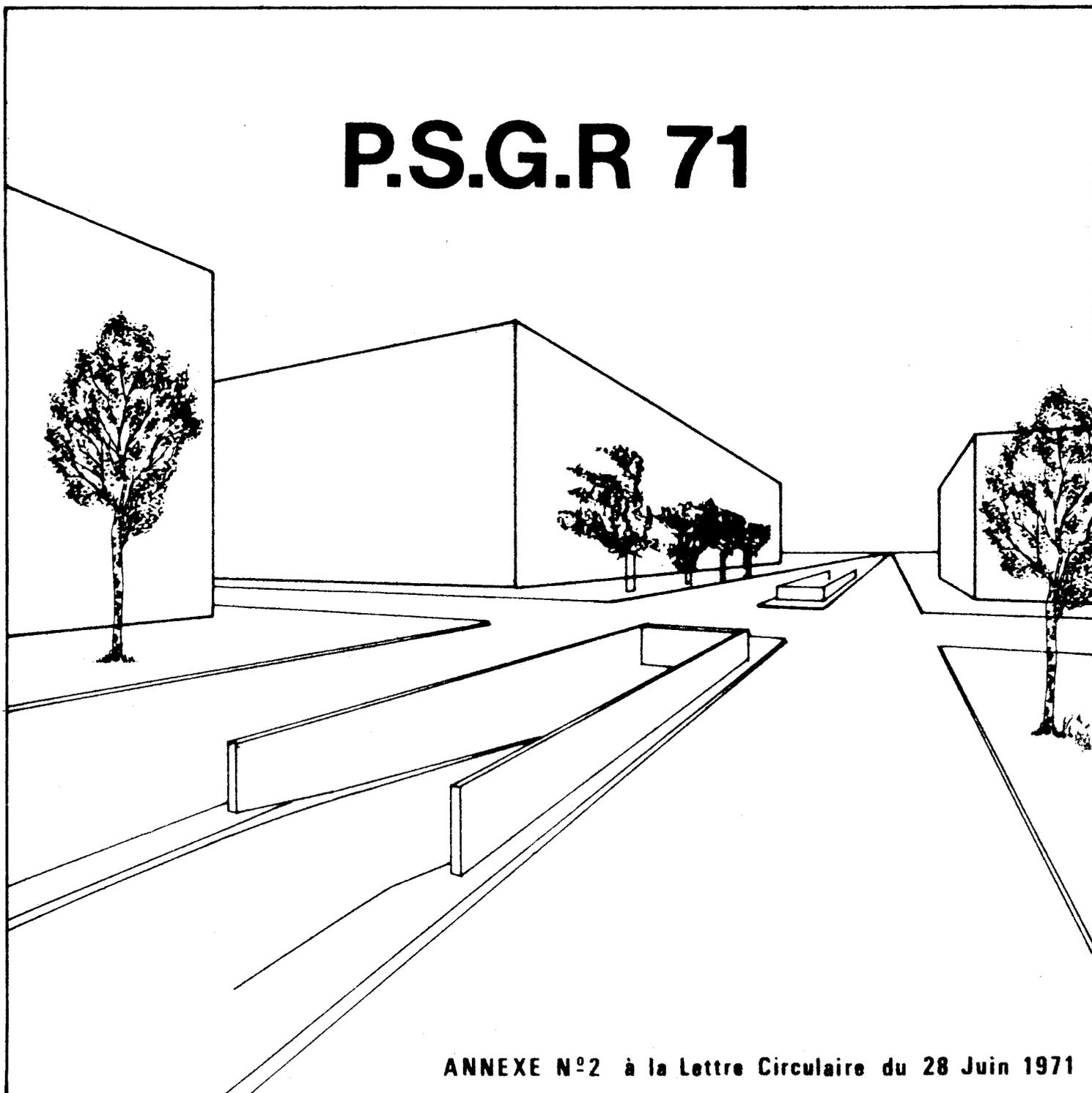


PASSAGES SOUTERRAINS A GABARIT REDUIT.

DOSSIER GUIDE



P.S.G.R 71



ANNEXE N°2 à la Lettre Circulaire du 28 Juin 1971

MINISTERE DE L'EQUIPEMENT ET DU LOGEMENT
Direction des Routes et de la Circulation routière

TABLE DES MATIERES

- I – DOSSIER CIRCULATION
- II – DOSSIER TECHNIQUE

Réaliser des passages souterrains à gabarit réduit, pour séparer – du moins en partie – les courants de circulation aboutissant à un carrefour, est une solution séduisante, parmi d'autres, au problème de la circulation en ville.

Le coût total est inférieur à celui d'un ouvrage souterrain à gabarit normal; l'amélioration du débit est néanmoins sensible.

Le présent document veut être un guide pour les maîtres d'œuvre qui désirent utiliser cette possibilité nouvelle. Dans une première partie, le dossier « circulation », des indications sont données sur les possibilités et les critères d'implantation de semblables ouvrages sur les voies urbaines, et sur les gains circulatoires à en attendre.

La deuxième partie, le dossier « technique », définit les normes recommandées pour les dimensions intérieures de ces passages souterrains, et fournit des renseignements sur les dimensionnements des éléments, les modes et les coûts de réalisation, la nature et les normes minimales des équipements de sécurité.

Ce dossier-guide a été préparé par les divisions suivantes du SETRA :

- Division de la circulation et de l'exploitation D.C.E.
- Division des tracés D.T.
- Division des ouvrages d'art (B) DOA-B
- Division des chaussées D.C.

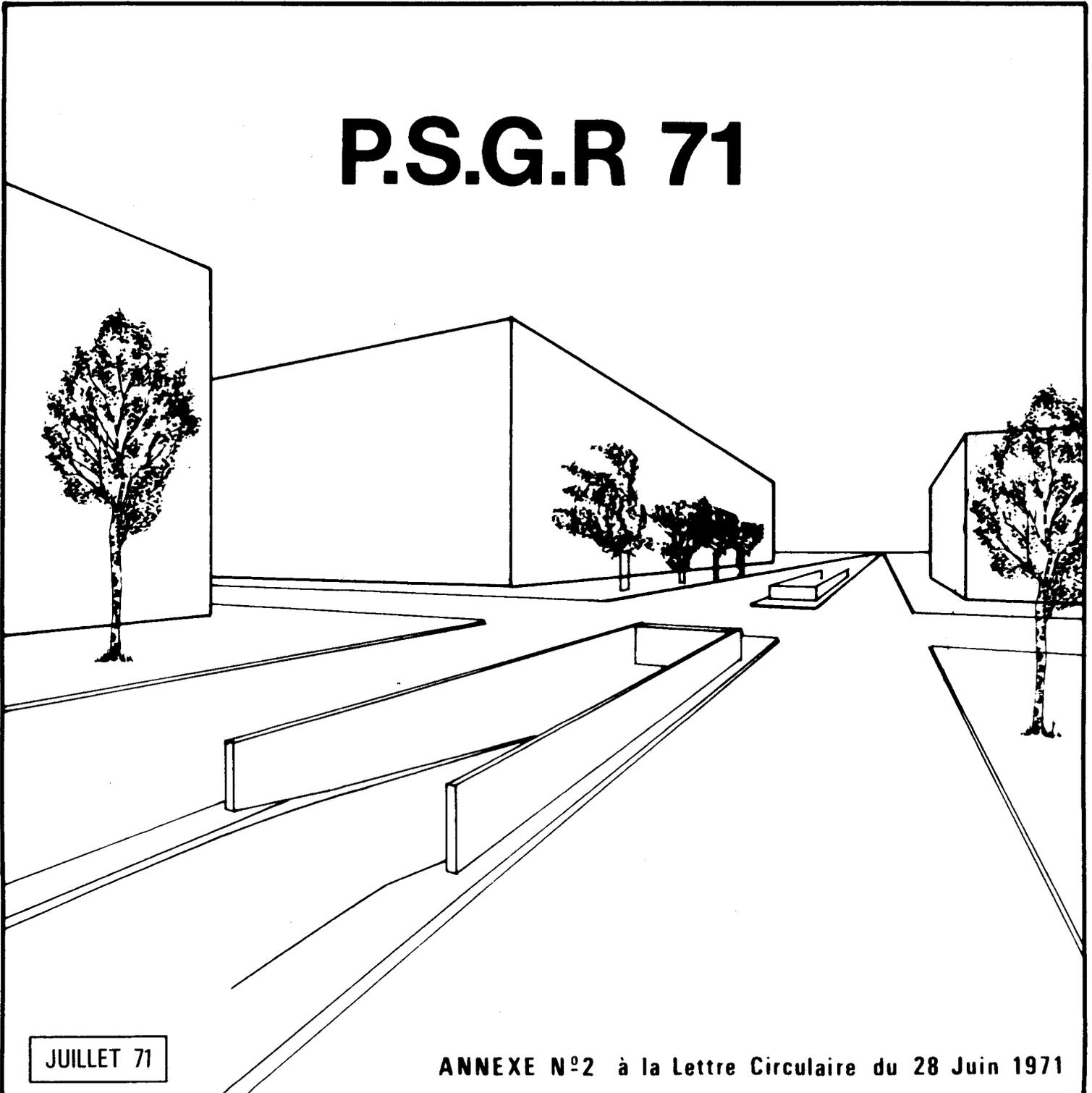
et avec la collaboration du Centre National d'Etudes des Tunnels (C.N.E. Tu).

PASSAGES SOUTERRAINS A GABARIT REDUIT.

1. DOSSIER GUIDE CIRCULATION



P.S.G.R 71



JUILLET 71

ANNEXE N°2 à la Lettre Circulaire du 28 Juin 1971

MINISTERE DE L'EQUIPEMENT ET DU LOGEMENT
Direction des Routes et de la Circulation routière

PASSAGE SOUTERRAIN
A GABARIT REDUIT

ETABLISSEMENT
DES
AVANTS PROJETS SOMMAIRES

Dossier Circulation

Dossier Guide

SOMMAIRE

INTRODUCTION

I PREMIERE PARTIE : Etude d'un carrefour isolé	Page
1. Analyse de la situation actuelle	2
2. Reorganisation des courants de circulation	4
3. Calcul des réserves de capacité	5
Comparaison du passage souterrain à gabarit réduit et de l'aménagement de surface	
4. Etude de rentabilité	16
II DEUXIEME PARTIE : Etude d'une chaine de minisouterrains	
1. Recueil des données	18
2. Plan de circulation	18
3. Calcul des réserves de capacité aux carrefours	19
Sections d'entrecroisement	
4. Etude de rentabilité	19

INTRODUCTION

La croissance de la circulation urbaine est extrêmement rapide (6 % à 7 % par an au centre des villes, 8 % à 10 % en périphérie). Cette croissance explique l'état de saturation atteint par les réseaux de voirie traditionnels.

Il est bien prévu de nombreux projets de voirie rapide pour répondre aux besoins croissants de déplacements. Toutefois, ces opérations posent des problèmes de réalisation difficiles et se heurtent à des obstacles financiers qui ne sont pas pour le moment entièrement résolus.

Ainsi apparaît-il très utile de lancer des opérations qui, tout en étant moins ambitieuses que celles de voirie rapide, n'en permettent pas moins d'augmenter dans de fortes proportions les capacités du réseau traditionnel.

Entrent notamment dans cette catégorie les passages souterrains à gabarit réduits, appelés communément minisouterrains depuis la mise au point par la Société GTM - Travaux Publics d'un projet suivi d'une première réalisation à Toulouse à la fin de l'année 1970. Ces ouvrages peuvent s'intégrer dans des sites urbains denses par suite de la très faible longueur de leurs rampes d'accès et de sortie.

L'implantation d'un "minisouterrain" est une opération relativement difficile, car elle met en cause l'organisation générale de la circulation d'un centre. Elle doit de ce fait être étudiée avec attention et associée en règle générale à la conception d'un plan de circulation (se référer à la circulaire du 16 Avril 1971 du Ministère de l'Intérieur et du Ministère de l'Équipement et du Logement sur la mise en place de plans de circulation).

La première partie du présent document fournit des indications pour étudier l'implantation et la rentabilité d'un minisouterrain dans un carrefour isolé.

La seconde partie traite des chaînes de minisouterrains qui semblent devoir être le cas le plus fréquent. En effet, l'aménagement d'un carrefour reporte les difficultés de circulation sur les carrefours voisins ; la recherche de l'homogénéité des réserves de capacité amènera fréquemment à étudier l'équipement de toute une voie plutôt que d'un seul carrefour.

PREMIERE PARTIE

ETUDE D'UN PASSAGE SOUTERRAIN A GABARIT REDUIT POUR UN CARREFOUR ISOLE

I - Analyse de la situation actuelle - Recueil des données de circulation

L'étude d'implantation d'un mini-souterrain repose avant tout sur l'analyse détaillée des conditions de fonctionnement du carrefour que l'on envisage d'aménager.

Cette analyse ne peut être entreprise que si l'on dispose de données précises et chiffrées sur l'importance des divers courants de circulation franchissant le carrefour ainsi que sur les vitesses d'écoulement du trafic aux heures creuses et aux heures de saturation.

Le recueil de ces données est donc une des premières tâches à entreprendre.

a) Recensements des courants directionnels

L'expérience montre que la méthode la plus pratique et la plus sûre pour évaluer l'importance et la distribution des courants de circulation dans le cas d'un carrefour simple en croix, reste celle des recensements visuels réalisés à l'aide d'opérateurs placés sur le bord de la chaussée.

Lorsque le carrefour comporte un nombre de branches élevé, le recensement visuel devient insuffisant. Il est nécessaire, dans ce cas, d'avoir recours à la méthode de distribution de cartons de couleurs aux différentes entrées (ou de collage de papillons de couleur sur les pare brises).

L'exploitation de ce type d'enquête est extrêmement simple et rapide. Il ne faut donc pas hésiter à y avoir recours.

La connaissance de la distribution des courants de circulation n'est pas toutefois suffisante pour fixer les caractéristiques d'un mini-souterrain.

La distribution des véhicules par classe de hauteur doit être également connue.

Deux types de gabarit étant actuellement envisagés, gabarit A, 2 m réels pour 1,90 m autorisés, gabarit B, 2,75 m réels pour 2,60 m autorisés, 3 classes de véhicules seront recensés :

- véhicules de moins de 1,90 m
- véhicules de hauteur comprise entre 1,90 m et 2,60 m
- véhicules de hauteur supérieure à 2,60 m.

Ce classement par type de hauteur est difficile à obtenir visuellement mais, comme il existe une relation assez précise entre la hauteur des véhicules et leurs silhouettes (au sens des recensements manuels), on pourra adopter en première approximation les équivalences suivantes :

- . Véhicules de moins de 1,90 m : Silhouettes c, d₁ et d₂ des recensements manuels de la circulation
- . Véhicules de hauteur comprise entre 1,90 m et 2,60 m : Silhouettes e
- . Véhicules de plus de 2,60 m . Silhouettes f, g, h, i et j

Pour l'organisation matérielle de ces recensements, on pourra utilement s'adresser aux Divisions Circulation et Exploitation des CETE.

b) Mesure des temps de franchissement d'un carrefour

La méthode du "floating car" semble la plus simple à mettre en oeuvre.

Le temps de parcours entre deux repères fixes situés, le premier 200 mètres en amont du carrefour, le second 50 mètres en aval est mesuré à l'aide d'un véhicule témoin. Eventuellement, le premier repère peut être éloigné du carrefour si la queue est supérieure à 200 mètres. Le second peut, lui, être rapproché si la queue en attente au carrefour suivant remonte jusqu'au carrefour étudié.

Pour la branche i, il est nécessaire de connaître le temps moyen journalier de franchissement du carrefour : T_i . Pour l'obtenir, on effectuera environ 30 mesures entre 7h et 20 h à des intervalles de temps réguliers. Ces mesures peuvent être réparties sur plusieurs jours. Par définition, T_i est la moyenne sur 24 h des temps de franchissement horaires pondérés par les trafics horaires. Dans la pratique, la moyenne arithmétique des mesures effectuées entre 7 h et 20 h donne une bonne approximation de T_i .

La moyenne des mesures faites en heures creuses, c'est-à-dire pendant les périodes où aucune saturation n'apparaît, donne t_i , temps moyen de franchissement du carrefour sur la branche i, en heures creuses.

La différence $T_i - t_i$ donne la valeur absolue du retard moyen imposé à un véhicule par rapport à une situation de non saturation.

Si Q_i est le trafic journalier moyen entrant dans le carrefour par la branche i, $(T_i - t_i) \times Q_i$ représente le temps total perdu par l'ensemble des véhicules, sur 24 h, sur la branche i du carrefour.

$\Sigma (T_i - t_i) Q_i$ représente le temps total perdu sur l'ensemble des i branches du carrefour.

Dès que sur l'ensemble des branches d'un carrefour, le temps moyen journalier perdu est de l'ordre de 200 heures x véhicules, l'implantation d'un minisouterrain est envisageable (1) à la condition bien entendu que les pertes de temps au carrefour ne soient pas arbitrairement provoquées par une mauvaise organisation des courants de circulation, ou un stationnement insuffisamment réglementé sur les branches d'entrées.

(1) Rentabilité immédiate escomptée de l'ordre de 33 %.

2 - Réorganisation des courants de circulation et du stationnement

Le mauvais fonctionnement d'un carrefour n'est pas toujours dû à l'insuffisance de dimensionnement des chaussées, mais souvent à une mauvaise organisation des courants de circulation et à une réglementation insuffisante du stationnement.

Avant d'envisager l'implantation d'un minisouterrain, l'étude de toutes les possibilités d'amélioration des conditions de circulation par l'adoption de mesures réglementaires appropriées doit donc être effectuée.

a) Suppression du stationnement latéral aux entrées du carrefour, réorganisation des arrêts d'autobus et des stations de taxis.

Le stationnement latéral doit être impérativement supprimé sur 50 à 70 m à l'amont des feux tricolores. On déplacera les arrêts d'autobus situés à proximité des entrées du carrefour, de même que les stations de taxis. L'implantation de ces arrêts sur les voies de sortie apparaît préférable.

b) Suppression des mouvements tournants parasites et mise en sens unique de certaines branches du carrefour

Le fonctionnement d'un carrefour est souvent perturbé par les mouvements tournants.

Il faut veiller à ce que le stockage des mouvements tourne à droite puisse s'effectuer dans de bonnes conditions. Il est nécessaire pour cela de reculer de 10 à 15 mètres l'implantation des passages piétons.

Le stockage des tourne à gauche est généralement difficile, si ce n'est impossible. S'il n'y a pas possibilité de les écouler à l'aide de phases spéciales, il peut être nécessaire de supprimer ces mouvements.

De même, lorsque de trop nombreuses voies débouchent en un même carrefour, la nécessité de prévoir trois ou quatre phases de feux réduit très fortement la capacité. Il faut, dans ce cas, mettre en sens unique plusieurs des voies afin de simplifier les échanges et de permettre la mise en place d'un cycle à 2 phases.

c) Possibilité d'insertion d'un minisouterrain à double sens ou à sens unique

L'étude d'implantation d'un minisouterrain ne doit être envisagée que lorsque les mesures précédemment énoncées ne permettent pas de supprimer les insuffisances de capacité. Encore un choix doit-il être effectué entre ouvrage à double sens de circulation ou ouvrage à sens unique.

Le premier type d'ouvrage ne peut être implanté que dans des emprises (1) supérieures à 27-28 mètres, par suite de la nécessité de disposer de voies latérales suffisamment larges et de conserver un environnement acceptable.

Lorsque la largeur de l'emprise est inférieure à 25 m, seul le deuxième type d'ouvrage paraît pouvoir être réalisé, la nécessité d'un plan de sens uniques apparaît alors évidente.

En règle générale l'étude de la mise en place d'un minisouterrain doit se faire dans le cadre de l'élaboration d'un plan de circulation.

(1) Nous appelons emprise la largeur du domaine public c'est-à-dire la largeur entre les alignements.

3 - Calcul des réserves de capacité

L'intérêt de la mise en place d'un minisouterrain peut être mesuré par la réserve de capacité qu'il permet d'obtenir.

a) Coefficient de réserve de capacité d'un carrefour équipé d'un passage souterrain à gabarit réduit (P.S.G.R.)

Un P.S.G.R. ne pouvant être emprunté que par des véhicules légers, il apparaît nécessaire de calculer séparément le coefficient de réserve de capacité de l'ouvrage souterrain (K_M), celui des voies de surface qui sont empruntées par les poids lourds et les véhicules tournants (K_S) et celui de l'aménagement complet (K_T).

En règle générale, ces coefficients seront différents. On devra dans la mesure du possible dimensionner suffisamment les voies de surface pour que le coefficient de réserve de capacité du carrefour soit au moins équivalent à celui du passage souterrain.

En effet, dans le cas contraire, des files d'attente apparaîtraient sur les voies de surface et l'écoulement des poids lourds ne pourrait plus s'effectuer dans de bonnes conditions.

Si le coefficient de réserve de capacité des voies de surface est supérieur à celui du passage souterrain, les véhicules légers auront toujours la possibilité d'emprunter les voies de surface.

Pour ces raisons, le coefficient de réserve de capacité de l'aménagement complet sera égal à

$$K_T \text{ si } K_M < K_S$$
$$\text{et à } K_S \text{ si } K_M > K_S$$

b) Calcul de la réserve de capacité d'un carrefour à feux (K_S)

Des méthodes d'étude de la capacité des carrefours à feux ont déjà été diffusées par le S.E.T.R.A.

- Instruction sur les Conditions Techniques d'aménagement des voies rapides urbaines (1968)
- Méthode de Calcul des Carrefours à Feux (1970)

Cette dernière méthode a été programmée pour les carrefours à 4 branches (Programme HERMES) et les carrefours à 3 branches (programme PROTEE). La Division Circulation-Exploitation du S.E.T.R.A. et les Divisions Circulation des C.E.T.E. assurent le passage des programmes.

c) Détermination rapide du coefficient de réserve de capacité d'un carrefour à feux (K_S)

- Notion d'U.V.P.

Le trafic étant composé de véhicules dont les caractéristiques sont différentes on prend comme unité la voiture particulière (1 U.V.P.), un poids lourd équivaut à 2.U.V.P. et un deux roues à 0,2 U.V.P.

Les véhicules tournants apportent une gêne supérieure aux véhicules directs, on les affecte de coefficients : 1,5 pour les tourne à gauche, 1,3 pour les tourne à droite.

Estimation de la demande de trafic rapportée à une voie de 3 mètres

Le calcul simplifié de la réserve de capacité d'un carrefour repose sur la notion de demande de trafic rapportée à une voie de 3 mètres. Cette demande, d_i , peut être ainsi définie :

Soit q_i le trafic horaire entrant sur la branche i (estimé en u.v.p.d suivant la méthode précédente), l_i la largeur utile (1) de la chaussée entrante sur la branche i , on a :

$$d_i = \frac{q_i}{l_i} \times 3$$

Si d^k représente la demande de l'entrée prédominante de la phase k (entrée dont le d_i est le plus élevé) par définition d sera égal à :

$$d = \sum_k d^k$$

Estimation de l'offre : O

Le nombre de véhicules qu'un carrefour peut écouler est fonction du nombre de phases et de la durée du cycle.

Un cycle de 70 secondes permet d'écouler en moyenne 1 260 U.V.P. par heure de vert et par voie de 3 mètres s'il est à deux phases et 1 120 s'il est à 3 phases.

Calcul du coefficient de réserve de capacité

Le coefficient de réserve de capacité sera obtenu en divisant o par d :

$$K_r = \frac{o}{d} = \frac{\text{Capacité du carrefour (en u.v.p/h de vert/voie de 3m)}}{\text{Trafic à écouler (en u.v.p/h de vert/voie de 3m)}}$$

d) Calcul du coefficient de réserve de capacité d'un passage souterrain à gabarit réduit (K_{sr})

On a observé à l'heure de pointe 900 véh.h par sens dans le minisouterrain de Toulouse.

La circulation reste très fluide à ce niveau de trafic. Il semble qu'on puisse adopter, en première approximation, une capacité de 1 600 véh/h par voie pour un passage souterrain normalisé de 6,20 m entre piédroits.

Si QM est le débit prévu dans le souterrain pour le sens le plus chargé et n le nombre de voies par sens, on a :

$$KM = \frac{1\ 600 \times n}{QM}$$

e) Calcul du coefficient de réserve de capacité de l'aménagement complet

Comme on l'a vu ce calcul n'est nécessaire que si $KM < K_S$ (en effet dans le cas contraire $K_T = K_S$)

Si QM est le débit prévu dans le minisouterrain dans le sens le plus chargé

CM est la capacité du minisouterrain dans ce même sens ($1\ 600 \times n$)

QS est le débit prévu dans le sens le plus chargé sur les voies adjacentes au minisouterrain

CS est la capacité de l'ensemble des voies de surface adjacentes au minisouterrain dans ce même sens

$$\text{on a : } K_T = \frac{CM + CS}{QM + QS} = \frac{1\ 600 \times n + CS}{QM + QS} = \frac{KM \cdot QM + K_S \cdot QS}{QM + QS}$$

(1) Largeur utile, c'est à dire exclusion faite de la largeur réservée au stationnement.

f) Capacité comparée d'un aménagement de surface et d'un aménagement avec PASSAGE SOUTERRAIN

Une étude comparative de capacité d'un aménagement de surface et d'un aménagement avec passage souterrain a été effectuée pour différents types d'emprises.

Les plans ci-joints indiquent les dispositions adoptées dans chaque cas. On remarquera que les emprises de 15 m et 20 m ne permettent la mise en place de souterrains que si les voies sont en sens uniques. Cette contrainte fait bien apparaître l'intérêt d'associer étroitement l'étude d'implantation d'un mini-souterrain à celle d'un plan de sens uniques.

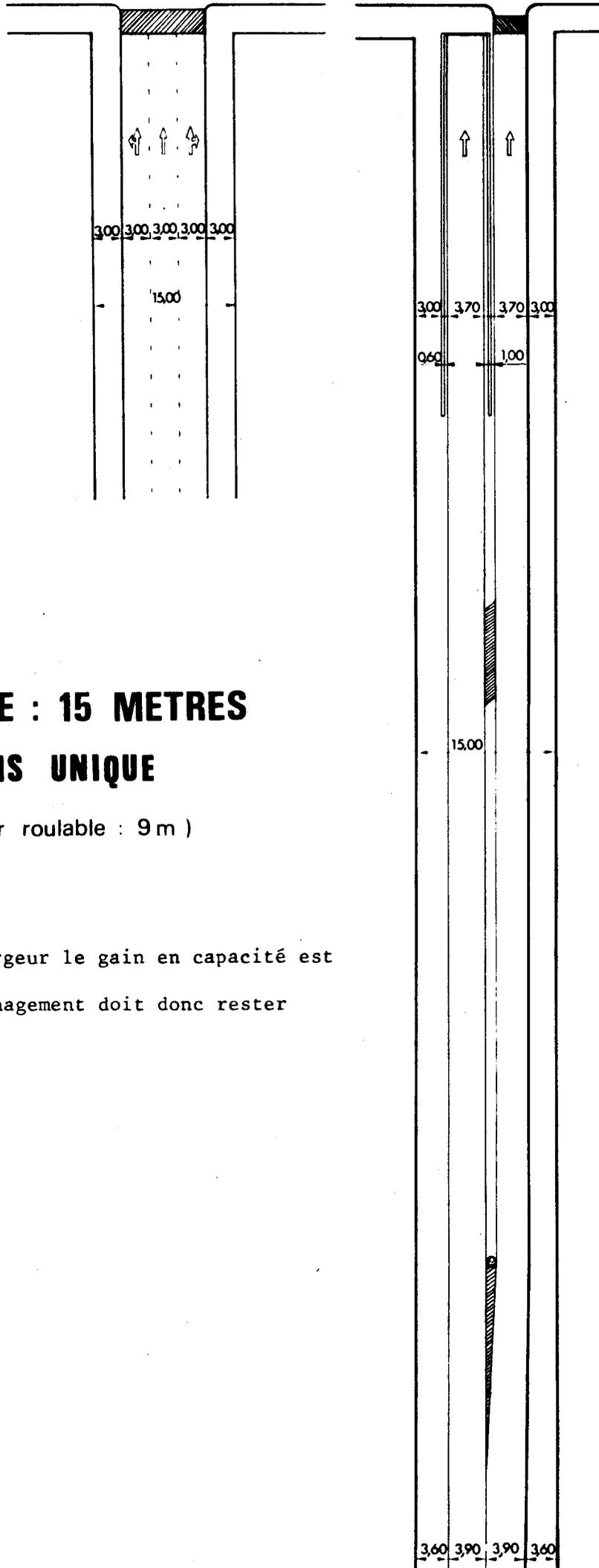
Les capacités comparées des aménagements de surface et des aménagements avec passage souterrain sont indiquées séparément pour chaque type d'emprise dans les tableaux n° 1, 2, 3, 4, qui prennent en considération différentes capacités des souterrains (1 500. 1 600. 1 700 véh/h par voie) et différentes hypothèses de répartition des temps de vert sur les branches du carrefour.

L'implantation d'un minisouterrain dans une voie à double sens dont l'emprise est inférieure à 27 - 28 mètres ne semble pas acceptable.

On aboutit, dans le cas d'une emprise de 25 m par exemple, à des solutions qui semblent bonnes sur le plan de la capacité, mais qui dégradent fortement l'environnement : trottoirs très réduits, nécessité d'enlever les arbres, stationnement latéral impossible.

Dans des conditions de fonctionnement moyennes, un aménagement avec minisouterrain a une capacité supérieure de 10 % à 56 % à celle d'un aménagement de surface pour des voies en sens unique dont l'emprise est de 15 m ou 20 m.

Pour des voies à double sens le gain en capacité est de 29 %.



EMPRISE : 15 METRES

SENS UNIQUE

(Largeur roulable : 9 m)

N.B Pour cette largeur le gain en capacité est limité.
Ce type d'aménagement doit donc rester exceptionnel.

Tableau n° 1

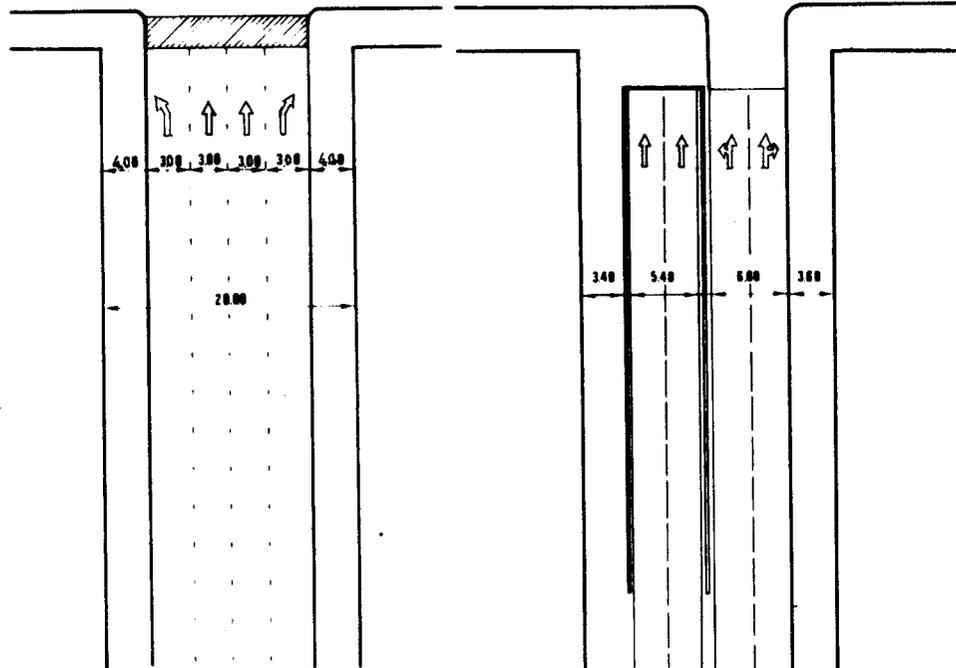
EMPRISE = 15 mètres (Sens Unique)
 Cycle = 70 secondes

Pourcentage de vert sur l'itinéraire	80 %	70 %	60 %	50 %
Capacité de l'aménagement de surface (sans minisouterrain)	3 020	2 640	2 260	1 890

CAPACITE DE L'AMENAGEMENT AVEC MINISOUTERRAIN (Voies de Surface + minisouterrain)	Capacité des voies de surface		1 195	1 045	895	745
	Capacité du minisouterrain	H1	1 500			
		H2	1 600			
		H3	1 700			

RH2 = $\frac{\text{Capacité de l'aménagement avec minisouterrain (1 600 véh/h/voie)}}{\text{Capacité de l'aménagement de surface (sans minisouterrain)}}$	0,92	1,00	1,10	1,24
---	------	------	------	------

H1 = Capacité du minisouterrain 1 500 véh/h/voie
 H2 = Capacité du minisouterrain 1 600 véh/h/voie
 H3 = Capacité du minisouterrain 1 600 véh/h/voie



EMPRISE : 20 METRES SENS UNIQUE

(Largeur roulable : 12 m)

N.B Pour cette largeur le gain en capacité est très élevé. La surface réservée aux trottoirs est satisfaisante (40 % de l'emprise). Ce type d'aménagement présente donc beaucoup d'intérêt. Toutefois, la nécessité de desservir les immeubles riverains du côté gauche le long des rampes d'accès en limitera partiellement l'emploi.

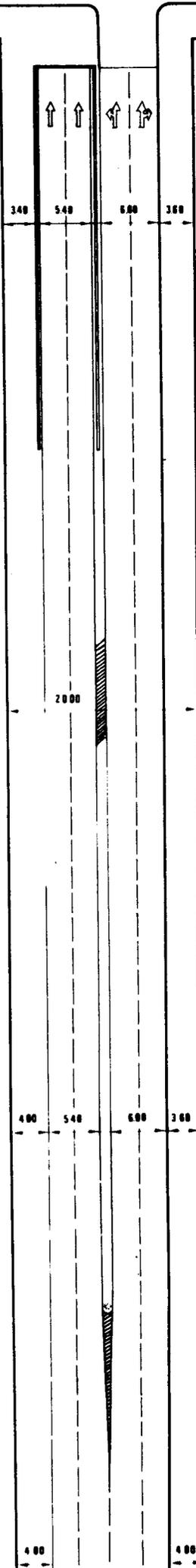


Tableau N° 2

EMPRISE 20 mètres
Cycle = 70 secondes (Sens Unique)

Pourcentage de vert sur l'itinéraire	80 %	70 %	60 %	50 %
Capacité de l'aménagement de surface (sans minisouterrain)	4 040	3 530	3 020	2 520

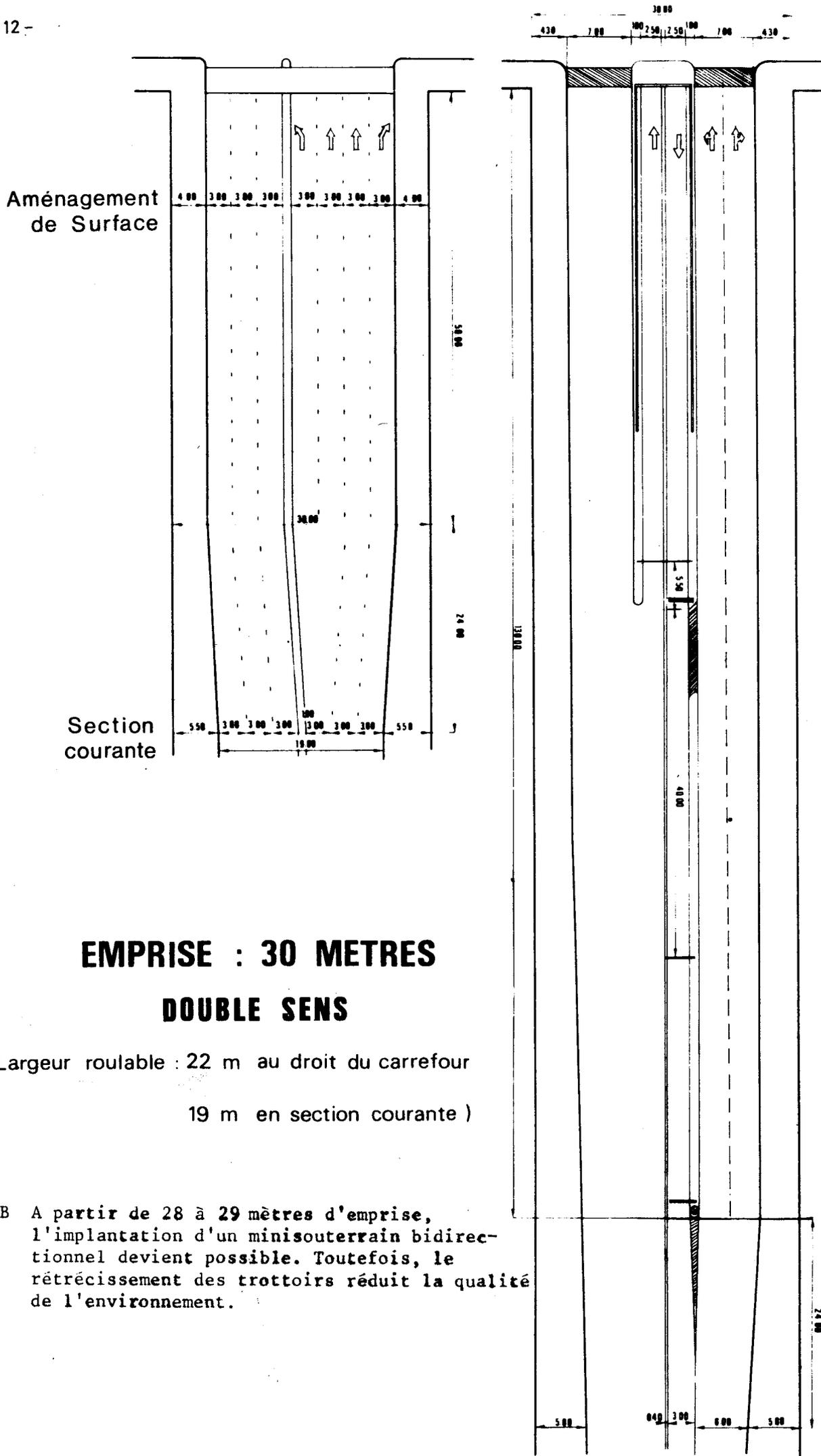
CAPACITE DE L'AMENAGEMENT AVEC MINISOUTERRAIN (Voies de surface + minisouterrain)	Capacité des voies de surface		2 020	1 760	1 510	1 260
	Capacité du minisouterrain	H1	3 000			
		H2	3 200			
		H3	3 400			

$R_{H2} = \frac{\text{Capacité de l'aménagement avec minisouterrain (1600véh/h/voie)}}{\text{Capacité de l'aménagement de surface (sans minisouterrain)}}$	1,29	1,40	1,56	1,77
--	------	------	------	------

H1 = capacité du minisouterrain 1 500 véh/h/voie

H2 = capacité du minisouterrain 1 600 véh/h/voie

H3 = capacité du minisouterrain 1 700 véh/h/voie



EMPRISE : 30 METRES

DOUBLE SENS

(Largeur roulable : 22 m au droit du carrefour

19 m en section courante)

N.B A partir de 28 à 29 mètres d'emprise, l'implantation d'un minisouterrain bidirectionnel devient possible. Toutefois, le rétrécissement des trottoirs réduit la qualité de l'environnement.

Tableau n° 3

EMPRISE 30 mètres

Cycle = 70 secondes

Pourcentage de vert sur l'itinéraire	80 %	70 %	60 %	50 %
Capacité de l'aménagement de surface (sans minisouterrain)	2 x 3475	2 x 3040	2 x 2610	2 x 2170

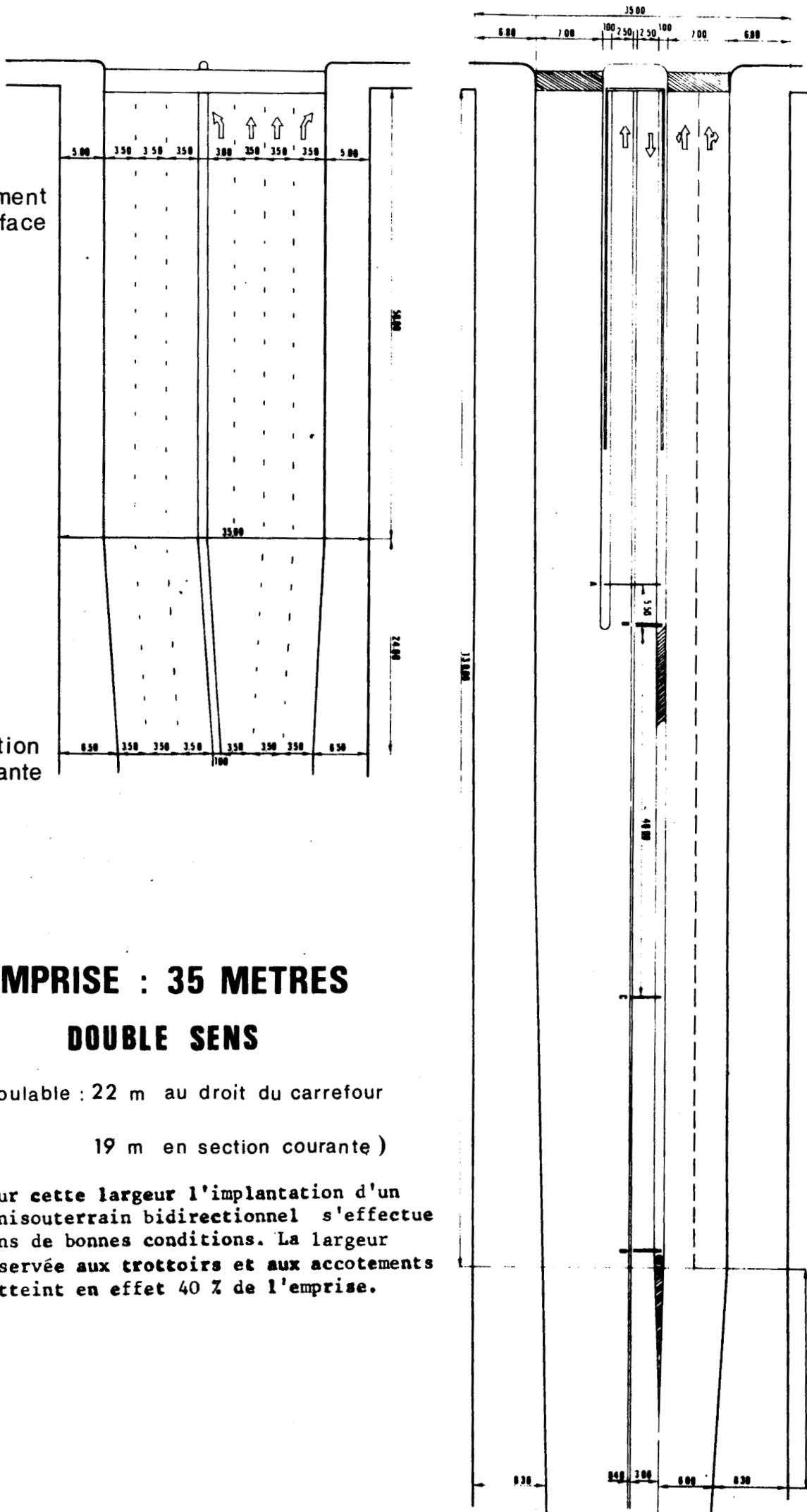
CAPACITE DE L'AMENAGEMENT AVEC MINISOUTERRAIN (Voies de surface = minisouterrains)	Capacité des voies de surface		2 x 2350	2 x 2060	2 x 1760	2 x 1470
	Capacité du minisouterrain	H1	2 x 1500			
		H2	2 x 1600			
		H3	2 x 1700			

R_{H2}	Capacité de l'aménagement avec minisouterrain (1600véh/h/voie)	1,14	1,20	1,29	1,41
	Capacité de l'aménagement de surface (sans minisouterrain)				

H1 = Capacité du minisouterrain 1500 véh/h/voie
H2 = Capacité du minisouterrain 1600 véh/h/voie
H3 = Capacité du minisouterrain 1700 véh/h/voie

Aménagement
de Surface

Section
courante



EMPRISE : 35 METRES

DOUBLE SENS

(Largeur roulable : 22 m au droit du carrefour

19 m en section courante)

N.B. Pour cette largeur l'implantation d'un minisouterrain bidirectionnel s'effectue dans de bonnes conditions. La largeur réservée aux trottoirs et aux accotements atteint en effet 40 % de l'emprise.

Pourcentage de vert sur l'itinéraire	80 %	70 %	60 %	50 %
Capacité de l'aménagement de surface (sans minisouterrain)	2 x 3475	2 x 3040	2 x 2610	2 x 2170

CAPACITE DE L'AMENAGEMENT AVEC MINISOUTERRAIN (Voies de Surface + minisouterrain)	Capacité des voies de surface		2 x 2350	2 x 2060	2 x 1760	2 x 1470
	Capacité du minisouterrain	H1	2 x 1500			
		H2	2 x 1600			
		H3	2 x 1700			

$R_{H2} = \frac{\text{Capacité de l'aménagement avec minisouterrain (1600véh/h/voie)}}{\text{Capacité de l'aménagement de surface (sans minisouterrain)}}$	1,14	1,20	1,29	1,41
--	------	------	------	------

H1 = capacité du minisouterrain 1500 véh/h/voie
 H2 = capacité du minisouterrain 1600 véh/h/voie
 H3 = capacité du minisouterrain 1700 véh/h/voie

4 - Etude de Rentabilité

La mise en place d'un passage souterrain à gabarit réduit étant effectuée à titre définitif, on pourra utiliser comme critère de rentabilité le taux de rentabilité immédiate à l'année de mise en service

$$0 = \frac{\text{Avantages de la première année}}{\text{Coût total de l'ouvrage}}$$

a) Calcul des avantages

Les avantages comprendront les gains de temps et les gains de sécurité annuels.

a1 - gains de sécurité

Le passage souterrain permettra de supprimer les accidents résultant des conflits entre les mouvements directs empruntant le souterrain et les autres mouvements s'effectuant au carrefour, y compris les mouvements de piétons. Par contre, il est possible que la mise en place d'un minisouterrain entraîne des accidents d'un type nouveau : dans le tunnel et sur les sections d'entrecroisement.

En première approximation et en attendant les résultats de l'expérience, on admettra que la mise en service d'un minisouterrain diminuera de moitié les accidents résultant des conflits entre les mouvements directs empruntant le souterrain et tous les autres mouvements s'effectuant au carrefour.

Le coût des accidents supprimés sera estimé sur les bases suivantes :

un tué	230 000 F	
un blessé	10 000 F	
un accident	4 000 F	(dégâts matériels)

a2 - gains de temps

Sur les branches du carrefour équipées d'un minisouterrain on distinguera le gain des usagers, empruntant la (les) voie (s) dénivellée (s) dont le débit est Q_i , et le gain des usagers empruntant les voies de surface dont le débit est q_i .

$Q_i + q_i$ représente le débit de la branche i si elle est équipée d'un minisouterrain.

Sur une branche i non équipée de minisouterrain q_i représente le débit total.

a 21 - gain de temps des usagers empruntant le minisouterrain sur les branches devant être équipées d'un minisouterrain.

La mesure des temps de parcours a permis de déterminer :

- T_i , temps que mettent les usagers en provenance de la branche i pour franchir le carrefour en moyenne sur 24 h

- t_i , temps que mettent les usagers en provenance de la branche i pour franchir le carrefour en heures creuses (hors saturation).

On suppose que, après aménagement, les véhicules empruntant le passage souterrain franchiront la distance entre les 2 repères fixes, utilisés pour les mesures, à 40 km/h soit en un temps $t'_i < t_i$.

Le débit journalier prévu dans le minisouterrain sur la branche i est Q_i , le gain journalier de temps sera :

$$G_i = Q_i \times (T_i - t'i) \text{ sur la branche } i$$

Le gain total journalier pour les usagers empruntant le minisouterrain sera G , somme des valeurs obtenues pour chaque sens de circulation, s'il est à double sens.

a22 - gains de temps des usagers empruntant le carrefour à niveau.

L'aménagement doit supprimer la saturation sur toutes les branches du carrefour. Le débit journalier prévu sur la branche i du carrefour à niveau après aménagement est q_i , le gain journalier de temps sera :

$$g_i = q_i \times (T_i - t_i)$$

Le gain total journalier pour les usagers empruntant le carrefour à niveau sera g somme de tous les g_i

Le gain journalier pour l'ensemble des usagers sera donc :

$$G \text{ total} = g + G$$

Si la saturation ne se produit que les jours ouvrables, on appliquera le coefficient 300 pour passer au gain annuel.

Les valeurs unitaires de temps seront de 10 F par heure pour les véhicules légers et 20 F par heure pour les poids lourds.

b - Calcul des coûts

Le coût de l'ouvrage comprendra non seulement les dépenses de construction, de déplacement des réseaux, de réfection des chaussées et des équipements de signalisation et d'éclairage mais également une estimation du coût des pertes de temps supplémentaires occasionnées aux usagers pendant les travaux.

DEUXIEME PARTIE

Etude d'une chaine de passages souterrains à gabarit réduit

1. Recueil des données

a - Recensement des courants pour chaque origine - destination

Il est nécessaire de connaître les trafics pour chaque origine-destination. On pourra utiliser des papillons de couleurs collés sur le pare brise des voitures.

On distinguera les différents gabarits :

- moins de 1,90 m
- entre 1,90 m et 2,60 m
- plus de 2,60 m

b - Mesure des temps perdus

On appliquera la méthode définie pour l'étude d'un carrefour, mais les mesures de temps de parcours seront faites globalement pour tout l'itinéraire.

2. Plan de Circulation

Lorsque la zone de saturation intéresse un nombre important de carrefours, il peut être utile de procéder à une étude générale des courants de circulation dans tout le périmètre intéressé. On pourra éventuellement rechercher un plan complet de sens uniques en respectant les critères suivants :

- 1 - Eviter une interdistance entre voies à sens uniques opposés supérieure à 500 m (si l'interdistance est supérieure à 500 m, les détours imposés aux usagers sont trop élevés et diminuent la capacité du système)
- 2 - Rechercher des points de choix clairement perçus par l'usager
- 3 - Réserver des voies spécialisées aux autobus (généralement à contre courant) lorsque la fréquence de passage dépasse 25 autobus à l'heure.

Le respect de ces critères permet d'obtenir en règle générale une augmentation de capacité appréciable.

Si les mesures précédentes ne permettent pas de supprimer les insuffisances de capacité, on peut envisager d'implanter une chaîne de minisouter-rains.

3. Calcul des réserves de capacité aux carrefours

Les calculs décrits précédemment pour l'étude d'un carrefour isolé devront être effectués pour chaque carrefour de l'itinéraire.

C'est le coefficient de réserve de capacité le plus faible qui définira la réserve de capacité de la chaîne de minitunnels.

- Sections d'entrecroisement

La connaissance des origines destination permet de prévoir les débits d'entrecroisement. On devra vérifier si les sections prévues pour ces mouvements sont suffisamment dimensionnées, tant en longueur qu'en largeur.

On pourra utiliser pour cela l'abaque de la page suivante.

Dans certains cas, où il ne sera pas possible d'avoir une longueur suffisante pour ces sections, on pourra permettre un seul des deux mouvements soit l'entrée sur la voie menant au tunnel, soit la sortie.

- Section courante

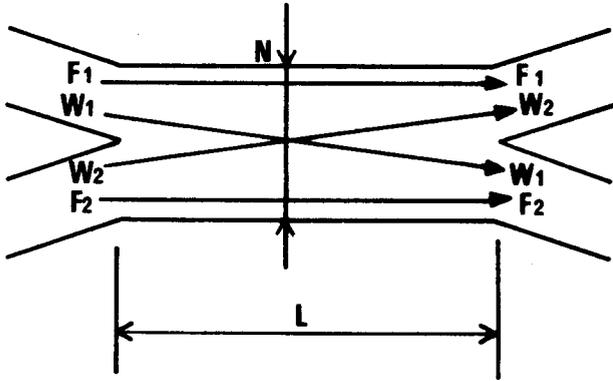
Il convient de vérifier la capacité en section courante. En particulier la plus faible réserve de capacité en section courante ne devra pas être inférieure à la plus faible réserve de capacité obtenue pour les carrefours.

4. Etude de rentabilité

L'étude de rentabilité sera conduite de la même façon que pour un carrefour isolé.

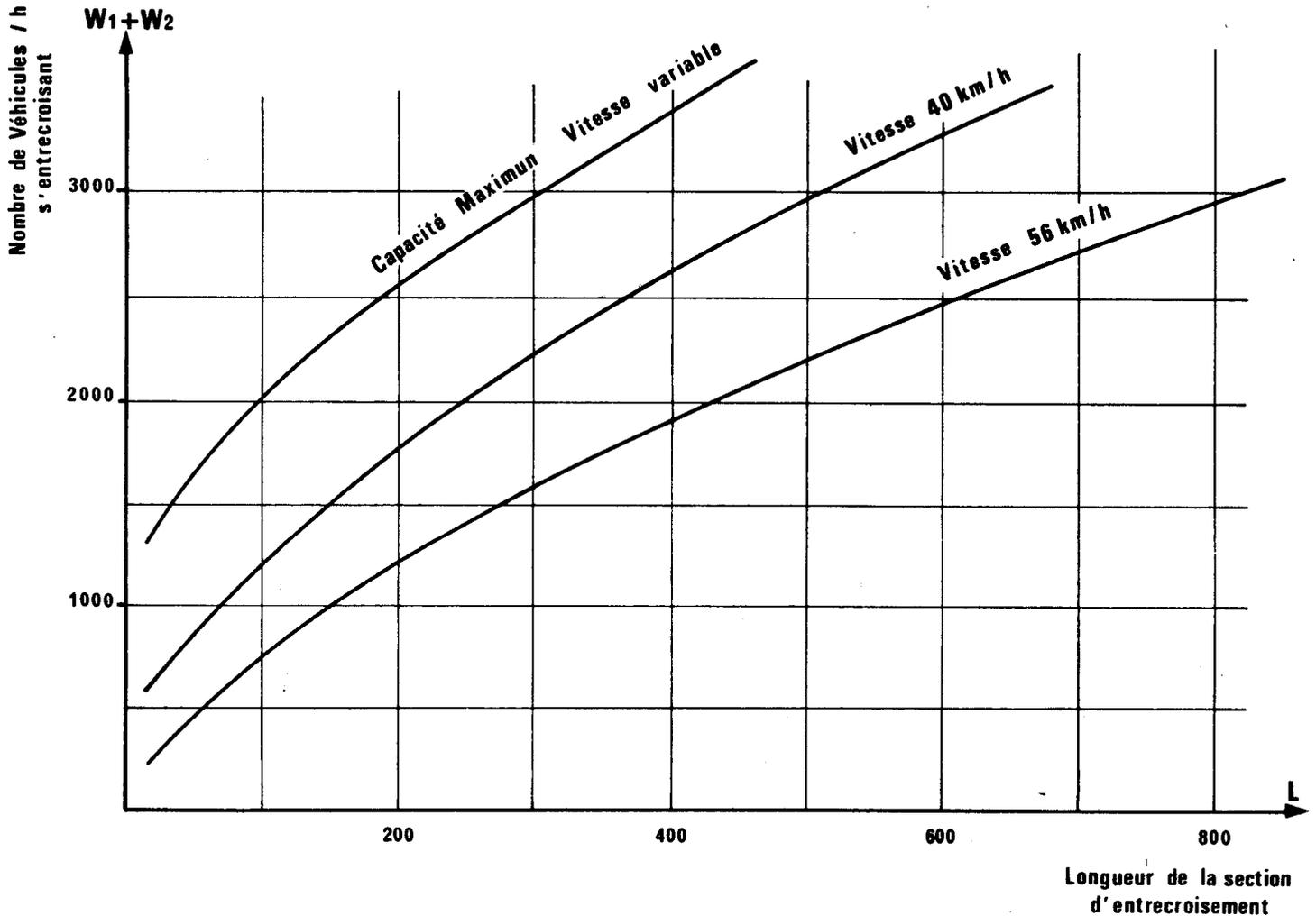
SECTIONS D'ENTRECROISEMENT

1. DEFINITION



- W₁ plus grand des trafics entrecroisants (en u.v.p/h)
- W₂ plus petit des trafics entrecroisants (en u.v.p/h)
- F₁ et F₂ courants directs (en u.v.p/h)
- L Longueur d'entrecroisement
- N Nombre de voies nécessaires pour l'entrecroisement

2. CALCUL DE LA LONGUEUR DE LA SECTION D'ENTRECROISEMENT



3. CALCUL DU NOMBRE DE VOIES NECESSAIRES A L'ENTRECROISEMENT

$$N = \frac{W_1 + 3W_2 + F_1 + F_2}{C}$$

C : capacité d'une voie (en u.v.p/h)

DIRECTION DES ROUTES
ET DE LA CIRCULATION ROUTIERE

ANNEXE N° 1

A LA LETTRE CIRCULAIRE DU 28 JUIN 1971

COMPOSITION DES DOSSIERS D'INSCRIPTION

Les dossiers d'inscription doivent être considérés comme l'aboutissement d'une phase d'étude sommaire mais néanmoins complète, au cours de laquelle divers renseignements seront recueillis : ceux qui sont nécessaires à l'ingénieur pour concevoir l'ouvrage, les grandes lignes de sa réalisation, et estimer son coût, et d'autres qui permettent d'apprécier les avantages que cette réalisation peut apporter à la circulation.

Pour une instruction rapide des affaires, il sera commode d'adopter une présentation séparée : nous distinguons donc dans ce qui suit un dossier circulation, un dossier Ouvrage d'Art, et un dossier Equipements.

I - COMPOSITION DU DOSSIER CIRCULATION

Le dossier circulation comportera une série de plans et un rapport.

A - PLANS

1 - Plan de situation au 1/10 000ème

2 - Plan de circulation de la zone au 1/2 000ème

a - situation actuelle

b - situation après aménagement

On indiquera par un trait fort les axes principaux de circulation en précisant s'ils sont à double sens ou à sens unique.

3 - Plan du carrefour au 1/200ème

a - situation actuelle

b - situation après aménagement

On indiquera :

- . les sens de circulation sur les différentes branches
- . les largeurs de couloirs
- . les limites d'emprise disponible
- . les emplacements des stations de bus et de taxis
- . les limites du stationnement autorisé
- . l'emplacement de l'ouvrage
- . les éventuels îlots séparateurs
- . la signalisation au sol (délimitation des voies)
- . les accès particuliers à respecter en situation définitive aux abords immédiats de l'ouvrage.

4 - Schéma des courants de circulation en heure de pointe

a - situation actuelle

On indiquera :

- . le trafic recensé à l'heure de pointe du matin, à l'heure de pointe du soir, en distinguant les véhicules dont le gabarit est inférieur à 1,90 m, compris entre 1,90 m et 2,60 m, et supérieur à 2,60 m
- . les temps perdus en franchissement du carrefour
- . la durée de la période de saturation

b - situation après aménagement

On indiquera :

- . les courants directionnels prévus en distinguant les différents gabarits
 - . à l'heure de pointe du soir
 - . à l'heure de pointe du matin
- . la situation attendue 5 années après l'ouverture de l'ouvrage.

5 - Diagramme des cycles de feux

a - situation actuelle

b - situation après aménagement

On indiquera la durée des cycles et leur décomposition en phases avant et **après** aménagement.

B - RAPPORT

Le rapport traitera des points suivants :

1 - Analyse de la situation actuelle

- difficultés de circulation
- **temps perdus au carrefour**
- situation aux carrefours voisins
- appréciation sur l'organisation actuelle de la circulation dans la zone d'aménagement.

2 - Etude des possibilités de réorganisation des courants de circulation et de stationnement

- **suppression du stationnement latéral aux entrées de carrefour**
- **réorganisation des arrêts d'autobus et des stations de taxis.**

- suppression des mouvements tournants parasites
- mise en sens unique de certaines branches de carrefour
- réorganisation des courants de circulation aux carrefours voisins. Etude éventuelle d'un plan de sens unique dans la zone d'étude.
- possibilité d'insertion d'un minisouterrain à double sens où à sens unique.

3 - Intérêt de la mise en place d'un passage souterrain à gabarit réduit.

- Comparaison des réserves de capacité obtenues au carrefour :
 - . dans l'hypothèse d'un aménagement de surface
 - . dans l'hypothèse de la mise en place d'un passage souterrain
- Calcul des réserves de capacité aux carrefours voisins situés en amont et en aval de l'aménagement.

4 - Etude de rentabilité

Calcul du taux de rentabilité immédiate de l'aménagement.

II - COMPOSITION DU DOSSIER OUVRAGE D'ART

- 1 - Plan de situation (le même que le plan A1 du dossier circulation)
- 2 - Plan général au 1/200ème de la situation actuelle (chaussées, trottoirs, habitations ; position des feux de carrefour, des passages de piétons, bouches d'égouts, supports d'éclairage public et autres témoins de réseaux divers). Ce plan peut être le même que le plan A2a du dossier circulation.
- 3 - Plan général de la situation après réalisation de l'ouvrage : Ce plan indiquera notamment, de façon précise, le tracé des réseaux divers existant dans la zone du carrefour, ainsi que le nouveau tracé de ceux qui auront dû être déplacés pour permettre la construction du passage souterrain. Il peut être le même que le plan A2b du dossier circulation.
- 4 - Profil en long des voies passant dans le souterrain, sur lequel on rappellera la proximité éventuelle de certains réseaux, et où l'on portera indication de la nature des sols et de la présence éventuelle d'une nappe phréatique. Il sera souhaitable qu'il permette d'apprécier quelle serait l'épaisseur maximale de revêtement sur l'ouvrage dans le cas où le recours à la préfabrication conduirait à retenir un extradoss plan.
- 5 - Coupe en travers du souterrain et de ses voies latérales, montrant la structure et les caractéristiques approximatives des éléments (traverse, piédroits avec leur fondation), et portant l'indication des divers équipements : chaussées, drainage de la chaussée des voies inférieures, bordures, éclairage).

- 6 - Schémas d'organisation du chantier pendant les travaux, montrant en particulier les possibilités de maintien de la circulation des véhicules et des piétons et tenant compte pour cela de la place occupée par la fouille et les engins de manutention.
- 7 - Note de synthèse, venant à l'appui des dessins et schémas précédents, et les complétant sur les points suivants :
 - sujétions particulières pouvant conduire à une modification des dimensionnements standard donnés par le dossier-guide (choix des gabarits en hauteur et largeur, nature des circulations sur la traverse, nature des sols de fondation, niveaux de la nappe).
 - indication des conditions particulières de date et des conditions d'exécution.
 - choix d'une technique de construction
 - estimation sommaire du coût de l'ensemble de l'opération
 - modalités proposées pour le financement des dépenses d'investissement et celui des dépenses ultérieures d'exploitation (participation des collectivités locales)

III - COMPOSITION DU DOSSIER EQUIPEMENTS

A - PLANS

1 - Signalisation

Plan du carrefour et des voies d'accès au 1/200ème

On indiquera la position de la signalisation verticale et de la signalisation horizontale.

2 - Eclairage

Plan général de l'implantation de l'éclairage en surface, dans les trémies et dans le tunnel

B - RAPPORT

1 - Signalisation

Fonctionnement du système de signalisation
Explication des modifications apportées au projet-type défini dans le dossier 2 - 3

2 - Eclairage

- . Emplacement des luminaires, alimentation, entretien
- . Indications sur l'éclairage de nuit et l'éclairage de jour.

3 - Devis estimatif de la signalisation et de l'éclairage

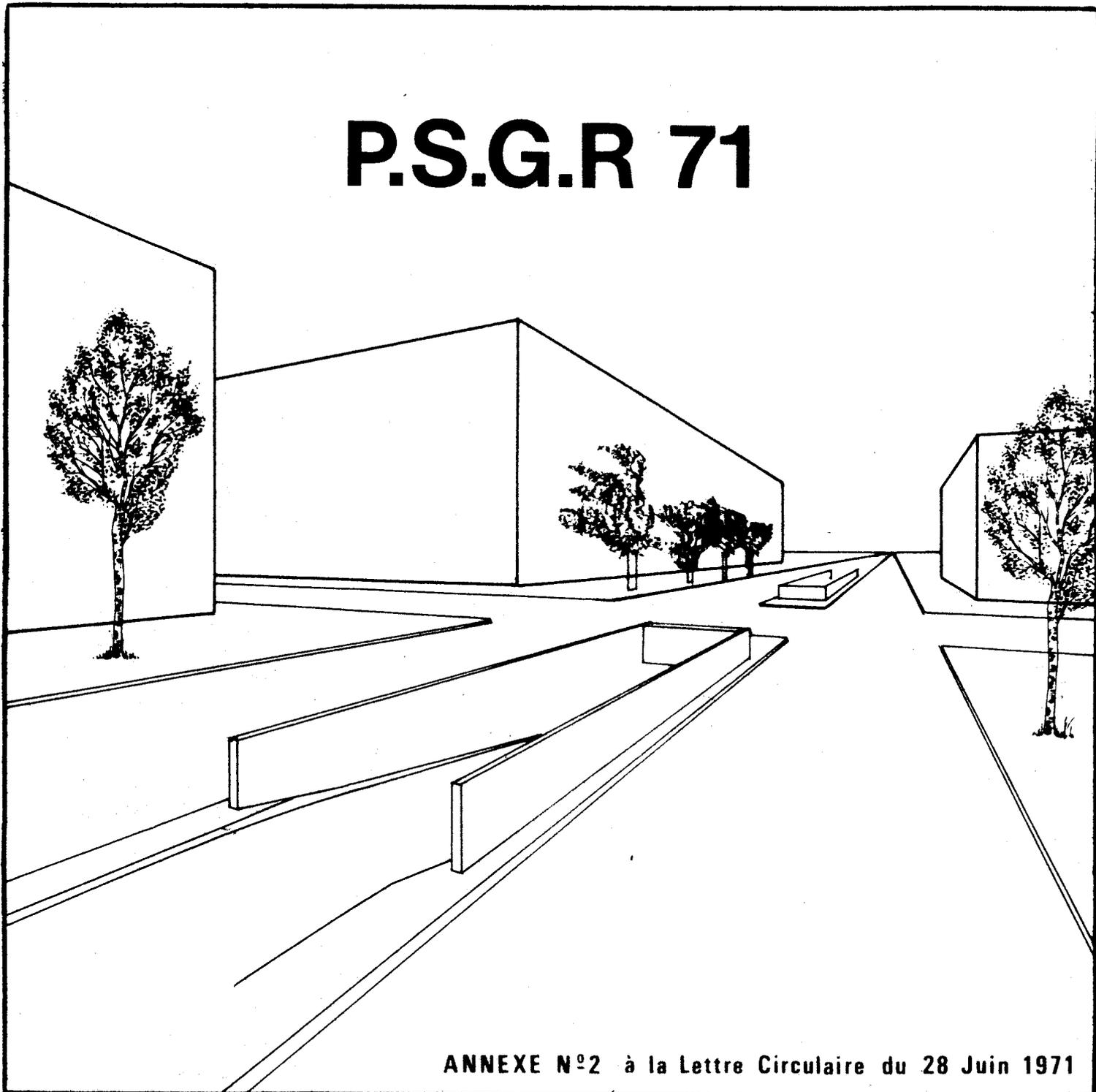
4 - Modalités proposées pour le financement des dépenses d'investissement et celui des dépenses ultérieures d'exploitation (participation des collectivités locales).

PASSAGES SOUTERRAINS A GABARIT REDUIT.

DOSSIER GUIDE 2. DISPOSITIONS TECHNIQUES



P.S.G.R 71



ANNEXE N°2 à la Lettre Circulaire du 28 Juin 1971

2.1 - exposé général sur les dispositions techniques

2.2 - fiches descriptives de passages souterrains à gabarit réduit réalisés à Toulouse, Orléans et Paris-Etoile

2.3 - dessins-type de signalisation

2.4 - profils en long et diagrammes de visibilité

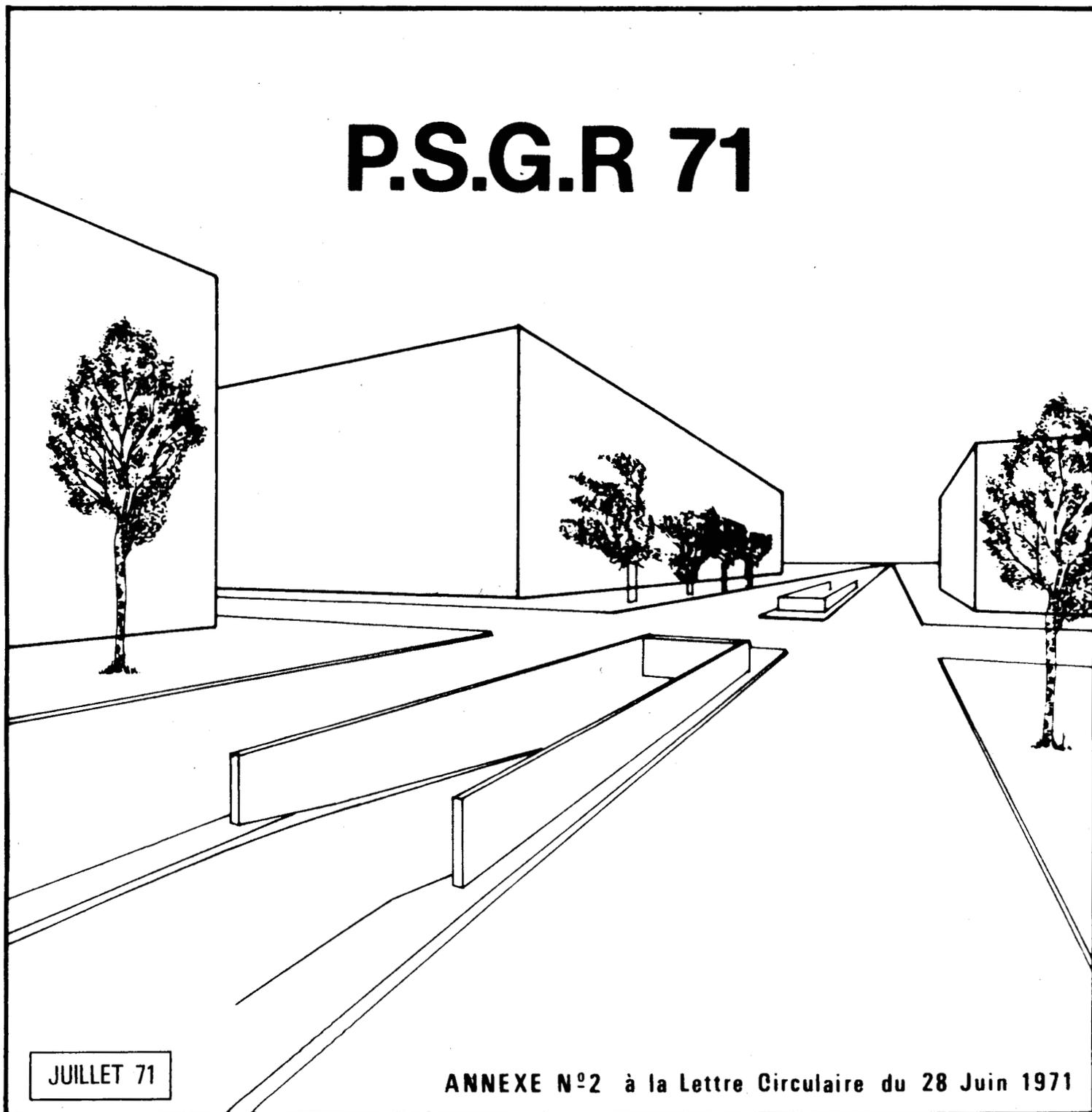
2.5 - vue perspective d'un ouvrage

PASSAGES SOUTERRAINS A GABARIT REDUIT.



2.1 DOSSIER GUIDE EXPOSE GENERAL DES DISPOSITIONS TECHNIQUES

P.S.G.R 71



JUILLET 71

ANNEXE N°2 à la Lettre Circulaire du 28 Juin 1971

MINISTERE DE L'EQUIPEMENT ET DU LOGEMENT
Direction des Routes et de la Circulation routière

S O M M A I R E

introduction

1 - Conditions techniques d'aménagement relatives à la circulation ...	page 2
1.1 - tirant d'air	page 2
1.2 - limitation de vitesse	3
1.3 - profils en travers	3
1.4 - profils en long	4
1.5 - signalisation	6
1.6 - éclairage	7
1.7 - ventilation	9
1.8 - chaussée sous l'ouvrage ...	9
2 - Dispositions techniques relatives à la fonction ouvrage d'art ...	page 12
2.1 - analyse de l'ouvrage	12
2.2 - facteurs déterminants	15
2.3 - ouvrages standard	15
2.4 - conditions non standard ...	16
2.5 - la réalisation	20
2.5.1 - introduction	
2.5.2 - les sujétions	
2.5.3 - déplacements de canalisations ...	21
2.5.4 - les procédés de constructions ...	21
3 - Estimation du coût total d'une opération	page 27
3.1 - coût de construction	27
3.2 - cadre général pour l'estimation	31

DISPOSITIONS TECHNIQUES RELATIVES AUX PASSAGES SOUTERRAINS
A GABARIT REDUIT

INTRODUCTION :

Avec l'accroissement du nombre de véhicules et le développement des villes, la circulation urbaine connaît de plus en plus les problèmes d'ordre topologique que pose le croisement d'axes routiers à forte densité de circulation automobile, et dont la solution la plus radicale consiste à déniveler les deux courants.

Le passage en souterrain d'une des circulations aboutissant à un carrefour, limité à la fraction de cette circulation ayant un gabarit inférieur à une hauteur donnée, est une solution mixte qui relève à la fois des techniques de croisement par feux, et des techniques de croisement à niveaux séparés. Dans les chapitres qui suivent, on trouvera des indications sur les conditions techniques d'aménagement dans ces passages souterrains à gabarit réduit, conditions qui peuvent être classées en trois rubriques :

1. Dispositions relatives à la fonction circulatoire :

Elles traitent des aspects propres à l'utilisation du souterrain par l'utilisateur (gabarit en hauteur et en largeur, vitesse de référence, signalisation, éclairage).

2. Dispositions relatives à la stabilité des ouvrages

elles traitent de l'ouvrage en tant que dispositif assurant en permanence un service donné, et dont les caractéristiques de résistance et de longévité doivent être déterminées en conséquence.

3. Dispositions relatives à la réalisation des ouvrages

il s'agit là d'attirer l'attention sur les divers modes de réalisation d'opérations de ce type, sur les délais et les coûts correspondants.

1. CONDITIONS TECHNIQUES D'AMENAGEMENT RELATIVES A LA FONCTION CIRCULATION

Les passages souterrains à gabarit réduit seront réservés aux véhicules immatriculés.

Deux niveaux de service, appelés respectivement A et B, sont définis dans les paragraphes qui suivent. Pour diverses raisons d'homogénéité et de standardisation, on ne doit pas adopter de niveau intermédiaire, ni mêler en un même ouvrage des caractéristiques de ces deux niveaux de service. On ne doit pas non plus réaliser sur un même itinéraire des ouvrages de gabarits différents, et il paraît déconseillé d'adopter des gabarits différents à l'intérieur d'une même agglomération.

1.1 Hauteur maximale autorisée des véhicules

Le tableau suivant définit deux gabarits réduits, désignés par A et B. On y a distingué :

- La hauteur maximale autorisée (pour les véhicules). C'est la valeur qu'indiqueront les panneaux de signalisation.
- La hauteur libre réelle correspondante.

	A	B
gabarit autorisé	1,90	2,60
hauteur libre réelle	2,00	2,75

Le choix du gabarit (A ou B) sera cas d'espèce. Il dépend en effet des conditions locales de circulation et de l'encombrement du sous-sol :

- l'interdistance entre deux carrefours successifs importants détermine la longueur maximale totale des ouvrages dénivelés (trémies et passages couverts) compte tenu d'une longueur d'entrecroisement indispensable (150m minimum). Dans certains cas limites, le respect des caractéristiques minimales pour le profil en long imposera le gabarit A ; avec des carrefours trop rapprochés, l'implantation d'un P.S.G.R. ne sera quelquefois même plus possible.
- de même l'encombrement du sous-sol (densité des réseaux souterrains : eaux, gaz, électricité, téléphone...) peut rendre prohibitif l'emploi du gabarit de type B.

1.2 - Limitation de vitesse

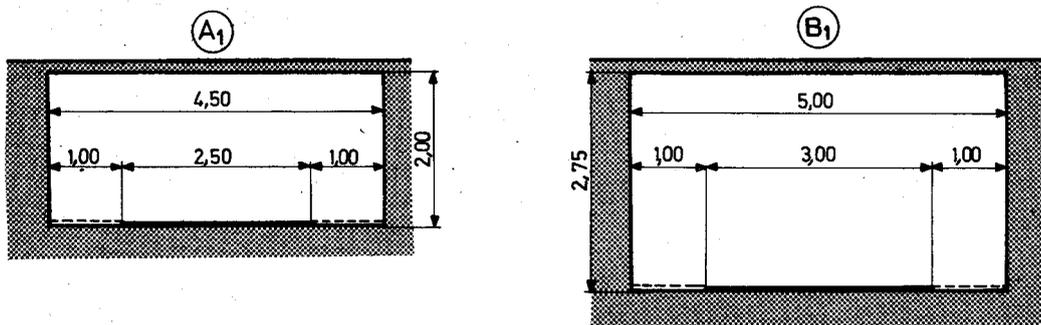
La vitesse de circulation étant normalement limitée en agglomération à 60 km/h, c'est cette valeur qu'il faut, dans la mesure du possible, prendre pour base de la détermination des caractéristiques minimales du profil en long d'un passage souterrain à gabarit réduit. On pourra néanmoins être conduit à limiter la vitesse à une valeur plus basse lorsque la place disponible pour les trémies sera limitée. Nous donnerons plus loin les caractéristiques minimales des profils en long correspondant à des vitesses de 60 km/h et 40 km/h.

1.3 - Profils en travers

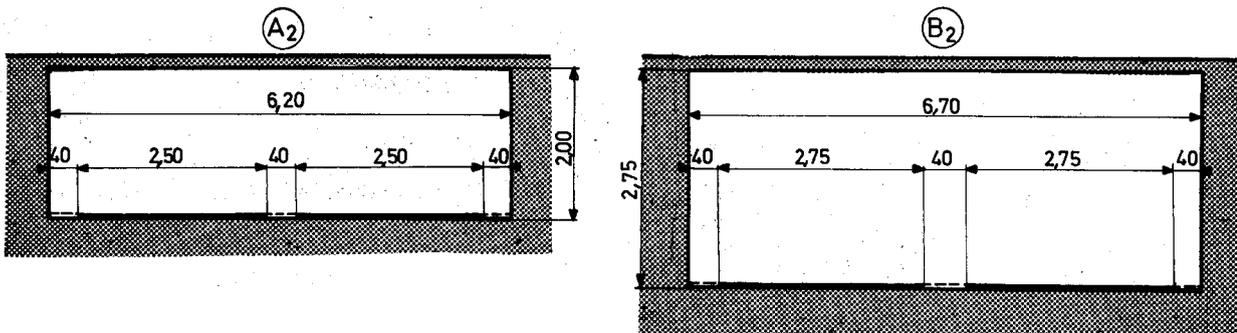
On distinguera les souterrains à une voie ou à deux voies.

1.3.1 - Souterrain à une voie

Dans un passage de ce genre il est nécessaire de disposer une bande d'arrêt d'urgence, pour assurer le passage des véhicules à côté d'un véhicule en panne. Cette condition détermine l'ouverture totale et conduit à des souterrains de caractéristiques transversales très larges pour la circulation normale.



1.3.2 - Souterrain à deux voies



On remarquera que la largeur des voies de circulation est réduite par rapport aux minima des normes relatives aux routes, autoroutes et voies rapides urbaines; cette réduction est normale et tient compte des caractéristiques des véhicules qui doivent emprunter ces voies.

Les dispositions ci-dessus permettent d'autre part à l'automobiliste de circuler dans de bonnes conditions psychologiques : la voie qu'il emprunte est bordée, sur sa droite, d'une bande de guidage qui évite un effet de paroi trop prononcé, et sur la gauche, d'une bande séparatrice (cas des passages bi-directionnels) très "sécurisante" vis-à-vis des véhicules qu'il peut croiser.

Ces largeurs et les distributions des voies correspondantes ne sont valables que pour des souterrains droits; en cas de courbure en plan, des surlarges seront quelquefois nécessaires, pour conserver une bonne visibilité.

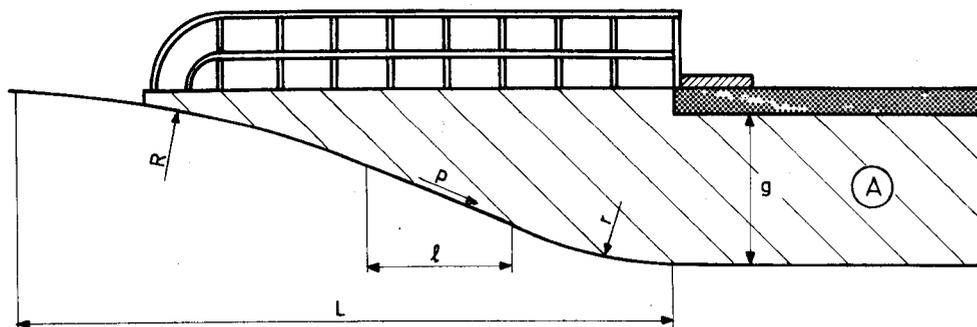
1.4 - profil en long

De la même manière, le profil en long des voies qui passent dans le souterrain peut avoir des caractéristiques plus serrées, compte tenu de la vitesse et du gabarit limités, que les minima définis par les normes habituelles.

Le profil en long de l'accès à un passage souterrain à gabarit réduit normalisé se compose de trois parties :

- à partir d'un certain point sur la chaussée de l'itinéraire aboutissant au carrefour, une courbe dont la concavité est vers le bas, par exemple un arc de cercle de rayon R .
- un segment d'une tangente à la courbe précédente, ayant une pente p , et une projection horizontale de longueur ℓ .
- un arc de cercle de rayon r .

La dénivellation obtenue, entre les points à tangente horizontale des deux arcs de cercle, doit être égale à la différence de cote entre la chaussée supérieure sur l'ouvrage et la chaussée du passage souterrain.



Dans le souci de permettre le mieux possible l'insertion d'un passage souterrain à gabarit réduit dans le tissu des artères et du sous-sol urbains, il est souhaitable de réduire au strict minimum, compatible avec la sécurité et le confort des usagers, la longueur totale des ouvrages, trémies comprises. On trouvera dans les paragraphes suivants et dans la pièce 2.4 du présent dossier les dispositions à adopter normalement. Précisons toutefois que les dispositions indiquées supposent que l'ouvrage est implanté dans un terrain à peu près plat ; elles seront à adapter si on veut implanter un PSGR dans une voirie en pente notable.

1.4.1 - rayon R minimal en point haut du profil en long

Ce rayon est déterminé par la condition suivante : il faut qu'un véhicule arrivant à la vitesse maximale autorisée (60 km/h, ou exceptionnellement 40) ait toujours une distance de visibilité supérieure à sa distance d'arrêt.

Cette condition a été détaillée et exprimée comme suit : elle doit s'appliquer au cas où l'obstacle est constitué par un autre véhicule, supposé circulant devant et dans la même direction, et qui freine à 0,5 g ; le véhicule qui suit doit pouvoir découvrir cet obstacle à une distance suffisante pour pouvoir éviter une collision, au prix d'une décélération de 0,2 g au maximum ; la distance de visibilité est calculée en supposant que l'obstacle est considéré comme vu dès que l'on voit son toit, et que ce toit est à 1,20 m au-dessus du sol. De plus, on a choisi comme borne inférieure, pour une question de confort, les valeurs de 500 mètres à 60 km/h (et 400 mètres pour 40 km/h).

1.4.2 - rayon minimal en point bas

On a adopté le rayon de 300 m, qui est apparu à l'expérience acceptable pour une vitesse de 60 km/h. Si la vitesse doit être réduite à 40 km/h on prendra 200 m.

1.4.3 - pente maximale

On peut accepter une valeur assez élevée, à condition qu'elle ne règne que sur une faible longueur.

1.4.4 - profils types

Le tableau ci-après indique la composition normale du profil en long des trémies d'un PSGR par rapport à un terrain à peu près plat. Ces dispositions ont été déterminées pour l'entrée sous l'ouvrage. En règle générale, même pour les ouvrages unidirectionnels, il sera inopportun d'envisager les dispositions différentes du côté de la sortie.

Vitesse maximale autorisée	V(km/h)	60 km/h	(cas normal)	40 km/h	(cas exceptionnel)
Niveau de service (gabarit autorisé)		GABARIT A	GABARIT B	GABARIT A	GABARIT B
Rayon en point haut	R (m)	500	650	400	400
Rayon en point bas	r (m)	300	300	200	200
Pente maximale instantanée	p (%)	7,6	8,0	8,8	10,10
Dénivellation de la chaussée du P.S.G.R. par rapport à la chaussée en section courante	d (m)	2,30	3,05	2,30	3,05
Longueur sur laquelle s'effectue cette dénivellation	L (m)	61	76	53	61
Pente moyenne du dispositif	pm (%)	3,8	4,0	4,4	5,0
Longueur du raccordement rectiligne de profil en long entre les deux courbes	ℓ(m)	0	0	0	0

1.5 - Signalisation

Le gabarit réduit ainsi que les caractéristiques du profil en long nécessitent une signalisation particulière.

Les problèmes que cette signalisation doit résoudre sont les suivants :

- annoncer la proximité du passage souterrain et de son gabarit réduit, et indiquer clairement quelle(s) file(s) de circulation y mène(nt).
- faire ralentir (éventuellement) les véhicules qui se sont engagés dans la (ou les) file(s) menant au souterrain.
- déceler les véhicules hors gabarit, et leur proposer une sortie de la filière avant le début de la trémie. Si ce contrôle du gabarit en hauteur est primordial pour le niveau de service A, par contre il l'est moins pour le gabarit B, et la signalisation correspondante a pu être allégée dans ce dernier cas.

Nous examinerons ci-après l'application de cette analyse au cas (qui sera sans doute le plus fréquent) d'un souterrain bidirectionnel à deux voies. Les dispositions correspondantes sont représentées sur les pièces 2.3.1 et 2.3.2 du présent dossier.

1.5.1 - Cas du gabarit A (pièce 2.3.1)

a) - Présignalisation

On trouve tout d'abord, lorsqu'on s'approche d'un carrefour équipé d'un minisouterrain, un portique de présignalisation (A) indiquant d'une part que la file de gauche conduit à un passage souterrain d'un gabarit réduit en hauteur et éventuellement à vitesse limitée (panneau 1), d'autre part que les files de droite mènent à tout (panneau 3).

b) - Signalisation

On trouve ensuite une section d'entrecroisement le long de laquelle les véhicules hors gabarit vont se déplacer vers les files de droite, cependant que les véhicules légers, désirant passer en souterrain, resteront ou se mettront sur la file de gauche.

A la fin de la section d'entrecroisement débute la section de contrôle de la circulation destinée au souterrain. On y trouve tout d'abord une potence de signalisation (B) rappelant que le gabarit est limité, ainsi qu'un caisson lumineux indiquant par une flèche verte que l'on peut emprunter la voie d'accès au passage souterrain.

Une commande à main permet de fermer la voie d'accès en cas d'accident ou pour l'entretien du tunnel. Dans ce cas, la flèche verte s'éteint en (B) et une croix de St. André s'allume.

Simultanément sur le portique (A) le panneau 1 est remplacé par le panneau 2 qui indique aux usagers qu'ils doivent se rabattre vers la droite.

c) - Contrôle du gabarit

Sur la voie d'accès au tunnel, qui est séparée de la circulation générale par un îlot de 1 m de large, est placé un détecteur de véhicules hors gabarit (C) constitué de cellules photoélectriques. La potence (C) porte également des plaques de caoutchouc que les véhicules hors gabarit heurtent, ce qui permet d'avertir le conducteur.

Lorsque le détecteur enregistre le passage d'un véhicule hors gabarit, une minuterie est déclenchée et le panneau (D) allumé.

Le panneau (D) se trouve juste après l'interruption de l'îlot séparateur et indique au véhicule qu'il doit dégager par cette sortie.

Sur la potence (D) se trouvent également un panneau rappelant que la hauteur est limitée et un panneau interdisant l'accès du souterrain aux véhicules non immatriculés.

A l'entrée de la trémie on trouve enfin un gabarit métallique articulé autour d'un axe horizontal, supporté par un portique (E) et un panneau interdisant l'accès du souterrain aux piétons.

1.5.2 - Cas du gabarit B (pièce 2.3.2)

a) - Présignalisation

On trouve tout d'abord un portique (a) indiquant d'une part que la file de gauche conduit à un passage souterrain d'un gabarit réduit en hauteur et à vitesse éventuellement limitée, d'autre part que les files de droite mènent à tout.

b) - Signalisation

Après une section d'entrecroisement, débute la (les) voie(s) d'accès au souterrain. On y trouve une potence (b) portant le panneau : "hauteur limitée à 2,60 m" rappelant éventuellement que la vitesse est limitée, comportant une cellule de détection des véhicules hors gabarit, et munie également de plaques de caoutchouc.

La sortie d'urgence est balisée par un panneau (c) indiquant : "hors gabarit déviation obligatoire", dont l'allumage est commandé par la cellule placée en (b) ; on trouve aussi les panneaux : "hauteur limitée à 2,60 m" et "interdit aux cycles et cyclomoteurs"

N.B. Dans le cas d'une chaîne de minisouterrains, on n'oubliera pas qu'il est nécessaire d'installer des panneaux de signalisation (gabarit et éventuellement vitesse) et des dispositifs de contrôle du gabarit non seulement au début de la chaîne, mais aussi à chaque entrée prévue en un point intermédiaire.

1.6 - Eclairage

Le passage souterrain doit être éclairé la nuit : toute étude, même préliminaire, d'un passage souterrain à gabarit réduit, comportera donc une analyse des conditions dans lesquelles des luminaires pourront être installés (réservations dans les ouvrages de génie civil), alimentés, et entretenus.

Un autre problème doit lui aussi être traité dès les stages préliminaires des études : celui de l'éclairage diurne.

Voici quelques conseils sur ces diverses questions :

1.6.1 - emplacement des luminaires

Les dispositifs d'éclairage sont variés. La galerie qui lui est consacrée, au passage souterrain de l'Etoile, est une solution qui peut paraître luxueuse, mais qui est justifiée dans le cas d'espèce, d'abord par la latitude dont le projeteur disposait, sachant que le chantier ne serait pas tenu d'être le plus étroit possible, ensuite par les avantages procurés : entretien indépendant de la circulation, nettoyage facile (grande glace).

Dans le cas, qui sera sans doute plus fréquent, où le passage souterrain à gabarit réduit sera implanté au milieu d'un carrefour urbain, l'éclairage sera fourni par des appareils placés dans les coins supérieurs du souterrain, de façon à ne réduire ni le gabarit en hauteur, ni la largeur disponible.

Il faut également penser à l'exploitation ultérieure, et prévoir des appareils robustes et d'entretien simple.

1.6.2 - l'éclairage de jour

La question est délicate et importante : en effet, il n'est pas douteux que, dès que la partie couverte a une longueur voisine de 15 mètres (a fortiori au delà), il existe, entre deux zones d'extrémité, une zone centrale où la luminance est faible à comparer de celle que possèdent les extrémités; il se produit donc, pour l'automobiliste, un effet de trou noir, ou plus exactement de "cadre noir" (puisqu'en général, il aperçoit l'autre extrémité); et il y a donc un risque, dans la mesure où l'automobiliste peut découvrir trop tard un objet situé dans la bande sombre de la chaussée.

Il semble donc nécessaire de prévoir un éclairage artificiel, lorsque la longueur de la partie couverte dépasse une quinzaine de mètres. La fixation du niveau de luminance que doit produire cet éclairage n'est pas simple, d'autant que l'on dispose de peu de précédents sur le cas des tunnels dits "courts" (c'est-à-dire en réalité suffisamment courts pour que l'automobiliste puisse voir la sortie avant de passer l'entrée) et en même temps de gabarit réduit. Il faut trouver un compromis entre un éclairage trop faible (qui n'apporte pratiquement rien, car l'oeil de l'automobiliste n'aura pas le temps de s'adapter à un niveau trop bas de luminance) et un éclairage trop puissant, qui coûtera cher. Malheureusement, il n'y a pas de solution-miracle, et il semble acquis que la plupart des passages souterrains à gabarit réduit de longueur couverte égale ou supérieure à 20 mètres produiront un effet de "cadre noir". A titre indicatif, signalons que pour obtenir une luminance de 500 candela par mètre carré (luminance théoriquement nécessaire dans la zone du cadre noir, et égale au 1/10^e environ d'une luminance extérieure courante par beau temps), il faudrait réaliser une installation donnant un éclairement voisin de 8 000 lux.

Nous pensons que l'on peut se contenter de produire un éclairement d'au moins 500 lux à l'entrée du tunnel, valeur que l'on pourra réduire progressivement au delà de 20 ou 30 mètres (si le tunnel est nettement plus long). C'est ce qui a été réalisé au minisouterrain de Toulouse, y donnant satisfaction.

Les spécialistes du Centre national d'étude des tunnels, que l'on consultera utilement sur le sujet, sont d'avis que ce niveau d'éclairement (entre 500 et 800 lux) peut effectivement être considéré comme strictement minimal, à condition toutefois que deux conditions soient impérativement respectées :

1. réalisation de la luminance la plus faible possible au niveau des accès, par l'adoption d'une chaussée, de garde-corps et d'un fronton très sombres dans la trémie d'accès.

2. réalisation à l'intérieur de l'ouvrage, des revêtements et d'une chaussée aussi claire que possible.

Les dispositions suivantes sont à rechercher, car elles diminuent l'importance du phénomène, et la puissance de l'installation nécessaire :

- dès que le souterrain devient long (au delà de 15 mètres), rechercher s'il n'est pas possible de supprimer la traverse sur un ou deux mètres vers le milieu de la longueur, de façon à bénéficier d'un éclairage naturel.
- veiller à assurer une propreté satisfaisante des parois dans la partie couverte, car l'accumulation de poussières et les projections de toute sorte produisent à la longue une baisse sensible de la luminance, pour un éclairage donné (ceci est valable également pour les luminaires).

1.7 - Ventilation

La ventilation naturelle sera suffisante pour tous les cas courants (souterrains de faible longueur). Par contre, il convient d'être très attentif aux conditions de ventilation lorsque la longueur de la partie couverte dépasse 30 mètres, et qu'en même temps l'ouvrage est destiné à être régulièrement congestionné (par exemple si la sortie débouche sur un carrefour à feux) : une ventilation artificielle devient alors nécessaire, par exemple par de petits accélérateurs. On consultera utilement les spécialistes du Centre national d'étude des tunnels.

1.8 - Chaussée sous l'ouvrage

Les chaussées dans les passages souterrains à gabarit réduit et dans leurs trémies d'accès posent deux catégories principales de problèmes, liées respectivement au gabarit réduit du souterrain et au profil en long de ses accès. On retrouve aussi les problèmes des chaussées à l'air libre ; mais certains paramètres, variables selon les caractéristiques du souterrain, y prennent une importance particulière. Enfin il convient de tenir compte de la structure de l'ouvrage d'art et des conditions d'exécution du chantier.

C'est en fonction de toutes ces considérations que le projeteur aura à choisir le type et le dimensionnement de la chaussée.

1.8.1 Problèmes liés au gabarit du souterrain

Gabarit A

- Ce gabarit très réduit (1m90) ne laisse passer pratiquement que les voitures légères (les poids lourds des catégories g,h,j, du recensement de 1965 en sont exclus) ; les actions agressives des essieux lourds sont donc presque inexistantes et l'on dimensionnera la chaussée pour qu'elle présente de façon durable une couche de bonne résistance à l'action de l'eau, de freinage fréquents et des pneus à clous.

- La plupart des engins de travaux publics (camions-bennes, finisseurs, compacteurs à pneus) ne peuvent travailler sous ce gabarit. Chaque fois que cela sera possible il sera souhaitable de travailler à l'air libre. Dans le cas fréquent où l'on sera obligé de travailler en souterrain, on devra éviter toute mise en oeuvre manuelle qui, ne permettant pas de confectionner une chaussée correcte, conduirait souvent, dans des délais très courts à des désordres importants nécessitant une réfection quasi totale.

Gabarit B

- Ce gabarit laisse passer une grande partie du trafic lourd. Les diverses couches sont donc à dimensionner en conséquence. On aura intérêt à surdimensionner en raison des possibilités limitées de renforcement ou de déviation de trafic.

- La plupart des engins de travaux publics pourront travailler. On peut donc mettre en oeuvre dans des conditions plus normales et faire appel à des structures de types plus variés.

1.8.2 Problèmes liés au profil en long

Les conséquences d'un profil en long généralement très tourmenté seront nettement aggravées par le caractère urbain de la circulation.

- La visibilité limitée et la densité élevée de la circulation engendreront des freinages fréquents et brutaux. Compte tenu en sus de la forte pente maximale du profil en long, il est essentiel d'obtenir une excellente adhérence et une bonne rugosité (coefficient de frottement longitudinal 0,5, profondeur au sable de 0,4 mm à 0,8 mm), et ce de façon durable.

- Les matériaux mis en place sont soumis à un gradient thermique faible l'été, mais plus brutal l'hiver (salage systématique), et une hygrométrie permanente généralement élevée.

- Les faibles rayons du profil en long et surtout sa forte pente maximale rendront relativement difficile l'obtention de très bons profils de revêtement.

1.8.3 Autres paramètres importants

- La largeur des voies étant réduite, le trafic est fortement canalisé et use beaucoup plus rapidement les revêtements.

- On rencontre fréquemment en site urbain un sol hétérogène encombré de divers réseaux souterrains et remanié par des travaux antérieurs.

Au total tous les problèmes énumérés ci-dessus mettent en relief le rôle important de la couche de roulement et soulignent tout l'intérêt qui s'attache à un surdimensionnement de la chaussée.

1.8.4 Influence de la structure de l'ouvrage

- Le cas qui se présentera le plus fréquemment est celui de la structure en portique ouvert ; la chaussée a alors besoin, sur la plus grande partie de sa largeur, d'une couche de fondation (15 à 20 cm de béton maigre) ; pour les revêtements, on peut envisager une couche de béton, d'enrobés, ou de l'asphalte coulé clouté ; par exemple :

15 cm de béton de chaussée

ou

8 cm de béton bitumineux

ou

3 cm d'asphalte coulé clouté sur 5 cm de béton bitumineux.

Si l'on désire améliorer la luminance, on pourra utiliser des granulats spéciaux (silex calciné) ou du bitume pigmentable.

Si exceptionnellement on devait réaliser un cadre fermé, avec un niveau de traverse inférieure voisin de celui de la chaussée, une couche de surface (par exemple 2cm d'asphalte coulé clouté, ou 6cm de béton bitumineux) serait alors nécessaire.

1.8.5 Quelques conseils pour la mise en oeuvre

La mise en oeuvre est à éviter en temps de pluie, les fortes rampes pouvant amener rapidement beaucoup d'eau en cours de chantier.

On peut envisager de travailler sur toute la largeur : pour canaliser le trafic, des bordures spéciales peuvent être collées par la suite sur la chaussée terminée.

Pour la mise en place d'enrobés ou de béton bitumineux (on utilisera la formule semi-grenue pour faciliter leur mise en oeuvre) il sera parfois possible pour le gabarit A d'envisager l'emploi de certains finisseurs de faible hauteur.

Pour le compactage ; on pourra penser à un démontage éventuel de la cabine de commande, ce qui permettra de se dépanner dans certains cas. Il existe également des cylindres lisses vibrant manuels.

L'asphalte coulé qui ne nécessite pas de compactage pourra également être envisagé au projet.

2. DISPOSITIONS TECHNIQUES RELATIVES A LA FONCTION OUVRAGE D'ART:

Dans ce chapitre, nous décrivons les diverses parties d'un passage souterrain à gabarit réduit, en rappelant leur rôle et les conditions techniques auxquelles elles sont soumises : type de la structure, dimensions géométriques, conditions géophysiques, nature des sollicitations de charge.

Lorsque les conditions géométriques sont bien définies - c'est le but du chapitre 1 de les normaliser -, et pour peu que les autres conditions soient celles que l'on rencontre le plus souvent, on peut définir approximativement les caractéristiques (matériau, dimensionnement) des divers éléments de ces ouvrages que nous qualifierons de standard.

Nous indiquons ensuite quelles adaptations sont à faire à partir de ces caractéristiques standard, pour tenir compte de conditions non courantes (ou, plus simplement, différentes des conditions standard), en matière de sol de fondation notamment.

Les problèmes de réalisation jouent un rôle primordial, et nous y consacrons une place importante; en particulier sont examinés les avantages et sujétions du procédé de préfabrication utilisé à Toulouse.

Toutes indications concernant les estimations sont données au chapitre 3.

Des fiches détaillées, se rapportant à trois ouvrages déjà réalisés (le "minisouterrain" de Toulouse, un passage sous la RN 20 à Orléans, et le souterrain de l'Arc de Triomphe à Paris) constituent la pièce 2.2 du présent dossier.

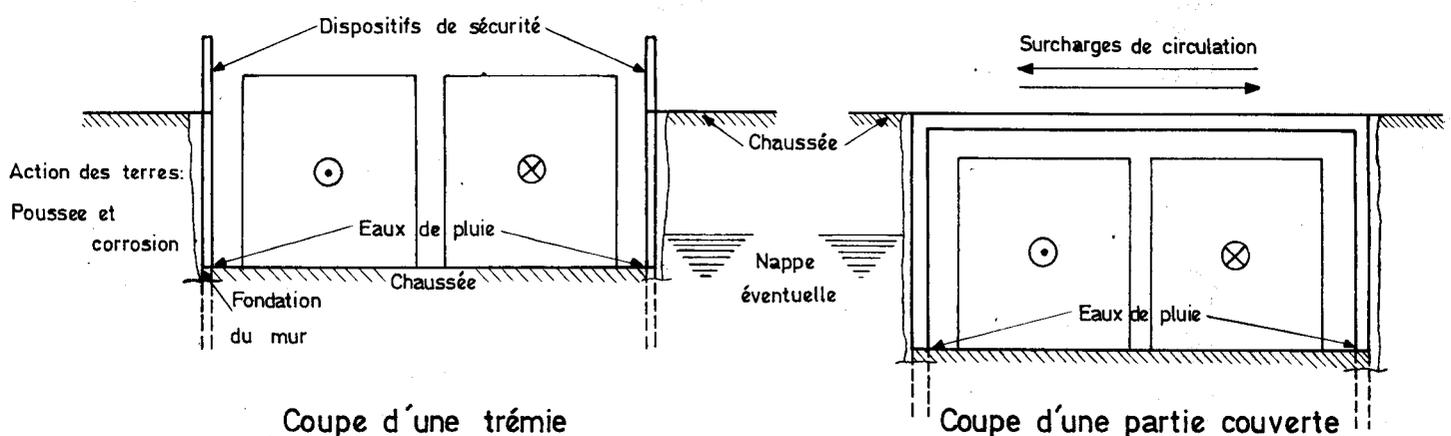
2.1 - Analyse de l'ouvrage

Il comprend deux trémies d'accès, et la partie couverte.

- la trémie est la zone de l'ouvrage le long de laquelle les voies d'accès au souterrain subissent la dénivellation. On y trouvera généralement deux murs de soutènement.
- la partie couverte, de hauteur constante, comporte deux murs (ou piédroits), et un élément de couverture (ou traverse).

La figure 1 schématise, en coupe transversale, ces divers éléments, et rappelle les diverses actions auxquelles ils sont soumis.

Fig 1

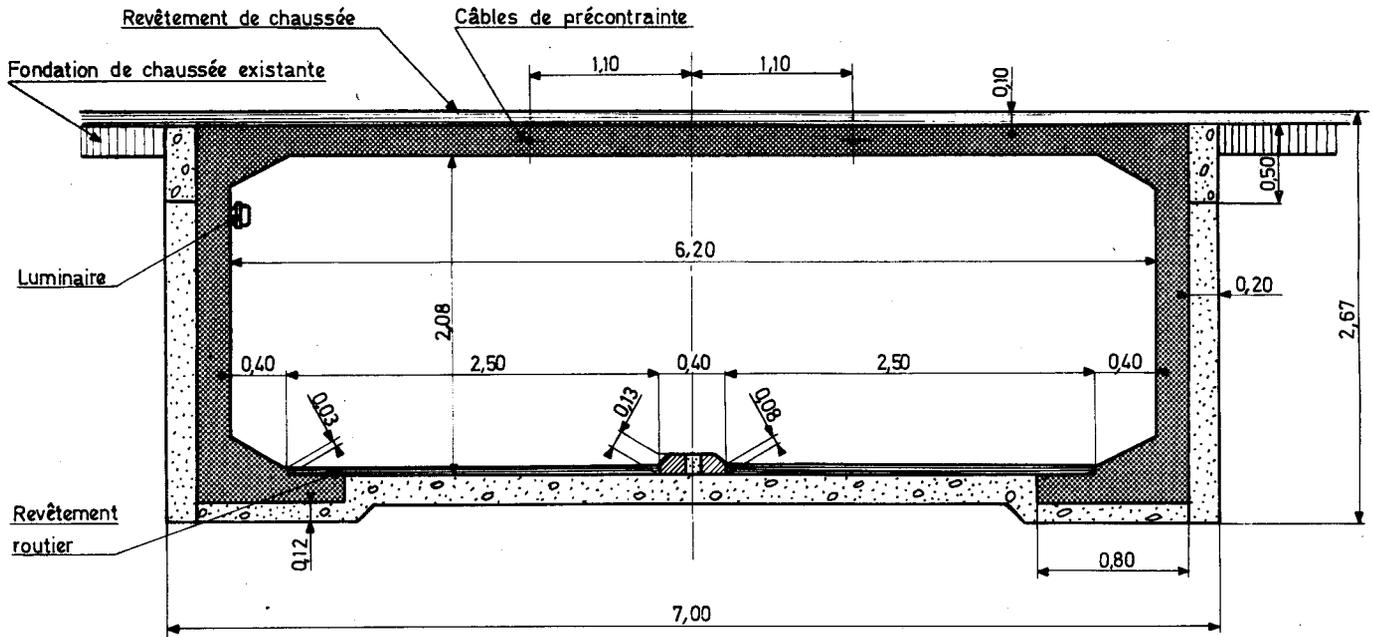


Les figures 2 à 5 montrent quelques exemples de structures, soit effectivement réalisées, soit envisageables, combinant des modes d'exécution courants de ces divers éléments.

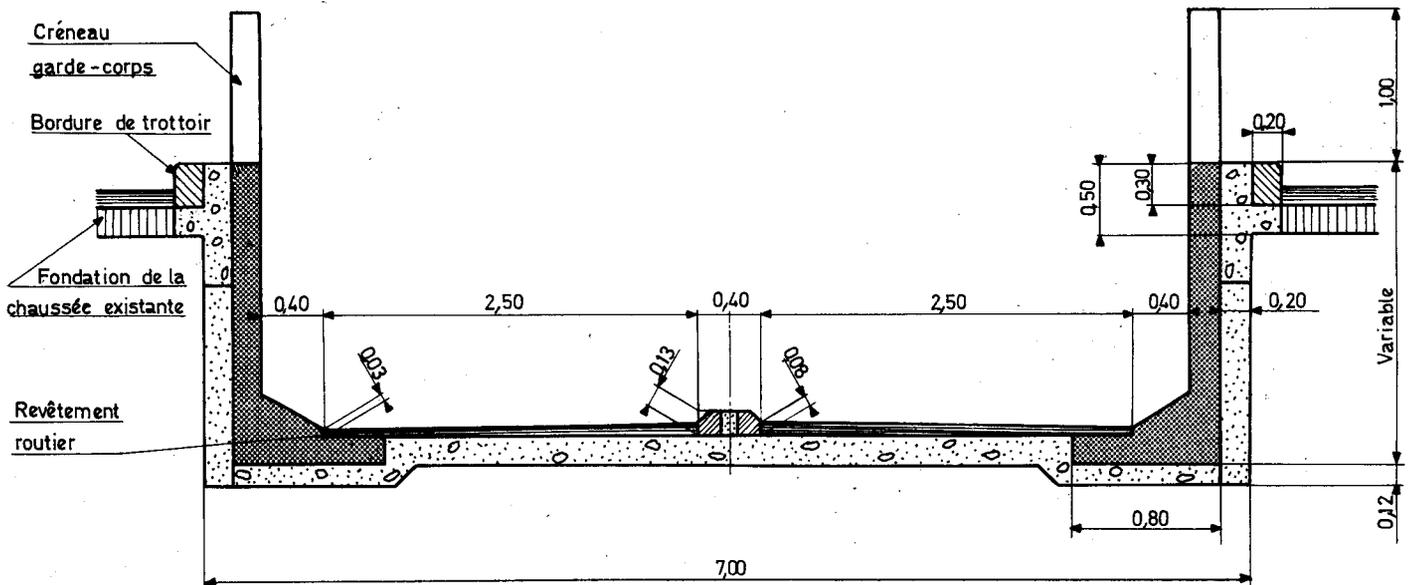
Structure type portique ouvert

Fig 2

COUPE TRANSVERSALE EN SOUTERRAIN



COUPE TRANSVERSALE DE LA TRÉMIE CORRESPONDANTE



Structure type cadre fermé de béton armé

OUVRAGE RÉALISÉ
NON NORMALISÉ

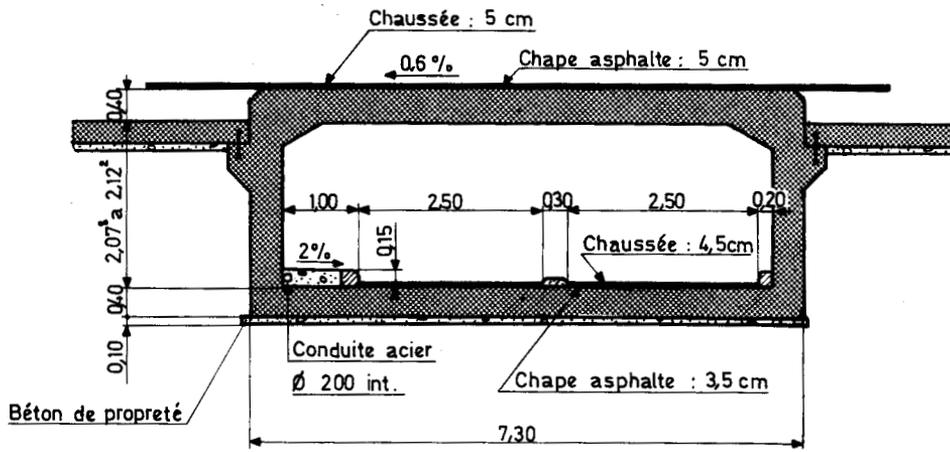


Fig 3

Structure du type paroi moulée et dalle de béton armé

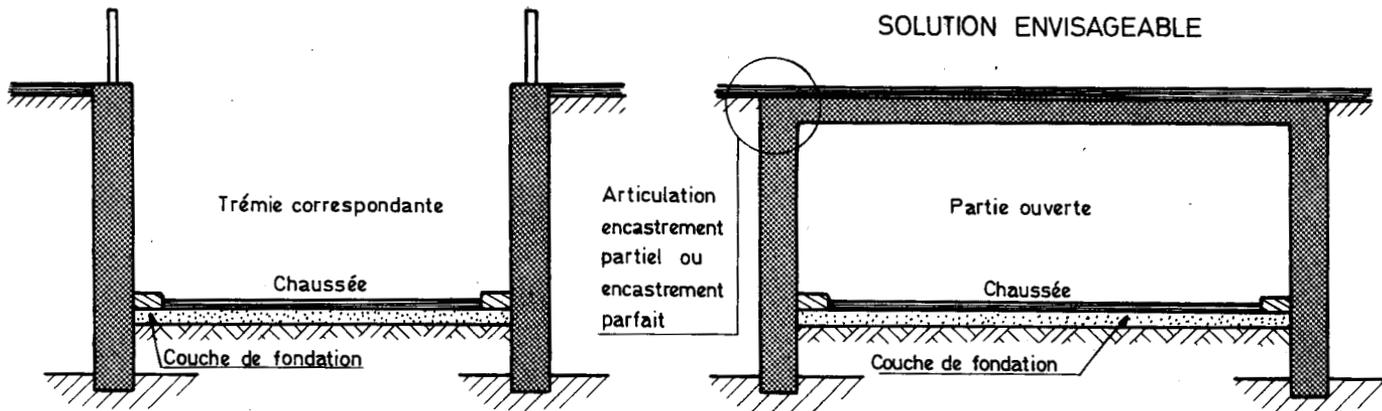


Fig 4

Schéma de passage souterrain utilisant des palplanches comme parois verticales

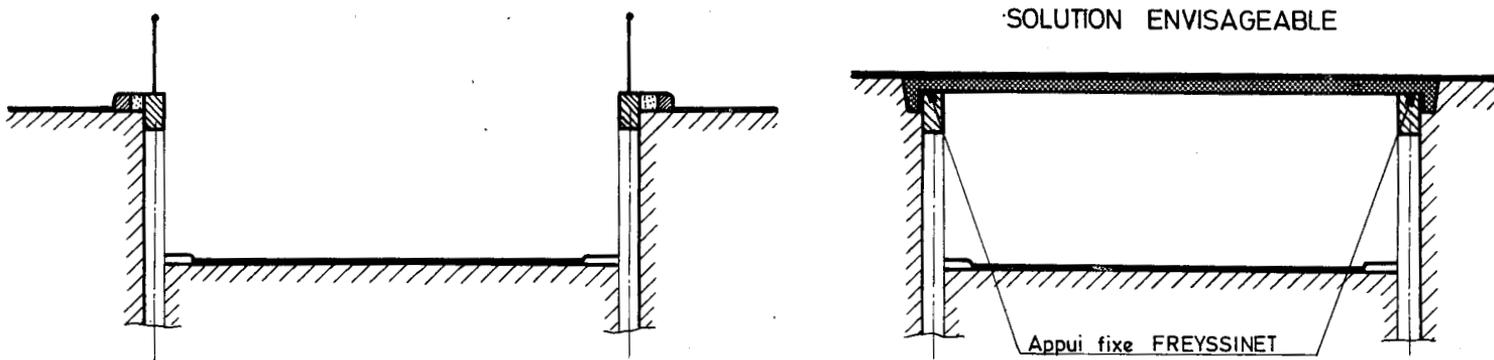


Fig 5

2.2 - Facteurs déterminant les caractéristiques techniques des éléments.

On peut les ranger sous trois rubriques :

- les facteurs dimensionnels, c'est-à-dire les gabarits en hauteur et largeur du souterrain à réaliser.
- les conditions géophysiques locales, c'est-à-dire les qualités du sol dans lequel l'ouvrage est réalisé et sur lequel il doit reposer (valeurs à prendre en compte pour l'action des terres sur les parois verticales, et pour la pression admissible sous les semelles superficielles, par exemple), la présence éventuelle d'eau.
- le parti pris pour la structure et pour son mode d'exécution : en effet les sollicitations produites dans un élément tel que la traverse dépendent de la nature de ses liaisons avec les éléments voisins - ici les piédroits -; de la même manière, les sollicitations peuvent dépendre quelque peu du procédé d'exécution de l'élément lui-même, par exemple de la nature des joints réalisés entre parties préfabriquées d'une traverse ou d'un mur de soutènement; d'autre part, certains procédés d'exécution imposent des minima pour les éléments à construire, l'état d'une technique peut donc être le facteur primordial en matière de dimensionnement (c'est notamment le cas pour les parois moulées dans le sol).

La nature des circulations au niveau supérieur, et plus généralement de l'environnement urbain, peut également avoir une certaine influence sur les caractéristiques de l'ouvrage (éventuels renformis ou couches de remblai, itinéraires militaires de classe élevée ou itinéraires de transports lourds).

2.3.- Les ouvrages normalisés de caractéristiques standard.

Ce sont ces caractéristiques que l'on pourra prendre, dans un avant-projet, lorsque les conditions qui s'appliquent à l'ouvrage ne seront pas sensiblement différentes des conditions (standard) suivantes :

- gabarits en hauteur et largeur normalisés.
- pression admissible 2,5 bar; pas d'eau en nappe au dessus du niveau de la fondation.
- une structure hyperstatique (portique) en dalles de béton armé, supposée fonctionnant de manière isotrope longitudinalement et transversalement.
- pas de remblai sur la traverse ni de surcharge exceptionnelle.

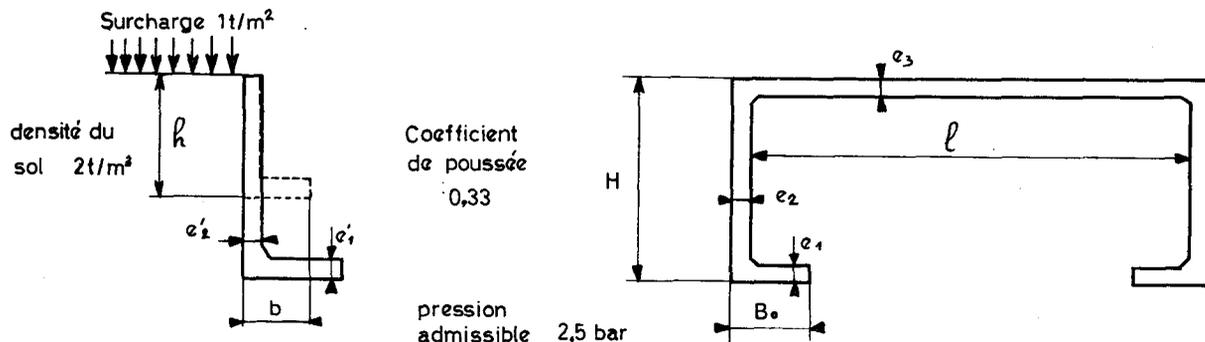


Fig 6

LONGUEURS OU EPAISSEURS (en m)	O U V R A G E S N O R M A L I S E S			
	Profil A1	Profil A2	Profil B1	Profil B2
l	4,50	6,20	5	6,70
H	2,40	2,50	3,20	3,30
B_0	0,80	1,0	0,90	1,10
$e_1=e_2=e_3=e_1'=e_2'$	0,20	0,25	0,20	0,25
hauteur moyenne	1,40		1,90	
b moyen *	1,20		1,50	

* valeur (arrondie) du minimum de largeur capable d'assurer la stabilité générale du mur de hauteur moyenne; les contraintes maximales sur le sol sont, avec cette valeur, nettement inférieures à 25 t/m².

2.4 - Conditions non standard

Examinons quelques cas où il est nécessaire de réviser le dimensionnement précédent.

- le niveau le plus bas de la chaussée inférieure se trouve en dessous du niveau maximal de la nappe phréatique; on est alors conduit soit à modifier la structure pour obtenir un cuvelage étanche (cadre fermé de béton armé), soit à ajouter un dispositif de stockage et de pompage qui permette de maintenir à sec la chaussée (sauf circonstances relativement exceptionnelles, notamment par très forte pluie, où l'on pourra envisager une inondation momentanée). Toutefois une telle éventualité sera une contre-indication très nette vis-à-vis de la réalisation d'un passage souterrain.
- la pression admissible du sol de fondation est assez notablement différente de 2,5 bar : sans modifier les épaisseurs, on évaluera les nouvelles dimensions de la semelle par les formules approximatives suivantes :

a) partie couverte

$$\frac{B}{B_0} = \frac{\omega_0 - \alpha}{\omega - \alpha}$$

avec $\omega_0 = 25 \text{ t/m}^2$ (valeur standard)
 $\omega =$ pression admissible (en t/m²)
 $\alpha = 2,5 \text{ e t/m}^2$
 e désigne la valeur commune de $e_1 e_2 e_3$ adoptée.

Lorsque la surface couverte par les deux semelles de piédroits sera voisine des deux tiers de la surface couverte totale, on pourra faire une étude comparative des deux solutions, portique ou cadre.

b) trémie

La valeur moyenne donnée au tableau ci-dessus, pour la largeur de la semelle, n'a en principe pas à être modifiée, car cette largeur est déterminée, pour ce type de mur, par des conditions de stabilité d'ensemble et non par une condition de pression maximale admissible .

PARTIE
COUVERTE

TREMIE

- une couche dure se situe à peu de distance sous le niveau de la chaussée du souterrain : on peut alors fonder l'ouvrage sur des parois moulées armées, qui pourront être, suivant le cas, soit simplement appuyées en pied sur le bon sol et butonnées par le béton de fondation de la chaussée, soit ancrées. La même possibilité se présentera lorsque le sol de fondation sera suffisamment frottant pour assurer la stabilité verticale d'une paroi (frottement latéral). Les mêmes dispositions pourraient d'ailleurs être réalisées avec des palplanches, à condition que l'enfoncement de ces dernières se fasse sans trop de bruit (vibrofonçage). - La solution "paroi moulée" risque toutefois d'être onéreuse pour un ouvrage isolé.

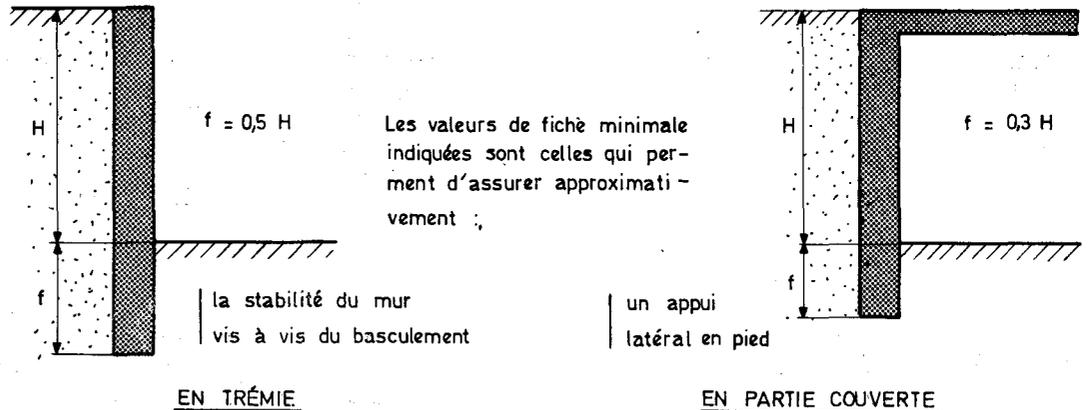


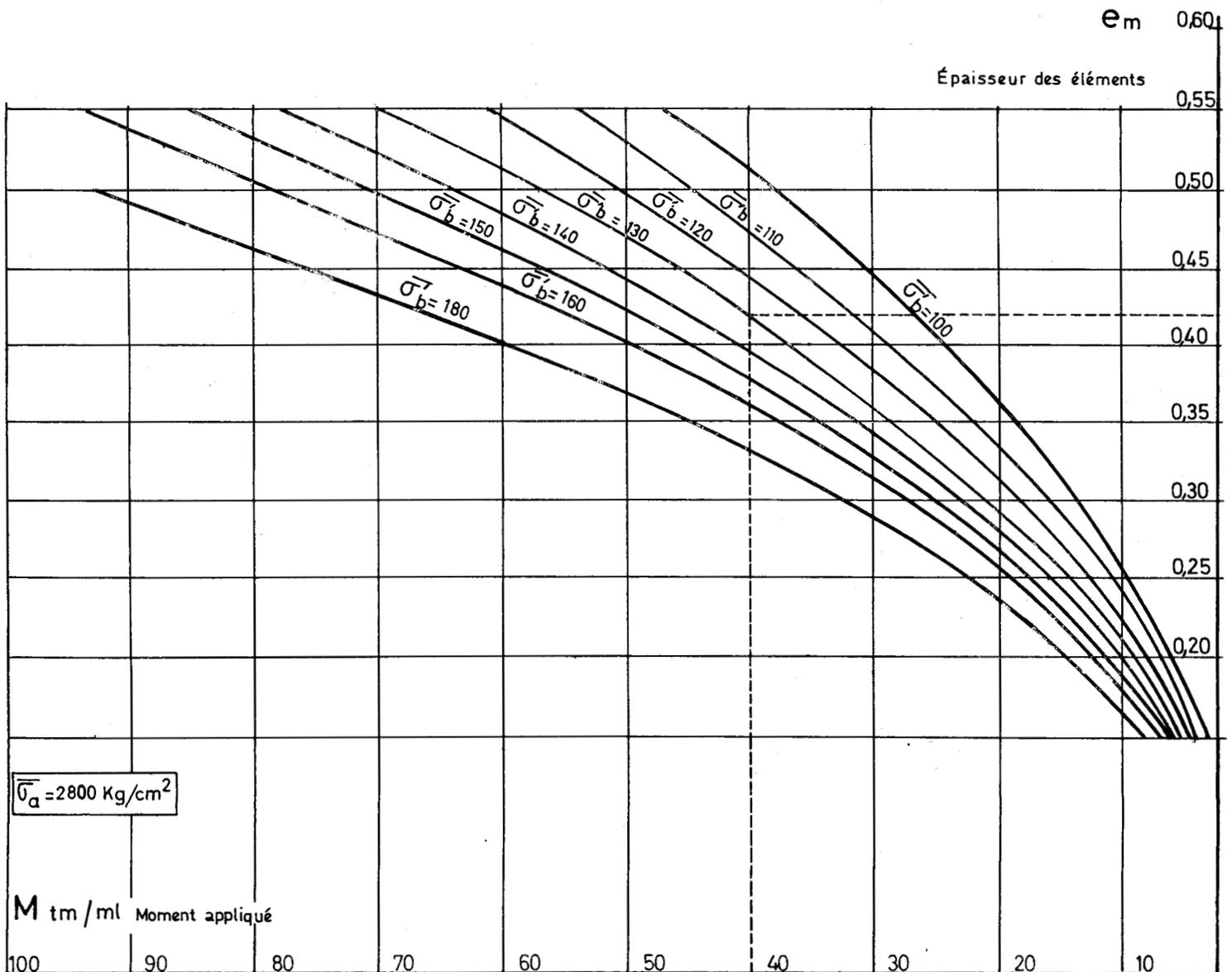
Fig 7

- réalisation de l'ouvrage par éléments préfabriqués à joints ne permettant pas un fonctionnement ultérieur isotrope de l'ouvrage Par "fonctionnement isotrope", nous entendons (voir 2.5.2) le comportement d'une structure où la traverse est une dalle d'épaisseur constante, armée dans les deux directions. Lorsqu'un procédé de préfabrication consiste à assembler des éléments placés côte-à-côte, il faut des joints particulièrement soignés pour que la juxtaposition fonctionne sous les charges comme si elle avait été coulée d'un seul bloc. Le plus souvent, les joints effectivement réalisés ne permettront pas cette assimilation, et il sera nécessaire d'en tenir compte en augmentant légèrement l'épaisseur de la traverse supérieure.
- risque de tassement différentiel : si le sol de fondation (superficielle) semble pouvoir donner lieu à des tassements sous une même charge différents d'un point à un autre, il y aura lieu de prévoir un certain renforcement du ferrailage, par rapport à ce qui est nécessaire en condition standard, ou encore un élargissement des semelles. Là encore, le mode de construction n'est pas indifférent : en effet, si pour un ouvrage du type portique coulé en place, sans joints, la structure atténue d'elle-même le phénomène, par sa grande rigidité de flexion longitudinale, il n'en est pas de même pour un ouvrage comportant des joints secs ou en béton non armé ; un tassement non régulier de l'ouvrage risque de provoquer l'ouverture ou la fissuration de ceux-ci, l'éclatement du béton et une diminution simultanée de l'étanchéité.
- passage de surcharges militaires ou exceptionnelles : lorsque les voies passant sur la traverse sont destinées à servir, au besoin, de passage à des convois militaires, il sera prudent de majorer l'épaisseur de la traverse et des piédroits de 5 centimètres.

Nota bene : au sujet de l'épaisseur de la traverse, qui détermine le profil en long des voies dans le souterrain, les valeurs indiquées au tableau du paragraphe 2.3 ne prétendent pas avoir force de loi, non plus que la majoration ci-dessus pour surcharges militaires ; ces valeurs permettent simplement de fixer rapidement les grandes lignes de l'avant-projet, mettant à l'abri de surprises ultérieures, au stade du projet. Nous donnons ci-après un tableau et un abaque permettant :

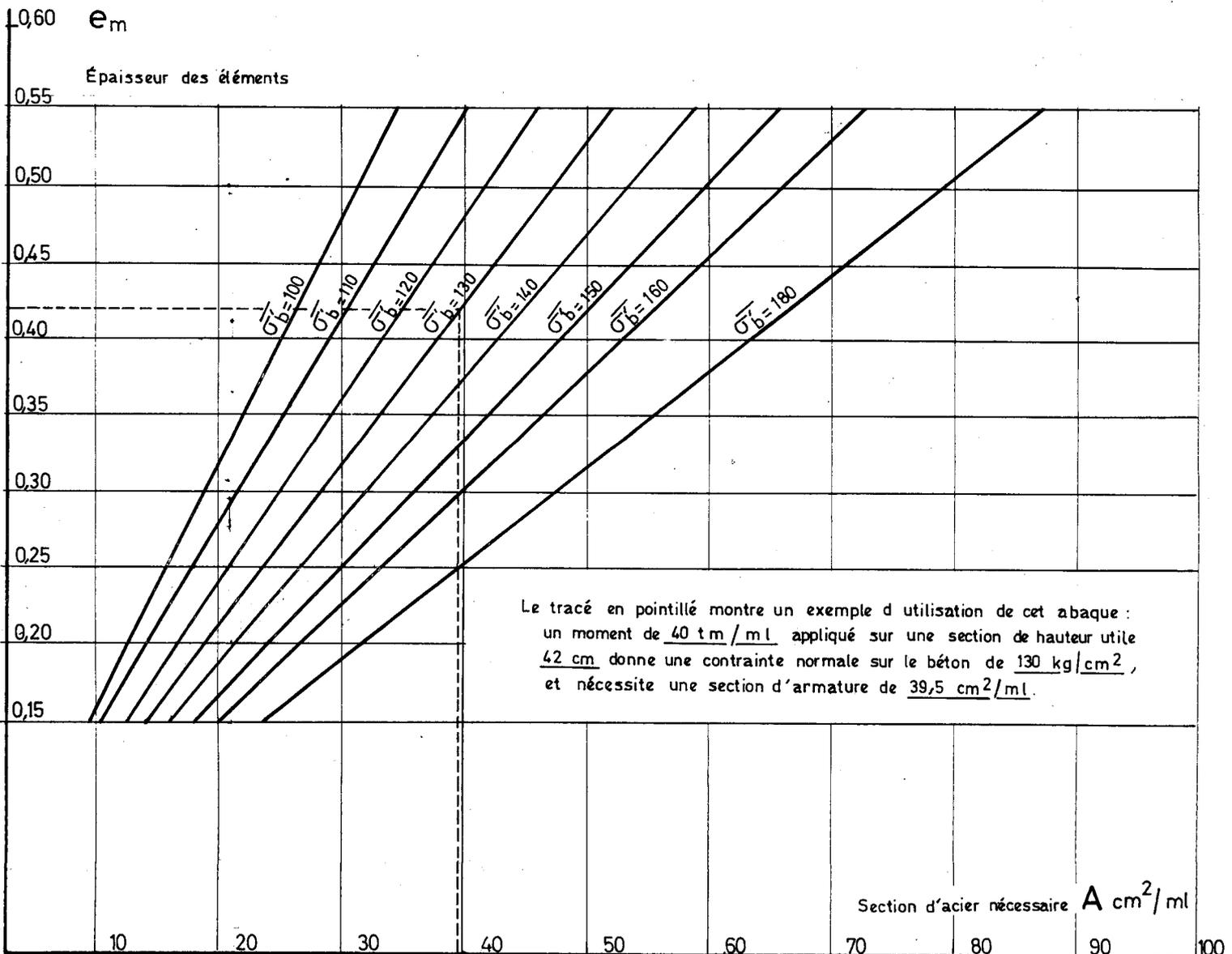
- d'une part, d'estimer le moment longitudinal maximal produit par le poids propre et les surcharges civiles ou militaires dans une traverse d'épaisseur e , de portée L ($L = l + e$) liée à deux piliers de même épaisseur e et de hauteur H ($H = h + e$) ; le portique ainsi constitué étant supposé fondé sur semelles. Cette estimation tient compte de la répartition transversale (fonctionnement en dalle), et suppose que la largeur de la traverse est beaucoup plus grande que sa portée.

- d'autre part, de vérifier si, pour ce moment longitudinal maximal, l'épaisseur de béton est suffisante, et de calculer la section.



Moment longitudinal max. tm/ml	A ₁	B ₁	A ₂	B ₂
Sous poids propre et autres charges uniformément réparties (Le portique est supposé articulé en pied) (La poussée des terres est négligeable)				
	q (t/m ²)		$M_{max} = q \frac{L^2}{8} \times \frac{\frac{H}{L} + 1/2}{\frac{H}{L} + 3/2}$	
*Sous { Surcharges A Surcharges Bc } seules	2,40	3,1	4,2	5,1
{ Surcharges CM4	5,9	7,1	8,3	9,3
	6,6	7,9	9,1	10,4
*Majorations diverses non comprises (coeff. dynamique, coeff. règlementaire de pondération)				

Les chiffres ci-dessus sont obtenus pour les épaisseurs du tableau de la page 16. La répartition des efforts est grosso modo indépendante de l'épaisseur, mais varie avec le rapport $\frac{H}{L}$. Dans les cas envisageables, la variation de $\frac{H}{L}$ est très faible en fonction de l'épaisseur : les valeurs indiquées représentent donc une bonne approximation même lorsqu'on envisage des épaisseurs non normalisées.



2.5 - La réalisation

2-5.1 - introduction :

Les problèmes posés par la réalisation sont nombreux, et nous avons vu que le choix du mode de construction peut aller jusqu'à influencer les caractéristiques techniques des éléments eux-mêmes : c'est ainsi que nous avons choisi des murs à semelles complètement excentrées, parce qu'implicitement nous avons supposé que la fouille serait la plus étroite possible ; de même, les éléments préfabriqués sont volontairement conçus assez minces, pour être légers.

Nous allons examiner, dans ce qui suit, les particularités de réalisation des passages souterrains à gabarit réduit, et en nous limitant aux P.S.G.R. urbains. Nous analyserons ensuite les procédés de construction eux-mêmes, et tout particulièrement le système de préfabrication utilisé par la société G.T.M. pour le percement du "minisouterrain" de Toulouse.

2.5.2 - les sujétions de la construction des P.S.G.R. urbains

- a) il s'agit de passages souterrains : l'on va rencontrer des obstacles dans le sol, et devoir procéder parfois à de coûteux déplacements de canalisations.
- b) il s'agit de travaux urbains : cela signifie que ces travaux vont désorganiser une circulation souvent importante, nécessiteront un planning détaillé, une exécution aussi rapide que possible, et toucheront un sous-sol fréquemment encombré de canalisations.
- c) le gabarit des ouvrages est réduit : cela comporte des avantages, en ce sens que le remaniement du sous-sol reste limité, mais aussi quelques inconvénients (notamment une impossibilité d'emploi des engins ordinaires de terrassement et un problème pour la réalisation des chaussées sous la traverse).

Une opération de construction d'un P.S.G.R. urbain va devoir tenir compte de toutes ces sujétions, et être placée sous le triple signe de :

- la programmation : qui aura pour but de prévoir soigneusement toutes les phases de travaux, afin d'éviter temps morts et improvisation,
- la rapidité : payante surtout là où la circulation est déjà importante, par la réduction du temps de congestion supplémentaire provoquée par les travaux,
- la recherche de l'emprise minimale : pour gêner le moins possible la circulation pendant les travaux (fouilles verticales, semelles excentrées, installations de chantier réduites au strict minimum).

Le souci du maître d'oeuvre doit être, par ailleurs, de minimiser le coût total de l'opération pour la collectivité, et pour cela, de bien peser les avantages et inconvénients respectifs des divers procédés de construction qui sont à sa disposition, ainsi que les diverses façons de mettre en oeuvre un procédé donné. En effet, un procédé de préfabrication peut se révéler, malgré une dépense de règlement plus élevée, plus économique sur le plan de la collectivité, à cause d'une exécution plus rapide, qu'un procédé classique, avec bétonnage en place par exemple. C'est pourquoi nous avons fait apparaître, au chapitre sur l'estimation des ouvrages, un coût des ralentissements et attentes supplémentaires subis par les usagers du carrefour pendant la construction du passage souterrain.

2.5.3 - les déplacements de canalisations (longitudinales et transversales)

Ces travaux préliminaires peuvent être importants et nécessiter des délais non négligeables; à titre indicatif, pour le "minisouterrain" de Toulouse, le montant total s'est élevé à 300 000 Francs environ, et les travaux ont duré 2 mois : il s'agissait de réseaux de canalisations d'E.D.F. - G.D.F., des Télécommunications et Lignes à grande distance, de distribution d'eau, d'assainissement, de signalisation et d'éclairage public.

Une bonne coordination entre les services concessionnaires concernés est là aussi nécessaire pour que ces travaux préliminaires ne gênent pas trop la circulation : en particulier il convient de grouper les traversées d'une même chaussée, lorsqu'elles s'effectuent à proximité les unes des autres.

L'expérience de Toulouse, si elle s'est révélée satisfaisante, de l'avis même du service de l'équipement, au point de vue coordination, a toutefois mis en évidence certaines difficultés dues à l'imprécision des emplacements de certains réseaux, et à la présence de réseaux non signalés.

Dans ce paragraphe "canalisations", n'oublions pas de mentionner que le passage souterrain impose une nouvelle canalisation, celle qui lui permettra d'être débarrassé des eaux de ruissellement des trémies (et aussi, éventuellement, des aménées d'eau de la nappe phréatique), au profit d'un collecteur existant ou à créer, avec ou sans dispositif de pompage (Dans le cas de Toulouse, la présence d'un collecteur profond - qu'il a d'ailleurs fallu écrêter, la partie supérieure étant remplacée par une dalle en béton armé - a permis une évacuation naturelle par gravité).

2.5.4 - Procédés de construction des ouvrages proprements dits.

2.5.4.1 - Pour construire un passage souterrain à gabarit normal, dans l'hypothèse (bien théorique) où l'on ne serait gêné ni par le manque de temps, ni par le manque de place, la solution "naturelle" consiste à ouvrir une fouille à talus inclinés, y coffrer puis couler les murs de soutènement et les piédroits, enfin couler une traverse sur échafaudage.

Dès que le contexte devient urbain, on est conduit à raidir les talus, voire à réaliser une fouille verticale. Cette solution, facilitée par la profondeur relativement faible de la fouille, n'est cependant pas sans certains risques, ne serait-ce qu'en raison des hétérogénéités du sol dues aux remaniements antérieurs. Par ailleurs elle ne suffit pas par elle-même pour permettre un maintien de la circulation ou des manutentions en bordure immédiate de la fouille, et un blindage serait souvent peu compatible avec l'exécution de l'ouvrage. Il y a donc là un problème qui doit retenir particulièrement l'attention des Ingénieurs lors de la passation des marchés.

De plus, le souci de réduire la durée et l'emprise du chantier conduit à rechercher d'autres procédés.

On peut les classer sommairement en trois catégories :

- procédés utilisant la préfabrication : cette technique permet de sortir le temps de durcissement du béton du chemin critique ; toutefois, elle nécessite des opérations de manutention (d'où perte de place) et de liaison des éléments (joints).

- procédés spéciaux d'exécution des parois verticales (parois moulées, reprises en sous-oeuvre), qui permettent de rétablir une circulation sur l'ouvrage avant que la partie inférieure soit terminée.
- exécution en place généralement par tranches successives, sous tablier métallique provisoire.

On pourra trouver de nombreuses solutions mixtes allant de la solution "naturelle" qui peut être la meilleure si l'emplacement choisi n'est pas encore très encombré, à une solution rapide telle que celle employée à Toulouse, ou même à une solution ultra-rapide qui consisterait à réaliser des parois moulées préfabriquées et une couverture également préfabriquée.

2.5.4.2 - Les procédés de préfabrication utilisés par GTM

La solution employée à Toulouse par la société GTM-T.P. consiste à préfabriquer des éléments (voûsoirs) qui sont des tranches de l'ouvrage complet : pour les trémies, l'élément est constitué d'une longueur de 5 mètres du mur de soutènement, y compris sa semelle de fondation; pour la partie couverte, l'élément est une tranche de 2,5 mètres de long, comportant les deux piédroits, munis de leur semelle d'appui, et la dalle de couverture correspondante.

Tous ces éléments sont préfabriqués, en béton armé (à Toulouse, le chantier de préfabrication était situé à 5 Kilomètres environ du carrefour à aménager), et amenés sur place au fur et à mesure. Une fois posés, on colmate les joints à l'aide de produits à base de résine, et on assemble le tout par une légère précontrainte de la traverse.

Pour obtenir un ouvrage définitif de bonne qualité, à partir d'éléments préfabriqués supposés eux-mêmes de bonne qualité, il faut que les joints soient satisfaisants, c'est-à-dire que les conditions suivantes soient réunies :

1. une bonne précision de fabrication : sur le chantier de préfabrication de Toulouse, cette précision était obtenue par bétonnage de chaque élément au contact avec l'élément précédent, ces deux éléments étant destinés à être voisins dans l'ouvrage définitif; cette disposition garantissait que les deux éléments considérés pourraient être, si la précision de pose était bonne, à nouveau quasi-jointifs dans l'ouvrage en place.

2. une bonne précision de pose, complémentaire de la précédente : par exemple, à Toulouse, avaient été soigneusement mis en place dans la fouille, une série de plots en béton; chacun de ces plots allait servir ensuite d'assise aux deux extrémités en regard de 2 éléments voisins (voir figure); ainsi, à condition que les cotes des faces supérieures des plots A, B et C soient dans la même disposition que les faces inférieures des éléments n et n + 1 au moment de leur construction, est-on assuré que EB' est un joint d'épaisseur faible et constante.

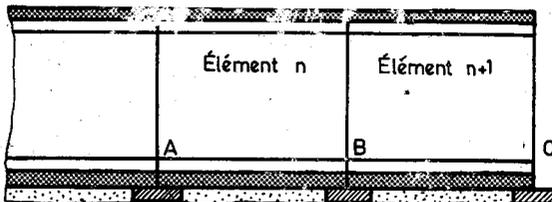


Fig 9

Au demeurant, l'existence de plots d'appui permet également d'assurer une bonne répartition des pressions ultérieures de la semelle sur le sol : en effet, le fond de la fouille est toujours relativement irrégulier, et il ne conviendrait pas de poser directement dessus chaque élément, car on risquerait des tassements par la suite; on descend donc l'élément au-dessus de ses deux plots d'extrémité et d'un bain de béton de propreté non encore durci; le poids de l'élément est suffisant pour égaliser le béton de propreté tout en choisissant les plots comme appui.

3. une bonne solidarisation des éléments après la pose : il faut que les éléments soient solidaires dans l'ouvrage en place pour deux raisons principalement :

- pour éviter les flèches différentielles, qui se produiraient, avec des éléments indépendants, dès qu'une lourde charge passerait sur la traverse ou le long des voies latérales à l'ouvrage.
- pour mieux répartir les charges : toute charge appliquée sur l'un des éléments produit des efforts internes dans cet élément et dans cet élément seulement, s'il est indépendant de ses voisins; au contraire, s'il leur est solidaire, les efforts se répartiront et se traduiront par des contraintes plus faibles, d'où économie possible et gain d'épaisseur pour le dimensionnement.

Ces raisons peuvent conduire, selon la nature du terrain, à prévoir soit une solidarisation des éléments sur toute leur hauteur, soit une solidarisation de la seule traverse supérieure.

4. une bonne étanchéité (essentiellement pour la traverse supérieure)

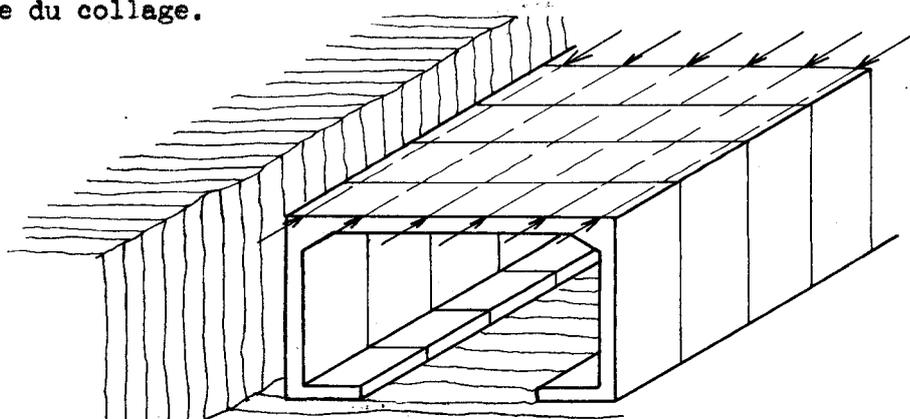
Plusieurs moyens sont à notre disposition pour assurer une bonne solidarisation de deux éléments en béton armé : nous en citerons trois, parmi d'autres.

a) Coulage d'un joint en béton armé - La résistance du joint est assurée par des armatures transversales (en attente sur les éléments) qui se recouvrent d'un élément à l'autre; le résultat final est un ouvrage fonctionnant à peu près exactement comme un ouvrage qui aurait été coulé d'un seul tenant; l'inconvénient est que la rapidité de pose attendue de la préfabrication est diminuée par la lenteur relative de la réalisation des joints. En réalité, cet inconvénient n'est pas bien grave, dans la mesure où l'expérience montre qu'il s'écoule, même avec des procédés de solidarisation plus rapides, quelques jours entre le moment où l'on pose les premiers éléments couverts et celui où l'on rétablit la circulation sur l'ouvrage.

Par contre, cette conception des joints autorise de légers rattrapages de cote entre éléments voisins.

Il y a toutefois des inconvénients : les éléments préfabriqués ont des fers en attente qui gênent manutention et pose; les dimensions des joints sont relativement importantes; les bétons coulés en place ne doivent pas être ébranlés par la circulation sur les éléments à relier, jusqu'à ce que leur durcissement soit suffisant (à noter que l'emploi de béton de ciment alumineux, maintenant autorisé sous conditions, peut être envisagé pour hâter considérablement le durcissement des parties coulées en place).

b) Précontrainte du joint - Les joints sont soit collés, soit bétonnés comme dans la solution précédente; ensuite une précontrainte transversale vient plaquer les éléments les uns contre les autres, et arme les sections pour résister aux moments transversaux. L'inconvénient des aciers en attente peut être réduit et à la rigueur supprimé, et le délai de réalisation peut être court si l'on choisit la technique du collage.



c) "Articulation précontrainte" : c'est le système qui a été employé par GTM au "minisouterrain" de Toulouse - St Cyprien; il s'agit en quelque sorte d'un joint transversal bétonné et précontraint, mais qui n'existe que localement, et se trouve complété par un bourrage, continu sur la longueur, mais limité à la moitié supérieure de la dalle, en mortier ou béton de résine époxydique.

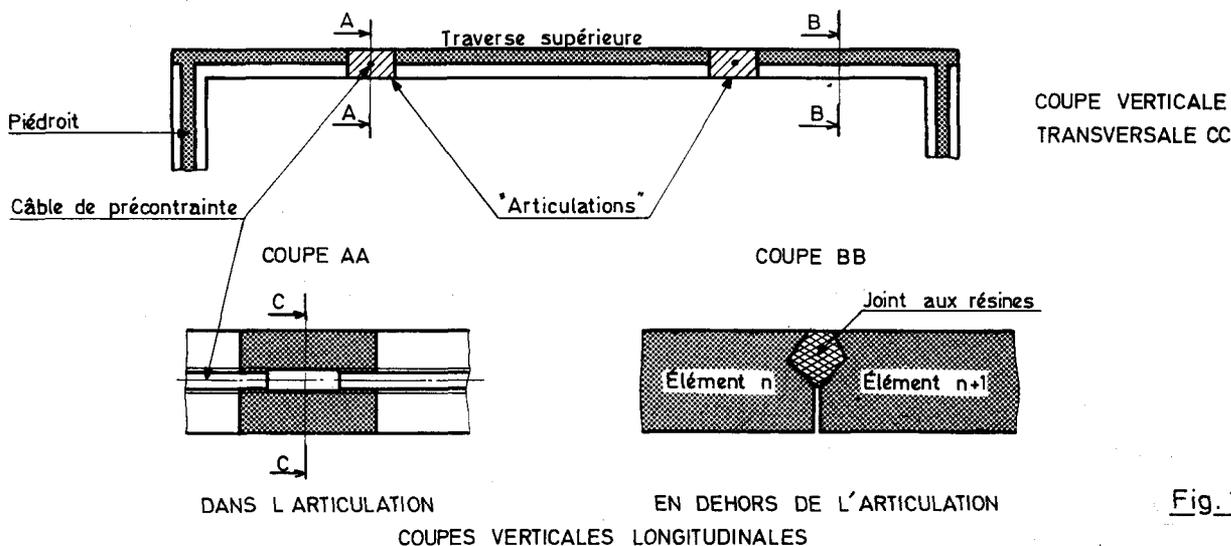


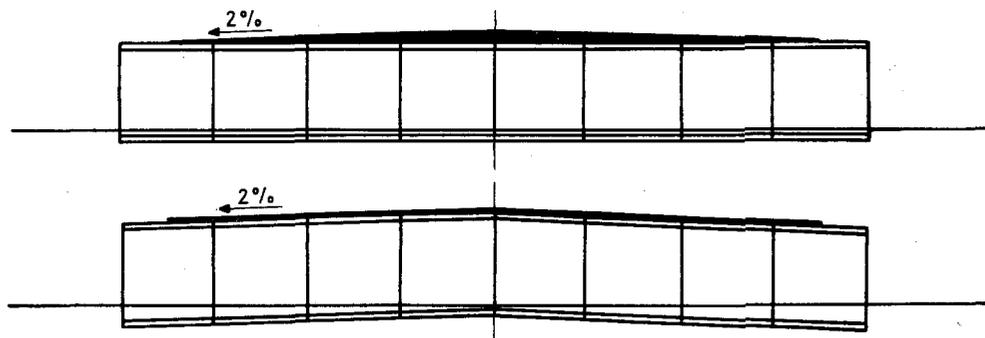
Fig. 10

A notre connaissance les possibilités mécaniques de résistance et déformation de ces "articulations" n'ont pas encore fait l'objet d'essais systématiques, et la réalisation de Toulouse est encore trop récente pour permettre d'en juger. Par ailleurs, la structure, terminée, ne fonctionne pas exactement comme une dalle isotrope, et les éléments doivent être calculés en conséquence, par une prise en compte exacte des diverses caractéristiques. En particulier, sous charges concentrées, les efforts transversaux seront plus faibles que dans l'ouvrage coulé en place, et par conséquent les efforts longitudinaux plus forts.

Remarques complémentaires :

- on devra accorder une attention particulière au problème des joints lorsque le sol de fondation présentera des aptitudes au tassement variables d'un point à un autre : nous venons de voir, en effet, que les voussoirs doivent, pour des raisons d'économie, être solidaires les uns des autres : vis-à-vis d'un "tassement différentiel", l'ouvrage se comportera donc comme un ouvrage monobloc, il aura tendance à réduire le phénomène (en chargeant plus fort les zones raides, donc en tendant vers l'égalisation des tassements) tout en subissant quelques contraintes internes supplémentaires, qui affecteront les joints en particulier.
- la solidarisation à rechercher entre éléments a des limites (une vingtaine de mètres en général), du fait des retraits et mouvements thermiques ultérieurs; ces limites concernent bien entendu l'ensemble souterrain-trémie s'il y a lieu. Pour des longueurs supérieures il est nécessaire que des joints de dilatation soient prévus; ne pas oublier que les zones d'extrémité de chacun des tronçons sont soumises à des sollicitations plus grandes que le reste, du fait de la coupure, et qu'il faut en tenir compte dans le dimensionnement et le ferrailage.

- d'autre part, la préfabrication pose des problèmes dès que les conditions locales ne permettent pas de constituer des éléments identiques. Même des différences d'altitude relativement modérées de la chaussée supérieure d'un point à un autre de l'ouvrage pourront donner lieu à des difficultés, et par exemple conduire à placer sur celui-ci des épaisseurs de revêtement très surabondantes et lourdes, pour conserver l'extrados horizontal ou du moins rectiligne. La figure suivante montre comment on peut tenter d'éviter cette pénalisation.



- l'attention est dès à présent attirée sur le choix des appareils de manutention, en ce qui concerne l'encombrement du chantier lors de la pose
- Enfin le remblaiement des fouilles pose certains problèmes à partir du moment où leur limite est trop proche des parois pour permettre d'y assurer un compactage des remblais qui soit effectif et contrôlable. En ce cas, de plus, la place et le temps manquent pour réaliser des dalles de transition. La meilleure solution, qui a d'ailleurs été retenue à Toulouse, est alors de remblayer les fouilles en gravement.

2.5.4.3 - Quelques indications sur des procédés spéciaux de réalisation des parois verticales.

- les parois moulées. Cette technique, assez répandue maintenant en France, a déjà été utilisée - notamment à Paris - pour des parkings et des passages souterrains à gabarit normal. Elle nécessite toutefois une installation importante (machine à forer et bétonner, centrale pour les boues) qui serait difficile à amortir sur une opération ponctuelle de passage souterrain à gabarit réduit.

L'avantage est que la paroi moulée peut jouer à la fois le rôle de mur de soutènement (et de piedroit) et celui de soutènement de la fouille au moment du terrassement; d'autre part, les deux parois peuvent être réalisées successivement et non simultanément; enfin, la circulation transversale sur l'ouvrage peut être rétablie rapidement lorsque les parois sont terminées, en installant une traverse en éléments préfabriqués.

Au total, c'est un procédé qui peut paraître relativement séduisant en zone de circulation difficile, où l'on peut rechercher surtout le minimum d'emprise du chantier. On n'oubliera cependant pas que ce minimum est quand même important (la machine de forage et ses accessoires).

- la méthode dite "berlinoise" - Elle consiste à placer des profilés métalliques verticalement dans le terrain, soit par battage, soit à l'intérieur des gaines forées, puis à terrasser la fouille en construisant au fur et à mesure un mur de soutènement provisoire, composé de panneaux reliant les profilés et s'appuyant sur eux. C'est donc principalement un procédé de blindage d'une fouille à parois verticales, et habituellement il ne sert qu'au soutènement provisoire. Mais, de la même manière qu'un rideau de palplanches, servant habituellement de rideau provisoire, peut quelquefois être considéré aussi comme paroi définitive (voir la figure 5), un mur berlinois peut - pensons-nous - être utilisé comme paroi définitive dans un passage souterrain : il présenterait alors à peu près les mêmes avantages que la paroi moulée.

2.5.4.4 - Quelques indications sur les réalisations sous tabliers provisoires :

Il est assez fréquent en zone urbaine de réaliser de petits ouvrages sous tabliers provisoires servant à maintenir la circulation pendant les travaux. Un exemple fréquent en est la construction de passages piétons. De son côté, la SNCF assure fréquemment la construction d'ouvrages de moyenne importance sous tabliers provisoires servant à maintenir la circulation ferroviaire à vitesse réduite pendant les travaux. Dans l'un et l'autre cas les tabliers provisoires sont métalliques et mis en place ou déplacés en quelques heures, généralement de nuit. En zone urbaine les tabliers utilisés sont généralement constitués d'éléments juxtaposés de largeur réduite, ce qui permet une mise en place aisée et donne beaucoup de souplesse pour passer d'une phase à une autre.

Quand on emploie ce procédé en zone urbaine on est alors généralement conduit à condamner une voie, qui servira d'accès au chantier, et à réaliser l'ouvrage par tranches successives. Le problème de la liaison entre les différentes tranches se pose alors tout comme en cas de préfabrication.

L'emploi de ce procédé pour la réalisation des parties couvertes de PSGR peut évidemment être envisagé. Son adoption sera fonction de la place disponible compte tenu des conditions posées pour le maintien de la circulation (d'où l'importance de les définir) et du matériel dont disposera l'entreprise pour constituer les tabliers provisoires. Si le matériel à utiliser doit s'appuyer près des bords de fouilles, un blindage de celles-ci sera nécessaire.

3 - ESTIMATION DU COÛT TOTAL D'UNE OPERATION

3.1 - Estimation du coût de construction

Nous indiquons ci-dessous le coût approximatif de réalisation des ouvrages normalisés définis aux paragraphes précédents, dans deux hypothèses de mode de réalisation :

- construction par bétonnage en place
- construction à l'aide d'éléments préfabriqués.

L'estimation du coût de réalisation par bétonnage en place est faite sur la base d'un avant-métré relativement détaillé, par application de prix unitaires évalués par référence à ceux d'ouvrages de constitution voisine, réalisés couramment (passages inférieurs d'autoroute, du type portique ou cadre en béton armé), et en tenant compte de certaines majorations pour adapter ces prix au contexte urbain. Le résultat est de ce fait entaché d'une relative imprécision, qui ne pourra diminuer que lorsque des opérations de ce genre auront été réalisées.

Le coût indiqué pour la réalisation par éléments préfabriqués est moins sujet à caution, car il est tiré de l'expérience faite à Toulouse.

3.1.1 - Rappel de la définition des ouvrages normalisés (ou standard)

Un passage souterrain à gabarit réduit normalisé est un ouvrage

- dont les dimensions et les caractéristiques de profil en long des trémies de la section de passage sont celles des paragraphes 1.1 à 1.4.
- qui se trouve implanté dans un contexte géophysique de caractère courant (constamment au-dessus de la nappe phréatique, dans un sol admettant une pression d'appui de 2 à 3 bar),
- et dont la structure et les dimensions des éléments peuvent de ce fait être ceux du paragraphe 2.3 .

3.1.2 - Estimation du coût de réalisation des ouvrages normalisés coulés en place.

Le tableau ci-après donne, pour les 4 types A1, A2, B1, B2 l'estimation des trémies, et d'une longueur unité de souterrain. Ces estimations se rapportent aux travaux suivants :

- ouverture de la fouille, terrassement et soutènement de la fouille, construction des soutènements définitifs et du portique, remblaiement derrière les parois verticales, construction des trottoirs aux extrémités de la traverse (y compris garde-corps), réalisation des couronnements de trémie (dispositif bute-roues et de sécurité le long de la partie supérieure des murs de soutènement).

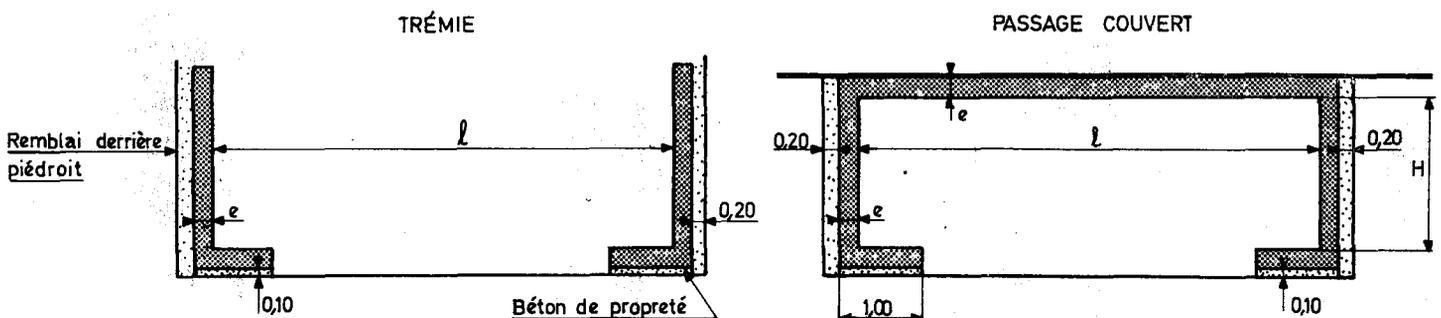
Les travaux suivants ne sont pas compris dans l'estimation : réalisation des chaussées sur et sous l'ouvrage, éclairage, signalisation.

Les dispositifs d'évacuation des eaux de pluie pénétrant dans le souterrain ne sont pas non plus compris dans ce détail estimatif.

AVANT-METRE SOMMAIRE
ET ESTIMATION DES
OUVRAGES STANDARD

	unité	prix unitaire	TYPE DE L'OUVRAGE			
			A1	A2	B1	B2
1 - TREMIE (6) vitesse autorisée 60 km/h			<u>QUANTITES</u>			
Longueur d'une trémie	m ³		33	34	45,60	46,20
Terrassements (1)	m ³	30	307	425	543	720
Supplément pour blindage (pour mémoire)	m ²	40	-	-	-	-
Béton de fondation (2)	m ³	20	87	88	146	148
Béton de semelles	m ³	210	16	20	27	35
Béton de murs	m ²	250	22	28	37	46
Coffrages ordinaires (3)	m ²	45	124	135	201	215
Coffrages fins	m ²	60	97	101	164	167
Acier pour armatures B.A.	kg	3	2100	2700	3500	4500
Coaltarisation	m ²	6	111	118	183	192
Remblai derrière piédroits (4)	m ²	30	124	132	201	211
Barrières légères	m ¹	250	66	68	91	92
Trottoirs : - corniches	m ¹	150	5,3	7,1	5,8	7,6
- bordures	m ³	40	5,3	7,1	5,8	7,6
- dallettes	m	210	0,5	0,6	0,5	0,7
- garde-corps	m ¹	250	5	7	5,5	7,5
PRIX TOTAL D'UNE TREMIE * (Il y a 2 trémies par souterrain)	F		61 000	71 000	96 000	111 000
2 - PASSAGE COUVERT (pour un mètre)			<u>QUANTITES</u>			
Terrassements (1)	m ³	30	13	18,5	18,8	25,5
Blindage (pour mémoire)	m ²	40	-	-	-	-
Béton de propreté (2)	m ³	20	1,6	2	1,8	2,2
Béton de semelles	m ³	210	0,4	0,5	0,45	0,7
Béton de murs et de dalle	m ²	250	2	3,1	2,5	3,6
Coffrages ordinaires (3)	m ²	45	5,2	5,5	6,7	7
Coffrages fins	m ²	60	8,5	10,2	10,5	12,2
Acier pour armatures B.A.	kg	3	330	500	400	580
Echafaudages	m ²	75	4,5	6,2	5	6,7
Coaltarisation	m ²	6	5,2	5,5	6,7	7
Remblai derrière piédroits (4)	m ²	30	5	5,2	6,8	7
Chape sur la dalle	m	35	4,9	6,7	5,4	7,2
PRIX COMPOSE DU METRE LINEAIRE *	F/ml		3 430	4 720	4 260	5 650

* installation du chantier non comprise



	Unité	prix unitaire	A ₁	A ₂	B ₁	B ₂
TREMIE - Vitesse autorisée 40km/h			QUANTITES			
Longueur d'une trémie	m ₃		27,50	28	35,50	36,00
Terrassement (1)	m	30	249	344	419	562
Supplément pour blindage (pour mémoire)	m ²	40	-	-	-	-
(5) {	Béton de fondation (2)	m ₃	72	73	114	115
	Béton de semelles	m ₃	210	13	21	27
	Béton de murs	m ₃	250	18	23	36
	Coffrages ordinaires	m ²	45	100	109	155
	Coffrages fins (3)	m ²	60	78	81	127
Acier pour armatures B.A.	kg	3	1700	2200	2750	3450
Coaltarisation	m ²	6	89	95	141	148
Remblai derrière piédroits (4)	m	28	100	106	155	163
Barrières légères	ml	250	55	56	71	72
Trottoirs : - corniches	ml	150	5,3	7,1	5,8	7,6
- bordures	ml	40	5,3	7,1	5,8	7,6
- dallettes	m	210	0,5	0,6	0,5	0,7
- garde-corps	ml	250	5	7	5,5	7,5
PRIX TOTAL D'UNE TREMIE *	F		50 000	58 500	75 000	86 500

* installation de chantier non comprise

COMMENTAIRES :

Les prix unitaires utilisés sont au niveau 1,70 par rapport au niveau de référence du document-type EST 67. Ce niveau paraît pouvoir être obtenu, en Juin 1971, dans un site urbain moyennement encombré.

(1) terrassements : fouilles en tout terrain, extraction des déblais, prise en charge sur camions, compactage du fond de fouille. Le droit de décharge éventuel n'est pas compris. La fouille est supposée verticale, son emprise est $l + 2e \times 0,20$ m. Le terrassement général, ne se distinguant pas de la fouille, est donc compris.

(2) béton de propreté : sous les semelles seulement

(3) coffrages fins : pour les parties vues seulement

(4) remblai derrière piédroits : constitué d'une épaisseur de 0,20 m de grave-ciment

(5) l'ensemble des dépenses correspondantes, rapporté au m³ de béton, correspond à un prix composé moyen de celui-ci égal à 710 F pour les trémies et 1080 F pour les parties couvertes.

(6) N.B. : l'avant-métré des trémies suppose que les murs ne commencent que lorsque la dénivelée vaut 0,50 m. Le point bas du profil en long se trouve 0,5 m à l'intérieur du passage couvert.

3.1.3 - Estimation du coût de réalisation par éléments préfabriqués

Le bordereau des prix établi par GTMTP indique les prix (1) globaux, forfaitaires et non révisables que cette société a proposé pour certaines réalisations en 1971. Ces prix sont étudiés pour la construction d'un ouvrage unique dont les caractéristiques sont données au paragraphe 2.3 pour une vitesse de 40 km/h. Ils comprennent la préfabrication, les terrassements, la mise en place des éléments, le remblaiement et les bétons de fondation de chaussée inférieure (on notera que cette dernière rubrique ne figure pas dans l'estimation ci-dessus des ouvrages coulés en place) ; ils ne comprennent pas l'étanchéité.

Type A2 :

- La trémie complète 147 000 F
(30 m de longueur de mur seulement, car le mur ne commence qu'à 20 m environ du point haut ; ces 20 premiers mètres ne font l'objet que d'aménagements superficiels, non compris dans le prix).
- L'élément de souterrain de 2,50 m de longueur
23 520 F l'unité soit 9 408 F/ml

Type B2 :

- La trémie complète 239 904 F
(40 m de longueur de mur seulement, car le mur ne commence qu'à 24 m environ du point haut ; ces 24 premiers mètres ne font l'objet que d'aménagements superficiels, non compris dans le prix).
- L'élément de souterrain de 2 m de longueur
25 402 F soit 12 701 F/ml

3.1.4 - Comparaison entre les deux procédés

Bien que les chiffres donnés, d'une part pour le coût des ouvrages coulés en place, d'autre part pour la solution préfabriquée, ne se rapportent pas exactement aux mêmes prestations (les prix G.T.M. contiennent, en plus, le coût de la couche de béton maigre qui sert de soubassement à la chaussée), on constate une différence relativement importante.

Il convient, à propos de cette différence, de faire les remarques suivantes :

- les prix fournis à la page 28 ne comprennent pas les dépenses habituellement regroupées sous la rubrique "installation de chantier". Une majoration doit être pratiquée sur ces prix, pour les y inclure.
- le niveau des prix pourra notablement varier en fonction des sujétions particulières de réalisation.
- la solution préfabriquée voit sa rentabilité augmenter avec le nombre de passages souterrains réalisés ; le prix élevé constaté l'est en effet pour un ouvrage unique, et s'explique par les frais d'amortissement, sur cet unique ouvrage, de l'installation de préfabrication.
- la solution préfabriquée est beaucoup plus rapide que la solution coulée en place, et, dans la comparaison des coûts pour la collectivité, il faudrait faire intervenir le coût des ralentissements provoqués par la construction de l'ouvrage : ce coût est, à gêne égale, proportionnel au délai de réalisation.

(1) toutes taxes comprises

En conclusion, nous pensons que la préfabrication peut s'imposer sur un ensemble d'opérations (soit pour l'aménagement d'un axe à nombreux carrefours, soit pour des opérations ponctuelles situées dans une même région et traitées dans un même marché) ou encore pour une opération individuelle située en milieu urbain très chargé en circulation. On aura soin toutefois de ne pas perdre de vue l'économie que peut procurer, lorsqu'un délai plus long est tolérable, la solution "coulé en place".

3.2 - Cadre général pour l'estimation du coût total d'une opération

Le coût total d'une opération d'amélioration de carrefour (ou plus généralement d'un ensemble de carrefours, situés par exemple sur un même itinéraire) ne comprend pas qu'une dépense de construction des ouvrages proprement dits: en effet, les caractéristiques de cette opération (passage en sous-sol, gabarit réduit, insertion dans une zone de circulation urbaine) font que sa réalisation s'accompagne de mesures indispensables: déviation de canalisations, aménagements de la circulation pendant les travaux, signalisation particulière à cause du gabarit.

On trouvera ci-après une liste des rubriques à distinguer, ainsi qu'un exemple d'estimation d'ailleurs très exacte, puisqu'il s'agit en réalité du bilan final de l'opération du "minisouterrain" G.T.M. de Toulouse St Cyprien.

	CATEGORIE	COMMENTAIRES	Toulouse (1 ouvrage)
1	DEVIATION DES CANALISATIONS		300.000
2	AMENAGEMENTS DE CIRCULATION PENDANT LES TRAVAUX		Non chiffré à part.
2 bis	COÛT DE LA GENE APPORTEE AUX AUTOMOBILISTES PENDANT LES TRAVAUX	Ce coût n'est pas à inclure dans une estimation de dépense réelle; cependant il peut servir à comparer deux procédés pour une même opération.	(non évalué)
3	CONSTRUCTION DES OUVRAGES	Voir § 2.6.1. En règle générale on utilisera les prix composés indiqués, soit au ml, soit au m3. Actualiser s'il y a lieu	1.050.000
4	AMENAGEMENT DES CHAUSSEES ET DES TROTTOIRS	Sur et sous l'ouvrage - Ne pas en sous-estimer l'importance	75.000
5	INSTALLATIONS DE SIGNALISATION ET D'EXPLOITATION		300.000
6	INSTALLATIONS D'ECLAIRAGE		85.000
7	DIVERS		60.000
<u>TOTAL</u> (non compris 2 bis)			1.870.000

Dans les estimations qu'on présentera, on ajoutera à la fin la somme à valoir générale.

PASSAGES SOUTERRAINS A GABARIT REDUIT.

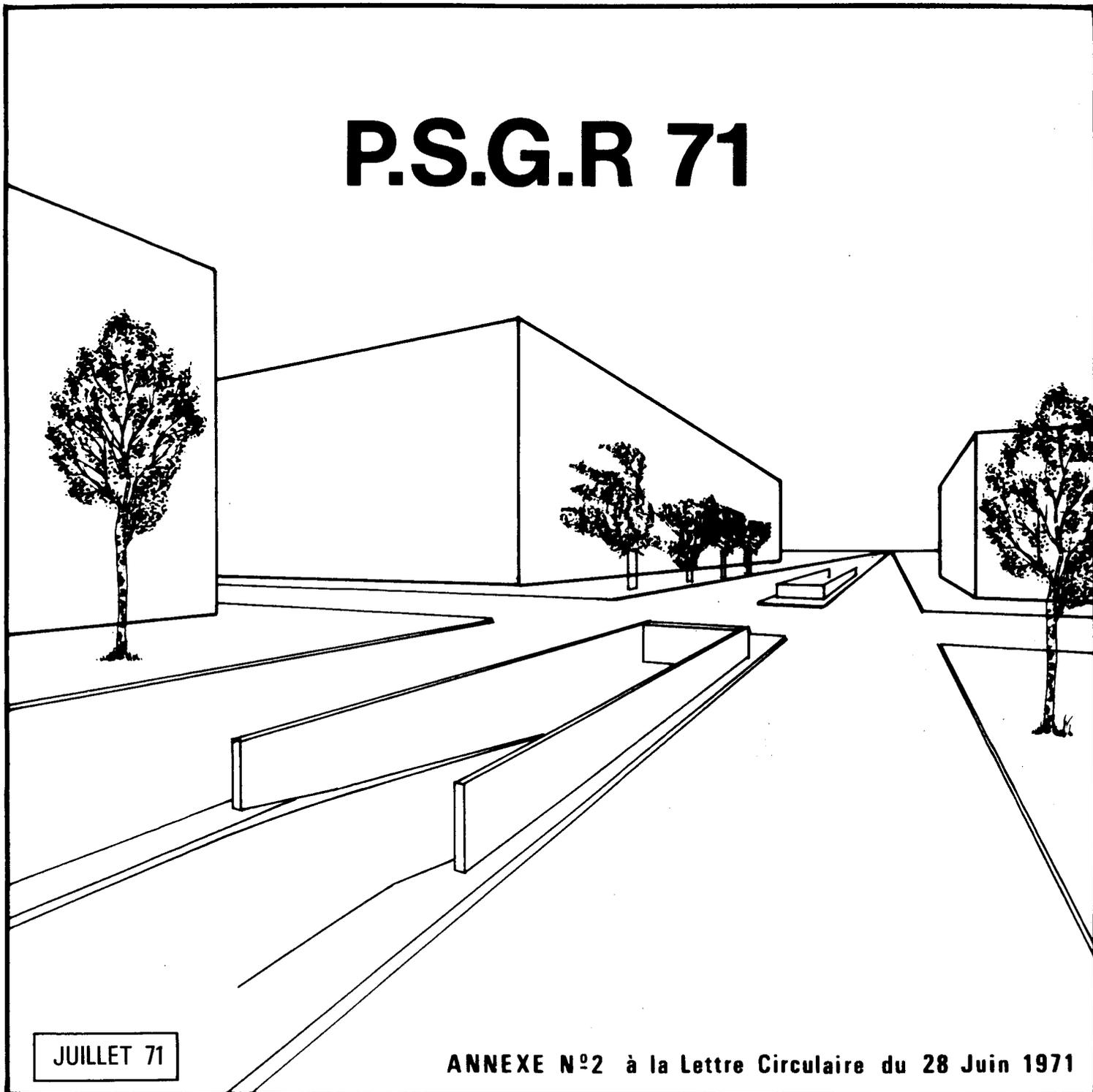
SETRA

DIVISION
DES OUVRAGES
D'ART B

DOSSIER GUIDE

2.2 FICHES TECHNIQUES SUR LES PASSAGES SOUTERRAINS à gabarit
réduit de TOULOUSE, ORLEANS et PARIS-ETOILE

P.S.G.R 71



JUILLET 71

ANNEXE N°2 à la Lettre Circulaire du 28 Juin 1971

MINISTERE DE L'EQUIPEMENT ET DU LOGEMENT
Direction des Routes et de la Circulation routière

Projet du
9 Octobre 1968Direction
technique de la
voirie parisienne

Place de l'ÉTOILE

Bretelle d'accès direct entre l'avenue
des CHAMPS-ÉLYSÉES et l'avenue de
la GRANDE ARMÉEÉQUIPEMENTS DIVERS :

VENTILATION : type semi-transversal :

Débit maximal : 230 m³/s _ Puissance électrique pour la ventilation : 450 kw

_ apport d'air frais par la galerie de ventilation et 260 bouches de soufflage, évacuation naturelle d'air vicié par les extrémités du souterrain

_ deux salles symétriques à l'Est et à l'Ouest renferment chacune 2 ventilateurs

_ une salle centrale renferme l'équipement électrique propre aux ventilations (armoires diverses , tableau de contrôle , analyse d'oxyde de carbone)

_ deux baies d'aspiration débouchent sur le terre-plein de l'Arc de Triomphe (48 m² de section unitaire)

DRAINAGE gravitaire par écoulement dans le réseau existant

ÉCLAIRAGE : La galerie d'éclairage est longitudinale _ type ville de Paris .

_ poste de commande et poste de transformation situés sous le terre-plein de l'Arc de Triomphe

_ puissance électrique utilisée : 100 kw

_ niveau d'éclairage : 50 lux de nuit

220 lux de jour à l'intérieur du passage souterrain

1300 lux pour le régime plein soleil

INSTALLATIONS DIVERSES :

Contrôle de gabarit , comptage des véhicules , dispositifs de sécurité (alarme , lutte contre l'incendie à l'intérieur du passage souterrain) , poste de surveillance

QUANTITÉS ET COÛTS :

Piédroits : épaisseur 0,70 m _ béton armé traditionnel _ fouilles blindées _

40 kg d'acier au m³ de bétonCoût : 321 F / m³ tout compris

Couverture : portée de la dalle 10,60 m

épaisseur : 0,61 m à la clé (étanchéité non comprise)

0,52 m aux extrémités

poutrelles enrobées H E A 400 tous les 0,60 m

Coût : 715 F / m² tout comprisTerrassements : volume global : 21 920 m³Coût : 99,25 F / m³

COÛTS GÉNÉRAUX : Travaux de déviation des ouvrages : 3 000 000 F

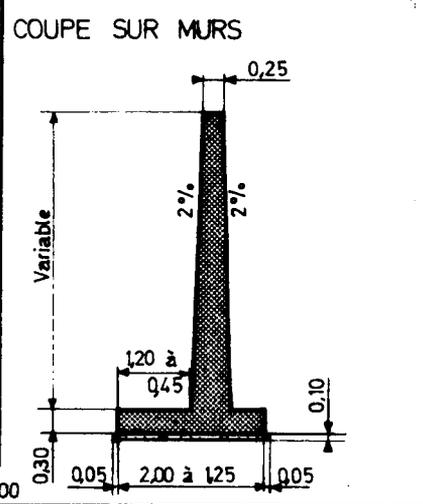
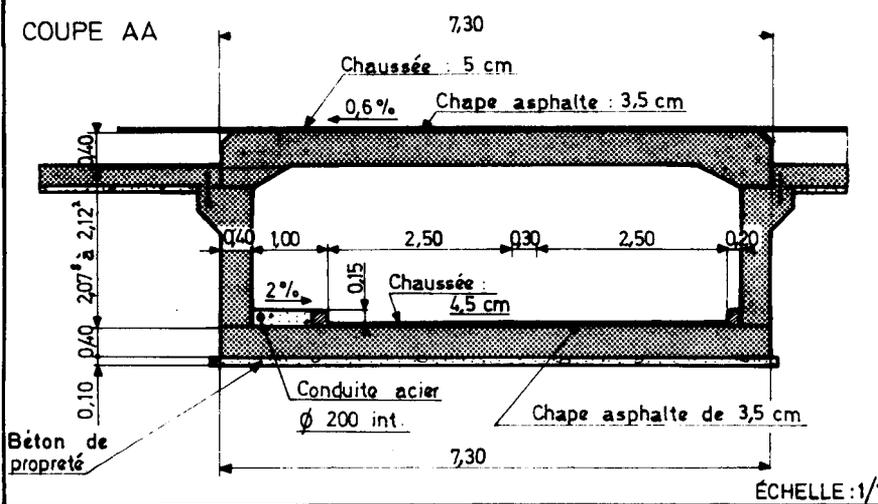
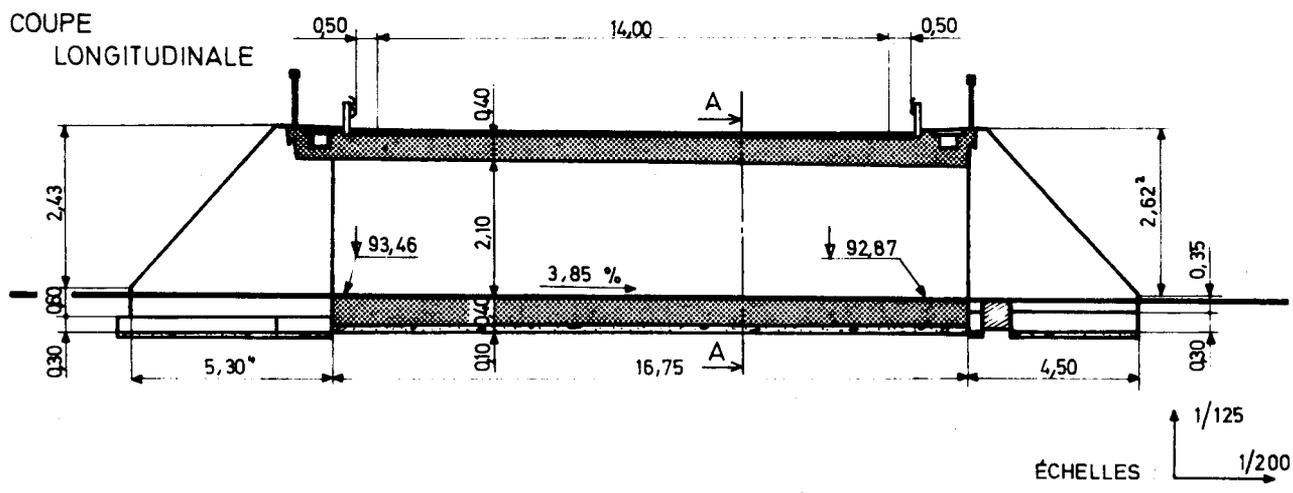
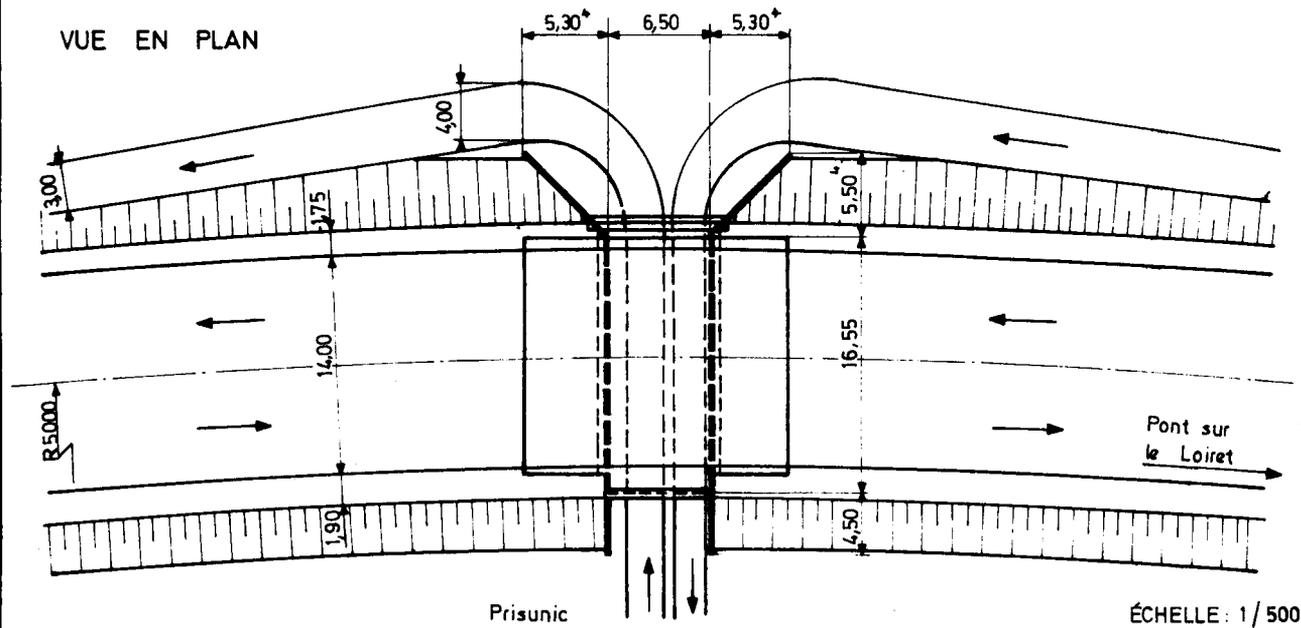
Travaux de gros œuvre : 19 000 000 F

Travaux de deuxième œuvre et
de réfection : 7 000 000 FOBSERVATIONS :

Ouvrage mis en service
le 30 Octobre 1970

Société ESCALE
102 rue de Provence
75_Paris 9^e

Route Nationale 20
Voies d'accès au Super - Prisunic



Cet ouvrage a été réalisé selon des méthodes classiques :
- réalisation d'une déviation provisoire, terrassements puis bétonnage en place
Le délai de réalisation a été de 1 mois et demi (depuis le début des terrassements jusqu'à la mise en service)

COUT TOTAL : 240 000 F
(non compris la déviation provisoire)

OBSERVATIONS :
RÉALISATION - Société NORD-FRANCE .21 avenue Victor Hugo
75 - Paris 16^e -
avec le bureau d'études DECAMPS 101, boulevard de Lattre de Tassigny
92 - Suresnes -

FICHE D'OUVRAGE D'ART	Paris 75	AMÉLIORATION DE LA VOIRIE URBAINE	PASSAGE SOUTERRAIN A GABARIT RÉDUIT
Projet du 9 Octobre 1968	Direction technique de la voirie parisienne	Place de l'ÉTOILE	
		Bretelle d'accès direct entre l'avenue des CHAMPS-ÉLYSÉES et l'avenue de la GRANDE ARMÉE	

DESCRIPTION : Ouvrage à deux voies de circulation unidirectionnelle . Longueur totale 541 m :

- trémie des Champs Élysées de 78 m
- partie couverte de 380 m
- trémie de la Grande Armée de 83 m
- galerie de ventilation (1,20 x 2,50 m) à droite de la circulation
- galerie d'éclairage (1,20 x 2,10 m) à gauche de la circulation

Principaux obstacles :

- fondation sur radier général de l'Arc de Triomphe
- présence des ouvrages R.A.T.P. (stations des lignes 1,5 et 6) qui a imposé le gabarit et le profil en long du passage souterrain après l'écrêtement des voûtes du métropolitain
- galeries et conduites diverses (distribution des eaux , égouts , branchements particuliers à l'Arc de Triomphe , G.D.F. , P.T.T. , ventilation R.A.T.P. de la ligne 6)

GÉOMÉTRIE :

- Plan : - rayon mini : 250 m
- 6 clothoïdes de raccordement
- Profil en long : - deux points bas en bas des trémies
- un point haut à l'aplomb de l'Arc de Triomphe
- pentes maxi : 6% en trémie et 4% en partie couverte
- Profil en travers : - deux voies de circulation de 3,25 m chacune ; hauteur limite des véhicules : 2,60 m
- deux trottoirs de 0,75 m chacun de part et d'autre
- devers variant de 0 à 4% maxi

NATURE DES SOLS : en couches successives :

- remblais sur 2,50 de profondeur
- grès de Beauchamp , banc de 8,60 m d'épaisseur
- marnes et caillasses du Lutécien

La nappe se situe bien en-dessous de l'emprise des travaux

STRUCTURES :

- a) Piédroits des trémies et du passage couvert en béton armé (0,70 m d'épaisseur) murs en L autostables
- b) Dalle de couverture (0,61 m d'épaisseur à la clé , 0,52 m sur appuis) en poutrelles enrobées - appuis néoprène
 - H.E.A 400 de la trémie des Champs Élysées à la place de l'Étoile
 - côté avenue de la Grande Armée : béton armé avec poutrelles Lambert

Note : Bien que le coût des poutrelles enrobées soit supérieur à celui du béton armé , ce procédé a été retenu en raison de la rapidité de mise en place , le bétonnage étant effectué de nuit

TECHNIQUE DE RÉALISATION :

Les travaux sont réalisés en même temps que divers travaux du R.E.R. (divers passages souterrains pour piétons , ventilation de la station Étoile du R.E.R.)

Trois phases de construction :

- réalisation des piédroits par la méthode classique de blindage des fouilles
- construction de la dalle
- enlèvement des déblais sous la protection de la dalle de couverture

Déroulement des travaux :

Il a fallu assurer en même temps la continuité de la circulation sur la place de l'Étoile : on a procédé au morcellement des emprises (17 principales) de longueur minimale 8 m environ lors de la traversée de la place de l'Étoile

Points de passage délicats :

- passage sur les lignes 1 et 6 . Il était impératif de maintenir le trafic ferroviaire - Solution adoptée : mise sur cintre des voûtes du métro , démolition des voûtes et piédroits , réalisation de la dalle inférieure du passage souterrain par poutrelles enrobées
- construction du passage souterrain et de l'usine de ventilation à l'aplomb de l'Arc de Triomphe , à cause du report des charges de la ligne 1 sur la ligne 6 , puis sur le couloir latéral à la ligne 6

Durée des travaux :

- gros œuvres : Novembre 68 à Décembre 69
- second œuvre et finitions : Janvier 70 à Juillet 71

FICHE D'OUVRAGE D'ART

Toulouse
31AMÉLIORATION DE LA
VOIRIE URBAINEPASSAGE SOUTERRAIN
A GABARIT RÉDUIT

Exécution : NOVEMBRE 1970

Direction départe-
mentale de
l'Équipement et
du Logement

RN . 632

Mini-souterrain du
carrefour Saint-Cyprien

Allée Charles de Fitte

① Généralités

DESCRIPTION : Longueur de l'ouvrage 135 m comportant :

- deux trémies d'accès de 42,50 m
- deux passages souterrains de 22,50 m , séparés par un passage à ciel ouvert de 5,00 m

GÉOMÉTRIE :

Profil en long des trémies : deux arcs de cercle , au point haut : 600 m de rayon sur 45,50 m
au point bas : 200 m de rayon sur 15,17 m

- pente maximale : 7,6 %.

Largeur intérieure de l'ouvrage : 6,20 m , chaussée à 2 voies

Gabarit intérieur : 2,00 m

NATURE DES SOLS : en couches successives sur 4,00 m de profondeur

- limon argileux brun
- sable fin argileux gris
- limon argileux gris noir moyennement consistant
- argile vaseuse grise molle
- graves sablo-limoneuses

STRUCTURES :

- Trémies et passages ouverts : murs préfabriqués en L , en béton armé ; de hauteur variable entre 1,60 et 3,96 m épaisseur constante 0,20 m
- Passage souterrain : portiques ouverts préfabriqués en béton armé , rendus solidaires par deux blocs de jonction coulés en place traversés par une armature de précontrainte S E E E type F 02

CALCULS :

- Surcharges sur remblai 2 t / m²
- Surcharges routières réglementaires + char de 70 t

Solidarisation des éléments :

- hypothèses
- les zones de solidarisation sont des rotules ne transmettant que des efforts tranchants
 - la déformation de chaque élément par flexion transversale est négligeable devant sa déformation par torsion

TECHNIQUES DE RÉALISATION : Compte tenu de la circulation , le souterrain est réalisé en deux phases permettant de maintenir le trafic dans le sens perpendiculaire à l'axe de l'ouvrage pendant la durée des travaux

Les différents éléments en béton armé constituant l'ouvrage sont préfabriqués et assemblés sur le site , la fouille étant préalablement ouverte et aménagée à cet effet

1. PRÉFABRICATION : Le chantier de préfabrication est installé à Toulouse ; les différents éléments construits sont stockés en place , sans subir de manutention avant un délai de 7 jours
2. TERRASSEMENTS :
 - a) Pré-découpage de la fouille : deux tranchées latérales de 0,50 m de largeur à parois verticales limitent les hors profils de la fouille
 - b) Terrassement en masse par deux traxcavators de 1300 l de capacité et à déversement latéral
 - c) Purge - Réglage des parois et fond de fouille seront exécutés à la main . Étant donnée la faible profondeur de la fouille (2,50 m) , il n'est pas prévu de blinder les parois
3. MISE EN PLACE DES ÉLÉMENTS assurée par des engins de levage (400 t x m) , elle comprendra trois phases :
 - a) Pose des éléments en souterrain , depuis l'extrémité opposée à la rampe par laquelle sont amenés les éléments
 - b) Pose des éléments constitutifs de cette rampe dans le sens : souterrain vers le haut
 - c) Pose des éléments de la deuxième rampe , dans le sens : souterrain vers le haut

Tolérance de mise en place : ± 1 cm entre 2 éléments successifs
± 5 cm par rapport au profil théorique

4. JOINTS VERTICAUX ET HORIZONTAUX DES ÉLÉMENTS : Les réservations pour joints aménagés lors de la préfabrication seront bourrés à l'aide d'un mortier aux résines époxydes . Chaque joint est réalisé dès la mise en place de deux éléments consécutifs La solidarisation des éléments entre eux est achevée par la mise en tension de deux armatures de précontrainte longitudinale S E E E type F 02 . Chaque armature est enfilée dans une gaine noyée à la préfabrication dans chaque élément souterrain On procédera ensuite à l'injection de la gaine et à l'enrobage des culots
Schémas indiqués sur la fiche n° 4

Exécution : NOVEMBRE 1970

Direction départe-
mentale de l'
Équipement et
du Logement

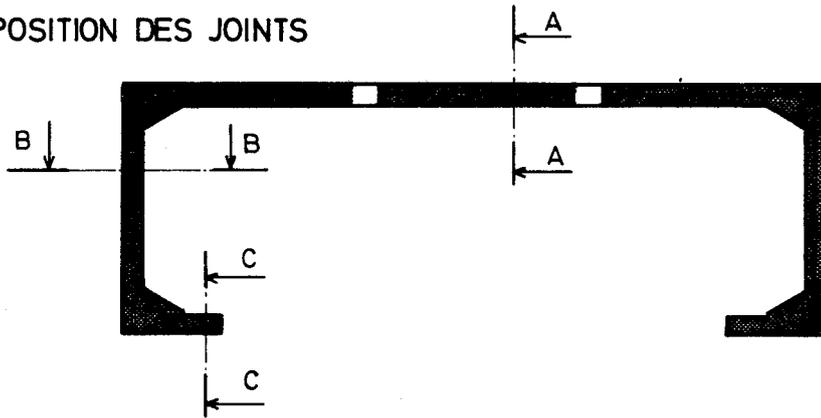
R.N. 632

Allée Charles de Fitte

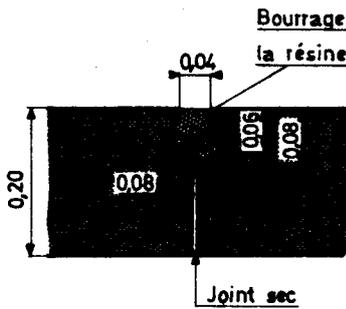
Mini-souterrain du
carrefour Saint-Cyprien

④ Détails d'assemblage
Position des joints

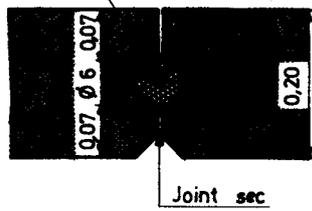
POSITION DES JOINTS



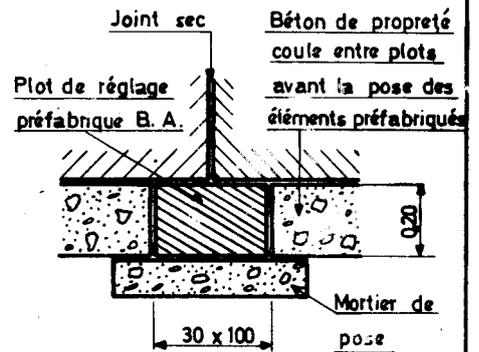
COUPE AA



COUPE BB

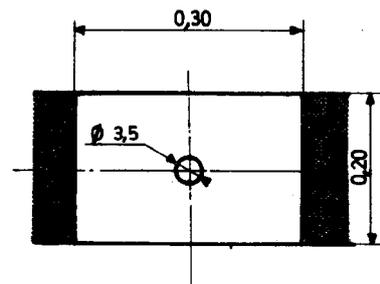
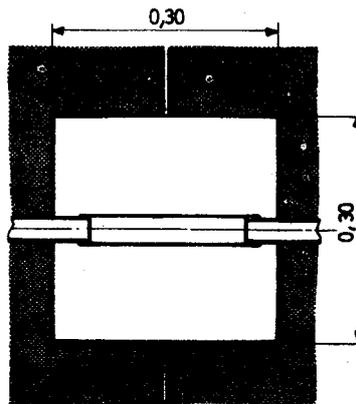
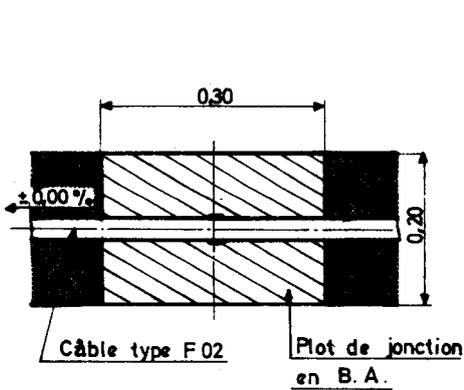


COUPE CC



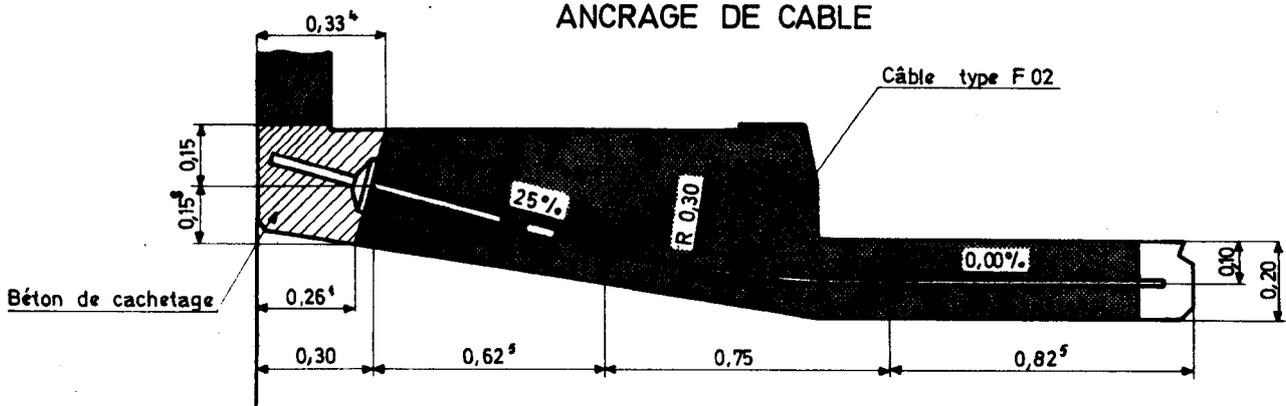
PLOT DE JONCTION

Détails du plot de jonction



ÉCHELLE : 1/50

ANCRAGE DE CÂBLE



Exécution : NOVEMBRE 1970

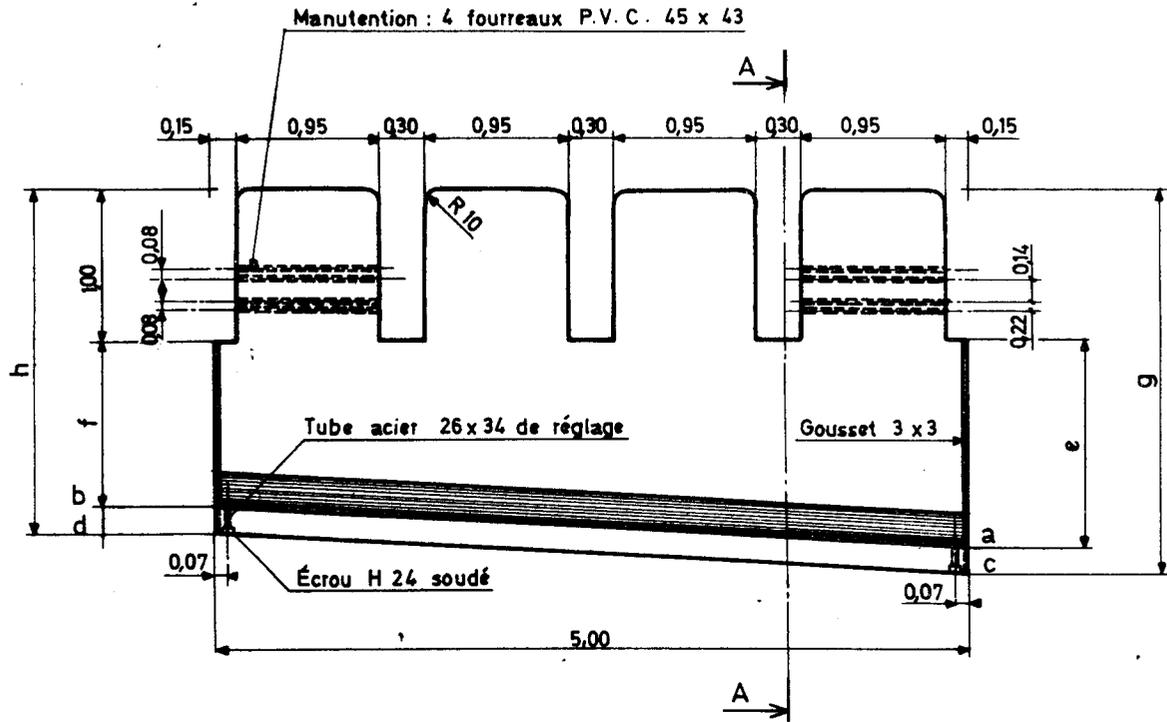
Direction départe-
mentale de
l'Équipement et
du Logement

R.N. 632

Mini-souterrain du
carrefour Saint-Cyprien

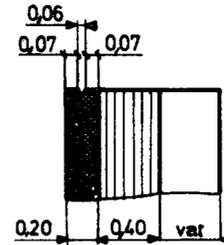
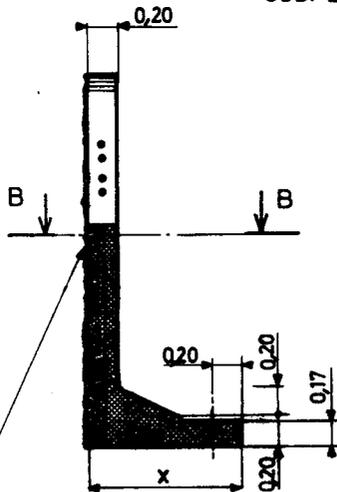
Allée Charles de Fitte

⑤ Éléments préfabriqués
des trémies



COUPE AA

COUPE BB



Coffrage spécial pour obtenir
un parement rugueux

ÉCHELLE : 1/50

	C	D	E	F	G	H	I	C'
a	2,31 ⁷	2,13	1,80 ⁶	1,45 ⁵	1,14	0,86 ⁴	0,62 ³	2,38
b	2,13	1,80 ⁵	1,45 ⁴	1,14	0,86 ³	0,62 ²	0,43 ¹	2,38
c	2,48 ⁷	2,30	1,97 ⁶	1,62 ⁵	1,31	1,03 ⁴	0,79 ³	2,55
d	2,30	1,97 ⁵	1,62 ⁴	1,31	1,03 ³	0,79 ²	0,60 ¹	2,55
e	2,51 ⁷	2,33	2,00 ⁶	1,65 ⁵	1,34	1,06 ⁴	0,82 ³	2,58
f	2,33	2,00 ⁵	1,65 ⁴	1,34	1,06 ³	0,82 ²	0,63 ¹	2,58
g	3,68 ⁷	3,50	3,17 ⁶	2,82 ⁵	2,51	2,23 ⁴	1,99 ³	3,75
h	3,50	3,17 ⁵	2,82 ⁴	2,51	2,23 ³	1,99 ²	1,80 ¹	3,75

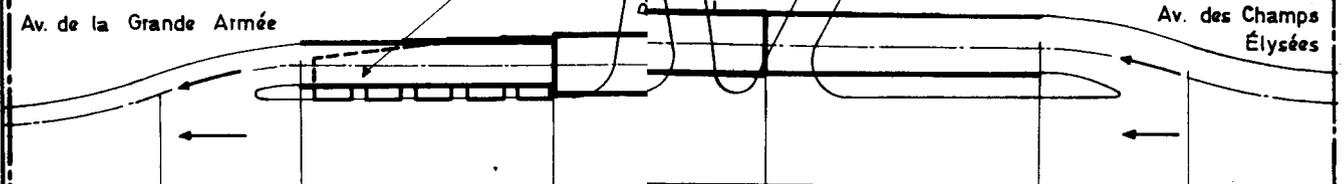
Ouvrage mis en service
en juillet 1970

Direction
technique de la
voirie parisienne

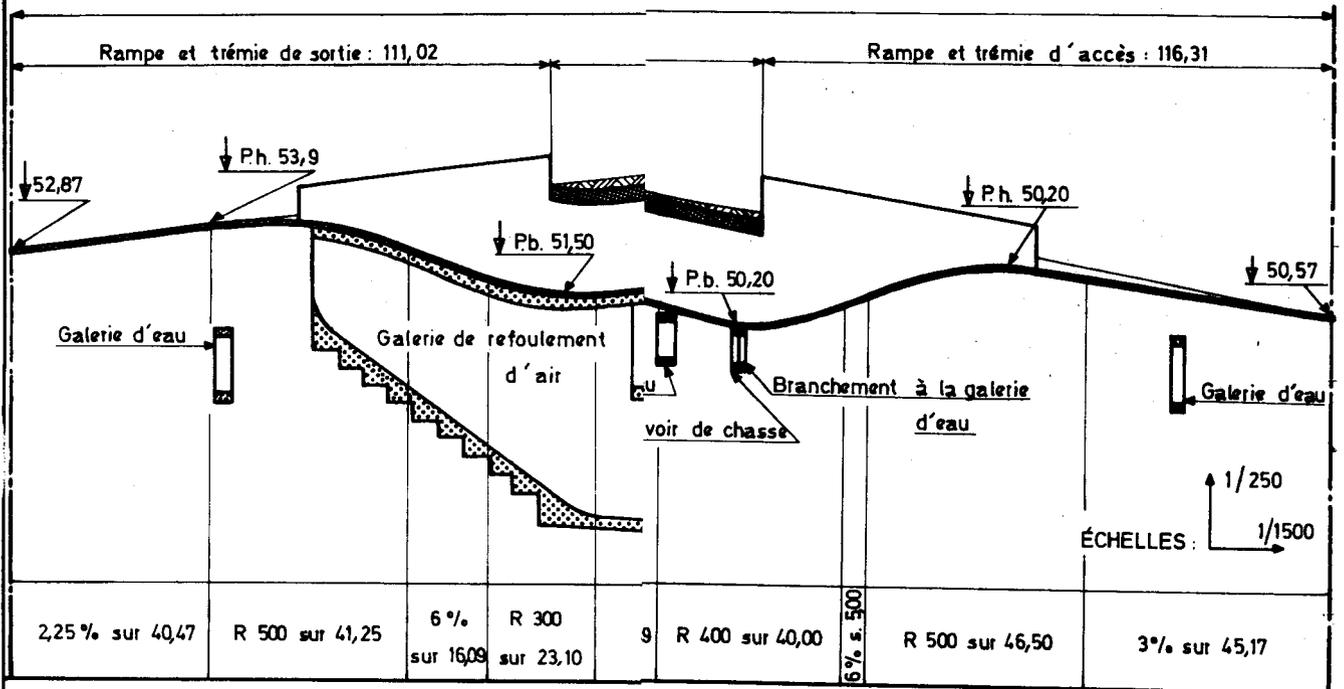
Juxtaposition du piédroit et de la
gaine de l'escalier mécanique sur
36,00 env.

Interdépendance complète du passage souterrain et de
l'ouvrage de ventilation de la R.A.T.P. sur 100 m

Ouvrage de ventilation "Tilsit-Grande Armée"

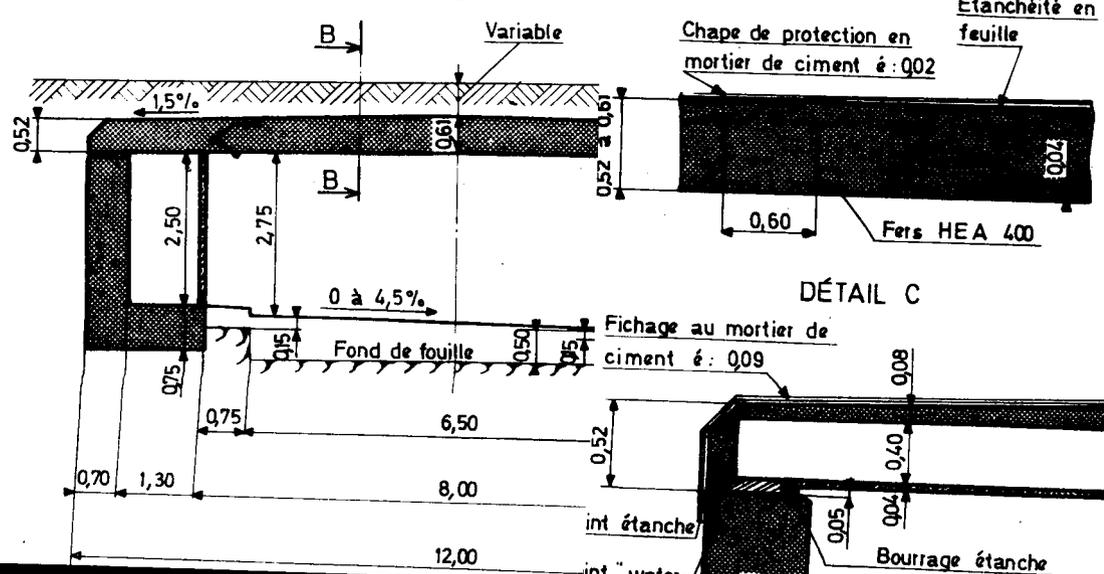


R 86,50 sur 30,81	R 80,00 sur 28,50	Al. dr. sur 51,72	Al. dr. sur 27,00	Clotho. sur 55,60	R 80,00 sur 29,17	R 86,50 sur 31,54
----------------------	----------------------	-------------------	-------------------	----------------------	----------------------	----------------------



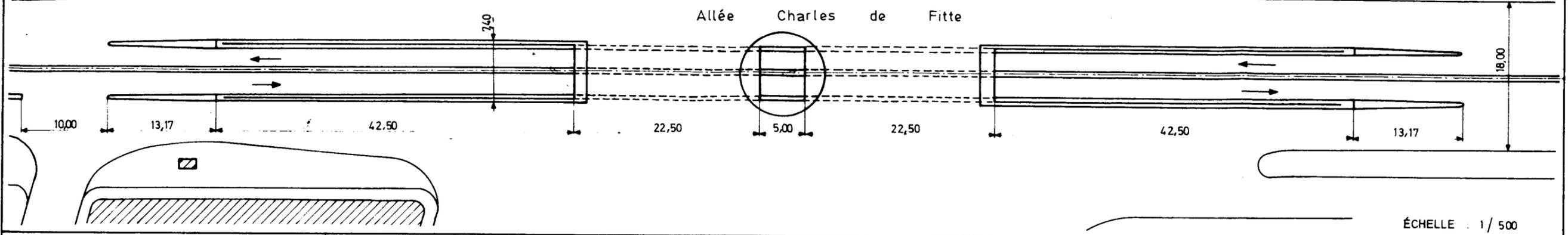
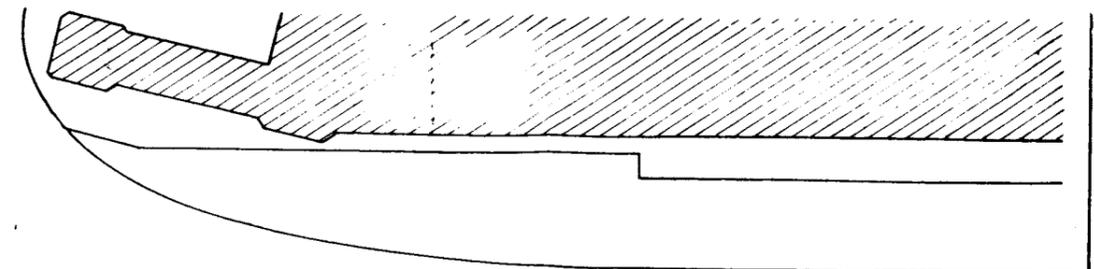
COUPE TRANSVERSALE COURANTE

COUPE BB



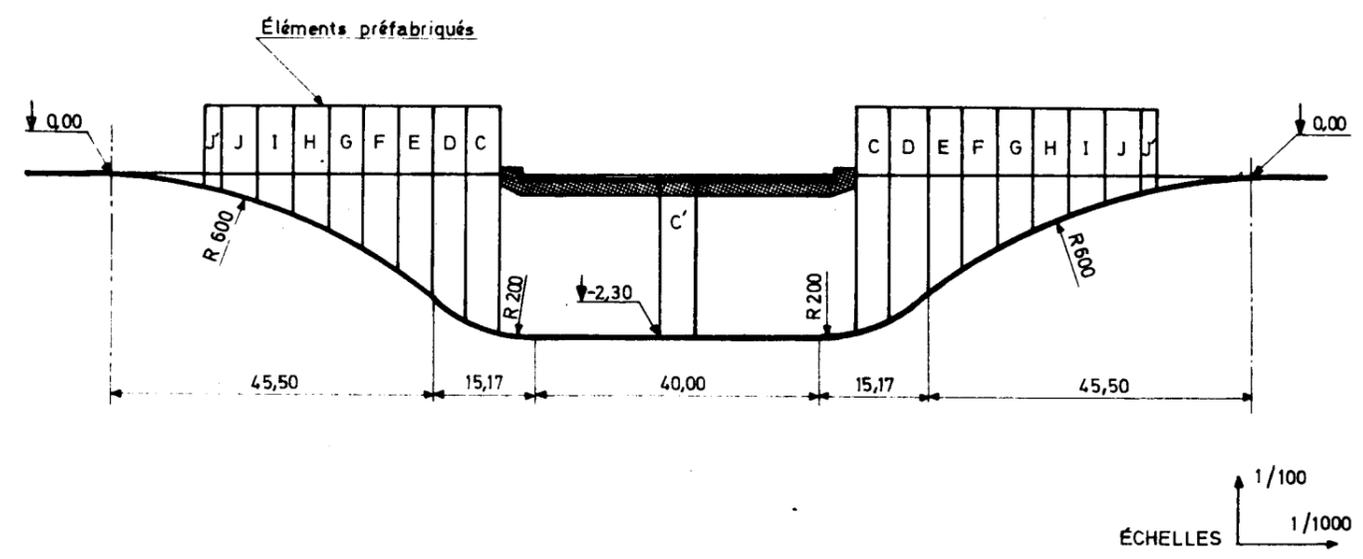
FICHE D'OUVRAGE D'ART

Toulouse 31	AMÉLIORATION DE LA VOIRIE URBAINE	PASSAGE SOUTERRAIN A GABARIT RÉDUIT
Direction départe- mentale de l' Équipement et du Logement	R N 632	Mini-souterrain du carrefour Saint-Cyprien
Exécution : NOVEMBRE 1970	Allée Charles de Fitte	③ PLANS



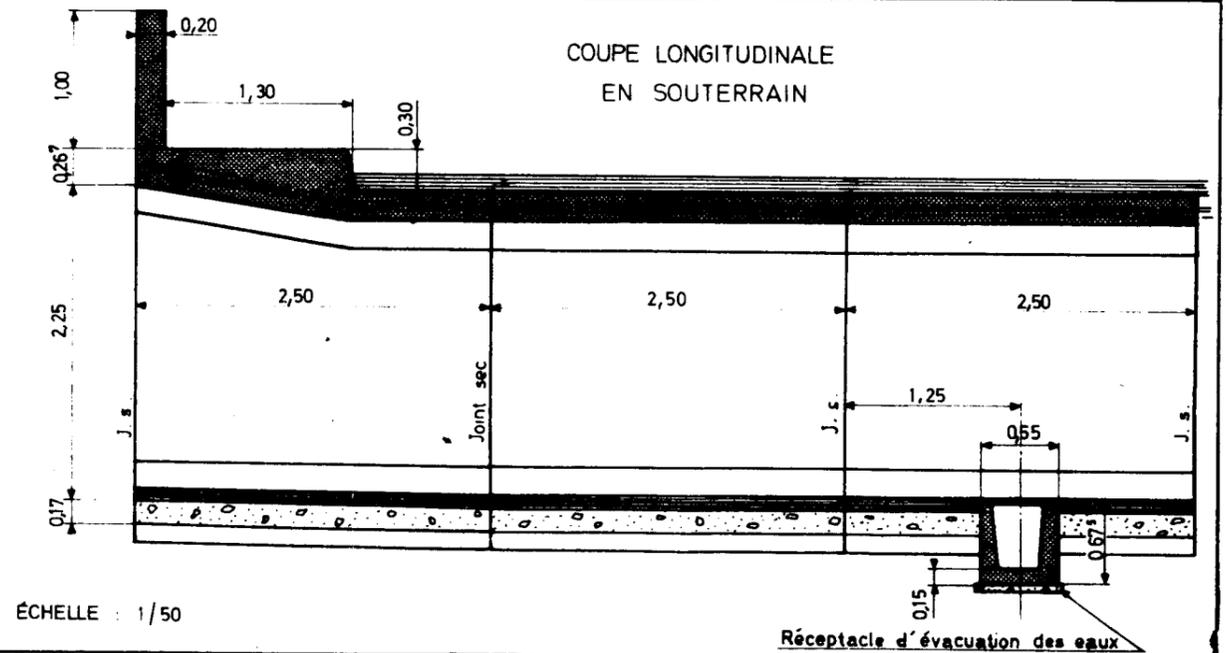
ÉCHELLE : 1/500

PROFIL EN LONG



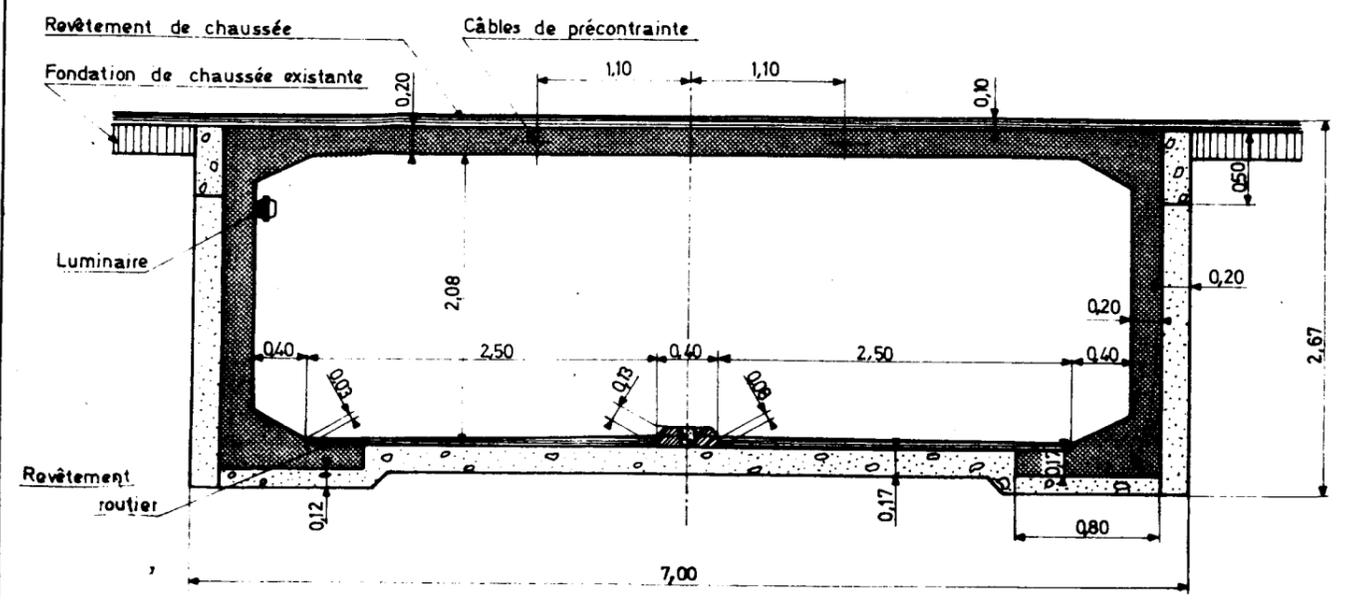
ÉCHELLES 1/100
1/1000

COUPE LONGITUDINALE
EN SOUTERRAIN

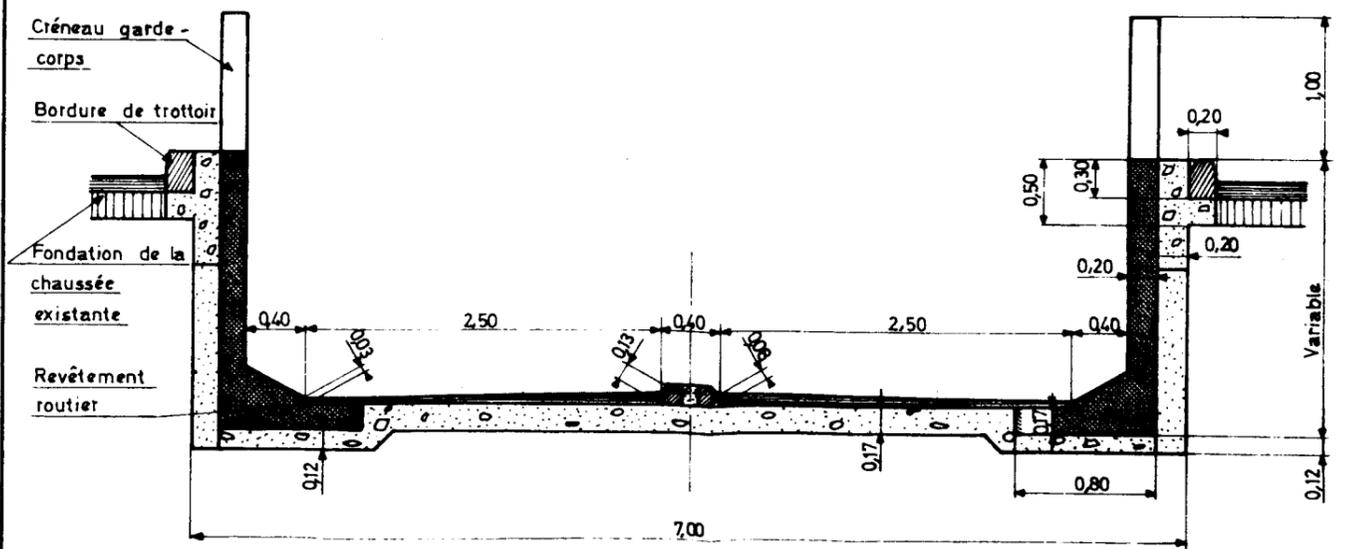


ÉCHELLE : 1/50

COUPE TRANSVERSALE EN SOUTERRAIN



COUPE TRANSVERSALE EN TRÉMIE

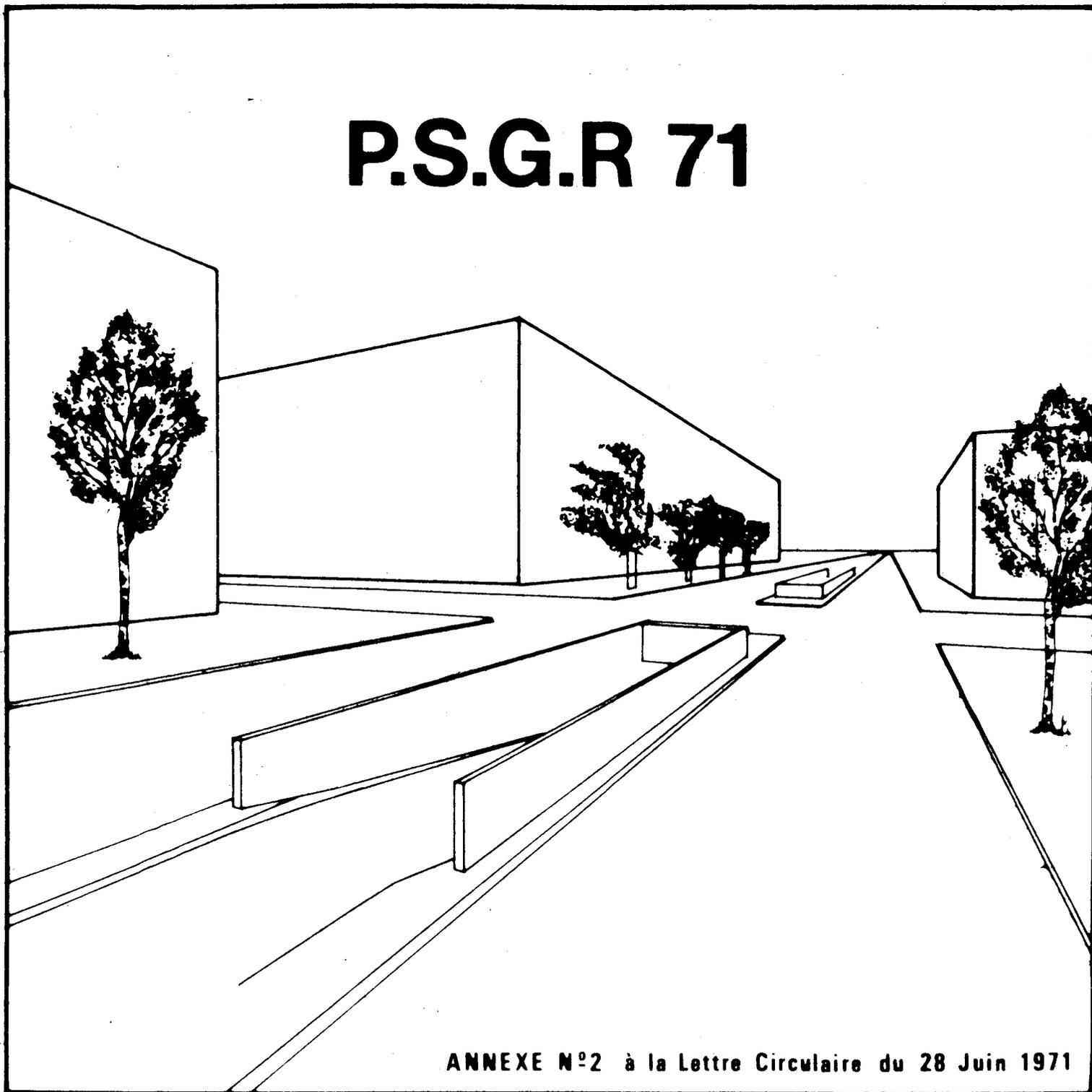


PASSAGES SOUTERRAINS A GABARIT REDUIT.



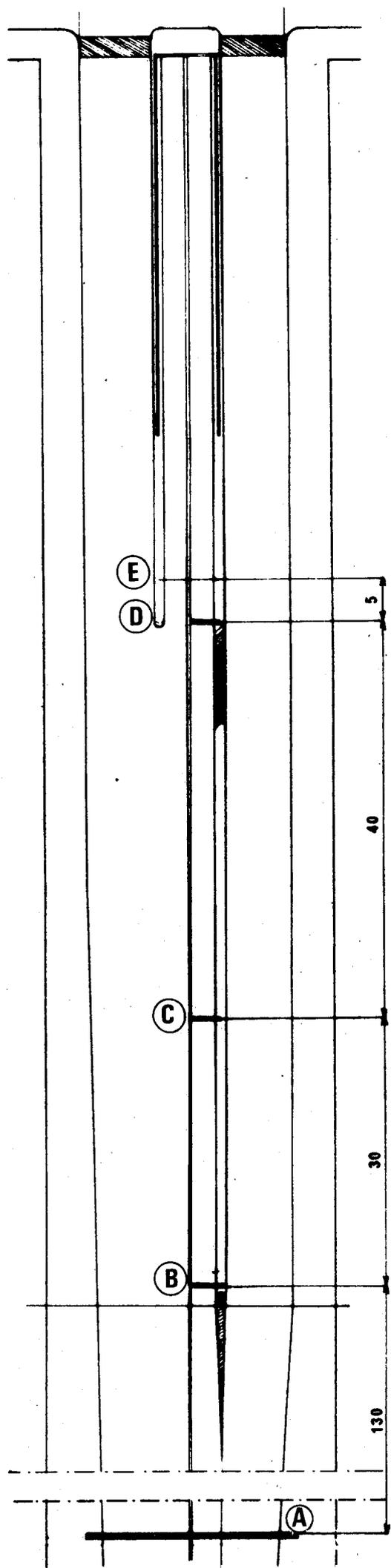
2.3 DOSSIER GUIDE DESSINS TYPE DE SIGNALISATION

P.S.G.R 71

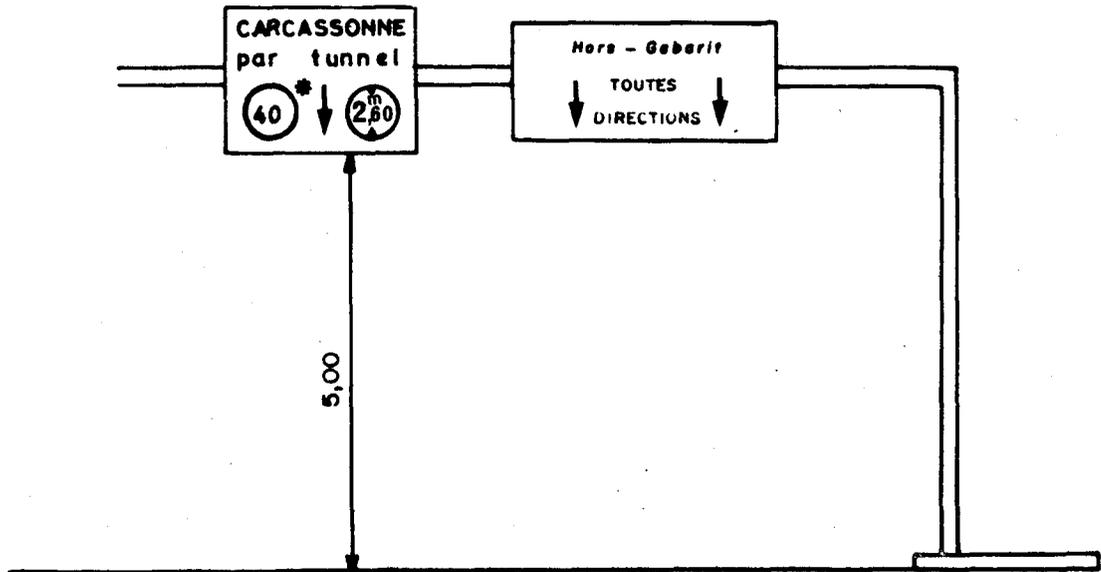


ANNEXE N°2 à la Lettre Circulaire du 28 Juin 1971

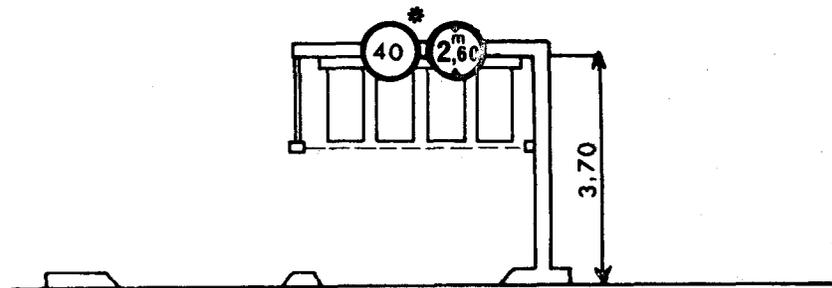
**SIGNALISATION
POSITION DES PANNEAUX
Gabarit A**



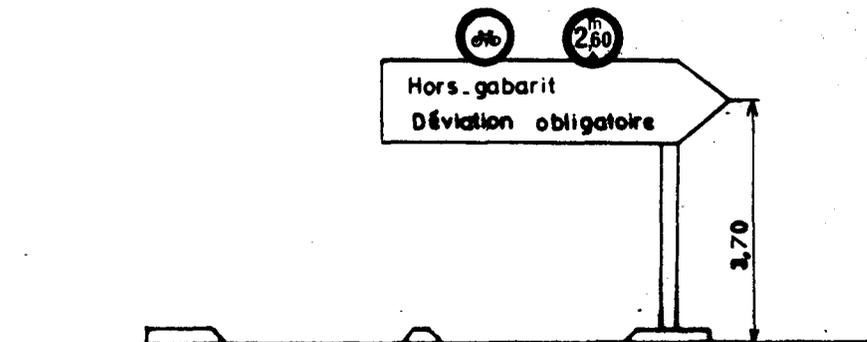
SIGNALISATION DES VOIES D'ACCES



- (a) Portique de présignalisation.
 Contrairement au cas du gabarit A la signalisation prévue est fixe.



- (b) Potence de signalisation et de détection
 des véhicules hors gabarit
 Il commande l'allumage de C

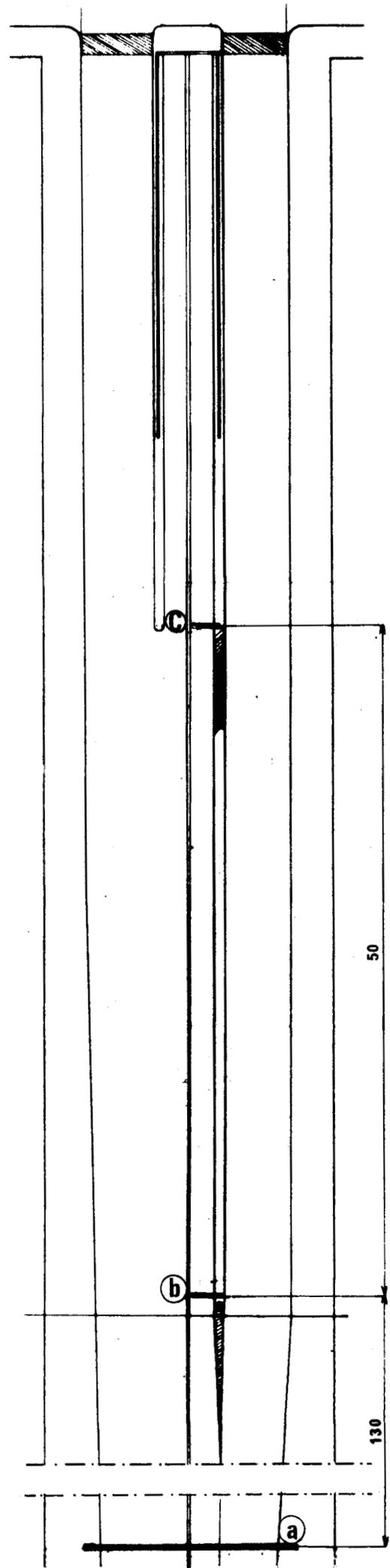


- (c) Potence de déviation

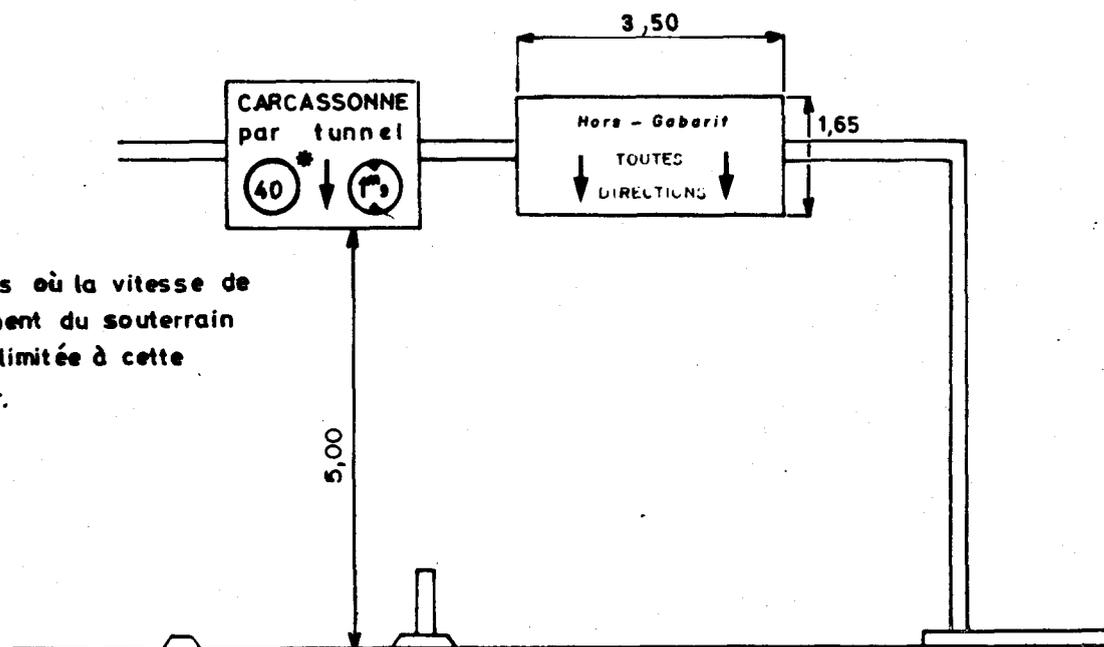
N.B. Pour le détail des panneaux on peut se reporter à ceux donnés pour le gabarit A.

* Dans les cas où la vitesse de franchissement du souterrain a dû être limitée à cette vitesse.

**SIGNALISATION
POSITION DES PANNEAUX
Gabarit 3**

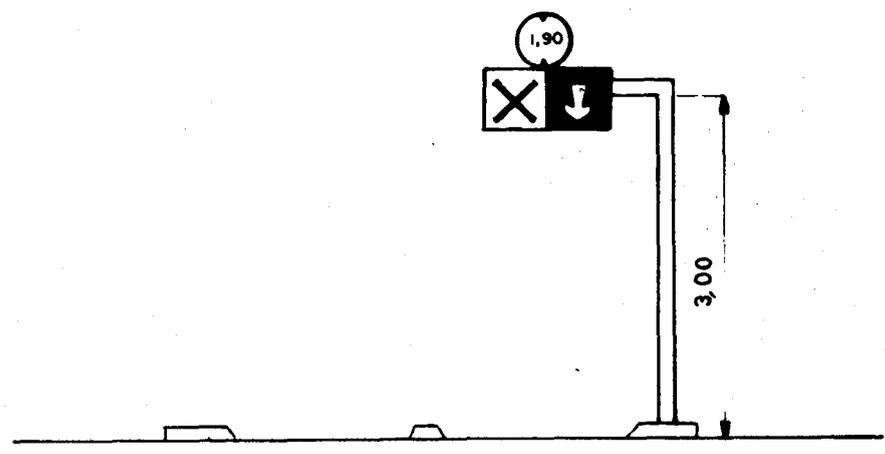


SIGNALISATION DES VOIES D'ACCES



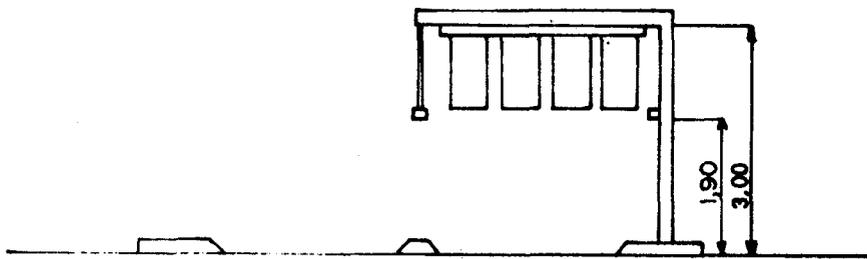
* Dans les cas où la vitesse de franchissement du souterrain a dû être limitée à cette valeur.

(A) - Le portique de presignalisation supporte une signalisation variable. En situation normale, le panneau implanté sur la voie d'accès au minisouterrain indique la direction principale, la vitesse imposée et le gabarit du tunnel. En situation de fermeture accidentelle, le panneau indique "Tunnel fermé" et fait apparaître une flèche de rabattement sur les voies latérales de la chaussée.

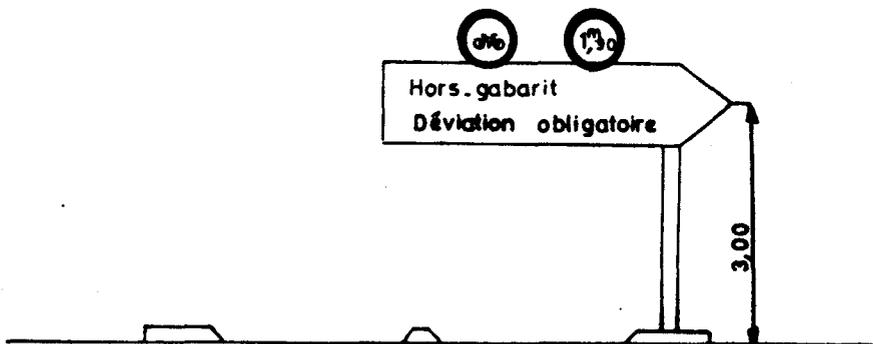


(B) - En situation normale, la flèche verte est allumée, la croix de Saint André est éteinte. En situation de fermeture accidentelle du tunnel, la croix de Saint André rouge est allumée, la flèche verte est éteinte.

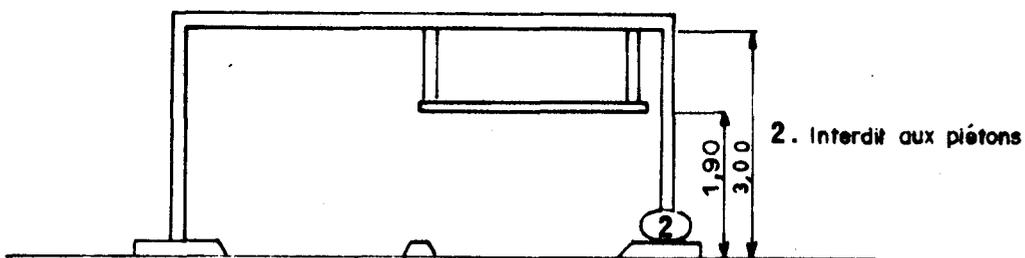
SIGNALISATION DES VOIES D'ACCES



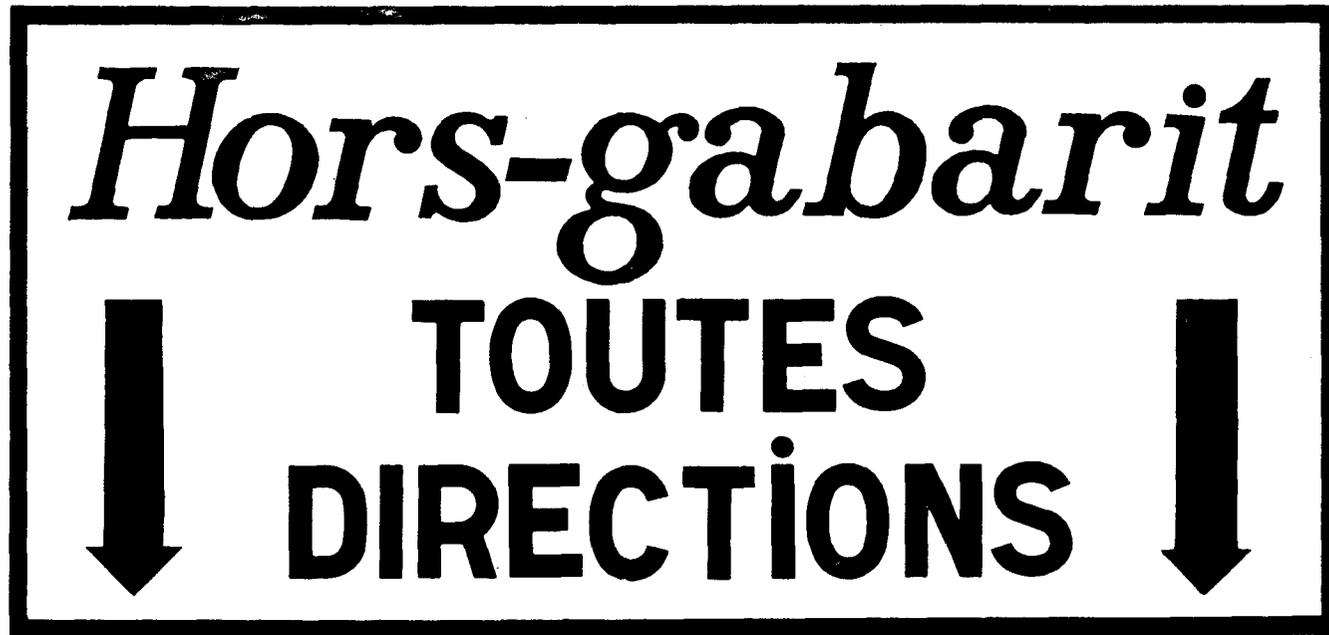
(C) Détecteur des véhicules hors gabarit
Commande l'allumage de D



(D) Potence de déviation

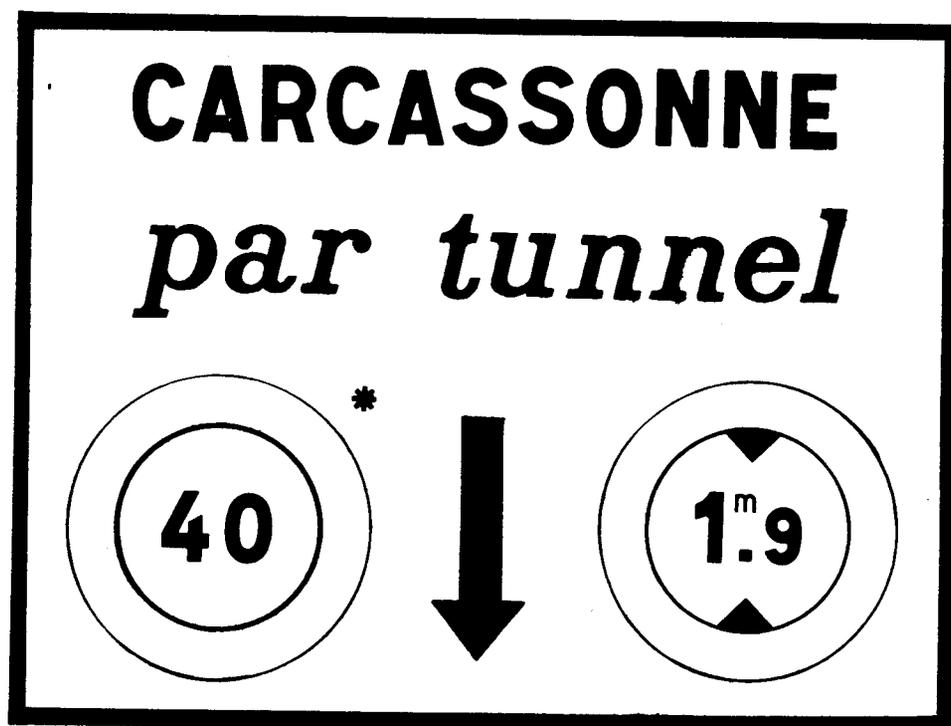


(E) Gabarit



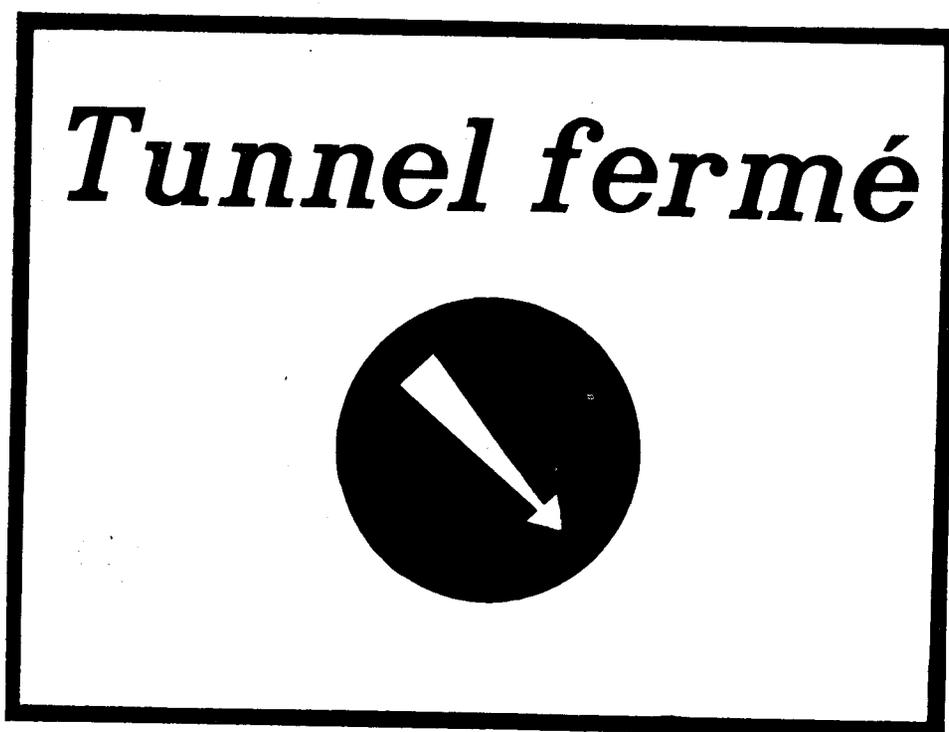
DETAIL A

ECHELLE : 1/20

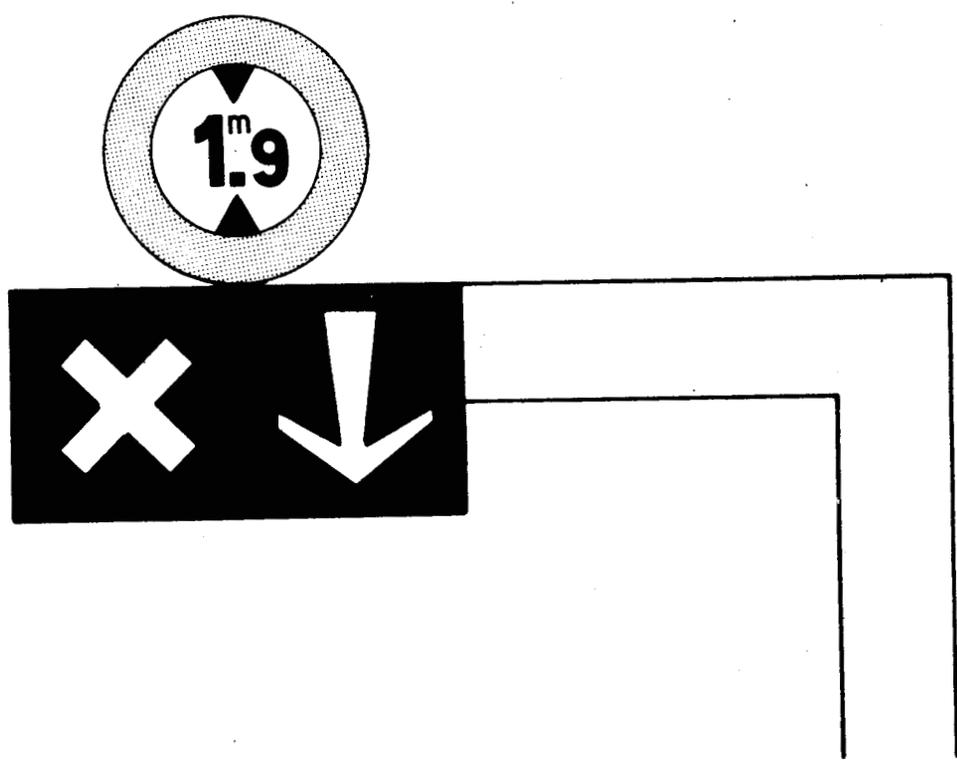


DETAIL A **panneau 1**

* Dans les cas où la vitesse de franchissement du souterrain a dû être limitée à cette valeur.

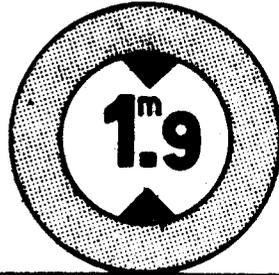
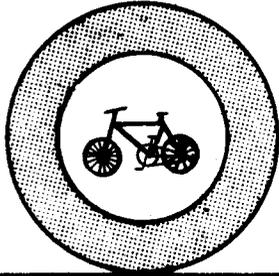


panneau 2



DETAIL B

ECHELLE : 1/20



Hors gabarit
Déviation obligatoire

DETAIL D

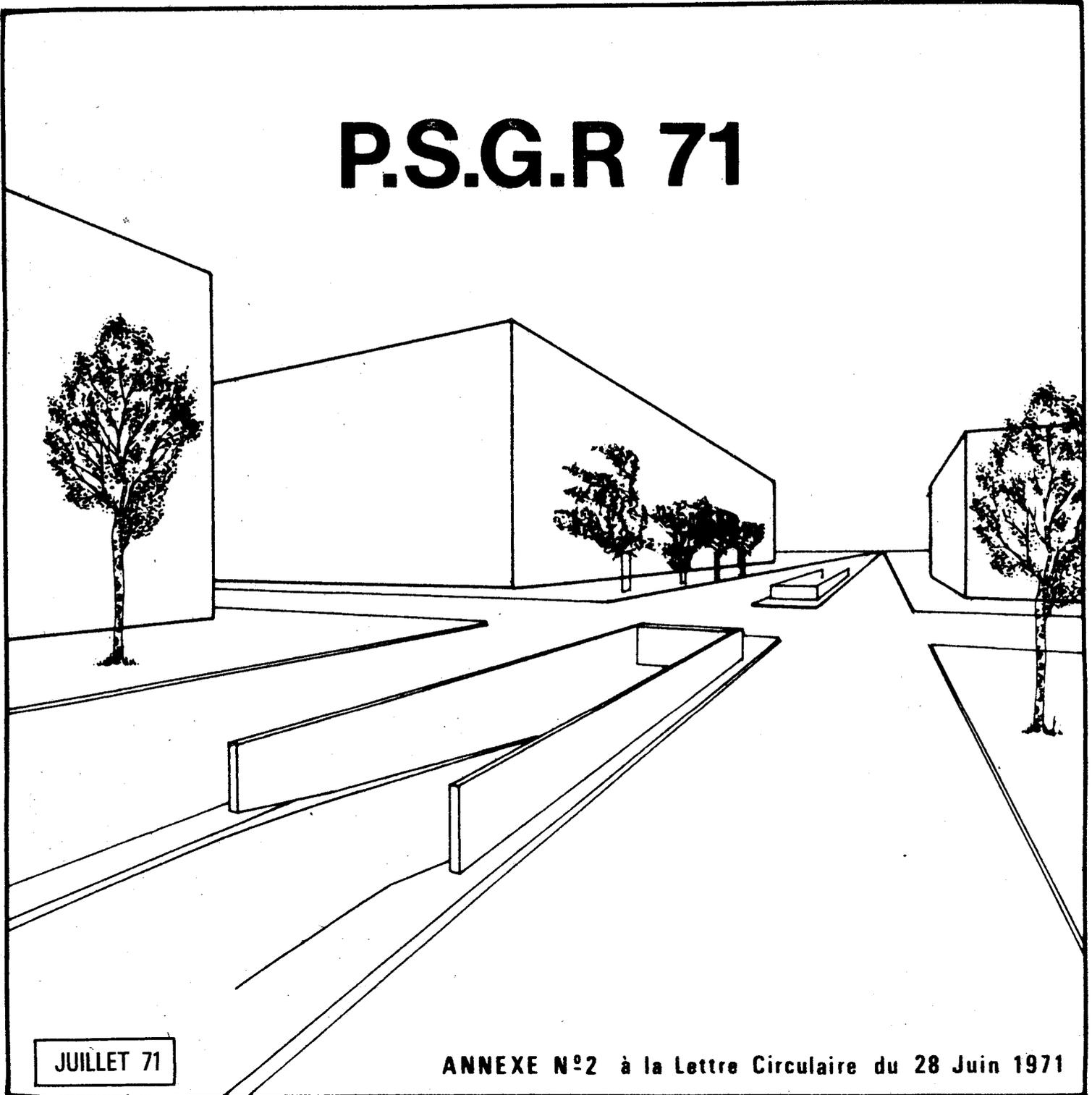
ECHELLE : 1/20

PASSAGES SOUTERRAINS A GABARIT REDUIT.



DOSSIER GUIDE 2.4 PROFILS EN LONG ET DIAGRAMMES DE VISIBILITE

P.S.G.R 71

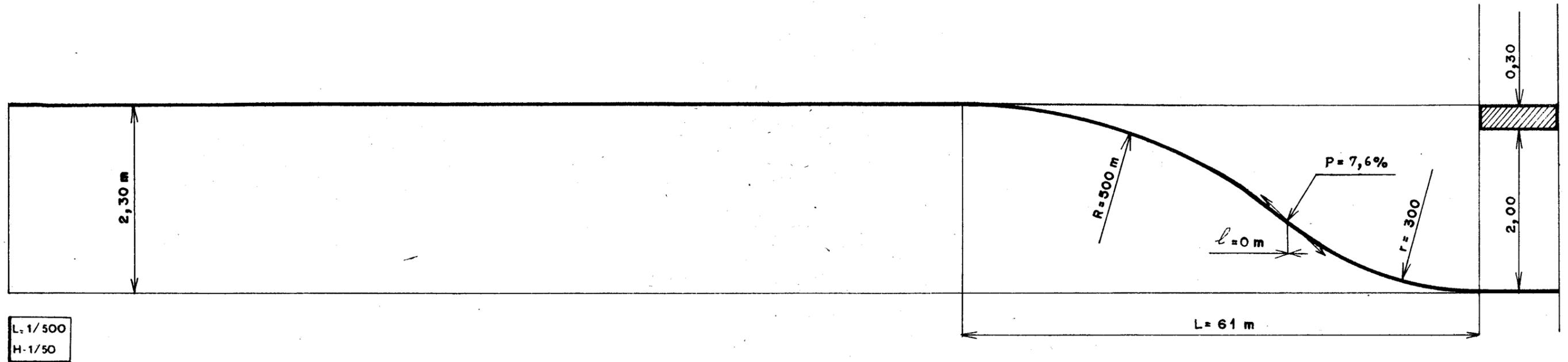


JUILLET 71

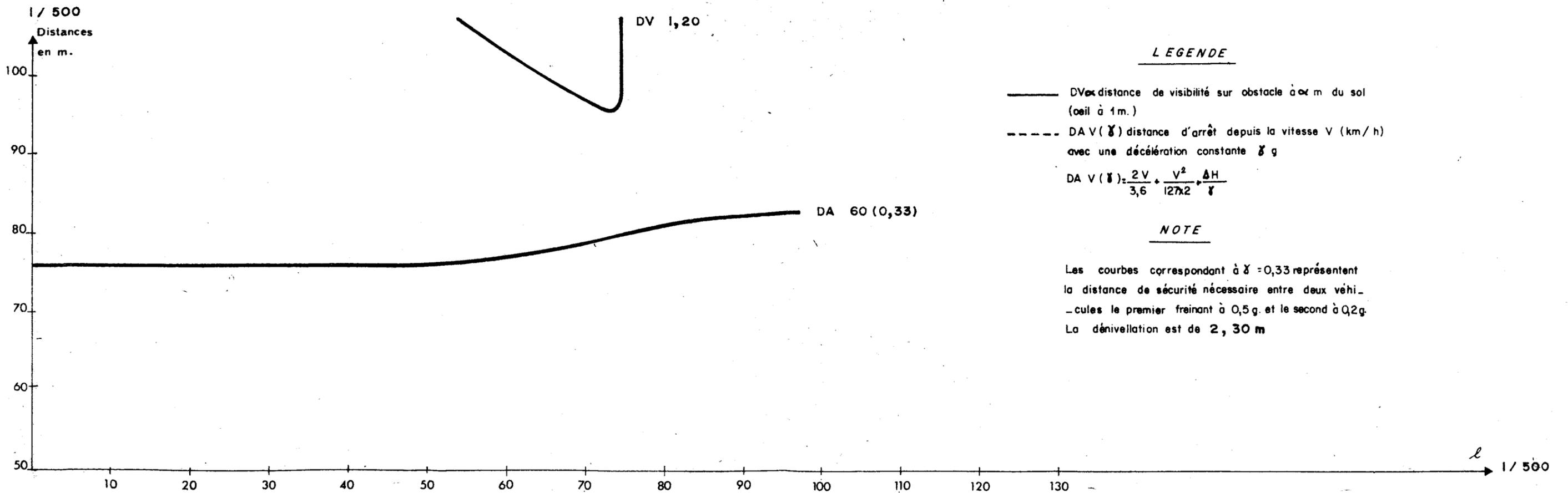
ANNEXE N°2 à la Lettre Circulaire du 28 Juin 1971

GABARIT A - VITESSE 60 km/h

Profil en long schématique

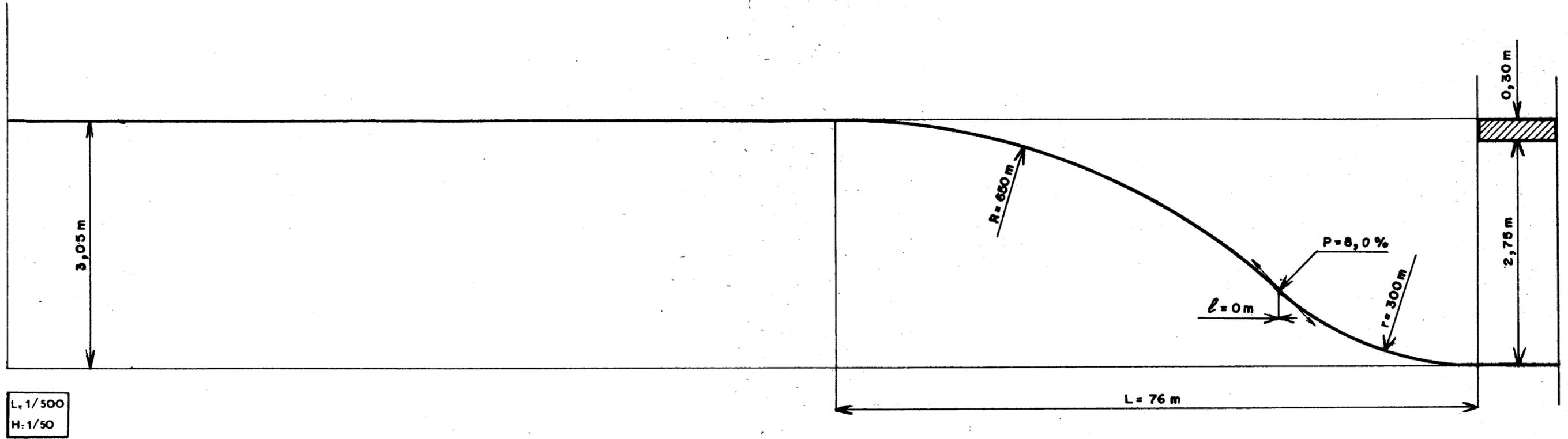


Distance de visibilité et d'arrêt

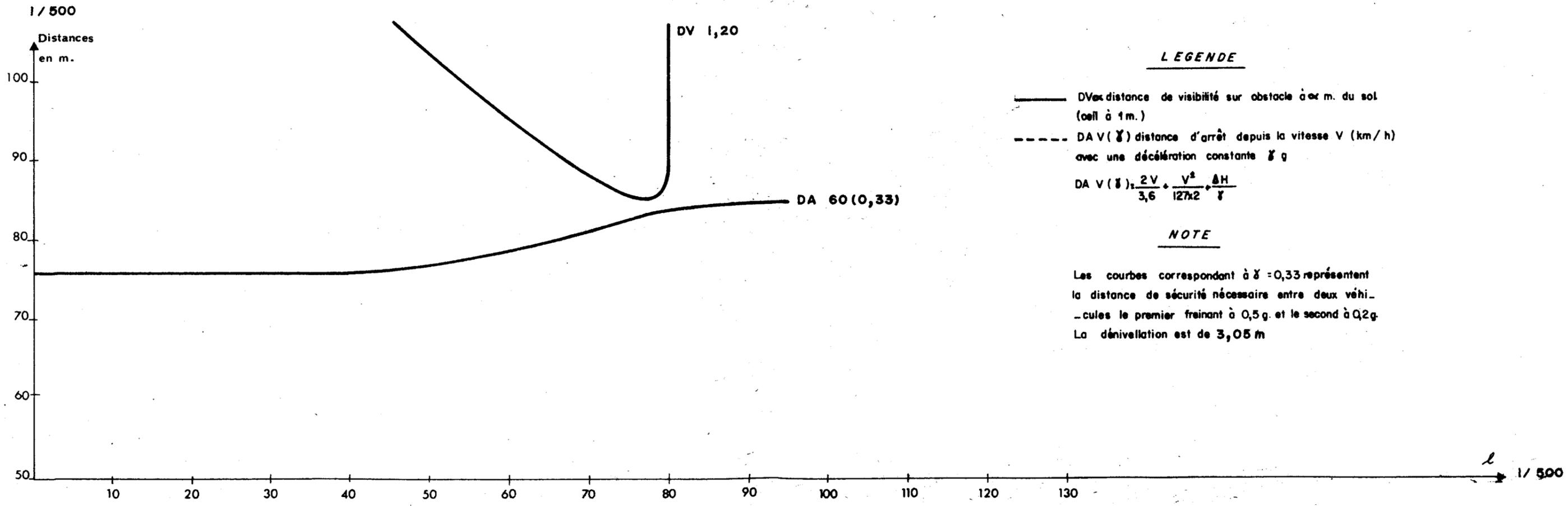


GABARIT B - VITESSE 60 km/h

Profil en long schématique



Distance de visibilité et d'arrêt



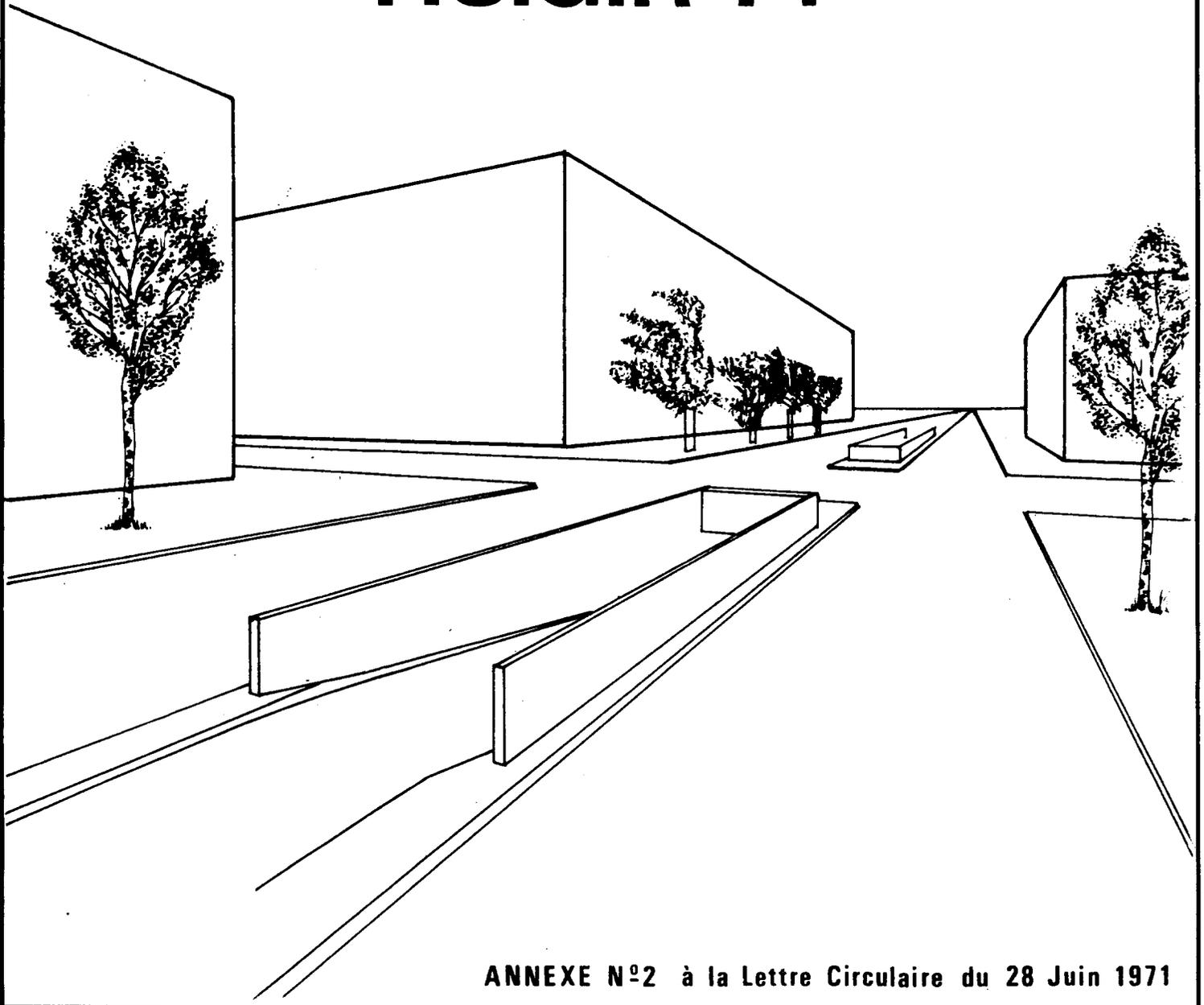
PASSAGES SOUTERRAINS A GABARIT REDUIT.

2.5 DOSSIER GUIDE
VUE PERSPECTIVE D'UN OUVRAGE

SETRA

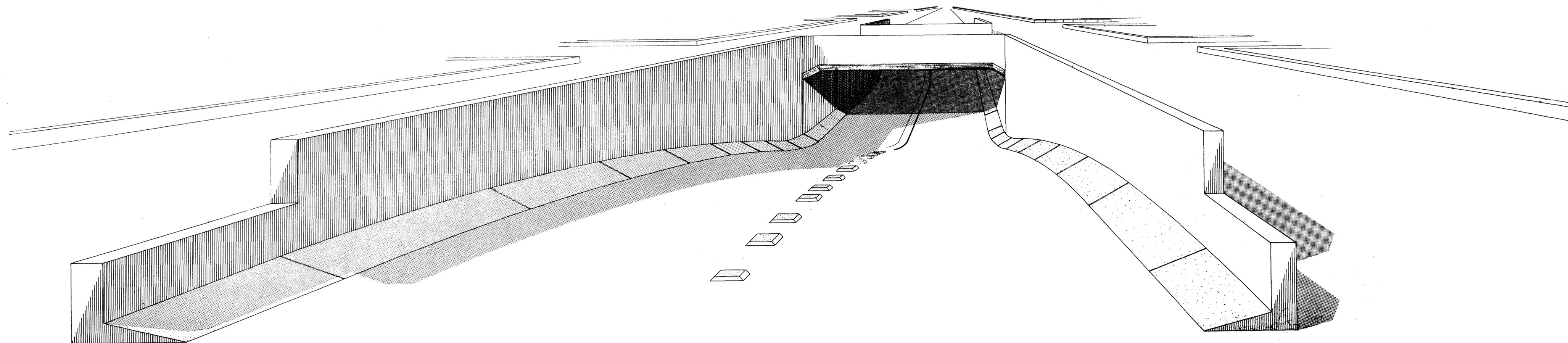
DIVISION
CIRCULATION
EXPLOITATION

P.S.G.R 71



ANNEXE N°2 à la Lettre Circulaire du 28 Juin 1971

MINISTÈRE DE L'ÉQUIPEMENT ET DU LOGEMENT
Direction des Routes et de la Circulation routière



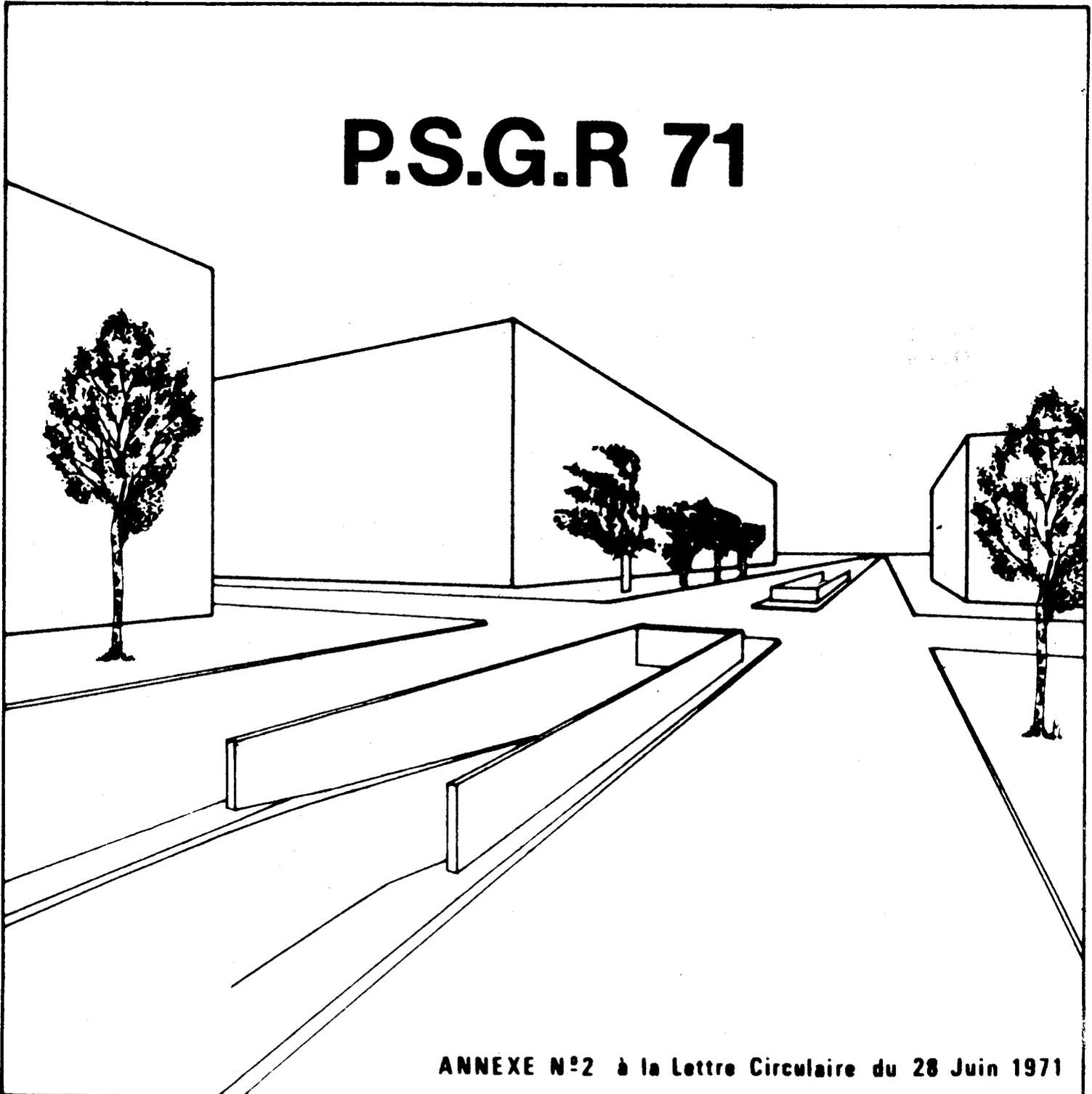
PASSAGES SOUTERRAINS A GABARIT REDUIT.

DOSSIER GUIDE

MISE A JOUR N°2 Décembre 73



P.S.G.R 71



ANNEXE N°2 à la Lettre Circulaire du 28 Juin 1971

MINISTERE DE L'EQUIPEMENT ET DU LOGEMENT
Direction des Routes et de la Circulation routière

B.P. 100 - 92223 BAGNEUX

Division des Ouvrages d'Art B

7ème Arrondissement

En collaboration avec la
Division Exploitation Sécurité

Cette mise à jour N° 2 résume les conclusions principales que nous tirons de l'examen des dossiers d'inscription qui nous sont parvenus en 1972 et 1973 et des réalisations 1973. Elle remplace et annule donc la mise à jour N° 1 qui a été diffusée l'année dernière.

Cette mise à jour comporte trois parties bien distinctes :

- La première complète la pièce 1 en essayant de dégager les facteurs les plus importants qui conditionnent l'aménagement d'un carrefour par un P.S.G.R. Elle est donc à annexer à cette pièce, dans laquelle elle sera ultérieurement fondue.

- La seconde complète la pièce 2 en précisant d'une part dans quel esprit doivent être rédigés les dossiers d'inscription "ouvrages d'art" et d'autre part en apportant un certain nombre de précisions sur des points particuliers de cette pièce 2. (Cette annexe reprend entre autre le paragraphe 2 de la mise à jour N° 1).

- La troisième, qui complète la pièce 2.1 et en constitue le chapitre 4, apporte des éléments de comparaison entre un passage souterrain à gabarit normal et un passage souterrain à gabarit réduit, qui peuvent permettre le choix entre ces deux types d'ouvrages. Elle est donc à insérer à la fin de la pièce 2.1, c'est-à-dire après la page 31. Le sommaire de la pièce 2.1 étant complété comme suit :

"4 - Etude comparative d'un passage souterrain à gabarit normal et d'un passage souterrain à gabarit réduit".

Nous signalons également qu'une lettre-circulaire de la Direction des Routes et de la Circulation Routière (RIP I U/73 - 272 du 25 Mai 1973 a fixé la procédure à suivre pour le programme 1973. Elle comporte un certain nombre de renseignements très utiles sur la composition et le mode d'établissement du dossier "circulation". De plus, les services intéressés par la construction d'un P.S.G.R. pourront utilement prendre contact, dès le démarrage de leurs études, avec leur C.E.T.E. ou la Division Exploitation Sécurité du S.E.T.R.A. (M. GOY) pour les problèmes de circulation et avec la Division des Ouvrages d'Art B du S.E.T.R.A. (M. DURAND, I.P.C. et M. PERREY, I.T.P.E.) pour les problèmes d'ouvrages d'art.

ANNEXE A LA PIECE 1 "CIRCULATION"CONDITIONS D'UN AMENAGEMENT

De nombreux carrefours urbains importants sont dans une situation proche de la saturation et doivent être aménagés.

1 - AMENAGEMENTS SUPERFICIELS

Ce sont ceux qui doivent d'abord être envisagés. En général ils sont de 4 ordres :

- implantation d'une signalisation tricolore
- interdiction éventuelle de certains mouvements parasites
- réduction, dans la mesure du possible, du nombre des entrées du carrefour par un certain nombre de mises en sens unique
- élargissement des entrées du carrefour dans la limite permise par la sauvegarde de l'environnement.

Lorsque cela s'avère insuffisant, le recours à un aménagement coûteux, tel un P.S.G.R., peut être envisagé.

2 - AMENAGEMENTS PAR OUVRAGES DEFINITIFS TYPE P.S.G.R.

Tout aménagement par un P.S.G.R. doit procurer :

- Au carrefour, une réserve de capacité que la croissance du trafic ne résorbera pas avant un assez long délai.
- A des conducteurs assez nombreux, un gain de temps suffisant pour obtenir un rapport Avantages/Coût élevé.

FACTEURS DETERMINANTS POUR LE CHOIXDE L'IMPLANTATION D'UN P.S.G.R.1 - EMPRISE

La largeur hors-tout d'un P.S.G.R. est comprise entre 5,70 m, pour un ouvrage à une voie de gabarit A, et 8 m pour un ouvrage à deux voies de gabarit B, si l'on considère les ouvrages les plus répandus.

La préservation de l'environnement et la desserte des riverains requièrent une emprise qui constitue une sévère restriction d'emploi. Des exemples sont donnés pièce 1 page 8 à 15.

Il arrive cependant que le site impose un assouplissement de ces exigences. En effet deux ouvrages bidirectionnels devront prochainement être réalisés dans des voies à double sens avec des emprises variant de 20 à 30 m.

Les chiffres du dossier-guide peuvent donc être modulés en fonction de la nature de l'environnement.

2 - CAPACITE : Définitions § 3c page 5 de la pièce 2.1

2.1 - CAPACITE D'UN CARREFOUR

Des méthodes d'études ont déjà été diffusées par le S.E.T.R.A. Les références de ces documents sont donnés page 5 au § 3b de la pièce 1.

Cependant nous rappelons les moyens qui permettent de décongestionner un carrefour. Sur un carrefour quasi saturé on peut :

- Soit diminuer la somme des débits principaux actuels en :

a) déviant un courant impliqué par un autre itinéraire, ce qui diminue le nombre de véhicules empruntant le carrefour.

b) élargissant des entrées principales, ce qui diminue leurs débits unitaires dans la même proportion.

c) interdisant un ou plusieurs mouvements tourne-à-gauche. Dans ce cas le nombre de véhicules n'est pas nécessairement modifié mais l'effectif des vvpd/h/file est diminué (le coefficient 1,6 ne jouant plus)

- Soit accroître la somme des débits principaux admissibles. Ce résultat peut s'obtenir par l'un des moyens suivants ou leur conjugaison.

a) Diminution du nombre de phases du cycle de feux soit par interdiction des courants tourne-à-gauche bénéficiant d'une phase particulière soit par suppression d'entrées du carrefour désormais réservés à la sortie du carrefour et mises en sens uniques.

Il convient de souligner l'efficacité de ces moyens qui, en même temps, diminuent la somme des débits unitaires principaux admis et augmentent la somme des débits admissibles.

b) Elargissement des entrées (en vue d'accroître la largeur moyenne des entrées principales notamment). Ceci peut être réalisé par un simple élargissement, par la création d'une ou plusieurs voies dénivelées en viaduc ou souterrain, ou une combinaison des deux élargissement + voies dénivelées.

2.2 - AMELIORATION D'UN CARREFOUR PAR UN AMENAGEMENT P.S.G.R.

Comme les aménagements envisagés précédemment, un P.S.G.R. peut permettre :

- une diminution de la somme des débits principaux admis actuellement à un carrefour par dénivellation, à une entrée principale, d'un courant direct, d'un courant tourne-à-gauche, voire des deux.

- une augmentation de la somme des débits unitaires admissibles

a) par diminution du nombre de phases du cycle de feux : en supprimant la phase spéciale qui était réservé auparavant à un courant presque totalement dénivelé par le P.S.G.R.

b) par accroissement de la largeur moyenne des entrées : si de plus le courant dénivelé correspondait à une entrée étroite.

Le choix d'une solution exige toujours une connaissance approfondie de la circulation locale, étendue au moins aux carrefours importants en amont et en aval du carrefour aménagé, l'influence de ceux-ci pouvant être sensible s'ils sont suffisamment proches.

Ainsi, si le carrefour aval est saturé, des files d'attente peuvent remonter jusqu'au carrefour aménagé et rendre son aménagement partiellement inopérant; de même, si le carrefour amont est réglé par des feux, le débit du P.S.G.R. sera commandé par la proportion de vert dans la durée du cycle du carrefour amont, puisque, de manière évidente, le P.S.G.R. ne peut pas débiter plus de véhicules que lui en fournit le carrefour amont.

() Il en résulte un lien étroit entre un aménagement par P.S.G.R. et plan
 () de circulation. Il est donc nécessaire d'intégrer tout ouvrage dans un tel plan.
 () à la mise en oeuvre duquel le P.S.G.R. doit concourir au même titre que les au-
 () tres aménagements et équipements.

2.3 - CAPACITE D'UN P.S.G.R.

La capacité d'un P.S.G.R. dépend essentiellement de son gabarit et de son nombre de voies.

2.3.1 - Gabarit

Plusieurs mois après la mise en service du P.S.G.R. de TOULOUSE, de gabarit A, sur cent véhicules suivant sa direction en heure de pointe, 83 conducteurs auraient pu l'emprunter mais 15 l'évitaient, 68 s'y engageaient.

Faute d'autres éléments, on peut semble-t-il, retenir en heure de pointe pour le courant dénivelé un indice de fréquentation des uvp (proportion du nombre total d'uvp se présentant à l'entrée du passage souterrain et l'empruntant effectivement), d'au moins 90 % pour le gabarit B et de 75 % au mieux pour le gabarit A.

La capacité d'un ouvrage est donc virtuellement réduite par son gabarit, d'autant plus sensiblement qu'il est plus réduit.

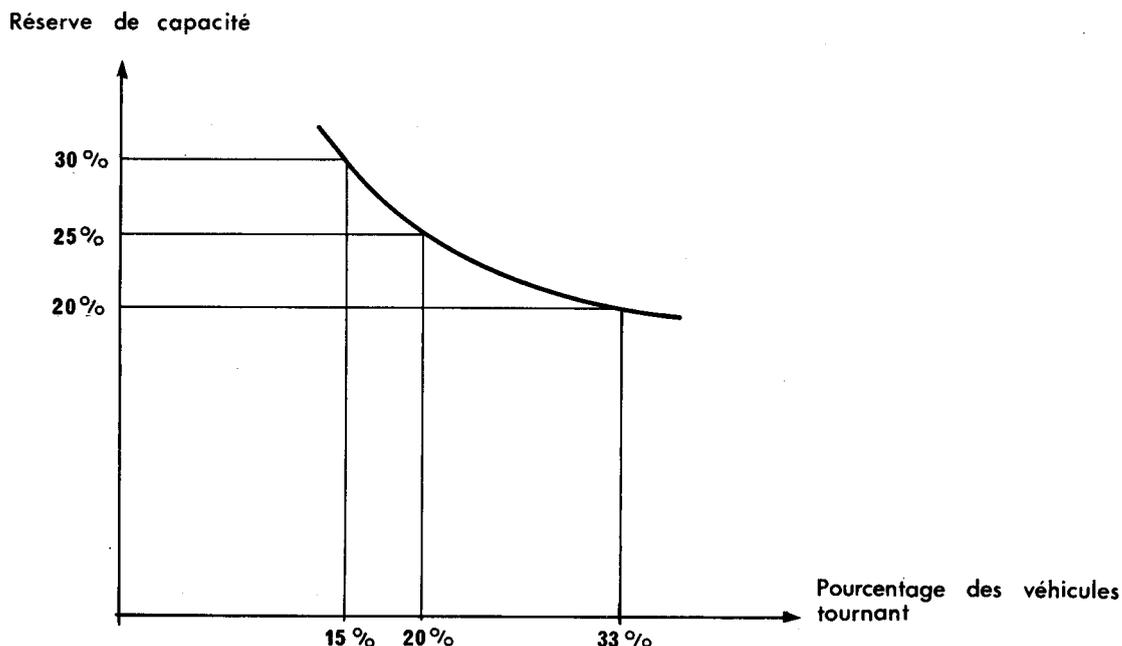
D'autre part les entrecroisements des véhicules qui se dirigent vers l'entrée d'un P.S.G.R. et des véhicules qui s'en écartent sont plus nombreux dans le cas d'ouvrage de gabarit A. Cette gêne accrue, apportée à la circulation, demande une signalisation plus élaborée et plus onéreuse pour un tel ouvrage.

Les inconvénients du gabarit A sont donc tels que le gabarit B doit être retenu dans tous les cas où le gabarit A n'est pas imposé par des impératifs techniques.

2.3.2 - Nombre de voies de l'ouvrage

La capacité d'un P.S.G.R., de l'ordre de 1.500 à 1.800 uvp/h par voie a une valeur moyenne de 1.600 uvp/h/voie.

Le graphique ci-dessous donne la réserve de capacité maximale que peut apporter à lui seul un P.S.G.R. implanté sur une entrée principale d'un carrefour quasi-saturé en fonction de la proportion de véhicules empruntant cette entrée, tournant à droite ou à gauche.



Il faut remarquer que fréquemment un carrefour urbain compte plus de 30 % de véhicules tournant à droite et à gauche.

Il est à noter que dans certains cas, un allongement de la partie couverte peut être intéressant afin de permettre un stockage des véhicules tournant à gauche.

4 - ETUDE DE RENTABILITE

Sur un carrefour aménagé, la circulation améliorée procure un gain de temps à tous les conducteurs. Ce gain est notable, à toute heure pour les usagers d'un P.S.G.R. qui ne subissent plus d'arrêts et de retards dus aux feux, et aux heures de pointe pour tous les autres conducteurs qui disposent d'un temps de vert plus important.

4.1 - GAINS DE TEMPS

Ils sont exposés aux § 1 b page 3 et § 4a2 pages 16 et 17 de la pièce 1.

4.2 - GAIN ECONOMIQUE

Le gain journalier est transformé en gain annuel, égal le plus souvent à 300 fois le premier.

Le gain économique est obtenu en attribuant à l'heure de voiture particulière une valeur de 12 F (au lieu de 10 F en 71) et à l'heure de poids lourd une valeur de 23 F (au lieu de 20 F en 71) pour l'année 73.

4.3 - RENTABILITE

Elle est représentée par le rapport Avantages apportées la 1ère année / Coût de l'aménagement.

Pour obtenir un rapport de 40 % à un carrefour aménagé par un ouvrage ayant les caractéristiques moyennes observées dans le programme 1972, il faut un gain de temps journalier de 237 heures correspondant à un gain de temps ayant par exemple les valeurs suivantes :

- 47 secondes pour chaque usager du carrefour pendant 2 heures de pointe
- 20 secondes pour les usagers de l'ouvrage pendant les autres heures
- 5 secondes pour les usagers au sol.

Au contraire de la réserve de capacité, la rentabilité pose rarement un problème.

ANNEXE A LA PIECE 2 : "DISPOSITIONS TECHNIQUES"

1. - COMPOSITION DU DOSSIER "OUVRAGES D'ART".

Le dossier d'inscription tient lieu, en général, de dossier d'A.P.S. sur lequel est prise la Décision Ministérielle d'engagement. Mais cela n'a pas été accepté pour les dossiers incomplets.

Pour pouvoir être accepté comme A.P.S., le dossier doit fournir les éléments suivants :

- Parfaite définition géométrique de l'aménagement ; en particulier le tracé en plan doit être précisé jusqu'aux portiques de signalisation (environ 150 à 200 m de chaque côté des trémies).

- Une étude géologique au moins sommaire doit pouvoir permettre le choix d'un type de structure et d'une technique de construction qui servira de projet de base de l'administration pour le dossier d'appel d'offres.

- Un rapport des contacts pris avec les différents services de concessionnaires de réseaux qui permette de déterminer la part qui incombera à l'Administration.

- Les possibilités d'organisation du chantier et de la circulation pendant les travaux (cf. § 2.4.3 p. 13).

- Une estimation qui précise par poste les quantités et prix unitaires retenus.

Un tel dossier est déjà très élaboré et constitue normalement un dossier d'A.P.S., ce qui représente un certain investissement. C'est pourquoi nous conseillons dès le démarrage des études de circulation de prendre contact avec la Division Exploitation Sécurité du S.E.T.R.A. (M. GOY) afin de pouvoir déterminer si la solution retenue est la meilleure du point de vue circulation, ce qui permettrait d'éviter de faire des études d'ouvrages d'art inutiles. Bien entendu, s'il subsiste un doute, il est toujours possible de présenter un DI en sachant qu'on aura ensuite à fournir un A.P.S.

2. - COMPLEMENT AU DOSSIER GUIDE "DISPOSITIONS TECHNIQUES".

2.1 - TRACE EN PLAN.

L'aménagement par P.S.G.R. d'un carrefour en zone urbaine conduit parfois à des tracés en plan courbes.

Il est **nécessaire** dans ce cas d'offrir à l'utilisateur, pour lui assurer une sécurité et un confort suffisants :

- des dévers convenablement raccordés (avec incidence sur le gabarit)

- une visibilité correspondant aux vitesses pratiquées.

L'incidence de ces conditions est d'autant plus forte que les rayons sont plus faibles.

Habituellement, la vitesse de référence à retenir est 60 km/h. Cependant, pour les tracés difficiles, il y a tout intérêt, même si l'on est obligé d'adopter une vitesse de référence de 40 km/h pour le tracé en plan, à maintenir les caractéristiques du profil en long correspondant à une vitesse de 60 km/h.

Fauté de normalisation géométrique adaptée au cas particulier des PSGR, on peut envisager de se référer à l'ICTAR (Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Routes nationales du 28 Octobre 1970).

C'est ce que nous avons fait pour calculer les dévers et les surlargeurs figurant dans les tableaux et abaques ci-après.

REMARQUE IMPORTANTE.

(
(
(
(
(
Nous signalons que ces valeurs résultant de l'application directe de l'ICTAR, en prenant comme vitesse de référence 60 et 40 km/h, sont à considérer, dans le cas particulier des PSGR, comme purement INDICATIVES. Il y aura donc lieu d'examiner les adaptations à y apporter dans chaque cas particulier.

Par exemple, on peut considérer que les usagers sont en "attention plus ou moins concentrée" au passage dans le PSGR, et donc que la distance de freinage est inférieure à celle mentionnée dans les tableaux ci-après (correspondant à l'"attention diffuse").

Cette remarque conduirait à considérer que les conditions définies à partir de l'ICTAR, et figurant dans les tableaux et abaques ci-après, seraient des valeurs par excès.

Des études seront entreprises sur les PSGR existants pour apporter des précisions sur ce problèmes du tracé en plan.

Extraits de l'ICTAR

(Voir remarque importante page 2)

1) Courbes en plan et dévers : référence : tableau I.21 p. 17 de l'ICTAR.

Vitesse de référence	Rayon minimal absolu avec son dévers	Rayon minimal normal avec son dévers	Plage des rayons au dévers minimal 2 %
60 km/h	120 m 7 %	240 m 5 %	500 m 600 m
40 km/h	40 m 7 %	120 m 5 %	300 m 400 m

} Au-dessus de ces valeurs il n'est plus nécessaire de déverser ni d'utiliser des raccords progressifs.

2) Visibilité et distance d'arrêt - surlargeurs :

Les distances d'arrêt, définies au § I.22 de l'ICTAR, sont les suivantes :

Vitesse	distance d'arrêt	
	R < 5 V	R > 5 V
60 km/h	R < 300 m 80 m	R > 300 m 70 m
40 km/h	R < 200 m 45 m	R > 200 m 40 m

La visibilité, définie au § I.23 de l'ICTAR, est toujours assurée sans surlargeur, pour des rayons en plan, mesurés dans l'axe de l'ouvrage, supérieurs ou égaux aux valeurs suivantes :

Ouvrage type B 1 du dossier guide (1 voie centrée)

	Vitesse de référence	60 km/h	40 km/h
cas (1)	Courbe à droite	268 m	85 m
cas (3)	Courbe à gauche	308 m	128 m

Ouvrage type B 2 (2 voies) bidirectionnel

	Vitesse de référence	60 km/h	40 km/h
cas (2)	Courbe à gauche et à droite	300 m	108 m

Ouvrage type B 2 (2 voies) unidirectionnel

	Vitesse de référence	60 km/h	40 km/h
Id. cas (2)	Courbe à droite	300 m	107 m
cas (4)	Courbe à gauche	535 m	200 m

Dans beaucoup de projets il n'est pas possible de placer de tels rayons ; c'est pourquoi des surlargeurs pour visibilité sont à prévoir dans les intérieurs de courbes.

Extraits de l'I.C.T.A.R.

(Voir remarque importante page 2)

A titre d'illustration, nous donnons ci-après deux types d'abaques.

1) Les uns, pages 5 et 6, donnent, en fonction du rayon R dans l'axe de l'ouvrage, les surlargeurs à prévoir pour des courbes d'au moins 46 m (respectivement 82 m) de long dans l'axe de l'ouvrage dans le cas d'une vitesse de 40 km/h (respectivement 60 km/h). Pour des courbes se développant sur des longueurs moins importantes, les surlargeurs données dans les abaques sont à diminuer.

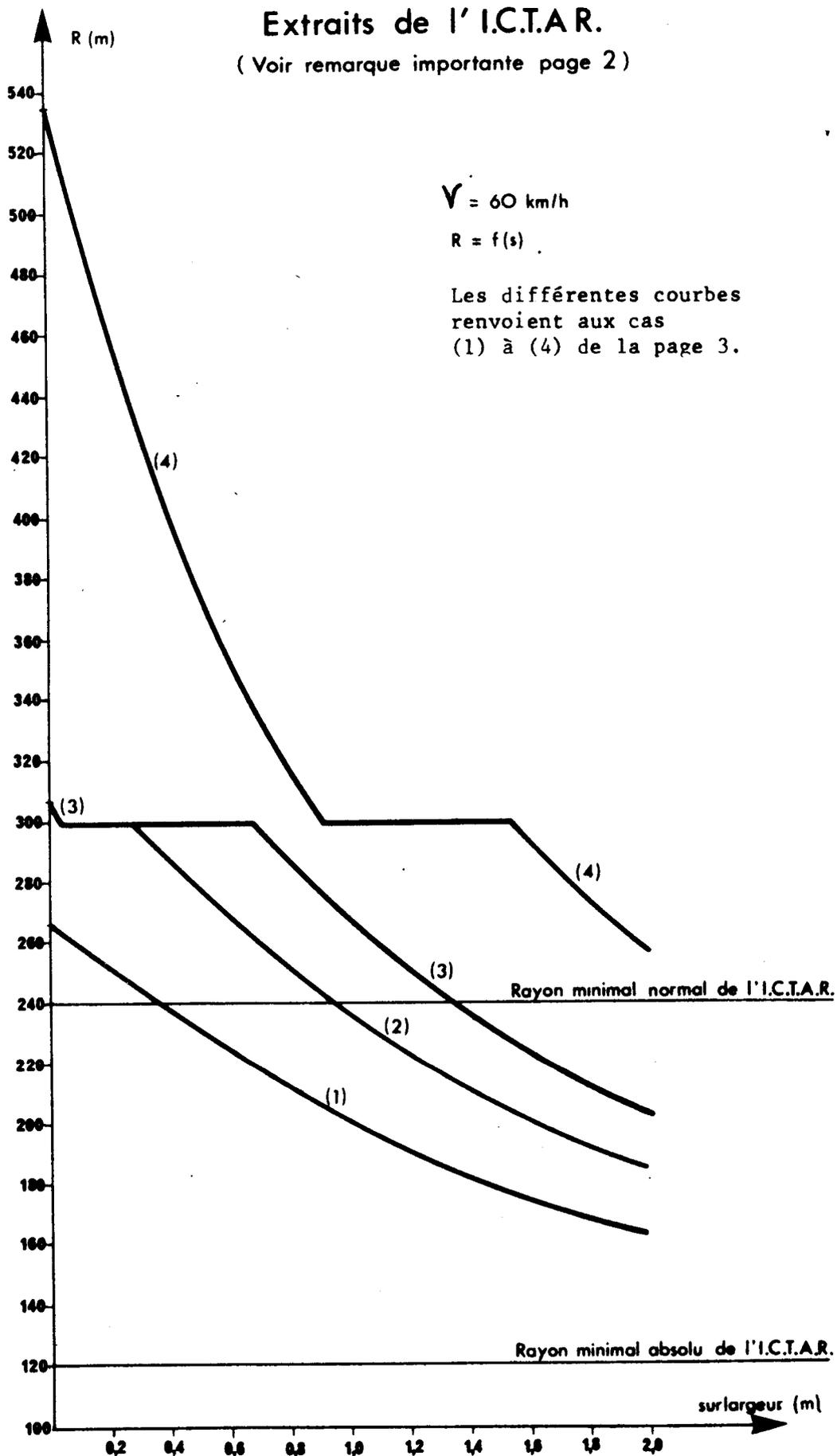
La surlargeur ainsi définie ne fait pas partie de la voie de circulation, qui garde une largeur constante matérialisée par un marquage, mais est à ajouter à la bande dérasée côté intérieur du virage (0,40 m pour le gabarit B_2 , 1,00 m pour le gabarit B_1). Elle est donc indépendante du nombre de voies dans l'ouvrage.

Nota : Dans ce dernier cas (gabarit B_1), on peut envisager de décaler la voie de circulation vers l'extérieur de la courbe (le décalage étant alors à réaliser sur toute la longueur du tracé). La surlargeur fournie par l'abaque est dans ce cas à diminuer d'autant. Le profil retenu peut par exemple être le suivant (de l'extérieur de la courbe vers l'intérieur) : bande dérasée 0,40 m ; voie de circulation 3,00 m ; bande dérasée 1,60 m + surlargeur éventuelle).

2) Les autres pages, 8 et 9, donnent en fonction de l'angle α des 2 alignements (supposés assez longs), à raccorder par un cercle, le rayon minimal dans l'axe de l'ouvrage nécessaire pour ne pas avoir à utiliser de surlargeur, et ceci pour les 2 vitesses de référence considérées. Les surfaces comprises entre les courbes $R = g(\alpha)$ et l'axe des α correspondent aux domaines où des surlargeurs sont nécessaires.

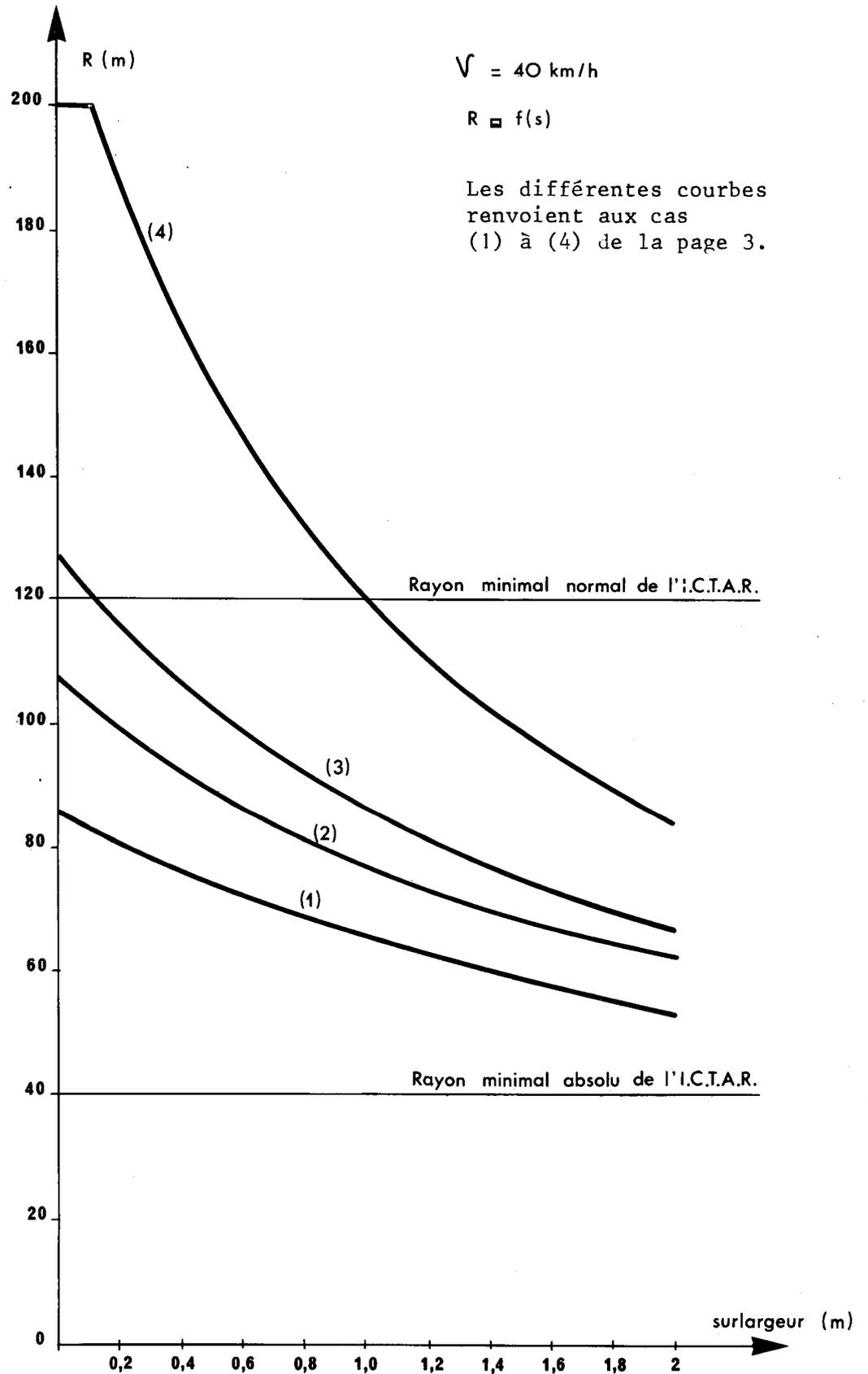
Extraits de l'I.C.T.A.R.

(Voir remarque importante page 2)



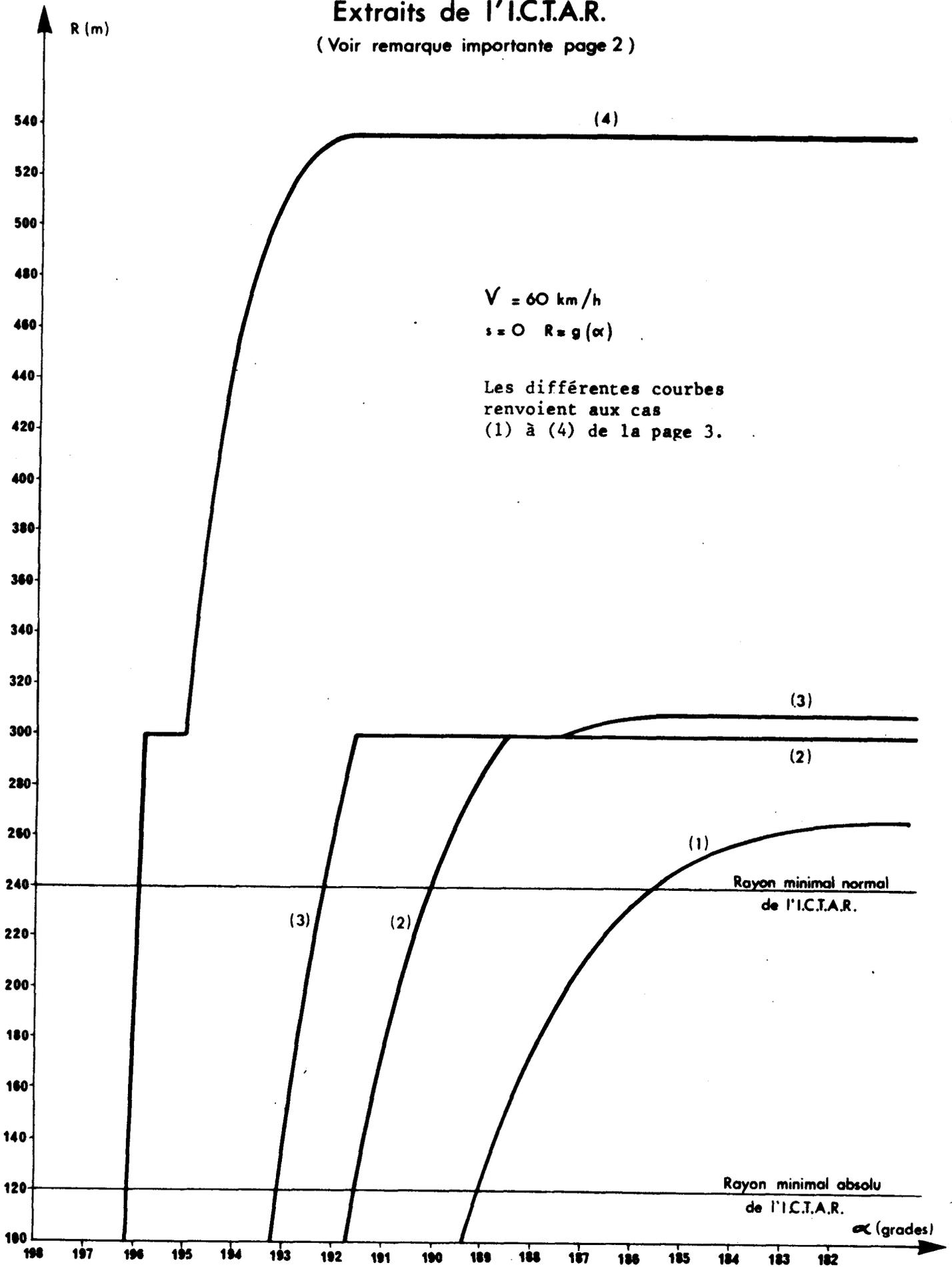
Extraits de l'I.C.T.A.R.

(Voir remarque importante page 2)



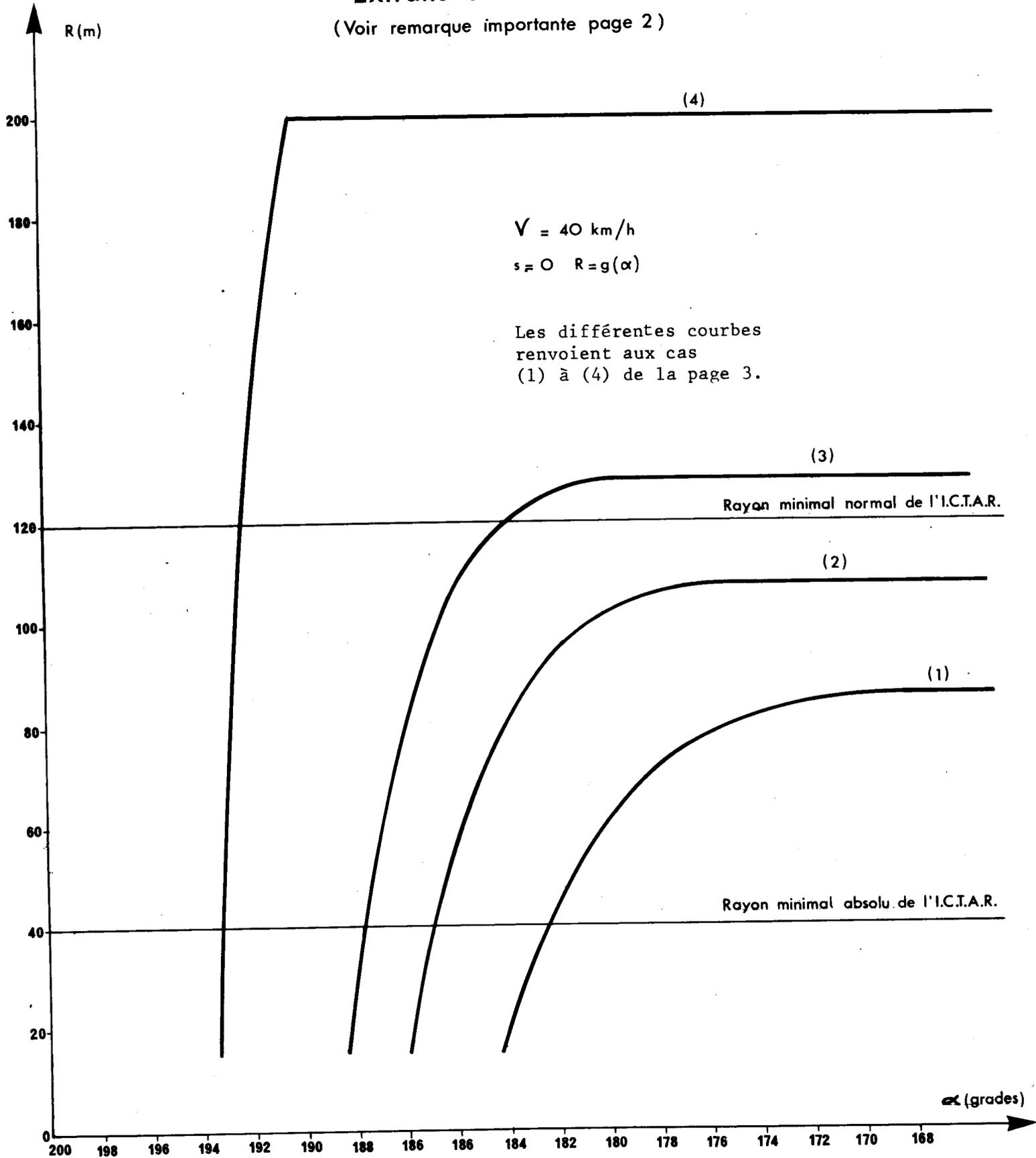
Extraits de l'I.C.T.A.R.

(Voir remarque importante page 2)



Extraits de l'I.C.T.A.R.

(Voir remarque importante page 2)



2.2 - PROFIL EN LONG.

2.2.1 - Nous confirmons la validité du profil en long préconisé par la pièce 2.1 du dossier-guide, en particulier le raccordement direct des cercles R et r ; la théorie (pièce 2.4) pour ce qui est de la sécurité, et l'expérience des premières réalisations pour ce qui est du confort, justifient cette disposition.

2.2.2 - Nous rappelons (cf. § 2.1 p.2) que nous conseillons d'utiliser le profil en long correspondant à une vitesse de référence de 60 km/h chaque fois que cela est possible, même si l'on sait que la vitesse sera limitée à 40 km/h en raison du tracé en plan.

2.2.3 - Le point bas des trémies (point de raccordement du cercle r avec le profil rectiligne de la partie couverte) est à placer à 5 m à l'intérieur du passage couvert, de manière à diminuer d'autant la longueur de chaque trémie. La faible diminution de gabarit qui en résulte peut être compensée par un amincissement local correspondant de la traverse supérieure.

2.2.4 - Les murs de soutènement et garde-corps des trémies ne sont à prévoir qu'à partir du point où la dénivellation dépasse 0,50 m. En dessous de 0,50 m, il suffit de prévoir un aménagement superficiel peu coûteux (type bordure).

2.2.5 - Profil en long de la traverse supérieure de la partie couverte : le problème se pose dans le cas (à éviter en général) où les profils de la chaussée dénivelée et de la chaussée de surface ne sont pas parallèles.

On peut alors soit faire varier la hauteur des piédroits, soit prévoir un remblai d'épaisseur variable sur la traverse supérieure. Dans les deux méthodes, il faudra tenir compte de ces modifications dans le calcul de la structure porteuse.

La première méthode sera en principe préférée si l'ouvrage est coulé en place, la seconde si l'ouvrage est préfabriqué. Dans ce cas le ferrailage des différents éléments sera à moduler en fonction de la hauteur de remblai sus-jacente, au moins en ce qui concerne la traverse supérieure, ce qui présente un léger inconvénient pour la préfabrication.

En cas de gabarit variable, la section d'entrée dans le passage couvert devra présenter le gabarit minimal, de façon à éviter qu'un véhicule ne vienne se coincer dans l'ouvrage.

2.3 - SIGNALISATION (modification à la pièce 2.3 du dossier-guide)

En complément aux indications du dossier-guide nous recommandons :

a - "2 roues" : la répétition de l'interdiction qui les concerne. Celle-ci doit apparaître à côté de l'indication du gabarit sur les mêmes portiques et potences.

b - Limitation de vitesse : la répétition de son indication pour l'ouvrage de gabarit A comme pour l'ouvrage de gabarit B.

c - Piétons : la pose du panneau d'interdiction qui les concerne à l'origine de l'accès à l'ouvrage, sur la potence de déviation et non sur l'accès.

2.4 - PROBLEMES DE REALISATION DE L'OUVRAGE :

2.4.1 - Béton coulé à pleine fouille.

Cette solution a été envisagée pour le bétonnage de piédroits, en fouille blindée, avec coffrage perdu côté terres. Elle présente l'avantage d'une emprise au sol très réduite, mais nous attirons l'attention sur ses défauts :

- forme du piédroit : on ne peut envisager qu'une section rectangulaire, à base éventuellement élargie, mais pas de semelle
- bétonnage : le coffrage perdu n'est parfois qu'un blindage mal jointif, au mieux un coffrage grossier, ce qui conduit à un béton médiocre au voisinage des parois
- enrobage des aciers : pour la même raison, il ne peut être assuré avec précision, compte tenu en outre de l'irrégularité de la fouille et de la présence des étais.

De ces deux derniers défauts résulte un ouvrage dont le niveau de qualité est très inférieur à celui prescrit par le C.P.C., et par suite de longévité douteuse ; et qui subsidiairement pose des problèmes de finition et d'esthétique côté parement vu (aspect et planéité, même en utilisant des panneaux de béton préfabriqués formant coffrage). Pour le parement côté terres, les défauts ne peuvent généralement être ni décelés, ni réparés.

Pour ces raisons, cette disposition doit en règle générale être considérée comme inacceptable. A tout le moins la conception même de l'ouvrage est à revoir en ce cas.

2.4.2 - Eléments de béton préfabriqués.

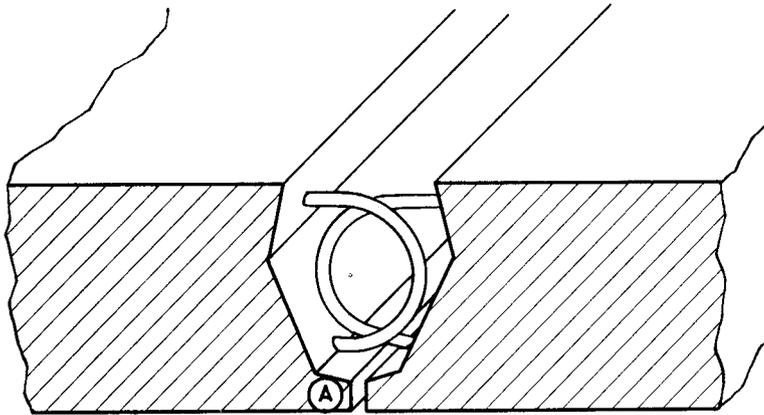
Un certain nombre d'ouvrages ont été réalisés avec utilisation d'éléments préfabriqués de béton soit pour l'ensemble de la structure, soit uniquement pour le tablier du passage couvert. On peut aussi envisager ce procédé pour les trémies (cf. § g ci-après).

La préfabrication a pour avantage principal de diminuer la durée des phases de chantier créant des perturbations à la circulation. Elle présente toutefois un certain nombre d'inconvénients et de particularités qui sont mentionnés ci-après :

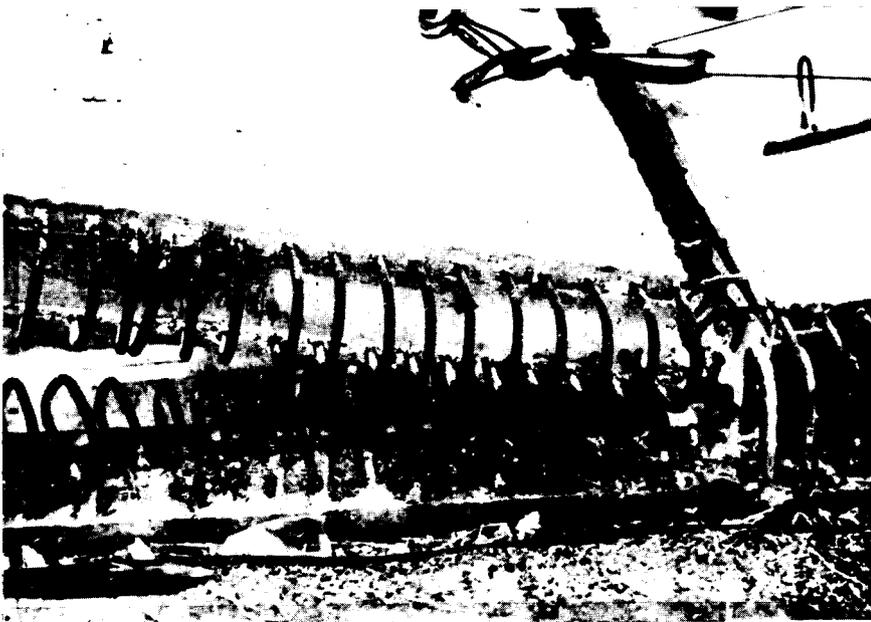
a) définition précise du projet : une reconnaissance complète du sol est indispensable si l'on préfabrique les fondations (cas du portique préfabriqué, ou à piédroits préfabriqués). Il ne sera en effet pas possible de modifier le projet en cas de surprise à l'ouverture des fouilles, car les éléments seront déjà coulés.

b) conception d'éléments permettant une pose aisée et rapide : le projeteur devra s'assurer que son projet n'est pas incompatible avec une pose aisée, par simples translations verticales ou horizontales, en particulier s'il est prévu des fers en attente. Un plan de l'ouvrage terminé peut ne pas faire apparaître d'éventuelles difficultés ou impossibilités de montage, celles-ci nécessitant de se représenter dans l'espace l'opération à partir de plusieurs coupes (par exemple forme du joint et armatures en attente dans plusieurs directions).

Le schéma et les photos ci-contre illustrent ce problème.



A la descente la languette A butte sur l'armature en attente de la dalle précédente. La mise en place par translation verticale est donc impossible. La translation horizontale l'est également en raison d'autres fers en attente.



c) jonctions entre éléments préfabriqués : le problème des joints entre éléments est fondamental, et souvent mal résolu.

Joint de béton armé: un béton de deuxième phase enrobe des fers en attente prévus sur les éléments préfabriqués. Il se pose un problème de retrait différentiel entre deux bétons d'âges différents, et de positionnement des fers en attente. Il faut de plus veiller à ce que les surfaces de reprises soient soigneusement préparées avant coulage du béton de deuxième phase.

Joint sec : il se pose un problème de mouvements relatifs entre éléments voisins, et de mise en place d'une étanchéité au droit du joint. Une précontrainte peut être envisagée (cf. procédé GTM) ; il convient alors de réaliser une protection efficace du câble au droit du joint.

Dans tous les cas se pose le problème des tolérances pour les pièces assemblées.

d) tolérances : ce problème se manifeste à plusieurs niveaux :

Tolérance sur les dimensions des pièces (coffrages ou moules) : des règles peuvent être fixées à ce sujet par le CPS. Les tolérances à fixer sont fonction des dimensions des pièces.

Tolérance sur les implantations des fers en attente : l'expérience montre que les implantations sont souvent irrégulières, ce qui est d'autant plus fâcheux que les longueurs de recouvrement y sont généralement très courtes. De plus les manutentions peuvent occasionner des déformations accidentelles. Il en résulte généralement des difficultés à la pose qui ne sont pas résolues de façon satisfaisante (pliage et dépliage de fers, épaufrures du béton, voire sectionnement de fers mal placés...). Il peut sembler préférable de prévoir des aciers d'assez gros diamètres, donc assez espacés ; mais des problèmes de fissuration de retrait risquent alors d'intervenir si le joint est large. Il pourrait valoir la peine que les aciers en attente présentent une certaine surabondance par rapport à la section théorique nécessaire.

Tolérance de pose : les dispositions du projet devront en tenir compte tant pour la possibilité de mise en oeuvre que pour les calculs justificatifs. Ceci est en particulier le cas pour les ouvrages réalisés à l'aide de palplanches métalliques et d'éléments préfabriqués en béton. Il faut s'assurer que les déformations et déplacements des palplanches sont compatibles avec la pose des éléments préfabriqués.

e) appuis des pièces préfabriquées : Il convient d'éviter des dispositions conduisant à des appuis ponctuels, alors que le calcul théorique prévoyait un appui sur une surface ou selon une ligne continue.

Cas des semelles superficielles : on peut envisager la pose sur un béton de propreté soigneusement nivelé, le réglage étant réalisé par calage (bois ou métal), puis injection d'un mortier pour combler le vide. On peut aussi prévoir la pose sur plots de mortier, l'appui sur le sol étant alors discontinu, et les contraintes dans le sol étant alors différentes de celles qui existeraient sous un ouvrage coulé en place.

Cas d'éléments de tablier (poutres ou dalles) : la ligne d'appui constituée par le sommet des piédroits doit généralement être rectifiée par un mortier de réglage. En cas d'utilisation de béton de deuxième phase, il faut assurer l'étanchéité des joints de coffrage pour éviter les coulures de laitance.

f) étanchéité : il semble préférable de retenir la solution d'une étanchéité épaisse qui s'adaptera mieux aux dénivellations entre éléments - liées à la tolérance d'exécution - et aux risques de fissures soit par retrait du béton de bourrage ou de liaison, soit éventuellement par tassement différentiel.

g) conclusion : En contrepartie des gains de temps qu'elle procure, la préfabrication pose des problèmes techniques de conception et d'exécution qui ne devront pas être négligés au moment du choix de la méthode d'exécution.

La préfabrication des trémies est toutefois bien plus simple que celle du passage couvert et peut présenter des avantages, en particulier s'il n'y a pas de possibilité d'élargissement préalable de la voie où débouchent les trémies.

Nous signalons enfin que, compte tenu du faible nombre d'éléments identiques, la préfabrication est en général plus coûteuse que le coulage en place.

2.4.3 - Organisation du chantier et de la circulation - phasage des travaux :

C'est un problème important pour les ouvrages en zone urbaine, qui peut conditionner le choix d'un type de structure ou d'un mode de réalisation. Il doit donc être abordé dans ses grandes lignes dès le début des études, et des indications doivent figurer à ce sujet dans le sous-dossier ouvrages d'art du dossier d'inscription.

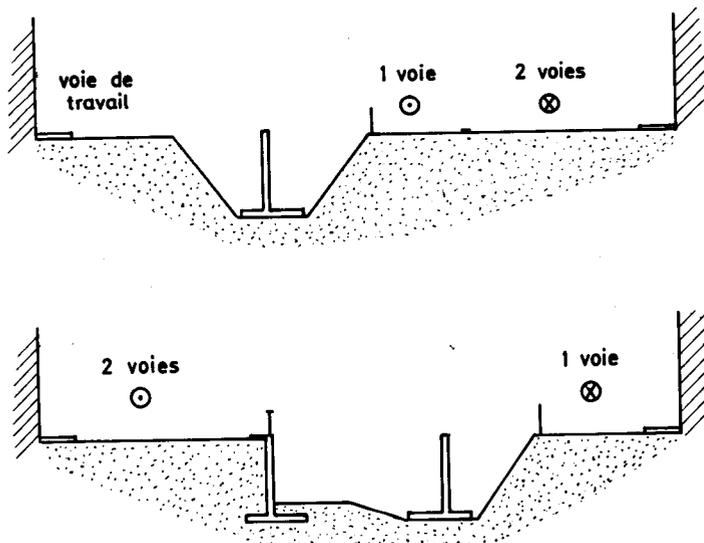
Il y a lieu d'apprécier quelles seront les restrictions de circulation tolérables compte tenu des trafics concernés et des possibilités de déviations.

Les problèmes à envisager sont les suivants :

a) circulation parallèle à l'ouvrage :

- possibilité de fouilles talutées

- possibilité de phasage transversal, par construction successive des deux murs, sur toute leur longueur (y compris les piédroits, ces derniers assurant la fonction de soutènement en première phase).



b) circulation perpendiculaire à l'ouvrage :

- possibilité d'interruption : si les déviations possibles sont médiocres, il y aura lieu de limiter la durée de l'interruption, par utilisation de la préfabrication.

- impossibilité d'interruption : il y aura lieu en général de prévoir une exécution fractionnée de la partie couverte de l'ouvrage.

On peut remarquer d'une manière générale que l'achèvement de la partie couverte (ou d'une fraction de celle-ci) permet le rétablissement immédiat de la circulation transversale, alors que la circulation longitudinale dans l'ouvrage ne peut être rétablie qu'après achèvement de l'ensemble de celui-ci. Ceci peut conduire à commencer les travaux par la partie couverte. Ce phasage sera également à envisager si le maintien de la circulation transversale peut être assuré par contournement de l'emprise nécessaire à la construction du passage couvert seul.

c) Le Maître d'Oeuvre devra préciser clairement dans son dossier d'appel d'offres (ou lettre de consultation), surtout s'il accepte les variantes, les conditions liées au maintien de la circulation, en distinguant :

- les conditions minimales à satisfaire impérativement, en précisant pour chaque courant de circulation le nombre des voies à maintenir et la durée des restrictions éventuelles,

- les conditions auxquelles le Maître d'Oeuvre attachera de l'importance dans le jugement des offres (diminution de délai global, ou de certaines phases, augmentation de caractéristiques des voies maintenues, etc...).

En ce qui concerne le délai global, nous signalons que la date de mise en service de l'ouvrage est liée à l'achèvement des équipements, en particulier ceux de signalisation, qui font souvent l'objet d'un marché séparé. Un gain de temps dans le marché de génie civil risque dans ce cas de ne pas pouvoir se répercuter intégralement sur le délai global.

2.5 - CONDITIONS NON STANDARD : PRESENCE D'UNE NAPPE PHREATIQUE.

L'ouvrage type du dossier-pilote est un portique ouvert, ce qui suppose une bonne portance du sol et l'absence de nappe phréatique. Dans le cas où ces conditions ne sont pas remplies, la réalisation d'un P.S.G.R. peut néanmoins être envisagée, à condition d'adapter le projet en conséquence.

Divers cas peuvent se présenter selon la nature de la nappe, et il conviendra donc d'étudier celle-ci avec soin :

Niveau : il peut être variable. Eventuellement, par un choix judicieux de la date de réalisation, le chantier pourra être mené à sec sans protections particulières.

Débit : on distinguera les nappes à faible ou fort débit. En cas de fort débit, l'étanchéité de l'ouvrage devra être parfaitement assurée. Un projet de fascicule 69 du C.P.C. concernant ces travaux est disponible au 2° Arrondissement de la DOA.-B du S.E.T.R.A.

On peut envisager différentes solutions :

a - structure en cadre fermé, et trémies en U : cette structure permet de réaliser un ouvrage étanche par interposition d'une feuille d'étanchéité extérieure ou par enduit d'étanchéité intérieur. La première solution peut être par exemple réalisée par une feuille continue de Butyle, qui devra être protégée par un enduit extérieur avant remblaiement. Il faudra par conséquent prévoir une surlargeur de fouilles pour sa mise en oeuvre.

La deuxième solution peut être réalisée par des produits adhérents aux parements de béton, ce dernier n'étant pas protégé de l'action des eaux si celles-ci sont agressives.

Sur le plan calcul, il faut s'assurer de la stabilité de l'ouvrage vis-à-vis de la poussée d'Archimède, et tenir compte des variations éventuelles du niveau de la nappe pour la détermination des efforts appliqués à la structure.

Sur le plan du mode de construction, le coulage en place est a priori à préférer, éventuellement sous tablier métallique provisoire si la circulation doit obligatoirement être maintenue perpendiculairement à l'ouvrage. La préfabrication posera en effet le problème de l'étanchéité des joints entre éléments, la structure se prêtant mal à une grande précision de pose. On peut toutefois envisager une pose sur plots, avec remplissage postérieur par injection de sable ou de mortier sous le radier.

b - rideaux de palplanches ou parois moulées : Dans la stabilité des parois, il faut tenir compte des possibilités de butonnage par un dallage en béton formant corps de la chaussée inférieure.

La portance peut être assurée soit par effet de pointe, soit par frottement latéral. Si ce dernier se révèle insuffisant, on peut envisager d'appuyer les parois sur le dallage de béton formant alors radier général armé. Les flexions qui apparaîtront dans ce dernier resteront toutefois modérées.

Ces deux remarques conduisent à diminuer notablement les modules de palplanches (ou le ferrailage des parois moulées) ainsi que la hauteur des parois. Ces caractéristiques sont de très grande importance pour le coût de l'ouvrage.

Cette solution peut conduire à un butonnage provisoire pour assurer la stabilité des parois avant le coulage du dallage de béton.

Quelle que soit la structure retenue, le problème de l'assainissement des ouvrages situés au-dessous de la nappe phréatique sera en général difficile à résoudre cf. § 2.6.

2.6 - ASSAINISSEMENT DE L'OUVRAGE :

Le problème se pose dans tous les cas, la solution retenue devant figurer explicitement dans le dossier d'inscription. C'est une question très importante, dont la réponse peut conditionner l'ensemble du projet.

L'écoulement gravitaire est évidemment à préférer quand il est possible :

- présence d'une canalisation d'assainissement souterraine à une cote inférieure à celle de l'ouvrage.
- pente générale du terrain naturel permettant un écoulement avec exutoire à une certaine distance de l'ouvrage.

Dans les autres cas, il faudra prévoir un dispositif d'assainissement avec chambre d'accumulation et pompage. Son implantation et sa réalisation peuvent poser des problèmes, en particulier en cas d'ouvrage situé dans la nappe phréatique.

2.7 - EQUIPEMENTS - GARDE-CORPS :

Les premières réalisations de P.S.G.R. montrent que le garde-corps en béton plein représenté dans le dossier-guide pièce 2.5 ne donne pas totale satisfaction sur le plan de l'esthétique (conservation du site, riverains) et de la visibilité pour la circulation de surface.

On peut lui préférer un garde-corps métallique, par exemple du type S8 du dossier-pilote GC 67 du S.E.T.R.A., ou à lisses horizontales, ce dernier modèle assurant une meilleure visibilité dans le carrefour aux véhicules circulant en surface. On notera toutefois qu'un simple garde-corps piétons n'empêche généralement pas la chute d'un véhicule circulant en surface.

2.8 - ESTIMATION DU COUT DE L'OUVRAGE :

2.8.1 - Ouvrage proprement dit :

- les quantités figurant dans les tableaux p. 28 et 29 de la pièce 2.1 concernent les "ouvrages standard" dont les dimensions (épaisseur 0,20 m et 0,25 m) sont insuffisantes pour des ouvrages coulés en place. Les coûts qui en résultent sont par conséquent sous-évalués (d'environ 30 %), le niveau des prix n'étant pas à modifier (1,70 en Juin 1971).

2.8.2 - Signalisation : Le choix du gabarit B (recommandé par ailleurs § 2.3.1 de la pièce "conditions d'un aménagement" de la mise à jour n° 2) conduit à une économie sur ce poste par rapport au gabarit A.

Pour un ouvrage à deux voies, de gabarit B, à deux sens de circulation, la signalisation peut être estimée en 1973 à 200 000 F.

2.8.3 - Eclairage du passage couvert : L'estimation de son coût peut être établie avec les prix d'ordre suivant :

- pour les sources fluorescentes : $0,63 \text{ F/lux} \times \text{m}^2$
- pour les sources sodium basse pression : $0,22 \text{ F/lux} \times \text{m}^2$

Ces prix correspondent à la date du 1er Janvier 1973.

2.8.4 - Aménagements superficiels : ils doivent être limités aux seules surfaces concernés par l'implantation du P.S.G.R. et les modifications éventuelles du tracé des voies de surface qui en résultent.

Cependant l'expérience des P.S.G.R. construits récemment montre que la valeur relative de ce poste dans l'aménagement est très importante. Cela dépend des projets, mais son coût peut atteindre le prix de l'ouvrage (structure seule). Il importe donc de porter à son estimation une attention suffisante.

2.8.5 - Déviations de canalisations : Ce poste doit faire l'objet d'une enquête auprès des concessionnaires et collectivités concernés, pour pouvoir être chiffré avec une précision suffisante.

4 - ETUDE COMPARATIVE DES PASSAGES SOUTERRAINS A GABARIT NORMAL ET DES PASSAGES SOUTERRAINS A GABARIT REDUIT

La présente étude a pour but de comparer le coût d'un P.S.G.R. à celui d'un P.S.G.N. Elle se place dans des conditions d'aménagement d'un carrefour sans contrainte particulière (pas de nappe, carrefour isolé, bon sol, trottoirs vastes).

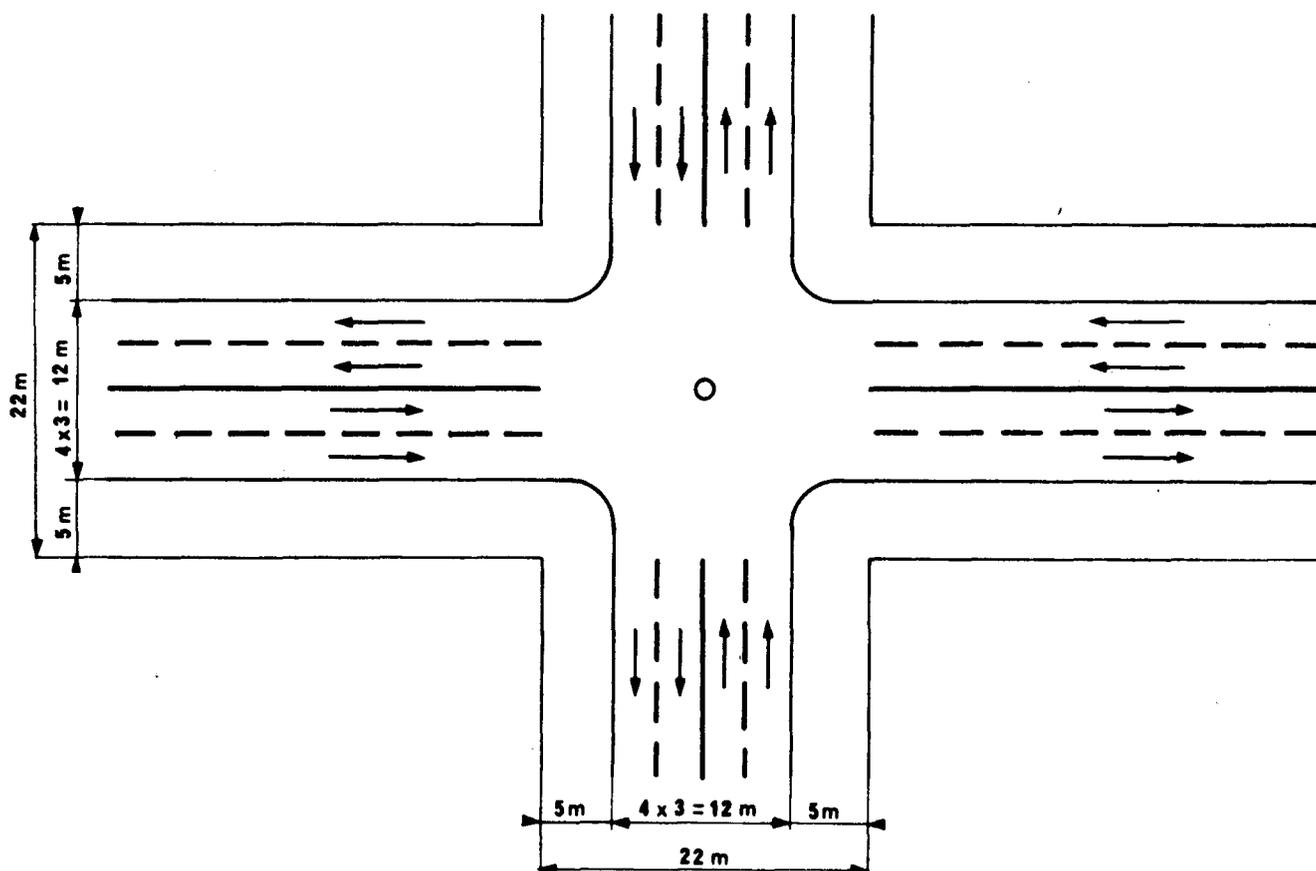
Il est à noter que la comparaison ne sera pas possible dans tous les cas car les conditions d'emprise, tant en largeur qu'en longueur et en profondeur, conduiront souvent à exclure le choix d'un P.S.G.N. Nous supposons évidemment que ce n'est pas le cas ici.

4.1 - CHOIX D'UN CARREFOUR

Soit un carrefour à niveau, ayant deux axes de quatre voies de 3 m chacune (circulation bidirectionnelle sur les deux axes) et deux trottoirs de 5 m, soit une largeur totale entre façades de 22 m. (Emprise réduite par rapport au dossier guide). Ce carrefour équipé de feux tricolores, donne passage aux véhicules de tourisme et aux poids lourds.

On envisage d'équiper ce carrefour de deux manières différentes :

- P.S.G.N. de 4,30 m de gabarit
- P.S.G.R. type B₂ avec une vitesse de base de 60 km/h.



4.2 - DEFINITION DES OUVRAGES

Les études de circulation montrent que dans les deux cas l'ouvrage doit déniveler deux voies d'un des axes du carrefour de manière à réaliser une circulation continue sur les 2 voies centrales de l'axe dénivélé.

Pour le P.S.G.N., tous les véhicules peuvent emprunter le passage dénivélé.

Pour le P.S.G.R., seuls les véhicules dont le gabarit est inférieur à 2,60 m peuvent l'emprunter, la circulation des autres véhicules étant assurée en surface.

Il est donc à noter que les deux ouvrages ne fonctionnent pas de la même façon du point de vue circulation et que la réserve de capacité du P.S.G.N. est un peu plus grande que celle du P.S.G.R. (et d'autant plus que la proportion de poids lourds est importante dans le trafic).

4.3 - REALISATION DES OUVRAGES

Dans les deux cas, les difficultés de réalisation sont celles spécifiques aux travaux souterrains urbains. Cependant pour le P.S.G.R. elles sont sans doute moindres compte tenu d'une profondeur et d'une emprise en plan réduite. En particulier pour un P.S.G.N. les déplacements de canalisations seront en général plus importants.

Les phases de construction sont comparables pour les 2 ouvrages ainsi que l'aménagement provisoire du carrefour durant le chantier, en notant toutefois que la largeur du P.S.G.N. est légèrement supérieure à celle du P.S.G.R.

4.4 - ETUDES TECHNIQUES ET FINANCIERES

4.4.1 - Passage souterrain à gabarit normal

4.4.1.1 - Profil en long

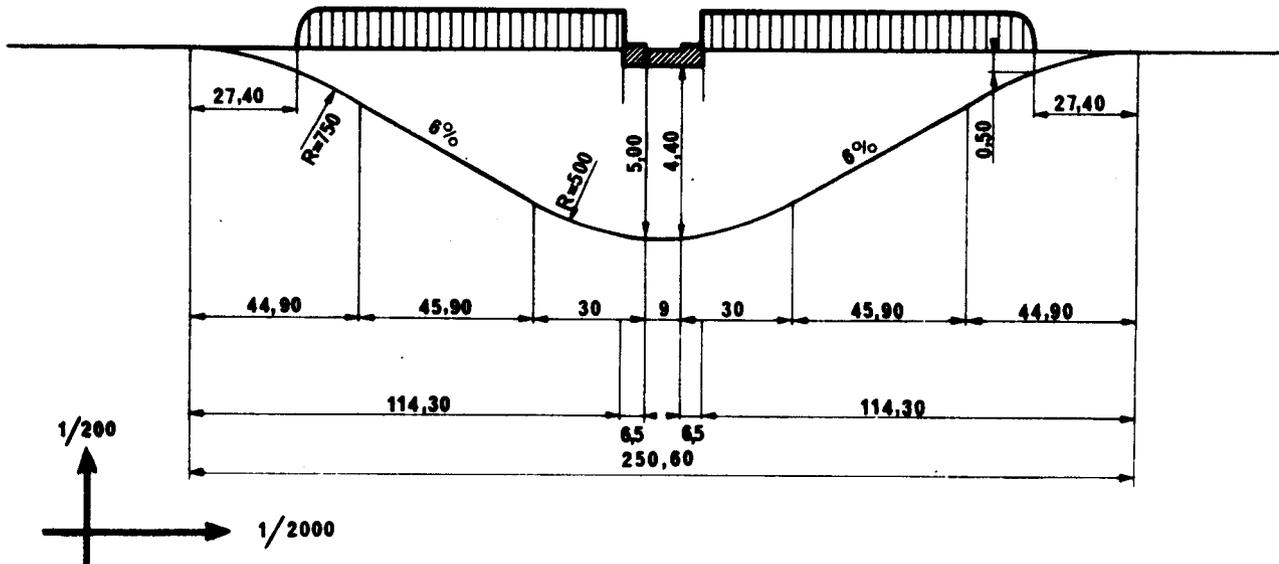
L'ouvrage étant supposé en zone urbaine avec une vitesse limitée ne dépassant pas 80 km/h les valeurs minimales des rayons de raccordement sont :

- rayon convexe 750 m
- rayon concave 500 m

De plus la pente maximale ne doit pas dépasser 6 %.

Etant donné que cet ouvrage est à comparer avec un passage souterrain à caractéristiques réduites il paraît opportun de donner ces caractéristiques minimales à ce profil en long.

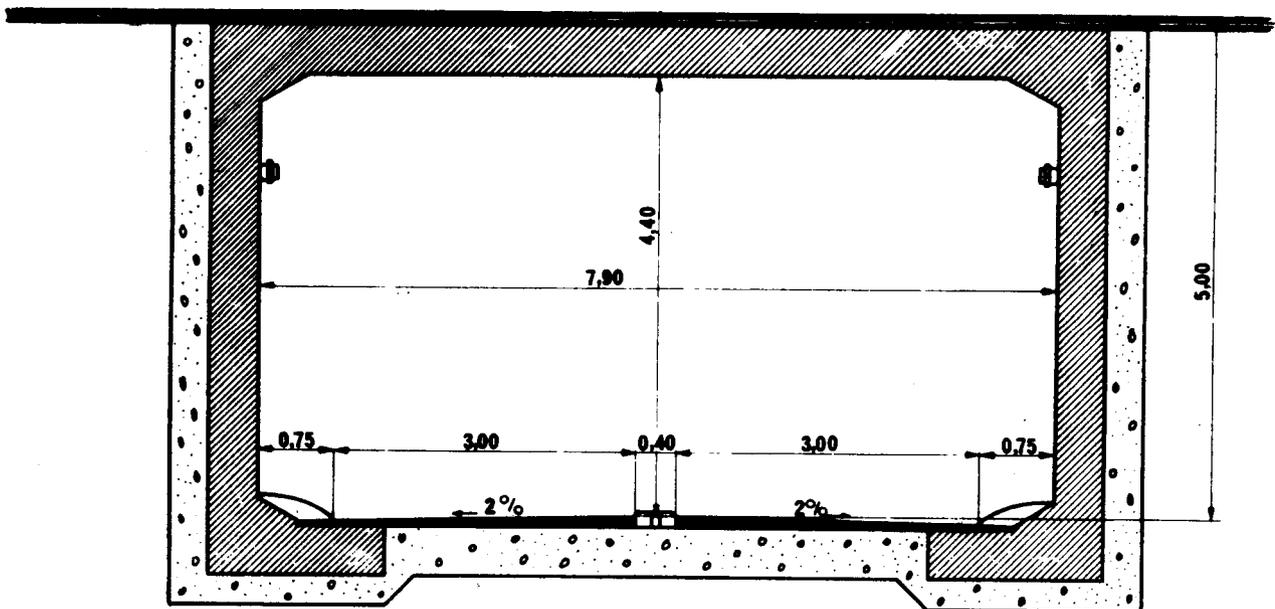
La longueur d'une trémie est donc de 114,30 m (point bas 6,50 m à l'intérieur du passage couvert) et celle de l'ouvrage dénivélé de 250,60 m. La proximité de carrefours voisins a donc bien des chances de poser des problèmes. Ce dispositif assure une dénivellation de 5,00 m pour un gabarit autorisé de 4,30 m.



4.4.1.2 - Profil en travers

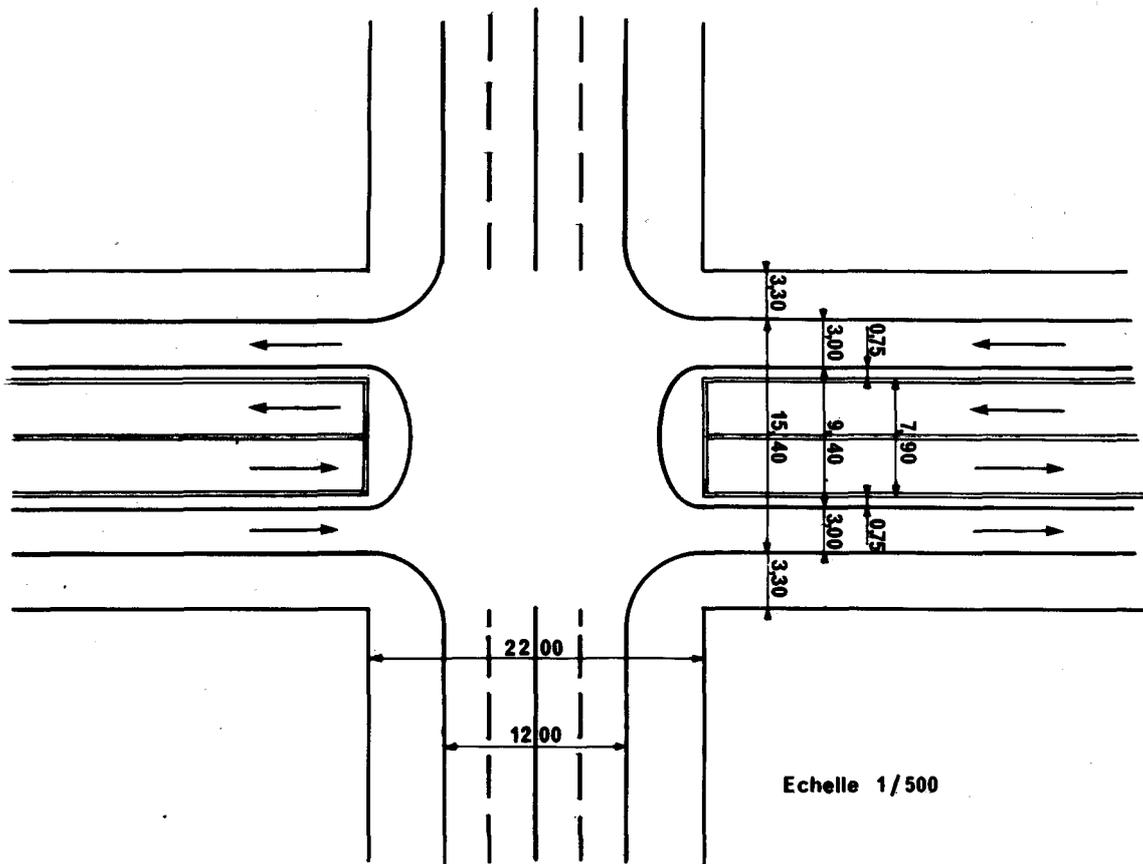
L'ouvrage comporte 2 voies de 3 m bordées par 2 isolateurs de 0,75 m et une bande séparatrice de 0,40 m ce qui fait donc une largeur utile de 7,90 m. Le gabarit autorisé est de 4,30 m.

Echelle 1/75



4.4.1.3 - Implantation de l'ouvrage

La figure page 35 montre l'implantation de l'ouvrage et celle des voies annexes par rapport au carrefour existant.



4.4.1.4 - Structure et réalisation

Nous envisageons une structure de type portique ouvert, fondé sur semelles. L'ouvrage est supposé hors nappe. Les terrassements sont faits en fouille blindée. L'écoulement des eaux de ruissellement est supposé réalisé de façon gravitaire. (Bien souvent le P.S.G.N. est sur ces points bien plus défavorable que le P.S.G.R.).

4.4.1.5 - Estimation (voir page 38)

L'estimation repose sur le document EST 67 actualisé à 1973 (coefficient 1,7).

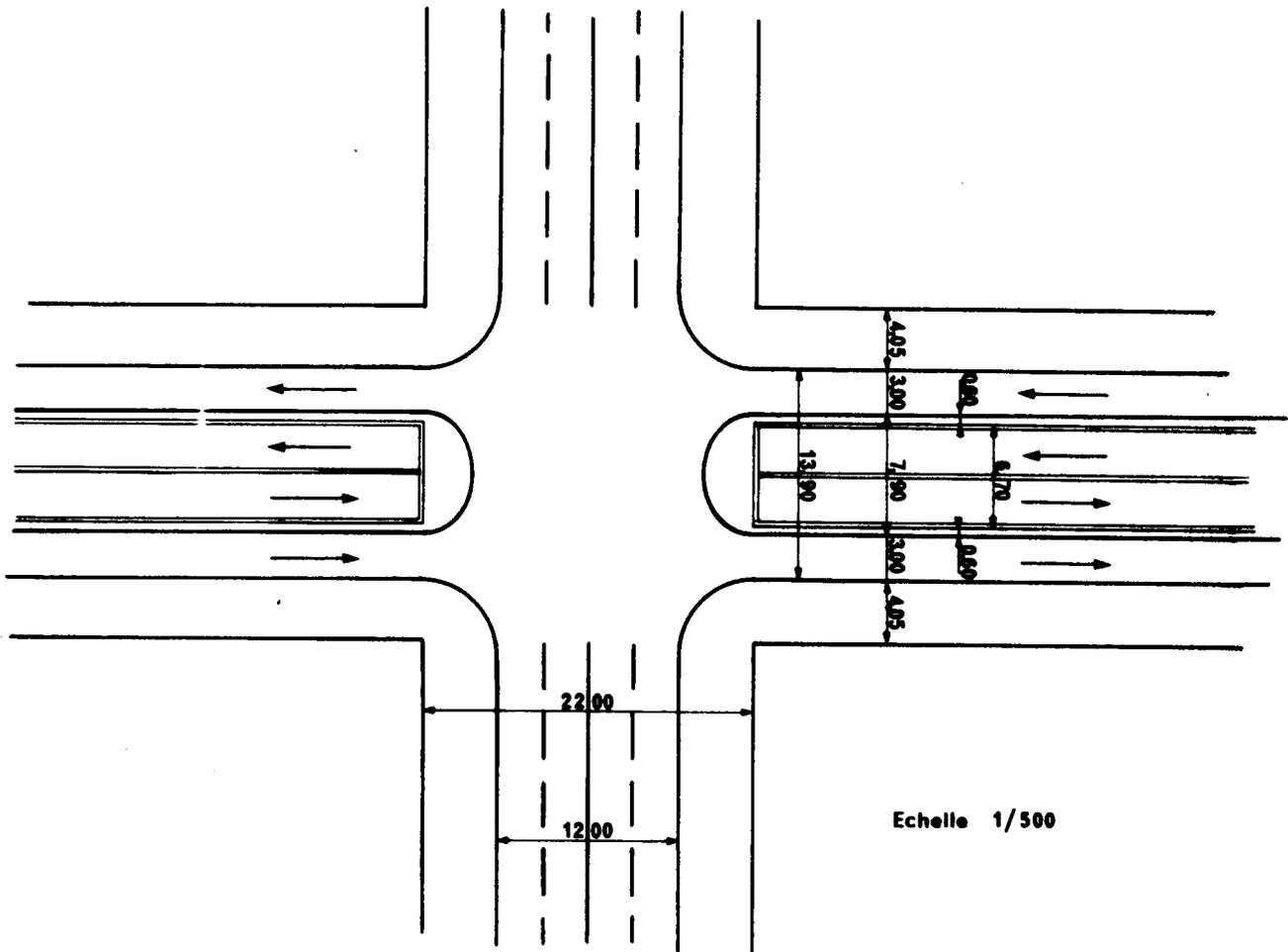
Il est à noter que cette estimation ne tient pas compte du déplacement de canalisations ou autres ouvrages souterrains.

4.4.2 - Passage souterrain à gabarit réduit

L'ouvrage a les caractéristiques du type B₂ du dossier-pilote P.S.G.R. 71 avec une vitesse de base de 60 km/h.

4.4.2.1 - Profil en long

La dénivellation est assurée par deux cercles à raccordement direct de 650 à 300 m. La dénivellation totale est de 3,05 avec une pente instantanée de 8 %. La longueur d'une trémie est de 71 m et celle de l'ouvrage total de 164 m (point bas 5 m à l'intérieur du passage couvert).

4.4.2.3 - Implantation4.4.2.4 - Structure et réalisation

La structure est celle du type B₂ décrite dans le dossier-guide, coulée en place. Les autres conditions sont identiques à celles du P.S.G.N.

4.4.2.5 - Estimation (voir page 38)

Les prix sont issus des mêmes documents que ceux utilisés pour l'estimation du P.S.G.N.

4.4.3 - Estimations

La base de ces estimations est 1,7 EST 67 ce qui est valable pour 1973.

	P.S.G.N.			P.S.G.R.		
	Prix Unitaires	Quantités	Totaux	Prix Unitaires	Quantités	Totaux
<u>TREMIES</u>						
- Ouvrages (B.A.) Murs de soutènement			545.000			150.000
- Fouilles	30 F/m ³	8000 m ³	240.000	30 F/m ³	2.650 m ³	80.000
- Blindage	45 F/m ²	2200 m ²	99.000	45 F/m ²	755 m ²	34.000
- Aménagements sur murs (garde-corps)	400 F/ml	350 ml	140.000	400 F/ml	182 ml	73.000
- Murets d'about	300 F/ml	110 ml	33.000	300 F/ml	102 ml	31.000
<u>PASSAGE COUVERT</u>						
- Ouvrage (B.A.) type PI.PO	1110 F/m ²	174 m ²	193.000	931 F/m ²	147 m ²	137.500
- Fouilles	30 F/m ³	1500 m ³	45.000	30 F/m ³	782 m ³	23.500
- Blindage	45 F/m ²	440 m ²	20.000	45 F/m ²	208 m ²	12.000
- Aménagements superficiels (garde-corps, trottoirs)	800 F/ml	16 ml	13.000	800 F/ml	14 m	11.000
<u>AMENAGEMENTS DANS L'OUVRAGE</u>						
- Chaussée	75 F/ml	2000 m ²	150.000	75 F/m ²	1.100 m ²	82.500
- Isolateurs	80 F/ml	500 ml	40.000			
<u>AMENAGEMENTS SUPERFICIELS</u>						
- Réfection des chaussées (enrobés non compris)	60 F/m ²	2000 m ²	120.000	60 F/m ²	800 m ²	48.000
- Couche de roulement	15 F/m ²	3000 m ²	45.000	15 F/m ²	1.500 m ²	22.500
- Réfection des trottoirs	80 F/ml	100 ml	80.000	80 F/ml	350 ml	28.000
<u>ASSAINISSEMENT DE L'OUVRAGE</u>						
	100 F/ml	300 ml	30.000	100 F/ml	100 ml	10.000
<u>INSTALLATIONS D'ECLAIRAGE</u>						
			140.000			70.000
<u>INSTALLATIONS DE SIGNALISATION ET D'EXPLOITATION</u>						
			50.000			250.000
			1.983.000			1.063.000
Somme à valoir 12 %			237.000			127.000
			2.220.000			1.190.000

4,5 - COUT

Dans les conditions définies aux § 4.1 à 4.3, et sans tenir compte du déplacement des canalisations, des aménagements provisoires nécessaires pour maintenir la circulation durant cette période pendant les travaux, et de la gêne apportée aux automobilistes, le coût d'un P.S.G.N. est proche de 2 fois celui d'un P.S.G.R. Le coût total de l'aménagement par P.S.G.R. est donc en ordre de grandeur une fois et demie à deux fois plus faible que celui de l'aménagement par P.S.G.N., en l'absence de difficultés particulières; or il peut arriver que les conditions locales (nappe phréatique, canalisations, évacuation des eaux, etc) augmenteront notablement le coût du P.S.G.N. sans affecter le P.S.G.R. dont le gabarit aura été choisi en fonction de ces conditions.

Il faut toutefois noter que, pour l'étude de rentabilité, les avantages (gains de temps et de sécurité) seront légèrement plus grands pour le P.S.G.N. la différence n'atteignant pas 10 % pour un P.S.G.R. de type B₂.

4.6 CONDITIONS DE L'ETUDE

Les sites urbains étant caractérisés par leur encombrement aussi bien en surface qu'en sous-sol, les P.S.G.R. permettent un gain de place important surtout en longueur et en profondeur. Il en résulte que dans de nombreux cas ils pourront être implantés là où un P.S.G.N. ne pourrait pas l'être.

Mais même si le choix est possible entre P.S.G.R. et P.S.G.N, cette étude confirme, compte tenu de la différence de coût notable pour un service rendu assez voisin, le bien fondé des P.S.G.R. qui semblent être des ouvrages bien adaptés pour résoudre les problèmes de circulation urbaine.

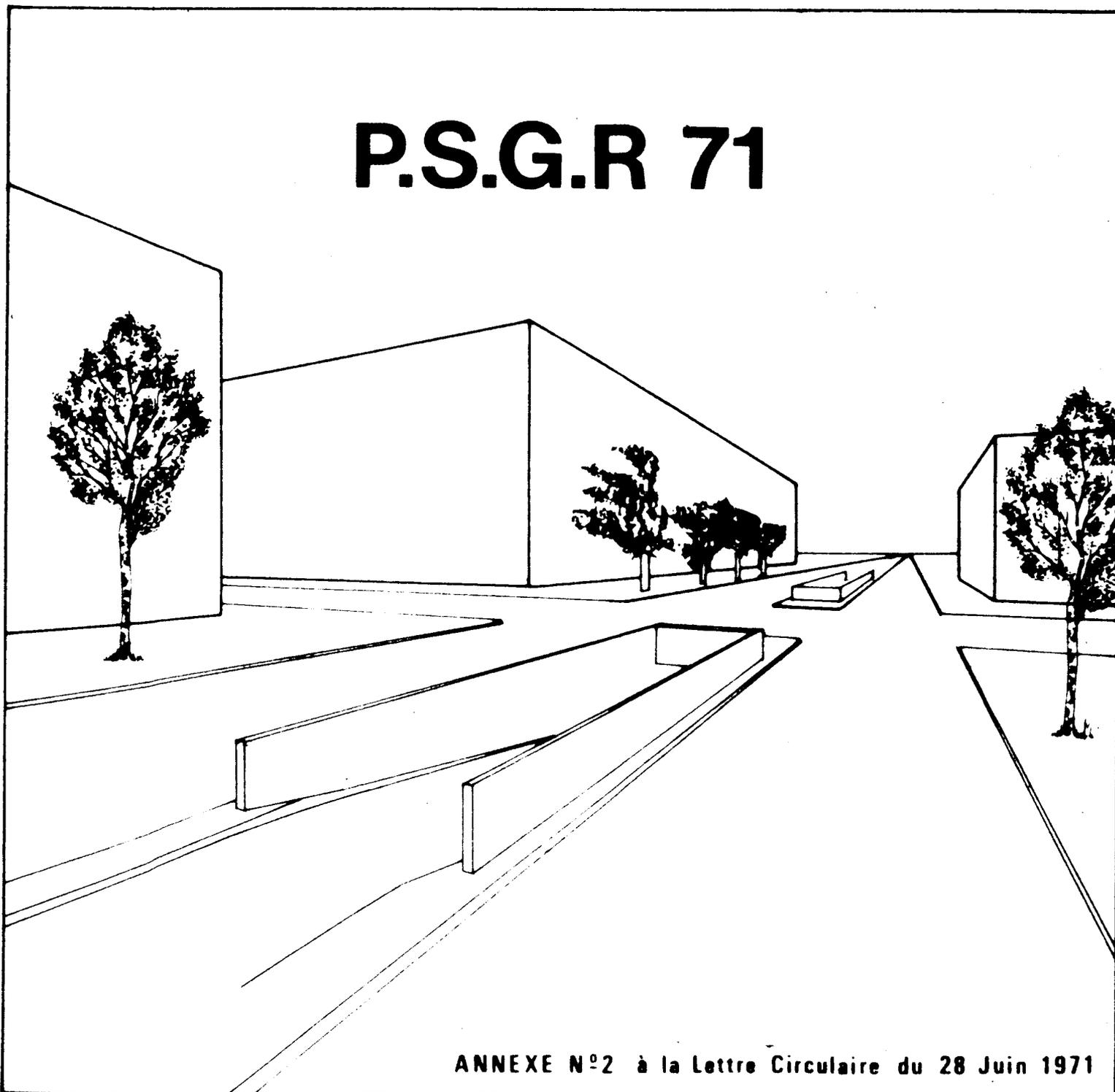
PASSAGES SOUTERRAINS A GABARIT REDUIT.

DOSSIER GUIDE

MISE A JOUR N°3 AOUT 1974



P.S.G.R 71



ANNEXE N°2 à la Lettre Circulaire du 28 Juin 1971

MINISTERE DE L'EQUIPEMENT ET DU LOGEMENT
Direction des Routes et de la Circulation routière

SERVICE D'ETUDES TECHNIQUES
DES ROUTES ET AUTOROUTES

BAGNEUX, AOUT 1974

B.P. 100 - 92223 BAGNEUX

Division des Ouvrages d'Art B

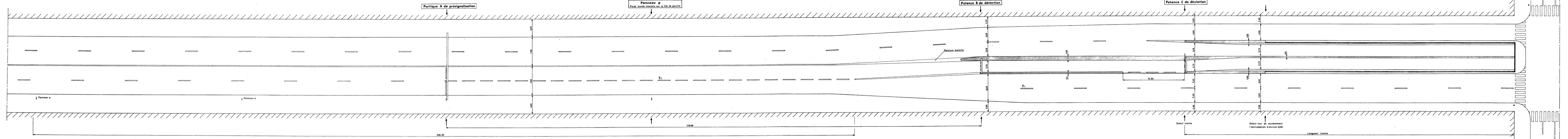
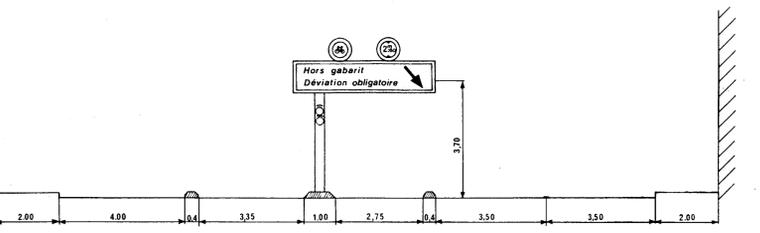
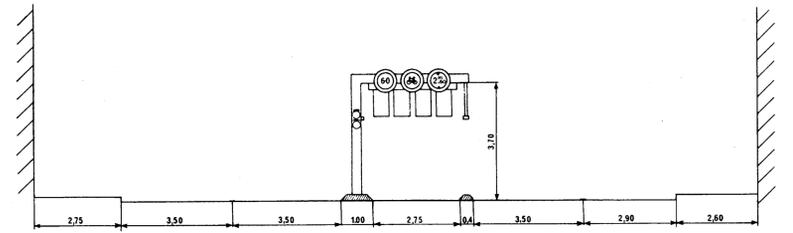
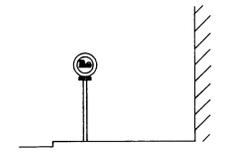
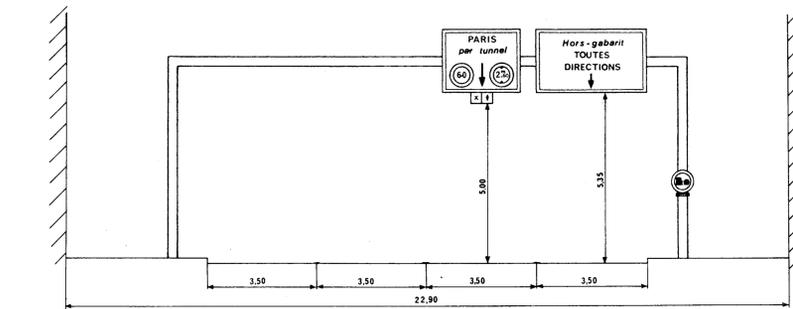
7ème Arrondissement

En collaboration avec la
Division Exploitation Sécurité

Cette mise à jour n° 3, rédigée en collaboration avec la D.E.S. complète la pièce 2.3 intitulée "dessin type de signalisation" du dossier guide et annule le chapitre 2.3.2 concernant la signalisation des ouvrages de gabarit B.

Elle contient, un texte résumant l'expérience que nous avons pu acquérir depuis 1972 sur les problèmes de signalisation des accès aux PSGR, et un plan proposant une signalisation type pour un ouvrage à double sens à 2 voies, de gabarit B, implanté sur une voie urbaine de 28,90 m d'emprise.

Nous ne traitons que le cas des ouvrages de gabarit B, le gabarit A n'ayant plus été utilisé depuis la construction des PSGR de TOULOUSE et de CHAMPIGNY.



Annexe à la pièce 2 "DISPOSITIONS TECHNIQUES"

SIGNALISATION

Un certain nombre d'incidents de fonctionnement et même d'accidents, nous conduisent à donner quelques précisions supplémentaires sur la signalisation propre des passages souterrains de 2,60 m de gabarit autorisé.

Nous rappelons que cette signalisation se compose :

- D'un portique (a) de présignalisation indiquant que la file de gauche (en général) conduit à un passage souterrain de 2,60 m de gabarit.

- D'une potence (b) de détection des véhicules hors gabarit. Cette détection est réalisée par des lamelles métalliques que heurtent les véhicules hors gabarit et par une cellule photo-électrique.

- D'une potence (c) indiquant aux véhicules hors gabarit qu'ils doivent quitter la voie sur laquelle ils se trouvent. L'inscription "Hors gabarit déviation obligatoire" ne devient visible que lorsque la cellule de la potence (b) est déclenchée.

1 - DISTANCES ENTRE DIFFERENTS PANNEAUX ET SORTIE DE SECOURS

1.1 - La distance entre le portique de présignalisation (a) et la potence (b) de détection des véhicules hors gabarit conseillée dans le dossier guide est de 130 m.

Il nous semble que cette distance doit être respectée. En effet le courant de circulation empruntant le PSGR est séparé des autres courants de circulation à environ 30 m en amont de la potence (b), ce qui laisse une distance d'entrecroisement de 100 m après le portique (a) : distance juste suffisante pour permettre les changements de files.

1.2 - Sortie de secours pour véhicules hors gabarit

Dans le dossier guide il n'est donné aucune dimension pour cette sortie. Il nous semble que 15 m soit une longueur raisonnable qu'il ne faut ni augmenter ni diminuer. En effet une longueur inférieure ne permettrait pas à un véhicule hors gabarit de grande longueur de quitter facilement la voie d'accès au PSGR, et une longueur supérieure pourrait inciter certains automobilistes à utiliser cette sortie de secours comme accès au passage souterrain.

- 1.3 - La distance entre les potences (b) et (c) proposée par le dossier guide est de 50 m. Il semble que cette distance doive être respectée comme le minimum à adopter.

En effet un véhicule hors gabarit dispose dans ce cas de 35 m (50 m - 15 m de sortie de secours) pour s'arrêter dès l'instant où il heurte les lamelles de la potence (b) de détection. Cette distance de 35 m correspond exactement à la longueur de freinage donné par l'I.C.T.A.R. pour une vitesse de 60 km/h.

Par contre la distance entre ces 2 panneaux peut être sans inconvénient augmentée si l'on dispose de l'emprise nécessaire tant en largeur qu'en longueur. En particulier cela devra être fait lorsque le panneau (c) aura un temps de réponse relativement long pour l'apparition de l'inscription "Hors gabarit - déviation obligatoire".

2 - DESSIN ET COMPOSITION DES PANNEAUX DE SIGNALISATION

Nous pensons qu'il ne faut apporter aucun changement aux dessins des panneaux proposés dans le dossier guide.

Cependant il nous semble utile que chaque portique ou panneau soit équipé de 2 feux (un rouge et un vert) qui en fonctionnement normal seront toujours verts pour le portique (a) et qui deviendront rouges pour les potences (b) et (c) lorsque l'inscription "Hors gabarit - déviation obligatoire" sera lisible.

Les feux rouges des 3 panneaux pourront être éclairés manuellement lorsqu'on désirera fermer l'accès au passage souterrain en cas d'accident, de travaux.....

Pour le portique (a), comme nous l'avons représenté sur le plan en annexe, il est préférable de remplacer les feux par une croix de Saint André rouge et une flèche verte.

3 - IMPLANTATION DES SUPPORTS DES PANNEAUX DE SIGNALISATION

Les montants verticaux du portique (a) doivent être implantés sur les trottoirs bordant la chaussée de l'axe aménagé par P.S.G.R.

Dans le dossier guide PSGR 71, les montants verticaux des potences (b) et (c) sont implantés sur un séparateur de 1 m situé à droite de la voie d'entrée dans le passage souterrain. Cette disposition est dangereuse : des véhicules hésitant à prendre le passage souterrain peuvent venir heurter la potence (b); de même, des véhicules roulant trop rapidement et voulant emprunter la sortie de secours peuvent heurter la potence (c). C'est pourquoi, comme nous le représentons sur le plan en annexe, nous conseillons d'implanter les montants verticaux des potences (b) et (c) à gauche de la circulation d'entrée dans l'ouvrage, sur un séparateur central d'un mètre de large. Le séparateur des véhicules entrant dans le passage souterrain et des véhicules restant en surface peut être réduit à 0,40 m. Cette disposition ne demande donc pas d'emprise supplémentaire. Après la potence (c) le séparateur central se réduit à 0,40 m et le séparateur de droite se transforme en mur de trémie dont l'emprise totale (isolateur + mur + passage de service en surface) est de 1,00 m pour obtenir le profil en travers standard de la trémie.

4 - DISPOSITIONS COMPLEMENTAIRES

Afin d'améliorer l'efficacité de cette signalisation, lorsque les emprises le permettent, on peut implanter sur les trottoirs, environ 100 m avant le portique de présignalisation, des panneaux interdisant les poids lourds sur la file de gauche si elle conduit au passage souterrain. Cette disposition doit permettre d'éliminer un bon nombre de véhicules hors gabarit bien avant l'entrée du P.S.G.R.

5 - ECLAIRAGE

Il est conseillé que tous les panneaux utilisés soient des caissons lumineux afin qu'ils soient bien visibles la nuit.

De plus l'éclairage de la voie au niveau des accès aux PSGR devra être particulièrement efficace afin que les montant verticaux des différents panneaux de signalisation soient bien visibles.