)	12(5:00)	13(4:40)	8(7:30) 9(6:40)	8(7:30)	8(7:30) 9(6:40)	8(7:30) 9(6:40)	8(7:30) 9(6:40)	8(7:30)
		1995	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
		2000	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
		2005	14(4:20)	14(4:20)	14(4:20)	14(4:20)	14(4:20)	14(4:20)	14(4:20)	"	9(6:40)	"	"	"	9(6:40)
Coefficient d'utilisation (%)		1993	184	184	180	180	186	186	184	195	183	191	195	191	183
		1995	190	190	186	186	193	193	190	177	187	173	177	173	187
		2000	195	195	191	191	183	183	195	182	192	178	182	178	192
		2005	187	187	183	183	175	175	187	186	175	182	186	182	175
Nombre requis de matériels roulants ( ) : Nombre de rames		1993	156	156	156	156	152	152	156	124	124	124	124	124	124
		1995	164	164	158	158	152	152	164	126	124	126	126	126	124
		2000	166	166	164	164	160	160	166	126	124	126	126	126	124
		2005	178	178	178	178	176	176	178	128	128	128	128	128	128
Nombre total de trains (Total des montants et descendants) par jour		1993	72 (16+2=18)	72 (16+2=18)	72 (16+2=18)	72 (16+2=18)	64 (14+2=16)	68 (15+2=17)	72 (16+2=18)	44 (9+2=11)	44 (9+2=11)	44 (9+2=11)	44 (9+2=11)	48 (10+2=12)	48 (10+2=12)
		1995	"	"	"	"	"	"	"	48 (10+2=12)	"	48 (10+2=12)	48 (10+2=12)	52 (11+2=13)	"
		2000	"	"	"	"	68 (15+2=17)	72 (16+2=18)	"	"	"	"	"	"	"
		2005	"	"	76 (17+2=19)	76 (17+2=19)	72 (16+2=18)	76 (17+2=19)	76 (17+2=19)	"	48 (10+2=12)	"	"	"	52 (11+2=13)

(Référence)

Solution		A-4"	B-1 + Ligne secondaire	B-5 + Ligne secondaire
		Roies métalliques	Monorail	Roies métalliques
Kilomètre exploité (km) ( ) : Souterrain		(7,6) 14,2	(2,6) 12,0 + 3,1 = 15,1	12,5 + 3,1 = 15,6
Nombre de stations		18	(16 + 3) = 19	(17 + 3) = 20
Temps de parcours (mn : sec)	n° 1 →	30:30	26:00 (6:30)	29:30 (6:30)
	n° 2 ←	30:30	25:30 (6:30)	28:30 (6:30)
Nombre horaire de trains aux heures de pointe (de 7 à 8 heures du matin)  ( ) : Intervalle de service	1993	12 (5:00)	L.P. L.S. 10 3 (6:00) (20:00)	L.P. L.S. 9 3 (6:40) (20:00)
	1995	"	10 3 (6:00) (20:00)	9 3 (6:40) (20:00)
	2000	13 (4:40)	11 3 (5:30) (20:00)	10 3 (6:00) (20:00)
	2005	14 (4:20)	11 4 (5:30) (15:00)	11 3 (5:30) (20:00)
Coefficient d'utilisation aux heures de pointe (%)	1993	186	171 160	179 150
	1995	193	176 165	184 155
	2000	183	172 178	177 167
	2005	175	183 143	172 179
Nombre requis de matériels roulants  ( ) : Nombre de rames	1993	68 (15+2 = 17)	52 8 (11+2=13) (2)	52 8 (11+2=13) (2)
	1995	"	" "	" "
	2000	72 (16+2 = 18)	56 8 (12+2=14) (2)	56 8 (12+2=14) (2)
	2005	76 (17+2 = 19)	"	60 8 (13+2=15) (2)
Nombre total de trains (Total des montants et descendants) par jour	1993	152	144 72	142 72
	1995	152	144 72	142 72
	2000	160	150 72	144 72
	2005	176	150 74	148 72



### 3. PLAN DES STATIONS

Localisation des stations (Distance moyenne entre stations)

La distance convenable moyenne entre deux stations pour le système de transport urbain est de l'ordre de 1 000 m. On en indique quelques exemples réels au Japon et dans le monde.

Tableau 3.1 Distance moyenne entre stations du système de transport urbain au Japon.

Item.	Nom de ligne	Longueur (km)	Nombre de stations	Distance moyenne entre stations (m)
<b>METRO SOUTERRAIN</b>				
Métro Eidan	Ligne Ginza	14,3	18	841
Métro régie par la ville de Tokyo	Ligne Asakusa	18,3	20	963
Métro à Nagoya	Ligne Higashiyama	7,5	22	833
Métro à la ville d'Osaka	Ligne N° 1	19,5	17	1 219
Métro à la ville de Kobe	Ligne Nishigami-Yamanote	19,0	8	1 429
<b>SUR PNEUMATIQUE</b>				
Métro à la ville de Sapporo	Ligne Nanboku	14,3	16	953
<b>MONORAIL</b>				
ville de Kitakyushyu	Ligne Kokura	8,4	12	764
<b>TRAMWAY</b>				
Hiroshima Dentetsu	Ligne Miyazima	16,1	17	1 006
			Moyen	1 001 (m)

Tableau 3.2 Distance moyenne entre stations du système de transport urbain dans le monde.

Nom de ville	Nom de Compagnie	Longueur (km)	Nombre de stations	Distance moyenne entre stations (m)
Londres	Régie de transport	387,9	248	1 564
Paris	Régie autonome des transports parisiens	190,8	359	531
Stockholm	Régie de transport	103,6	94	1 102
Berlin de l'Ouest	Régie de transport	100,9	111	909
Madrid	Compagnie de Métro souterrain	94,5	133	711
Moscou	Métro souterrain	184,0	115	1 600
New-York	Régie de transport	371,1	458	810
Mexico	Régie de transport de masse	78,3	80	879
			Moyenne	1 026 m





#### 4. PLAN D'EQUIPEMENT ELECTRIQUE

##### 4.1 Calcul de la chute de tension

###### 4.1.1 Préalables

Mode d'alimentation : Alimentation parallèle en courant continu :  
1 500 V  
Puissance : 235 MVA  
Redresseur : 2 000 kW avec taux de fluctuation de tension de 6 %  
Tension de charge totale : 1 500 V  
1 ou 2 redresseurs

Type de ligne de contact :

- Pour le tronçon souterrain :
  - à double ligne rigide :
    - Trolley : GT 170 mm<sup>2</sup>
    - Support : Al en T, 2 100 mm<sup>2</sup>
  - Pour la section au sol :
    - à caténaire simple :
      - Trolley : GT 170 mm<sup>2</sup>
      - Messenger : St 90 mm<sup>2</sup>
      - Feeder : Al 510 mm<sup>2</sup>

Système d'alimentation : Voir la Figure 4.1

Intervalle des trains : 2 km, supposant 4 min. "head".

Surcharge du train : Intensité du démarrage maxi : 1 350 A  
Intensité à la croisière : 675 A  
A supposer que les lignes aller et retour soient symétriques et qu'un train soit au démarrage et le suivant soit en marche à croisière, ainsi de suite.

Rail : rail de 50 kg, à tenir compte d'un courant de fuite de 30 %.

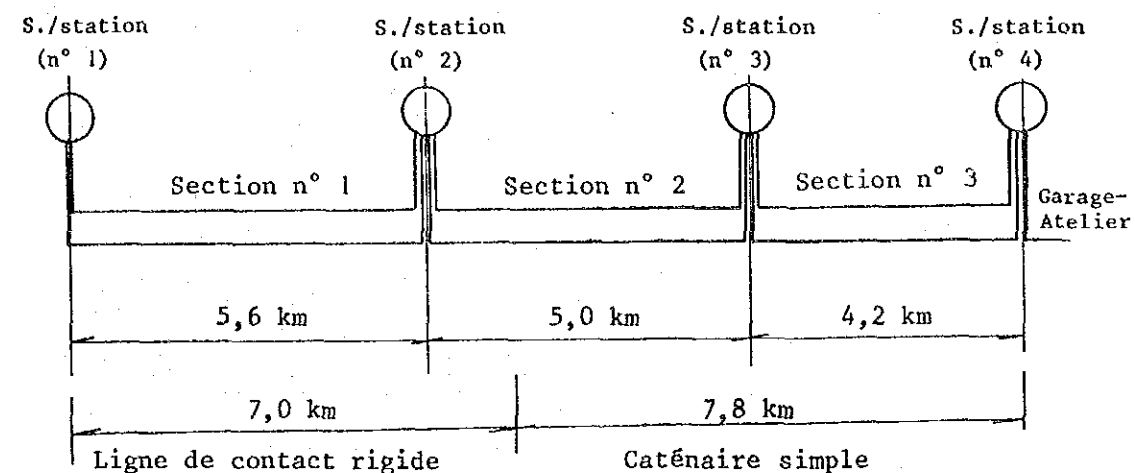


Fig. 4.1 Plan du système d'alimentation

###### 4.1.2 Résistances

Source d'alimentation : 0,00957Ω  
Redresseur : avec 1 redresseur : 0,06750Ω  
avec 2 redresseurs : 0,03375Ω  
Résistance du rail : Cas de la ligne rigide : 0,0270Ω/km  
Cas du caténaire simple : 0,0556Ω/km

###### 4.1.3 Conditions de charge

- 1) Normal : d'après les Figures 4.2, 4.3 et 4.4
- 2) Anormal : d'après les Figures 4.5, 4.6, 4.7 et 4.8

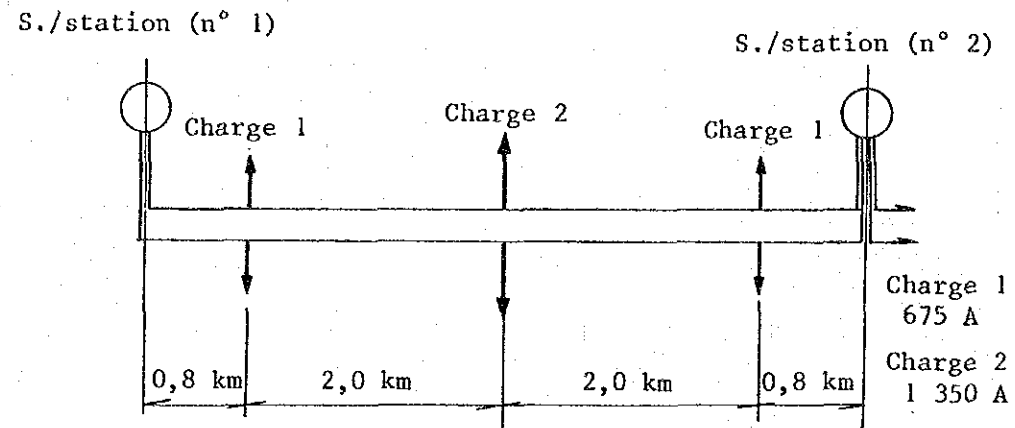


Fig. 4.2 Condition de charge pour la section n° 1 normale

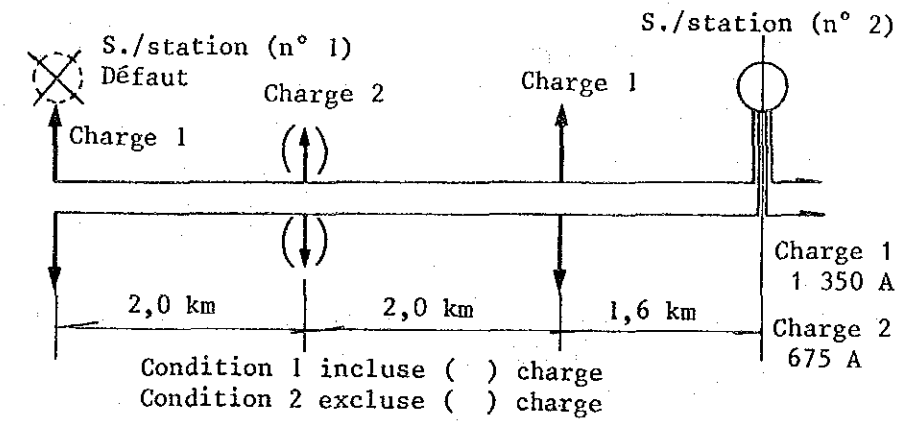


Fig. 4.5 Section 1 en cas de défaut

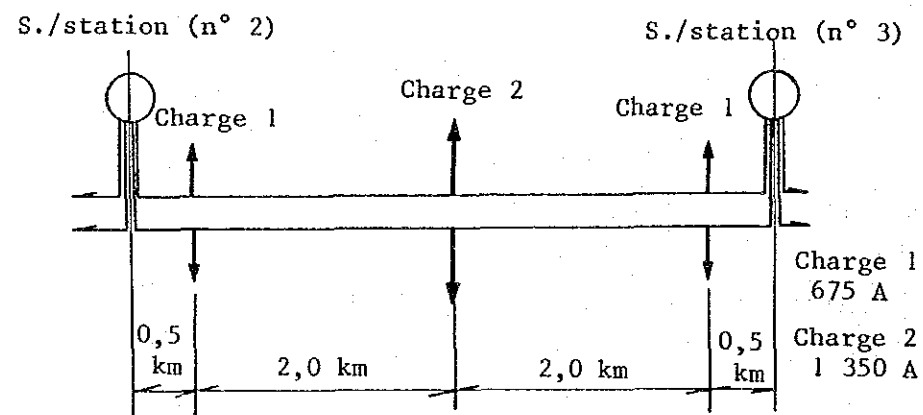


Fig. 4.3 Condition de charge pour la section n° 2 normale

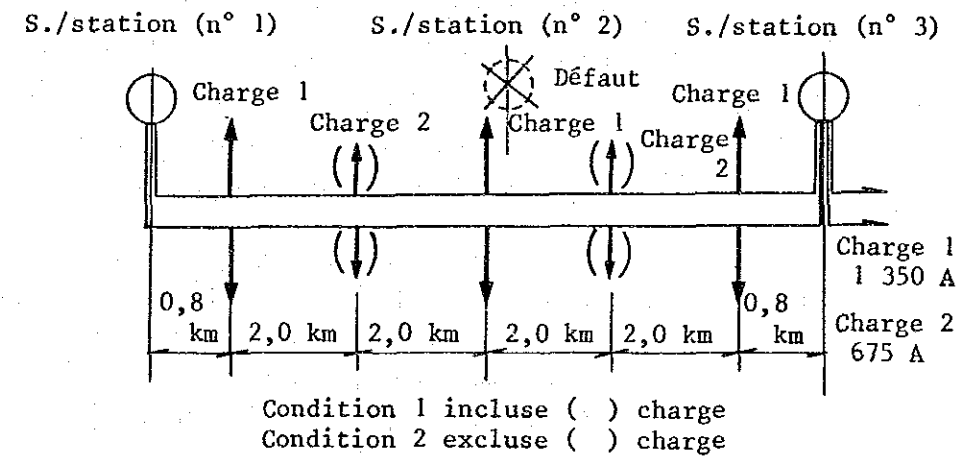


Fig. 4.6 Sections 1 et 2 en cas de défaut

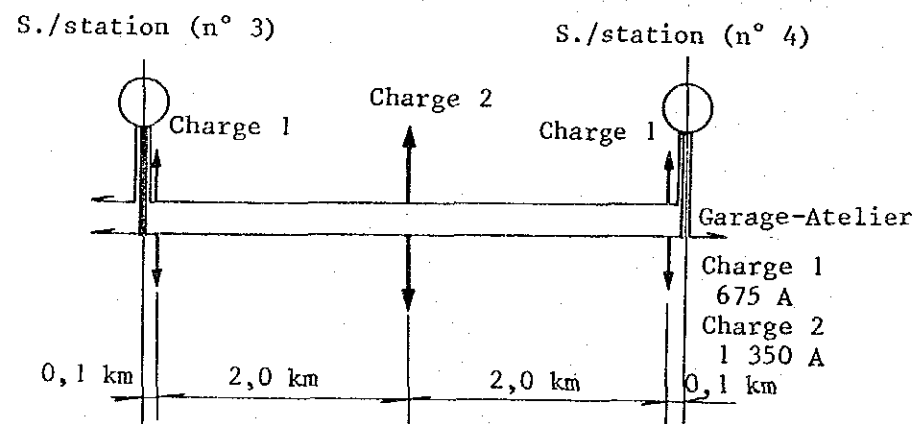


Fig. 4.4 Condition de charge pour la section n° 3 normale

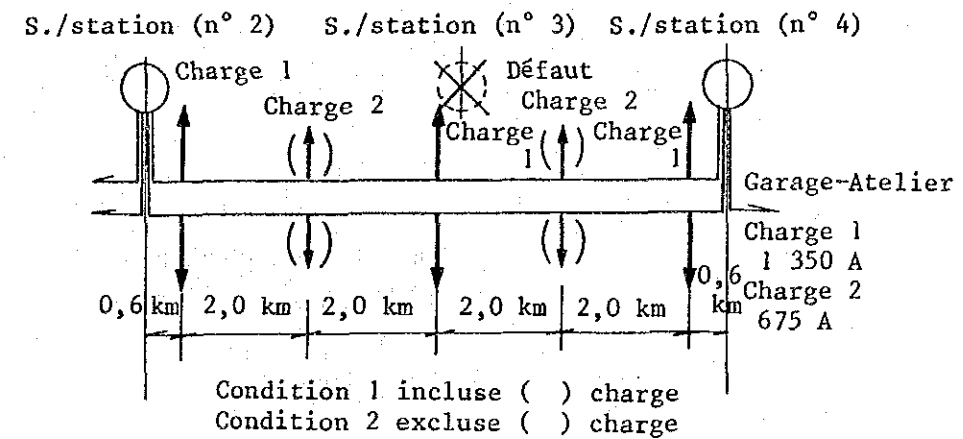


Fig. 4.7 Sections 2 et 3 en cas de défaut

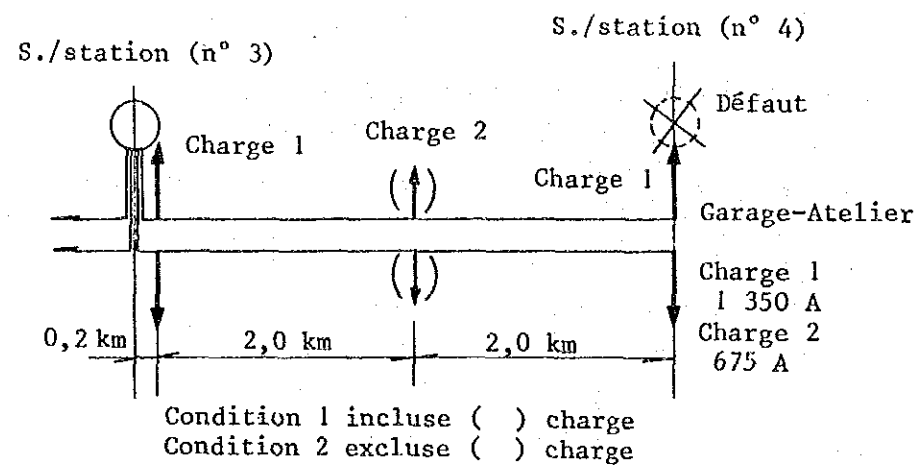


Fig. 4.8 Section 4 en cas de défaut

#### 4.1.4 Résultats des calculs

Les résultats du calcul des tensions minimales aux fils d'alimentation sont indiqués à Tableau 4.1.

Tableau 4.1 Tensions minimales à la ligne d'alimentation en V

Conditions	Normale SR x 1	Chute au SS1 SR x 2		Chute au SS2 SR x 2	
		Condition 1	Condition 2	Condition 1	Condition 2
Section 1	1225	Insuffisant (880)	1004	Insuffisant (983)	1066
Section 2	1190				
Section 3	1210				

Conditions	Chute au SS3 SR x 2		Chute au SS4 SR x 2	
	Condition 1	Condition 2	Condition 1	Condition 2
Section 1				
Section 2	Insuffisant (972)	1121		
Section 3			Insuffisant (925)	1068

#### 4.1.5 Conclusion

On pourra résumer les résultats comme suit :

- (1) A la marche normale, il ne se pose pas de problème lié à la chute de tension sur aucun des sections considérées.
- (2) En cas d'anomalie, il s'impose une limitation à la charge même avec 2 redresseurs en fonctionnement. Cependant cette limitation pourrait être faible pour la marche, si l'on se rappelle que les conditions de charge théoriquement adoptées constituent déjà d'assez lourdes contraintes.

## 4.2 Calcul de la capacité du redresseur

### 4.2.1 Préalables

Le calcul porte sur la capacité du redresseur A4' en principe, mais sur les 6 autres solutions également, à titre informatif.

#### (1) Taux de consommation d'énergie

Roues métalliques : 86 kWh/1 000 t - km

Monorail, pneumatique : 132 kWh/1 000 t - km

#### (2) Intervalle des trains

Tracé A : 4 mn.

Tracé B : 6 mn.

#### (3) Poids du matériel roulant (par rame)

Roues métalliques : 148 t (taux d'occupation de passagers : 175 %)

Monorail : 143 t (taux d'occupation de passagers : 187 %)

Pneumatique : 134 t (taux d'occupation de passagers : 183 %)

### 4.2.2 Energie consommée pendant une heure de pointe

#### (1) Maximum moyenne :

$Pt$  (kW) = Distance d'alimentation standard x 60 mn/intervalle des trains (mn) x 2 x poids par rame (1 000 t) x taux de consommation (kWh/1 000 - t km)

#### (2) Maximum instantané

$Z$  (kW) =  $Pt + C\sqrt{Pt}$  (formule expérimentale au Japon)

$C = 1,7\sqrt{Im}$

$Im$  = intensité maxi. par train

Roues métalliques : 1 350 A

Monorail et pneumatique : 1 500 A

### 4.2.3 Résultats

Le Tableau 4.2 reprend les résultats des calculs faits dans l'hypothèse que la distance d'alimentation standard à partir de la sous-station soit de 5,3 km pour A4' (s/s.n° 2), 5 km pour les autres sections du tracé A et de 6 km pour le tracé B.

Nota : Le redresseur a été supposé conforme au régime de surcharge japonais, soit de 300 % pendant 1 minute.

### 4.2.4 Conclusion

Pour la capacité du redresseur pris en compte, il sera retenu une valeur plus élevée que le maximum moyen pendant une heure et plus haut que le maximum instantané divisé par 2,5 (division faite, pour la marge de sécurité, sur le régime de surcharge de 300 %).

Les résultats obtenus en alignant les valeurs ainsi calculées sur les valeurs supérieures les plus proches sont donnés à Tableau 4.2.

Tableau 4.2 Capacité du redresseur en kW

	A 4'	A 2	A 4	A 6	B 1	B 1'	B 5
Maximum horaire	1 873	2 680	2 512	2 831	2 265	1 510	1 573
Maximum instantané	4 610	5 913	5 812	6 334	5 398	3 937	4 050
Capacité du redresseur	2 000	3 000	3 000	3 000	2 500	2 000	2 000

### 4.3 Influence sur la source d'alimentation

#### 4.3.1 Calcul du taux de fluctuation de tension

La consommation maximale d'énergie (instantanée) se situe à 4 610 kW pour la s/s n° 2 de la solution A4'. Le facteur de puissance étant supposé à 0,9, on a :

$$PL = 4\ 610 / 0,9 (\cos \theta) = 5\ 122 \text{ kVA}$$

mettant  $\Delta V$  le taux de chute de tension, on a :

$$\Delta V = PL/PS \times \sin \theta = 0,0095 (= \pm 1 \%)$$

où  $P_s$  : Puissance de court-circuit de la source : 235 MVA

D'où on obtient le maximum du taux de chute de tension qui se situe à plus ou moins 1 %.

Or, le taux de fluctuation ne pose pas de problème puisqu'il est toujours plus faible que le taux de chute de tension.

#### 4.3.2 Calcul de l'harmonique

On procède ci-après à l'estimation de l'harmonique par rapport à la source d'alimentation.

##### (1) Préalables

De même que supposé à 4.3.1, on adopte :

$$\text{Puissance maxi. } P_1 = 5\ 122 \text{ kVA}$$

Or, l'intensité de l'onde de base est donnée par :

$$I_1 = 5\ 122 \text{ kVA} / 20 \text{ kV} / \sqrt{3} = 147,9 \text{ A}$$

L'intensité des harmoniques compris dans l'onde de base varie largement suivant les conditions, on l'a calculé en supposant que le redresseur ait une réactance de dispersion de 10 %.

##### (2) Formules de calcul

1) L'impédance à la source vis-à-vis de l'onde de base ( $X_o$ ) est :

$$X_o = V^2 / P_s = (20 \text{ kV})^2 / 235 \text{ MVA} = 1,702 \ \Omega$$

où  $V$  : tension d'alimentation

##### 2) Distorsion de tension à chaque impulsion ( $\Delta V_i$ )

$$\Delta V_i = \frac{i \times X_o \times I_i}{V}$$

où  $i$  : nombre d'impulsions de l'harmonique  
 $I_i$  : intensités de l'harmonique primaire

##### 3) Torsion totale de tension ( $\Sigma \Delta V$ )

$$\Sigma \Delta V = \sqrt{\Sigma \Delta V_i^2}$$

Les calculs seront faits sur des nombres d'impulsions de redressement de 6, 12 et 24 phases.

##### (3) Résultats des calculs

Le Tableau 4.3 indique les valeurs calculées de la teneur de chaque étage d'harmonique vis-à-vis de l'onde de base, l'intensité de chaque courant harmonique et du taux de torsion.

##### (4) Conclusion

20 kV, 235 MVA sont des valeurs sous-estimées en tant que source d'alimentation ferroviaire. De ce fait, comme l'indiquent les résultats ci-haut, le taux de torsion à 6 phases dépasse la norme japonaise, également pour l'intensité du courant, il la dépasse non seulement à 6 phases, mais aussi à 12 phases.

Par conséquent, un étage de 24 phases ou plus est nécessaire dans le cas d'emploi de la même source sans mesures contre l'harmonique. Cependant, un redressement à 24 phases étant difficilement conduit avec un seul jeu de redresseurs, la complexité introduite dans les connexions du transformateur, etc., rend cette solution onéreuse.

Par conséquent, pour le présent TCR le redresseur à 12 phases sera accompagné de mesures contre l'harmonique.

Par ailleurs, les valeurs de référence retenues pour les calculs ayant été reprises des normes japonaises, les calculs sur les équipements réels seront précédés de la consultation avec la

R.A.D. en ce qui concerne les valeurs de référence et les modes de calcul, etc. à adopter.

Tableau 4.3 Estimation des harmoniques

		Nombre d'impulsions de l'harmonique								Synthèse
		5e	7e	11e	13e	17e	19e	23e	25e	
6 phases	Teneur	17,5%	11,0	4,5	3,0	1,5	1,25	0,75	0,75	-
	Intensité à chaque impulsion	Δ 25,86A	Δ 16,20	Δ 6,66	Δ 4,43	Δ 2,22	Δ 1,84	1,11	1,11	-
	Taux de distorsion	Δ 1,10%	0,97	0,62	0,49	0,32	0,30	0,23	0,23	1,88
12 phases	Teneur	2,0%	1,5	4,5	3,0	0,2	0,15	0,75	0,75	-
	Intensité à chaque impulsion	2,96A	2,21	Δ 6,66	Δ 4,43	0,30	0,22	1,11	1,11	-
	Taux de distorsion	0,13%	0,13	0,62	0,55	0,04	0,03	0,23	0,23	0,91
24 phases	Teneur	2,0%	1,5	1,0	0,75	0,2	0,15	0,75	0,75	-
	Intensité à chaque impulsion	2,96A	2,21	1,48	1,11	0,30	0,22	1,11	1,11	-
	Taux de distorsion	0,13%	0,13	0,13	0,13	0,04	0,03	0,23	0,23	0,42

Nota : Les chiffres avec triangle sont ceux dépassant les paliers japonais.

#### 4.4 Installations de signalisation et de protection

##### 4.4.1 Généralités

En vue d'introduire un TCR dans la ville de Casablanca, on procède à l'étude des installations de signalisation et de protection conformes au programme de transport (présent document, chapitre 10.2), nécessaires à l'exécution des fonctions de transport ferroviaire avec sécurité, assurance et rapidité.

Les systèmes de transport pour lesquels les installations de signalisation et de protection sont à étudier sont :

1. Système de chemin de fer à roues métalliques
2. Système de chemin de fer sur pneumatique
3. Système de monorail

Les installations de signalisation et de protection correspondant aux systèmes ci-dessus sont :

1. Dispositif de détection du train : Cas du monorail et du train sur pneus
2. Dispositif de signalisation : Commun à tous les systèmes
3. Dispositif d'enclenchement : Commun à tous les systèmes
4. Circuit de voie : Cas du train à roues métalliques
5. Dispositif de régulation automatique du train : Monorail et train sur pneus
6. ATC (arrêt automatique du train) : Commun à tous les systèmes
7. Dispositif de manoeuvre des aiguilles : Commun à tous les systèmes
8. Dispositif de régulation centralisée du train : Commun à tous les systèmes
9. Installation de protection au passage à niveau : Cas du train à roues métalliques
10. Installation d'alimentation : Commune à tous les systèmes
11. La ligne de contact : Commune à tous les systèmes

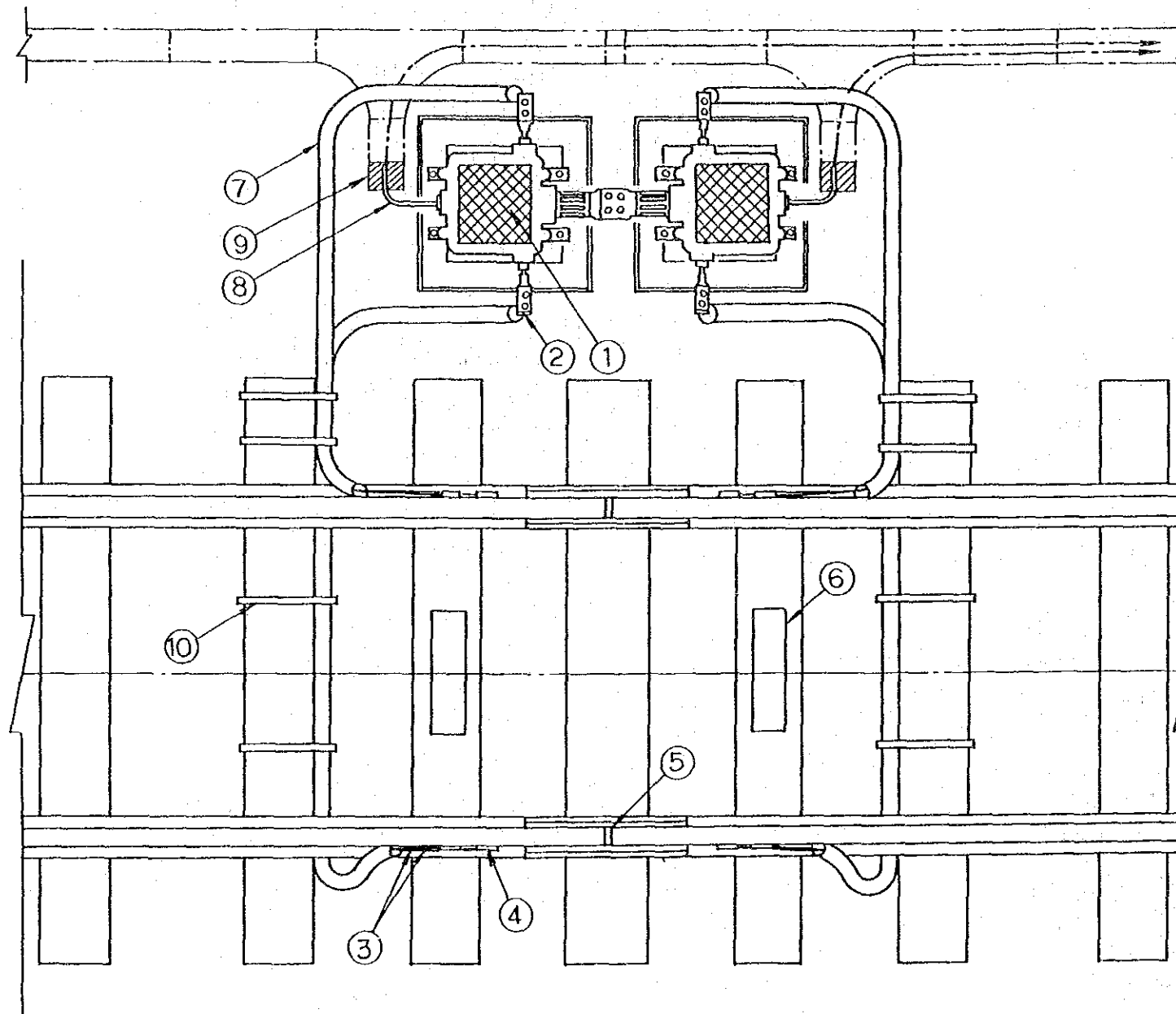
##### 4.4.2 Système de protection de la circulation des trains

###### (1) Cantonnement

Le cantonnement à court-circuitage de la voie n'étant pas possible pour le monorail et pour le chemin de fer sur pneus, il est prévu pour ceux-ci le cantonnement fondé sur le comptage d'entrées et de sorties (check-in, check-out) détectant le déplacement des trains émettant le signal que capte la station au sol.

Dans le cas du chemin de fer sur roues métalliques, pour lequel les essieux servent du moyen de court-circuitage continu du circuit de voie, constituant ainsi le cantonnement automatique pour détection de la présence et du déplacement du train.

La Figure 4.13 représente le couplage inductif à installer sur les bornes des circuits de voie.



n°	Désignation
①	Couplage inductif
②	Bornier du couplage inductif
③	Conducteur du couplage inductif
④	Couplage d'amenée et d'arrivée du courant pour le rail
⑤	Isolateur des rails
⑥	Plaquette signalétique du circuit de voie
⑦	Tube souple (grand $\phi$ )
⑧	Tube souple (petit $\phi$ )
⑨	Mortier
⑩	Feuillard inox.

Fig. 4.13 Couplage inductif installé



## (2) Système de signalisation

Le système de signalisation à bord sera adopté pour le monorail et le train sur pneumatique.

Comparé au système de signalisation au sol, le système de signalisation à bord présente les avantages énumérés ci-après, sous réserve de précautions particulières de conception liées notamment à l'amélioration de la fiabilité, car ce système emploie des appareils électroniques :

1. Libre des intempéries (brouillard dense ...), de la courbure de la voie, de la rampe escarpée, ou d'autres obstacles se trouvant autour de la voie à l'indication des signaux, permettant ainsi la confirmation à toutes conditions les indications.
2. Pas de possibilité de se tromper avec d'autres panneaux - signaux, comme c'est le cas avec la signalisation au sol.
3. Possibilité d'établir un canton respectant fidèlement le calcul fait à cet effet, sans se soucier de la visibilité de l'indication, comme c'est le cas de la signalisation au sol lorsque le même calcul est exécuté.
4. Avantages au point de vue entretien et protection, en raison de la possibilité de la mise en place concentrée des parties principales des équipements au sol. Quant à l'adoption du système de signalisation à bord utilisant des appareils électroniques, les avantages ne se bornent pas à la comparaison avec l'autre système, mais la facilité d'addition du système ATC rend ce système de loin supérieur.

Dans le cas du système à roues métalliques, la signalisation sera le système au sol.

Ce système est marqué par des références riches et offre une fiabilité très grande ; avec addition de signaux calculés entre les stations, on peut aisément augmenter le nombre de

cantons, ce qui fait que le système de signalisation au sol est un système adapté à la circulation de débit élevé.

Cependant, la décision du nombre de cantons et des emplacements des dispositifs de signalisation de cantonnement est à prendre en tenant compte des conditions de voie et de la situation des circulations, etc.

En ce qui concerne la section souterraine, la Figure 4.9 représente les signaux d'enceinte et de départ, la Figure 4.10 le signal de cantonnement, la Figure 4.11 le signal de triage. La Figure 4.12 représente le signal de triage et l'indicateur de direction lumineux pour la section au sol.

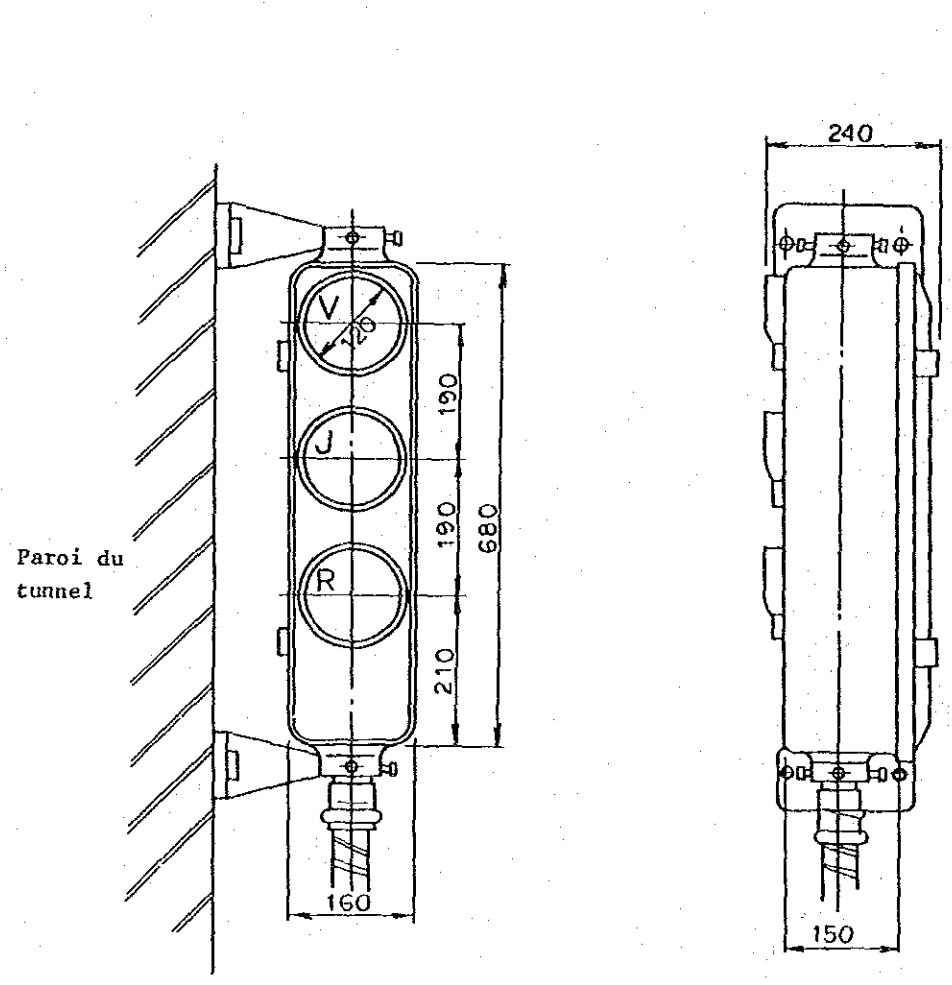


Fig. 4.9 Signal d'enceinte et de départ pour la section souterraine

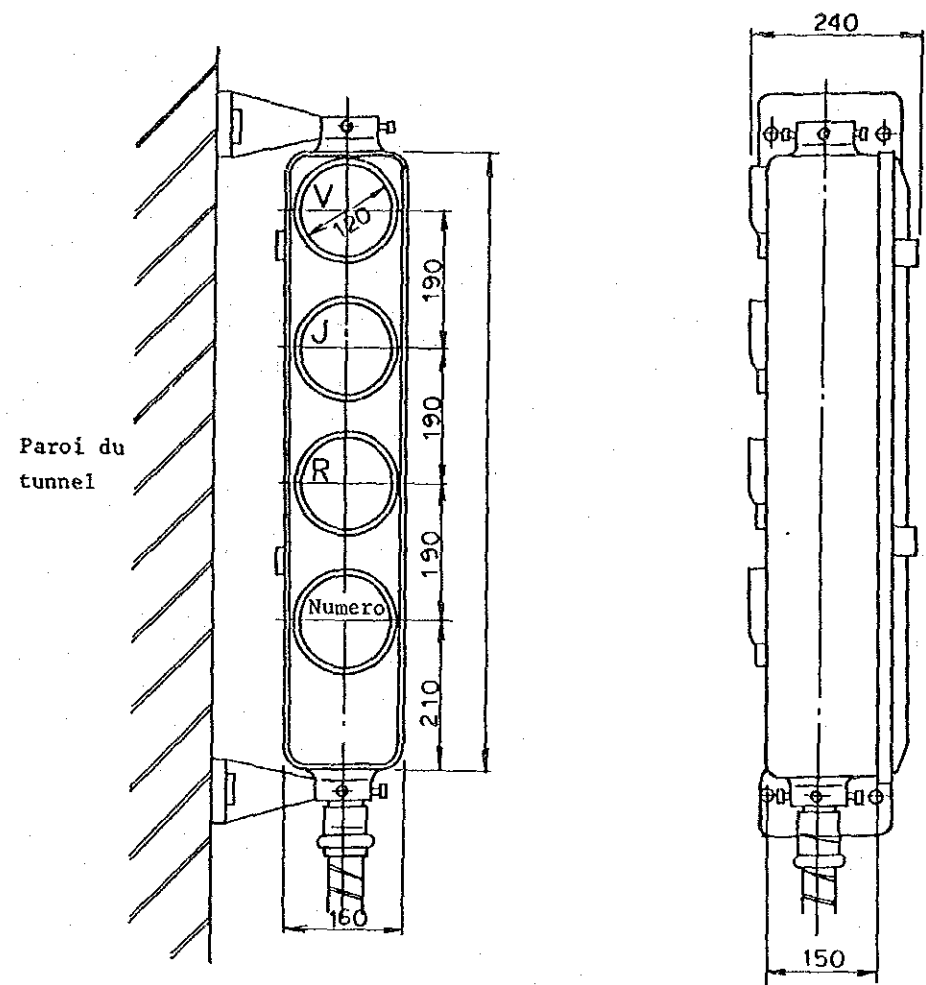


Fig. 4.10 Signal de cantonnement pour la section souterraine

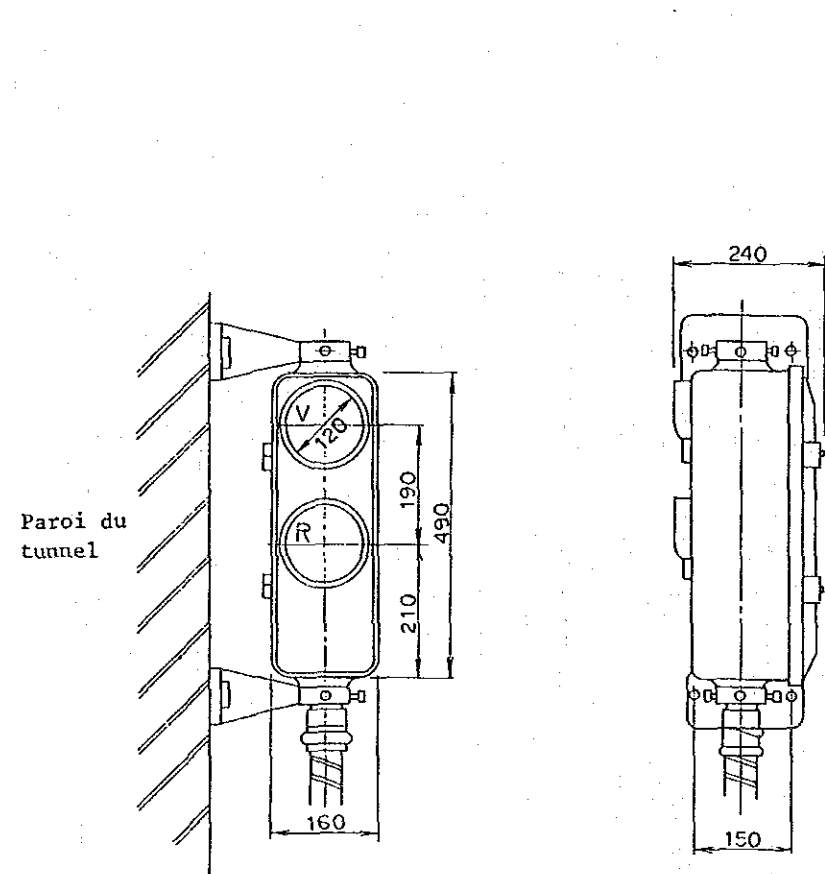


Fig. 4.11 Signal de triage pour la section souterraine

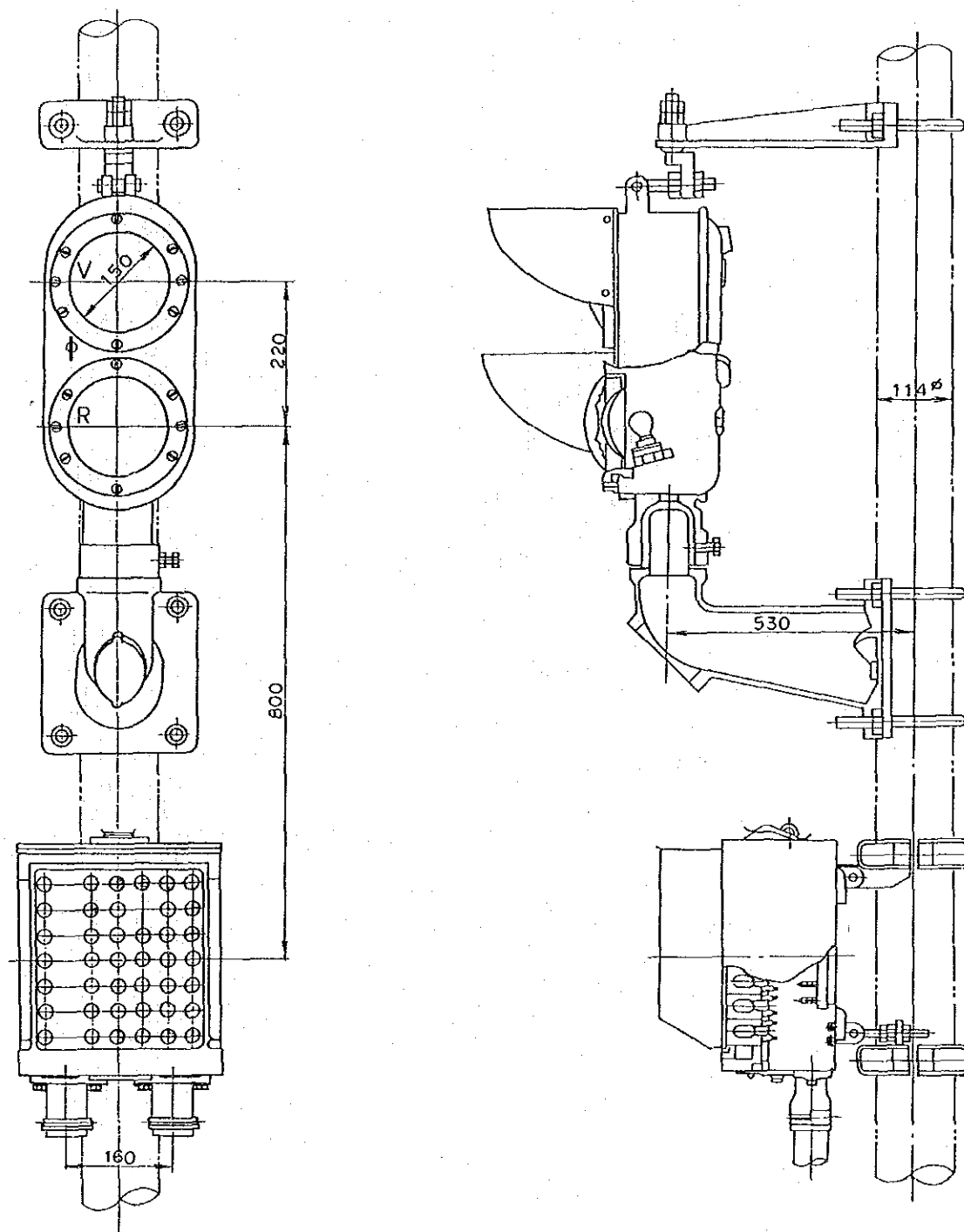


Fig. 4.12 Signal de triage et l'indicateur de direction lumineux pour la section au sol

### (3) Système de régulation du train

Le système de régulation automatique de la circulation du train se présente à plusieurs niveaux :

- L'ATS : l'arrêt automatique du train est réalisé par le signal d'arrêt ;
- L'ATC : ayant fonction de décélérer au arrêter le train dès qu'il entre dans la section dépendant du signal d'avertissement ou du signal d'arrêt ;
- ATO : n'est en fait qu'un ATC à quoi s'ajoutent plusieurs fonctions complémentaires comme régulation d'accélération et de décélération automatique et arrêt en position fixée à la station.

#### 1. Système ATS

Dans le système de signalisation automatique introduit dans le présent projet, la sécurité de circulation est à assurer à l'aide d'une série de protections : circuit de voie et dispositif de détection du train, signaux automatiques ou signaux à bord, aiguillage motorisé et enclenchements à relais, entre autres. Par conséquent, la sécurité du train peut être maintenue dans la mesure où ce train respecte les indications de signalisation, mais il y a risque de provoquer des incidents graves, comme collisions ou déraillement, lorsque des signaux ne sont pas respectés par le conducteur qui tombe soudainement malade ou par la négligence de celui-ci, entre autres.

Le système ATS intervient alors dans les sections de circulations denses, suivant lequel l'alarme sonore se déclenche dès l'approche du train de la signalisation donnant l'indication d'arrêt ou à la réception à bord du signal d'arrêt, et si, malgré l'avertisseur, l'agent de conduite reste sans prendre l'action de freinage dans un temps déterminé, le dispositif se déclenche pour arrêter le train automatiquement.

#### 2. Système ATC

Ce dispositif combine l'ATC à induction continue à haute fréquence transmettant le courant à haute fréquence, fréquence modulée en fonction des indications de signaux au circuit de voie ou à la ligne bouclée, ce courant servant de données pour réglage automatique du train, à l'aide du système d'indication à bord.

Les données sont constituées par des ondes modulées ayant pour onde porteuse les ondes supérieures à 10 kHz ; les types de données sont à 6 niveaux : 80, 65, 45, 30, 0 et X.

Les dispositifs d'émission et de réception du courant à haute fréquence seront des dispositifs concentrés dans des locaux mécaniques à installer à des sections judicieusement choisies. Le territoire de concentration de cette fonction serait de l'ordre de 10 km (5 km dans les deux sens partant d'un local mécanique). Le dispositif à bord aura pour fonction de capter sur le capteur électrique, par effet d'induction électro-magnétique, les courants à haute fréquence écoulés dans le circuit de voie ou dans la boucle, que le capteur sélectionne et confronte, dans son organe dit "comparaison de vitesse", le signal de sortie avec la puissance du groupe électromotrice de vitesse ; au delà d'un palier de vitesse, ce dispositif décélère le train jusqu'à ce palier ou moins, ou l'arrête, automatiquement dans les deux cas.

La conduite du train avec ce dispositif a pour but d'assurer une régulation de vitesse automatique devant des conditions de signalisation, en amont des courbes et des pentes à l'entrée d'un itinéraire ou d'une bifurcation.

#### 3. Comparaison de la signalisation à bord ATC avec la signalisation au sol.

De cette comparaison se dégage le fait que, dans le cas de la signalisation au sol, lorsque le train transite devant au signal selon l'indication y apparaissant, le conducteur doit respecter

les limitations de vitesse ainsi imposées ; par conséquent, le conducteur, après avoir confirmé l'indication en amont du signal, procède à l'action de freinage au besoin, pour ramener son train à une vitesse égale ou inférieure à la limite consignée, avant de passer devant ce signal.

Il est donc nécessaire de prendre une distance de visibilité suffisante pour permettre au conducteur d'obtenir la décélération prescrite au juste moment de transit devant le dispositif de signalisation, dès qu'il s'est aperçu de l'indication ; dans le cas pratique du calcul des dispositifs de signalisation, il n'est pas aussi aisé de choisir un emplacement approprié permettant de fixer la distance de visibilité. Par contre, l'ATC avec signalisation à bord consiste à ne procéder à l'affichage à bord du signal reçu concernant le canton qu'après l'entrée en ce canton du train.

Le train entrant dans le canton de signalisation inférieure, se décélère automatiquement sous l'ordonnance de l'ATC, et une fois la vitesse de consigne atteinte, le frein se dégage à nouveau pour pouvoir continuer la marche à cette vitesse de croisière ralentie.

On pourra donc qualifier le système ATC d'un équipement procurant des économies de personnel. Le choix de ce système étant concomitant avec la politique de personnel pour le moment, son adoption définitive sera prise dans le futur, au moment où les économies de personnel se présentent comme réels problèmes à attaquer.

#### 4.4.3 Installations de protection des stations

##### (1) Dispositif d'enclenchement

Le dispositif d'enclenchement à prévoir dans une station équipée d'aiguilles sera un enclenchement à relais, utilisant soit un capteur de manoeuvre pour déclencher la manoeuvre de l'appareil de voie, soit une aiguille motorisée. Sur chacune des grandes stations, un enclenchement électronique est envisagé.

Dans le cas du monorail ou le train sur pneus pour lesquels la signalisation à bord sera prévue, la suppression des signaux au sol (signal de l'enceinte de station, signal de départ, etc...) sera compensée par l'adoption des leviers "d'itinéraire" pour régler les signaux à bord correspondant à l'enceinte de station et au départ, leviers assurant la détection des trains se trouvant dans l'itinéraire protégé et émettant à la boucle suivant les conditions obtenues, les codes de signalisation à bord correspondant aux indications de la signalisation principale.

Quant à la manoeuvre de changement de train en station, celle-ci sera réalisée en employant des signaux de changement de train, du type au sol.

Dans le cas du train à roues métalliques, pour lequel les signaux au sol sont prévus, il sera prévu des signaux de l'enceinte de station et ceux de départ.

Afin d'assurer la commande de ces signaux, les leviers d'itinéraire seront prévus pour les appareils à l'enceinte et de départ, qui réalisent la détection des trains se trouvant dans l'itinéraire protégé et la manoeuvre de l'aiguille, les conditions découlant de celles-ci servent de données selon lesquelles la signalisation principale choisit une indication.

Quant à la manoeuvre de changement de train dans l'enceinte de station, le signal de changement de train au sol sera prévu au même titre qu'à celui du monorail.

##### (2) ATC de l'enceinte-station, etc...

La Fig. 4.14 suivante montre un exemple de courbe de circulation dans le cas des signaux au sol et la Fig. 4.15 celle suivant le système ATC avec signalisation à bord.

Sur les lieux correspondant aux positions calculées pour les signaux de l'enceinte de station et de départ, seront établis des sections soumises aux codes OA constituant la signalisation

absolue et sur les points requérant l'affichage de la position d'arrêt du train, seront posés des balises d'arrêt. De plus des bras mobiles seront installés aux endroits correspondant aux positions calculées pour les signaux de l'enceinte dont les indications manuellement remplacent, en cas de mise hors service de l'installation de protection, la manoeuvre à pied d'oeuvre de signalisation manuelle, conduisant ainsi aux économies de personnel.

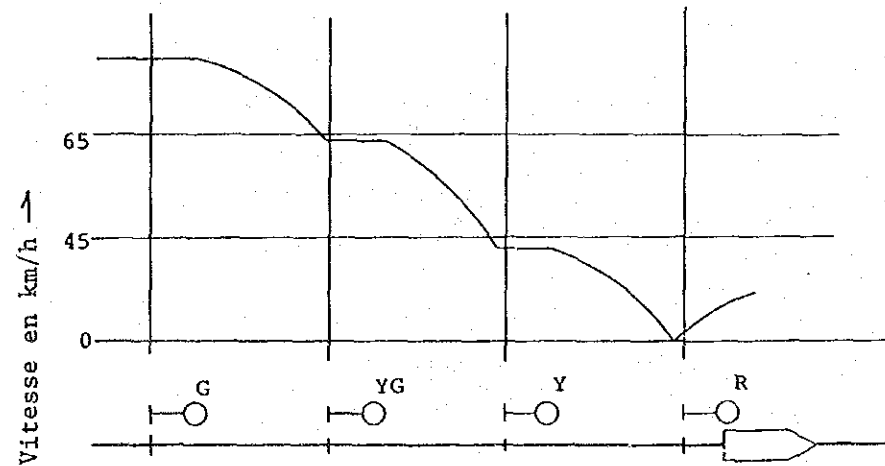


Fig. 4.14 Courbe de la marche (signal de sol)

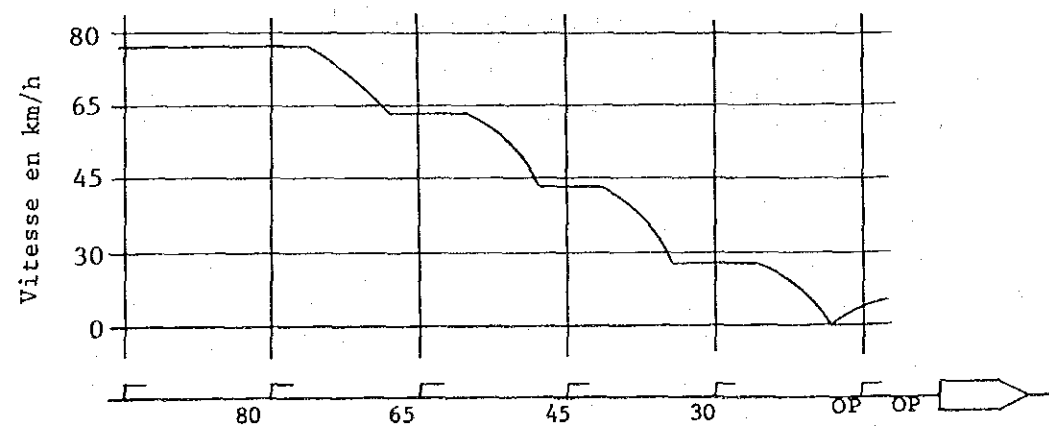


Fig. 4.15 Courbe de la marche (signal de cabine)

Nota : Les signaux OP permettent d'arrêter le train à l'intérieur de la section couverte par les signaux OP selon une modalité déterminée de la décélération à l'arrêt. La fonction de confirmation sera établie dans la seule section couverte, et le train en question peut dès lors circuler à une vitesse égale ou inférieure à 15 km/h.

#### 4.4.4 Système de régulation globale des circulations

Les présentes lignes étant des lignes sur lesquelles les trains circulent à un débit de 4 mn aux heures de pointe, la gestion d'exploitation sera modernisée avec introduction de l'automatisme dans le domaine de :

- l'indication par signalisation des trains,
- le réglage de l'itinéraire, la surveillance des circulations,
- la mise en ordre des marches,
- l'enregistrement des parcours et des incidents, etc...

##### (1) Confirmation du système

Le présent système est un système total aidé par le dispatching et l'ordinateur relatif. Sa configuration de base est telle qu'indiquée à Figure 10.2.11 du présent Rapport.

##### (2) Philosophie conceptuelle du système

1. La constitution vise un système global autour de l'ordinateur central (CPU) ayant pour mission de réaliser la pleine efficacité du système.
2. Il y sera prévu l'affichage en couleurs permettant d'assurer un dialogue souple entre hommes et machines ; de plus, les tableaux de commande, etc., seront bien étudiés dans ce sens.
3. Les numéros des trains constituent une information importante dans un système de régulation axé autour de l'ordinateur. Le type à numérotation à bord sera adopté afin de permettre de faire face au dérangement de l'horaire et de faciliter la mise en service du système informatique.

4. Normalement, un itinéraire du train est décidé automatiquement grâce au système informatique, mais il faut prévoir le cas de défaut frappant ce système ; un système d'appui, c'est-à-dire, un dispositif de consignation automatique d'itinéraire en cabine sera prévu pour s'assurer, dans une certaine mesure, des circulations en cas de panne de l'ordinateur.

5. Un dispositif de cantonnement de substitution est prévu pour les raisons suivantes :

Dans le cas du monorail et du train sur pneus, une panne du dispositif à bord, rendra les délimitations du canton obscures d'où la nécessité d'assurer la conduite à l'aide du système de cantonnement de substitution. La circulation dépendant uniquement de la télécommunication n'est pas conseillée. Il est préférable que le maintien de circulation soit assuré par un équipement capable d'afficher l'absence du train entre les stations.

### (3) Fonctions du système

Les fonctions sont résumées à Figure 4.16.

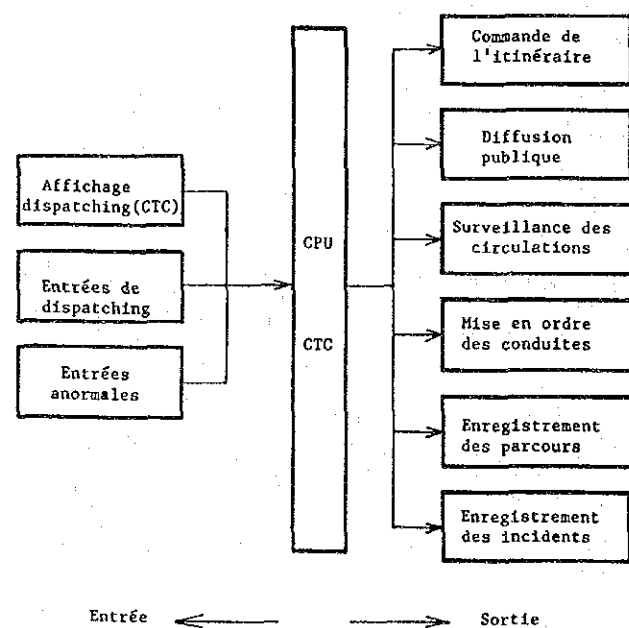


Fig. 4.16 Système global de commande/contrôle de l'exploitation des trains

### 4.4.5 Dispatching (CTC)

#### (1) Conditions imposées aux dispositifs de dispatching

1. Si le dispatching traditionnel accordait la priorité à la régulation, le dispatching moderne fonctionne sur ordinateur qui assure la régulation automatique, et ceci exige aux informations d'affichage utilisées pour la régulation le même degré de fiabilité que les informations de régulation elles-mêmes.
2. L'abondance excessive en nombre d'informations à traiter par local mécanique due à l'adoption de la signalisation à bord et de l'ATC, etc., conduisant à la concentration des appareils et due également à la diversification en tant que système de transmission de données, impose de grandes capacités aux dispositifs.
3. Allant de pair avec l'augmentation d'informations, le délai de transmission devra être le plus court possible.
4. Il est préférable tant du point de vue du coût que du point de vue de la fiabilité que la combinaison avec d'autres dispositifs, dont l'ordinateur central, soit aisée et que le système soit électronique (sans contact).

La Figure 4.17 indique la configuration globale du système CTC, la Figure 4.18 la composition de l'ordinateur central et la Figure 4.19 celle de l'ordinateur de station.

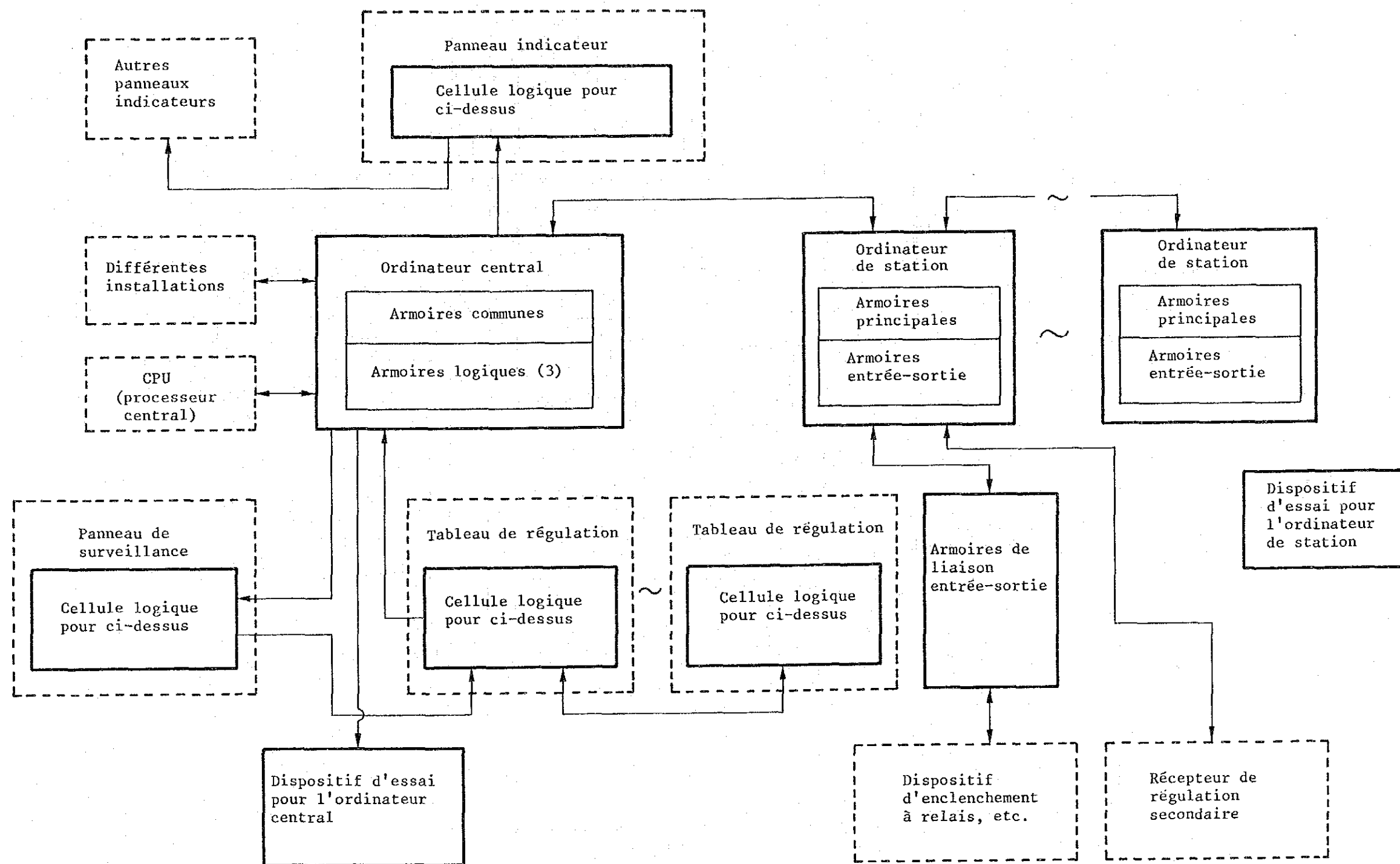


Fig. 4.17 Configuration globale du système CTC (dispatching)



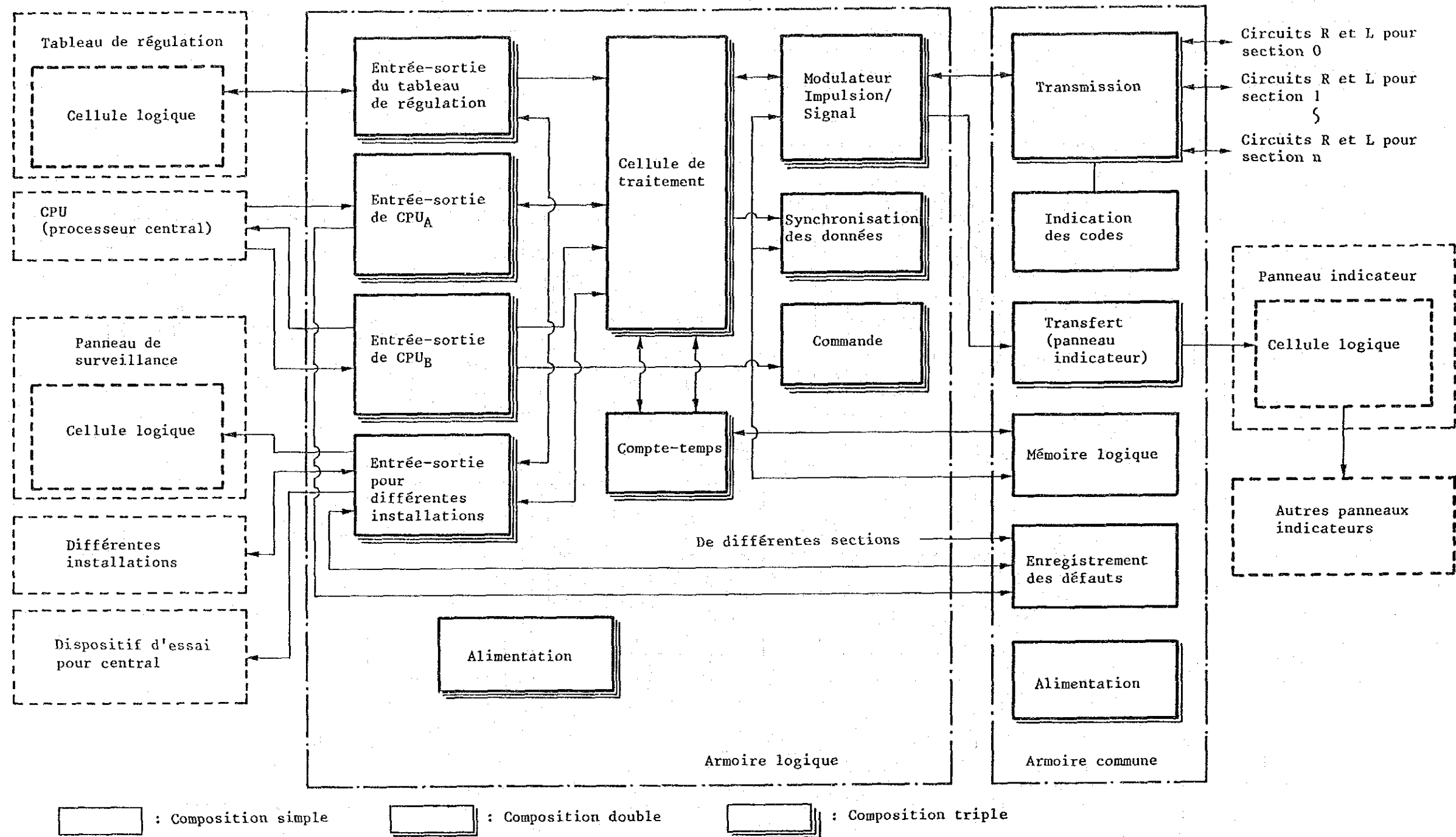


Fig. 4.18 Composition de l'ordinateur central

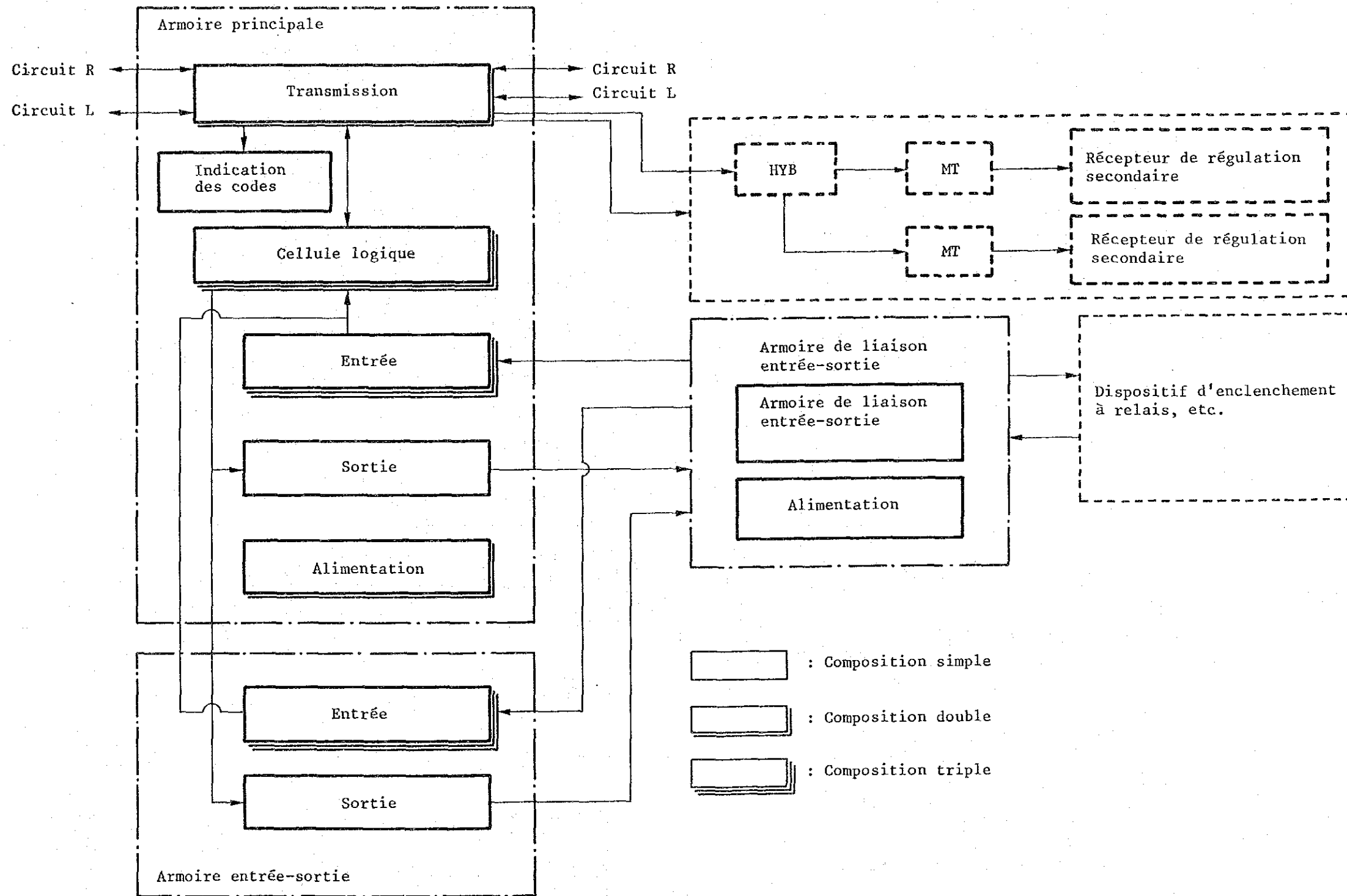


Fig. 4.19 Composition de l'ordinateur de station

(2) Comparaison de différents systèmes de dispatching

Comparant le mode 1 : 1 et le mode 1 : n, lesquels constituent la base de classement par configuration des dispatchings, chacun a ses avantages et inconvénients ; seulement dans la présente section de ligne en projet, sa combinaison avec l'ordinateur central donnerait plus d'avantages à la modalité 1 : n, puisque l'interface (dispositif d'entrée intégré au CPU) n'est pas dans ce cas nécessaire entre le dispatching et l'ordinateur central.

4.4.6 Généralités de l'installation

La liste des installations de signalisation à introduire dans les présents tracés est la suivante :

(1) Ordinateur électronique :

Appareil de traitement central, mémoire extérieure, alimentation, etc...

(2) Dispatching :

Appareils logiques, appareils d'affichage, tableaux de régulation, alimentation, dispositifs de dispatching en station, etc...

(3) Equipements du local mécanique de signalisation en cabine :

Appareils de détection du train, appareils d'émission de signaux à bord, alimentation, etc...

(4) Dispositifs à pied d'oeuvre de signalisation à bord :

Transformateur de redressement, ligne bouclée, etc...

(5) Circuit de voie :

Couplage inductif, isolations de rails, câble de liaisons de rails, etc...

(6) Enclenchement à relais :

Enclenchements à relais, signalisations principales, signaux de changement de train, aiguilles motorisées, détecteurs de manoeuvre, etc...

(7) Ligne de contact :

Câbles, chemins de câbles, racks à câbles, etc... Le Tableau 4.4 indique les types de câbles de signalisation.

(8) Différents équipements de signalisation :

Bras mobiles de substitution, dispositif de cantonnement de substitution, différentes balises, etc...

(9) Equipements de sécurité du passage à niveau :

Avertisseur sonore avec feu clignotant, barrière, etc... Les Figures 4.20 et 4.21 montrent leur structure à l'état monté.

Tableau 4.4 Types de câbles de signalisation à gaine vinylique

Nature	Symbole	Section nominale en mm <sup>2</sup>	Composition des conducteurs nombre/mm	Nombre de noyaux	Usage
Câble de signalisation à gaine vinylique	SVV	30	19/1,4	2	En principe posé dans les caniveaux
		10	19/0,8	2.4	
		2	7/0,6	2.4.6.8.12.19.30	
Câble de signalisation armé acier à gaine vinylique	SVV-TA	30	19/1,4	2	En principe enterré directement
		10	19/0,8	2.4	
		2	7/0,6	2.4.6.8.12.19.30	
Câble de signalisation anticorrosion en vinyle, armé acier à gaine vinylique	SVV-TAZV	30	19/1,4	2	En principe, utilisé enterré tel quel dans le but d'anti-corrosion
		10	19/0,8	2.4	
		2	7/0,6	2.4.6.8.12.19.30	
Câble de signalisation auto-portant à gaine vinylique	SVV-SS	30	19/1,4	2	En principe, câble aérien
		10	19/0,8	2.4	
		2	7/0,6	2.4.6.8.12.19.30	

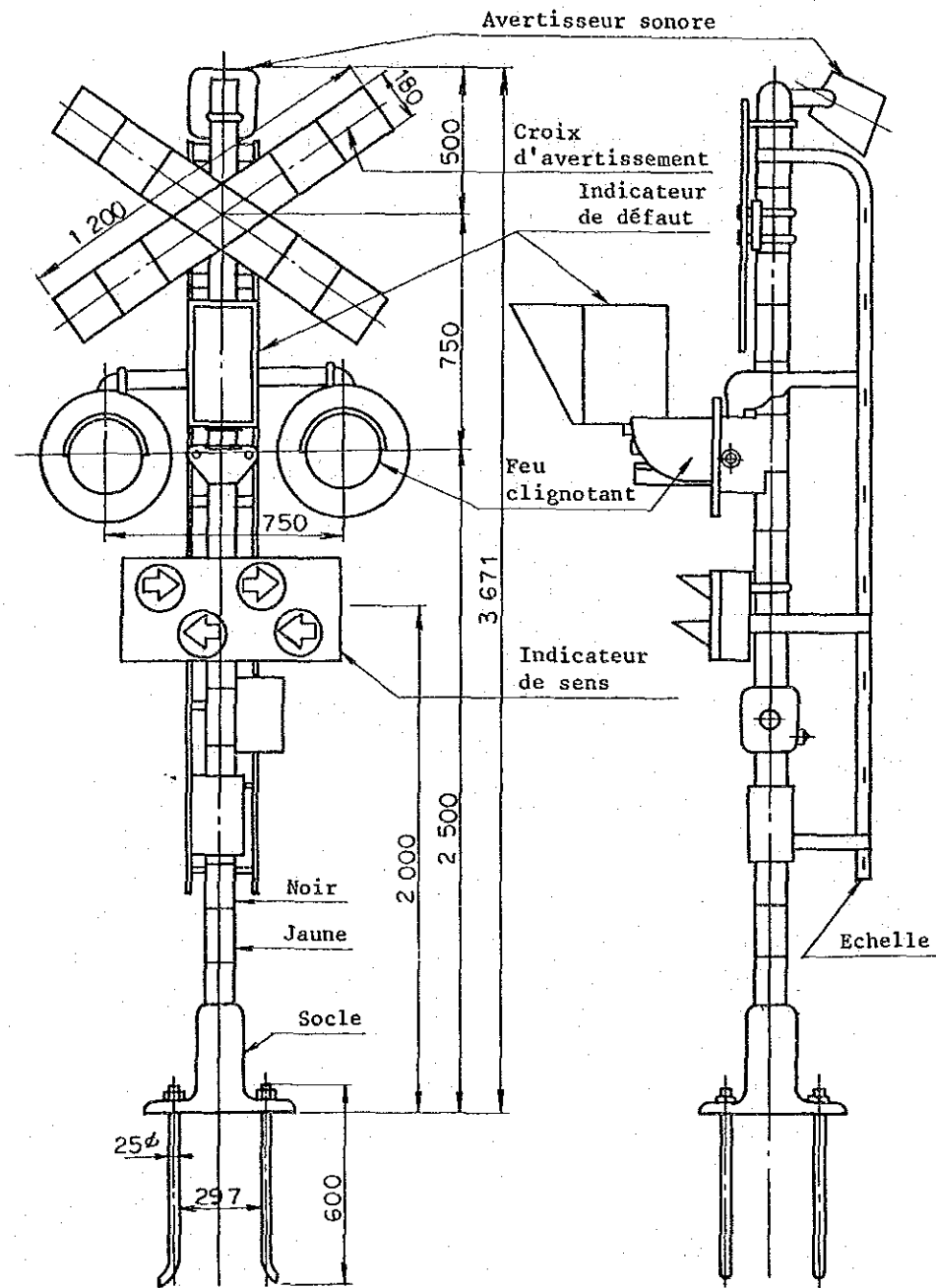


Fig. 4.20 Structure de l'avertisseur sonore pour passage à niveau à l'état monté

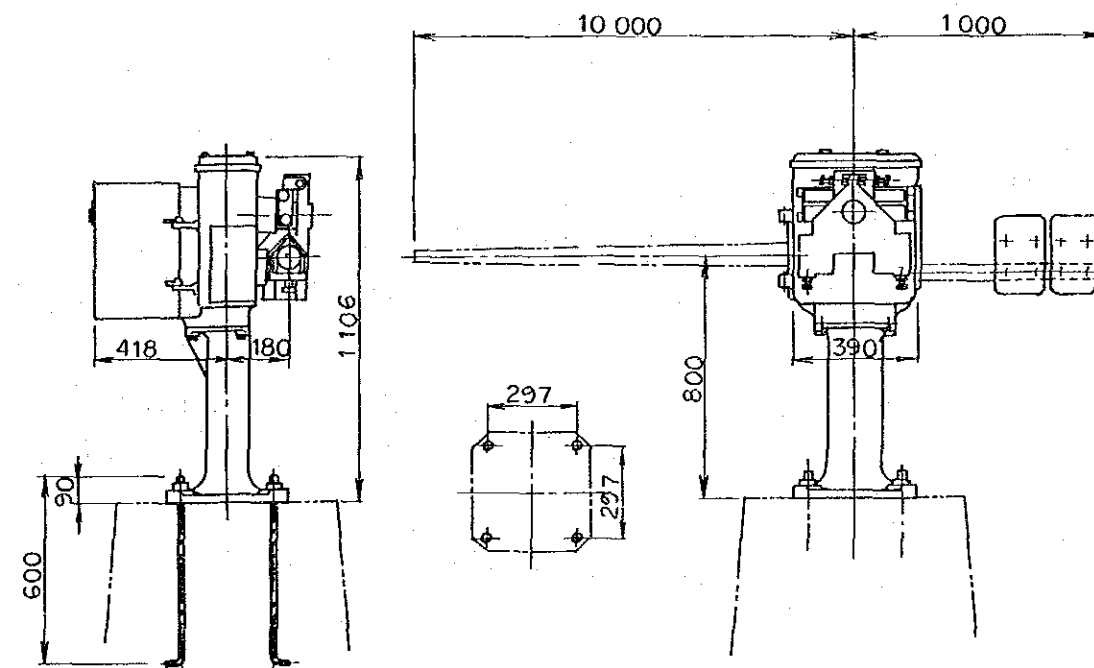


Fig. 4.21 Structure de la barrière pour passage à niveau à l'état monté

#### 4.5 Installations de télécommunication

##### 4.5.1 Généralités du système de télécommunication

Les installations de télécommunication destinées à la transmission d'informations ont chacune leurs propres systèmes de communication et appareils.

1. Système de télécommunication du contrôle de la marche des trains.
2. Système de télécommunication pour la prestation de services aux voyageurs.
3. Système de télécommunication pour la maintenance des équipements.
4. Système de télécommunication pour la gestion de l'exploitation.

##### (1) Système de télécommunication pour le contrôle de la marche des trains

1. Circuits de service du dispatching des trains
2. Circuits de service du dispatching électrique
3. Dispositif de radio sur train
4. Circuits de communication entre services internes ou lignes d'abonné d'échanges

##### (2) Systèmes de télécommunication pour la prestation de services aux voyageurs

1. Dispositif de diffusion publique
2. Circuits de l'horlogerie électrique
3. Circuits d'alarme et ceux d'affichage, etc...

##### (3) Systèmes de télécommunication pour la maintenance des équipements

1. Circuits de service pour maintenance de la voie
2. Circuits de service pour protection électrique
3. Circuits radio

#### 4. Circuits d'information de la lutte contre l'incendie et d'autres fléaux

##### (4) Systèmes de télécommunication pour gestion et exploitation

Les lignes téléphoniques des postes d'abonné pour échanges qui n'entrent pas dans les catégories ci-dessus

Parmi ces circuits de télécommunication, ceux que l'on suppose nécessaires pour l'exploitation du TCR de la ville de Casablanca sont montrés aux Figures 10.5.16 et 17 dans le paragraphe 10.5.7 du présent Rapport.

Le Tableau 4.5 indique les types de câbles de télécommunications.

Tableau 4.5 Types de câbles de télécommunications (à usage général)

Désignation	φ des conducteurs	Nombre des paires
Câble local en quartes étoile, sectoral	0,4 mm, 0,65 mm, 0,9 mm	10P, 20P, 30P, 50P, 100P, 200P
Câble local en quartes étoile, sectoral, autoporté	0,65 mm, 0,9 mm	10P, 20P, 30P, 50P
Câble local en quartes étoile, sectoral, sous enveloppe ondulée	0,65 mm, 0,9 mm	10P, 20P, 30P, 50P, 100P, 200P
Câble local en quartes étoile, sectoral, sous enveloppe ondulée, autoporté	0,9 mm	10P, 20P, 30P
Câble local en quartes étoile, à fréquence porteuse, mixte, sous enveloppe ondulée, autoporté	0,9 mm	20P + (2P), 30P + (3P)
Câble local en quartes étoile, sectoral, sous enveloppe d'aluminium	0,65 mm, 0,9 mm	10P, 20P, 30P, 50P, 100P, 200P
Câble local en quartes étoile, sectoral, à fréquence porteuse, mixte	0,9 mm	20P + (2P), 30P + (3P), 50P + (3P), 100P + (3P), 200P + (2P)
Câble local en quartes étoile, sectoral, à fréquence porteuse, mixte, autoporté	0,9 mm	20P + (2P), 30P + (3P), 50P + (3P)
Câble local en quartes étoile, sectoral, à fréquence porteuse, mixte, sous enveloppe ondulée	0,9 mm	20P + (2P), 30P + (3P), 50P + (3P), 100P + (3P), 200P + (2P)
Câble local en quartes étoile, sectoral, à fréquence porteuse, mixte, sous enveloppe d'aluminium	0,9 mm	20P + (2P), 30P + (3P), 50P + (3P), 100P + (3P), 200P + (2P)
Câble local en quartes étoile	0,9 mm	2P, 6P
Câble local en quartes étoile, sous enveloppe ondulée	0,9 mm	2P, 6P