

Université Abou Bekr Belkaid

Tlemcen

Département d'architecture

Matière : structure II

Master 1 Architecture

**LES COQUES EN B.A.**  
**ET EN ACIER:**



Pr Ouissi Mohammed Nabil

# Plan de travail:

**I-Définition des coques et voiles:**

**II-Les différents type de coque:**

**En béton:**

1-Sphérique:

2-Cylindrique:

3-Parabolique Hyperbolique:

4-Réglés:

5-Complexe:

6-Mono-coque:

**En acier:**

**III-Characteristiques des coques:**

**IV-Conception des coques:**

1-Ferraillage:

2-Cofrage:

3-Coulage:

**V-Exemple de quelques réalisation:**

# I-Définition des coques et voiles:

## 1-Les coques:

Une coque est un milieu continu solide déformable dont la forme peut être assimilée à une surface avec une épaisseur. Soit une surface paramétrée par les deux paramètres.

## 1-Les voiles:

On appelle *voile* une coque dans laquelle on peut négliger les valeurs des moments linéiques . Cette hypothèse se justifie principalement dans deux cas:

- pour les coques très minces pour lesquelles les efforts nécessaires pour la fléchir localement sont négligeables devant les efforts pour l'allonger
- pour les coques dont le matériau ne résiste pas à la flexion

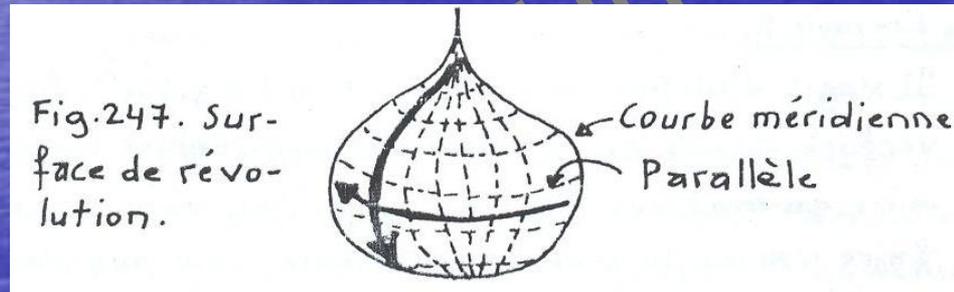
# II-Les différents types des coques :

## II-1-En béton armé:

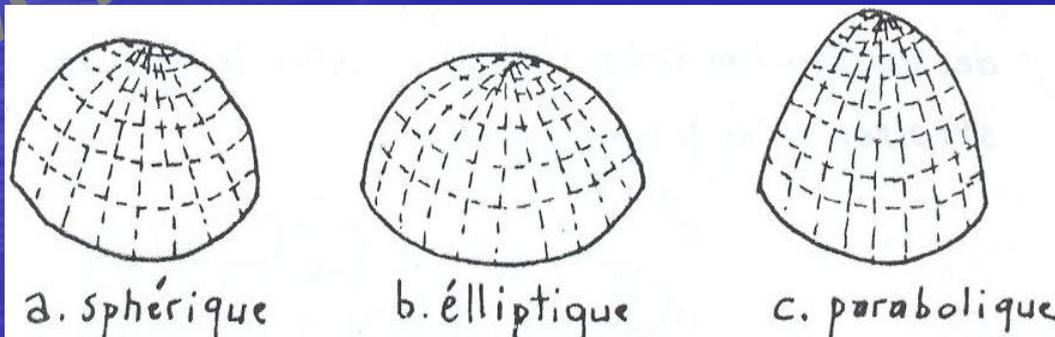
il s'agit en effet deux structures essentiellement sollicitées à la **compression** dans lesquelles la reprise des charges s'effectue de manière similaire.

**1-Coques sphériques** : appelées aussi surface de révolution. Elles sont engendrées par la rotation d'une courbe plane autour d'un axe vertical (247) la courbe plane ou courbe méridienne, peut avoir des contours varies donnant ainsi naissance à tout un éventail des formes des coupoles convenant à la couverture d'une surface circulaire (248).

### Surface de révolution

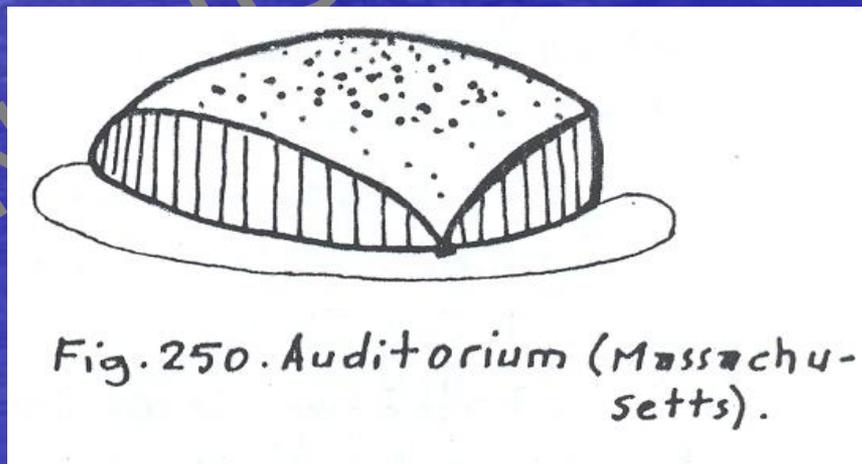
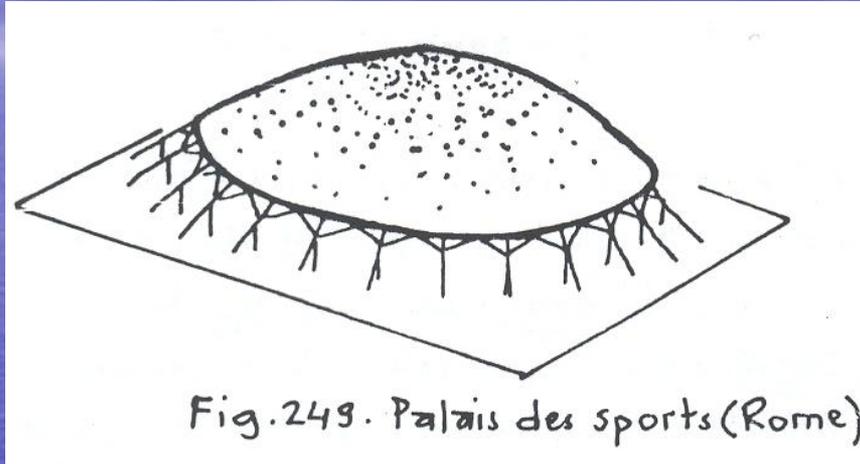


### Formes des coupoles



## Exemple 1 :

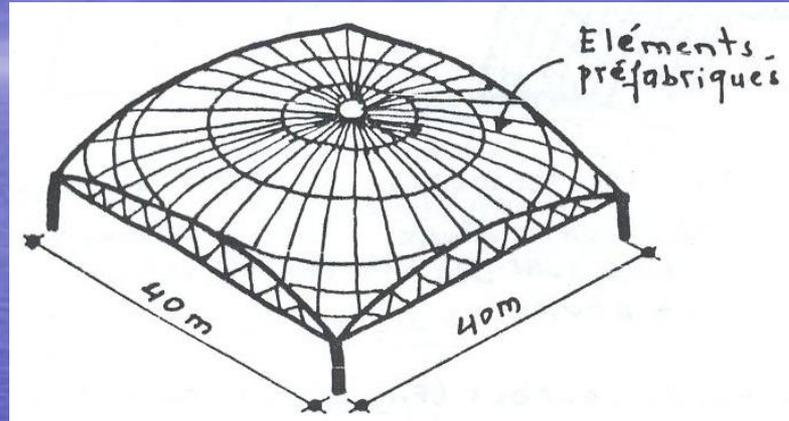
Il s'agit d'exemples de construction de coques en béton armé ou une partie de sphère est employée (249et250).



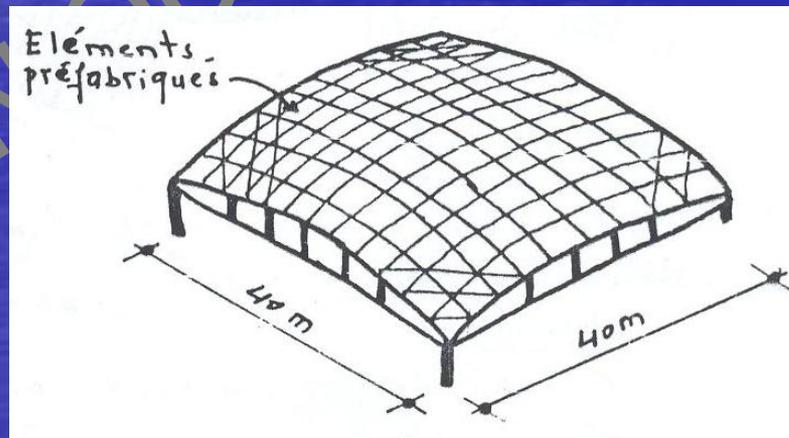
## Exemple 2 :

Coque sphérique en éléments préfabriqués en béton armé (251 et 252).

Coupole en béton armé pour usine à béton (Léningrad)



Coupole en béton armé d'un garage



## 2-coques cylindriques :

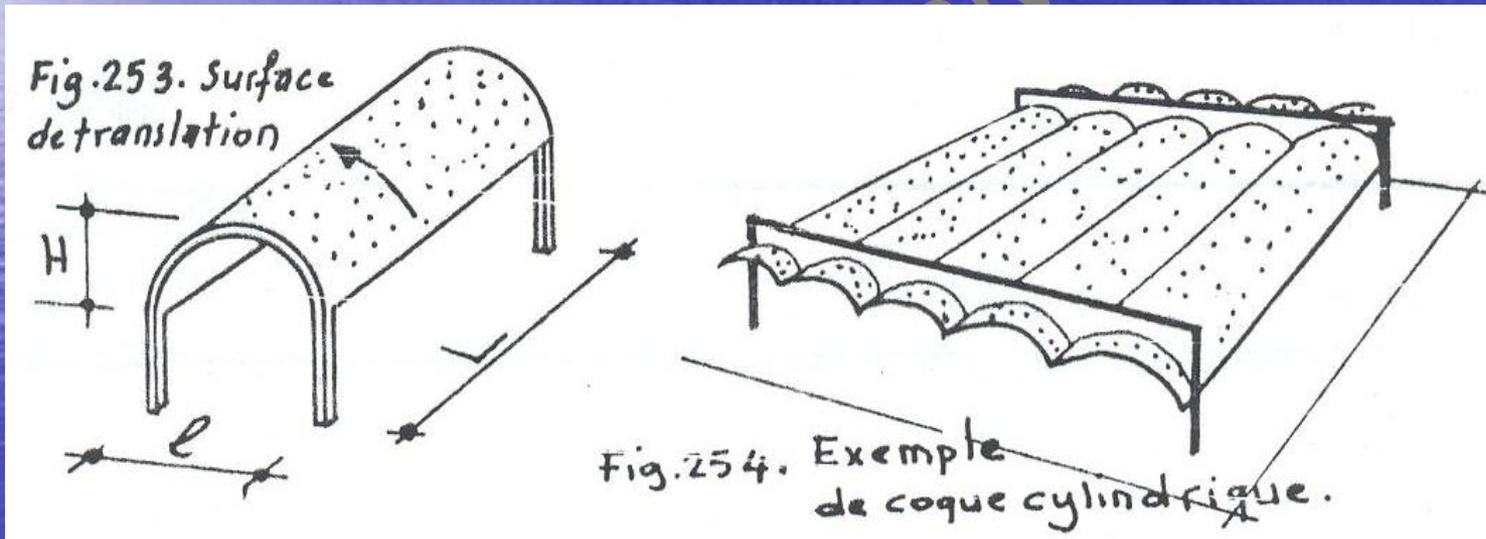
Appelées aussi **surface de translation** .elles s'obtiennent en faisant glisser, tout en maintenant verticale une courbe plane sur un axe qui lui est perpendiculaire (253et254).

Données pratiques (béton armé et bois) :

$$L=2 \text{ à } 5l.$$

$$H=1/8 \text{ à } 1/12L.$$

**Courbure maximale R (rayon)=12m**



### 3-coques paraboloides et hyperboliques :

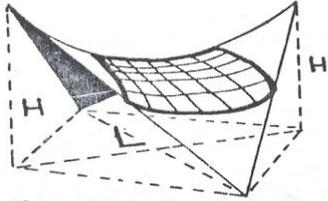


Fig. 255. Partie de coque P.H. délimitée par des paraboles

Appelée aussi P.H elles résultent de translation d'une parabole a courbure vers le bas sur une parabole a courbure vers le haut (fig255).

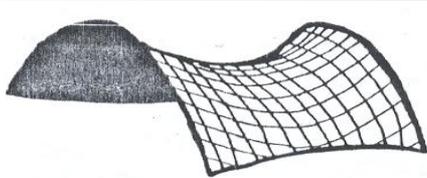


Fig.256. Les coupes verticales d'une coque sont des paraboles

La section horizontal le d'un P.H est une hyperbole (fig256).

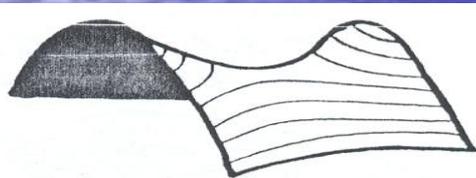


Fig. 257. Les coupes horizontales sont des hyperboles

La section verticale d'une coque sont des paraboles (fig257).

#### Données pratiques :

La différence d'hauteur  $H$  entre les deux points hauts et les deux points bas d'une coque P.H doivent être la plus grand possible. Il faut que  $H \geq 1/15.L$

En béton arme et en bois, l'épaisseur d'une coque est de **30 a 60** mm environs pour une porte  $L = 30$  a  $40$  m.

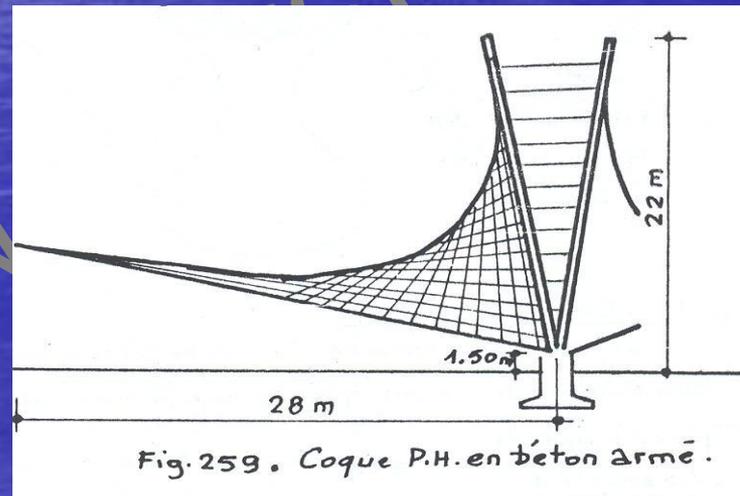
### Exemple 01 :

Coque P.H en bois aborde courbe (fig258) d'une épaisseur de 60 mm (trois couches de 20mm).



### Exemple 02 :

Coque P.H en béton armé (fig259), d'épaisseur de 40mm

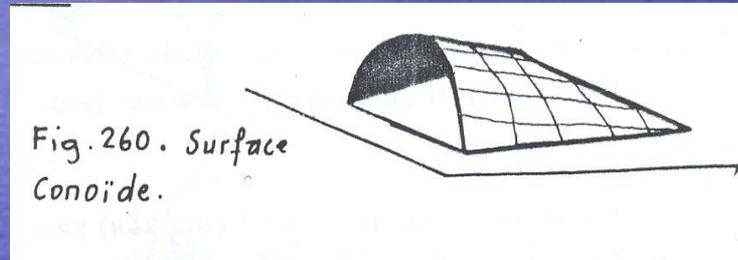


## 4-coques réglées:

Appelles aussi surfaces réglées. ce sont des surface obtenues en faisant glisser les extrémités d'un segment de droite sur deux courbes distinctes ou sur une courbe et un autre segment.

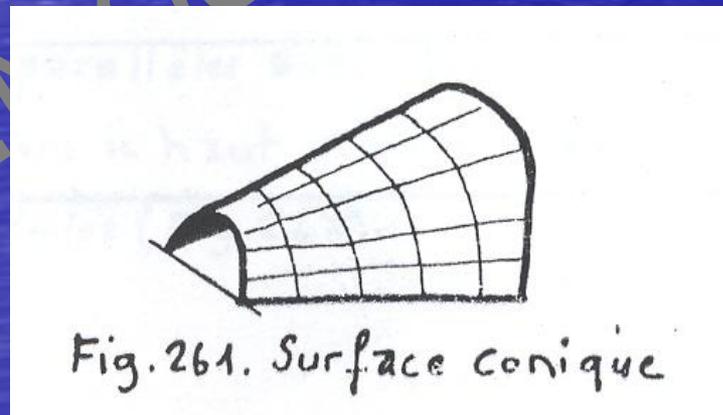
### Exemple 1 :

Il s'agit des surfaces coniques (fig261). ce sont des surfaces conoïdes utilisées pour couvrir des surfaces trapézoïdales.



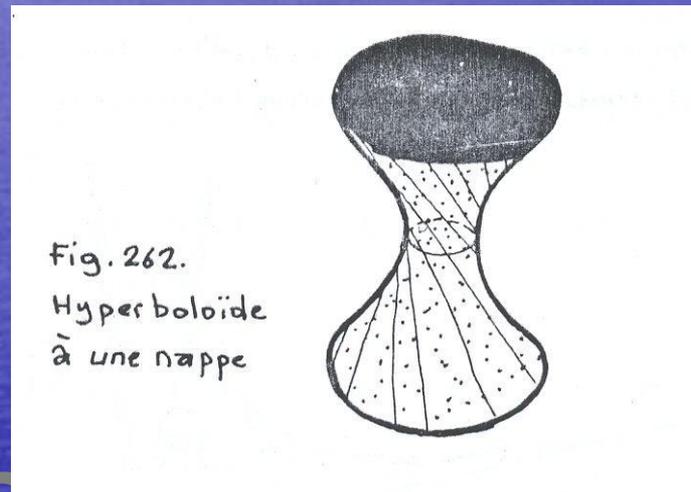
### Exemple 2 :

Il s'agit des surfaces coniques (fig261). ce sont des surfaces conoïdes utilisées pour couvrir des surfaces trapézoïdales.



### Exemple 3 :

Il s'agit d'un hyperboloïde à une nappe (fig262).il résulte de la translation d'une droite inclinée sur deux cercles horizontaux places l'une au dessus de l'autre .ce type de construction est utilise pour construire des tours de refroidissement dans les cimenteries .

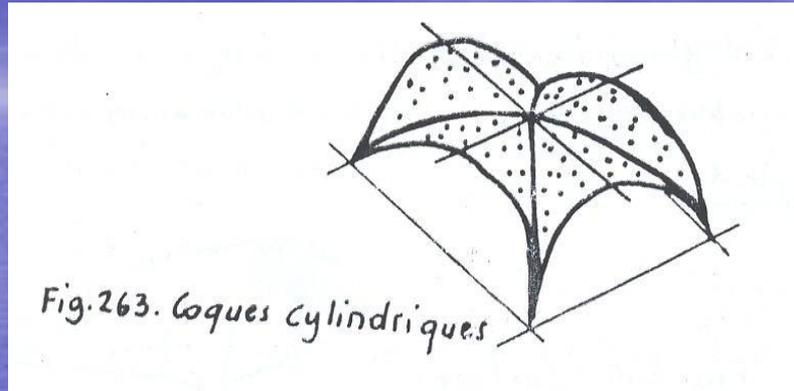


### 5-Coques complexes :

Les surfaces élémentaire définies précédemment peuvent être combinées de façon quelconque, en vue d'obtenir des surfaces plus complexes.

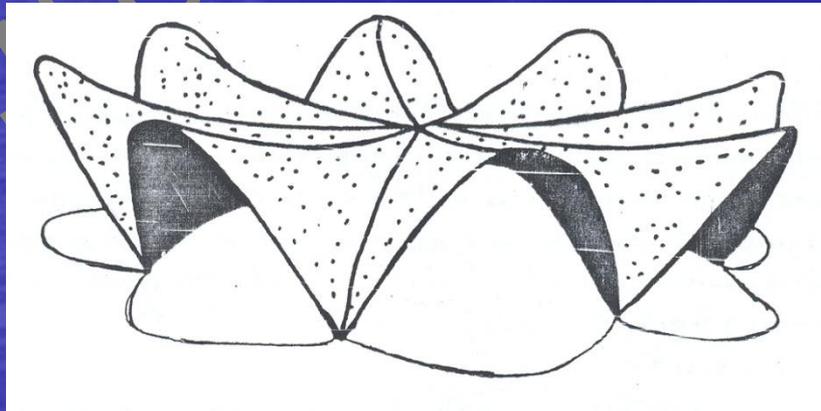
### **Exemple 1 :**

Deux coques cylindriques peuvent se couper perpendiculairement afin de couvrir une surface carre ou rectangulaire (fig263).



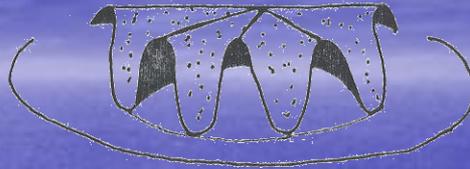
### **Exemple 2 :**

Plusieurs P.H qui se coupent (fig264) pour couvrir une surface circulaire (épaisseur : 40mm de béton armé).



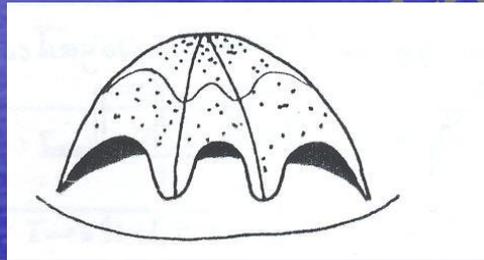
### **Exemple 3 :**

On peut obtenir des toitures ondulées de forme annulaire en réunissant des surfaces coniques courbures alternativement vers le haut et vers le bas (fig265).



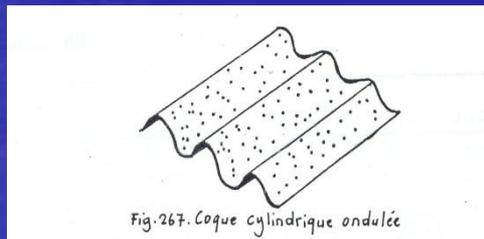
### **Exemple 4 :**

On peut onduler des coupoles sphériques afin d'obtenir des toitures ondulées (fig266).



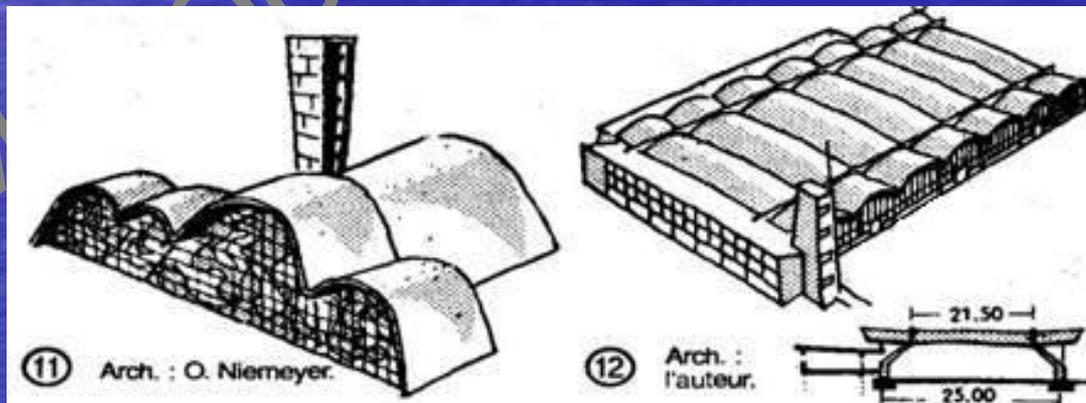
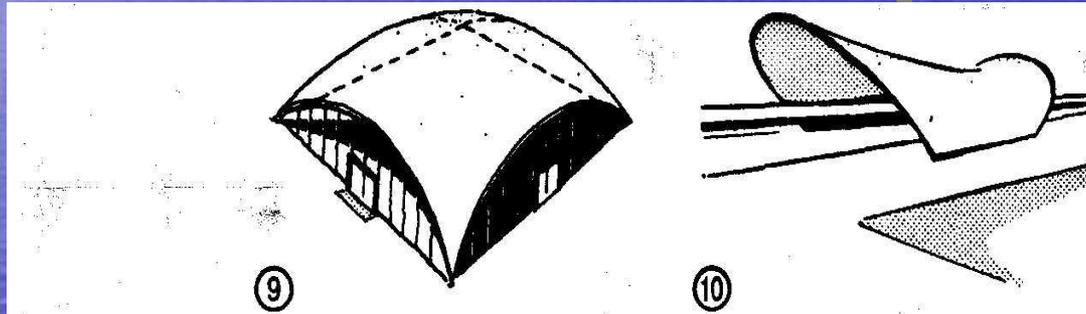
### **Exemple 5 :**

Cylindres parallèles avec des courbures alternativement dirigés le haut et vers le bas, constituent une couverture ondulée (fig267).



## 6-Toits monocoques :

La distribution des contraintes dans tous les sens dans le béton armé des surfaces, permet les constructions monocoques sous forme de coupole avec segments (F9), de coque longitudinale de forme (F10) de voûte transversale étagée rythmiquement (F11) ou d'une série de voûtelettes avec supports oblique ou point neutre(F12).



## II-2-Les coques en acier:

sont des ouvrages de type sol métal constitués d'une coque De tôles fortes en acier ondulé

Ces ponceaux sont regroupés dans deux catégories :

- Les ponceaux en forme d'arche à rayon simple ou à rayons multiples;
- Les ponceaux rectangulaires.

### 1-Domaine d'application :

Sont utilisés comme ponceau ou passage pour piétons et Cyclistes ou comme voie de circulation de véhicules.

Leur utilisation doit satisfaire aux exigences de la grille de sélection des ponceaux

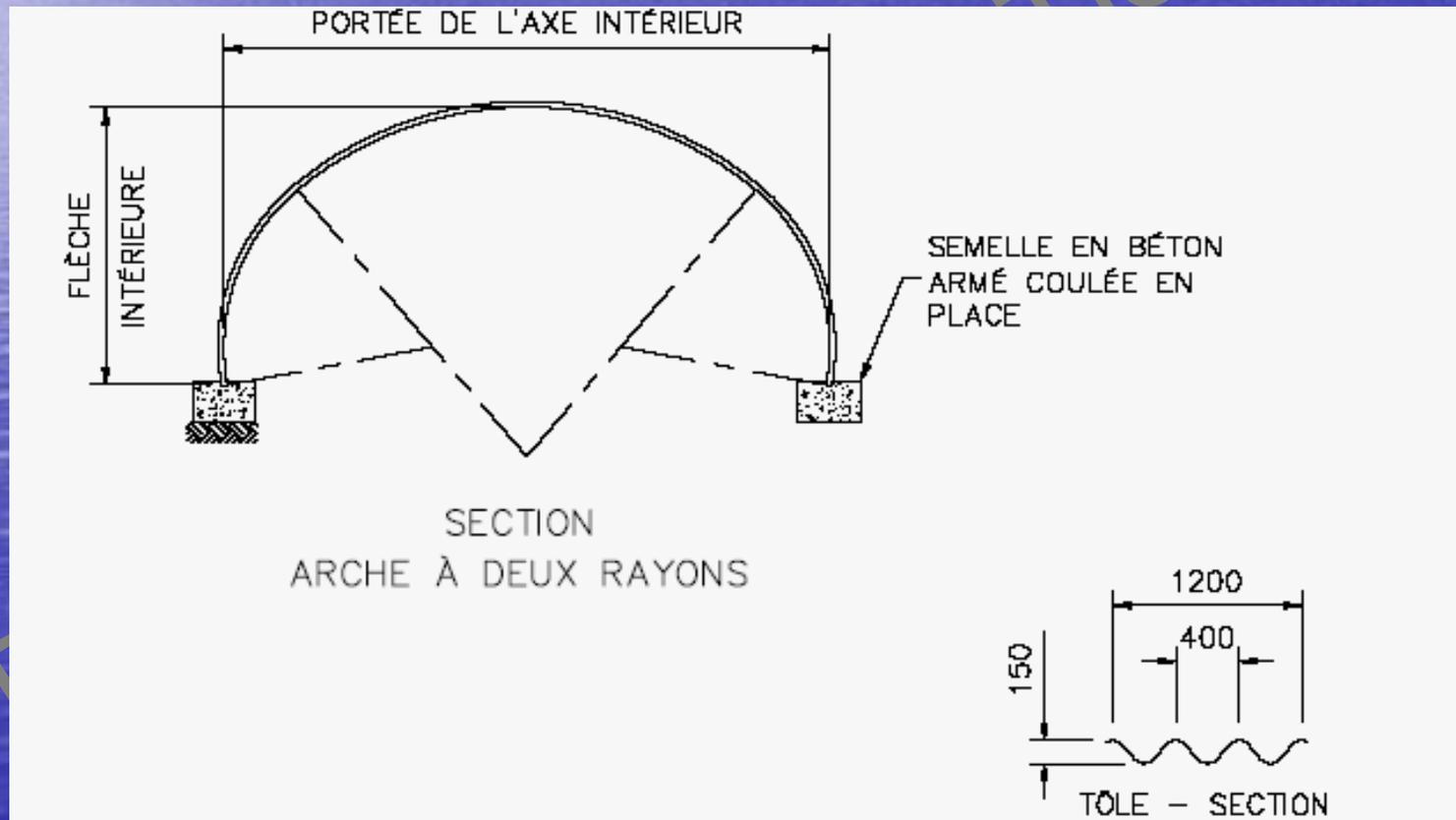
## **2-Indications générales et description :**

La coque est fabriquée de plaques possédant un profil d'ondulation de 400 mm x 150 mm, une largeur utile de 1200 mm et une longueur utile variant de 1275 mm à 3825 mm (par incréments de 425 mm) et sont disponibles dans les épaisseurs de 3 mm à 7 mm. Elle s'appuie sur des assises en béton armé. Les semelles des fondations doivent être enfouies à une profondeur suffisante pour être Protégées contre le gel

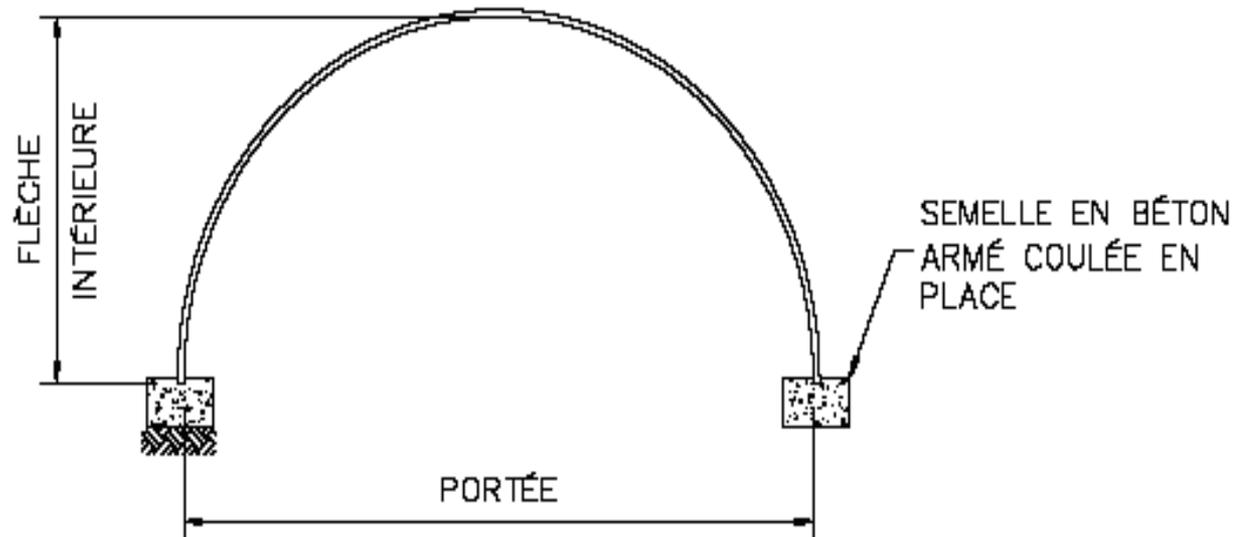
Pr M.N.OUIS

# Ponceaux en forme d'arche :

Les ponceaux en forme d'arche, à rayon simple ou à rayons multiples, ont des portées qui varient de 8 m à 16 m.



# Ponceaux en forme d'arche :



SECTION  
ARCHE À UN RAYON

# Ponceaux rectangulaires

Les ponceaux rectangulaires ont des portées qui varient de 4 m à 8 m et une flèche maximale (hauteur sous la voûte) de 3,2 m.

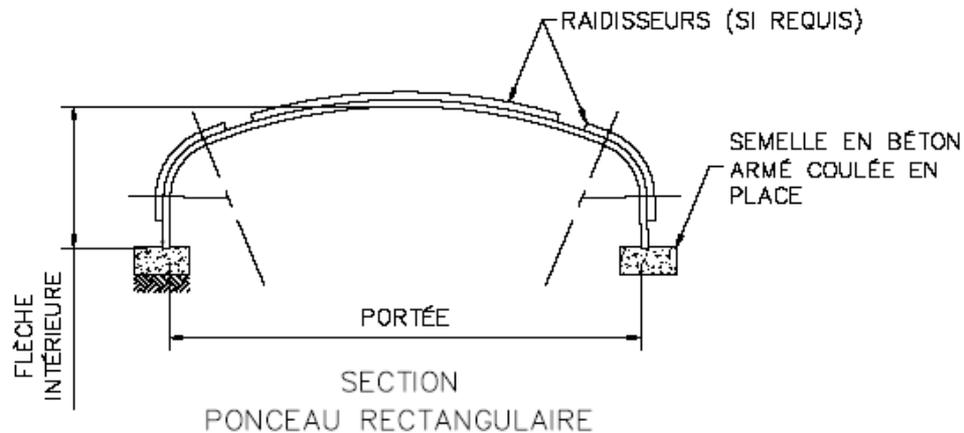
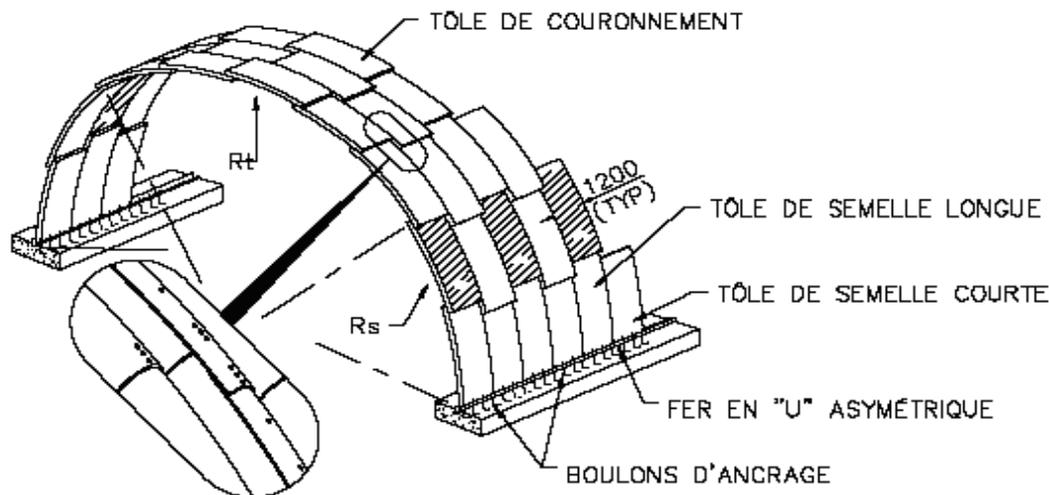


Figure 1 – FORMES DES PONCEAUX

# Caractéristiques des matériaux :

## Acier des tôles :

Sont faites d'acier ondulé galvanisé, conforme à la norme ASTM A 761/A 761M « Standard Specification for Corrugated Steel Structural Plate, Zinc-Coated, for Field Bolted Pipe, Pipe Arches, and Arches ».



DÉTAIL TYPE D'ASSEMBLAGE PARTIEL

## Boulons et tiges d'ancrage

Les boulons d'assemblage des tôles ont un diamètre de 19 mm ou 22 mm et doivent être conformes à la norme ASTM A 449 « Specification for Quenched and Tempered Steel Bolts and Studs ». Les écrous pour ces boulons doivent être conformes à la norme ASTM A 563 « Specification for Carbon and Alloy Steel Nuts », Grade C. Les tiges d'ancrage, utilisées pour fixer les murs de tête à la coque du ponceau ainsi que pour l'ancrage de la coque à l'assise, doivent avoir un diamètre de 19 mm et être conformes à la norme ASTM A 307 « Specification for Carbon Steel Bolts and Studs, 60000 psi Tensile », Grade C.

Pr M.N.

## Protection contre la corrosion

Toutes les composantes en acier doivent être galvanisées conformément aux exigences de la norme CAN/CSA-G164-M « Galvanisation à chaud des objets de forme irrégulière ». L'épaisseur minimale du revêtement de zinc doit être de 65  $\mu\text{m}$ .

La mise en forme (ondulations et courbures) et le perçage des trous dans les pièces d'acier doivent être complétés avant de procéder à la galvanisation.

## Matériau de remblai structural

Le matériau de remblai structural doit être un matériau granulaire conforme aux Exigences de l'article 15.12.2.6 du CCDG et répondre aux exigences suivantes :

- Le matériau doit être constitué de grains angulaires;
- Le contenu en chlorures ne doit pas être supérieur à 50 ppm;
- Le matériau doit répondre aux critères granulométriques du tableau suivant :

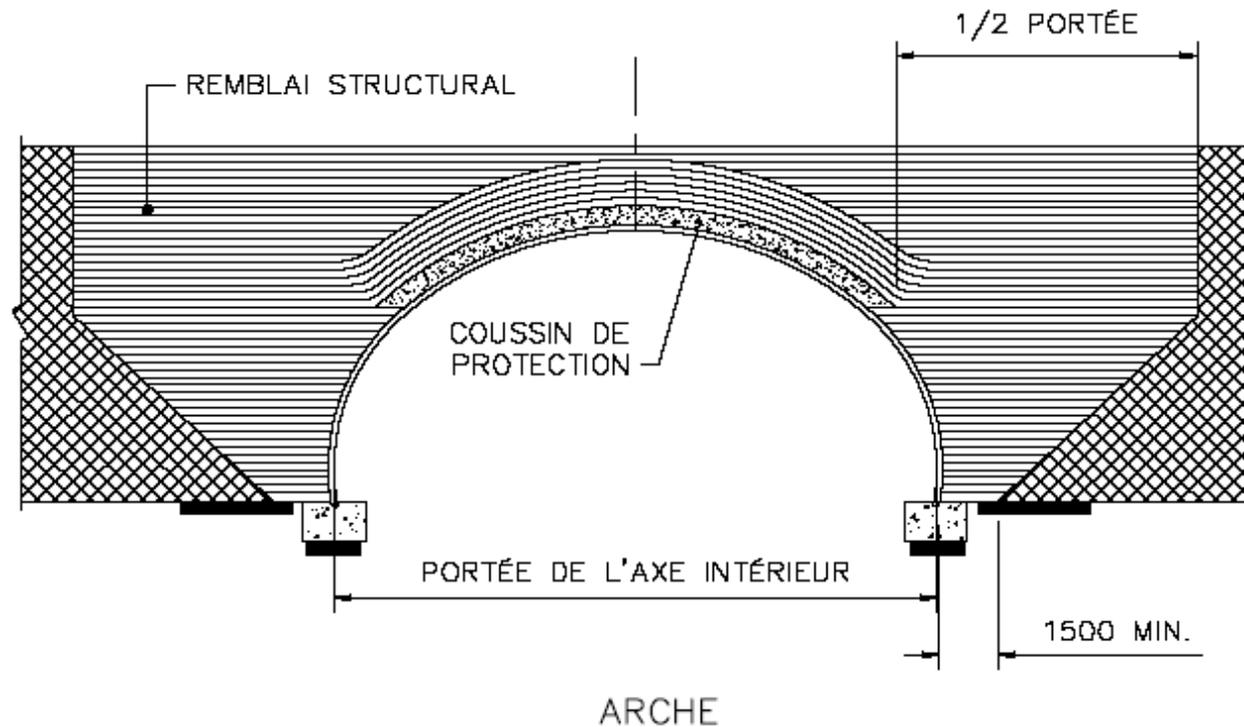
Tamis	75 mm	50 mm	25 mm	16 mm	5 mm	1,2 mm	300 $\mu$ m	75 $\mu$ m
Passant (%)	100	55-100	38-100	32-95	20-75	10-48	5-25	0-7

Le remblai doit être mis en place par couches d'au plus 200 mm d'épaisseur et chaque couche doit être compactée à 95 % de la densité du Proctor standard. L'écart entre les niveaux de remblai de construction de chaque côté d'un ouvrage pour toute section transversale ne doit pas dépasser 200 mm.

Aucun matériel lourd ne doit circuler à moins d'un mètre des parois latérales de l'ouvrage. Les étapes de mise en place du remblai au-dessus de la structure, ainsi que les équipements mécaniques à utiliser et leur positionnement doivent être conformes à la procédure de la compagnie ARMTEC intitulée *Directions pour le passage sur le dessus de la structure – Étapes critiques*.

Le remblai situé à proximité de la paroi de l'ouvrage et sur une profondeur de pénétration du gel doit être exempt de sols gélifs.

# Ponceaux en forme d'arche avec remblais :



# Ponceaux rectangulaires avec remblai:

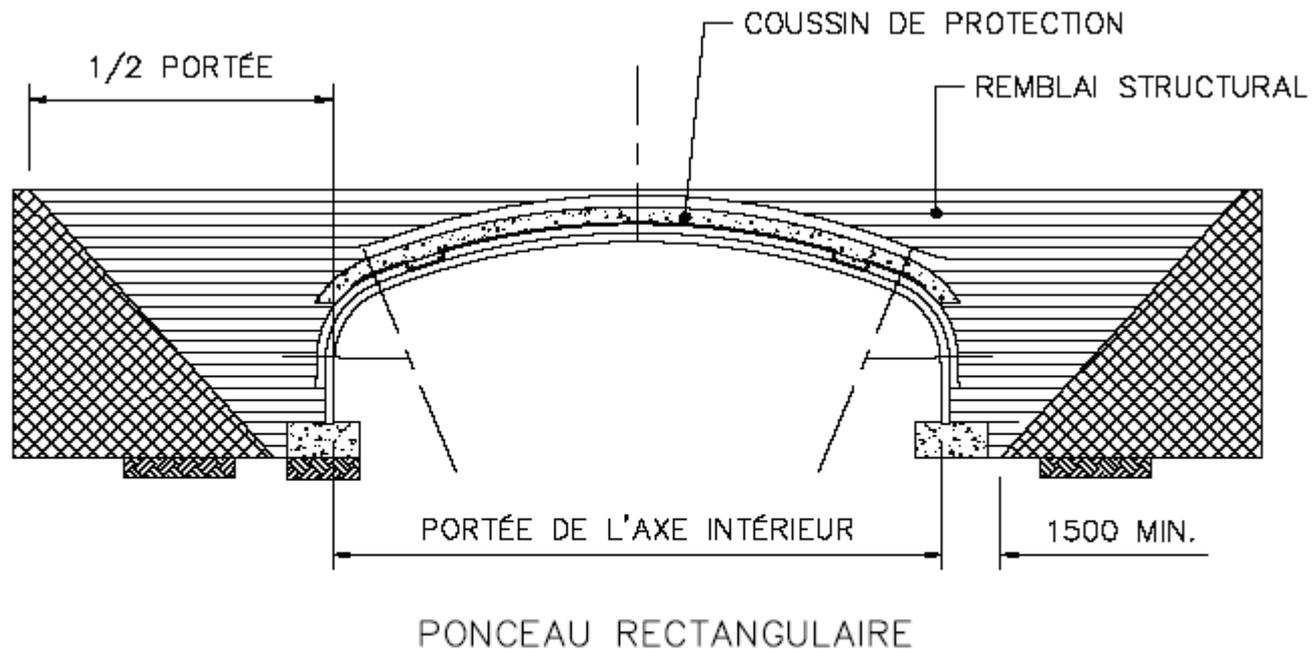


Figure 4 – REMBLAI STRUCTURAL

# IV- Conception des coques:

La fabrication d'une coupole n'est pas un exercice simple. Le problème provient de cette forme sphérique qu'il est difficile d'obtenir ainsi que la réalisation de la trappe.

## Coffrage:

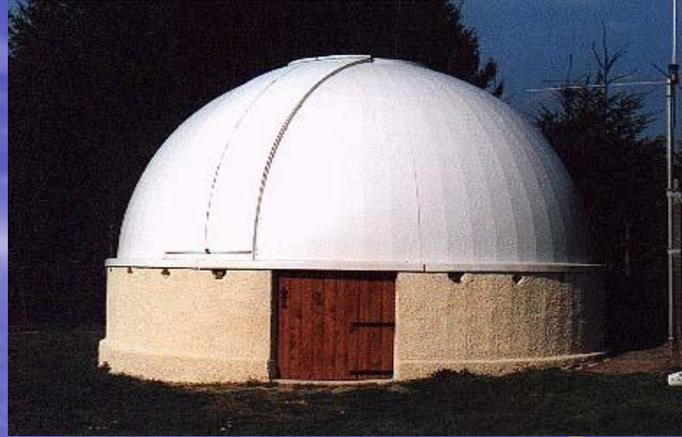
### 1-Coffrage grimpant:



L'épaisseur de l'ouvrage est de 43 cm avec un rayon intérieur de 6,60 m, et une hauteur de 15,00 m.

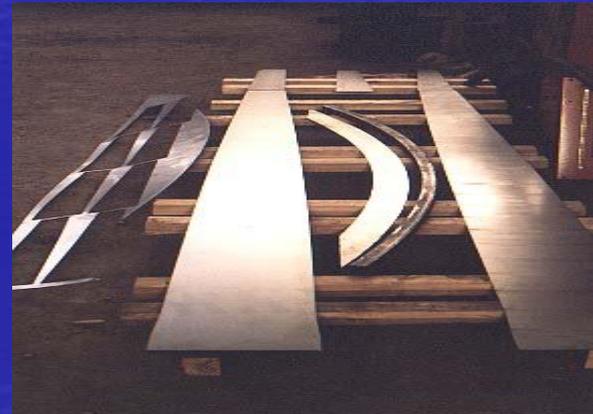
Il est réalisé en 5 coulages sur la hauteur, une levée est réalisée en moins de deux semaines, et afin de ne pas être soumis à des temps de séchage, il a été choisi un béton spécial (CPA 400) qui permet de réduire les délais entre les levées.

## Coupole de l'observatoire :



### Le moule:

*Les lames de fer, de forme particulière découpées au Laser et le secteur circulaire sur lequel elles seront soudées*





*Soudage des deux premières lames sur le galbe.*

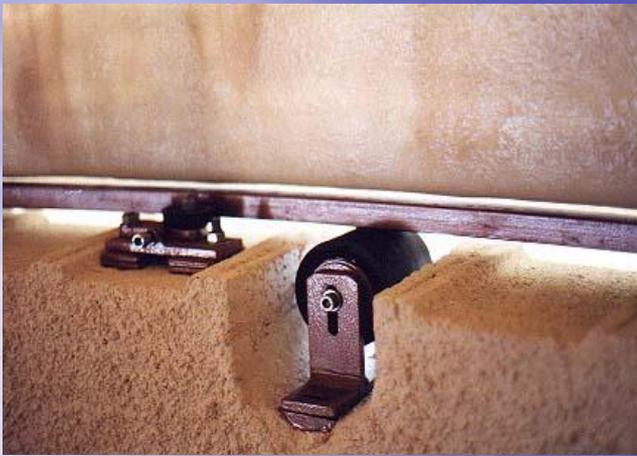


*Au bout de 4 lames soudées on perçoit la forme sphérique. Un gabarit maintient et rigidifie le moule.*

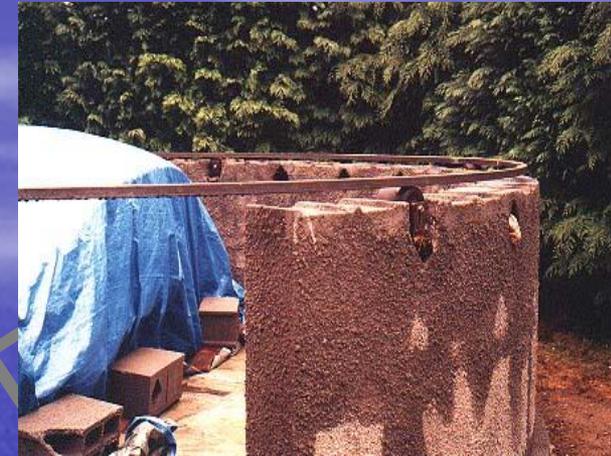


*Vissage des bords du moule qui seront recouverts de résine. Ils serviront de plan de contact pour le joint et d'armature rigides.*

## Support, chemin de roulement



*Galet caoutchouc porteur de la coupole.*



*Cerceau sur lequel seront fixés les éléments de la coupole.*



**Montages des éléments**



Préparation au gonflage de la membrane qui servira de coffrage intérieur à la mise en oeuvre des composants,.



Gonflage de la membrane en cours et mise sous pression.



la mise en forme

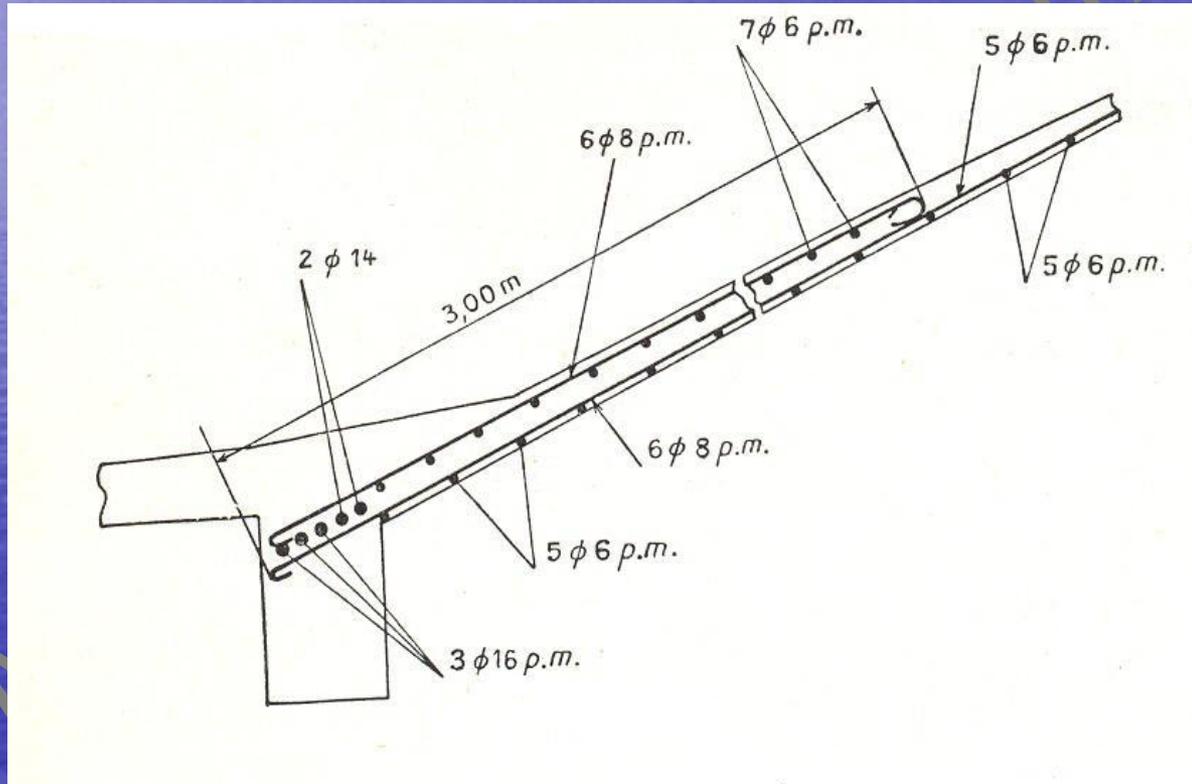


Pr

## Poutre de retombée inclinée:

Portée 6.00m

Épaisseur aux retombées  
12cm.



# Coulage:

## 1. Organisation du coulage:

### Équipe de mélange:

- On accordera à un homme de confiance l'autorité nécessaire pour surveiller la qualité et les quantités de matériaux utilisés pour chaque mélange. Il devra vérifier que le mélange ne reste dans la bétonnière que le temps nécessaire et veillera sur la consommation de façon que le mélange soit toujours frais au moment de son utilisation.

### Équipe de manutention:

- La principale tâche est de veiller à ce que le mélange soit transporté vers la coque et transféré pour son utilisation aussi rapidement que possible. Le mélange ne doit pas être laissé sur place car la première prise de mélange aura eu lieu et par la suite les autres ouvriers auront des difficultés à réaliser la pénétration du mortier.

### **Équipe de vibrage:**

- L'équipe de vibrage doit savoir qu'il ne faut appliquer le vibreur qu'un minimum pour réaliser la pénétration du mortier et qu'elle doit toujours travailler avec quelqu'un pour vérifier la face externe de la partie en cours de vibration.

### **Équipe intérieure:**

- L'équipe intérieure coule le mortier à l'intérieur du grillage entre les zones vibrées et suit l'équipe de vibration pour réaliser une surface assez régulière à l'intérieur de la coque prête pour l'enduit final par les cimentiers..

- **Le durcissement est d'une importance capitale pour la résistance finale du mortier. Le durcissement est de 14 à 28 jours suivant les conditions locales, la température et le type de ciment utilisé. D'habitude pour du ciment Portland ordinaire, on a besoin de 28 jours, mais pour du Portland à prise rapide, 14 jours suffisent**
- **Durant la période de durcissement, la température doit demeurer aussi constante que possible au-dessus de 10°C**
- **La totalité de la coque - intérieur et extérieur - est enveloppée dans de la toile à sac qui doit demeurer en contact étroit avec la surface du ferrociment. La toile est entièrement trempée d'eau jusqu'à saturation. Après le trempage initial, la coque aura besoin d'être arrosée à intervalles réguliers, nuit et jour, pour maintenir l'humidité.**

- On peut encore, si l'eau est très abondante, utiliser un système d'arrosage continu.
- La température idéale de l'eau est également supérieure à 10°C.

Pr M.N.OUISSI Univ. Tlemcen

# V-Exemple de quelques réalisations:

**Coupole du reichstag (Berlin) ,360miroirs qui guident la lumière jusqu'à l'hémicycle ou siègent ,la coupole atteint une hauteur e 23.5m pour un diamètre de 40m.**



**Conçu par l'architecte danois Jorn Utzon, l'Opéra de Sydney est un grand centre artistique ouvert sur la baie de Port Jackson. La forme du toit s'inspire des voiles déployées d'un bateau.**



**Œuvre des architectes Pier Luigi Nervi et Annibal Vitellozzi, le palais des Sports de Rome, entouré de poteaux en forme de Y et couvert par un dôme de béton nervuré, est une référence de l'architecture sportive du XXe siècle.**

**Pier Luigi Nervi et Annibal Vitellozzi, palais des Sports, 1957. Rome, Italie.**



**Biosphère (Montréal)Dôme: de type géodésique édifié pour le pavillon des États-Unis à l'Exposition universelle de Montréal (1967).**



Encyclopédie Encarta, Photo Researchers, Inc./Friedmann

**L'observatoire de La Silla, situé au nord du Chili et géré par l'ESO open Southern Observa Tory),**



# Centrale nucléaire:



Encyclopédie Encarta, The Image Works/Stuart Cohen

**Construite à partir de 1957, à l'initiative du président Juscelino Kubitschek, pour être la capitale du Brésil, Brasilia est une ville très moderne. Sur la place des Trois Pouvoirs se dresse la cathédrale circulaire, réalisée en 1970. Œuvre de l'architecte brésilien Oscar Niemeyer, qui a réalisé la plupart des grands édifices de la cité, elle est dotée de 16 colonnes incurvées. Son entrée souterraine est gardée par quatre imposantes statues**

