



MINISTÈRE DE L'URBANISME DU LOGEMENT ET DES TRANSPORTS

## *Direction des Routes*

# PASSAGES SOUTERRAINS A GABARIT NORMAL

P.S.G.N. 77

Réimpression OCTOBRE 85



SERVICE D'ÉTUDES TECHNIQUES  
DES ROUTES ET AUTOROUTES



De même que le dossier PSGR 71, le présent dossier n'est pas un dossier pilote de structure, mais un guide pour les ingénieurs qui envisagent de réaliser un passage souterrain sur zone urbaine. Il est consacré aux passages à gabarit normal. Il renvoie d'une part au dossier PSGR pour les études préliminaires, d'autre part au dossier pilote des tunnels pour les équipements. L'étude des modes d'exécution y a été largement développée.

## Table des matières

	Pages
<b>PARTIE 1 - DEFINITIONS - FONCTION - GEOMETRIE</b>	
Chapitre 0 - Introduction	3
Chapitre 1 - Rôle de l'ouvrage	5
Chapitre 2 - Analyse de l'ouvrage	8
Chapitre 3 - Fonctions de l'ouvrage	9
Chapitre 4 - Domaine d'emploi	10
Chapitre 5 - Géométrie	11
<b>PARTIE 2 - CHOIX DE LA STRUCTURE</b>	
Chapitre 6 - Facteurs permettant le choix sur le plan technique	27
Chapitre 7 - Catalogue des structures et des méthodes d'exécution correspondantes	33
Chapitre 8 - Problèmes annexes spécifiques du site urbain	56
Chapitre 9 - Facteurs permettant le choix sur le plan économique	63
<b>PARTIE 3 - EQUIPEMENTS</b>	
Chapitre 10- Assainissement	71
Chapitre 11- Eclairage	74
Chapitre 12- Ventilation	79
Chapitre 13- Etanchéités	85
Chapitre 14- Equipements de signalisation et d'exploitation	91
<b>ANNEXES (fiches descriptives d'ouvrages réalisés)</b>	
1. PSGN de Gonesse de la RN 2 sous la RN 370	
2. TRANCHEE COUVERTE de Boulogne. Jonction A 13 boulevard Périphérique	
3. "TREMIE" Garibaldi à Lyon.	
4. PSGR du Vésinet sur la RN 186.	
5. PSGR Carrefour Saint-Maur à Lille.	

SOMMAIRE DE LA PARTIE 1

-----  
DEFINITIONS - FONCTION - GEOMETRIE  
-----

	Pages
<u>CHAPITRE 0</u> - INTRODUCTION	3
0,1 - Définitions	3
0,2 - Objet du dossier	3
0,3 - Relations avec d'autres dossiers-pilotes	4
<u>CHAPITRE 1</u> - ROLE DE L'OUVRAGE	5
1,1 - Circulation	5
1,2 - Environnement	5
<u>CHAPITRE 2</u> - ANALYSE DE L'OUVRAGE	8
<u>CHAPITRE 3</u> - FONCTIONS DE L'OUVRAGE	9
<u>CHAPITRE 4</u> - DOMAINE D'EMPLOI	10
<u>CHAPITRE 5</u> - GEOMETRIE	11
5,1 - Gabarit	11
5,2 - Profil en travers	13
5,21 - Profil en travers utile à la circulation	13
5,211 - Définition du profil en travers	
5,212 - Choix de la largeur roulable	
5,213 - Isolateurs	
5,22 - Influence des équipements sur le profil en travers	17
5,221 - Influence de la ventilation	
5,222 - Influence de l'éclairage	
5,223 - Influence de la signalisation	
5,224 - Influence des goussets	
5,23 - Profils en travers les plus courants	18 bis
5,3 - Tracé en plan	20
5,4 - Profil en long	23
5,41 - Parties couvertes	23
5,42 - Trémies	23

## CHAPITRE 0

### INTRODUCTION

#### 0,1 - Définitions

Le terme passage souterrain est très général; il indique simplement que la voirie à laquelle il livre passage est enterrée et couverte.

Les passages souterrains peuvent être classés selon :

- le gabarit : normal ou réduit
- la nature de la voie à laquelle ils livrent passage : voirie ordinaire, voie rapide, autoroute
- le site : rase campagne ou ville
- le mode de construction : à ciel ouvert ou en tunnel
- la longueur couverte : simple passage dénivelé ou passage couvert de grande longueur.

Différents noms peuvent être donnés à ces passages souterrains; le choix de la dénomination se fait en principe selon les deux derniers critères cités :

- un tunnel est un ouvrage dont la plus grande partie est construite sans enlever la couverture de terre qui se trouve au-dessus de lui. Sauf site montagneux ou cas exceptionnel, un tunnel a généralement une longueur importante (de l'ordre de quelques centaines de mètres au moins)

- une tranchée couverte est un ouvrage obtenu par creusement d'une tranchée et construction d'une couverture au-dessus de celle-ci. Une tranchée couverte peut avoir une longueur quelconque.

Le terme trémie désigne quand à lui la partie d'ouvrage, généralement à forte pente, qui donne accès à un passage enterré, couvert ou non. C'est donc une zone de transition entre la voirie ordinaire et l'aménagement proprement dit.

#### 0,2 - Objet du dossier

Dans le présent dossier, intitulé Passages Souterrains à Gabarit Normal (PSGN), nous traiterons seulement des problèmes des tranchées couvertes (de longueur quelconque) et de leurs accès, permettant le passage d'une voirie urbaine de gabarit normal .



## CHAPITRE 1

### ROLE DE L'OUVRAGE

Les PSGN sont utilisés pour rendre souterraine, pour des raisons multiples, une ou plusieurs voies de circulation .

Ces raisons sont en général de 2 ordres.

#### 1,1 - Circulation

Supprimer des conflits de circulation, rendre un ou plusieurs courants ininterrompus, éviter un carrefour à niveau, supprimer des feux.

Tous ces problèmes peuvent être en général résolus par des viaducs; mais les tranchées couvertes peuvent avoir pour avantage :

- plus courte longueur hors tout grâce à des gains sur le profil en long :

. d'une part parce que les passages souterrains tolèrent des caractéristiques de profil en long plus serrées que les viaducs

. d'autre part parce que les structures porteuses sont généralement de moindres portées et donc plus minces que celles des viaducs

- pas de limitation de gabarit, dans aucune des directions, si comme c'est le cas en général, des voies sont maintenues en surface, parallèlement aux voies enterrées

- pour cette raison, possibilité, quand la place manque, de gabarit réduit (solution PSGR) .

De même que les viaducs, les passages souterrains permettent de réaliser des aménagements à plusieurs niveaux.

#### 1,2 - Environnement

Améliorer la qualité de l'environnement (par rapport aux viaducs) sous différentes formes :

- insonorisation (partielle avec des tranchées ouvertes)

- Possibilité de construire en bordure d'immeuble sans gêner les riverains (impossible avec viaduc)

- aménagements paysagers de surface possibles

Toutes ces raisons sont en général propres au site urbain, et c'est pourquoi les tranchées couvertes sont fréquentes surtout dans les zones fortement urbanisées où le terrain libre est rare, ou en bordure de ces zones pour garder un environnement agréable (traversée de bois, jardins publics...).

Il est caractéristique que lors des enquêtes publiques en vue de la création de voies nouvelles, des mises en souterrain soient très fréquemment demandées, et jamais l'inverse.

Il est possible d'illustrer toutes ces raisons par des exemples assez nombreux surtout en région parisienne :

- Éviter des carrefours, supprimer des feux, des conflits...

A Paris

- Etoile - Charles de Gaulle
- Avenue du Maine
- Souterrain du Louvre
- Une grande partie des ouvrages du Boulevard périphérique parisien

En province

- "Trémie" Garibaldi dans la zone de rénovation urbaine de la Part Dieu à Lyon
- multiples PSGR

- Gagner de la place :

- Tranchée couverte de l'autoroute A13 entre la Seine et la Porte de Boulogne
- Parking dans la couverture du souterrain du "tunnel de la Butte Mortemart" du Boulevard périphérique
- Passage souterrain du Boulevard périphérique de Paris sous le parc des Princes
- Voiries souterraines **des quartiers des Halles et de la Défense**

- Améliorer l'environnement : Tous ces ouvrages le font puisqu'il y a disparition d'une grande partie de la circulation sous terre, et en particulier, pour le Boulevard périphérique de Paris :

- Traversée du Bois de Boulogne : Passage souterrain sous le lac supérieur et l'hippodrome
- Tranchée couverte de la section Ternes-Asnières protégeant les riverains des nuisances (protection phonique).

Les ouvrages en tranchée couverte ne présentent pas que des avantages. Ils sont de toute façon plus coûteux que les viaducs tant en ce qui concerne la construction que l'exploitation. Le génie civil est rendu difficile en site urbain par la présence de la circulation, des réseaux et des riverains. Les équipements sont plus nombreux et plus complets que ceux d'un viaduc. En effet la ventilation et l'éclairage diurne, qui n'existent pas pour un viaduc, peuvent représenter jusqu'à 40 % du coût de l'ouvrage. Quant à l'exploitation, dès que l'ouvrage a une certaine longueur, du personnel de surveillance est nécessaire en permanence, l'énergie électrique utilisée est très importante, et l'entretien des équipements doit être plus soigné que celui d'un viaduc.



Ces ouvrages peuvent également constituer des facteurs aggravants des accidents de la circulation routière du fait de l'éclairage artificiel, d'une atmosphère plus ou moins opaque et des risques d'incendies.

De plus il est à noter que pour l'automobiliste usager, la tranchée couverte n'est pas forcément une amélioration de son environnement et qu'il est peut-être utile alors de soigner son confort.

## CHAPITRE 2

### ANALYSE DE L'OUVRAGE

Une section de voie routière dite en "tranchée couverte" se compose, en général de différentes parties qui se regroupent sous trois dénominations principales :

- trémie : c'est une zone le long de laquelle les voies d'accès à la tranchée couverte subissent la dénivellation. Cette partie est généralement constituée de deux murs de soutènement, et éventuellement d'un radier sur lequel repose la ou les chaussées.

- tranchée ouverte : elle permet en général de relier deux zones en tranchées couvertes peu éloignées entre lesquelles, une couverture n'étant pas nécessaire, il serait impossible d'implanter des trémies, qui d'ailleurs donneraient un mauvais profil en long. Comme une trémie, la tranchée ouverte est en général constituée de deux murs de soutènement (qui peuvent alors être munis d'encorbellement à leur partie supérieure) et éventuellement d'un radier inférieur.

- tranchée couverte proprement dite : elle est en général de hauteur constante. Elle comporte deux murs (ou piédroits), éventuellement un radier, et un élément de couverture (ou traverse). En général cette couverture permet de faire passer la circulation de surface; mais dans certains cas elle peut servir de parking de surface ou même de parking souterrain, de jardin public, ou même constituer une simple protection phonique...

L'ouvrage le plus simple comporte seulement une partie couverte entre deux trémies.

Inversement, des passages souterrains plus complexes comportent, non seulement des parties couvertes, des parties ouvertes et des trémies, mais aussi des débranchements, des croisements dénivelés et même parfois des galeries superposées.

### CHAPITRE 3

#### FONCTIONS DE L'OUVRAGE

La structure d'une tranchée couverte assure toujours 3 fonctions mécaniques principales :

- porter les voies ou aménagements superficiels. Ce rôle est rempli par la couverture ou traverse.

- soutenir les terres. Ce sont les piédroits qui assurent cette fonction (avec éventuellement une aide de la traverse et du radier - cette aide pouvant varier en cours de travaux).

- transmettre l'ensemble des charges de la structure au sol : ce sont les fondations.

La tranchée couverte doit également remplir d'autres fonctions, dont l'aspect principal n'est pas mécanique et qui dépendent des conditions locales et de la nature du projet :

- dans tous les cas, rassembler et évacuer les eaux de ruissellement d'infiltration. Ceci n'est pas négligeable, une tranchée couverte étant généralement un point bas du projet routier. Cette fonction nécessite des dispositions spéciales pouvant aller jusqu'à une station de relèvement.

- être étanche (s'il y a lieu) afin d'empêcher les venues d'eau des couches de terrain voisines; en un tel cas un radier est généralement nécessaire. Un radier peut également servir :

. soit d'élément de fondation

. soit d'élément de butée mutuelle des piédroits, notamment quand la tranchée est étroite

. soit pour porter la voie souterraine, quand elle doit franchir des obstacles situés encore plus bas.

- permettre le passage des canalisations de service (éclairage, ventilation...), et occasionnellement du personnel de service. Cette fonction n'est pas négligeable et peut dans certain cas représenter jusqu'à 40 % du coût total de l'ouvrage.

Cette liste n'est pas limitative; elle correspond seulement aux cas les plus fréquents.

## CHAPITRE 4

### DOMAINE D'EMPLOI

Un ouvrage en tranchée couverte demande des travaux souterrains et en conséquence, son coût est toujours élevé. Dès à présent l'attention est attirée sur le fait que le coût total d'une opération comportant la réalisation d'un passage souterrain est toujours beaucoup plus élevé que le coût du génie civil de l'ouvrage proprement dit. Ce type d'ouvrage est donc utilisé chaque fois que les autres solutions (et en particulier les viaducs) sont impossibles ou inacceptables, ou d'un coût beaucoup plus élevé que la normale.

Ce type d'ouvrage se rencontre généralement sur des voies de grande importance en zone urbaine, où le facteur "place disponible" est important :

- sous forme d'ouvrages isolés sur les voiries de statut normal
- sous forme d'ouvrages continus de grande longueur sur des voies rapides et des autoroutes urbaines.

Il est rare hors des zones urbaines, les sujétions et exigences qui peuvent le justifier étant rarement présentes (avec l'exception de sites classés), et la solution viaduc étant presque toujours plus économique.

CHAPITRE 5

GEOMETRIE

La réglementation actuellement en vigueur comporte 4 textes de référence :

- L'Instruction sur les conditions techniques d'aménagement des Routes Nationales (I.C.T.A.R.) des 28 Octobre 1970 et 8 Octobre 1973 qui est désignée dans le CAT 75 par C.70.

- L'Instruction sur les conditions techniques d'aménagement des Autoroutes de liaison (I.C.T.A.L.) du 22 Mars 1971 qui est désignée dans le CAT 75 par C.71. \*

- L'Instruction générale sur les conditions techniques d'aménagement des voies rapides urbaines (V.R.U.) du 1er Décembre 1968 qui est désignée dans le CAT 75 par C.68.

- Note technique RUES et AVENUES du 20 Mai 1975 qui est désignée dans le CAT 75 par N. 75.

Les deux premiers textes ne s'appliquent qu'aux voies implantées hors des sites urbains : ils intéressent donc peu les tranchées couvertes. En ce qui concerne les voies rapides urbaines, toutes les caractéristiques géométriques sont définies dans le V.R.U. Pour les autres voies urbaines, la note technique RUES et AVENUES donne deux exemples de profil en travers de passages dénivelés.

La synthèse de tous ces textes a été faite dans le sous-dossier 1 "Géométrie" du dossier-pilote des tunnels pour être directement appliquée à ces ouvrages. En particulier le cas des ouvrages de section rectangulaire, qui représente la majorité des tranchées couvertes, est envisagé. Le présent chapitre s'attache à définir plus spécialement les caractéristiques géométriques des ouvrages en tranchées couvertes sur voies urbaines non rapides. Pour les autres voies il est préférable de se reporter soit au dossier-pilote des tunnels soit directement aux textes réglementaires correspondant à la voie concernée.

D'autre part le CAT 75 peut être utilement consulté. Tous les textes réglementaires y sont rappelés, et la géométrie des ouvrages d'art y est définie tant pour les voies portées que franchies.

Le présent chapitre examine successivement les divers aspects de la géométrie. Il doit cependant au préalable être indiqué qu'au stade des applications ces différents aspects sont liés et doivent faire l'objet d'une décision d'ensemble basée sur les possibilités d'implantation, notamment aux extrémités.

5,1 - Gabarit

Deux cas se présentent :

\* **Toute la voie est dénivelée sous un carrefour, un obstacle naturel ou pour une protection phonique... sans qu'il soit possible de quitter la voie concernée juste avant l'ouvrage, auquel cas la hauteur libre à dégager est celle de l'itinéraire concerné :**

---

\* Cette Instruction a fait l'objet en Mars 1977 de "Directives complémentaires et modificatives" qui traitent surtout du profil en travers.

- 7,00 m sur les itinéraires classés pour supporter le convoi E
- 4,75 m sur les itinéraires militaires de 3ème et 4ème classe
- 4,50 m sur les grands itinéraires de trafic international
- 4,30 m sur toutes les autres routes

Ces hauteurs sont des valeurs minimales qui doivent être augmentées à la construction d'une revanche de 0,10 m. Le gabarit plus sa revanche doit être dégagé sur toute la largeur roulable en tenant compte de l'influence du dévers et de la pente.

- Les véhicules empruntant l'itinéraire concerné peuvent soit emprunter l'ouvrage soit transiter en surface. C'est généralement le cas des passages dénivelés de carrefour. Dans ce cas, le problème du choix du gabarit se pose; en effet il peut être avantageux de ne laisser transiter dans l'ouvrage que des véhicules ne dépassant pas un certain gabarit, les autres utilisant la voirie de surface. Ainsi il existe en France un certain nombre de passages souterrains dont le gabarit autorisé s'échelonne entre 1,90 m et 4,75 m ou plus. L'application la plus particulière est faite par les passages souterrains à gabarit réduit (P.S.G.R.) dont les gabarits ont été normalisés à 1,90 m et 2,60 m (voir dossier guide PSGR 71). Le gabarit de 1,90 m ne permettant le passage que d'une trop faible partie du trafic est maintenant abandonné sur la voirie et exclusivement réservé aux entrées de parkings souterrains (publics ou privés), garages, station service... Le gabarit de 2,60 m a été retenu pour 3 raisons : il permet le passage de plus de 80 % du trafic; la largeur hors tout des véhicules de moins de 2,60 m de gabarit est de l'ordre de celle d'une voiture particulière; et ces véhicules admettent des pentes assez fortes et des rayons en profil en long assez faibles. Ainsi pour ces ouvrages, non seulement le gabarit est réduit, mais également les largeurs de voies (2,75 m) et les caractéristiques des profils en long des trémies. De tels ouvrages peuvent ainsi être implantés sur certaines voies, alors qu'un gabarit normal ne le peut pas en raison des caractéristiques du profil en travers ou du profil en long (proximité de carrefours).

Les gabarits intermédiaires (entre 2,60 et 4,30 m) présentent beaucoup moins d'avantages car les caractéristiques en profil en travers et en profil en long sont les mêmes que pour un gabarit normal. En conséquence le seul gain est celui du gabarit : structure et terrassement pour le passage couvert et longueur pour la trémie; ce dernier gain est d'ailleurs assez faible : si on appelle  $\Delta g$  le gain de gabarit,  $p_{max}$  la pente maximale dans la trémie, le gain de longueur pour chaque trémie est environ :

$$\Delta L = \Delta g / p_{max}$$

soit pour un gabarit de 3,30 m, (ce qui correspond à peu près au gabarit d'un autobus), par rapport à 4,30 m avec une pente maximale de trémie de 6 % :  $\Delta L \approx 17$  m. Le gain de longueur est de l'ordre de 15 % de la longueur d'une trémie. Cela n'exclut pas que dans certains cas, ces gabarits intermédiaires peuvent être utilisés. Mais ce sont alors des conditions purement techniques qui nécessitent d'y recourir, par exemple :

. passage sous une tête de pont (existant ou non) d'une voie sur berge. Le recours à un gabarit inférieur à 4,30 m peut permettre de mettre hors d'eau la voie.

. passage d'un ouvrage dénivelé au-dessus d'un ouvrage existant (collecteur, métro...).

En conclusion le choix du gabarit peut se résumer par le tableau suivant :

Emprises en profil en travers et pour implantation des trémies.	
Suffisantes	
Insuffisantes	
Gabarit normal possible techniquement	
OUI	NON
P.S.G.N. ou P.S.G.R.	Gabarit intermédiaire ou P.S.G.R.
Le choix se fait alors par une étude de circulation comportant en particulier une étude de rentabilité faisant intervenir le coût de l'aménagement.	
P.S.G.R.	

Le tirant d'air doit être dégagé sur toute la largeur roulable; l'incidence des équipements et des goussets des structures type portique ou cadre est examinée dans les paragraphes suivants (§ 5,224 notamment), qui définissent les emprises minimales à considérer.

#### 5,2 - Profil en travers

Ce paragraphe est valable pour tous les ouvrages dont le gabarit autorisé est supérieur à 2,60 m (cf § précédent). Le dossier guide PSGR 71 et ses mises à jour donnent tous les renseignements nécessaires pour les ouvrages dont le gabarit est inférieur ou égal à 2,60 m.

Deux facteurs interviennent dans le dimensionnement du profil en travers :

- la circulation
- les équipements

#### 5,21 - Profil en travers utile à la circulation

La décision de réaliser un passage souterrain est toujours la conclusion d'une étude de circulation ; cette étude est d'ailleurs souvent spécifique à cet aménagement car, s'il ne s'agit pas du franchissement d'un obstacle naturel (cas des tunnels), ce sont des difficultés de circulation de surface qui nécessitent la dénivellation de certains courants.

Les principaux paramètres spécifiques à ce type d'ouvrage qui permettent cette étude de circulation pour une voie urbaine non rapide sont les suivants :

- débit de base qb d'une voie
- débit de congestion qc d'une voie
- vitesse de base Vb

Ces trois paramètres ont la même définition que dans le V.R.U aux § 2.2 et 3.1 . Le dossier-pilote des tunnels dans sa pièce 2 Géométrie, utilise la même terminologie.

Faute d'étude particulière de ces aménagements urbains, les valeurs provisoires données pour les tunnels routiers en ce qui concerne les débits peuvent être utilisées à savoir :

Ouvrages bidirectionnels : 2 ou 3 voies	qb = 1000 uvp/h/voie	qc=1500 uvp/h/voie
4 voies	qb = 1250 uvp/h/voie	qc=1500 uvp/h/voie
Ouvrages unidirectionnels: 2 voies	qb = 1750 uvp/h/voie	qc=2000 uvp/h/voie
3 voies	qb = 1670 uvp/h/voie	qc=2000 uvp/h/voie
4 voies	qb = 1625 uvp/h/voie	qc=2000 uvp/h/voie

Il faut cependant ne pas oublier que de tels aménagements se trouvent sur des voies dont un certain nombre de carrefours sont commandés par des feux tricolores, et qu'en conséquence les débits dans l'ouvrage ne peuvent pas être supérieurs à ceux des carrefours amonts et même avals s'il se forme des files d'attente. C'est pourquoi l'étude de circulation devra également mettre en évidence la fréquence et la durée des périodes de congestion qui interviennent directement sur le dimensionnement des équipements et en particulier de la ventilation (voir partie 3 chapitre 12 ).

La vitesse de base à considérer est normalement 60 km/h, et exceptionnellement 50 ou 40 km/h lorsqu'il n'est pas possible pour des questions géométriques ou pour un coût acceptable de projeter l'aménagement avec les caractéristiques minimales absolues de la vitesse de base 60 km/h.

Le nombre de voies de circulation doit donc être défini par l'étude de circulation en fonction des paramètres définis ci-dessus.

Trois types de profil en travers sont envisageables :

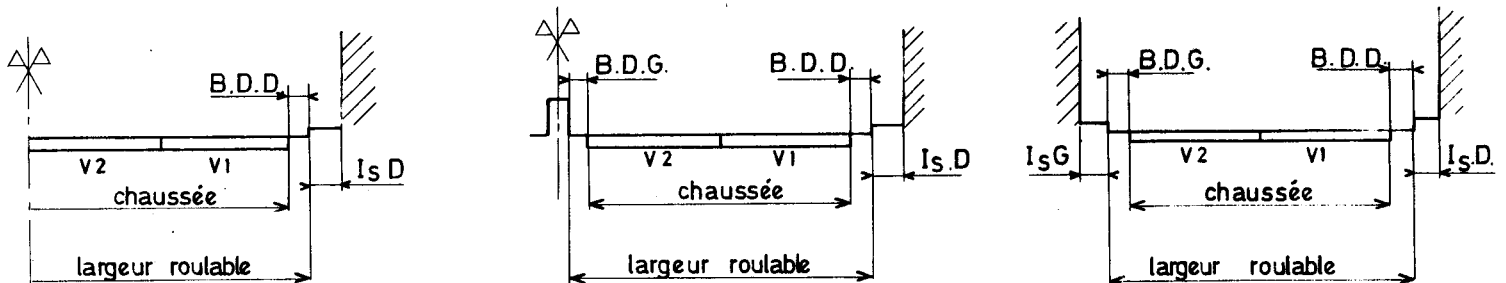
- ouvrages bidirectionnels sans séparateur central
- ouvrages bidirectionnels avec séparateur central non franchissable comportant un dispositif de retenue des véhicules.
- ouvrages unidirectionnels.

En général le type du profil en travers de la section courante est à conserver dans le passage souterrain. Cependant en zone urbaine où la place est un facteur important, il peut être envisagé de réduire ou de supprimer le séparateur central. Un séparateur central avec dispositif de retenue des véhicules demande au minimum 1,50 m (y compris les bandes dérasées de gauche), et une valeur comprise entre 1,50 m et 2,00 m sera généralement retenue. Cependant le dimensionnement de la largeur roulable suivant la présence ou non d'un séparateur sera différent . En effet un ouvrage bidirectionnel avec séparateur central non franchissable fonctionne comme 2 ouvrages unidirectionnels.



### 5,211 - Définition du profil en travers

Le profil en travers d'une plateforme de passage souterrain sur voie urbaine non rapide est schématisé sur les figures ci-après pour les 3 types définis précédemment.



- IsD : Isolateur droit constitué d'un trottoir ou d'un bute-roues
- BDD : Bande dérasée de droite pouvant servir partiellement à l'arrêt d'urgence
- BDG : Bande dérasée de gauche
- IsG : Isolateur gauche constitué d'un trottoir ou d'un bute-roues.

### 5,212 - Choix de la largeur roulable

La largeur roulable doit permettre la circulation normale de tous les véhicules sur le nombre de voies choisi à la vitesse de base retenue. Nous pouvons considérer que les largeurs ainsi nécessaires sont :

- 3,50 m pour un poids lourd (largeur d'une voie normale)
- 2,75 m pour une voiture particulière (valeur retenue pour les P.S.G.R.)

Ainsi pour ce type d'ouvrage la largeur roulable pour 2 voies de circulation dans le même sens ne devra pas être inférieure à 6,25 m (on peut admettre que les P.L. ne circulent pas sur la file de gauche).

D'autre part la largeur roulable doit permettre l'écoulement du trafic, en cas de panne d'un véhicule, à vitesse très réduite (circulation au pas). Dans ce cas nous pouvons considérer que les largeurs nécessaires sont les suivantes :

- P.L. arrêté ou au pas : 3,00 m
- V.P. arrêté ou au pas : 2,25 m

Ainsi les ouvrages unidirectionnels à 1 voie et les ouvrages bidirectionnels à 1 voie par sens avec séparateur central non franchissable doivent avoir une largeur roulable permettant le dépassement d'un P.L. arrêté par un P.L. roulant au pas soit 6 m : une B.D.D. de 2 m (qui peut alors être considérée comme une bande d'arrêt d'urgence, une voie de 3,5 m et une B.D.G. de 0,5 m. Il est évident que ce type de profil en travers, peu économe de la place disponible, est à proscrire.

Pour les ouvrages bidirectionnels à 1 voie/sens sans séparateur central, la largeur roulable doit permettre, lorsqu'un P.L. est arrêté, à un P.L. et une V.P. de se croiser soit 8,25 m que nous arrondissons à 8,50 m pour obtenir le profil symétrique suivant : 2 B.D.D de 0,75 m et une chaussée de 7 m.

Pour les ouvrages unidirectionnels à 2 voies ou bidirectionnels à 2 voies par sens avec séparateur central, le minimum absolu est de 6,25 m, permettant la circulation normale de deux files, dont une de poids lourds. Un minimum normal serait une largeur de 7,5 m, permettant la circulation au pas de 2 files de V.P. ou une file de PL, un P.L. étant en panne.

Pour les ouvrages bidirectionnels à 2 voies/sens sans séparateur central, le minimum absolu est de 12,5 m, permettant la circulation normale de deux files dont une de PL, dans chaque sens. Un minimum normal serait une largeur de 13,5 m, permettant la circulation au pas dans chaque sens, de deux files, dont une de PL, lorsqu'un PL est en panne.

### 5,213 - Isolateurs

En site urbain il ne semble pas possible de laisser transiter les piétons dans un ouvrage souterrain routier sans les séparer physiquement des véhicules. Nous ne considérons donc que les ouvrages normalement interdits aux piétons. Un isolateur peut avoir 3 fonctions :

- Permettre la circulation exceptionnelle de piétons : Service d'entretien, conducteurs de véhicules en panne ...

- Mettre hors gabarit les différents équipements (signalisation, éclairage...)

- Permettre le passage de réseaux.

Deux valeurs semblent devoir être retenues :

- 0,25 m s'il n'y a ni réseaux ni équipements implantés contre les piédroits (cas où l'ouvrage comporte une galerie d'éclairage), si des abris téléphoniques sont assez nombreux (pour les ouvrages longs) et si le dévers de la chaussée est inférieur ou égal à 2,5 %

- 0,75 m dans les autres cas.

Les isolateurs ont également comme fonction de donner un dégagement latéral aux vues dans les courbes pour permettre une visibilité suffisante. Cela est traité dans le § 5.3 "tracé en plan" de cette partie.

## 5,22 - Influence des équipements sur le profil en travers

### 5,221 - Influence de la ventilation

Le besoin ou non de ventilation et le type de ventilation à utiliser dépendent de 2 facteurs essentiels (voir partie 3 chapitre 12) :

- la longueur de l'ouvrage
- la fréquence et la durée des périodes de congestion

Deux types de ventilation artificielle sont utilisés couramment pour ces ouvrages urbains :

- ventilation longitudinale par accélérateurs disposés dans des niches en plafond, dont les dimensions sont les suivantes pour les accélérateurs  $\emptyset$  1,20 m les plus courants (cf partie 3 chapitre 12 figures page 80) :

longueur 20 à 25 m

profondeur 1,4 à 1,6 m.

S'il n'est pas possible d'implanter ces niches en plafond, cela peut être éventuellement fait latéralement, mais alors on préfère généralement utiliser un système semi-transversal s'il est possible d'implanter la ou les stations de ventilation.

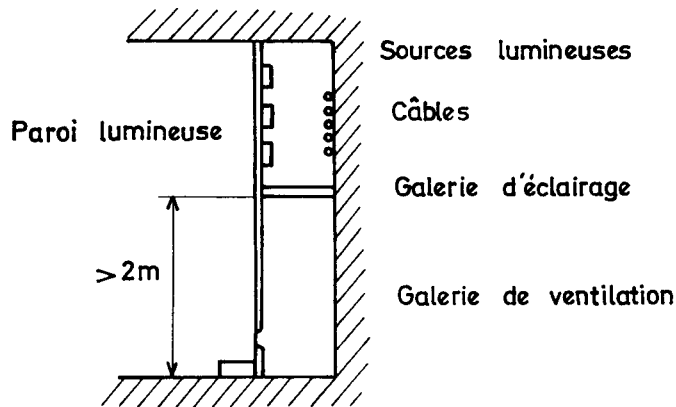
- ventilation semi-transversale au moyen de galeries régnant sur toute la longueur de l'ouvrage (cf chapitre 12,2 page 83).

Pour les passages souterrains qui ont généralement une forme de cadre, les galeries de ventilation semi-transversale sont implantées latéralement, la couverture de l'ouvrage étant insuffisante pour y installer les stations de ventilation. La section de ces galeries est toujours l'objet d'un compromis : plus la section est faible, plus le nombre de stations est important (la vitesse de l'air ayant toujours une valeur voisine de 25 m/s).

### 5,222 - Influence de l'éclairage

Le système d'éclairage le plus simple et le plus économique est l'éclairage par appareils à flux dirigé implantés sur les piédroits. En général un isolateur de 0,75 m permet de disposer ces appareils sans qu'il soit nécessaire de les encastrier dans les piédroits. Cela doit être le cas le plus courant.

Cependant dans certains cas, où l'on veut assurer un très grand confort aux usagers, l'éclairage peut être réalisé par paroi lumineuse. Ce mode d'éclairage nécessite une galerie de 1 m à 1,5 m de large et 2 m à 2,5 m de haut qui sert en outre à l'entretien des sources et aux passages de câbles. Cette galerie peut être superposée à une galerie de ventilation, comme cela est fait dans la plupart des ouvrages souterrains de la Ville de Paris.



La galerie d'éclairage est une solution luxueuse qui présente l'avantage de permettre un entretien facile et indépendant de la circulation.

#### 5,223 - Influence de la signalisation

La signalisation directionnelle devra être évitée dans toute la mesure du possible car les répercussions qu'elle peut avoir sont très importantes sur le profil en travers.

Pour les ouvrages courts (partie couverte inférieure à 50 m) aucune signalisation n'est normalement nécessaire.

Dans les autres cas, la signalisation (interdiction de doubler, feux tricolores, vitesse limitée) peut être implantée contre les piédroits, au-dessus des isolateurs qui dans ce cas devront avoir une largeur de 0,75 m. Il est possible d'implanter cette signalisation en plafond au-dessus des voies, mais cela nécessite un surgabarit de 0,50 m. Suivant les conditions économiques d'élargissement ou d'approfondissement et la présence ou non d'éclairage en piédroit, l'une ou l'autre des solutions pourra être retenue.

Pour ces ouvrages à gabarit normal, les accès aux trémies d'entrée ne nécessitent pas de signalisation de gabarit (contrairement au PSGR). Cependant il peut y avoir matière à une signalisation directionnelle pour laquelle il faudra s'assurer de la possibilité d'implantation et étudier son intégration dans le site (par exemple cacher les appuis des potences ou portiques par de la végétation).

#### 5,224 - Influence des goussets

Le bon fonctionnement et le respect des hypothèses de calcul des ouvrages type PIP0 - PICF ou plus généralement des ouvrages dont la traverse supérieure est encastrée sur les piédroits nécessite la présence de goussets. Ceux-ci sont avant tout des éléments structuraux.

Les dimensions de ces goussets sont variables, mais pour les ouvrages courants le dossier-pilote fixe les dimensions suivantes : 0,30 m de haut et 1 m de long. Le choix de ces valeurs a été guidé par un souci d'esthétique en plus du caractère fonctionnel. Pour les faibles ouvertures les dimensions des goussets peuvent être réduites (voir pièce 2.6.1 du dossier PICF).

Dans tous les cas, afin que les goussets ne débordent pas des isolateurs de 0,75 m, leur longueur peut être réduite à cette valeur ; par contre l'épaisseur de 0,30 m est à conserver.

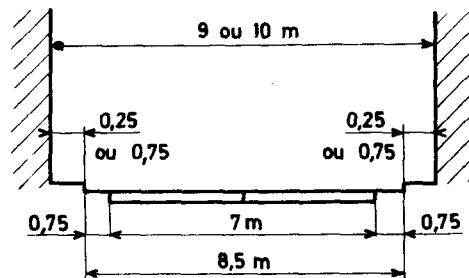
Il est déconseillé d'utiliser ces goussets pour y encastrer des appareils d'éclairage (il est de même pour les piédroits). Les appareils d'éclairage se placent très facilement sous les goussets contre les piédroits.

Pour l'implantation de la traverse supérieure il y a lieu de ne pas oublier la présence des goussets qui, en fonction du dévers en particulier \*, imposent des surhauteurs qui permettent de dégager partout au-dessus de la largeur roulable la hauteur libre souhaitée. Pour des isolateurs de 0,75 m, cette condition n'est généralement pas contraignante alors qu'elle le serait dans le cas des isolateurs de 0,25 m.

5,23 - Profils en travers les plus courants

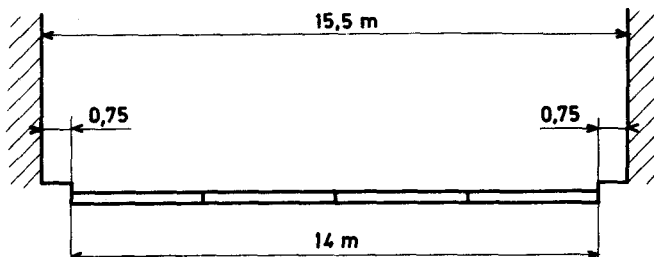
Il ne s'agit pas de profils en travers types. En effet la règle générale est de répartir au mieux la largeur totale disponible en surface, et dans cette répartition il doit être tenu compte des indications contenues aux § 5,21 et 5,22. Il doit seulement être constaté que ces arbitrages conduisent en moyenne aux résultats donnés ci-dessous. Ceux-ci peuvent être considérés comme un point de départ pour des études plus fines.

Ouvrages bidirectionnels sans séparateur central



2 voies

La largeur des isolateurs est à définir en fonction des équipements



4 voies

\* En cas de dévers, le haut des véhicules peut dépasser l'aplomb de la limite de la largeur roulable (d'une vingtaine de centimètres par exemple si le dévers est de 4 %).

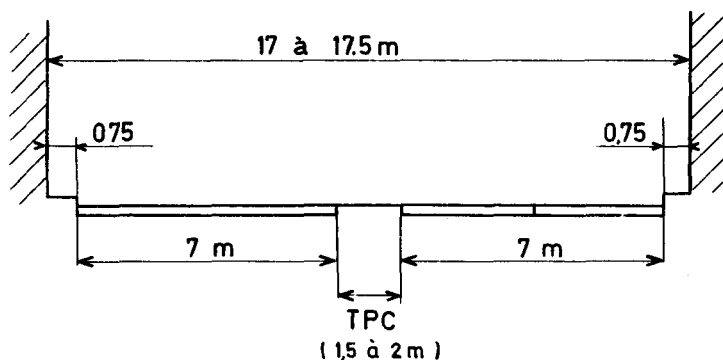
Ouvrage bidirectionnel à 2 voies/sens avec séparateur central

La circulaire n° 75-131 du 4 Septembre 1975 sur les dispositifs de retenue des véhicules contre les sorties accidentelles de chaussées hors ouvrages d'art envisage 3 types de séparateur pouvant se placer sur un "terre plein central" de 1,5 m à 2 m. Il faut noter que l'implantation de ces dispositifs doit faire l'objet au préalable d'une demande écrite auprès de la DRCR.\*

Les largeurs hors tout de ces 3 dispositifs sont :

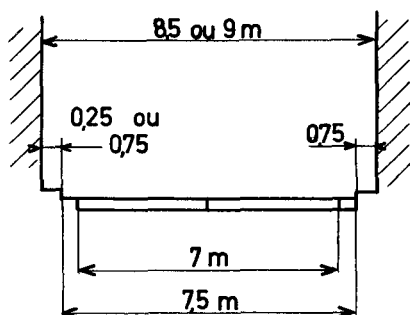
- séparateur central béton coulé en continu (DBA) : 0,60 m
- glissière métallique double à entretoises type renforcé (DE2) : 0,80 m
- glissière à câble polyester "OROC" (DCP) : 0,10 m

D'autre part, avant de faire un tel choix il faut s'assurer que ces différents séparateurs sont bien compatibles avec les caractéristiques géométriques en plan et en profil en long (rayons).



La largeur du T.P.C. doit comprendre outre la largeur du séparateur 2 bandes dérasées de 0,50 m.

Ouvrage unidirectionnel à 2 voies



l'isolateur gauche peut être réduit à 0,25 m si aucun équipement ne se trouve de ce côté.

---

\* En effet, ces dispositifs sont susceptibles dans certaines circonstances de donner lieu à des accidents graves, soit aux extrémités, soit en section courante vis-à-vis des motocyclettes; d'où la nécessité d'un examen préalable par un service spécialisé.

Si deux ouvrages comme celui-ci sont accolés (cela peut être intéressant pour les phases de chantier, et favorable à la structure surtout si le nombre de voies est supérieur à 2), le profil en travers devra être adapté pour se raccorder à la trémie qui comporte un séparateur central.

### 5,3 - Tracé en plan

Les zones urbaines étant généralement très encombrées, les ouvrages dénivelés sont souvent courbes avec des rayons assez faibles. Il est nécessaire dans ce cas d'offrir à l'usager, pour lui assurer une sécurité et un confort suffisants :

- des dévers convenablement raccordés (avec incidence sur le gabarit)
- une visibilité correspondant aux vitesses pratiquées.

Pour les vitesses inférieures à 60 km/h, seul l'ICTAR fournit des paramètres cinématiques et géométriques correspondants. Pour 60 km/h les valeurs de l'ICTAR et celles du VRU se correspondent sauf en ce qui concerne la définition de la distance d'arrêt et de la distance de visibilité. Il nous semble que l'application de l'ICTAR en ce qui concerne le tracé en plan donne un résultat satisfaisant; adopter des caractéristiques plus faibles (pour les vitesses considérées) deviendrait sans doute dangereux.

Désignation du paramètre		Symbole et unité	Vitesses de base		
			40 km/h	50 km/h	60 km/h
Dévers maximal		$\delta M$ (%)	7	7	7
Rayon en plan RH(m)	minimal absolu (dévers $\delta M$ )	RH m	40	70	120
	minimal normal (dévers)	RH N ( $\delta$ %)	120 (5%)	180 (5%)	240 (5%)
Longueur de freinage		$d_{\theta}$ (m)	15	25	35
Distance d'arrêt en alignement $R > 5V$		$d_1$ (m)	40	50	70
Distance d'arrêt en courbe $R < 5V$		$d_2$ (m)	45	60	80

Le dégagement latéral aux vues doit permettre une visibilité, l'oeil et l'objet étant placés à 2,00 m du bord droit de la voie élémentaire considérée, supérieure à la distance d'arrêt ( $d_1$  ou  $d_2$  suivant le cas).

Dans une courbe de rayon R pris sur l'axe de la voie suivie, la relation entre la distance de visibilité d et le dégagement latéral aux vues e (distance entre l'oeil et le piédroit convexe) est donnée par la formule (en unités homogènes) :

$$R = \frac{d^2}{8e} \quad \text{si le rayon est constant ou peu variable sur une longueur au moins égale à } d \text{ (voir figure page 22).}$$

Cette valeur permet en faisant varier soit la vitesse de base (donc d), soit R, soit la distance des piédroits à la chaussée (donc e) de dimensionner un projet assurant une visibilité suffisante.

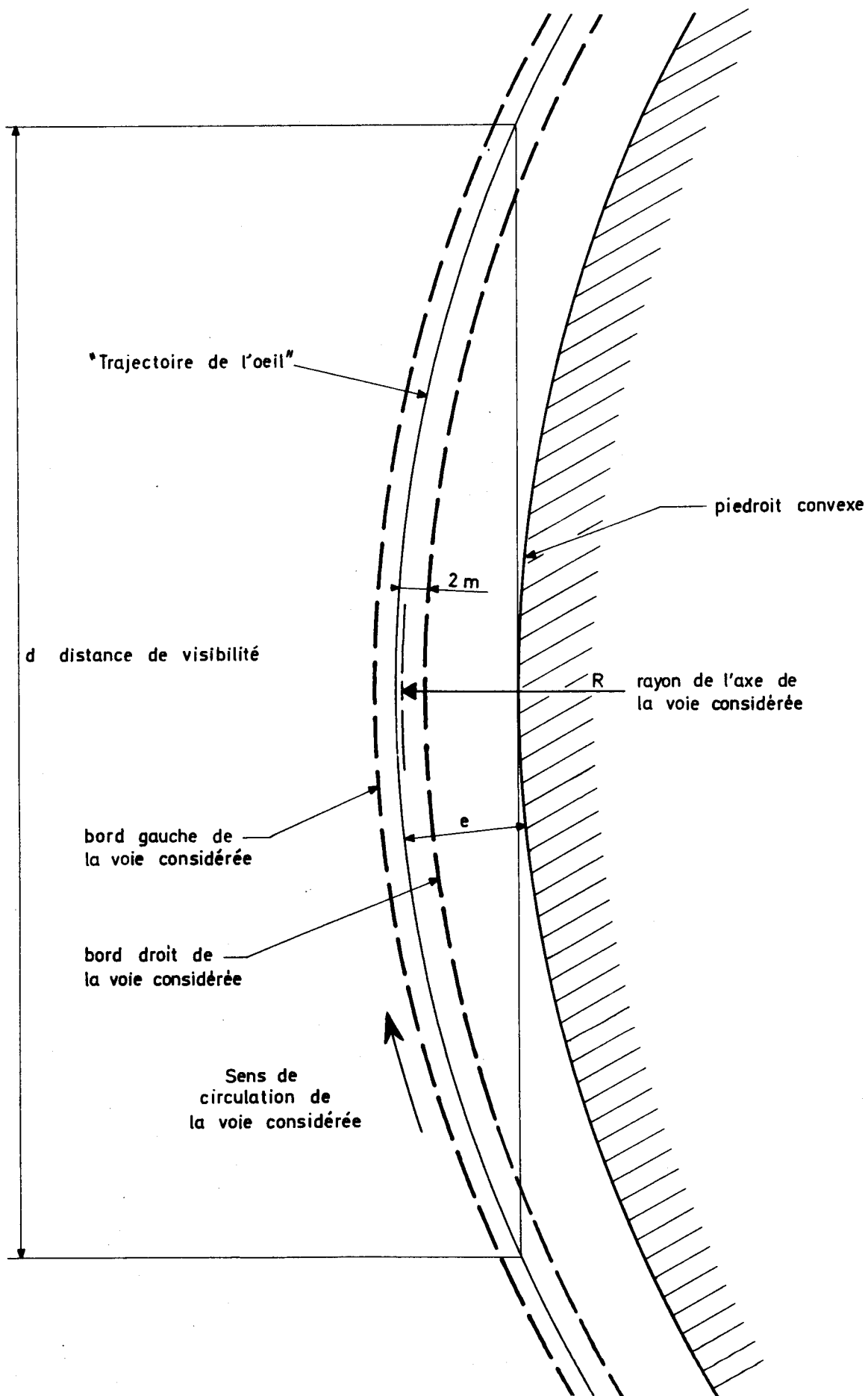
Pour les profils en travers définis dans le présent chapitre, aucune surlargeur pour visibilité n'est nécessaire pour les valeurs des rayons supérieurs à celles indiquées dans le tableau suivant.

Profils en travers		Rayons sur l'axe de l'ouvrage		
		Vb=40km/h	Vb=50km/h	Vb=60km/h
Ouvrages bidirectionnels sans séparateur central	2 voies avec isolateur de 0,25 m	87	153	270
	2 voies avec isolateur de 0,75 m	76	132	232
	4 voies	98	170	297
Ouvrages bidirectionnels à 4 voies avec séparateur central		100	171	299
Ouvrages unidirectionnels à 2 voies *	Courbe à droite	87	153	270
	Courbe à gauche IsG=0,25m	130	220	309
	IsG=0,75m	105	183	300

\* Rayons sur l'axe de la chaussée

A titre d'exemple nous donnons également, pour une voie de 3,50 m, les distances  $Y_D$  et  $Y_G$  entre le piédroit de droite ou de gauche et le bord correspondant de la voie, nécessaire à une visibilité suffisante pour  $R_{Hm}$  et  $R_{HN}$  (pris sur l'axe de la voie).





		Courbe à droite $Y_D$	Courbe à gauche $Y_G$
V = 40 km/h	RHm = 40 m	4,88	5,48
	RHN = 120 m	0,12	0,63
V = 50 km/h	RHm = 70 m	4,73	5,28
	RHN = 180 m	0,51	1,02
V = 60 km/h	RHm = 120 m	4,85	5,38
	RHN = 240 m	1,35	1,86

Le rayon R est supposé constant ou peu variable sur une distance d (distance d'arrêt).

Les surlargeurs pour visibilité sont généralement placées en bandes dérasées côté intérieur de la courbe. Cependant comme les largeurs de B.D. comprises entre 1 et 2 m sont à proscrire, on se limite à 1 m et le reste est placé en isolateur.

D'autre part pour les rayons faibles, l'inscription correcte des poids lourds dans les courbes doit être vérifiée. Au-dessus de 100 m de rayon pour les profils décrits précédemment (voies unitaires de 3,50 m) cela ne doit pas poser de problèmes. Pour les valeurs plus faibles on pourra utiliser les éléments fournis par le V.R.U. (Chapitre 7 : Eléments des accès) ou l'ICTAR (Chapitre III § 2.2 d et chapitre IV 432 et ses annexes : largeurs des couloirs courbes).

De même l'influence du dévers surtout pour les faibles rayons ne doit pas être oubliée, il peut être nécessaire d'augmenter jusqu'à 0,35 m la largeur sur laquelle le gabarit doit être dégagé.

#### 5,4 - Profil en long

1) Parties couvertes - Le profil en long résulte généralement de celui du terrain naturel, de façon à n'implanter nulle part l'ouvrage plus profond qu'il n'est nécessaire. Généralement on évite d'avoir du remblai sur la traverse et on s'efforce d'avoir des piédroits de hauteur constante sur certaines longueurs, pour simplifier projet et exécution; ces conditions ne sont toutefois nullement obligatoires. Mais on évite autant que possible que le profil en long des sections couvertes comporte des paliers horizontaux qui risqueraient de provoquer des accumulations d'eaux venant des trémies ou éventuellement d'infiltration (une pente minimale de 0,2 à 0,4 % est souhaitable). Pour les ouvrages de plus de 400 m, il vaut mieux ne pas projeter de rampe de plus de 2 % et se limiter lorsqu'on le peut à 1,5 %. En effet de telles rampes augmentent le débit d'émission de polluants, réduisent la vitesse des camions lourds, diminuent donc la capacité de l'ouvrage, et augmentent le nombre de pannes (voir dossier-pilote des tunnels: géométrie chapitre 4 profil en long, Equipements, section ventilation).

2) Trémies - Le profil en long des trémies d'accès résulte généralement d'un compromis entre deux exigences contradictoires :

- Assurer la dénivellation sur une distance assez courte (et éventuellement aussi courte que possible) pour limiter l'emprise au sol des trémies, compte tenu de points singuliers éventuels à proximité du débouché(carrefour, réseaux...).

- Présenter une pente assez douce pour offrir aux usagers une visibilité et un confort suffisants et éviter un ralentissement trop important des véhicules lourds dans les rampes.

Les valeurs des rayons minimaux et pentes maximales fournies par le VRU et l'ICTAR sont les suivantes:

	VRU 60km/h	ICTAR 60 km/h	ICTAR 50km/h	ICTAR 40km/h
Angle saillant Rayon minimum absolu ou isolé	1500	1500	900	500
Angle rentrant Rayon minimum absolu ou isolé	800	1500	1000	700
pente maximale	9% sur une longueur inférieure à 30m	7 %	7,5%	8 %

Les rayons en angle saillant ainsi définis assurent une visibilité à la distance d'arrêt en courbe sur un obstacle de 0,15 m pour la vitesse correspondante. Pour les ouvrages qui nous intéressent ici, il est possible de se contenter d'assurer cette même distance de visibilité sur un véhicule de 1,20 m de hauteur au lieu d'un obstacle de 0,15 m.

D'autre part en ce qui concerne les rayons en angle rentrant, les trémies étant toujours éclairées en zone urbaine, seule la condition de confort doit être assurée.

Cela nous conduit aux valeurs minimales qui sont à considérer comme absolues :

Rayon en angle saillant : 750 m pour 60 km/h et 500 m pour 50 et 40 km/h

Rayon en angle rentrant : 500 m pour  $V \leq 60$  km/h.

Quant aux pentes maximales, les valeurs fournies par l'ICTAR ne doivent pas être dépassées et il est souhaitable de se limiter à 6 % lorsque la proportion de véhicules lourds est importante.

En pratique, pour un terrain naturel horizontal, une trémie devant déniveler une hauteur h avec un rayon en angle saillant R et r en angle rentrant et une pente maximale Pmax, a une longueur qui est approximativement donnée par la formule suivante :

$$L = \frac{P_{\max} (R + r)}{2} + \frac{h}{P_{\max}}$$

et la distance sur laquelle règne  $P_{\max}$  est :  $l = \frac{P_{\max} (R + r)}{2} + \frac{h}{P_{\max}}$

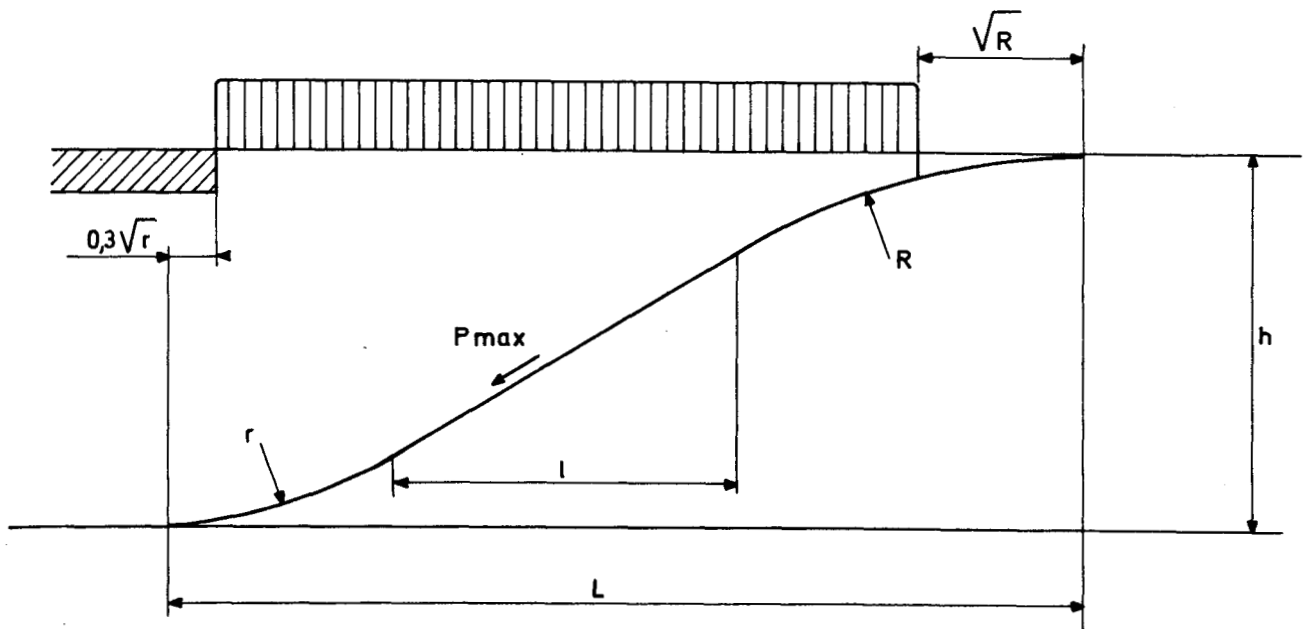
Pour une trémie courante où l'on prend :  
Rayon en angle saillant 750 m  
Rayon en angle rentrant 500 m  
pente maximale 6 %

$$L = 37,5 + 16,67 h \quad \text{soit } 121 \text{ m pour } h = 5 \text{ m}$$

En première approximation on peut donc considérer que la longueur d'une trémie de PSGN est de l'ordre de 100 à 120 m minimum.

Lorsque le tracé en plan impose une vitesse inférieure à 60 km/h (50 ou 40 km/h), si cela est possible, il convient de maintenir pour le profil en long les caractéristiques correspondant à 60 km/h au minimum. En effet il serait dangereux de combiner un tracé en plan et un profil en long aux caractéristiques minimales.

Profil en long d'une trémie pour un T.N. horizontal



Remarques :- La longueur de la trémie peut être réduite en plaçant le raccordement en point bas à  $0,3 \sqrt{r}$  à l'intérieur de la partie couverte (réduction de la hauteur libre de 4,5 cm).

- Les murs des trémies ne commencent que lorsque la dénivelée est de 0,5 m. Un simple aménagement superficiel termine la trémie sur une longueur d'environ  $\sqrt{R}$ .

SOMMAIRE DE LA PARTIE 2

-----  
CHOIX DE LA STRUCTURE  
-----

	Pages
<u>CHAPITRE 6</u> - FACTEURS PERMETTANT LE CHOIX SUR LE PLAN TECHNIQUE	27
6,1 - Fonctions de la structure	28
6,2 - Présence ou non d'une nappe	29
6,3 - Nature des terrains	30
6,4 - Caractéristiques du site urbain	31
<u>CHAPITRE 7</u> - CATALOGUE DES STRUCTURES ET DES METHODES D'EXECUTION CORRESPONDANTES	
7,1 - Interdépendance des structures et des méthodes d'exécution	33
7,2 - Classification des types de structures	34
7,3 - Structures en béton armé fondées superficiellement	36
7,31 - Problèmes liés à la fondation	36
7,32 - Méthodes d'exécution	37
7,321 - Ouvrages hors nappe	38
7,321.1 - Fouilles talutées	
7,321.2 - Fouilles blindées	
7,321.3 - Parois berlinoises et hambourgeoises	
7,322 - Ouvrages baignés dans la nappe	44
7,322.1 - Rabattement de nappe	
7,322.2 - Réalisation d'une enceinte étanche en palplanches	
7,4 - Structures réalisées par des écrans	48
7,41 - Ouvrages en parois moulées	48
7,42 - Ouvrages en palplanches	51
<u>CHAPITRE 8</u> - PROBLEMES ANNEXES SPECIFIQUES DU SITE URBAIN	56
8,1 - Déplacements et rétablissements des réseaux	56
8,2 - Nuisances	60
<u>CHAPITRE 9</u> - FACTEURS PERMETTANT LE CHOIX SUR LE PLAN ECONOMIQUE	64
9,1 - Etude du projet et rédaction du D.C.E.	64
9,2 - Jugement des offres	68

## CHAPITRE 6

### FACTEURS PERMETTANT LE CHOIX SUR LE PLAN TECHNIQUE

Dès que les caractéristiques géométriques et fonctionnelles de l'ouvrage sont définies, il se pose au projeteur le problème du choix de la structure. Ce choix se situe sur deux plans:

- Le plan technique : compte tenu des fonctions de l'ouvrage et de ses possibilités de réalisation c'est-à-dire des caractéristiques du site, un certain nombre de solutions sont envisageables.

- Le plan économique : le coût de chacune des solutions doit être pondéré en fonction de sa valeur technique, des délais et des gênes apportées par le chantier.

La démarche du projeteur est donc de déterminer les solutions techniquement envisageables et ensuite de les comparer sur le plan économique. Cela doit permettre d'établir l'estimation du projet de façon plus ou moins précise suivant que l'on est au stade A.P.S. ou A.P.D., de choisir la forme de la consultation, de fixer une solution de base et de déterminer éventuellement les possibilités de variante.

Le problème du choix peut se poser de nouveau au Maître d'Oeuvre, au moment du jugement des offres, mais dans des conditions différentes :

. le choix n'a plus à s'exercer que dans le cadre du R.P.A.O., donc sur un nombre de points plus limité.

. on dispose pour ce choix, des offres des entreprises concurrentes.

Si la consultation des entreprises s'est faite après une bonne analyse du projet, et en particulier une bonne définition des variantes autorisées, le choix à ce stade sera relativement simple.

De toutes façons, certaines études techniques précèdent toujours le choix économique, et elles sont nécessaires pour la consultation des entreprises.

En ce qui concerne le jugement des offres, le document DJ 75 de la DOA-B du SETRA donne toutes indications sur les critères à retenir, et en particulier sur celui de la valeur technique (§ 3.4).

Le présent chapitre a pour but de donner des éléments aux projeteurs et aux maîtres d'oeuvre afin de les guider dans leur choix, principalement au moment de la conception.

Quatre facteurs sont déterminants pour établir le choix technique :

- les fonctions de l'ouvrage : trémies, tranchées ouvertes et tranchées couvertes sont les éléments d'aménagements urbains, que l'on juxtapose généralement, mais qui ont des fonctions différentes et qui donc peuvent avoir des structures différentes.

- la présence ou non d'une nappe pouvant remonter jusqu'au niveau de la structure de l'ouvrage.

- la nature des terrains; possibilités de fonder les ouvrages et réaliser les terrassements.

- les caractéristiques du site urbain : réseaux existants et possibilités de les déplacer; sujétions pour la construction (maintien de la circulation; proximité des immeubles)...

Ces quatre facteurs vont être détaillés afin de bien dégager tous les éléments nécessaires au choix, et également de déterminer les moyens qui permettent de les connaître.

#### 6,1 - Fonctions de la structure

Du point de vue mécanique, les rôles principaux de ses différentes parties sont :

- pour les tranchées couvertes, de soutenir les terres et de porter la couverture qui sert de support à la circulation de surface, aux remblais éventuels...

- pour les trémies, de soutenir les terres sur une hauteur variable de 0 à plusieurs mètres.

- pour les tranchées ouvertes éventuelles, de soutenir les terres sur des hauteurs peu variables.

A la différence des PSGR, la hauteur à soutenir atteint environ 5 m, ou en reste voisine, selon la partie concernée.

Le soutènement est réalisé par les piédroits pour les tranchées couvertes et par les murs (au sens général) pour les trémies et tranchées ouvertes. Pour les tranchées couvertes les piédroits servent également d'éléments porteurs de la traverse supérieure et transmettent les efforts aux fondations.

Les problèmes posés par les trémies et tranchées ouvertes sont donc des problèmes de soutènement alors que ceux posés par les tranchées couvertes sont de deux natures puisqu'elles doivent porter la couverture et assurer le soutènement.

Ceci nous conduit aux deux conclusions suivantes : pour un ouvrage dénivelé se composant de trémies, tranchées couvertes et ouvertes :

1) Les ouvrages réalisant le soutènement des terres pourront être de natures différentes suivant les parties de l'aménagement considérées.

2) Une même trémie pourra être réalisée avec des ouvrages différents en fonction de la hauteur des terres à soutenir. Par exemple les parties hautes seront réalisées en palplanches ou parois moulées, et les parties de hauteur plus faible pourront être réalisées en mur de soutènement classique en béton armé. De telles solutions mixtes posent cependant divers problèmes de continuité, en particulier du point de vue de l'esthétique : parements de nature et couleur différentes, désalignement des murs sous la poussée des terres s'exerçant sur des éléments d'inerties différentes.

D'autre part en ce qui concerne les tranchées couvertes, il est possible de dissocier le soutènement du rôle porteur de la structure en réalisant une structure composite. C'est le cas par exemple d'un portique ou cadre réalisé à l'intérieur de palplanches laissées en place (voir paragraphe 7,322.2). Subsidiairement, une autre fonction des différentes parties peut être de porter un garde-corps, exceptionnellement un dispositif de retenue; dans ce cas d'exception, la sujétion correspondante peut être lourde pour les parties non couvertes, et conditionner largement leur conception (cf. dossier MUR, pièce 1.2 § 4.3.1).

#### 6,2 - Présence ou non d'une nappe

La présence d'une nappe pose deux sortes de problèmes :

- pendant la construction, pour l'exécution des fouilles,
- après la mise en service, pour l'assainissement de l'ouvrage.

Dès le stade de l'APS, il est important de déterminer par la pose de piézomètres (au moment de l'étude des sols) :

- la cote maximale atteinte par la nappe au cours des mesures
- les variations saisonnières du niveau de la nappe.

Ces mesures doivent porter sur une période au moins égale à un an.

Ces mesures demandent à être interprétées car la durée d'un an n'est pas suffisante pour définir complètement les variations de la nappe, et en particulier la cote maximale que peut atteindre la nappe peut être différente de la cote maximale enregistrée si les variations saisonnières du niveau sont importantes.

Cependant cela est généralement suffisant pour affirmer si l'ouvrage risque de baigner dans la nappe phréatique.

Dans l'affirmative il est nécessaire de compléter l'étude hydrologique par :

- la reconnaissance de la profondeur de la formation imperméable sur laquelle repose la nappe. Cette donnée est importante car elle permet, si cette formation est assez proche du niveau inférieur de l'ouvrage, d'envisager des solutions en écrans étanches, fichés dans la formation imperméable (voir § 7,42 page 51) et qui réaliseraient une boîte complètement étanche.

- l'examen des variations saisonnières de la nappe. Dans certains cas il existe une période dans l'année où la nappe phréatique est suffisamment basse pour que les travaux puissent être exécutés à sec. Cela est très important pour le choix de la méthode d'exécution, pour fixer la date de réalisation des travaux, les délais et établir le planning des travaux.



- la détermination de la perméabilité des terrains rencontrés. Cette donnée est très importante car elle permet de prévoir les débits escomptés dans les fouilles et les possibilités de rabattement de nappe .

Les essais qui permettent de déterminer toutes ces caractéristiques hydrologiques sont décrits dans le chapitre 3.4 du dossier FOND 72 : Méthodes de reconnaissance géophysiques et hydrologiques.

Dans tous les cas, et même en l'absence de nappe il convient également d'étudier les possibilités d'évacuation des eaux, tant pour la phase de construction que pour l'ouvrage définitif.

### 6,3 - Nature des terrains

Comme nous l'avons vu au 6,1 : Fonctions de la structure, une tranchée couverte doit porter les charges et soutenir les terres. La reconnaissance des sols doit donc apporter des réponses à ces deux problèmes.

La reconnaissance des sols doit permettre de dire s'il est possible de fonder l'ouvrage superficiellement sans tassements préjudiciables à la structure :

- Dans l'affirmative, le dossier de reconnaissance doit établir si des semelles séparées sont possibles, ou si un radier général est nécessaire; il doit aussi étudier les modalités possibles de terrassement :

\* talutage : emprises pour l'ouverture de la fouille, durée possible d'ouverture, protection éventuelle contre les eaux de pluie

\* blindage (cf chapitre 7,3)

\* écrans : types envisageables (palplanches récupérables ou non, parois berlinoises ou hambourgeoises), dimensionnement de ces différents types d'écrans, contraintes d'exécution.

\* ou une combinaison de plusieurs de ces méthodes.

- Dans la négative, des systèmes de fondations profondes doivent être envisagés. La solution est alors de prévoir des écrans assurant à la fois les descentes de charge et le soutènement des terres : rideaux de palplanches, parois moulées.

Le dossier de reconnaissance doit dans ce cas étudier la portance de ces écrans : effet de pointe, frottement latéral, ainsi que la stabilité des écrans vis-à-vis des poussées des terres.

Tous ces renseignements peuvent être obtenus par la "Reconnaissance normale" définie au chapitre 2.2 du dossier FOND 72. En effet les renseignements fournis par l'Enquête préalable seront généralement insuffisants pour ce type d'ouvrage, en particulier en ce qui concerne les possibilités de réaliser les fouilles.

D'autre part une tranchée couverte présente une longueur assez importante (plus de 250 m, trémies comprises). Il en résulte que le problème de l'hétérogénéité des terrains suivant l'axe de la voie souterraine est très important. Il est fréquent qu'un tel ouvrage puisse être fondé superficiellement sur sa plus grande partie sauf en quelques points particuliers. En conséquence la reconnais-

sance devra être suffisamment continue sur l'axe de la voie souterraine pour que ces hétérogénéités n'échappent pas. D'autre part le dossier de reconnaissance devra préciser si en ces points il n'est pas possible de rechercher un niveau de fondation de même nature qu'en section courante mais à une cote légèrement inférieure qui peut être atteinte soit par des puits de très faible hauteur soit par un curage des terrains de mauvaise qualité.

Une reconnaissance normale pour ce type d'ouvrage peut se composer :

- de sondages pressiométriques à raison de 1 sondage tous les 30 à 50 m pour les tranchées couvertes et ouvertes (avec un minimum de 2) et 2 sondages par trémies. Par exemple un ouvrage de 60 m de passages couverts nécessitera 5 sondages : 1 au milieu de chaque trémie, 1 à chaque extrémité de la partie couverte et 1 au milieu de la partie ouverte.

- de forages de reconnaissance avec prélèvements d'échantillons intacts pour essais de Laboratoire à raison de 1 pour 3 sondages pressiométriques environ.

Cependant, il ne faut pas oublier que le site urbain peut toujours réserver certaines "surprises" qu'une reconnaissance normale ne permettra pas d'éviter. Il en est ainsi d'anciennes canalisations ou d'anciens ouvrages ponctuels non répertoriés. Il convient donc, au moment du choix des structures et des méthodes d'exécution, de s'orienter vers des solutions capables de s'adapter sans trop de difficultés à de tels aléas, qui sont toujours facteurs de pertes de temps.

#### 6,4 - Caractéristiques du site urbain

Qu'il s'agisse d'une tranchée couverte faisant partie d'une voie nouvelle ou d'un simple aménagement de carrefour, ces ouvrages se trouvent toujours dans des zones urbaines denses sauf pour quelques aménagements particuliers nécessités uniquement par la protection de l'environnement (traversée de sites classés, de certaines forêts...).

Les ouvrages se trouvent dans des zones où :

- la circulation est très importante : à l'emplacement de l'ouvrage projeté s'il est construit sur une voie existante; à proximité pour une voie nouvelle

- la densité de réseaux et ouvrages souterrains est très forte. Par exemple le sous-sol parisien dans les emprises des voiries est occupé par :

- \* les réseaux d'assainissements (eaux pluviales et eaux usées)
- \* les réseaux de distribution de l'énergie électrique, d'éclairage public, de signalisation (y compris feux tricolores), les postes de transformation et de commande
- \* les réseaux de distribution du gaz
- \* les réseaux de distribution d'eau potable (et éventuellement d'eau industrielle)
- \* les réseaux et ouvrages P et T
- \* le métro
- \* les réseaux de chauffage urbain
- \* les réseaux de distribution d'air comprimé

Les cinq premiers réseaux nommés sont ceux qui sont généralement présents dans les sous-sols de toutes les villes

- des immeubles sont toujours proches des emprises du projet. Cela conduit à tenir compte de toutes les nuisances apportées par le chantier aux riverains, à essayer de maintenir au maximum la circulation des piétons (surtout dans les zones où les commerces sont nombreux) ainsi que les accès aux immeubles. Cela a également une incidence sur les techniques d'exécution. Par exemple, le vibrofonçage de palplanches est à éviter à proximité des immeubles (distance inférieure à 3m) (cf GGOA 70 fascicule 3.6); il faut s'assurer qu'en cas d'injection de sol ou de rabattement de nappe, il n'y ait pas de risque de désordre dans les fondations des immeubles (cf G.M.O. § 7,4).

Toutes ces caractéristiques sont importantes pour le choix de la structure et de la méthode d'exécution, de l'établissement des plannings, de la durée totale des travaux, voire de leur date. Les questions relatives aux déplacements et rétablissements de réseaux sont traitées dans le chapitre 8, "problèmes annexes".

## CHAPITRE 7

### CATALOGUE DES STRUCTURES ET DES METHODES D'EXECUTION CORRESPONDANTES

#### 7,1 - Interdépendance des structures et des méthodes d'exécution

Si nous supposons connus les facteurs précédemment décrits au chapitre 6, il est théoriquement possible de définir un certain nombre de structures techniquement acceptables. Cependant certaines sont réalisables et d'autres le sont plus malaisément. C'est pour cela que chaque structure possible doit être définie avec sa ou ses méthodes d'exécution correspondantes. En effet les méthodes d'exécution doivent permettre en général de réaliser l'ouvrage :

-avec un minimum d'emprise : site urbain encombré

-dans un délai le plus court possible : maintien des courants de circulation

-avec un phasage des travaux permettant le plus rapidement possible de libérer pour la circulation les parties d'ouvrage déjà réalisées.

Ainsi les méthodes d'exécution imposent plus ou moins les structures. C'est le cas par exemple des ouvrages construits dans une nappe que l'on ne peut pas rabattre. Des écrans étanches doivent être réalisés, et par économie servent en général de structure porteuse partiellement ou totalement.

Dans le cas général, pour un site donné, plusieurs structures seront techniquement envisageables, et pour chacune plusieurs techniques d'exécution. Il est utile de dresser la liste de ces solutions et de les comparer sur le plan économique afin de pouvoir :

- au niveau de la consultation des entreprises choisir une solution de base, déterminer les possibilités de variantes sans risquer d'en exclure arbitrairement, et décider de la forme de la consultation.

- au moment du jugement des offres ne pas être pris au dépourvu par une solution non envisagée(cf DJ.75, § 3.4).

Ces questions seront examinées dans le chapitre 9 ; dans le présent chapitre, nous présentons un certain nombre d'exemples de structures les plus courantes et les méthodes d'exécution correspondantes.

7,2 - Classification des types de structures

Deux types de structures sont couramment utilisés pour réaliser les tranchées couvertes :

- Les structures en béton armé fondées superficiellement, de type portique, cadre, section en auge. Les structures de ce type sur fondation profonde sont rarement utilisées car il est préférable alors d'utiliser le second type.

- Les structures réalisées à l'aide d'écrans : parois moulées, palplanches métalliques.

Nous donnons ci-après les différentes utilisations de ces structures et leurs domaines d'emploi selon que l'ouvrage est ou non concerné par une nappe d'eau.

Les tableaux suivants tiennent compte des facteurs décrits au chapitre 1, mais aussi des différents domaines d'emploi de structures bien connues. L'expérience acquise pour ces structures a permis de définir des domaines d'emploi économiques dont nous donnons l'essentiel, sachant que les PSGN sont presque toujours de biais modéré, et leurs éventuels points singuliers n'étant pas considérés ici. Toutes les valeurs données le sont à titre indicatif et ne forment en aucun cas des limites infranchissables.

Ouvrages hors nappe

Ouverture droite en m	8	10	12	20	25	
	cadre	portique simple sur semelle si $\bar{q} \geq 3b$ cadre si $\bar{q} \leq 3b$	portique simple sur semelle si $\bar{q} \geq 2b$ cadre si $\bar{q} \leq 2b$	portique simple sur semelle	portique simple ou double	portique double
	élançement de la traverse 1/25 à 1/30			élançement de la traverse 1/25		

$\bar{q}$  représente la pression que peut supporter le sol sans qu'il y ait de tassements préjudiciables à la structure ( $\bar{q}$  exprimée en bars).

Toutes ces structures font l'objet de dossiers-pilotes du SETRA (PI.PO; PI.CF; P.O.D.). Les domaines d'emploi et les critères de dimensionnement y sont définis. Pour plus de renseignements, il est utile de s'y reporter.

Ouvrages dans la nappe

Ouverture droite en m	10 à 12		15	
	cadre simple	cadre double		
	rideaux de palplanches			
	rideaux de parois moulées avec dalle encastrée			

Dans le cas où l'on utilise une couverture articulée sur les piédroits (ce qui est généralement le cas des couvertures de grande portée utilisant des éléments préfabriqués, ou des couvertures sur rideaux de palplanches, afin d'éviter de transmettre des moments importants aux piédroits) on peut se reporter au tableau suivant pour le choix du type de couverture.

Ouverture droite en m	10		15		25		30	
	dalle en B.A. élançement 1/23							
	dalle précontrainte élançement 1/30							
	poutres B.A. élançement 1/17							
					poutres précontraintes élançement 1/17 à 1/23			

Les dalles en béton armé et en béton précontraint sont l'objet de dossiers-pilotes du SETRA (PSIDA 68, PSIDP 69). Les tabliers à poutres comportent généralement des poutres préfabriquées. Pour les poutres à fils adhérents, le lecteur se reportera au PR.AD 73.

Il convient d'ajouter les voûtes en béton armé. Elles peuvent être une variante intéressante des portiques ou cadres lorsque l'ouvrage est surmonté d'une hauteur importante de remblai. Cela se produit lorsque la voie concernée a été placée en souterrain pour raisons esthétiques (sites classés, forêts ou parcs urbains). Ce type d'ouvrage se comporte très bien sous forte hauteur de remblai, et il peut être intéressant du point de vue coût.

### 7,3 - Structures en béton armé fondées superficiellement

#### 7,31 - Problèmes liés à la fondation

Théoriquement tous les ouvrages en tranchées couvertes peuvent être fondés superficiellement car la pression admissible de 1 bar nécessaire pour un ouvrage fondé sur radier est presque toujours atteinte.

Trois paramètres interviennent pour le choix de la structure :

- présence ou non d'une nappe
- nature des terrains de fondation par la pression admissible, leur aptitude aux tassements, et leur hétérogénéité
- ouverture de l'ouvrage

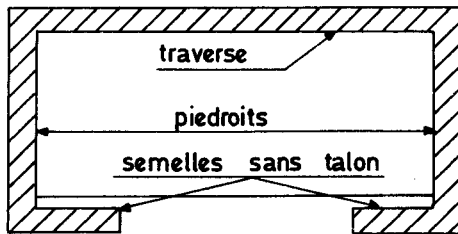
Deux types d'ouvrage sont couramment utilisés :

- cadre fermé fondé sur radier général
- portique ouvert fondé sur semelles indépendantes

Ces deux dénominations ne correspondent pas forcément aux structures PICF et PIPO définies dans les dossiers-pilotes du SETRA puisque la liaison de la traverse avec les piédroits peut être autre qu'un encastrement, et la traverse n'est pas forcément une dalle pleine.

De plus les ouvrages fondés sur semelles indépendantes ne comportent généralement pas de débords extérieurs, afin de limiter les emprises du chantier;

T.N.



la fiche des semelles peut être faible puisqu'il n'y a pas de problème de mise hors gel dans les cas les plus courants.

Une telle disposition nécessite un terrain de meilleure qualité que pour un ouvrage comportant des semelles débordant à l'extérieur.

Ainsi à titre indicatif nous pouvons définir les domaines d'emploi des ouvrages fondés sur radier ou sur semelles :

#### Ouvrages fondés sur radier

- \* La nappe peut atteindre le niveau de la chaussée
- \* Pression admissible sur le sol de fondation inférieure à 3 b et supérieure à 1 b

#### Ouvrages fondés sur semelles

- \* La nappe n'atteint pas le niveau de la chaussée
- \* Pression admissible sur le sol de fondation supérieure ou égale à 3b

Il est à noter que pour des ouvrages d'ouverture inférieure à 8 m, il est parfois économique de réaliser un ouvrage sur radier plutôt que sur semelle même si la pression admissible sur le sol de fondation est supérieure à 3 b.

Ainsi pour les structures du type PIP0 ou PICF utilisées en tranchées couvertes les domaines d'emploi sont différents de ceux donnés dans les dossiers-pilotes. Cela est dû d'abord à la forme particulière des semelles des ouvrages en portique (voir ci-dessus); d'autre part la fiche des semelles est très faible afin de réduire au maximum les terrassements, et la partie supérieure des semelles sert souvent de support à la couche de roulement; dans ces conditions il est nécessaire de venir réaliser un blocage en béton entre les semelles, ce qui rend les deux structures à peu près équivalentes du point de vue coût.

La solution cadre présente dans certains cas, d'autres avantages :

- lorsque le sol de fondation est très compressible
- lorsque le sol de fondation est très hétérogène.

Dans ces deux cas difficiles, la pression au sol d'un cadre étant faible, les tassements ou les tassements différentiels sont modérés. Du point de vue économique, il est par ailleurs préférable, pour une tranchée couverte (à l'opposé des trémies, dont la hauteur varie considérablement d'une extrémité à l'autre), d'adopter la même structure tout le long de la partie couverte. L'ouvrage en cadre nécessaire en certains points, peut dans ces conditions s'imposer même là où il n'est pas strictement nécessaire du point de vue de la Mécanique des sols.

Par contre si la nature du sol de fondation ne permet pas de fonder superficiellement partout et s'il n'est pas possible de curer localement la couche de terrain qui risque de tasser, il est préférable de trouver une autre solution qui puisse être utilisée tout le long de la tranchée couverte.

En conclusion la pression admissible sur le sol de fondation permet de dire si l'on peut se fonder sur semelles indépendantes ou sur radier; mais l'hétérogénéité du sol et son aptitude aux tassements peut soit imposer la solution radier, soit nécessiter le curage de la couche en cause, soit faire renoncer aux fondations superficielles.

#### 7,32 - Méthodes d'exécution

En ce qui concerne la méthode d'exécution d'une structure en béton armé fondée superficiellement il faut distinguer 2 cas :

- ouvrage hors nappe
- ouvrage baigné dans la nappe.

Le choix de la méthode d'exécution de la structure n'est pas indépendante de la méthode retenue pour le soutènement provisoire des fouilles et la mise hors nappe de la structure durant sa construction.



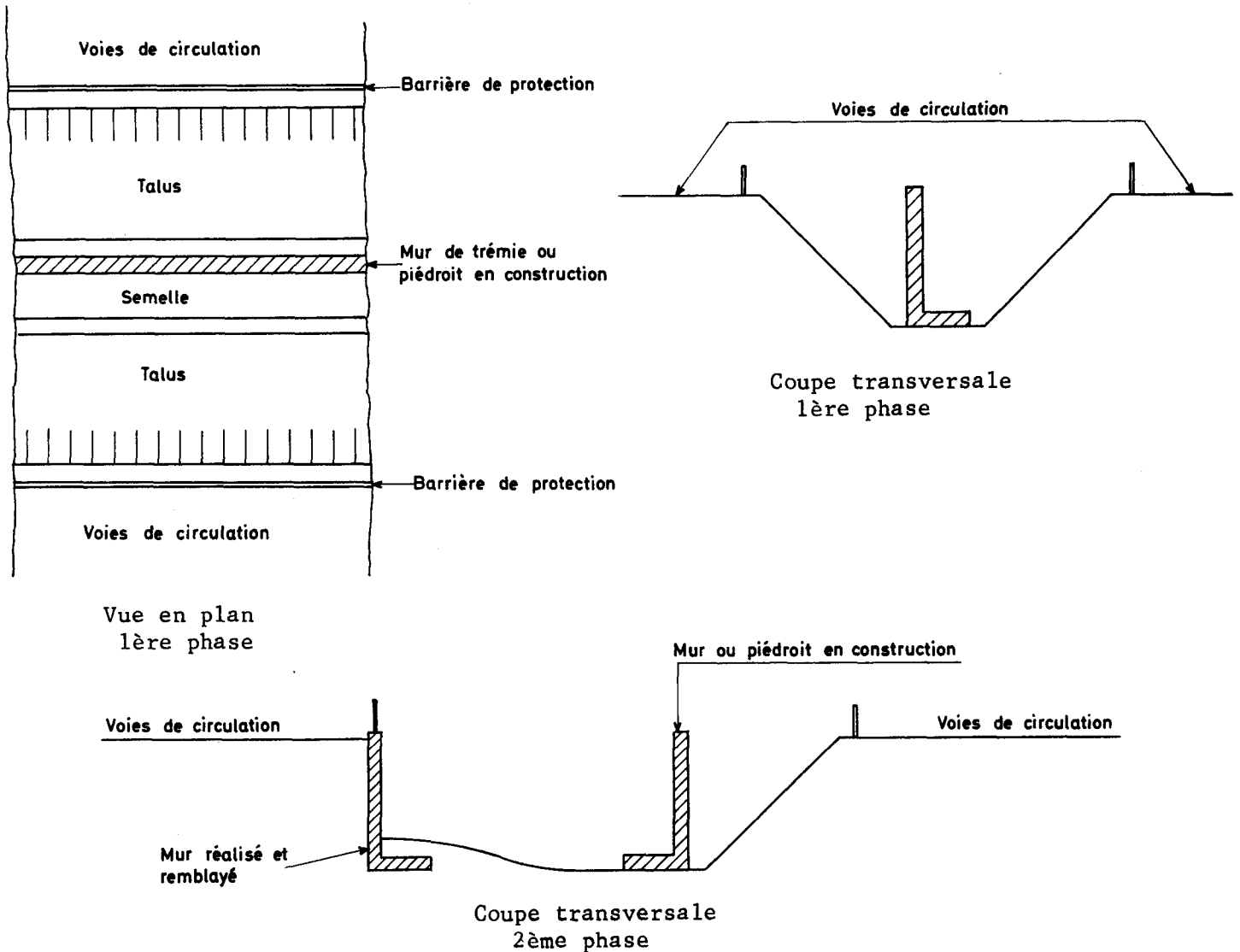
7,321 - Ouvrages hors nappe

Les méthodes d'exécution d'un ouvrage dans ces conditions sont liées :

- aux possibilités de réaliser les fouilles et éventuellement de les soutenir
- aux possibilités de dévier ou d'interrompre la circulation, compatibles avec la gêne apportée aux usagers.

Nous allons essentiellement décrire les méthodes de soutènement, leurs incidences sur la structure et les variantes possibles en fonction des impératifs de circulation.

Afin de laisser le maximum de place à la circulation de surface, on a intérêt à réaliser en une même phase, au moins sur une grande partie de la longueur, les murs de trémies et piédroits d'un même côté, de telle façon que lorsque l'on viendra ouvrir le reste de la fouille pour les murs et piédroits de l'autre côté, la circulation de surface contre les murs déjà réalisés puisse être rétablie.



EXEMPLE DE CONSTRUCTION DE MURS DE TRÉMIE OU DE PIEDROITS DANS UNE FOUILLE TALUTÉE EN DEUX PHASES SUCCESSIVES.

Les murs en L sont couramment utilisés pour diminuer l'emprise des fouilles côté extérieur de l'ouvrage. L'absence de talon arrière ne conduit pas à des dimensions de semelles beaucoup plus grandes que celles d'un mur classique en T renversé. Par contre, la fiche dans le sol étant généralement faible, la stabilité au glissement peut ne pas être assurée. Selon le phasage des travaux, on pourra, soit couler du gros béton entre les semelles de deux murs en regard, soit placer un léger remblai provisoire devant le mur à remblayer, de façon à réaliser une mise en fiche en attendant la construction du deuxième mur.

Il est également souvent nécessaire de réaliser le passage couvert par parties afin de pouvoir assurer les traversées.

Tout cela allonge les délais de façon importante puisqu'au total si l'on réalise le passage couvert en 2 parties, la durée du chantier sera 4 fois la durée de réalisation d'une phase. Ainsi, dans ce cas, la préfabrication peut être envisagée avantageusement. La préfabrication complète des murs de trémies est possible dans tous les cas. Pour les PSGR, la partie couverte peut être entièrement préfabriquée par éléments de 2 à 3 m de large. Pour un PSGN cela semble difficile. Le poids d'un élément complet de portique de 2 m de large pèserait 2 fois plus qu'un élément de même longueur de PSGR soit 40 t. Cela poserait de nombreux problèmes de manutention et de transport dans un site urbain encombré. La préfabrication partielle peut bien souvent seule être utilisée. Les méthodes peuvent être très variées :

- la préfabrication peut intervenir seulement sur la couverture, les piédroits étant coulés en place.

- piédroits et couverture peuvent être préfabriqués séparément puis liaisonnés par une partie coulée en place, ou réalisation d'une articulation.

- on peut ne préfabriquer qu'une partie des piédroits. Des plaques de béton préfabriquées comportant le revêtement définitif de l'ouvrage peuvent servir de coffrage au piédroit. Ces plaques peuvent participer ou non à la résistance de l'ouvrage.

Pour les problèmes posés par la liaison mécanique entre éléments préfabriqués et éléments coulés en place, on se réfèrera à la mise à jour n° 1 du dossier PR-AD 73 (Chapitre 3).

#### 7,321.1- Fouilles talutées

Il est assez rare que les pentes de talus admissibles soient compatibles avec les emprises. Cependant si le rapport de sol montre que le talutage est possible avec de fortes pentes moyennant certaines précautions (distance minimum entre le sommet de talus et la circulation de surface, protection du talus par des feuilles de matière syntétique contre le ravinement par l'eau, durée d'ouverture de la fouille sans protection) et si les emprises le permettent, cette solution est très avantageuse du point de vue coûts. Elle reste généralement avantageuse, même quand elle n'est possible que sur une partie de la hauteur.

Toutes les variantes évoquées plus haut sont compatibles avec ce type de fouilles. L'étude du projet devra concourir, par un emploi judicieux de ces variantes, à diminuer la durée de réalisation, afin de rendre acceptable l'importance des emprises nécessaires.

## 7,321.2 - Fouilles blindées

L'utilisation de fouilles blindées est très courante en génie civil, en particulier pour la pose de canalisations. C'est une technique simple dans son principe, qui offre beaucoup d'avantages mais demande beaucoup de soin si l'on veut obtenir un ouvrage de qualité.

Cette technique ne permet pas la réalisation d'une semelle traditionnelle, si ce n'est au prix de difficultés telles que cette technique ne se justifie plus. Il est donc seulement possible de réaliser un élargissement ("pied d'éléphant") à la base du mur ou du piédroit. Ce n'est pas une disposition recommandable, et elle ne convient qu'à des terrains de très bonne portance.

Cette solution peut être mise en oeuvre de 2 façons :

- Blindage et étaieement en bois
- Blindage et étaieement en éléments de béton préfabriqué

Dans le premier cas le blindage côté terres sert de coffrage perdu, ou est retiré au cours du bétonnage.

Dans les deux cas les terrassements se font par passes de 0,5 à 1,0 m avec mise en place du blindage et des étais qui sont généralement des rondins pour la première solution et ont des formes très variables dans le second cas.

### A - Fouilles blindées avec coffrage bois perdu côté terres

Il est difficile d'obtenir par ce procédé une qualité de coffrage acceptable. D'une part, l'étanchéité du coffrage est douteuse et aucun contrôle de la qualité de l'ouvrage fini ne peut être fait, du moins du côté terres; d'autre part le positionnement des armatures est difficile à assurer d'une façon correcte (cf PSGR 71 Mise à jour n° 2).

Les aléas de ce mode d'exécution doivent conduire à tenir compte de certaines imperfections de l'exécution au niveau du projet (sans pour autant que ces imperfections soient acceptées lors des contrôles de chantier). En particulier, on évitera les voiles très minces. En effet s'il est possible d'abaisser les tolérances d'exécution à 2 cm cela représentera une erreur de 7 % pour un voile de 0,30 m et seulement la moitié pour un voile de 0,60 m. Le calcul du ferrailage devra se faire en tenant compte de ces tolérances et cela aboutira à un surferrailage de la structure par rapport à l'ouvrage réalisé à l'aide de coffrages normaux sans sujétions particulières, en plus d'un surdimensionnement en béton.

Le coffrage perdu modifie également la poussée des terres appliquée au piédroit de l'ouvrage et il devra en être tenu compte au niveau des calculs en réduisant le coefficient de poussée des terres minimal par rapport à la fourchette habituelle.

B - Fouilles blindées avec blindage côté terres retiré au cours du bétonnage

Cette technique est difficile à mettre en oeuvre. En effet lors du bétonnage, on doit retirer les étais correspondant au niveau du bétonnage et le blindage côté terre tout en laissant en place le coffrage côté parement vu et en évitant les éboulements ; le tout au milieu d'un ferrailage parfois très dense.

Nous pensons que cette solution est à écarter pour les raisons exposées ci-dessus ; d'autre part les risques de contamination du béton côté terres sont très grands, et cela sur une épaisseur importante, ce qui compromet la longévité des nappes extérieures de ferrailage.

C - Blindage (et éventuellement étaie) en éléments de béton préfabriqué

Cette solution peu courante a l'avantage de supprimer toutes les phases délicates des solutions précédentes, et d'éviter à long terme les conséquences de la pourriture des bois abandonnés (tassements notamment). Blindage et étaie étant noyés dans le béton définitif, le bétonnage peut être réalisé comme dans un coffrage ordinaire.

Cependant comme pour le coffrage bois, les mêmes précautions d'exécution et de calcul doivent être prises, en particulier au niveau des tolérances et de l'effet de la poussée des terres.

Les plaques de béton servant de blindage doivent généralement être armées. Cependant, elles sont à considérer comme un coffrage perdu et ne sont donc pas à prendre en compte pour la résistance de l'ouvrage, pour les raisons données dans la mise à jour n°1 du dossier PRAD 73 (chapitre 3). Il est nécessaire de leur assurer une étanchéité suffisante (le problème étant cependant moins aigu que pour des pédalles horizontales).

Les butons servant au maintien du blindage sont assez couramment réalisés en béton préfabriqué, et en ce cas noyés eux-mêmes dans la structure définitive.

De façon générale les fouilles blindées, malgré leurs imperfections et le soin qu'elle demandent, présentent des avantages certains :

- c'est une méthode souple qui s'accommode très bien des exécutions fractionnées.

- les emprises de chantier peuvent être très réduites. Ainsi les entraves à la circulation sont très faibles.

- les nuisances de chantier sont inexistantes.

- il est possible de réaliser la couverture du passage couvert avant terrassement, ce qui peut éviter l'utilisation d'un cintre.

Cependant c'est une méthode lente car les terrassements de la fouille blindée sont à exécuter manuellement. Elle ne peut donc être utilisée que pour des ouvrages peu importants : par exemple dénivellation de 2 courants de circulation à un carrefour, la longueur couverte ne dépassant pas 50 m. Au delà la méthode demande des délais trop longs, incompatibles avec la circulation urbaine.

### 7,321.3 - Parois berlinoises ou hambourgeoises

Ces méthodes comportent des blindages jointifs horizontaux mis en place entre des profilés verticaux.

La mise en place des profilés se fait dans des forages exécutés avec ou sans boue, avec ou sans tubage suivant la nature des terrains. Le fichage des profilés au-dessous du fond de fouille se fait par bétonnage de la base du forage. Le battage des profilés est à déconseiller en raison du bruit et des vibrations. De plus l'implantation et la verticalité des profilés sont bien meilleures dans les pieux forés. Le type de blindage généralement utilisé est composé de madriers que l'on vient poser à l'avancement entre les profilés.

Cette technique peut être utilisée jusqu'à des profondeurs importantes (trentaine de mètres), car il est possible d'ancrer les profilés par des tirants.

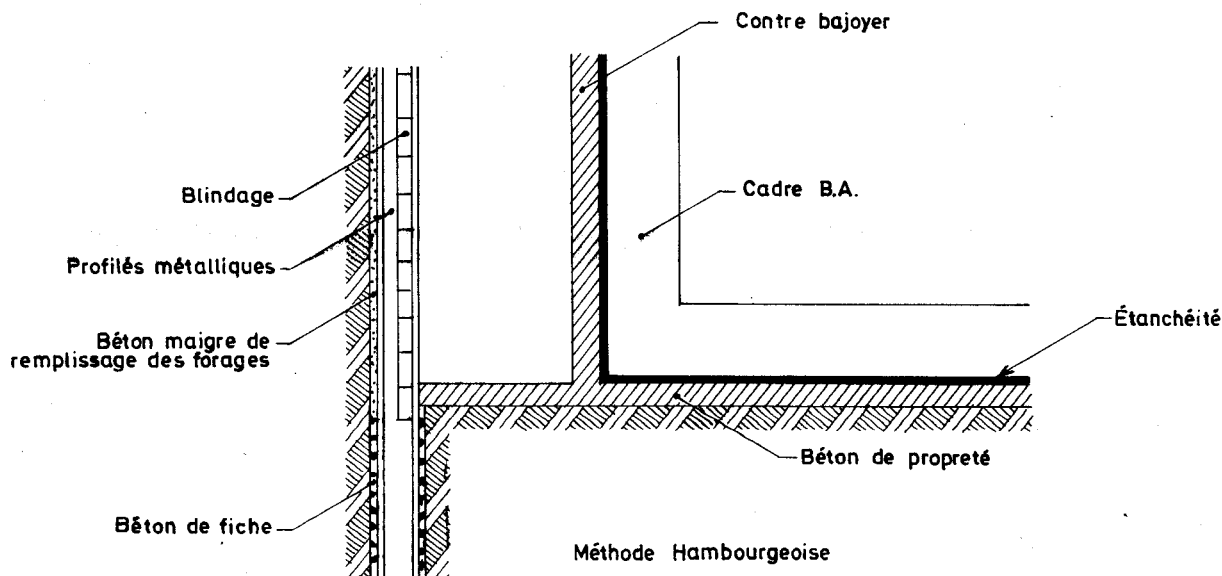
En ce qui concerne la méthode d'exécution de l'ouvrage, cette technique comporte une alternative :

- Dans la méthode berlinoise, le blindage sert de coffrage extérieur, il n'est pas récupéré, non plus que les profilés. Cependant il est nécessaire de prendre soin de remplir de sable ou de mortier maigre toutes les cavités qui ont pu se former entre le terrain et le blindage. Cette méthode convient bien dans tous les terrains en absence de nappe.

- Dans la méthode hambourgeoise, un contre-bajoyer est coulé à une certaine distance (environ 1m) du blindage; cette distance est destinée, d'une part à réserver la place pour un drainage latéral extérieur, d'autre part à permettre la mise en oeuvre du coffrage extérieur du contre-bajoyer. Une étanchéité est alors placée sur le contre-bajoyer, qui sert de coffrage extérieur à la structure proprement dite.

Cette méthode demande un coffrage supplémentaire et une place disponible plus importante que la méthode berlinoise. Elle est donc utilisée lorsqu'une bonne étanchéité extérieure avec drainage latéral est exigée, et s'il est possible de réaliser les travaux à une période où la nappe n'atteint pas le fond de fouille.

Le blindage et les profilés sont ensuite récupérés.

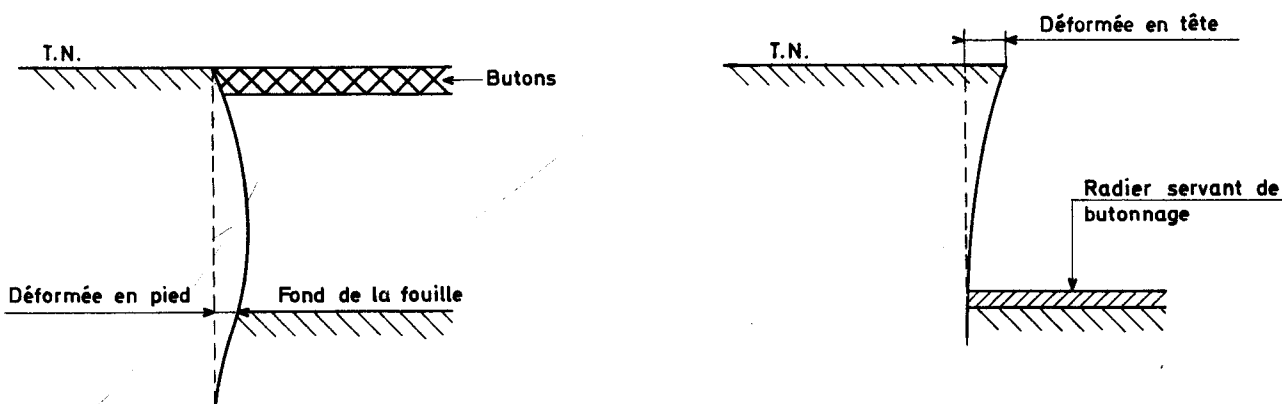


La méthode berlinoise peut cependant être également utilisée lorsqu'il est nécessaire de réaliser une étanchéité extérieure. L'étanchéité, qui est constituée de feuilles de matières synthétiques soudées (étanchéité proprement dite et protection) en atelier aux dimensions voulues, puis sur le chantier pour les joints, est disposée soit contre la paroi berlinoise avant ferrailage et coffrage des piédroits si la planéité de la paroi le permet, soit sur des contre-bajoyers réalisés au préalable directement contre la paroi.

La méthode berlinoise est de loin la plus utilisée. Elle convient à toutes les natures de terrain sec (au moment des travaux) et peut être employée dans les sols humides peu perméables.

Le choix entre les deux méthodes, lorsqu'il se pose (nécessité d'une étanchéité extérieure), peut se faire par le coût et surtout par les contraintes d'emprise : la méthode hambourgeoise demande au moins 1,50 m de plus de largeur pour un même ouvrage que la méthode berlinoise.

Ces techniques permettent de conserver la circulation de surface à proximité de la fouille (0,50 m). Elles peuvent être également employées à côté d'habitations si le terrain n'est pas trop mauvais ; la distance minimum est l'encombrement des engins de forage. Dans l'un et l'autre cas (circulation à proximité de fouille, habitations) il est utile de disposer des butons en tête des profilés. Cela permet de diminuer le module et la fiche des profilés et apporte une meilleure sécurité au chantier. Ces butons sont placés lorsque les terrassements ont atteint un certain niveau. Cette solution est plus simple et moins onéreuse que des tirants. Généralement l'ouvrage est fondé sur radier, et les butons peuvent être retirés après coulage de celui-ci : les profilés sont alors butés en pied par le radier, et cela est suffisant pour leur stabilité. Cependant, il est nécessaire de vérifier que les déformations sont compatibles avec les tolérances et qu'elles ne risquent pas d'entraîner les tassements des voies de surface.



Le calcul de la déformation finale en tête doit tenir compte de la déformation en pied en phase provisoire.

Lorsque l'ouvrage est fondé sur semelle, il y a tout intérêt à réaliser un blocage entre les deux semelles, qui puisse reprendre les efforts horizontaux en pied après enlèvement des butons.

Ces méthodes sont très souples et elles conviennent aux sols hétérogènes ou encombrés (canalisations). Les obstacles peuvent être évités par déplacement des positions des profilés. De plus la mise en place de ces profilés dans des pieux forés peut se faire malgré la présence de blocs de rocher ou de maçonnerie (perforation par trépannage).

Cependant cette technique coupe la circulation transversale sur toute la longueur du chantier, du chantier de fonçage des profilés au chantier de réalisation de la structure (au minimum 150 m). Donc seuls les ouvrages longs, de plus de 150 m de partie couverte, peuvent permettre une circulation transversale soit devant le chantier de mise en place des profilés soit sur la partie couverte déjà réalisée.

Un tel chantier demande une bonne coordination. La partie couverte est réalisée par éléments de 20 à 30 m. Les travaux se font dans une succession de petits chantiers :

- chantier de mise en place des profilés
- chantier de terrassement et blindage
- chantier de réglage de fond de fouille et béton de propreté
- chantier de coulage des semelles
- chantier de réalisation du portique ou cadre. Pour les petits ouvrages, piédroits et traverse sont coulés ensemble; pour les ouvrages plus importants, les piédroits sont d'abord coulés, puis la traverse après décoffrage des piédroits.

Le chantier doit être organisé de telle façon que les opérations pour chacun des petits chantiers pour un élément de 20 ou 30 m durent 1 semaine, le bétonnage intervenant chaque fin de semaine.

Si l'un des chantiers prend du retard pour une raison ou une autre, tous les autres qui interviennent ensuite prennent ce même retard. Il est donc indispensable que tous les risques de retard éventuels soient connus et que l'on soit prêt à y remédier. En particulier, si le terrassement et le blindage sont difficiles, il y a lieu de laisser ce chantier prendre 1 ou 2 cycles d'avance afin de pouvoir disposer d'une zone tampon.

Au niveau du calcul de la structure, on tiendra compte de l'influence de la paroi berlinoise laissée en place sur la poussée des terres : on prendra un coefficient de poussée minimale faible.

Enfin on attire l'attention sur l'importance des problèmes contractuels en cas d'emploi de ces méthodes : en particulier les prestations et sujétions à la charge de l'entreprise doivent être précisées, et on doit être conscient que les latitudes qui lui sont laissées sont susceptibles de conséquences sur les quantités définitives.

#### 7,322 - Ouvrages baignés dans la nappe

Dans ce cas l'ouvrage est obligatoirement un cadre fermé pour les parties couvertes, et un pour les trémies. Le recours à des solutions utilisant la préfabrication sont dans ce cas à exclure car d'une part la préfabrication multiplierait le nombre de joints à rendre étanches et d'autre part l'ouvrage étant un cadre, des éléments préfabriqués complets seraient trop lourds à mettre en place.

Si au cours de l'année il existe une période d'étiage telle que la construction de l'ouvrage puisse se faire hors d'eau sans protection particulière, c'est cette solution qui doit être retenue.

Les méthodes d'exécution décrites au § 7,321 sont valables sauf en ce qui concerne les fouilles blindées, avec lesquelles il est presque impossible de réaliser un cadre fermé. Le problème de la réalisation d'un tel ouvrage est en fait celui de l'exécution d'une fouille où l'on puisse réaliser l'ouvrage à l'abri de l'eau. Les principaux moyens qui permettent la construction d'un cadre à sec sont :

- le rabattement de nappe par rigoles et pompage en fond de fouille, ou par pointes filtrantes. Les dispositions relatives aux équipements de pompage font l'objet des articles 7.5 du G.M.O., 7 du Fascicule 68, et 3.07.2 du CPS Type des Ponts courants.
- la réalisation d'une enceinte étanche en palplanches.

#### 7,322.1 - Rabattement de nappe

Un rabattement n'est généralement opérationnel pour un ouvrage en tranchée couverte que lorsque la perméabilité des terrains aquifères est comprise entre  $10^{-5}$  et  $10^{-2}$  m/s (valeur dont la détermination comporte bien des aléas si le sol est hétérogène ou fissuré).

Les inconvénients des rabattements sont :

- risques de tassement des constructions avoisinantes
- gênes apportées aux utilisateurs d'eaux souterraines

En site urbain ce sont des inconvénients majeurs qui peuvent faire renoncer à cette solution. Elle demande une surveillance constante des habitations avoisinantes, ce qui augmente le coût. Quelle que soit la technique de rabattement, l'exécution des fouilles peut se faire en fouilles talutées, ou à l'abri de parois berlinoises.

#### A - Rabattement par pompage en fond de fouille

Si l'on peut taluter les fouilles, on procède de la même façon qu'en terrain sec en réservant, au moins en pied de talus, un fossé dans lequel on pompe l'eau du rabattement. C'est une solution simple qui peut comporter de nombreux inconvénients (outre ceux mentionnés ci-dessus):

- risques d'entraînement d'éléments fins du sol, donc risques de tassements
- ramollissement et ravinement des pentes, ce qui nécessite l'adoption de pentes faibles
- le terrassement dépend de la vitesse de rabattement de la nappe
- des phénomènes de renard risquent de se produire au fond de la fouille.

Tout cela fait que c'est une solution rarement utilisable en site urbain pour la construction d'un passage souterrain en présence d'une nappe, sauf si la hauteur d'eau est faible et si le débit prévisible est peu important.

S'il est nécessaire de soutenir les terres et si l'on est en présence de terrains peu perméables, le soutènement provisoire des fouilles peut être réalisé à l'aide d'une paroi hambourgeoise. C'est un écran perméable, il a donc l'avantage de ne pas subir de pression hydrostatique. La méthode berlinoise est exclue dans ce cas, car durant la construction de l'ouvrage, un fossé en pied de l'écran doit toujours être conservé afin de pouvoir récupérer les eaux.



Cette technique présente un certain nombre de sujétions :

- les déblais sont toujours humides et difficiles à extraire
- la présence des fossés ne permet pas de réaliser un radier continu servant de butonnage à la base de la paroi hambourgeoise. Il est donc nécessaire de réaliser des butons au droit de chaque profilé si l'on veut pouvoir retirer les butons de tête.

#### B - Rabattement par pointes filtrantes

Cette technique de rabattement est souple d'utilisation et économique pour des rabattements de courte durée (à l'inverse des puits profonds). Elle permet de s'affranchir complètement de la présence de l'eau dans les fouilles; ainsi toutes les méthodes permettant de réaliser un cadre en béton armé en l'absence d'eau peuvent être utilisées :

- fouilles talutées
- parois berlinoises ou hambourgeoises

### 7,322.2 - Réalisation d'une enceinte étanche en palplanches

Lorsque l'on est en présence d'eau dans un site urbain et que l'on veut exécuter un ouvrage dans des fouilles à l'abri de l'eau, la réalisation d'une enceinte étanche en palplanches est la solution la plus courante.

Cette technique permet de réaliser le soutènement des fouilles et la mise hors d'eau des fouilles. La structure en cadre en béton armé réalisé à l'intérieur de rideaux de palplanches est utilisée dans les terrains perméables ou très perméables, c'est-à-dire lorsque l'étanchéité du seul rideau de palplanches ne serait pas suffisante pour l'ouvrage en service, ou lorsque les rideaux de palplanches seuls n'auraient pas une capacité portante suffisante pour reprendre les charges verticales.

Pour les problèmes d'exécution de l'enceinte en palplanches, on se reportera au chapitre 7,4.

#### A - Conception du cadre d'étaie

Deux solutions sont possibles : l'ouvrage est réalisé à l'intérieur d'une enceinte de palplanches perdues, ou les palplanches sont récupérables.

Le premier cas est de loin le plus courant; cependant il est intéressant de noter pourquoi la technique des palplanches récupérables est rarement utilisée. Dans ce cas la réalisation de l'ouvrage se fait comme dans la méthode hambourgeoise, c'est-à-dire qu'il est laissé au moins 0,80 m (travail d'un homme) entre le cadre et le rideau de palplanches. Cette solution est nécessaire lorsque l'on veut réaliser un drainage à l'extérieur de l'ouvrage, ce qui implique que le travail hors d'eau se fait soit par pompage en fond de fouille, soit par rabattement. Avant que cette solution soit définitivement retenue, il faut s'assurer par des essais que l'arrachage des palplanches pourra être réalisé. Malgré des essais concluants, on peut être sûr qu'à un moment ou à un autre il y aura des difficultés. La récupération des palplanches prend du temps et augmente la durée du chantier, ce n'est généralement pas compatible avec la circulation urbaine. Sur le plan économique,

la récupération des palplanches apporte peu d'avantage, sachant que la réalisation de l'ouvrage nécessite un coffrage supplémentaire et un supplément de fouilles et de remblaiement, et l'arrachage des palplanches est d'un coût non négligeable. Bien entendu, le bilan peut quand même être nettement positif.

Donc comme pour les parois berlinoises, suivant le système d'étanchéité retenu, ou les piédroits sont coulés directement contre les palplanches avec une étanchéité intérieure au cadre, ou un contre-bajoyer est réalisé au préalable, qui avec le piédroit prend l'étanchéité extérieure en sandwich.

Du point de vue calcul du cadre, il est nécessaire de tenir compte de la présence des palplanches qui reprennent une partie de la poussée des terres, en prenant un coefficient de poussée minimal réduit\*. Il faut également tenir compte des éventuelles pressions hydrostatiques qui, surtout lorsqu'elles sont variables, modifient la répartition des efforts dans la structure. De même il est nécessaire de s'assurer que la stabilité générale du cadre vis-à-vis des sous-pressions hydrostatiques est assurée par le poids propre du cadre si l'ouvrage ne comporte pas de bouchon de béton immergé ou un radier injecté.

En ce qui concerne le radier, en fond de fouille sont placés une couche anti-contaminante (ou une feuille synthétique), puis une couche drainante et des drains si l'étanchéité est intérieure, un béton de propreté, éventuellement l'étanchéité extérieure et sa protection, et le radier proprement dit (voir chapitre 13).

#### B - Phasage des travaux

Il faut tenir compte des aléas possibles du chantier de battage dans l'établissement du programme des travaux. C'est pourquoi le chantier (ou les chantiers, suivant l'importance de la tranchée couverte) de mise en place des palplanches est indépendant de la construction du cadre. En effet il n'est pas raisonnable de retarder l'avancement du chantier de construction du cadre par suite d'un arrêt du chantier de palplanches. De plus les rideaux de palplanches sont mis en place de façon continue afin que les nuisances pour les riverains se situent dans un laps de temps le plus court possible: 4 jours de battage consécutifs sont beaucoup moins désagréables pour les riverains que 1 jour par semaine pendant un mois. D'autre part le coût de fonçage des palplanches fait intervenir le temps d'immobilisation du matériel sur le chantier (équivalent à une location) et les frais d'amenée et de repli du matériel. En conséquence c'est un argument supplémentaire pour que le chantier de battage se fasse en continu, diminuant ainsi les déplacements de matériel et les délais.

Cela a des incidences sur le phasage de chantier. En général le chantier de battage précède de beaucoup celui de construction du cadre et ainsi sur une grande longueur, il est impossible d'assurer des traversées du chantier pour la circulation. L'endroit du chantier où l'interruption de circulation transversale est la plus courte est celui où a commencé la mise en place des palplanches et la construction du cadre. En effet une fois celui-ci terminé, il peut être ouvert à la circulation de surface. En conséquence il est intéressant de faire démarrer le chantier là où il est le plus nécessaire de rétablir rapidement les courants de circulation transversaux.

---

\*Le coefficient de poussée maximal peut aussi être réduit, seulement dans le cas où le rideau de palplanches atteint son équilibre définitif avant bétonnage des piédroits. Par ailleurs les poussées à prendre en compte doivent tenir compte de la présence de la nappe

Lorsque l'on est proche d'immeubles ou lorsque l'on maintient la circulation en bordure de fouille, le butonnage des rideaux de palplanches en tête est indispensable. Comme pour les parois berlinoises, les butons peuvent être retirés après réalisation du radier qui sert alors de butonnage en pied. Il n'est pas nécessaire de les retirer avant construction du cadre; cependant leur présence est une gêne importante pour la réalisation de l'ouvrage. Le problème des déformées n'est pas non plus à négliger; en effet la déformée en tête est la somme de la déformée en pied, ouvrage butonné en tête, et de la déformée en tête, ouvrage butonné en pied (cf 7,321.3 Parois Berlinoises page 42).

#### 7,4 - Structures réalisées par des écrans

Ces structures ont pour principe de réaliser simultanément les fondations, les soutènements et l'étanchéité de l'ouvrage.

Ces structures ne sont utilisées qu'en présence d'une nappe : elles ne sont pas compétitives du point de vue coût dans les terrains secs. Elles sont préférées au cadre, réalisé à l'intérieur d'une enceinte étanche ou avec rabattement de nappe, lorsqu'il est délicat de fonder superficiellement l'ouvrage ou lorsqu'elles présentent des avantages importants liés aux méthodes d'exécution.

Les écrans sont réalisés soit à l'aide de parois moulées dans le sol, soit à l'aide de palplanches métalliques. Le choix technique entre les deux peut se faire selon différents critères, les caractéristiques mécaniques de ces écrans, l'étanchéité, les problèmes d'exécution et l'esthétique étant différents.

##### 7,41 - Ouvrages en parois moulées

Cette technique a été largement utilisée pour les tranchées couvertes de grande dimension et également pour d'autres travaux souterrains : parkings souterrains, métro... Son principe est maintenant bien connu.

Un certain nombre de variantes sont couramment utilisées pour la construction de tranchées couvertes. La paroi moulée a trois rôles :

- fonder l'ouvrage
- soutenir les terres
- réaliser une partie de l'étanchéité

Ces trois fonctions ne nécessitent pas les mêmes caractéristiques des parois moulées; c'est pourquoi un certain nombre de dispositions sont retenues afin de pouvoir réaliser ces 3 fonctions au moindre coût:

##### A - Les fondations

Lorsque les fondations des parois moulées nécessitent d'atteindre une couche dure très profonde, il est avantageux et généralement admissible de réaliser la partie inférieure en béton non armé sur toute la hauteur non nécessaire à la stabilité de la paroi vis-à-vis des efforts de poussée.

Une autre solution dans le même cas consiste à ne réaliser qu'un élément sur deux de parois moulées jusqu'à la couche de fondation. Les autres éléments ne sont réalisés que sur la hauteur nécessaire au soutènement (avec les revanches nécessaires).

## B - Le soutènement

Les hauteurs à soutenir à l'aide de parois moulées peuvent être très importantes. Cela ne pose pas de problème lorsqu'il est possible de réaliser des tirants. Mais cela n'est pas toujours possible, en particulier lorsque des immeubles sont trop proches de l'ouvrage. Pour les parties couvertes, compte tenu des hauteurs à soutenir, en général inférieures à 7 m, cette difficulté peut être résolue en réalisant la couverture avant les terrassements, celle-ci servant de buton de tête. En ce qui concerne les tranchées ouvertes et les parties hautes des trémies, si l'implantation de tirants est impossible, il est nécessaire de réaliser des parois moulées autostables. Cela ne conduit généralement pas à des parois trop importantes car le gabarit à dégager est toujours inférieur à 5m, et si la hauteur à soutenir est supérieure il est possible de réaliser des butons de tête définitifs.

## C - Etanchéité

En général la paroi moulée est suffisamment étanche vis-à-vis des venues d'eau latérales (de nombreux types de joints entre éléments existent actuellement). En ce qui concerne l'étanchéité du fond de fouille, il faut distinguer l'étanchéité nécessaire à l'exécution de l'ouvrage de celle nécessaire en service.

Toutes les solutions proposées dans ce chapitre ont pour but de diminuer les venues d'eau en fond de fouille et éviter les phénomènes d'instabilité durant les travaux.

En service deux solutions sont possibles (aussi bien pour les parois moulées que les palplanches):

- réalisation d'un radier encastré sur les piédroits, ou ancré dans le sol (pieux, tirants) capable de résister aux sous-pressions hydrostatiques. De plus dans ce cas la stabilité globale de l'ouvrage vis-à-vis de ces sous-pressions doit aussi être assurée.

- mise en place d'un système de drainage permanent relié au réseau général d'assainissement comme cela se fait généralement pour les ouvrages construits dans des terrains naturellement peu perméables. La station de relèvement des eaux doit être étudiée en conséquence surtout en ce qui concerne la sécurité en cas de panne des pompes. Il faut noter que l'arrêt total du pompage n'aurait alors comme conséquence que l'immersion de l'ouvrage mais n'affecterait en rien ni la résistance ni la stabilité de la structure. Un tel incident peut être très mineur si un dispositif de fermeture de l'ouvrage est prévu et si les équipements (en particulier électriques) ont été placés dans des zones inaccessibles par la nappe.

Durant les travaux l'étanchéité du fond de fouille peut être réalisée par l'une des méthodes suivantes :

- Ancrage des parois moulées dans une couche imperméable - Cette solution n'est avantageuse que si l'étanchéité ne nécessite pas de fiches trop importantes par rapport aux conditions de fondation et de stabilité. Cependant il existe une variante qui consiste à exécuter les parois moulées sur la hauteur nécessaire au soutènement et à la fondation de l'ouvrage, et réaliser l'étanchéité par un rideau étanche injecté à l'extérieur de la paroi moulée entre la couche imperméable et le pied de la paroi moulée.

- Radier par béton immergé - Cette technique ne peut être utilisée de façon économique que pour des charges d'eau ( $\Delta e$ ) assez faibles. Le béton immergé doit résister aux sous-pressions exercées par les eaux. Cette technique consiste à couler en fond de fouille un béton sous l'eau d'épaisseur  $\frac{\Delta e}{1,2}$  (densité du béton immergé étant prise à  $2,2 \text{ T/m}^3$ \*). Ce procédé nécessite une surlongueur des palplanches pour tenir compte de la fouille supplémentaire à exécuter sous l'eau pour la mise en place de béton immergé. Ainsi du point de vue économique quand la charge d'eau augmente, cette technique devient plus onéreuse que la réalisation d'un radier injecté.

Du point de vue exécution, les fouilles sont faites dans l'eau ce qui n'est pas très commode. En particulier il est impossible de travailler en grand.

Le radier proprement dit de l'ouvrage est réalisé immédiatement sur le béton immergé.

- Radier d'étanchéité injecté - Les injections d'argile ciment sont faites avant terrassement depuis la surface du sol. L'épaisseur du radier injecté est fonction de la charge d'eau. Afin d'éviter les terrassements dans le sol injecté, le bouchon étanche est réalisé au moins 0,50 m en-dessous du fond de fouille. De même pour éviter les pertes de coulis d'injection, la fiche doit dépasser d'au moins 0,50 m le radier injecté.

Cette technique a l'avantage de ne pas nécessiter de fiche supplémentaire. De plus les terrassements sont réalisés hors nappe et il est alors possible d'utiliser du gros matériel.

Au point de vue dimensionnement, les épaisseurs de parois moulées sont généralement comprises entre 0,6 et 1 m pour ce type d'ouvrage. Le taux d'armatures passives est voisin de 70 à 80 kg par mètre cube de béton.

L'épaisseur minimale de 0,6 m qui est un minimum technologique ne permet guère de modulation, dans le cas où la section de béton serait surabondante. De toutes façons, il faut tenir compte aussi de la médiocrité de résistance du béton proche des parements.

Variante en parois préfabriquées - La technique des parois moulées fait l'objet d'une variante très intéressante qui est l'utilisation de panneaux préfabriqués. Ces panneaux permettent, après terrassements, d'obtenir les parements vus dans leur aspect définitif ou tout au moins d'offrir un support de bonne qualité qui permette l'aménagement intérieur de l'ouvrage. Cette technique a été utilisée dans presque toutes les tranchées couvertes réalisées en parois moulées. En effet elle permet un gain de temps très appréciable en évitant le fastidieux décapage et repiquage des parois moulées classiques.

---

\* Compte tenu de cette valeur, une marge de sécurité ne peut résulter que du choix du niveau d'eau à considérer; d'où l'importance de ce choix.

Du point de vue exécution, la technique des parois moulées employée en site urbain très dense, a quelques inconvénients. Un chantier de parois moulées est sale et l'on transforme rapidement les abords du chantier en un véritable borbier. Le chantier occupe beaucoup de place : centrale de régénération des boues, engins de forage... D'autre part, comme pour tous les écrans, l'exécution d'un rideau de parois moulées se fait à l'avancement, et s'accommode mal des phasages mais elle permet de réaliser la couverture avant les terrassements, ce qui peut être avantageux pour rendre libre à la circulation les parties de couverture réalisées assez rapidement.

Les parois moulées sont plus lentes d'exécution que les palplanches métalliques mais elles offrent d'autres avantages : l'étanchéité de l'écran proprement dit est bien meilleure; les déformations propres des parois moulées sont plus faibles; les risques de désordres dans les ouvrages voisins sont ainsi plus faibles; les parois moulées peuvent reprendre des charges verticales importantes plus facilement que les palplanches. Pour les ouvrages de plus de 15 m d'ouverture sans appui intermédiaire, les parois moulées sont à conseiller. De plus, il est plus facile de réaliser un encastrement de la couverture sur la tête de parois moulées que sur des palplanches. D'autre part l'inertie des parois moulées étant plus grande que celle des palplanches, l'encastrement soulagera d'autant mieux la traverse en milieu de portée.

Cependant cette technique ne peut être utilisée que dans les sols appropriés. En particulier dans les terrains très perméables ou dans les sols comportant des cavités naturelles ou non, cette technique est à déconseiller, la consommation de boue risquant d'être prohibitive. Par contre les hétérogénéités du type blocs rocheux, maçonneries... peuvent être franchies en utilisant le trépannage. C'est un avantage par rapport aux palplanches.

#### 7,42 - Ouvrages en palplanches


Les problèmes généraux relatifs aux palplanches pour leur mise en oeuvre sont traités dans le fascicule 3.6 du GGOA 70.

Dans le cas particulier des tranchées couvertes, les palplanches peuvent jouer le rôle d'ouvrage définitif et doivent assurer alors les mêmes fonctions que les parois moulées.

A - Les fondations : La force portante d'un simple rideau de palplanches est beaucoup plus faible que celle d'un rideau de parois moulées, le terme de pointe étant pratiquement nul. Les efforts sont donc transmis au sol uniquement par frottement latéral. Il est facile d'augmenter la portance d'une telle structure en réalisant un rideau composé à l'aide de palpieux. Ceux-ci peuvent être plus longs que le rideau lui-même afin d'atteindre une couche de sol plus dure. Cela a également l'avantage de raidir le rideau et d'augmenter ainsi sa résistance à la flexion. Le nombre de ces palpieux est à déterminer en fonction du sol et des charges à reprendre. Cependant leur nombre est limité par des considérations économiques. Il faut que cette solution soit compétitive vis-à-vis de parois moulées et vis-à-vis d'une structure en cadre réalisée à l'intérieur de rideaux de palplanches non porteurs. Ce type d'ouvrage demande une très bonne connaissance du sol et des études très soignées afin de pouvoir déterminer avec précision les modules et longueurs de palplanches et en évaluer ainsi correctement le coût : en effet il arrive parfois que pour ce genre de structure on surdimensionne l'ouvrage faute d'études, et cette solution n'est plus avantageuse.

B - Le soutènement : Les rideaux de palplanches sont beaucoup moins raides que les parois moulées. Il ne semble pas possible de dépasser une hauteur de 6m entre les butons supérieurs et inférieurs. Pour la partie couverte cela ne pose pas trop de problème dans les cas courants, si ce n'est qu'il ne faut pas oublier que les déformations doivent rester compatibles avec l'environ-

nement : fondations d'immeubles, canalisations... Les parties les plus délicates sont les trémies et les tranchées ouvertes. En effet la hauteur à soutenir à proximité de la partie couverte est du même ordre de grandeur que celle dans la tranchée couverte, mais il n'y a plus de couverture qui permette un butonnage supérieur. Plusieurs solutions sont possibles :

- . réaliser des tirants : cela n'est pas toujours possible en particulier lorsque des immeubles sont trop proches de la trémie.
- . renforcer le rideau par des caissons
- . éventuellement compléter la structure en palplanches par un  en béton armé
- . si le profil en long le permet (existence d'un sur-gabarit) il est possible de réaliser des butons supérieurs définitifs.

Les deux premières solutions sont les plus utilisées.

De toute façon, quel que soit le cas considéré, les palplanches doivent être butonnées en pied soit par un radier continu soit par des butons espacés régulièrement. Cette dernière technique peut être rendue avantageuse sur le plan délais par l'utilisation soit d'éléments préfabriqués en béton armé soit de profilés métalliques.

La méthode d'exécution des terrassements devra être telle que la résistance et la stabilité de l'ouvrage en phase provisoire ne nécessitent pas un dimensionnement supérieur à celui de l'ouvrage en service. En particulier, en aucun cas une phase de chantier ne devra être déterminante pour le dimensionnement de la longueur des palplanches. Cela conduit donc à toujours réaliser les traverses avant terrassement complet. Cette technique offre d'ailleurs l'avantage de supprimer presque complètement les cintres pour des tabliers coulés en place.

C - Etanchéité : vis-à-vis des venues d'eau latérales les palplanches sont plus difficiles à rendre étanches que les parois moulées. Trois facteurs sont à prendre en compte :

- . qualité de la mise en place des palplanches : absence de dégrafage
- . perméabilité horizontale des terrains
- . traitement des joints.

Il est évident que si des palplanches se sont dégrafées lors du battage, les venues d'eau seront importantes et il sera difficile de réaliser un colmatage. Le plus grand soin devra donc être apporté à la mise en place des palplanches, l'étanchéité de l'ouvrage en dépendant directement. Pour cela, une très grande compétence devra être demandée à l'entreprise, et l'emploi de palplanches dans des sols difficiles est à éviter, en particulier en présence d'hétérogénéités (cf p. 51).

En ce qui concerne la perméabilité des terrains, plus le terrain aura une faible perméabilité, moins les venues d'eau seront importantes; mais surtout le sol contenant plus d'éléments fins, il se produira un colmatage naturel d'autant plus rapide des joints. C'est pourquoi les palplanches conviennent parfaitement aux terrains imperméables et peu perméables. En effet au bout de quelques jours, les venues d'eau latérales peuvent être inexistantes.

D'autre part les joints peuvent être traités pour les rendre étanches. Cela se fait facilement, si les palplanches ne sont pas dégrafées, au moyen de cendres de machefer ou de produits analogues, ou de graisse consistante.

L'étanchéité en fond de fouille durant les travaux peut être réalisée par l'une des méthodes suivantes (pour l'étanchéité en service, voir § 7,41 ouvrages en parois moulées page 49) :

Présence d'une couche imperméable à faible profondeur - Dans ce cas il est très simple de réaliser une "boîte" formée de rideaux de palplanches ancrées dans le substratum imperméable. Le chantier se déroule complètement à l'abri de l'eau sans problème particulier.

Pompage en fond de fouille - Cette technique ne peut convenir que si les débits escomptés sont faibles, c'est-à-dire si la perméabilité du terrain est faible. Ainsi cette technique est concurrencée par les parois berlinoises. Les fiches des palplanches doivent être telles qu'il n'y ait pas risque de renard. Si cette condition de renard nécessite des fiches plus importantes que les conditions de stabilité du soutènement à la poussée, il est vraisemblable que du point de vue économique ce ne soit pas la bonne solution. Dans ce cas il est préférable d'utiliser soit un rabattement par pointes filtrantes soit un radier injecté ou en béton immergé.

Sur le fond de fouille on dispose une couche drainante qui permet de réaliser le radier à l'abri de l'eau. D'autre part un système de drains permet de récupérer ces eaux et les conduit dans le réseau général d'assainissement de l'ouvrage (cf. partie 3 chapitre 10).

Rabattement par pointes filtrantes - Dans ce cas, les palplanches servent uniquement de soutènement, et n'ont aucun rôle, pendant le rabattement, de protection vis-à-vis des venues d'eau. En général, les pointes filtrantes sont placées le long des rideaux de palplanches à l'extérieur de la fouille.

Bien sûr, cette technique comporte les inconvénients habituels des rabattements de nappe, et en particulier les problèmes de tassement qui peuvent faire renoncer à cette solution en site urbain.

#### Radier par béton immergé

#### Radier d'étanchéité injecté

Ces deux dernières techniques sont les mêmes que celles qui sont décrites pour les parois moulées au § 7,41.

Le choix entre ces cinq techniques de mise hors d'eau des fouilles se fait en fonction de la nature des terrains (perméabilité, présence d'une couche imperméable) de la charge d'eau et du coût. En particulier on peut signaler que la limite économique entre le béton immergé et le radier injecté est située entre 1 et 2 m de charge d'eau.



De façon générale cette technique a l'avantage de nécessiter le minimum d'emprise comme pour une paroi berlinoise. Elle peut être utilisée jusqu'à des profondeurs importantes car il est possible d'ancrer le rideau par des tirants. Elle permet de conserver la circulation de surface à proximité de la fouille et elle peut être utilisée à proximité d'immeubles: la distance minimum étant l'encombrement des engins de mise en place des palplanches. Cependant l'utilisation de rideaux de palplanches pose des problèmes de nuisance en site urbain. Les palplanches sont généralement mises en place par :

- lançage à l'eau ( )
  - vibrofonçage ( )
  - battage au mouton ( )
- cf fascicule 3.6 du GGOA 70

La première technique ne convient qu'à des terrains particuliers et elle est inutile en présence d'eau.

Le vibrofonçage est couramment utilisé. Cette technique est relativement peu bruyante (en comparaison du battage); cependant elle engendre des vibrations très importantes dans les maisons avoisinantes.

Lorsque l'on se trouve très proche d'immeubles (quelques mètres) le battage au mouton est préféré au vibrofonçage. Il est beaucoup plus bruyant mais ne transmet pas de vibrations aux constructions proches. De plus dans certains terrains seul le battage au mouton est efficace. En conclusion il est préférable d'utiliser le vibrofonçage partout où cela est possible et en particulier lorsque l'on est suffisamment éloigné des immeubles et le battage dans les autres cas et en particulier à proximité des façades. Les palplanches présentent également l'inconvénient de ne pas pouvoir être utilisées dans tous les terrains. En effet lorsque le sous-sol est encombré de blocs rocheux ou d'anciennes fondations d'immeubles ou d'anciens réseaux, ce qui est très courant en site urbain, les aléas sont tels qu'il est préférable de renoncer à cette technique. Parfois les autres avantages de cette solution sont tels que l'utilisation des palplanches est malgré tout retenue. Il est alors nécessaire de procéder au préalable à une pré-fouille de reconnaissance pour purger le sol de toutes ses hétérogénéités. Cependant dans un site où les reconnaissances de sol ont montré que le terrain est bien homogène, et où des essais de battage concluants ont été effectués, il subsiste toujours des aléas.

En ce qui concerne la couverture de ces ouvrages, elle peut être soit encastrée soit articulée en tête des palplanches. Cela dépend du type de couverture utilisé. Pour les petites portées inférieures à 10 m la dalle coulée en place encastrée sur les palplanches semble très bien convenir. Au delà il est préférable d'articuler la couverture sur les palplanches. Cela peut être fait pour une dalle en liaisonnant la lierne à la couverture par une section rétrécie de béton(calculée et goujonnée à cet effet) ou en faisant reposer le tablier(dalles ou poutres) sur des appareils d'appui en élastomères et en le butant sur un mur garde grève(dimensionné à cet effet)soit directement soit par l'intermédiaire de plaques d'élastomères placés dans un plan vertical.En général les portées sont telles qu'elles permettent de rester dans le domaine d'emploi du béton armé. Il ne semble pas souhaitable de dépasser 15 m d'ouverture pour ce type d'ouvrage; au delà, les charges verticales à reprendre risquent de devenir trop importantes pour les rideaux de palplanches.L'utilisation d'éléments préfabriqués de couverture peut très bien convenir moyennant quelques précautions de tolérance sur les longueurs de ces éléments, l'estimation des déplacements en tête des rideaux de palplanches et le coulage d'au moins un mur garde grève après mise en place des éléments préfabriqués.

Du point de vue délai, cette solution est relativement rapide. De plus les parties couvertes peuvent être réalisées directement après la mise en place des rideaux de palplanches et éventuellement les injections et mises en service aussitôt après. Cependant lors du coulage du radier et de sa prise, l'ouvrage ne peut pas être circulé.

Au point de vue dimensionnement, les palplanches permettent une modulation plus souple que les parois moulées, et une adaptation de la résistance du rideau aux sollicitations. Cependant, la phase de mise en oeuvre peut être déterminante pour le dimensionnement, selon la profondeur de fiche ou la dureté du sol. Cet aspect ne doit pas rester dans l'indétermination dans les marchés.

En général les problèmes de corrosion sont négligeables et les palplanches n'ont nullement besoin d'être traitées. En ce qui concerne l'aspect intérieur de l'ouvrage deux solutions sont possibles :

- cacher la structure par un bardage généralement métallique accroché aux palplanches

- peindre les palplanches en laissant la structure apparente.

La 2ème solution est très acceptable et elle a surtout l'avantage d'être nettement moins onéreuse.

## CHAPITRE 8

### PROBLEMES ANNEXES SPECIFIQUES DU SITE URBAIN

Certains aspects spécifiques du site urbain ont été évoqués dans les chapitres précédents. Le présent chapitre est consacré à deux problèmes qui peuvent conditionner dans une large mesure le phasage des travaux et les méthodes d'exécution : les déplacements de réseaux, et les nuisances.

#### 8,1 - Déplacements et rétablissements de réseaux

Le coût des déviations de réseaux peut atteindre 30 à 40 % du montant de l'opération dans le cas de dénivellation de courants de circulation. Il ne sera pas débattu ici des problèmes juridiques et d'imputation des dépenses dont la nature varie selon la nature administrative des lieux et la destination de l'ouvrage; nous signalons seulement qu'il importe que les Ingénieurs soient au fait de leur existence et se préoccupent de les régler correctement par des procédures adéquates ( en liaison si besoin est avec les bureaux compétents de la DRCR pour les travaux qui la concernent). Seuls seront traités ici les problèmes qui interfèrent avec le projet et l'exécution des ouvrages.

La liste des réseaux les plus courants est donnée dans la partie 2 chapitre 6,4 - Parmi ceux-ci cinq types sont généralement présents dans les sous-sols de toutes les villes, et nous nous bornerons à ceux-là :

- les réseaux de distribution électrique, d'éclairage public, de signalisation
- les réseaux de distribution d'eau potable
- les réseaux de distribution du gaz
- les réseaux et ouvrages PTT
- les réseaux d'assainissement

Lors des études, tous les réseaux susceptibles de se trouver dans l'emprise du chantier doivent être recensés. Leurs tracés aussi bien en plan qu'en altimétrie doivent être définis au mieux. Cela demande au projeteur un travail très important de contact avec les Services Concessionnaires; il faut donc profiter de ce recensement des réseaux du secteur concerné pour établir après les travaux un dossier des réseaux qui sera diffusé aux Services susceptibles d'intervenir ultérieurement dans les mêmes emprises. Cela permettra d'éviter de nouvelles recherches au cours de travaux ultérieurs.

Les réseaux de distribution de l'énergie électrique, d'éclairage, de signalisation..., s'il ne s'agit pas de postes de transformation ou de commande, et ceux de distribution d'eau potable ne posent pas de problèmes techniques. Ils peuvent être déviés facilement et pour les coûts raisonnables.

Pour les réseaux de distribution du gaz cela est à peu près la même chose, si ce n'est que les canalisations sont souvent vétustes et demandent beaucoup de précautions en cours de travaux.

Contrairement aux réseaux précédents, les câbles P et T et les réseaux d'assainissements peuvent conduire à des modifications de l'ouvrage au point de vue génie civil, parfois imposer un certain nombre de contraintes aux caractéristiques géométriques de l'ouvrage.

Les câbles P et T, surtout s'il s'agit de câbles à moyenne et longue distance, ont un coût au mètre linéaire très important. D'autre part la déviation d'un tel câble qui nécessiterait une longueur de quelques mètres supplémentaires, oblige à changer complètement le câble sur plusieurs centaines de mètres. C'est pourquoi on peut être amené à modifier le tracé en plan de l'ouvrage ainsi que le profil en long, par exemple en enterrant l'ouvrage de façon à laisser en place ces câbles qui seraient alors simplement posés sur la traverse supérieure de l'ouvrage. Cette dernière solution impose en général une phase particulière de chantier et parfois une modification du type de structure. Par exemple, dans le cas d'un ouvrage utilisant des parois moulées ou des palplanches il est nécessaire de réaliser à cet endroit un ouvrage spécial coffré et coulé en place. Cette phase de travaux doit être prévue au projet car elle demande l'intervention de l'administration des P et T qui devra évidemment être prévenue suffisamment longtemps à l'avance.

Les réseaux d'assainissement exigent de fortes contraintes altimétriques; de plus leur section est souvent importante.

. Pour les réseaux parallèles à l'ouvrage (donc parallèles aux voies souterraines) qui se trouvent dans l'emprise de l'ouvrage, il est généralement aisé de les déplacer latéralement hors des emprises. Cependant dans le cas d'ouvrages d'assainissement très importants, il peut être décidé au niveau du projet soit de réduire le gabarit du passage souterrain en écrêtant ou non suivant les possibilités cet ouvrage d'assainissement, soit de projeter un tracé en plan évitant complètement cette sujétion.

. Pour les réseaux d'assainissement perpendiculaires à l'ouvrage, les solutions sont très variables suivant la topographie du terrain naturel. Comme précédemment, le gabarit du passage souterrain peut être réduit, au niveau du projet, ou le profil en long des trémies modifié dans le cas où un ouvrage d'assainissement se trouverait dans leurs emprises. Dans les cas les plus simples où un collecteur présente une pente suffisante, il peut être dévié par contournement du passage souterrain à une des extrémités des trémies. Dans d'autres cas, en particulier si le collecteur a une pente trop faible, un passage en siphon sous l'ouvrage peut être nécessaire. Cela constitue alors un point singulier de l'ouvrage qui impose, comme dans le cas des réseaux P et T précédemment cité, une phase particulière de chantier, la structure étant généralement différente de celle utilisée en section courante. De plus ce siphon est généralement réalisé dans l'axe du collecteur existant et demande pour sa réalisation la démolition du collecteur sur la longueur correspondante, ce qui nécessite une reprise des eaux par un ouvrage provisoire.

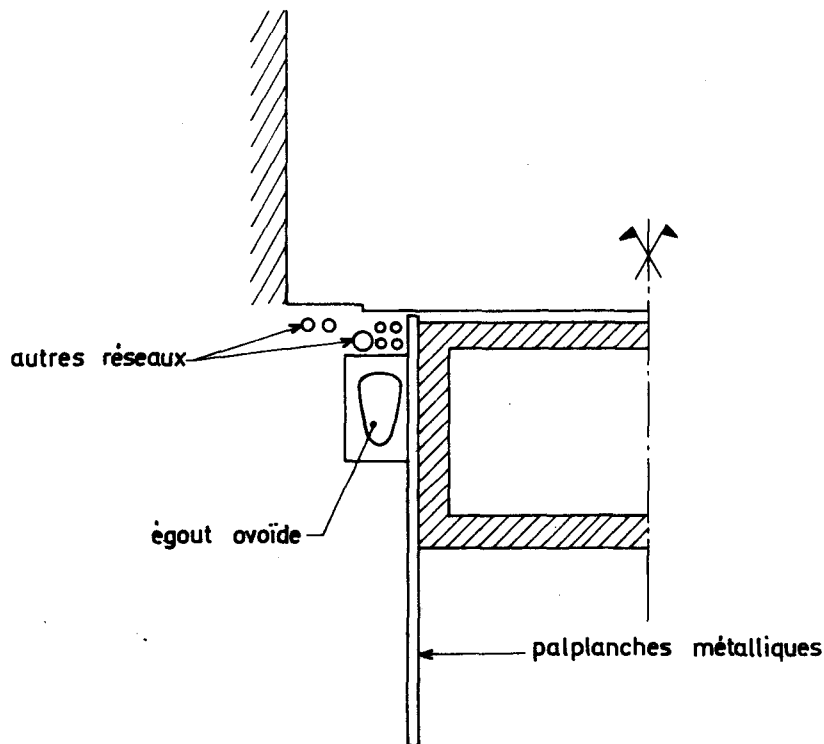
De façon générale les réseaux qui ne sont pas intégrés au passage souterrain sont à dévier avant les travaux de l'ouvrage proprement dit. Ces déviations peuvent d'ailleurs commencer très longtemps avant le début des travaux, si le projet est suffisamment avancé, c'est-à-dire si les caractéristiques géométriques sont définitivement arrêtées. Elles peuvent d'ailleurs être faites à l'occasion de travaux effectués par les concessionnaires dans ce secteur pour d'autres raisons (entretien, modernisation, extension). Il est

de toutes façons souhaitable de demander aux concessionnaires de coordonner leurs travaux, car le public admet mal que les trottoirs soient éventrés puis rebouchés plusieurs fois dans une période courte. Cela suppose que les concessionnaires soient avertis suffisamment tôt pour intégrer ces travaux dans leur budget et leurs plans de travaux.

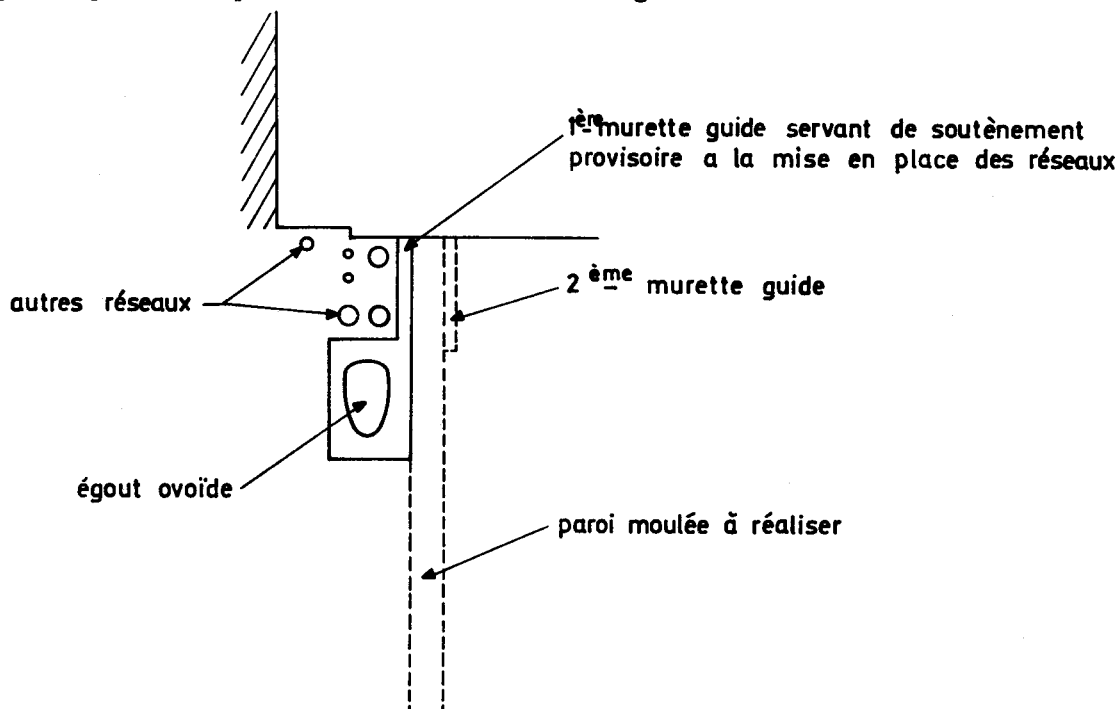
Parfois, à l'occasion de la construction d'un passage souterrain, il est intéressant de venir regrouper tous les réseaux sous les trottoirs de la voie existante. En particulier cela est obligatoire lorsque l'ouvrage est souterrain sur une grande partie d'une rue peu large. De plus dans le cas où l'ouvrage n'est pas surmonté de remblai il est nécessaire de placer les réseaux de distribution de part et d'autre de l'ouvrage afin de réaliser les branchements des particuliers.

En général un égout ovoïde est réalisé à une certaine profondeur et les autres réseaux placés au-dessus. Cette technique est fréquemment retenue pour la construction d'un métro en tranchée couverte. De plus le soutènement utilisé pour mettre en place ces réseaux peut servir pour la construction de l'ouvrage si la voie est étroite. Par exemple :

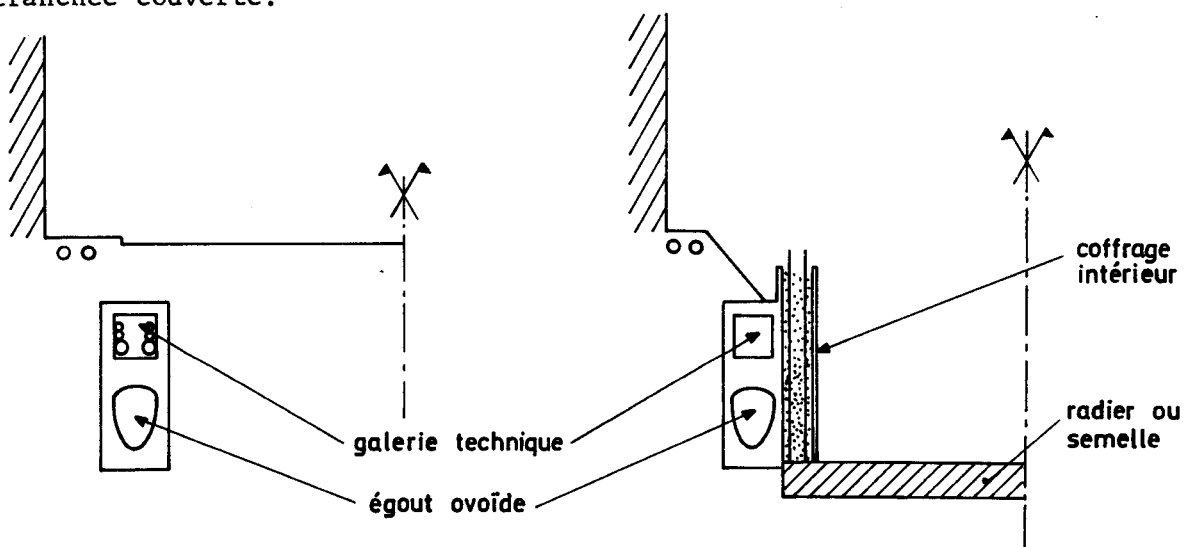
- Rideau de palplanches servant de soutènement provisoire d'une part à la mise en place des réseaux, d'autre part à la construction de l'ouvrage.



- Mur de protection de mise en place des réseaux servant de murette guide pour les parois moulées de l'ouvrage.



- Galerie technique servant de coffrage extérieur de l'ouvrage en tranchée couverte.



En conclusion, les déviations de réseaux demandent des études préalables très soignées, et une planification très précise au niveau de l'étude - pour les contacts avec d'autres Services - et au niveau de l'exécution - car les délais sont généralement importants, une grande partie du travail étant faite manuellement.

Le Maître d'Oeuvre ne doit donc pas sous-estimer ces problèmes, qui ne sont pas moins importants que les autres points considérés comme critères de choix dans le chapitre 6.

L'annexe 5 donne les coûts des déplacements de réseaux payés par le maître d'ouvrage pour un passage dénivelé sous un carrefour.

## 8,2 - Nuisances

Ce sont les nuisances apportées par le chantier : elles sont très nombreuses et leurs natures dépendent des méthodes d'exécution. Les principales nuisances sont :

- les gênes apportées aux différentes circulations : véhicules, piétons, cycles...
- les nuisances phoniques : elles sont provoquées par le matériel de chantier, compresseurs, chargeurs, trépan, moutons de battage....
- les dégradations du site provoquées par la proximité du chantier : souillures des voies par les camions de terrassements, écoulement de boue dans le cas de parois moulées.....

8,21 - Gênes apportées aux différentes circulations-En général le projet et en particulier le phasage des travaux est toujours plus ou moins conditionné par des impératifs de circulation. Pour la circulation des véhicules, le C.C.A.P. impose généralement un certain nombre de mesures permettant de maintenir les courants de circulation, en les réduisant ou non, pendant certaines périodes. L'expérience montre que cela se passe généralement assez bien mais au prix de phasages souvent complexes nécessitant de nombreux basculements de courants de circulation d'un côté de la chaussée à l'autre ou d'une partie d'ouvrage à construire sur une déjà construite. Cela impose de travailler de nuit (ou à d'autres heures creuses s'il en existe) avec beaucoup de personnel car toute la signalisation doit être changée de façon quasi-instantanée.

Il est à noter qu'en zone urbaine, une grosse majorité des usagers empruntant un itinéraire, le font quotidiennement; il est en conséquence nécessaire de soigner particulièrement la signalisation, et au besoin de disposer le lendemain d'un basculement de circulation, de personnel assurant le contrôle de la circulation.

Des itinéraires de déviation permettant d'éviter complètement le chantier sont établis si cela est possible. Cela permet en général de répartir la circulation sur des voiries moins importantes que celle concernée par les travaux mais permettant les mêmes trajets.

Par contre, les piétons sont souvent oubliés, et il leur est demandé de faire des détours considérables pour franchir le chantier. Ce problème doit être examiné comme celui des véhicules, et le C.C.A.P. doit fixer une valeur maximale d'augmentation des trajets des piétons.

Les accès aux immeubles riverains doivent généralement être maintenus pour les piétons mais également pour les véhicules.

Durant les travaux, tous ces problèmes de maintien des différentes circulations occupent beaucoup de temps du Maître d'Ouvrage qui doit veiller à ce que l'entreprise respecte ces impératifs de circulation. Il est inévitable que des riverains se plaignent des gênes apportées par le chantier, et ce sont généralement les responsables des collectivités locales qui demandent au Maître d'Ouvrage de bien vouloir y remédier.

Pour les chantiers urbains, il est très utile d'informer le public assez longtemps à l'avance des durées et des périodes des gênes apportées aux circulations pendant les travaux. Cela est généralement fait par des articles dans la presse locale et les informations régionales de la télévision. De plus c'est l'occasion de pouvoir expliquer au public la façon dont fonctionnera l'aménagement après travaux. Pour les chantiers où les déviations de circulation changent assez souvent, la presse locale est un bon moyen d'en avertir les usagers. Cette information permet également aux usagers de choisir des itinéraires évitant le chantier.

Tous les moyens d'informations permettant d'expliquer au public le but des travaux et d'avertir les différents usagers des modifications de circulation sont intéressants. On peut citer par exemple en plus des moyens traditionnels d'information:

- distribution de tracts et pose d'affiches, par exemple pour des modifications de trajets piétons, pour des interdictions de stationnement temporaires...
- présentation du projet et des phases de chantier dans des lieux publics. En général une maquette est un bon moyen d'attirer l'attention du public. Cela peut être fait à l'occasion d'une manifestation importante: par exemple foire internationale pour une grande ville.

#### 8,22 - Les nuisances phoniques

Les nuisances phoniques sont provoquées par le matériel de chantier. Leur importance dépend de la structure retenue et des méthodes d'exécution.

Pour le matériel de chantier habituel, camions, chargeurs, pelles mécaniques, compresseurs, marteaux pneumatiques..., il est impossible à l'occasion d'un chantier de réduire le bruit provoqué par ce matériel. Ce sont les constructeurs qui sont maîtres de ce paramètre, ainsi que le personnel qui utilise correctement ou non le matériel. En effet il est encore fréquent de voir fonctionner un compresseur "insonorisé" capot ouvert. Seule la vigilance du responsable de chantier permet de bien utiliser le matériel.

Une autre source de nuisances phoniques sont les chantiers de battage, en particulier des palplanches. Cependant il ne faut pas en exagérer l'importance. Pour cela il faut que la méthode de mise en place des palplanches soit bien adaptée aux terrains rencontrés. De façon générale, le battage est plus bruyant que le vibrofonçage, mais il semble que les riverains supportent mieux le bruit du battage que celui du vibrofonçage. Les vibrations engendrées par le battage sont en général moins préjudiciables : par exemple le vibrofonçage a dû être arrêté à proximité d'un magasin d'optique et d'une salle d'ordinateur et remplacé par du battage qui n'a provoqué aucun désordre. La mise en place des palplanches est évidemment à proscrire de 20 h à 8 h dans les zones urbaines d'habitation; comme pour les gênes apportées aux différentes circulations, l'information des riverains est un facteur très important. En particulier il est très utile que les riverains connaissent la date à laquelle la partie bruyante du chantier se terminera, car il est désagréable d'être dérangé par un chantier sans savoir à quelle date les nuisances cesseront. Quelle qu'en soit leur nature, les gênes procurées par le chantier seront d'autant mieux acceptées par les riverains qu'ils sont mieux informés de la finalité des travaux.



Il est à noter que ces problèmes de nuisances phoniques peuvent être l'occasion d'utiliser des techniques originales. Par exemple, le battage des palplanches a pu être dans certaines conditions de sols, remplacé par un vérinage : l'engin utilisé pour cela est assez lourd et il se compose de 8, 10 ou même plus de vérins. Le principe de cette méthode est de mettre en place autant de palplanches qu'il y a de vérins sur l'engin(2 n) et de prendre appuis sur 2(n-2) palplanches pour en enfoncer 2.

Cette technique ne provoque aucun bruit (sauf celui du compresseur), mais son rendement est de très loin inférieur à celui des méthodes classiques. C'est au maître d'oeuvre d'estimer où se trouve l'avantage de la collectivité.

Pour certains points singuliers, hôpitaux en particulier, il y a parfois lieu de recourir à des écrans provisoires de protection phonique. Dans ces zones critiques il est utile de comparer les différentes solutions possibles :

- changement ou adaptation des méthodes d'exécution pour la zone concernée.

- mise en place d'écrans provisoires de protection

- déplacement pour la durée du chantier des services concernés dans d'autres bâtiments aux frais du maître d'oeuvre (cela ne peut être valable que pour des chantiers très importants).

#### 8,23 - Dégradation du site provoquée par la proximité du chantier

Un chantier de terrassement en zone urbaine est trop souvent l'occasion de retrouver le site couvert de boue, de terre sur des distances très importantes. Pourtant cela peut être évité facilement :

- par fermeture du chantier par des barrières, palissades... de hauteurs variables suivant les risques de projections.

- par mise en place d'un système d'évacuation des eaux ou des boues (dans le cas d'un chantier de parois moulées en particulier) de telle façon qu'elles ne puissent pas s'écouler hors des emprises du chantier. Cela peut être fait par un système de caniveaux adjoints aux éléments délimitant le chantier.

- par nettoyage des pneumatiques des camions quittant le chantier. Il est inadmissible que les chaussées deviennent glissantes en raison des dépôts laissés par les camions du chantier.

- par remise en état systématique des zones mises à la disposition des piétons, cycles, véhicules...

Pour que tout cela soit fait, il est bon que le marché prévoie contractuellement tous ces aménagements et que les prix d'installation de chantier pratiqués le permettent. C'est à ce niveau que doit commencer l'intervention du maître d'ouvrage, et celle-ci doit se poursuivre au niveau du chantier.

De même, le déplacement d'engins à chenilles hors des emprises du chantier est à proscrire, si ce n'est sur des parties de chaussées qui seront refaites de façon certaine à l'occasion de l'aménagement concerné.

Les entreprises ont généralement tendance à utiliser toutes les emprises disponibles à proximité du chantier. Ainsi le moindre morceau de pelouse, terre-plein..... est utilisé pour le stockage de matériel, et cela sans l'autorisation de personne. Après le départ du chantier l'entreprise laisse souvent en place du matériel qu'elle ne juge pas utile de récupérer. De plus, la remise en état des emprises utilisées n'est pas faite en général : traces laissées par les roues sur les pelouses, dépôts d'huile, gasoil....

En ville, ces éléments sont très importants, et ils demandent une grande vigilance de la part du maître d'ouvrage. Par expérience, ces travaux de "finition" sont très difficiles à obtenir des entreprises qui ont tendance à arrêter leur travail immédiatement après la construction de l'ouvrage proprement dit.

Le site urbain demande, plus qu'ailleurs, une étroite collaboration entre le maître d'ouvrage, les entreprises et les différents responsables des services locaux. Cependant ces problèmes doivent être abordés dès l'origine du projet, les déplacements des réseaux et les différentes nuisances sont des facteurs qui peuvent être déterminants dans le choix du tracé et des caractéristiques géométriques. De même, ces éléments doivent être pris en compte pour la rédaction du marché; par exemple il sera d'autant plus facile de demander aux entreprises de délimiter et de respecter les emprises de chantier que cela aura été prévu contractuellement de façon explicite, le bordereau des prix étant rédigé en conséquence.

## CHAPITRE 9

### FACTEURS PERMETTANT LE CHOIX SUR LE PLAN ECONOMIQUE

Les 3 chapitres précédents permettent, lors de l'étude d'un projet, de ne retenir qu'un nombre restreint de structures. Chacune de ces structures nécessite un certain nombre de techniques d'exécution qui peuvent d'ailleurs être communes à plusieurs structures.

Un choix doit être fait parmi ces structures et méthodes d'exécution :

- au niveau de l'étude du projet en vue de la consultation des entreprises. En effet après l'étude technique, il revient aux Ingénieurs de :

- \* définir la forme de la consultation des entreprises
  - \* généralement choisir une solution de base
  - \* déterminer les possibilités de variantes
  - \* rédiger le dossier d'appel d'offres
- puis au moment du jugement des offres.

Il est évident que plus l'étude de la solution de base aura été complète, plus le jugement des offres sera facile. Tout le travail afférent à ces choix qui ne sera pas fait au niveau du projet devra se faire au moment du jugement des offres, et cela dans des délais assez brefs.

Pour ces ouvrages qui deviennent rapidement complexes en raison des sujétions du site et qui comportent souvent un grand nombre de contraintes extérieures importantes, il semble que le mode de consultation normal soit l'appel d'offres avec variantes limitées.

#### 9,1 - Etude du projet et rédaction du D.C.E. (dossier de consultation des entreprises)

Le projet doit donc être étudié dans l'optique d'une telle consultation : il doit définir une solution de base et délimiter avec précision les variantes possibles qui seront autorisées par le R.P.A.O (Règlement particulier de l'appel d'offres).

En fait, le travail du projeteur est d'établir un certain nombre de solutions techniques (équivalentes aux offres des entreprises) et de les comparer comme le ferait le Maître d'Oeuvre au moment du jugement des offres.

L'effort du projeteur devra se porter essentiellement sur la valeur technique de ces solutions. Elles devront toutes être de bonne valeur technique et plus particulièrement de pérennités comparables et d'une esthétique qui s'intègre bien au site. D'autre part l'étude de chaque solution doit permettre :

1) d'estimer le coût de construction de chacune des solutions. Pour que ces coûts puissent être comparés, il faut que les aléas et surtout leurs probabilités et leurs coûts soient estimés. Pour ce type d'ouvrage en site urbain les aléas sont fréquents et nombreux et il n'est pas possible de trouver de solution qui les élimine tous. Cependant chaque solution est plus ou moins souple vis-à-vis de ces différents aléas, et les moyens d'y remédier sont plus ou moins coûteux. C'est en fonction de cette souplesse que le coût de chaque solution doit être pondéré. Par exemple il est fréquent d'entendre dire que les palplanches sont peu utilisées en site urbain en raison des nuisances provoquées par leur mise en place; cela n'est pas la seule raison : en effet plus que le bruit, l'inconvénient majeur des palplanches est la difficulté de savoir s'il sera possible de les mettre en place ou non, car cette technique s'accommode très mal des terrains comportant des hétérogénéités (tels que blocs de maçonneries, gros blocs rocheux, etc...) cas très fréquent en site urbain. Lorsqu'il n'est pas possible de mettre en place les palplanches, il faut recourir au curage de ces hétérogénéités et à une autre méthode de soutènement des fouilles (berlinoises, fouilles blindées...). Le changement de méthode est toujours coûteux. Pour les parois moulées, le problème est analogue, mais résolu le plus souvent par trépannage.

2) d'évaluer les délais d'exécution de chaque solution. C'est là où le projeteur est sans doute le plus démuné car il connaît mal les moyens des entreprises. Cependant les contraintes extérieures permettent de fixer un certain nombre de délais, en particulier en ce qui concerne les restrictions de circulation. En général le dossier de consultation des entreprises fixera des délais du type suivant :

"Le nombre de voies de circulation sur la rue X pourra être réduit à 1 voie par sens du (date) au (date) et seulement de (heure) à (heure). En dehors de ces périodes la circulation se fera sur 2 voies par sens".

Ou "les traversées de la rue X au carrefour Y ne pourront être interrompues que pendant un délai de (jours ou mois)".

Le projeteur ne fixera pas seul ces délais partiels, mais il le fera avec le concours des bureaux de circulation et d'exploitation de la D.D.E., des Services Techniques de la Ville et des Services de Police chargés de la circulation. La consultation de ces différents services doit toujours être faite. A titre d'exemple il est important de savoir qu'il n'est généralement pas possible de disposer d'agents de police pour faire la circulation sur un chantier aux heures d'entrée et de sortie des écoles, et donc qu'il n'est pas possible de prévoir de phases de chantier critiques pour la circulation à ces heures.

En fonction de ces données, le projeteur établira un phasage des travaux et un planning pour chacune des solutions. Cela doit permettre de compléter l'étude des coûts. En effet un phasage complexe entrainera obligatoirement une augmentation des coûts. C'est le cas en particulier si les amenées et replis de matériels sont nombreux : tout fractionnement des travaux est un facteur d'augmentation des coûts.

Ainsi le projeteur dispose d'un certain nombre de solutions, pour lesquelles il a défini les structures, les méthodes d'exécution, les phasages des travaux, un planning, les quantités et les coûts. Parmi toutes ces solutions il doit choisir celle qui deviendra la solution de base. Si les projets ont été établis comme nous l'avons indiqué précédemment, les 2 seuls critères intervenant pour le choix à ce niveau sont le coût et les délais. Les délais

durant lesquels il existe un certain nombre de restrictions de circulation sont chiffrables : en particulier ils interviennent pour calculer le taux de rentabilité immédiate d'un aménagement, qui est le rapport des avantages procurés par l'aménagement la lère année suivant sa mise en service, au coût des travaux augmenté de l'estimation du coût des pertes de temps supplémentaires occasionnées aux usagers (piétons, automobiles, riverains...) pendant les travaux.

Les différentes solutions étudiées par le projeteur ayant les mêmes caractéristiques fonctionnelles, les avantages durant la lère année seront identiques. Par ailleurs les projets retenus à ce stade ayant des valeurs techniques comparables, le taux de rentabilité peut être retenu comme un critère valable de choix entre les différentes solutions. Ce taux de rentabilité a en général un optimum, car la réduction des délais critiques du point de vue de la gêne aux usagers conduit souvent à une augmentation du coût des travaux. C'est en particulier le cas lorsqu'il est nécessaire de travailler la nuit.

Le coût d'utilisation de l'aménagement tel qu'il est défini dans la D.I.G. n'a pratiquement pas à intervenir dans le choix de la structure et des méthodes d'exécution : on peut considérer que pour deux projets de même valeur technique les coûts d'utilisation seront identiques. Par contre les équipements interviennent directement sur le coût de la structure donc sur son choix. La solution de base que retiendra en général le projeteur sera celle qui aura la meilleure rentabilité. Les autres solutions sont à considérer comme des variantes possibles. Parmi celles-ci, certaines peuvent être considérées comme intéressantes de façon évidente : c'est le cas des solutions d'un coût global beaucoup plus élevé que la solution de base, et cela quels que soient la qualification et les moyens de l'entreprise. D'autres variantes, en général des variantes de conception, demanderaient aux entreprises des études trop longues et trop coûteuses en fonction des éventuels avantages très réduits qu'elles apporteraient à la solution de base choisie. Toutes ces variantes sont à écarter définitivement et le R.P.A.O. ne devra pas les autoriser.

Le projeteur doit ensuite rédiger le dossier de consultation des entreprises et en particulier les C.C.A.P. et C.C.T.P. (ancien C.P.S.) qui permettent de définir la solution de base, et le R.P.A.O. qui en particulier délimate la liberté d'initiative laissée aux concurrents.

Dans le choix de la solution qui sera retenue au terme du jugement des offres, la rédaction du C.C.A.P. et du C.C.T.P. intervient relativement peu, alors que celle du R.P.A.O. intervient grandement. Sa rédaction sera un facteur très important pour faciliter ou non le jugement. Il nous semble important que le rédacteur rédige le R.P.A.O. sans jamais oublier que son but est de permettre un jugement aisé des offres. Pour cela le document D.J. 75 définit 4 niveaux de liberté d'initiative laissée aux concurrents dans le cas d'un appel d'offres avec variantes limitées :

- Les variantes majeures\* } de conception
- Les variantes mineures }
- Les variantes d'exécution
- Les propositions techniques

Il est à noter que seules les propositions techniques ont un caractère obligatoire, puisqu'elles font partie de la solution de base pour laquelle de façon générale il est obligatoire de présenter une offre conforme.

---

\* selon la terminologie antérieure à la DIG de 1976

Pour les ouvrages qui nous intéressent, ces 4 niveaux ne correspondent pas tout-à-fait à ceux définis pour un pont.

1) Variantes majeures - Ces variantes sont celles qui changent la structure de l'ouvrage ou partie de l'ouvrage, le R.P.A.O. ayant par ailleurs imposé des limitations de nature non fonctionnelle à ces variantes. Par exemple :

\* changement de structure des piédroits : remplacement de palplanches par des parois moulées ou réciproquement.

\* changement de structure de la couverture : remplacement d'une dalle par un tablier à poutres ou réciproquement, utilisation du B.P. au lieu du B.A...

\* remplacement d'un portique par un cadre ou une voûte, ou réciproquement.

2) Variantes mineures - Pour les ouvrages en tranchée couverte ce sont essentiellement des variantes d'exécution qui changent le fonctionnement ou le dimensionnement de l'ouvrage.

Par exemple :

- Portique réalisé en fouilles blindées au lieu de fouilles talutées
- Changement du principe de l'étanchéité : intérieure au lieu d'extérieure
- Remplacement de l'articulation du tablier par un encastrement sur des palplanches ou des parois moulées.
- La préfabrication de certaines parties d'ouvrage : tablier, éléments préfabriqués de parois moulées...

3) Variantes d'exécution - Le chapitre 7 de cette partie donne un certain nombre d'exemples de variantes d'exécution puisque chaque structure est définie avec ses différentes méthodes d'exécution.

A titre d'exemple et de façon non exhaustive on peut citer :

- suppression d'un cintre par coulage direct du tablier sur un coffrage reposant sur le sol.
- différentes façons de réaliser un ouvrage à sec dans une fouille protégée : pompage, rabattement, béton coulé sous l'eau, injections ...
- changement de méthode de soutènement provisoire des fouilles (s'il n'y a pas d'incidence sur la structure).

4) Les propositions techniques : Une des propositions techniques dont il a été beaucoup question dans ce chapitre concerne les délais des différentes phases des travaux élémentaires. Le § 4.3.8. du document D.J. 75 est consacré aux ouvrages courants à construire dans une zone à trafic intense, et il ne semble pas utile de revenir dessus si ce n'est pour dire que le R.P.A.O. devra fixer l'importance donnée à ce critère dans le jugement des offres (voir § 3.6.3 de D.J. 75). Cela est à confirmer par la contractualisation des délais et par des pénalités de retard plus ou moins sévères. Seuls les délais occasionnant des gênes à la circulation ou des dépenses à la collectivité seront généralement pris en compte pour ce critère.

D'autres propositions techniques sont celles qui complètent les méthodes d'exécution. Par exemple : le type, le module et la nuance des pal-planches, la nature des coulis pour les parois moulées (voir dossier MUR 73), les moyens envisagés pour respecter les tolérances du C.C.T.P (nature du blindage, mise en place du ferrailage, bétonnage ...) dans le cas des fouilles blindées, la protection des fouilles talutées. Les propositions relatives à la mise hors d'eau des fouilles : nature des bétons immergés, nature des injections...

Si le D.C.E est rédigé en distinguant ces 4 niveaux, le tri entre les différentes offres sera beaucoup plus aisé ainsi que le jugement.

Le R.P.A.O. a pour but de définir les variantes autorisées. Plus sa rédaction sera précise, plus le jugement sera simple. Le projeteur ayant défini un certain nombre de solutions variantes de bonne valeur technique, le R.P.A.O. devra être rédigé de telle façon que, si ces variantes sont retenues par des concurrents, elles restent de bonne valeur technique.

#### 9.2 - Jugement des offres

Le document D.J. 75, auquel de nombreux renvois sont déjà faits, y est entièrement consacré. Le paragraphe précédent a déjà largement anticipé. Des cinq critères de jugement du Code des Marchés, seul celui des garanties professionnelles et financières n'a pas été cité. Il n'y a rien à signaler de particulier pour ces ouvrages qui sur ce point demandent des garanties analogues à celles d'un pont.

En ce qui concerne le prix des prestations et plus particulièrement le détail estimatif, le maître d'oeuvre doit faire particulièrement attention, pour le jugement des variantes, aux aléas sur les quantités. Si ces variantes ont été étudiées au niveau du projet il connaîtra ces aléas et pourra rectifier éventuellement les quantités. Sinon cette étude est à faire au moment du jugement. Cela est très important pour ces ouvrages dont une part importante consiste en travaux de terrassement et de fondation.

Quant à la valeur technique des diverses variantes proposées, elle dépendra pour beaucoup de la façon dont elles auront été délimitées dans le R.P.A.O.; il importera dans le jugement des offres d'accorder un grand poids à ce critère, et de ne jamais mettre sur un pied d'égalité deux variantes de valeurs techniques différentes, le recours à une variante de valeur technique inférieure ne devant être admis que si elle procure une économie significative, compte-tenu de l'imprécision de l'estimation.

SOMMAIRE DE LA PARTIE 3

-----  
EQUIPEMENTS  
-----

	Pages
- INTRODUCTION	70
CHAPITRE 10 - ASSAINISSEMENT	71
CHAPITRE 11 - ECLAIRAGE	74
11.1 - Choix des niveaux d'éclairage.	74
11.2 - Amélioration de la visibilité.	75
11.3 - Implantation des appareils d'éclairage.	76
CHAPITRE 12 - VENTILATION	79
12.1 - Ventilation longitudinale.	79
12.2 - Ventilation semi-transversale.	83
CHAPITRE 13 - ETANCHEITES	85
13.1 - Etanchéité vis-à-vis des eaux de pluie et d'infiltration.	
13.2 - Etanchéité vis-à-vis de la nappe.	
CHAPITRE 14 - EQUIPEMENTS DE SIGNALISATION ET D'EXPLOITATION	91



## INTRODUCTION

La partie 1 aborde très rapidement l'influence des équipements sur le profil en travers. Cependant au niveau d'un dossier d'inscription il est nécessaire que tous les équipements aient fait l'objet de certaines études, notamment en ce qui concerne leurs influences sur le génie civil.

La présente partie donne les principaux éléments nécessaires à cette étude. Elle envoie pour l'essentiel au dossier-pilote des tunnels et ne rappelle que les points spécifiques aux passages souterrains urbains. Notamment en ce qui concerne les coûts des équipements (éclairage, ventilation, équipements de signalisation et d'exploitation) la pièce 5 du dossier pilote des tunnels est applicable.

On peut cependant citer des ordres de grandeur de coûts d'équipements pour des passages souterrains à gabarit normal en zone urbaine :

Eclairage par appareils étanches à flux dirigés : 300 à 600 frs/m<sup>2</sup> de passage couvert (condition économique juin 77).

Ventilation longitudinale par accélérateurs : incidence de 2 à 8% sur le coût total de l'aménagement.

Ventilation semi-transversale : incidence de 15 à 30% sur le coût total de l'aménagement.

En ce qui concerne l'étanchéité il y a lieu de prendre en compte, pour comparer les diverses solutions possibles pour s'affranchir de l'eau, non seulement les prix des produits d'étanchéité mais également les incidences sur la conception de l'ouvrage et sur les méthodes d'exécution.

La détermination de l'assainissement d'un ouvrage demande la connaissance de 2 types de facteurs :

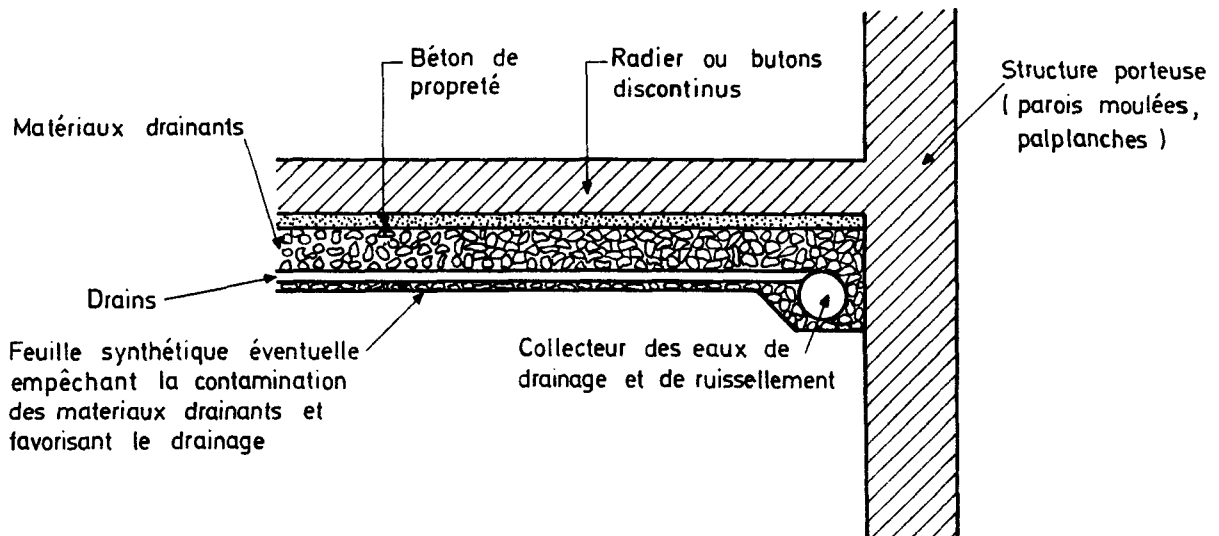
10.1 - Volume des eaux à récupérer

Les eaux à récupérer peuvent avoir trois origines :

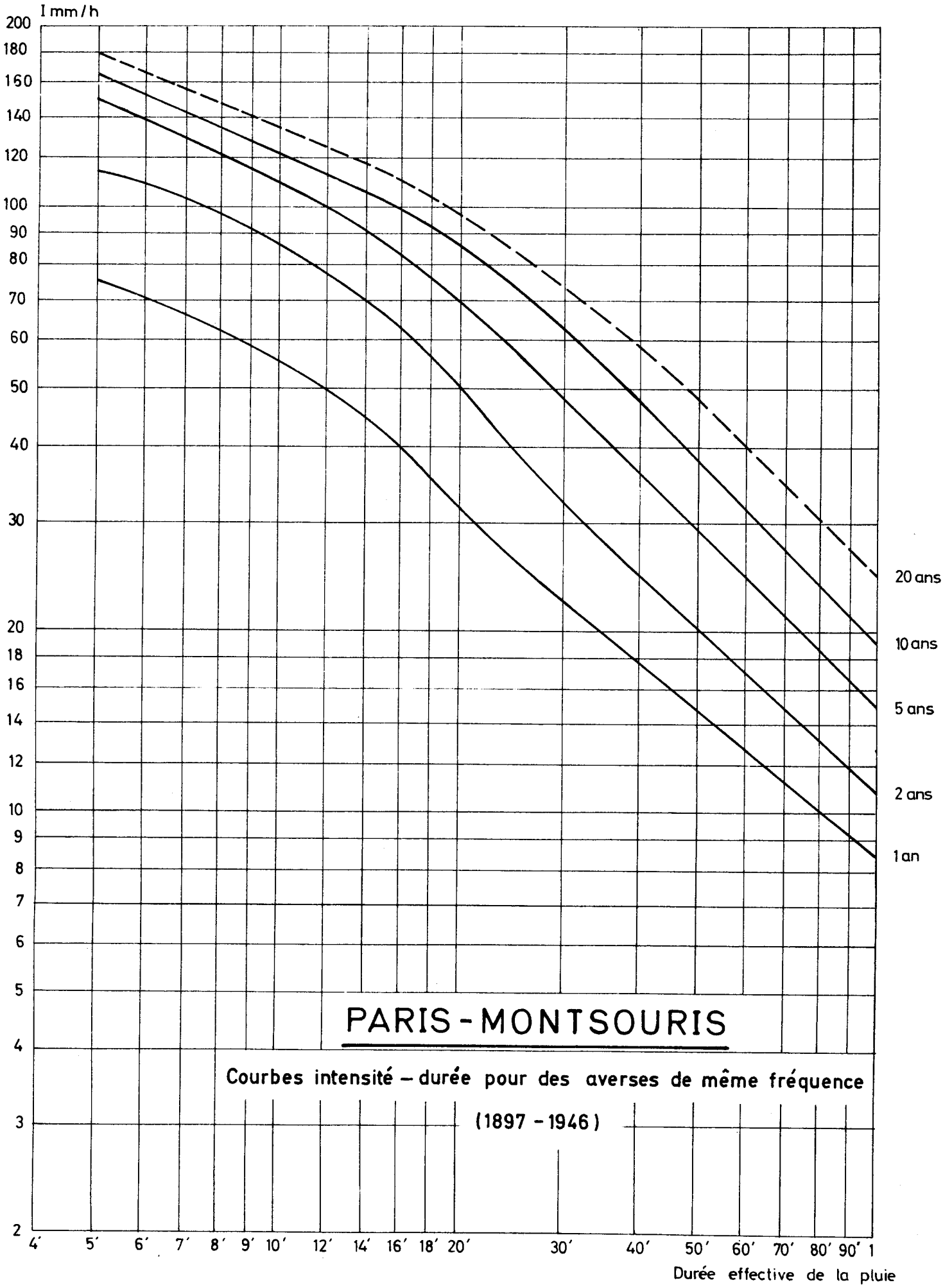
- eaux de pluie de ruissellement : Cela est limité aux trémies et aux tranchées ouvertes. Les deux paramètres importants sont : les surfaces revêtues susceptibles de recevoir directement ces eaux et l'intensité de l'orage contre lequel on veut se prémunir. Pour cela il faut se fixer la fréquence des orages pour lesquelles on ne veut pas que l'ouvrage soit inondé. Une fois cette fréquence fixée (par exemple dix ans), l'intensité (qui correspond à un débit) et la durée de l'orage envisagé permettent de déterminer le débit à évacuer et éventuellement le stockage nécessaire en fonction du débit prévu des pompes dans le cas d'une station de relèvement. Pour cela on peut utiliser le dossier PF DR 64 et ses additifs de 67 et 69. Des courbes donnant l'intensité en fonction de la durée et pour une fréquence donnée sont publiées dans l'additif de 67 (voir exemple page 72).

- eaux d'infiltration à travers la structure : De façon générale le projet devra être conçu de telle façon que de telles infiltrations ne se produisent pas. Cependant en fonction de la nature de la structure du type d'étanchéité et des charges d'eau, il y a lieu de prendre une sécurité sur le dimensionnement des réseaux d'assainissement pour tenir compte d'incidents éventuels.

- eaux de drainage permanent de l'ouvrage : Ces quantités peuvent être estimées au niveau du projet en fonction des perméabilités mesurées pour le terrain en place et estimées dans le cas de sols injectés. Pour les projets importants il y a lieu de réaliser des essais d'injections en vraie grandeur afin de pouvoir déterminer la perméabilité des terrains ainsi traités. Cependant le test final qui permet de confirmer les hypothèses prises au niveau du projet, est le chantier lui-même, durant lequel il est facile de mesurer les débits pompés. Un éventuel sous-dimensionnement du système de récupération des eaux peut être modifié en fonction de l'expérience du chantier.



Exemple de système de drainage permanent (voir partie 2 chapitre 7,4)



## 10.2 - Capacité et implantation des réseaux existants

La capacité des réseaux d'assainissement existants peut parfois être inférieure à celle que nécessiterait le volume d'eau supplémentaire apporté par l'ouvrage.

Si ce volume est trop important, essentiellement fait des eaux de pluie de ruissellement par augmentation de la surface revêtue (cas très rare), il faut comparer les deux solutions possibles :

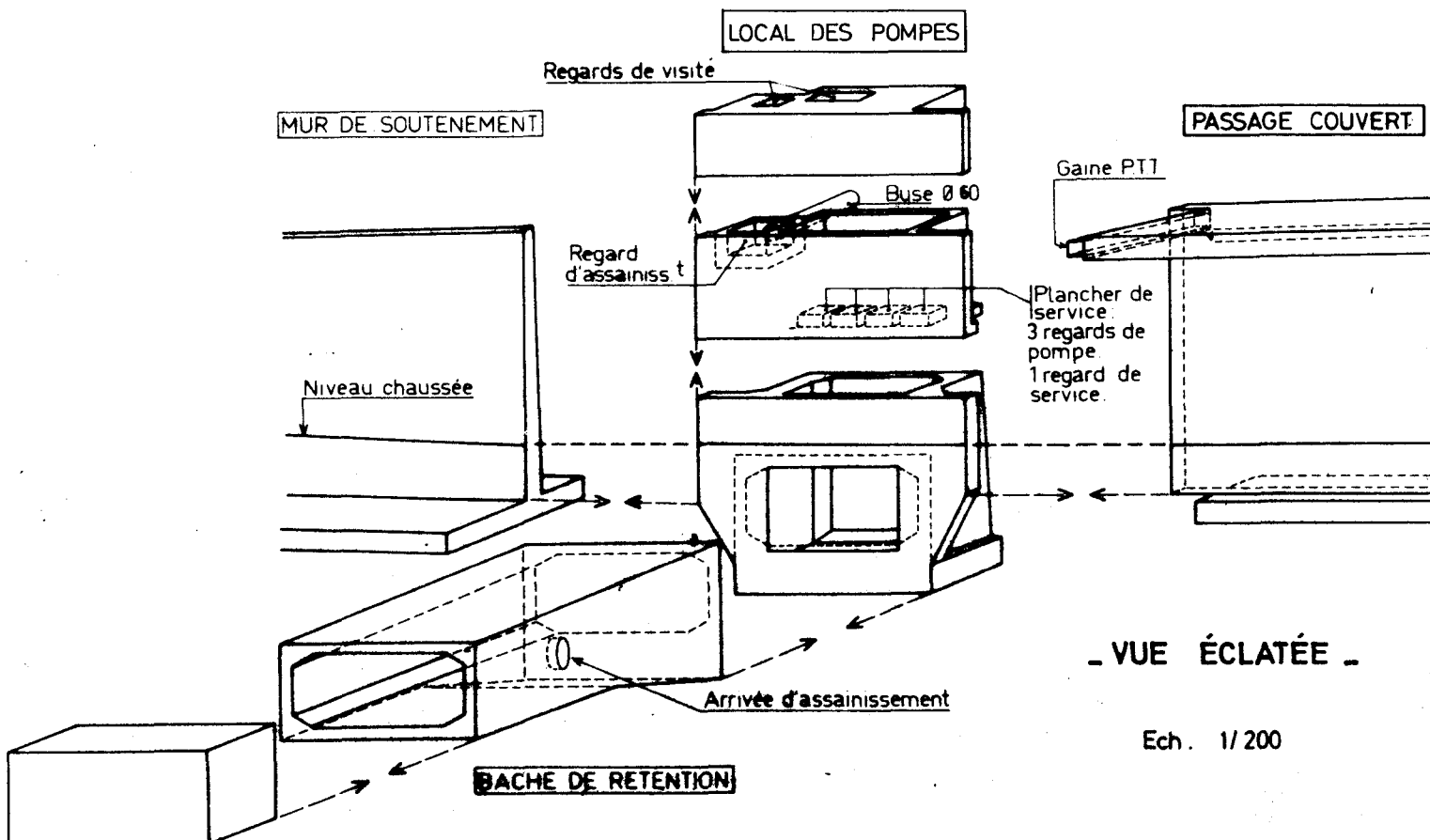
- réalisation d'un nouveau collecteur doublant le collecteur existant
- réalisation d'un bassin ou d'une cuve de rétention permettant d'étaler dans le temps l'évacuation des eaux de pluie.

Si les eaux de drainage à elles seules ne peuvent pas être écoulées par les réseaux existants, l'assainissement de l'ouvrage doit se faire de façon indépendante, par construction d'un nouveau collecteur.

En général la capacité des réseaux existants est insuffisante seulement pour des ouvrages importants, baignés par la nappe, intégrés dans un aménagement augmentant fortement la surface revêtue et dans un secteur où les réseaux existants sont proches de la saturation.

L'implantation de ces réseaux permet de déterminer si une station de relèvement des eaux est nécessaire ou non. Fréquemment les réseaux existants sont plus hauts que les points bas de l'ouvrage et une station de relèvement est nécessaire. Un stockage est toujours prévu, sa détermination est faite seulement pour les eaux de pluie de ruissellement en fonction du débit des pompes.

Un exemple de station de relèvement avec stockage nécessité par l'insuffisance des réseaux existants est donné ci-dessous (ouvrage de l'annexe 1).



## CHAPITRE 11

### ECLAIRAGE

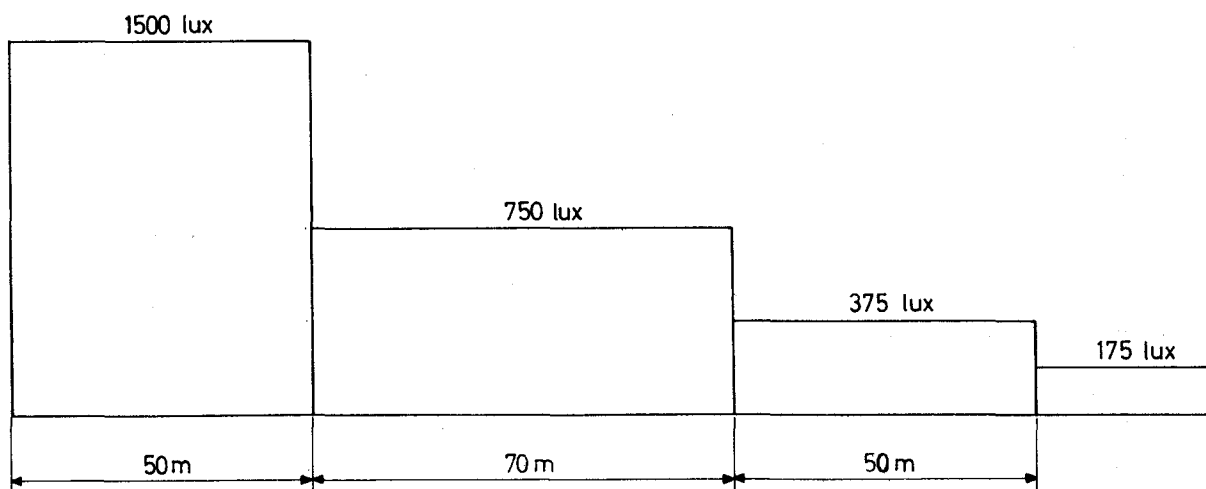
#### 11.1 - Choix des niveaux d'éclairage

Les caractéristiques essentielles à respecter dans ces ouvrages souterrains urbains (à la différence des tunnels hors agglomération) sont :

- Tous les ouvrages doivent être éclairés de jour et de nuit.
- Les entrées de ces ouvrages étant soit des trémies soit des tranchées ouvertes, un niveau maximal d'éclairage de 1200 à 1500 lux en exploitation courante peut être retenu en général pour ces parties.
- Pour les ouvrages longs, c'est-à-dire ceux qui ne comportent pas que des zones de transition, mais aussi une "section courante" vis-à-vis de l'éclairage, les valeurs d'éclairage à adopter pour cette section en éclairage diurne sont comprises entre 150 et 200 lux. La valeur maximale correspond au cas où il n'est pas possible de mettre en oeuvre une chaussée et des revêtements de piedroits suffisamment clairs dans l'ouvrage.

La section 2 de la pièce 4 du dossier-pilote des tunnels donne toutes les indications nécessaires pour le dimensionnement de l'éclairage au stade des études préliminaires.

Les éclairagements en entrées des passages souterrains à gabarit normal comportent 2 ou 3 niveaux intermédiaires entre la valeur maximale d'entrée et celle de section courante lorsque l'ouvrage est assez long. Par exemple un ouvrage dont la vitesse d'entrée est de 60 km/h pourrait avoir les niveaux d'éclairage suivants :



Les paliers successifs d'éclairage des zones d'entrées sont toujours dans un rapport voisin de 2.

Un tel ouvrage comportera une section courante du point de vue éclairage s'il a une longueur supérieure à 340 m pour un ouvrage bidirectionnel et 170 m pour un ouvrage unidirectionnel. Ces longueurs sont respectivement de 200 et 100 m pour une vitesse de 40 km/h et 480 et 240 m pour une vitesse de 80 km/h.

Cela signifie que pour de nombreux ouvrages, il n'est pas possible d'obtenir des éclairages de section courante. En particulier pour les ouvrages bidirectionnels de moins de 100 m de longueur un seul niveau d'éclairage maximal est à prévoir (1500 lux en général).

Pour les ouvrages unidirectionnels, les zones de sortie ne nécessitent pas en général un renforcement de l'éclairage, sauf orientation très particulière de la trémie de sortie qui risque de provoquer un éblouissement.

Les niveaux d'éclairage indiqués correspondent aux luminances extérieures maximales. Un dispositif faisant varier les niveaux d'éclairage en fonction des conditions extérieures est donc nécessaire. Les niveaux d'éclairage intermédiaires sont en général des paliers au nombre de 3 dont le dernier est l'éclairage nocturne.

La valeur de l'éclairage nocturne est normalement celui de la section courante (qui est toujours éclairée la nuit en site urbain). En général l'éclairage de nuit des passages souterrains urbains est de 45 à 50 lux tout le long de l'ouvrage.

#### 11.2 - Amélioration de la visibilité dans les passages souterrains

La visibilité dans les passages souterrains est améliorée en rendant le plus sombres possible les accès de l'ouvrage (parties à ciel ouvert) et au contraire en rendant le plus claires possible les parties couvertes.

a) les accès : la lumière d'ambiance des accès peut être diminuée en prévoyant :

- Des revêtements sombres pour les trémies. Cela est souvent incompatible avec l'esthétique habituelle des ouvrages urbains, pour lesquels souvent le béton est laissé sans revêtement ou seulement peint mais de couleur claire. De plus, du point de vue exploitation, des couleurs sombres ont en général une très mauvaise tenue dans le temps à la lumière solaire et les projections d'eaux chargées de boue sont très visibles sur ces couleurs. Un compromis peut être trouvé cependant à l'aide de la gamme des couleurs grises et beiges.

- Des chaussées noires en béton bitumineux composé d'agrégats sombres (porphyre par exemple).

Lorsque cela est possible, la végétation (plantation d'arbres) peut être utilisée pour masquer des zones éblouissantes. Comme le signale le dossier-pilote des tunnels, les écrans paralumes sont très peu utilisés actuellement car ils sont difficiles à implanter (cela conduisait souvent à allonger les trémies pour conserver le gabarit), d'une efficacité très variable et d'un entretien difficile (le rapport avantages/coût est toujours assez faible).

b) le passage souterrain : Les revêtements dans cette partie doivent être clairs. Pour les chaussées cela peut être obtenu soit avec un béton bitumineux avec agrégats\* clairs soit avec un béton clair. Comme pour les chaussées des trémies, une étude économique doit être faite en particulier en fonction des surfaces à mettre en oeuvre, des possibilités locales de fourniture d'agrégats (sombres ou clairs), de la qualité de ces agrégats. Pour les ouvrages courts, il est évident qu'il n'est pas économique de prévoir 2 types de chaussées pour les trémies et le passage couvert.

**Pour les piédroits, des revêtements clairs et diffusants améliorent nettement la luminance : peintures, céramiques, bardages métalliques, fibrociment peint, enduits projetés....**

Afin d'obtenir une bonne uniformité des luminances (sans zone d'ombre) et également un bon guidage des automobilistes en particulier lorsque le tracé en plan comporte des courbes, **il est conseillé de prévoir des rampes lumineuses continues.** Pour les ouvrages courbes, les piédroits concaves doivent être particulièrement bien éclairés afin que la partie extérieure (à la courbe) de la chaussée soit bien utilisée par les automobilistes et qu'ils n'aient pas tendance à "couper" les virages. La signalisation au sol (délimitation des voies, des bandes dérasées et des 2 sens de circulation éventuels) doit être particulièrement soignée. Les services chargés de l'exploitation de ces ouvrages, doivent maintenir les marquages au sol toujours parfaitement visibles.

### 11.3 - Implantation des appareils d'éclairage.

Les deux types d'installation possibles sont :

- Galerie spéciale d'éclairage. (Voir schéma partie 1 page 16)

Cette solution n'a été retenue que dans des ouvrages où il était prévu des galeries de ventilation (système semi-transversal) ce qui en diminue l'incidence financière. C'est une solution luxueuse qui apporte un confort de grande qualité aux usagers. Parmi ces ouvrages, les plus courts auraient sans doute pu être prévus avec une ventilation longitudinale forcée et un éclairage par appareils à flux dirigés. Le confort de l'utilisateur aurait été sans doute de moins bonne qualité (opacité plus importante de l'atmosphère), mais sa sécurité malgré tout assurée.

Compte tenu des prix actuels de l'énergie électrique et des recommandations consécutives à la crise de l'énergie, ces ouvrages se réaliseraient sans doute aujourd'hui suivant la 2ème technique beaucoup plus économique (pour l'ensemble éclairage - ventilation) tant du point de vue coût de construction que du point de vue coût d'exploitation (Rendement plus faible de l'éclairage - Puissance installée plus grande pour la ventilation et nombre d'heures de fonctionnement plus important).

Donc la galerie d'éclairage peut être considérée actuellement comme une solution rare qui ne peut être envisagée que pour des ouvrages nécessitant une ventilation semi-transversale (c'est-à-dire au delà de 250 m pour un ouvrage régulièrement congestionné et 500 m en cas contraire).

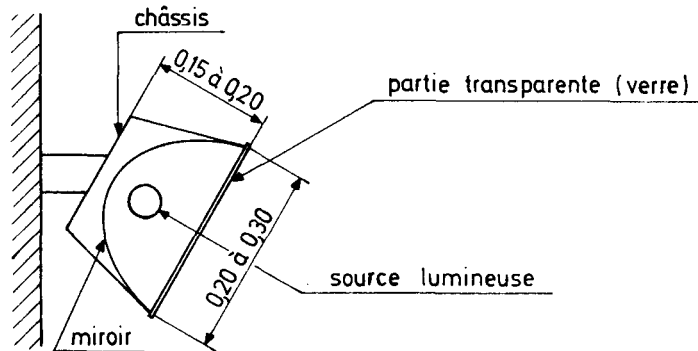
- Appareils à flux dirigés. Les sources lumineuses sont placées dans des boîtes étanches (aux poussières et à l'humidité) comportant une partie transparente.

---

\* Par exemple quartzite

Les dimensions de ces appareils varient suivant le nombre et la nature des tubes ou lampes qui y sont placés.

Leur section varie de 0,15 m x 0,2 m à 0,20 m x 0,30 m



Les appareils doivent être placés hors gabarit et de telle sorte qu'ils dirigent le flux lumineux sur la chaussée et la base des piliers.

Ils sont donc placés dans l'angle piliers-plafond ou sous le gousset, s'il existe. L'encombrement de ces appareils en place, compte tenu de leur inclinaison, est de 0,35 m au maximum. D'autre part, afin qu'ils ne soient pas heurtés accidentellement (bâches de camion en particulier), un recul de 0,15 m de ces appareils par rapport au gabarit de la chaussée est souhaitable.

Il y a lieu également de tenir compte du devers de la chaussée. Ainsi un isolateur de 0,75 m (largeur nécessaire pour la circulation occasionnelle de piétons) permet de placer hors gabarit les appareils d'éclairage si le devers de la chaussée est inférieur à 5 %. Un isolateur de 0,50 m peut être suffisant dans les zones où le devers n'est pas défavorable.

Pour les ouvrages bidirectionnels, les appareils d'éclairage sont placés contre les 2 piliers au-dessus d'isolateurs de 0,75 m. Pour les ouvrages unidirectionnels à 1 voie ou 2 voies, si le trafic poids lourd est faible, les appareils d'éclairage peuvent n'être placés que d'un seul côté et si possible à gauche pour les ouvrages à 2 voies afin que les poids lourds qui sont le plus souvent sur la file de droite ne créent pas des ombres gênantes pour les automobilistes de l'autre voie. Pour les ouvrages à 2 voies avec fort trafic de poids lourds et à 3 voies et plus, il est nécessaire de disposer des appareils sur les deux piliers.

Comme il est dit dans la partie 1, les choix du point de vue éclairage doivent intervenir très tôt dans l'élaboration du projet afin de définir les caractéristiques géométriques et plus particulièrement le profil en travers.

Les appareils sont placés en général de façon à réaliser une rampe lumineuse continue (appareils accolés). Dans ces conditions, les appareils utilisés doivent permettre d'accéder aux sources par l'avant de l'appareil.

En ce qui concerne les choix des sources lumineuses, les solutions le plus fréquemment retenues sont (voir différents types dans le dossier-pilote des tunnels) :



- En section courante lorsqu'elle existe, et en éclairage nocturne, utilisation de tubes fluorescents. Cependant certaines voies routières sont équipées en section courante de lampes à vapeurs de sodium pour l'éclairage nocturne; dans ce cas il est bon d'assurer la continuité.

- Dans les zones de renforcement, utilisation de lampes à vapeur de sodium basse pression (encore le plus couramment employées en particulier si l'ouvrage ne peut pas être emprunté par les piétons) ou haute pression. Dans ces zones, la tendance actuelle est d'utiliser simultanément les tubes fluorescents et les lampes à sodium, l'ensemble permettant un assez bon rendu des couleurs.

d) Alimentation électrique :

L'alimentation électrique pour l'éclairage ne pose généralement pas de problème en zone urbaine pour les ouvrages non ventilés artificiellement (donc forcément courts). Elle se fait à partir des réseaux existants. En général pour ces ouvrages, aucune alimentation de secours n'est prévue, si ce n'est une double alimentation ou le classement de l'alimentation en usager prioritaire si cela est possible.

Pour les ouvrages ventilés, donc longs (pas de pénétration de la lumière du jour), les conditions d'exploitation sont identiques à celles des tunnels. Ainsi pour l'éclairage, un dispositif de secours doit permettre de maintenir un niveau d'éclairement minimum (de l'ordre de 20 lux) afin d'assurer un balisage. Cela peut être fait en prévoyant l'alimentation d'une certaine partie des luminaires par un branchement sur un secours "première urgence" EDF ou à partir de batteries ou groupes électrogènes. Pour ces ouvrages les puissances installées nécessitent la réalisation de postes de transformation-distribution, des locaux techniques (surveillance, contrôle des installations d'exploitation...) où il est possible de placer les groupes de secours. Ces considérations ne font pas l'objet du dossier et chaque ouvrage est un cas d'espèce pour lequel il est utile d'une part de se reporter au dossier-pilote des tunnels (pour le stade D.I) et d'autre part de contacter le C.E.T.U., les services de l'E.D.F., ainsi que les services chargés de l'exploitation ultérieure dès le début des études.

## CHAPITRE 12

### VENTILATION

Son rôle essentiel est de limiter d'une part le taux d'oxyde de carbone à une valeur très faible en toute circonstance et de maintenir le taux des fumées à des valeurs raisonnables pour garder de bonnes conditions de visibilité (transparence de l'air). Ainsi il est nécessaire de connaître les quantités des gaz d'échappement émis dans l'ouvrage. Les facteurs essentiels qui conditionnent la ventilation sont :

- Les caractéristiques géométriques de l'ouvrage : longueur, altitude de l'ouvrage, profil en long (rampes et pentes), profil en travers. Ces deux derniers facteurs interviennent sur les débits des gaz d'échappement puisqu'ils jouent sur les trafics et les vitesses.

- Les données de circulation : Volume du trafic par sens de circulation, sa composition, la fréquence et la durée des risques de congestion.

La ventilation est un équipement lourd qui ne peut pas être réalisé après mise en service de l'ouvrage sauf si les réservations nécessaires ont été faites. Les données de circulation doivent donc tenir compte de la durée de vie de l'aménagement, et des horizons à 20 ou 30 ans doivent être envisagés. Il faut également noter qu'il est très difficile de venir mettre en place des équipements de ventilation dans un ouvrage en service même si les réservations étaient prévues. Car si une ventilation artificielle s'avère nécessaire en cours d'exploitation, cela est dû à une augmentation du trafic et de la congestion de l'ouvrage (car les moteurs dégageront dans l'avenir des gaz moins chargés), ce qui signifie qu'il est difficile de le fermer à la circulation pour y réaliser des travaux (qui sont toujours importants dans le cas d'espèce).

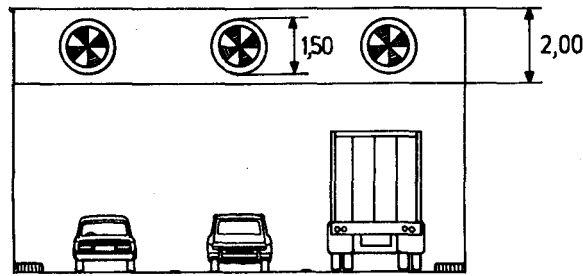
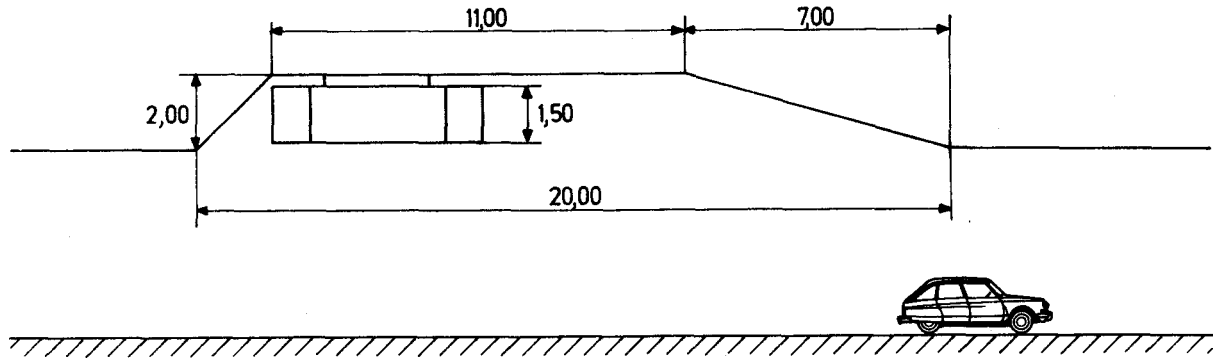
Le risque de congestion de l'ouvrage est un facteur très important pour le dimensionnement de la ventilation. En effet le seuil limite de concentration en oxyde carbone est de 250 ppm pour un ouvrage occasionnellement congestionné et de 150 ppm pour un ouvrage régulièrement congestionné ce qui correspond à des débits d'air frais à introduire dans l'ouvrage de 150 m<sup>3</sup>/s par km de voie et 240 m<sup>3</sup>/s par km de voie (valeurs applicables pour un ouvrage où les déclivités sont inférieures à 0,5 % et à une altitude inférieure à 400 m). Il est donc souhaitable que les aménagements en aval de l'ouvrage permettent à celui-ci de n'être pas régulièrement congestionné à court et à long terme.

En ce qui concerne l'opportunité d'une ventilation artificielle, le choix d'un système de ventilation, et son dimensionnement, le dossier-pilote des tunnels est parfaitement applicable aux passages souterrains.

Les 2 types de ventilation artificielle utilisés pour les passages souterrains actuellement sont :

12.1 - Ventilation longitudinale naturelle ou forcée : l'air dans l'ouvrage est mis en mouvement par les différences de pression entre les têtes (très irrégulières et aléatoires), par l'effet de pistonement des véhicules (son importance est fonction des conditions de circulation : unidirectionnelle, bidirectionnelle, fluide ou congestionnée), par les éventuels accélérateurs qui créent un courant d'air qui transite à travers le passage couvert.

Les accélérateurs sont placés au plafond ou sur les piedroits au-dessus de trottoirs. Le manque de place conduit en site urbain à placer ces appareils dans des niches. Dans ce cas on donne à ces niches les longueurs les plus grandes possibles sans aller au-delà de 30 m sauf si le surgarbit doit régner sur toute la longueur de l'ouvrage pour d'autres équipements.

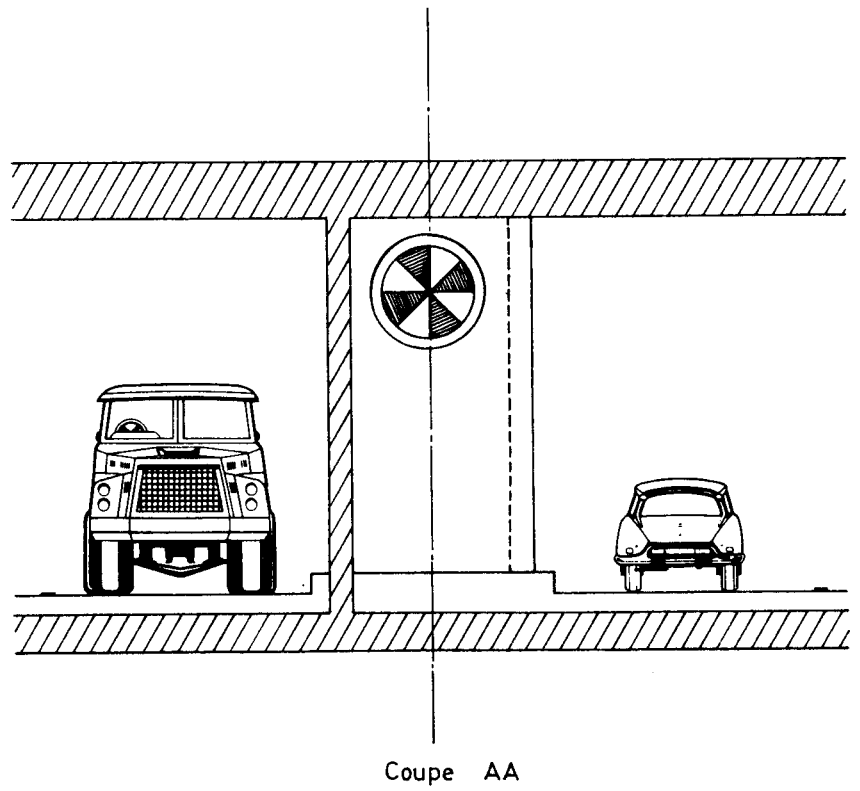
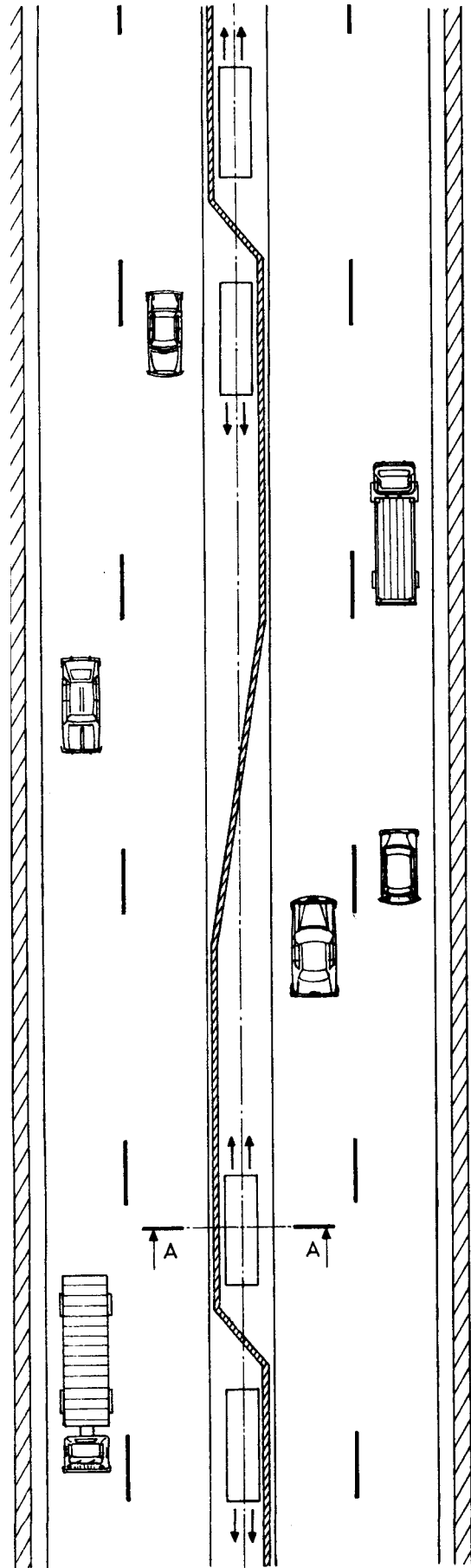


Exemple de niche en plafond pour accélérateur  $\varnothing$  1,50 ne soufflant que dans un seul sens.

Si les accélérateurs peuvent fonctionner dans les 2 sens (cas des ouvrages bidirectionnels), les niches sont symétriques. Le diamètre des accélérateurs varie entre 0,80 m et 1,50 m et leur longueur de 3 à 6 m (en fonction des dispositifs d'insonorisation). Ainsi les niches ont une longueur de 20 à 25 m et de 1,4 à 2,00 m de haut. Une disposition rationnelle des accélérateurs peut être utilisée pour 2 ouvrages unidirectionnels juxtaposés (voir schémas page 81) : les appareils sont disposés dans l'axe de l'ouvrage complet, une paroi centrale continue (pouvant servir également d'appui à la couverture) sépare les 2 courants de circulation. Cette solution permet de ventiler les deux sens de circulation (lorsque la ventilation longitudinale forcée est nécessaire) à partir d'une zone centrale séparant les 2 chaussées de l'ordre de 2 à 3 m.

Le choix entre les différentes possibilités de placer les accélérateurs se fait bien sûr en fonction des conditions géométriques qui en condamnent certaines, et de leurs influences sur les coûts. Souvent on est obligé de comparer le coût d'un élargissement de l'ouvrage avec celui d'un approfondissement.

La ventilation longitudinale convient mieux aux ouvrages unidirectionnels qu'aux ouvrages bidirectionnels pour lesquels le mouvement des véhicules peut avoir tendance à faire circuler l'air en sens inverse de ce qu'il est souhaitable.



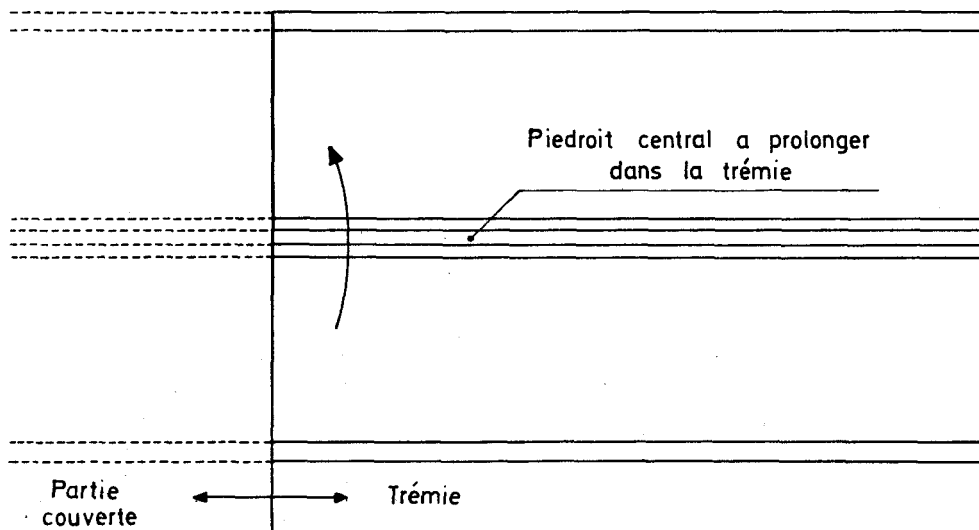
Exemple d'accélérateurs placés latéralement entre deux ouvrages unidirectionnels.

Cependant pour les passages souterrains qui ne comportent que des risques de congestion faibles, la ventilation longitudinale naturelle est généralement suffisante pour des longueurs inférieures à 150 m. Au delà, il faut calculer les poussées nécessaires à la ventilation de l'ouvrage et ce n'est que si ces poussées sont faibles (quelques centaines de Newtons) que l'on peut estimer que la ventilation naturelle est suffisante. Cependant dans tous les ouvrages ne comportant pas de ventilation artificielle il est important de placer des détecteurs de C O qui, d'une part commandent des feux tricolores aux entrées permettant d'éviter que d'autres véhicules pénètrent dans l'ouvrage, et d'autre part, alertent le bureau de contrôle de la circulation routière responsable de l'ouvrage.

En ce qui concerne le dimensionnement de la ventilation des ouvrages unidirectionnels, l'effet de pistonement des véhicules intervient de façon très importante ; **et si la fluidité du trafic est assurée**, cela permet d'économiser un nombre assez important d'accélérateurs.

Le nombre d'accélérateurs à placer dans un ouvrage considéré comme normalement congestionné est toujours au moins 2 fois plus grand que le nombre nécessaire pour un ouvrage considéré comme congestionné exceptionnellement.

Pour les ouvrages unidirectionnels juxtaposés, il est important de prolonger le mur séparateur central dans les trémies afin d'éviter que l'air vicié sortant par une tête ne rentre dans l'autre ouvrage.



La ventilation longitudinale forcée couvre une plage importante des passages souterrains urbains. En effet la longueur couverte de ces ouvrages dépasse rarement 300 m. Les ouvrages pour lesquels la ventilation longitudinale ne pouvait pas techniquement être utilisée, ont été réalisés en région parisienne : ouvrages de grande longueur, trafic important, congestion régulière plusieurs fois par jour et durée de congestion importante.

Cependant d'autres ouvrages également en région parisienne se trouvaient dans le domaine d'emploi de la ventilation longitudinale tant sur le plan technique que sur le plan économique ; mais la ventilation semi-transversale lui a été préférée pour des raisons esthétiques et également de confort.

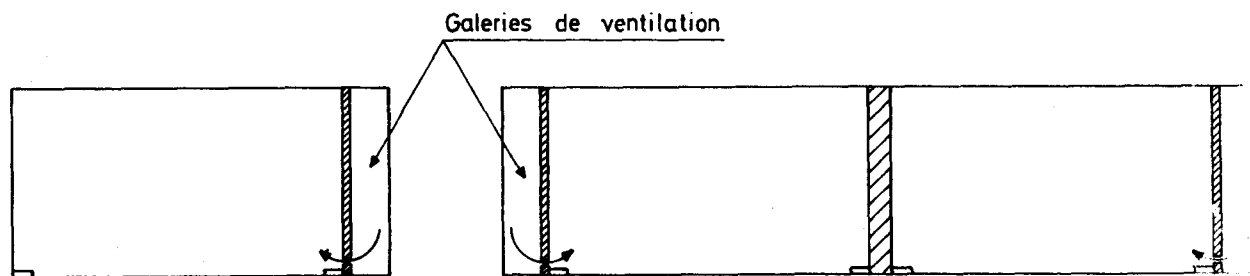
La ventilation longitudinale est, lorsqu'elle est possible techniquement, toujours moins chère à la construction que tout autre système de ventilation (en coût global, y compris les incidences de génie civil). De même en exploitation, la ventilation longitudinale est plus économe en énergie électrique que les autres systèmes.

## 12.2 - Ventilation semi-transversale

De l'air frais transite dans une ou plusieurs galeries de ventilation tout au long de l'ouvrage et cet air est distribué régulièrement au moyen de bouches de soufflage (carneaux) dans l'espace réservé aux véhicules.

L'air vicié s'échappe naturellement par les têtes et on obtient ainsi tout le long de l'ouvrage une dilution uniforme des polluants. L'air frais est aspiré dans des stations par des ventilateurs industriels.

Les galeries de ventilation pour les passages souterrains sont implantés latéralement contre les pignons (latéraux ou centraux).



Ce système de ventilation est assez insensible aux conditions atmosphériques et aux conditions de circulation (si ce n'est au niveau des débits de polluants) contrairement à la ventilation longitudinale. De plus ce système est adapté au cas des ouvrages bidirectionnels car la congestion ne se produit dans de nombreux cas que pour un sens du trafic, et le volume d'air assurant la dilution est plus important pour les ouvrages bidirectionnels que les ouvrages unidirectionnels. Ainsi sur la coupe en travers représentée ci-dessus le pignon central, nécessaire au fonctionnement de la structure, peut être discontinu ou ajouré.

La section des galeries de ventilation est déterminée en fonction

- des débits d'air frais nécessaires ( $150$  ou  $240 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}$  de voie).
- de la longueur sur laquelle ces galeries distribuent de l'air frais donc de l'implantation et du nombre de stations de ventilation.

- de la vitesse de l'air dans les galeries. On se limite à 25 m/s dans les galeries de soufflage.

- des incidences économiques de l'élargissement de l'ouvrage. On évite les galeries inférieures à 1 m de large qui sont trop étroites pour être visitées et qui ont une mauvaise forme du point de vue aérodynamique (à section constante le diamètre hydraulique diminue avec les sections étroites).

Les coûts de structure font qu'en général la largeur des galeries de ventilation ne dépasse pas 1,5 m

En général la section de ces galeries est de 3 à 5 m<sup>2</sup> suivant qu'une galerie d'éclairage lui est superposée ou non ; les débits pouvant être écoulés sont de l'ordre de 70 à 125 m<sup>3</sup>/s.

En première approximation, l'espacement maximum entre stations de ventilation peut être évalué de la façon suivante :

$$d = \frac{2000 \times s \times V}{Q_{AF}}$$

d distance maximale entre 2 stations en m.

s section en m<sup>2</sup> de galerie de ventilation disponible par voie de circulation.

V vitesse de l'air en m/s dans les galeries de ventilation que l'on suppose constante (15 à 25 m/s)

$Q_{AF}$  débit d'air frais à introduire en m<sup>3</sup>/s et par km de voie (150 ou 240 m<sup>3</sup>/s)

Le nombre minimal de stations de ventilation est donc :

$$n = \text{partie entière de } \left(\frac{L}{d}\right) + 1 \quad L \text{ longueur du passage couvert en m.}$$

Dès le niveau préliminaire des études, la ventilation doit être envisagée car elle intervient grandement sur le génie civil. De plus, en site urbain, les emprises permettant l'installation des stations de ventilation sont limitées et il est nécessaire de les répertorier dès l'origine du projet. L'annexe 7 de la section 1 (Ventilation) de la pièce 4 du dossier-pilote des tunnels est entièrement consacrée à ces problèmes en site urbain. En particulier les baies d'aspiration d'air frais nécessitent 50 à 100 m<sup>2</sup> par km de voie couverte, ce qui représente des surfaces importantes en zone urbaine dense, d'autant que ces prises d'air frais doivent être situées de manière à éviter tout recyclage d'air plus ou moins vicié. De même le problème des nuisances phoniques engendrées par les ventilateurs doit être envisagé.

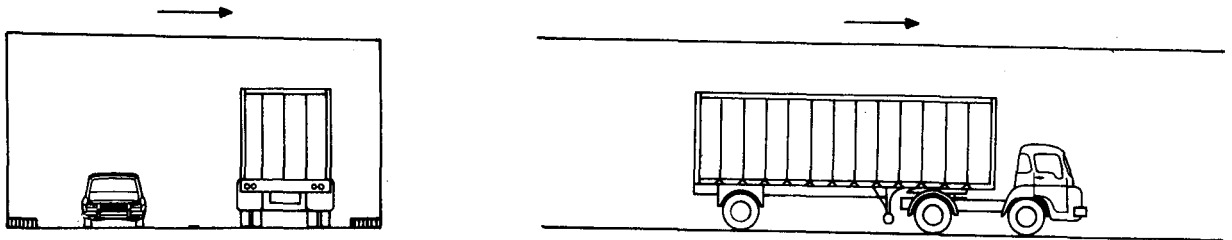
## CHAPITRE 13

### ETANCHEITES

L'ouvrage a besoin d'être étanché vis-à-vis des eaux de pluie et d'infiltration (cela concerne la traverse supérieure et éventuellement les piédroits) et vis-à-vis de la nappe phréatique si l'ouvrage y est baigné.

#### 13.1 - Etanchéité vis-à-vis des eaux de pluie et d'infiltration.

La traverse supérieure du passage couvert, si elle est circulée, doit être considérée comme un tablier de pont. En général d'ailleurs l'étanchéité de ces ouvrages est assez simple car peu de points singuliers viennent rendre cette étanchéité difficile : pas de pénétrations (gargouilles, attaches de glissière de sécurité), peu de contre-bordures de trottoirs... Cependant pour ces ouvrages, en général très larges (au sens d'un tablier de pont) la circulation de l'eau de ruissellement pose un problème ; il est par conséquent déconseillé de prévoir le tablier de la partie couverte horizontal, ce qui est assez facile à réaliser puisque la chaussée sous l'ouvrage comporte obligatoirement une pente transversale et une pente longitudinale.



Pour l'étanchéité de la traverse supérieure, on peut donc utiliser les trois types d'étanchéité classiques :

- étanchéité à base d'asphalte coulé,
- étanchéité par film mince adhérent au support,
- étanchéité par feuilles préfabriquées.

Le dossier STER 74 (sous-dossier E) est directement applicable à l'étanchéité de ces ouvrages.

Pour les ouvrages surmontés d'un remblai (cas assez fréquent), le troisième type d'étanchéité est à conseiller, car d'une part la protection sera suffisante et d'autre part cette solution est sans doute la moins onéreuse. Cependant les 10 premiers centimètres de remblai ne devront pas comporter d'éléments risquant de poinçonner l'étanchéité, et leur mise en oeuvre devra se faire à la main sans circulation d'engin.

Pour les piédroits des parties couvertes et pour les murs de soutènement, il faut à la fois assurer l'évacuation des eaux d'infiltration et empêcher l'infiltration des eaux dans leur épaisseur (pour les ouvrages hors nappe).

- Ouvrages en béton armé classique : les dispositions à prévoir sont celles décrites dans le dossier PIPO 74 (pièce 3.1 § 2.5) : empilement d'éléments poreux préfabriqués disposés sur un système de collecte des eaux relié à des barbacanes. (Voir également dossier MUR 73 pièce 2.2 § 3).



La protection proprement dite des murs n'est à prévoir que si les eaux sont agressives (voir MUR 73 pièce 2.2 § 63) et dans ce cas une étanchéité extérieure est nécessaire, du type de celles utilisées pour les ouvrages baignés dans la nappe (voir § 13,2).

Pour les joints des murs, il n'y a pas lieu de les prévoir étanches, mais un couvre-joint est souhaitable côté terre pour empêcher que les particules de sol ne soient entraînées par les eaux. En général, on utilise des cache-joints pour masquer le ruissellement éventuel de l'eau (MUR 73 pièce 2.2 § 42).

- Ouvrages en parois moulées : peu utilisés hors nappe. Rien à prévoir.

- Ouvrages en palplanches : pour éviter que le ruissellement ne se fasse par les joints des palplanches, des barbicanes avec filtre conduisant directement dans les caniveaux sont à prévoir. Cette solution, n'est pas indispensable, mais assure une meilleure esthétique de l'ouvrage et également une meilleure exploitation (peinture non souillée par les eaux).

### 13.2 - Etanchéité vis-à-vis de la nappe

Il faut distinguer les problèmes d'étanchéité vis-à-vis des venues d'eau latérales de ceux vis-à-vis des venues d'eau en radier. Cependant les 2 types de solutions possibles pour se prémunir des venues d'eau sont les mêmes dans les 2 cas :

- Drainage dans le cas où les débits le permettent (sol peu perméable).

- Réalisation d'une structure étanche.

#### 13.2.1 - Etanchéité vis-à-vis des venues d'eau latérales

Si les venues d'eau sont faibles (sol peu perméable) et si le rabattement provoqué par un drainage permanent est compatible avec le site, un système de drainage tout le long des murs (piédroits et trémies) peut être prévu.

Pour une structure en cadre ou portique B.A., les dispositifs à réaliser sont identiques à ceux décrits dans le chapitre précédent si ce n'est que les joints doivent être étanches. Le dossier MUR 73 donne toute une série de joints vendus actuellement dans le commerce (pièce 2.2 § 41 et 422).

Cette solution ne peut être utilisée que lorsque la méthode d'exécution permet d'accéder derrière les murs : fouille talutée avec pompage provisoire en pied de talus, méthode hambourgeoise, rideaux de palplanches récupérables...

Pour une structure en parois moulées cette solution est impossible et inutile car les parois moulées peuvent être considérées comme étanches vis-à-vis des venues d'eau latérales.

Pour les ouvrages en palplanches seules, l'installation de barbicanes protégées par des filtres (cf § précédent) est conseillée car elles peuvent permettre d'éviter le drainage de se faire par les joints. Cependant la stabilité des palplanches devra être malgré tout assurée vis-à-vis des poussées hydrostatiques dans l'éventualité d'un colmatage des joints (très probable) et éventuellement des barbicanes.

Les réseaux d'assainissement doivent évidemment tenir compte de ces eaux de drainage.

Si l'on veut réaliser des murs étanches, trois solutions sont possibles :

- disposer une étanchéité extérieure si la méthode d'exécution le permet.

- disposer une étanchéité intérieure : dans ce cas les pressions doivent être faibles (2 à 3 m d'eau au maximum) et la pérennité de l'ouvrage n'est pas assurée si les eaux sont agressives.

- réaliser des murs étanches dans la masse : c'est le cas des parois moulées que l'on considère en raison de leur épaisseur comme une barrière suffisamment étanche.

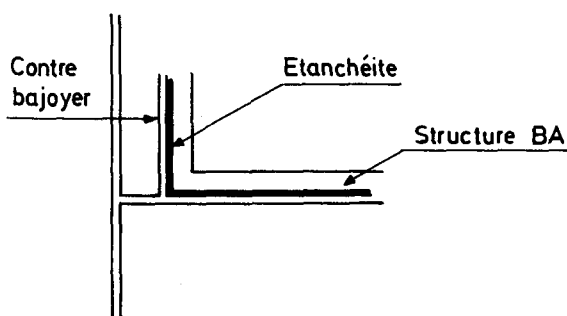
C'est le cas également de structures réalisées en béton "étanche", obtenues par l'utilisation d'adjuvants hydrofuges. Cette dernière technique n'a été utilisée qu'à l'étranger et à titre expérimental. Son prix de revient et les résultats des expérimentations ne permettent pas d'affirmer si cette technique sera développée ou non.

#### a) Etanchéité extérieure

Cette solution qui est la plus sûre, est à réserver aux ouvrages baignés dans une nappe où les eaux sont agressives, sous fortes pressions et entourées de terrains à forte perméabilité, car son incidence financière est très importante. En effet cette technique ne peut être utilisée qu'avec des méthodes d'exécution particulières qui sont généralement coûteuses car l'extérieur des piedroits doit être accessible et l'étanchéité doit être appliquée sur le terrain proprement dit ou sur un support spécial.

Les différentes possibilités pour placer cette étanchéité sont par exemple :

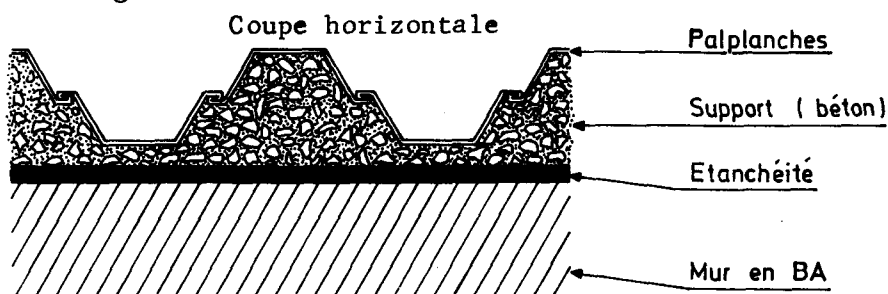
- méthode hambourgeoise avec contre-bajoyer.



Coupe verticale

Le contre bajoyer sert d'une part à recevoir l'étanchéité et d'autre part à protéger cette étanchéité.

- Ouvrage réalisé à l'intérieur d'un rideau de palplanches perdues.



Pour ces éléments verticaux il est impossible d'utiliser des étanchéités coulées. Ces étanchéités nécessitent des précautions soit au moment de la réalisation du mur lui même (mise en place des coffrages, du ferrailage, bétonnage, vibration) si elles ont été placées sur un support comme sur la figure précédente, soit au moment du remblaiement si l'étanchéité est appliquée à l'extérieur du mur. Si une solution étanchéité extérieure est prévue, il faut qu'elle soit absolument nécessaire. La mise en oeuvre étant coûteuse et les matériaux onéreux, il serait dérisoire de la laisser se détériorer par le remblaiement. Les matériaux utilisés pour cette étanchéité sont en général des feuilles préfabriquées comportant ou non une couche de protection, la qualité essentielle des matériaux utilisés étant la résistance au poinçonnement car les feuilles n'adhèrent pas au béton.

Le problème le plus important de ces étanchéités est la réalisation des joints. C'est pourquoi en général les feuilles d'étanchéité sont amenées sur le chantier coupées aux dimensions nécessaires en 2 ou 3 lés assemblés, soit en usine, soit dans un atelier spécial installé sur place lorsque le chantier est important, afin de diminuer le nombre de joints à exécuter sur le chantier. Ces feuilles sont en général constituées de PVC, de polyéthylène ou d'association de différents matériaux, et les joints sont réalisés par collage ou soudage. La qualité de cette étanchéité dépendra essentiellement de la qualité des joints et de sa résistance au poinçonnement.

Compte tenu des sommes mises en jeu par une telle étanchéité, cette solution n'est à retenir que lorsque cela est absolument nécessaire; et à l'exécution, il est indispensable de veiller à la bonne mise en oeuvre.

#### b) Etanchéité intérieure

Cette solution est utilisée pour les hauteurs d'eau faibles (4 m), lorsque les eaux de la nappe ne sont pas agressives pour l'ouvrage. En ce qui concerne la structure, des précautions sont à prendre :

- essayer d'obtenir un béton classique offrant les meilleurs qualités d'imperméabilité possible.

- limiter les longueurs de bétonnage

- ferrailer les piédroits de façon à répartir au mieux la fissuration due au retrait.

- traiter les joints à l'aide de waterstop ou similaire.

Pour être efficace, cette étanchéité doit être parfaitement adhérente au support et résister à l'arrachement produit par la pression hydrostatique. De plus cette technique pose le problème de l'accrochage des équipements qui viennent perforer l'étanchéité.

C'est pourquoi en outre, on limite la hauteur d'eau ce qui permet d'accrocher les équipements dans la partie supérieure de l'ouvrage (c'est presque toujours le cas).

Cette étanchéité est généralement constituée de résine époxy chargée de brai de houille appliquée au pistolet.

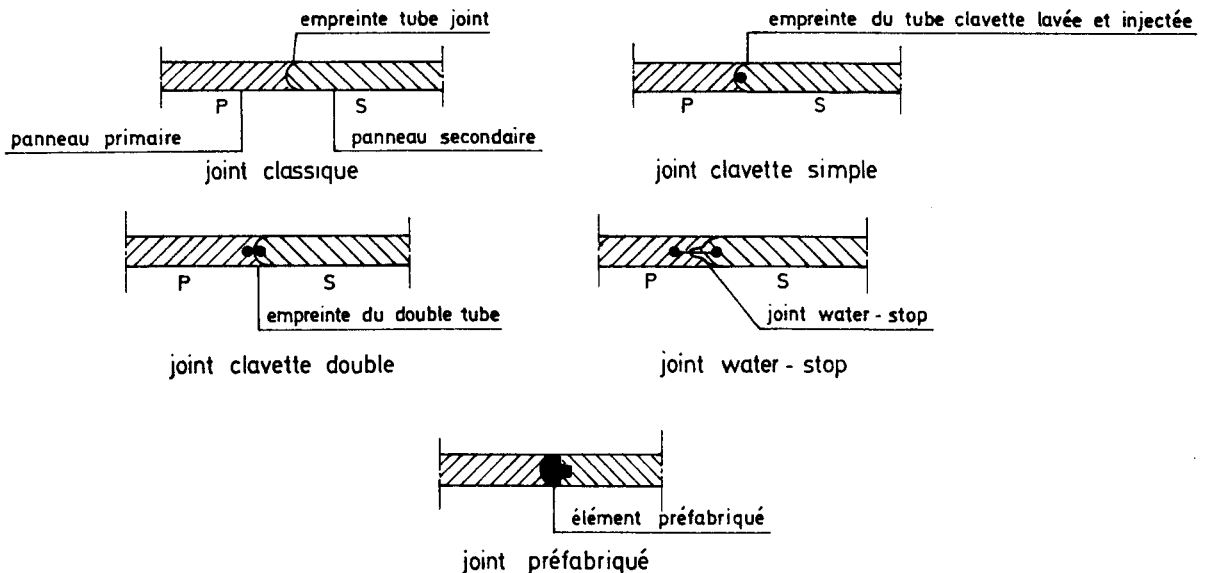
Cette solution est largement applicable aux passages souterrains qui de façon générale ne baignent dans la nappe que sur une partie des pie-droits. Elle n'a aucune influence sur le génie civil, son coût est limité au prix du produit utilisé et à sa mise en oeuvre. Le choix du produit peut être retardé jusqu'aux travaux, les hauteurs protégées et les zones protégées peuvent être modifiées en fonction des données hydrologiques fournies par le chantier.

Cette technique oblige à prévoir un revêtement de l'ouvrage ; en effet l'étanchéité ne peut pas être laissée brute : elle peut être peinte (ce qui est la solution la moins onéreuse), ou un revêtement peut être collé dessus pour la masquer.

Pour les ouvrages en palplanches seules, l'étanchéité vis-à-vis des venues d'eau latérales ne pose généralement pas de problème. Cette solution n'est utilisée que dans les terrains imperméables et peu perméables. Les débits sont donc faibles, les joints se colmatent rapidement et la solution à retenir dans ce cas est plutôt de réaliser un drainage général de l'ouvrage. Cependant dans le cas où l'on désire rendre étanches les rideaux de palplanches, c'est au niveau des joints qu'il faut intervenir :

- bonne exécution de la mise en place des palplanches : pas de dégrafage
- diminuer le nombre de joints en faisant livrer les palplanches par paires soudées
- traiter les joints après mise en place des palplanches. Les solutions sont nombreuses et surtout de prix très variables: utilisation de cendre de machefer ou de produits analogues, de graisses consistantes, soudage des palplanches, injection des joints...

c) Murs étanches dans la masse. La solution la plus courante est évidemment les parois moulées ou prefabricées. L'expérience montre que l'on peut faire grande confiance à la fonction étanchéité de ces parois. Le seul point délicat est resté très longtemps la réalisation des joints, mais depuis quelques années toutes les entreprises ont mis en oeuvre des joints de formes variables sans cesse améliorés qui peuvent être considérés à l'heure actuelle comme donnant satisfaction sur le plan technique sous réserve de bonne exécution.



Exemples de différents types de joints entre panneaux pour parois moulées classiques

Des ouvrages en B.A ont également été réalisés dans la nappe sans aucune étanchéité. Cela peut très bien se concevoir pour un ouvrage baigné par des eaux non agressives et moyennant quelques précautions au niveau de la conception et aussi de l'exécution (béton très maniable), ce qui conduit à un surdimensionnement de l'ouvrage tant au point de vue du béton que du point de vue armatures (armatures de répartition de la fissuration, taux de travail des armatures assez bas). Vis-à-vis de la structure, ce cas est identique à celui d'une étanchéité intérieure. Cependant il faut admettre qu'il peut se produire une certaine humidité dans l'ouvrage ; et les équipements devront être étudiés en conséquence.

### 13.2.2 - Etanchéité vis-à-vis des venues d'eau en radier

Si l'ouvrage peut être construit, cela signifie que les venues d'eau en fond de fouille pendant les travaux ont des ordres de grandeur compatibles avec un pompage. Cela peut être dû à une faible perméabilité naturelle des terrains, à une perméabilité réduite par injection, au coulage d'un massif de gros béton ou tout simplement au fait que la période de construction correspond à un niveau très bas de la nappe.

Pour les charges d'eau importantes et les débits faibles à pomper, la solution la plus économique est de réaliser un drainage général sous les chaussées. Dans ce cas un radier est généralement réalisé pour butonner la base des piédroits. Il ne doit pas être étanche et doit donc comporter un nombre suffisant d'ouvertures afin de pouvoir laisser passer une montée accidentelle de la nappe. S'il n'en était pas ainsi il pourrait se rompre sous l'effet des sous-pressions pour lesquelles il n'a pas été calculé.

Par contre si l'on désire réaliser un radier étanche, d'une part sa résistance devra permettre de résister aux sous-pressions et d'autre part la stabilité de l'ouvrage devra être assurée. Pour cette dernière condition, on cherche à faire participer au maximum le poids de l'ensemble de l'ouvrage en encastrant le radier sur la base des piédroits. Parfois il est nécessaire pour assurer la résistance et la stabilité du radier, de l'ancrer dans le terrain sous-jacent par des tirants (le plus généralement passifs). Cela n'est vrai que pour les fortes hauteurs d'eau pour lesquelles il y a lieu de vérifier si un drainage permanent de l'ouvrage n'est pas plus avantageux.

L'étanchéité de ce radier ne pose généralement pas de problème car la surface à étancher est horizontale, et si l'étanchéité est extérieure on peut disposer d'un surfaçage acceptable du béton de propreté. Dans ce cas l'étanchéité reçoit directement le radier. Cette étanchéité n'est soumise à aucun effort horizontal (à l'inverse d'un pont) et la seule qualité nécessaire est sa continuité. En général cette étanchéité est réalisée à l'aide de feuilles préfabriquées de même nature que celles des piédroits puisqu'elles sont continues. On peut cependant imaginer que ce ne soit pas toujours le cas, mais le problème de la continuité des 2 étanchéités ne serait pas simple et serait un facteur supplémentaire de malfaçon.

L'étanchéité du radier peut également se faire par l'intérieur. Dans ce cas les solutions à adopter sont identiques à celles des ponts (voir dossier STER) si ce n'est que les conditions sont plus favorables puisqu'aucune recherche de diminution du poids n'est à faire. L'étanchéité doit cependant bien adhérer au support et, comme pour les piédroits, la solution à retenir est un film mince adhérent au support.

De même que certains piédroits, certains radiers ne comportent aucune étanchéité. Cela peut très bien se concevoir pour des faibles hauteurs d'eau dans une nappe non agressive.

## CHAPITRE 14

### SIGNALISATION - EXPLOITATION

Les passages souterrains urbains ne diffèrent en rien du point de vue signalisation et exploitation des tunnels en zone urbaine. En effet les conditions de circulation sont plus difficiles qu'à l'air libre et de simples incidents peuvent devenir dramatiques uniquement en raison de l'exiguïté des emprises.

**14.1 - Signalisation** Dans le passage souterrain lui-même, la signalisation peut se limiter à des rappels de vitesse, interdiction de doubler... Elle est implantée au-dessus des isolateurs qui dans ce cas doivent avoir au moins 0,75 m (à vérifier en fonction du devers).

Les bifurcations dans les passages souterrains sont à éviter de même que la signalisation directionnelle pour des bifurcations en aval de l'ouvrage. L'aménagement des sorties de passage souterrain doit être tel qu'aucune information ne soit nécessaire à l'usager avant sa sortie sur le plan directionnel. De même une signalisation placée juste à la sortie de la partie couverte risque d'être totalement inefficace compte tenu de l'éblouissement des usagers au moment de leur sortie.

Par contre la signalisation aux entrées doit se faire assez longtemps avant la trémie d'accès (si elle existe); elle doit être complète et parfaitement claire pour les usagers surtout **en ce qui concerne le gabarit et les éventuelles interdictions permanentes ou temporaires d'emprunter l'ouvrage.**

Toutes les entrées de passages souterrains doivent être équipées de feux tricolores permettant d'interdire l'accès de l'ouvrage pour des raisons diverses (accidents, "bouchons", entretien, taux de CO trop élevé...). Pour certains ouvrages il peut être utile également de disposer d'un panneau à inscriptions variables indiquant la raison de la fermeture.

#### **14.2 - Exploitation**

Pour les ouvrages d'une certaine importance (100 m environ) isolés et non situés sur un axe normalement surveillé il est utile de placer certains équipements inhabituels pour une voirie ordinaire. En effet des refuges pour piétons comportant un téléphone, un extincteur et éventuellement une bouche incendie et un escalier de secours peuvent être très utiles. Leur nombre peut varier de 1 à 2 postes tous les 400 m.

Des systèmes d'alerte doivent être également prévus en fonction des équipements : panne de courant pour l'éclairage et la ventilation, augmentation du taux de CO pour les ouvrages non ventilés, véhicules hors gabarit...

Tous ces équipements nécessaires à l'exploitation doivent être répertoriés dès l'origine du projet afin que les différents services chargés de l'exploitation puissent être contactés et participer à la l'élaboration du projet.

Certains équipements comme les refuges pour piétons, escaliers de secours, conduites incendies sous pression... peuvent conditionner une partie du génie civil.

En ce domaine, chaque ouvrage est un cas particulier et il n'est pas possible de définir des dispositions standards. Le dossier-pilote des tunnels donne cependant un certain nombre d'indications.

A signaler enfin l'existence d'un problème de nettoyage périodique non seulement pour l'agrément, mais aussi pour la sécurité. Ce problème peut être résolu à l'échelle de l'agglomération par emploi de matériels spécialisés.

P.S.G.N. 77

annexe 1

JUIN 77



Les épaisseurs de l'ouvrage sont de 0,65 m pour la traverse et 0,60 m (droit) pour les piédroits. Cela a conduit à un ferrailage très dense de la dalle de couverture (160 kg d'acier/m<sup>3</sup>).

- Les trémies sont constitués de murs B.A. classiques fondés sur semelles superficielles. Pour limiter les terrassements, les semelles sont inclinées jusqu'à 4 % dans le sens longitudinal. Ces murs ont été calculés avec le programme de calcul électronique MUR 73 et ceux du côté Est tiennent compte du passage d'un convoi exceptionnel "Super E".

- Les réseaux d'assainissement existants étant insuffisants, un collecteur de 2 km a dû être réalisé. Pour éviter de réaliser ce collecteur à trop grande profondeur (6,00 m en moyenne avec des passages à 10 m), l'ouvrage a été équipé d'une station de relèvement des eaux comportant une bache de rétention de 160 m<sup>3</sup>. La bache de rétention est constituée d'un cadre fermé de 2,00 m de hauteur intérieure et 5 m de largeur intérieure implanté sous les semelles de l'ouvrage (murs des trémies et portique) sur toute la largeur des voies dénivelées, d'un local des pompes et d'une chambre de visite.

#### - Exécution

Bien que le site soit apparemment celui de la rase campagne (aucune habitation) les sujétions étaient nombreuses :

- emprises restreintes par la présence de l'aéroport et des feux de balisage de l'aéroport.

- ouvrage situé dans le cône d'envol et d'atterrissage de la piste du Bourget d'où des contraintes de hauteur pour les engins de chantier (grues) et l'obligation d'exécuter certains travaux dans des périodes de bonnes conditions météorologiques.

- Nombreux réseaux

- Fort trafic sur les deux voies concernées :

RN2 : 25 000 véhicules/jour

RN 370 : 12 000 véhicules/jour

- Signalisations provisoires rendues délicates la nuit par l'absence d'éclairage du carrefour avant réalisation de l'ouvrage.

#### Phasage des travaux

La nature des terrains a permis de réaliser des fouilles talutées.

En phase 1 l'expérience a montré que le rayon de courbure des voies au droit du local des pompes était trop faible : les véhicules lourds devaient utiliser les 2 voies pour tourner, ce qui réduisait considérablement la capacité du carrefour.

En phase 3 la RN 2 ne comportait que 3 voies. Cela a été suffisant grâce aux itinéraires de délestage placés en amont qui ont bien fonctionné. A l'origine le projet comportait une phase intermédiaire entre la 2 et la 3 qui permettait la mise en circulation d'une voie (la plus au sud) dans le passage dénivelé. Cela n'a pas été nécessaire, et la suppression de cette phase a permis de gagner 1 mois de délais.

- Description : Passage souterrain à 2 fois 2 voies de la RN 2 sous la RN 370. La longueur totale de l'ouvrage est de 432,75 m dont 2 trémies de 191,50 m (sud) et 207,25 m (nord) et d'un passage couvert de 34 m (longueurs prises sur l'axe de l'ouvrage).

Le passage couvert est un portique (PI.PO) biais à 65,6 gr (biais de la RN 2 et de la RN 370) de 16,5 m d'ouverture droite.

- Géométrie : Le profil en travers de l'ouvrage comporte par sens de circulation :

- un isolateur de droite de 0,50 m constitué d'une bordure type Autonor
- une bande dérasée de 0,50 m
- deux voies de 3,25 m

Les deux sens de circulation sont séparés par un T.P.C. revêtu de 1,50 m qui actuellement est simplement délimité par 2 lignes continues de peinture. A terme lorsque la RN 2 sera à 2 fois 2 voies (vraisemblablement avec un T.P.C. de 3 m et une file de glissières doubles métalliques à entretoise type standard : DE 4), le TPC de l'ouvrage sera équipé d'un dispositif de retenue des véhicules : soit une file de glissières doubles métalliques à entretoise type renforcé DE 2, soit un séparateur central béton coulé en continu (DBA). La première solution a l'avantage de ne pas créer de discontinuité dans le dispositif (ce qui n'est pas le cas de la deuxième solution) mais son entretien et ses réparations seront plus délicates et plus fréquentes en ce point singulier du tracé que pour le séparateur "DBA".

Le gabarit autorisé de l'ouvrage est de 4,75 m avec une hauteur libre de 4,85 m.

Tracé en plan et profil en long de l'ouvrage ont été traités comme une voie rapide urbaine ayant comme vitesse de base  $V_b$  de 80 km/h :

- le rayon en plan minimum de l'ouvrage est de 1500 m (supérieur à  $RH' = 900$  m) donc non déversé et non introduit par une courbe de raccordement de dévers et de courbure.

- en profil en long les rayons utilisés (2000 m en angle saillant et 800 m en angle rentrant) sont les minimums absolus instantanés du VRU (pour  $V_b = 80$  km/h). Ces rayons sont introduits par des raccordements progressifs (clothoïdes) dont les longueurs sont telles que les courbures moyennes soient égales aux minimums absolus isolés concernés (3000 et 1000 m respectivement). La pente maximale des trémies est de 6% sur 10,75 m (donc inférieure à 7,5 % sur 30 m).

- Nature des sols : Les sols rencontrés sont constitués par des limons jusqu'à 1,50 m de profondeur, puis par des marnes infragypseuses plus ou moins en éboulis sur 3 m d'épaisseur en moyenne, ensuite par des marnes et calcaires de Saint-Ouen jusqu'à une profondeur de 7,00 m et des blocs de calcaires durs au delà.

- Structures :

- Le passage couvert est un portique ouvert fondé sur semelles de 2,50 m de largeur droite. Le biais géométrique de l'ouvrage est de 65,6 gr et le biais mécanique de 66,6 gr (au sens du dossier PI.PO). L'ouvrage a été calculé à l'aide des programmes de calculs électroniques PI.PO et MRB pour la dalle de couverture.

- Equipements

- La station de relèvement est équipée de 3 pompes immergées de 11 KW chacune. Elles sont permutées circulairement à chaque fonctionnement, la mise en marche des pompes se faisant pour des niveaux d'eau successifs. Un système d'alimentation de secours des pompes est prévu en cas de panne du secteur.

- L'éclairage du carrefour a été réalisé à l'occasion de cet aménagement. Les candélabres ne dépassent pas 4 à 5 m de haut en raison des contraintes aériennes.

- Des rampes lumineuses de l'aéroport de Paris ont été mises en place sur les murs des trémies et sur les candélabres.

- Quantités et coût

	<u>Coût</u>	<u>Pourcentage</u>
* Travaux liés au site et à la méthode d'exécution		15,5 %
- signalisation et éclairage provisoire, démolition.....	510 000 F	
- déplacements de réseaux payés par le maître d'Oeuvre	140 000 F	
- déplacement des rampes lumineuses de l'aéroport	750 000 F	
* Génie civil des ouvrages (y compris bache de rétention)	3 050 000 F	33,5 %
* Aménagements superficiels		33%
- Chaussées, trottoirs, bute-roues, garde corps ...	2 070 000 F	
- assainissement local du carrefour	230 000 F	
- Signalisation (horizontale, verticale, feux tricolores .....	250 000 F	
- Eclairage public	800 000 F	
* Equipement local des pompes (pompes, transformateur, moyen de levage .....	200 000 F	2%
* Réalisation d'un collecteur des eaux pluviales sur 2 km	1 000 000 F	11%
* Contrôles (laboratoires, géomètres)	100 000 F	1 %
	<hr/>	
	9 100 000 F	100 %

Les coûts donnés comprennent toutes les taxes (mais non les révisions de prix).

Le chantier a duré un an; les prix ont donc pour référence des dates comprises entre Juin 75 et Juin 76 suivant la nature des travaux.

En ce qui concerne le génie civil, les prix sont de Juin 75 :

- m <sup>3</sup> de béton (350 kg/m <sup>3</sup> de CPA 350)	266 F	TTC
- m <sup>2</sup> de coffrages soignés	78 F	TTC
- Kg acier HA	3,5 F	TTC

Le coefficient d'actualisation EST 67 est donc de 2,05 (Juin 75).

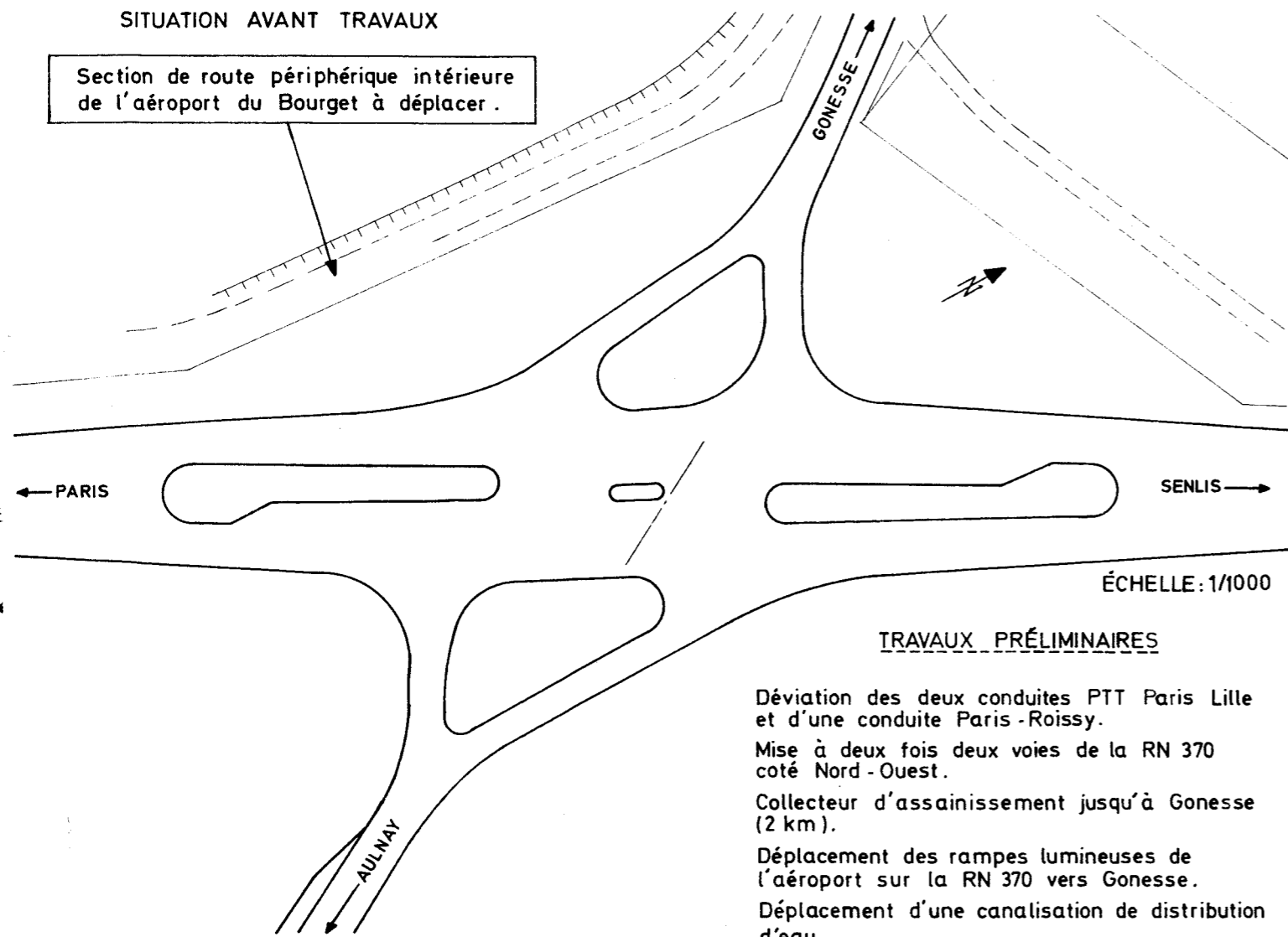
Les quantités d'acier mise en oeuvre sont environ de 105 kg/m<sup>3</sup> de béton pour le portique et la station de relevage et de 45 kg/m<sup>3</sup> pour les murs.

Il est à noter également que l'incidence de l'assainissement général de l'aménagement est d'environ 20 % du montant de l'opération.



SITUATION AVANT TRAVAUX

Section de route périphérique intérieure de l'aéroport du Bourget à déplacer.

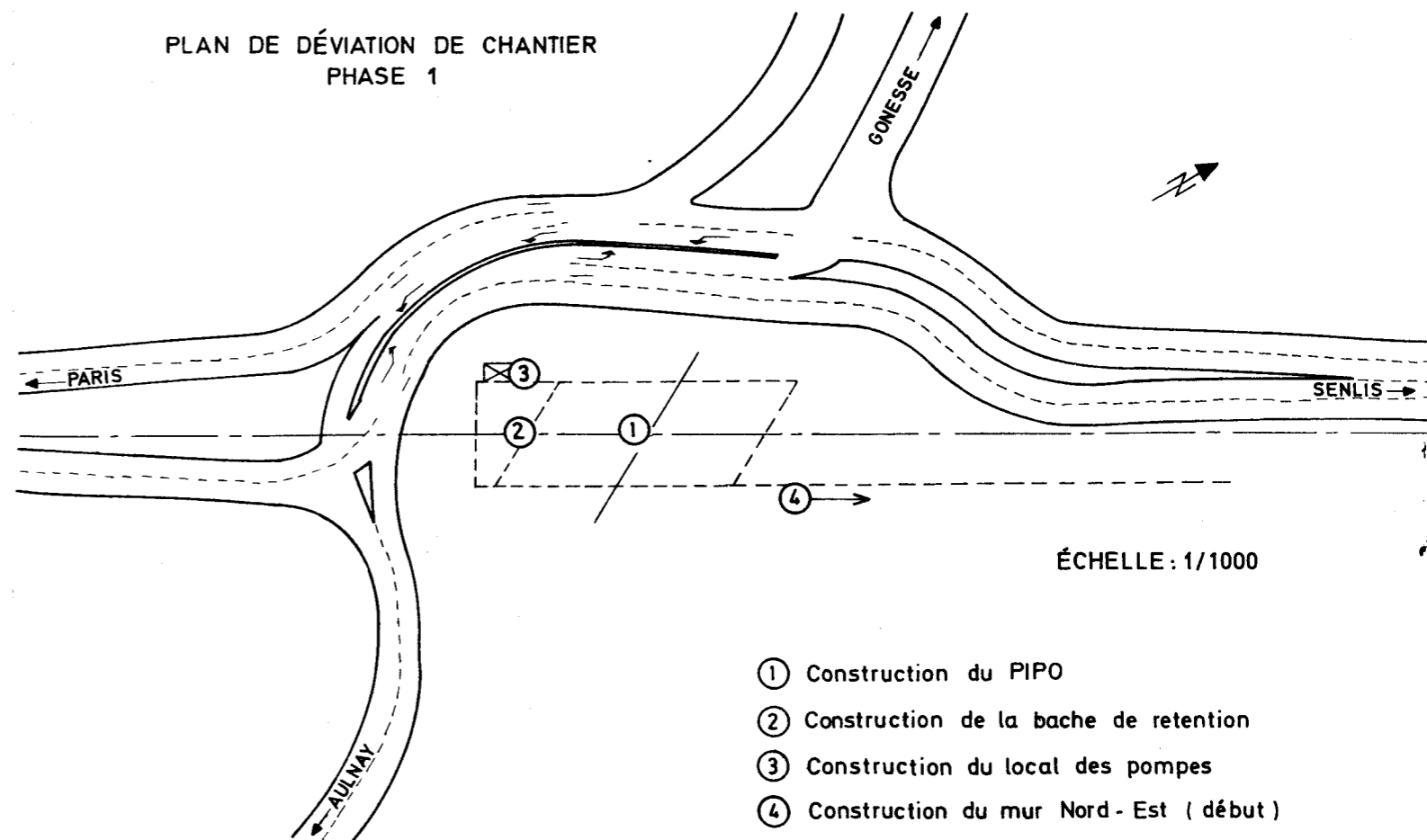


ÉCHELLE : 1/1000

TRAVAUX PRÉLIMINAIRES

- Déviations des deux conduites PTT Paris Lille et d'une conduite Paris -Roissy.
- Mise à deux fois deux voies de la RN 370 coté Nord-Ouest.
- Collecteur d'assainissement jusqu'à Gonesse (2 km).
- Déplacement des rampes lumineuses de l'aéroport sur la RN 370 vers Gonesse.
- Déplacement d'une canalisation de distribution d'eau.

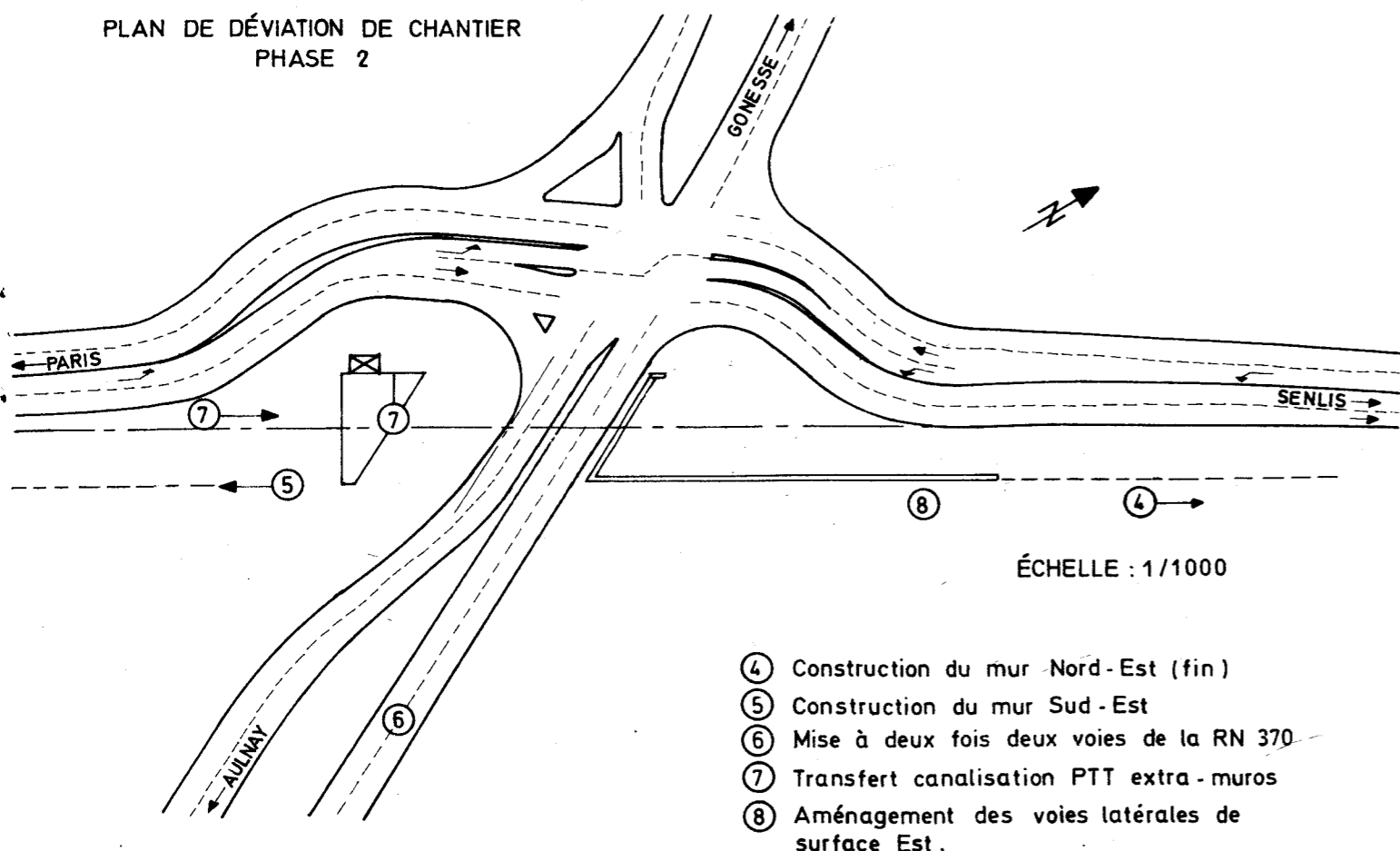
PLAN DE DÉVIATION DE CHANTIER PHASE 1



ÉCHELLE : 1/1000

- ① Construction du PIP0
- ② Construction de la bache de rétention
- ③ Construction du local des pompes
- ④ Construction du mur Nord - Est ( début )

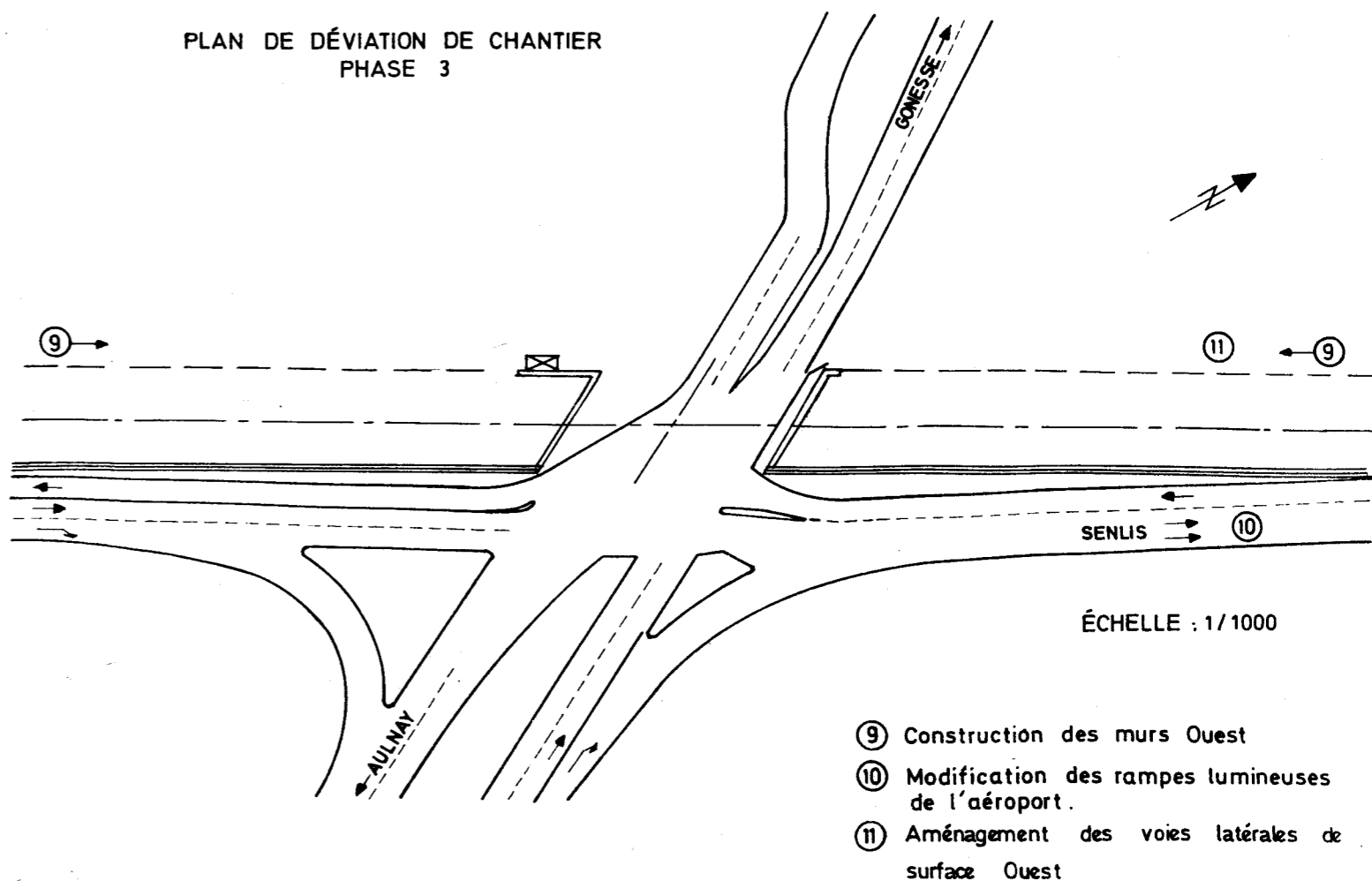
PLAN DE DÉVIATION DE CHANTIER PHASE 2



ÉCHELLE : 1/1000

- ④ Construction du mur Nord - Est ( fin )
- ⑤ Construction du mur Sud - Est
- ⑥ Mise à deux fois deux voies de la RN 370
- ⑦ Transfert canalisation PTT extra -muros
- ⑧ Aménagement des voies latérales de surface Est.

PLAN DE DÉVIATION DE CHANTIER PHASE 3



ÉCHELLE : 1/1000

- ⑨ Construction des murs Ouest
- ⑩ Modification des rampes lumineuses de l'aéroport.
- ⑪ Aménagement des voies latérales de surface Ouest

**P.S.G.N. 77**

annexe 2

TRANCHÉE COUVERTE de Boulogne  
Jonction A13 Bd Périphérique  
Ouvrage en parois moulées préfabriquées

- Description : ouvrage de 1100 m de longueur totale comportant :

- une tranchée couverte de 820 m de longueur terminée à l'ouest par une zone de paralumes de 80 m (tranchée ouverte) et comportant 2 tubes de circulation identiques

- un remblai d'accès de 350 m conduisant au pont sur la Seine

- Géométrie : gabarit 4,75 m - hauteur libre 5,50 m = 4,75 + 0,10 de revanche + 0,65 m pour feux tricolores, caméras de télévision...

Tracé en plan : courbe en S à grand rayon  $R = 1500$  m

Profil en long : trémie pente maxi: 2,7 %, en partie couverte pente maxi: 0,2 %

Profil en travers : chaque tube comprend de l'extérieur vers l'intérieur :

- une galerie de ventilation de 1,70 m de largeur hors tout (section intérieure 1,5 x 3,5) surmontée d'une galerie d'éclairage de 2,00 m de hauteur intérieure.

- un isolateur de 0,60 m

- une bande dérasée de 1,70 m

- quatre voies de 3,40 m

- un isolateur de gauche de 0,70 m

- une galerie de ventilation identique à celle de droite

- appui central de 0,40 m

Dévers uniforme de 2 % vers l'extérieur sur toute la longueur de l'ouvrage.

- Géologie : Les terrains rencontrés comprennent essentiellement

- des remblais
- des alluvions anciennes
- la craie altérée
- la craie saine

Le point bas de la chaussée est à la cote 26,80 NGF partie supérieure de la craie altérée (caractéristiques insuffisantes pour des fondations superficielles).

La nappe est supposée varier de 26 à 30,50 NGF.

- Structure :

- Les piédroits sont réalisés en section courante par des parois préfabriquées continues de 0,40 m d'épaisseur (tranchée de 0,60 m). Les éléments préfabriqués ont une largeur de 1,80 m et une hauteur moyenne de 12 m.

Le niveau de fondation de ces parois latérales est la partie inférieure de la craie altérée. Les charges verticales sont transmises des éléments préfabriqués au sol de fondation par l'intermédiaire du coulis d'argile-ciment après prise de celui-ci.

- L'appui central est réalisé de façon identique si ce n'est qu'il est discontinu (entre-axes variant de 2,20 m à 4,00 m en fonction des efforts verticaux). La hauteur moyenne des éléments préfabriqués est de 9 m. Le niveau de fondation atteint par le coulis d'argile ciment sur lequel repose les éléments préfabriqués est la craie saine.

- Deux écrans transversaux en coulis d'argile ciment de 0,60 m d'épaisseur assurent aux extrémités la fermeture de l'écran périphérique jusqu'à la cote 30,50 NGF.

- Le radier en béton armé a une épaisseur moyenne de 1 m. Il est appuyé sur les piédroits latéraux et sur l'appui central par l'intermédiaire de corbeaux. Cela permet de faire participer l'ensemble de la structure (parois moulées, traverse supérieure et ses remblais) à la stabilité du radier vis-à-vis des sous-pressions hydrostatiques (5 m de hauteur d'eau maximale). Ce radier comporte une étanchéité extérieure par feuilles préfabriquées recouvertes d'une chape de protection. Des relevés d'étanchéité ont été faits contre les parois moulées.

- La couverture est réalisée par une dalle en béton précontraint de 0,80 à 1,25 m d'épaisseur suivant les charges à porter (chaussées routières ou remblais pour plantations). Elle est continue sur l'appui central (2 travées symétriques de 20,30 m de portée unitaire), et repose sur les trois lignes d'appui par l'intermédiaire d'appareils d'appui en élastomère fretté.

- Les parois préfabriquées latérales sont surmontées d'une ligne qui reçoit d'une part les appareils d'appui du tablier (néoprènes) et permet également le butonnage des parois moulées sur le tablier (réalisation d'une articulation). L'étanchéité est assurée par un joint type waterstop entre le tablier et la lierne et un revêtement hydrocarboné protégé par un enduit grillagé (voir détail A). Cette étanchéité est remontée jusqu'au tablier et assure la continuité avec l'étanchéité de celui-ci qui est constituée d'une couche d'asphalte pur sur papier kraft surmontée d'une couche d'asphalte sablé et d'une chape en ciment (voir dossier STER 74 - sous-dossier E chapitre 2 § 4.7).

- Du point de vue génie civil, l'ouvrage comporte à ses deux extrémités deux usines de ventilation et deux chambres d'accumulation des eaux avec station de pompage.

#### - Méthodes d'exécution

- pré-terrassement jusqu'à environ 1 m sous la sous-face du tablier à construire (au droit seulement des parois à réaliser).

- réalisation des parois moulées préfabriquées latérales et des parois d'extrémité.

- réalisation de l'appui central.

- réalisation des liernes.

- exécution de la dalle de couverture. Le coffrage étant posé sur un béton de réglage coulé à même le sol.

- exécution des terrassements sous la dalle de couverture.



- Réalisation de l'étanchéité et des corbeaux d'appui du radier
- Exécution du radier

La technique des parois préfabriquées a été utilisée pour plusieurs raisons (par rapport aux parois moulées classiques):

- diminution des nuisances du chantier. Cela était important dans le cas précis où le chantier traversait un hôpital. Cette méthode d'exécution supprime le bétonnage et le recépage.

- les parois devaient avoir des hauteurs importantes non pas pour la résistance à la flexion mais uniquement pour la descente des charges verticales (favorable au coulis d'argile ciment).

- nécessité de prévoir des armatures en attente dans les parois moulées pour encastrier les corbeaux d'appui du radier. Les panneaux préfabriqués permettent de réaliser le positionnement avec une grande précision (dans le panneau lui-même grâce à la préfabrication et dans le sol grâce à la possibilité de bien implanter les panneaux eux-mêmes dans la tranchée).

- meilleure étanchéité d'une part des panneaux eux-mêmes qui préfabriqués peuvent être réalisés avec un béton de très bonne qualité et d'autre part des joints si le coulis d'**argile ciment joue bien son rôle** (à l'époque les joints type **waterstop** entre éléments de parois moulées préfabriquées n'étaient pas encore utilisés)

- cette technique permettait d'obtenir directement sans ragréage, ni revêtement les parois des galeries de ventilation qui devaient présenter une bonne planéité pour ne pas augmenter les pertes de charge.

#### - Equipements

- Les 2 usines de ventilation chacune équipée de 4 ventilateurs, un par galerie de ventilation, permettent un débit de 1000 m<sup>3</sup>/s ce qui correspond à un débit de 170 m<sup>3</sup>/s/km de voie. Chaque usine assure la ventilation d'un demi-ouvrage. Divers régimes de fonctionnement permettent de doser le débit d'air frais insufflé en fonction du débit de la circulation, de la teneur en CO et de la transparence de l'air dans l'ouvrage.

- les appareils d'éclairages placés à l'intérieur de la galerie permettent d'obtenir 50 lux la nuit et de jour 270 lux en section courante avec un renforcement maximum de 3 000 lux à l'entrée. Les sources utilisées sont des tubes fluorescents et des lampes sodium basse pression.

Les galeries d'éclairages sont fermées côté circulation par un vitrage continu en verre armé. L'entretien et le nettoyage sont faits indépendamment de la circulation par les galeries qui sont accessibles à partir des usines de ventilation.

- les eaux des trémies d'accès qui n'ont pas pu être récupérées gravitairement par les réseaux existants, les eaux de lavage, de condensation et d'infiltrations éventuelles sont récupérées par des caniveaux latéraux et acheminées vers les deux chambres d'accumulation réalisées sous le radier. Les capacités de stockage sont de 500 m<sup>3</sup> pour la chambre Ouest et 1000 m<sup>3</sup> pour la chambre Est. Cela représente le volume total d'une pluie d'une heure de fréquence décennale.

- la signalisation dans l'ouvrage comporte un balisage tricolore de chaque voie, des rappels de limitation de vitesse et de la signalisation directionnelle. Des postes téléphoniques sont installés tous les 250 m environ. Chaque tube comporte une colonne sèche en cas d'incendie. Le contrôle de la circulation est fait par un circuit de télévision.

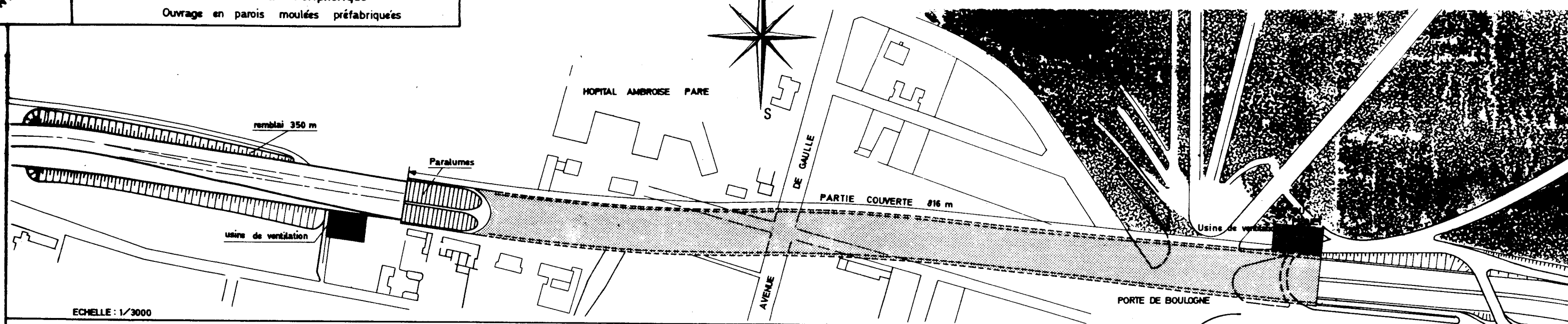
Remarques :

- La technique des parois moulées préfabriquées utilise un coulis d'argile ciment à prise différée. En fonction de la nature du retardateur et de son dosage, la prise peut être différée de 1 à 4 jours en fonction des besoins du chantier.

- les dimensions des éléments sont essentiellement conditionnées par les problèmes de transport. La hauteur et l'épaisseur des éléments sont fixées par des conditions de stabilité et de résistance. Donc la largeur est fixée de telle sorte que le poids de chaque élément soit compatible avec les engins de transport et de manutention. (les largeurs les plus couramment utilisées varient de 1,5 à 2,5 m).

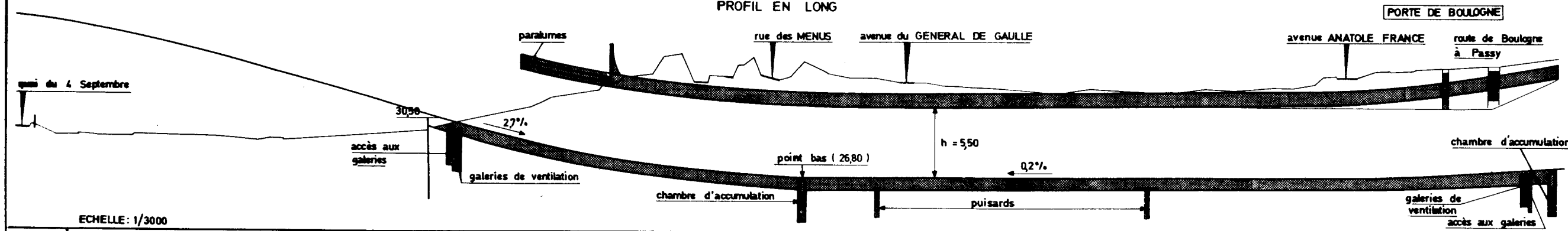
TRANCHEE COUVERTE de Boulogne  
 Jonction A 13 B<sup>d</sup> Périphérique  
 Ouvrage en parois moulées préfabriquées

TRACE EN PLAN



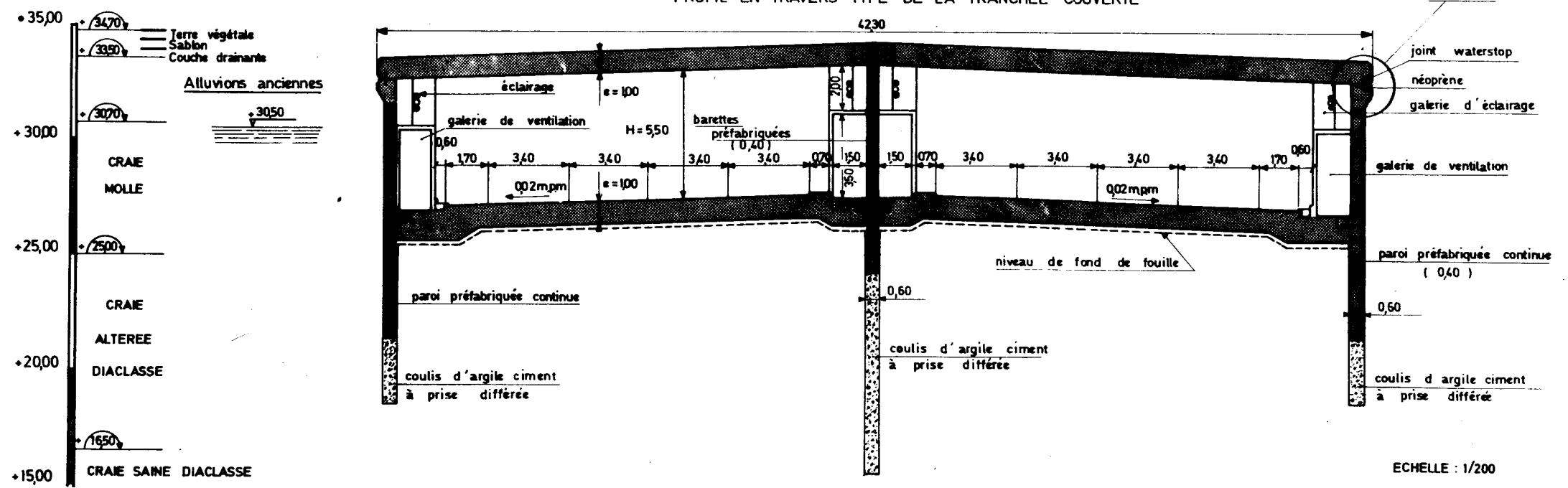
ECHELLE: 1/3000

PROFIL EN LONG



ECHELLE: 1/3000

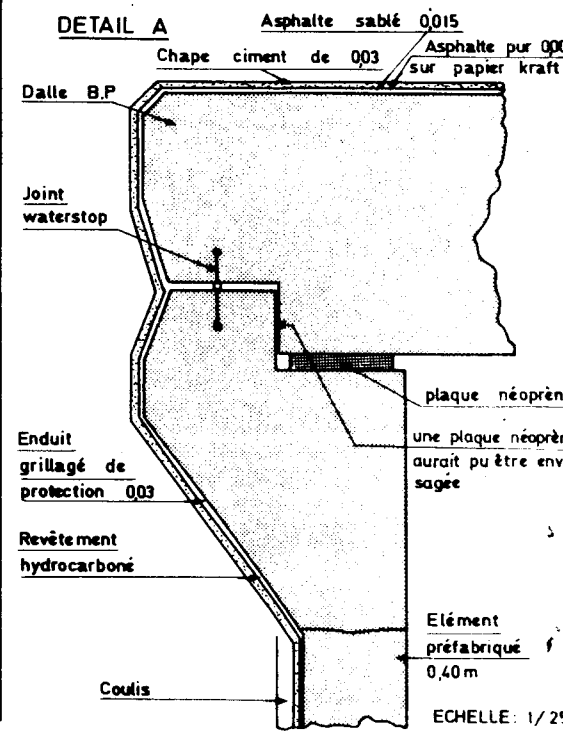
PROFIL EN TRAVERS TYPE DE LA TRANCHEE COUVERTE



ECHELLE: 1/200

DETAIL A

DETAIL A



ECHELLE: 1/25

P.S.G.N. 77

annexe 3

"TREMIE" Garibaldi à Lyon  
Structure B.A associée à des rideaux de palplanches

- Description : Aménagement dénivelé à sens unique de 600m de longueur comportant :

- une trémie d'accès de 112 m de longueur
- un passage couvert de 204 m
- une tranchée ouverte de 138 m
- un passage couvert de 25 m
- une trémie de sortie de 127 m

outre les raccordements avec la voirie locale aux 2 extrémités, il est prévu une sortie et une entrée latérales branchées sur la rue Bonnel.

- Géométrie :

Gabarit dégagé 4,30 m

Tracé en plan rectiligne

Profil en long : R mini 700 m, pente maxi 7,5 %


Profil en travers : { 3 voies de 3,00 m  
                          { 2 isolateurs de 0,50 m

Sortie et accès rue Bonnel 2 voies de 3,00 m et 2 isolateurs de 0,50 m


- Nature du sous-sol : en couches successives : remblais avec poches d'argile, limons et sables limoneux, sables et graviers, sable fin.


Le niveau de la nappe est à la cote 163 en moyenne et elle peut s'élever jusqu'à la cote 166. Le point bas de la chaussée de l'ouvrage est à la cote 161,64.

- Structure :

L'ouvrage est constitué d'un  en béton armé coulé à l'intérieur de 2 rideaux de palplanches en Larsen II, surmonté d'un tablier pour les parties couvertes.

Un béton de lestage et d'étanchéité durant le chantier, coulé sous l'eau, est dimensionné pour résister aux sous-pressions provoquées par une montée de la nappe jusqu'à la cote 163 NGF (cote retenue pour la protection du chantier).

Le béton de lestage est surmonté d'un radier qui lui est rendu solidaire par des armatures de liaison. Le radier est également solidaire des palplanches par l'intermédiaire de connecteurs soudés. Ainsi en phase définitive l'ensemble de la structure (béton de lestage, palplanches,  et couverture éventuelle) équilibre les sous-pressions provoquées par la nappe (cote de protection 166 NGF).


La couverture est réalisée par une dalle B.A. en travée indépendante simplement appuyée sur les têtes des murs du 

L'étanchéité de l'ouvrage est du type intérieur, à base de résine polyuréthane.

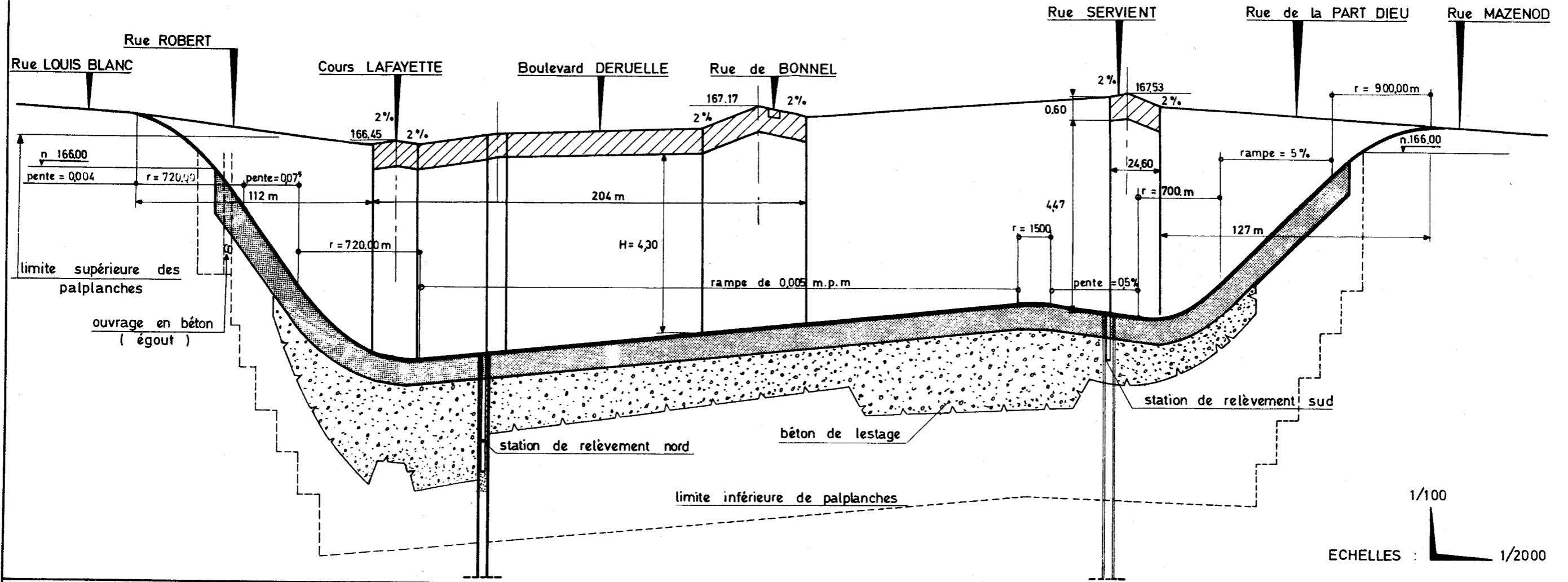
L'ouvrage comporte également 2 stations de relèvement des eaux situées approximativement aux points bas de l'ouvrage.

- Exécution :

Le chantier étant relativement long (plus de 600 m), il a été traité de façon linéaire avec des ateliers qui se suivaient :

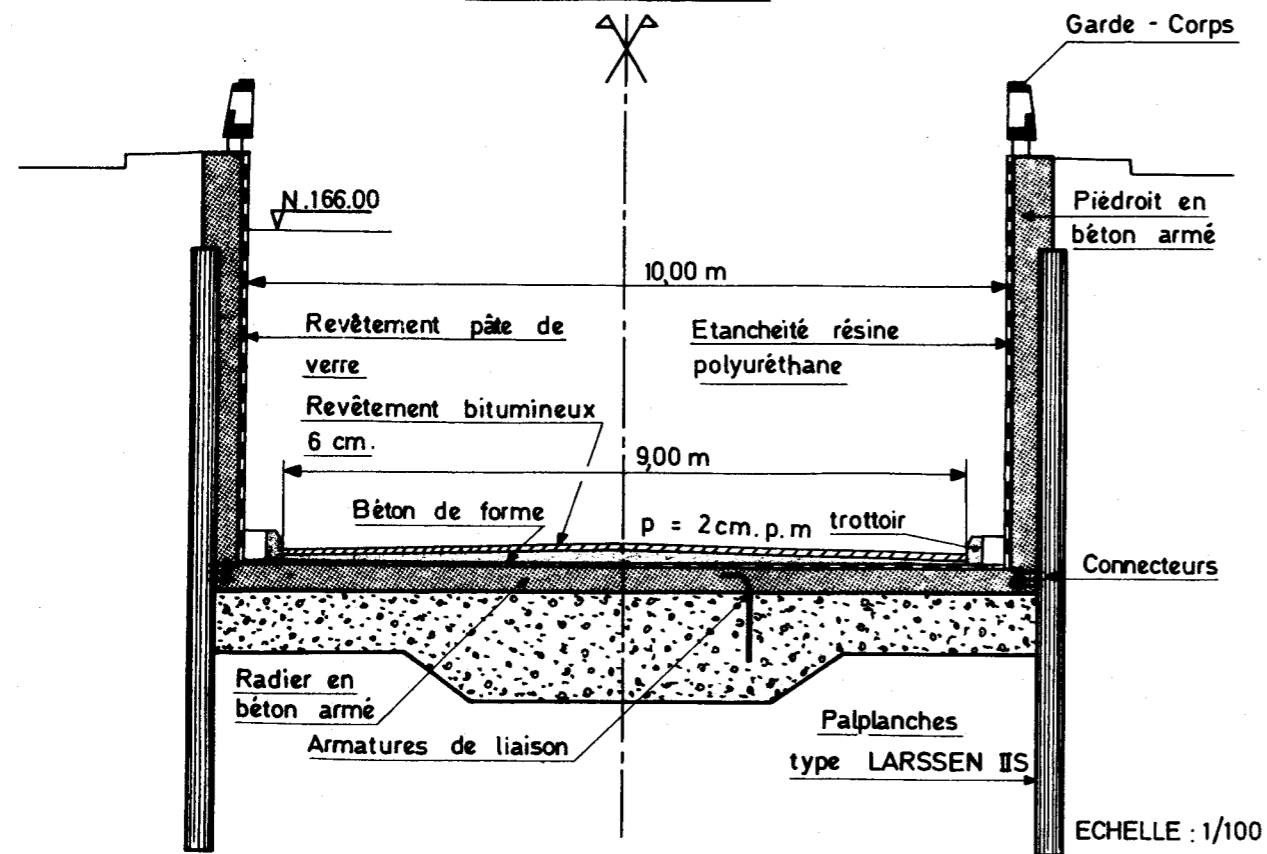
- décapage et pré-terrassement sur 2,00 m d'épaisseur environ
- mise en place des palplanches par vibrofonçage
- mise en place des rideaux transversaux de palplanches servant à séparer les ateliers mis hors d'eau par le béton de lestage, de ceux qui ne le sont pas encore
- terrassement à sec jusqu'à la cote 163
- butonnage provisoire en tête des palplanches
- terrassement dans l'eau jusqu'à la cote finale
- mise en place sous l'eau du béton de lestage et enlèvement des butons provisoires après prise. Le béton de lestage sert alors de butonnage de pied des palplanches.
- pompage
- Soudage des connecteurs de liaison palplanches-radier et scellement des barres d'ancrage du radier dans le béton de lestage.
- réalisation du  en béton armé et de la couverture éventuelle
- réalisation de l'étanchéité.
- réalisation des trottoirs, chaussées, du revêtement intérieur (carreaux de pâte de verre) de l'éclairage, de la signalisation et des garde-corps (éléments préfabriqués en béton armé).

Remarques : La solution retenue pour étancher la fouille durant les travaux était avantageuse dans ce cas puisqu'une cote de protection durant le chantier inférieure de 3,00 m à la cote maximale de la nappe pouvait être valablement retenue. Si durant les travaux (avant réalisation du radier) la cote de la nappe s'était élevée au-delà de 163 NGF, il aurait été nécessaire de laisser noyer le chantier. La seule incidence aurait été une augmentation des délais de terrassements.



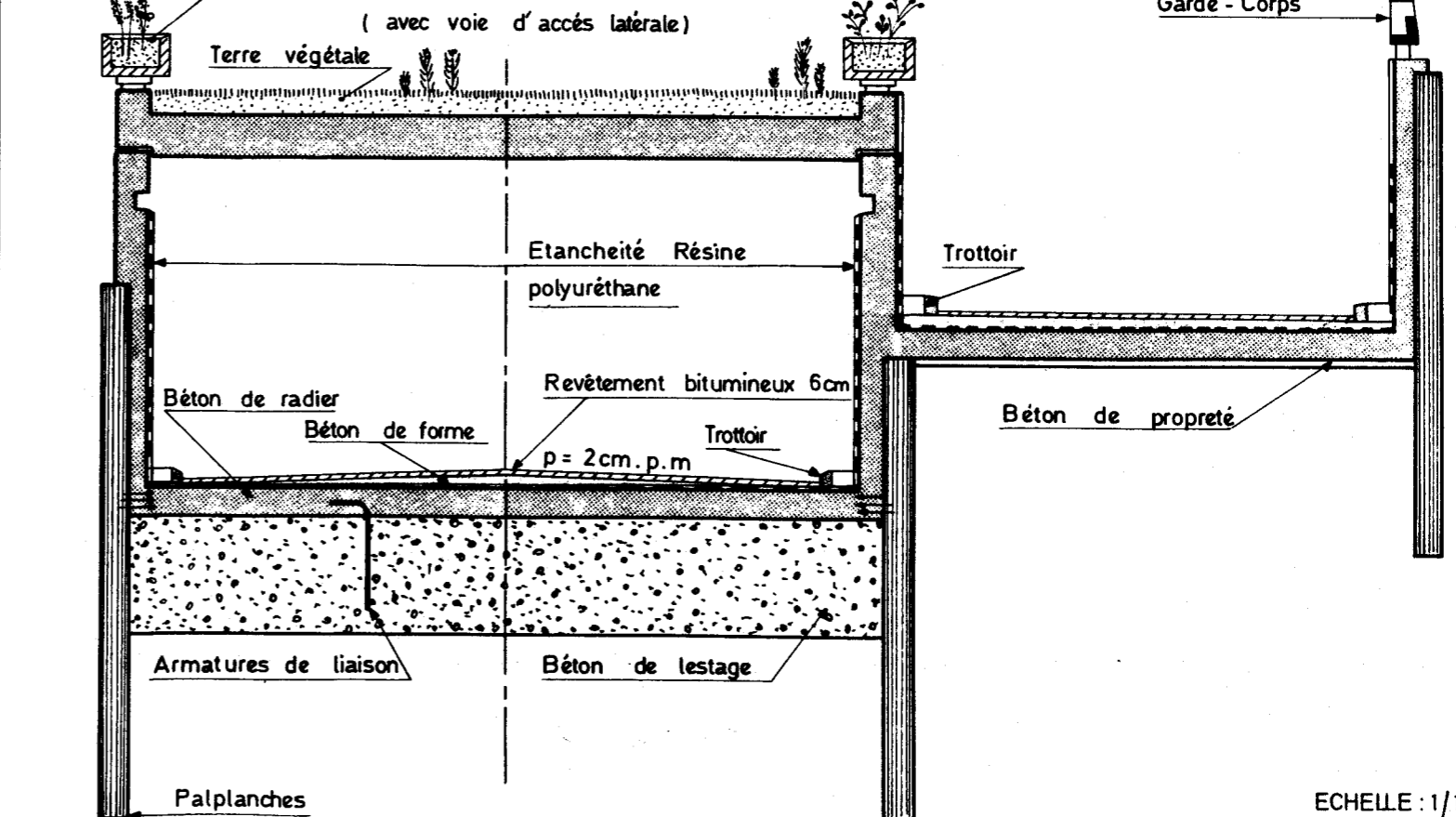
1/100  
 ECHELLES : 1/2000

TRANCHEE OUVERTE



ECHELLE : 1/100

SECTION EN PARTIE COUVERTE



ECHELLE : 1/100

P.S.G.N. 77

annexe 4



- Description : passage souterrain bidirectionnel à 2 voies, de gabarit réduit; longueur totale de l'ouvrage 230 m dont 82 m en partie couverte.

- Géométrie :

Gabarit 2,60 m

Hauteur libre variable de 2,75 m à 3,00 m en raison du dévers

Tracé en plan : courbure R = 330 m en partie couverte, trémies rectilignes

Dévers variable de 2,5 à 4 %

Profil en travers 2 voies de 2,75 m

2 bandes de guidage latérales et une bande séparatrice de 0,40 m

- Nature du sous-sol :

Remblais sablo-graveleux reposant sur des alluvions grossières  
L'ouvrage n'est pas concerné par la nappe.

- Structure :

La partie couverte est un portique ouvert fondé sur semelles (PI.PO) Compte tenu de la méthode d'exécution les semelles ne comportent pas de talon côté terres. De plus afin de limiter la hauteur des terrassements elles n'ont pas de fiche, la chaussée repose directement sur elles. Cependant afin de buter l'avant des semelles, un blocage en béton a été réalisé sur toute la largeur de l'ouvrage entre les semelles (radier non armé). Ce béton sert également de fondation à la chaussée.

Les trémies sont constituées de murs en L pour lesquels un blocage en béton a été également réalisé.

L'ouvrage comporte une station de relèvement des eaux.

Le portique a été calculé à l'aide du programme de calcul électronique PIPO. Pour tenir compte de la paroi berlinoise laissée en place un coefficient de poussée des terres unique a été pris égal à 0,22 (fixé au C.P.S.)

- Exécution

Compte tenu des impératifs de circulation (3 voies en permanence le long des trémies et impossibilité d'interrompre les traversées N.S. de la place de la République), il était exclu de pouvoir réaliser des fouilles talutées, et la construction de la partie couverte devait être faite en deux phases.

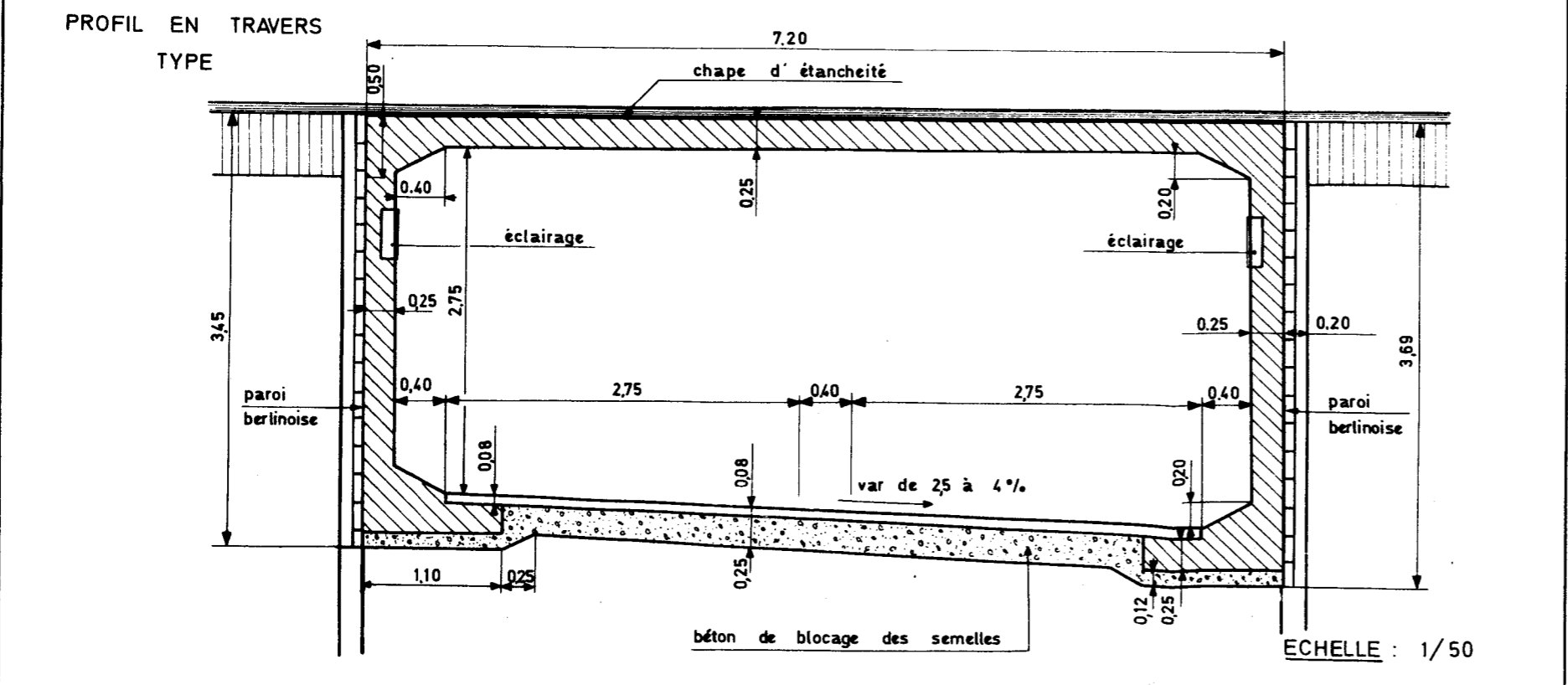
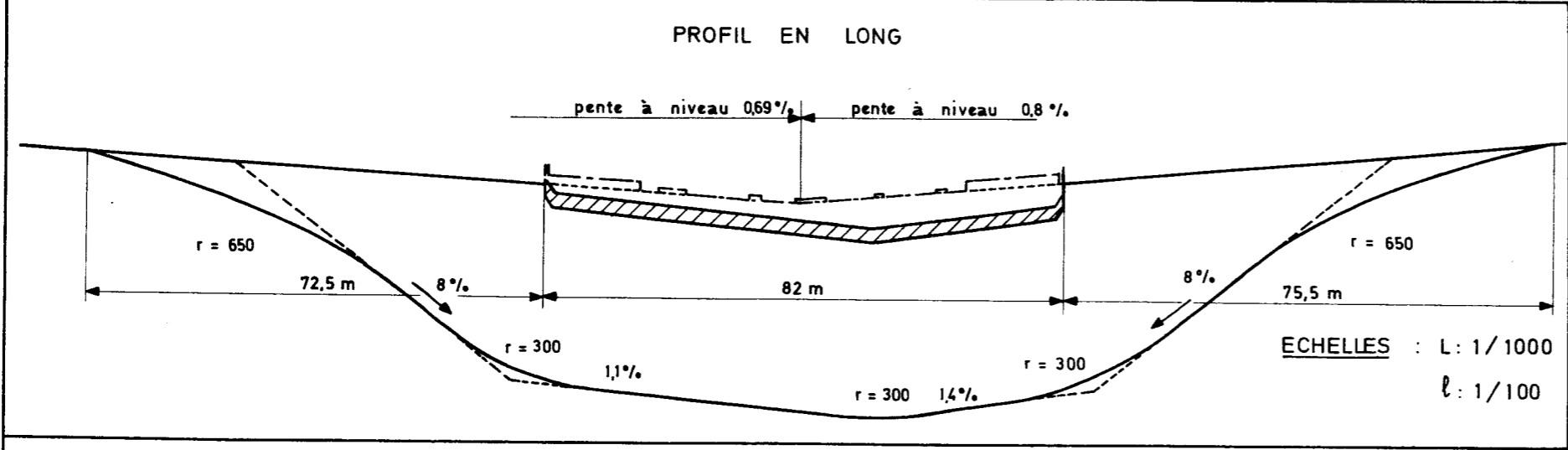
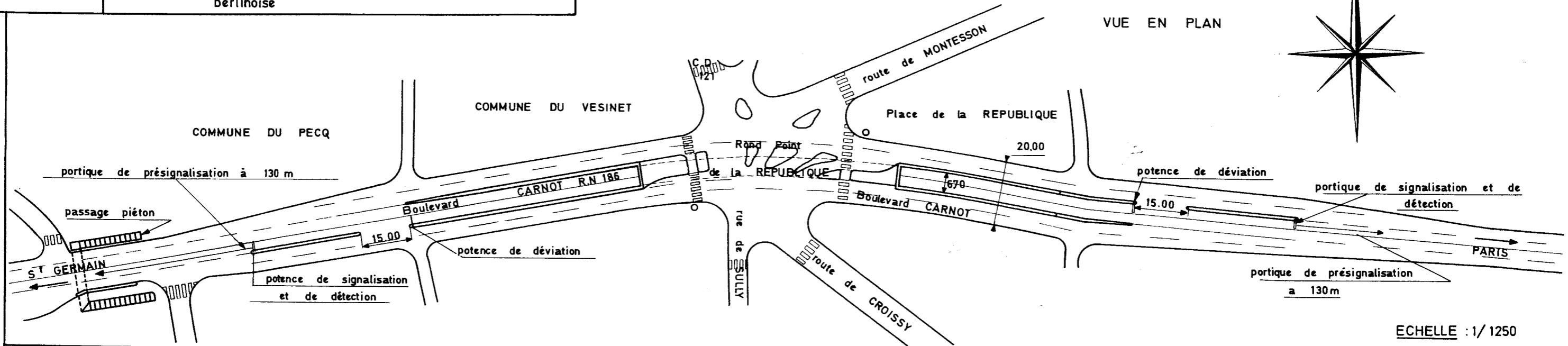
L'ouvrage a donc été coupé approximativement en deux parties identiques réalisées l'une après l'autre.

Trémies et parties couvertes ont été réalisées à l'intérieur de parois berlinoises (hauteur maximale de soutènement 4,30 m) qui permettaient de laisser la circulation de surface s'effectuer à 0,50 m de la fouille. Les profilés ont été mis en place dans un forage et scellés à la base dans du béton.

Remarques :

- L'aménagement est complété par un passage piétons à l'ouest du PSGR réalisé par éléments préfabriqués mis en place dans des fouilles talutées (2 phases).

- Cette technique de soutènement des fouilles a permis de maintenir en permanence sur la RN 186 le nombre de voies nécessaire à la circulation.



P.S.G.N. 77

annexe 5

JUIN 77

- Description : ouvrage souterrain à gabarit réduit, bidirectionnel, à 2 voies dans chaque sens. Longueur totale 179 m comprenant 2 trémies de 72 et 74 m et une partie couverte de 33 m.

- Géométrie :

Gabarit 2,60 - Hauteur libre 2,75 m (Gabarit normalisé)

Tracé en plan : Trémies rectilignes - Passage couvert courbe (R=240 m)

Profil en long : Rayon de raccordement en point haut de 650 m, en point bas de 300 m, déclivité maxi 8 %

Profil en travers : 11,9 m entre nus de piédroit : soit 4 voies de 2,70 m - 2 isolateurs de 0,40 m et un séparateur central de 0,30 m

- Nature du sous-sol

limon et argile de qualité médiocre

la nappe phréatique se situe à environ 1 m sous le T.N.

- Structure

- Piédroits et murs de trémies sont constitués de palplanches (rideau simple)

Larsen IV S pour le passage couvert et les plus grandes hauteurs de soutènement des trémies (17,5 à 20 m de part et d'autre du passage couvert).

Larsen II n sur les 12,80 m suivants des trémies

Larsen SL2 ou SLI pour le reste des trémies

- L'ouvrage est fermé à ses extrémités par 2 rideaux de palplanches SL1

- Le soutènement sur les 26 premiers mètres des trémies est réalisé par de petits murs en B.A.

- Le drainage du fond de fouille est assuré par 2 drains longitudinaux ( $\emptyset$  90) reliés tous les 30 m à un collecteur général ( $\emptyset$ 250 à  $\emptyset$ 400), et placés dans une couche de matériaux drainants (schistes rouges).

- Cette couche drainante est surmontée d'un béton de propreté et d'un radier de 0,25 m. Ce radier sert de butonnage du pied des piédroits (indispensable pour la résistance et la stabilité des rideaux de palplanches).

- L'assainissement de l'ouvrage est réalisé par des caniveaux à fente placés contre les isolateurs reliés au collecteur général dans les zones où les chaussées dénivelées ont une faible pente longitudinale (partie couverte). Des bouches d'égouts récupèrent les eaux des trémies aux entrées de la partie couverte.

- Les palplanches sont coiffées d'une lierne chargée de recevoir le tablier de la partie couverte, et le garde-corps (type S7) et un bute-roue pour les trémies.

- La dalle de couverture est constituée de 128 poutres à fils adhérents, préfabriquées de 40 cm de hauteur et 20 cm de largeur. Les poutres reposent par l'intermédiaire d'appuis néoprène sur la lierne. Un hourdis est ensuite coulé en place. Le coffrage entre les poutres est constitué par des plaques d'éternit.

- Le collecteur général de l'ouvrage chargé de récupérer les eaux de drainage et les eaux de ruissellement est relié gravitairement à un egout ovoïde situé 300 m à l'ouest de l'ouvrage.

- Les palplanches sont recouvertes d'un bardage métallique peint dans les trémies et le passage couvert.

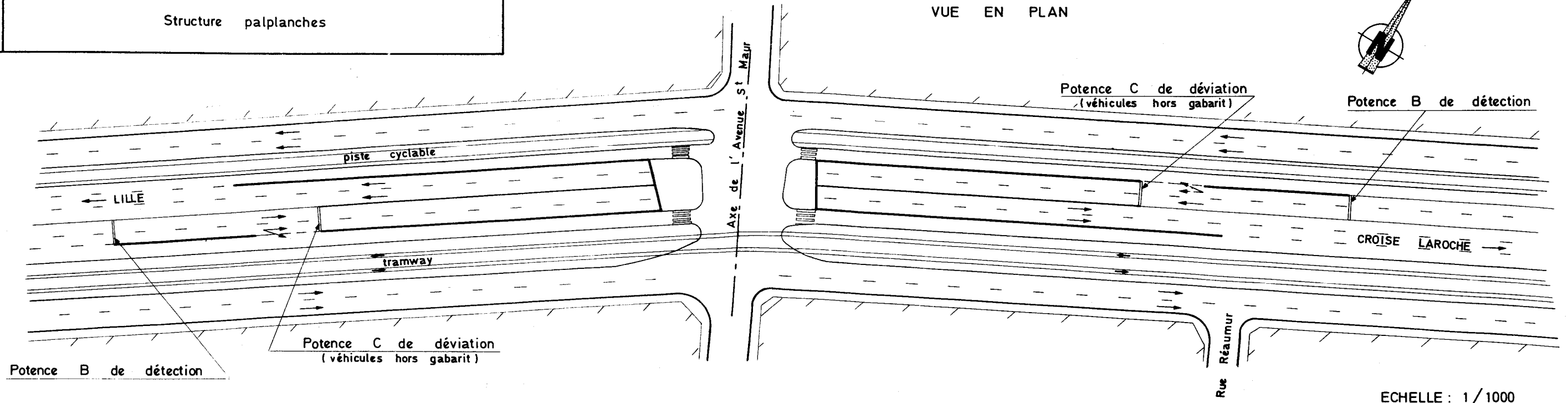
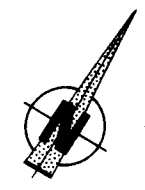
#### - Exécution

- mise en place des palplanches.
- pré-terrassement sur 1 ou 2 m.
- recépage des palplanches - coulage de la lierne.
- butonnage provisoire des palplanches dans les trémies
- mise en place des poutres préfabriquées (qui servent également de butonnage des palplanches en tête pour la partie couverte).
- coulage du hourdis.
- terrassement général - réalisation du drainage et de l'assainissement.
- coulage du radier (celui-ci réalisant le butonnage des palplanches dans les trémies, on peut ensuite enlever les butons).
- mise en place du bardage.
- mise en place des équipements : signalisation, garde-corps, éclairage...

#### Remarques :

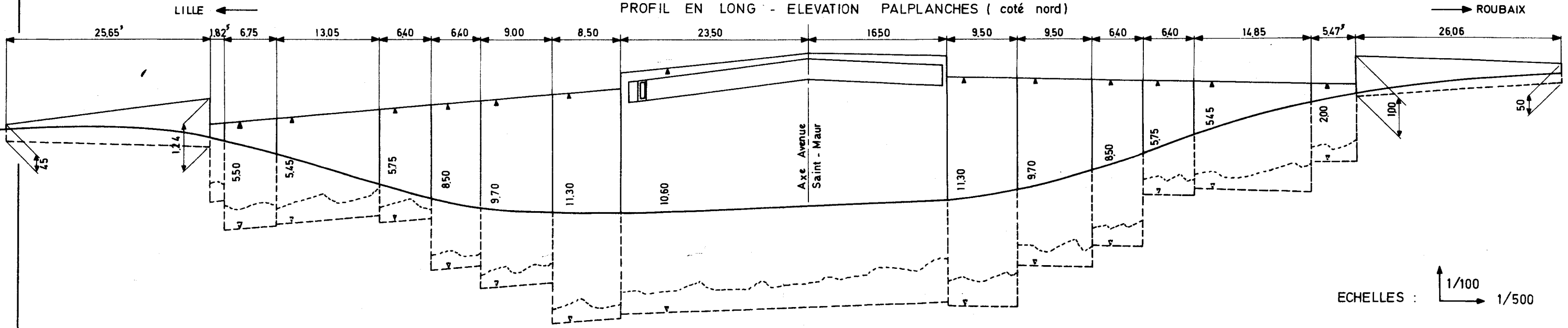
- Le terrain étant très peu perméable, mais gorgé d'eau, la technique convient parfaitement. Aucune venue d'eau par les joints (non traités) des palplanches n'a été constatée.

- La mise en place des poutres préfabriquées a été rendue difficile par la présence des murs garde-grève de la lierne (problèmes de tolérance des produits préfabriqués, d'implantation des deux rideaux, de mouvement des rideaux). Pour d'autres ouvrages construits suivant cette technique, l'un au moins des murs garde-grève a été réalisé après mise en place du tablier.



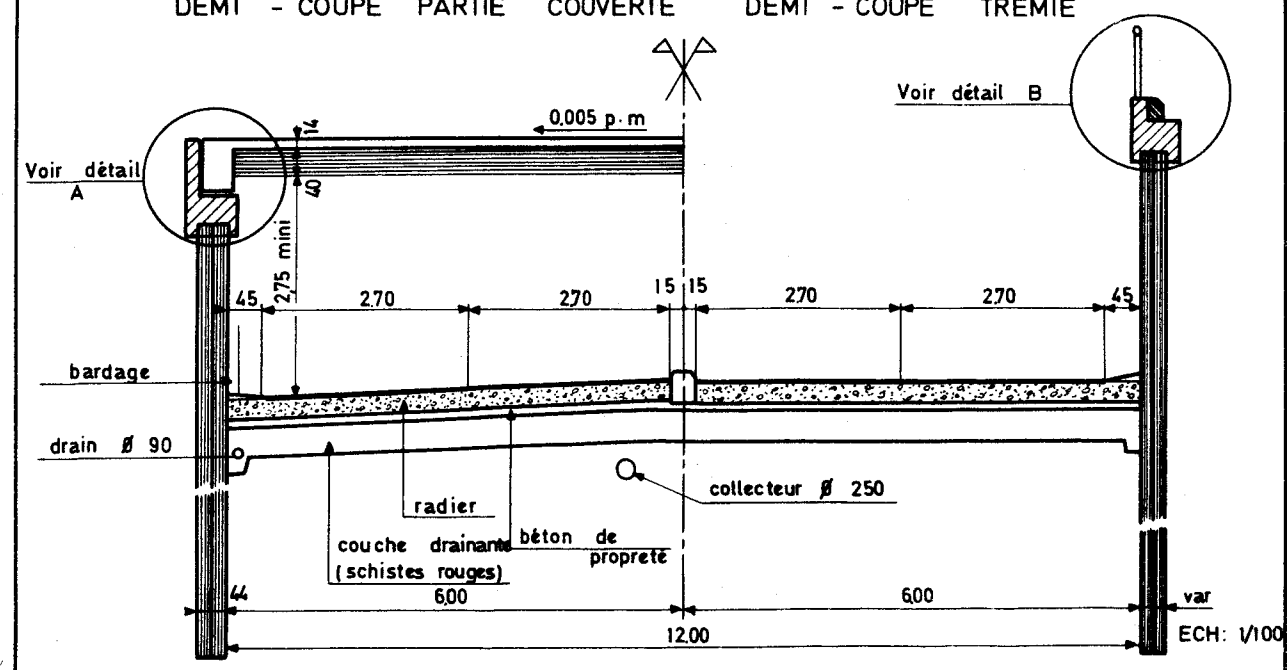
ECHELLE : 1/1000

PROFIL EN LONG - ELEVATION PALPLANCHES (coté nord)



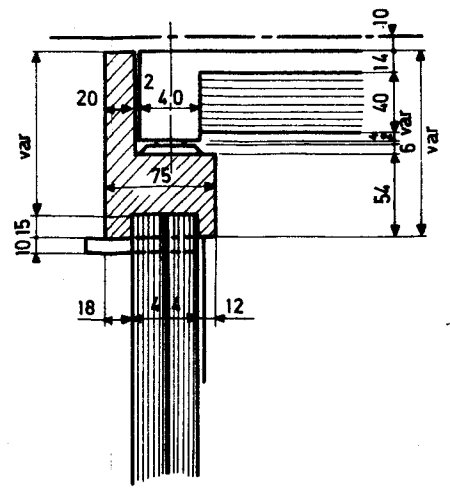
ECHELLES : 1/100 1/500

DEMI - COUPE PARTIE COUVERTE DEMI - COUPE TREMIE



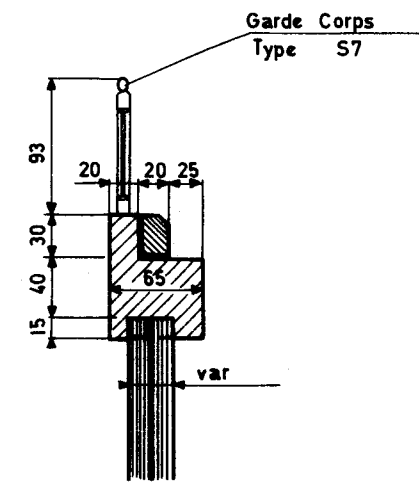
ECH: 1/100

DETAIL A

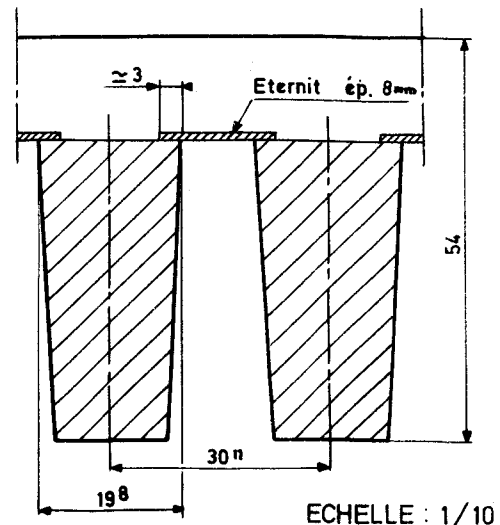


ECHELLE : 1/50

DETAIL B



COUPE SUR POUTRES



ECHELLE : 1/10