

CHAPITRE 3 : LES STRUCTURES DES COQUES ET VOILES MINCES EN BÉTON ARMÉ COURBÉS OU PLISSÉS

3.1 Introduction

Les voiles minces sont des structures spatiales dont l'épaisseur est faible par rapport aux deux autres dimensions. La résistance des voiles minces est obtenue en donnant aux matériaux une forme adaptée aux charges qu'ils doivent supporter. Ce sont donc des structures, à résistance de forme, suffisamment minces pour ne pas développer des contraintes de flexion appréciables et assez épaisses pour transmettre les charges par compression, traction et cisaillement.

Bien que des voiles minces aient été réalisés en bois, en acier et matériaux plastiques, ils conviennent idéalement à la construction en béton.

3.2 Les coques

Le béton avec sa maniabilité et sa résistance permettent d'être moulé dans une grande variété de formes, il a été largement utilisé pour créer des enveloppes basées sur des formes courbes appelé 'coques'. Le fait que ce soient des formes structurelles plus efficaces que les structures à poteaux et poutres, soit parce qu'elles sont des approximations proches de la forme active pour les charges qui leur sont appliquées, soit parce qu'elles permettent la proportion de sous-contrainte le matériau qui doit être réduit d'une autre manière signifie que de grandes portées peuvent être obtenues avec de très petits volumes de matériau structurel.

Les coques sont des structures tridimensionnelles à parois mince, comportant une surface moyenne courbe. La plupart des ouvrages architecturaux en forme de coques sont actuellement conçus en béton armé et précontraint. Une coque en béton ayant une forme spatiale favorable peut avoir un élancement (rapport portée/épaisseur) de l'ordre de 500, ce qui représente des valeurs 10 fois plus élevée que pour d'autres types de structures (à l'exception des structures tendues).

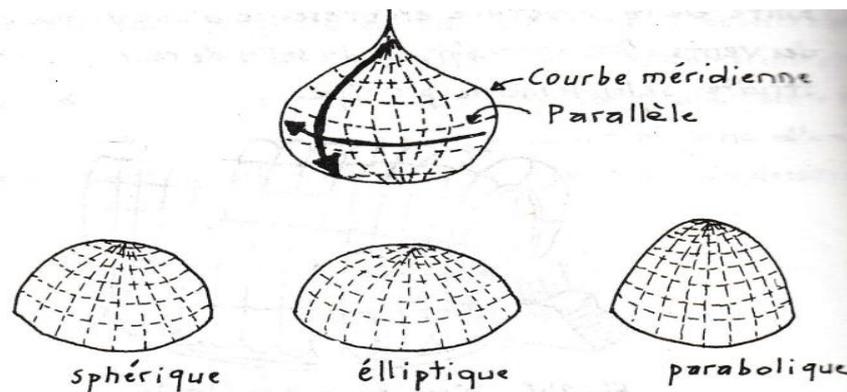
3.1.1 Avantages et inconvénients des coques

L'aspect esthétique des coques et leur capacité à s'étendre sur de grandes zones dégagées a toujours suscité un grand intérêt parmi les ingénieurs et les architectes. Cependant, le grand coût de construction de la coque, les problèmes acoustiques, sa mauvaise isolation thermique, la difficulté

de réaliser un toit étanche et les problèmes de flambage à faibles contraintes ont limité leur utilisation. De plus, les coques minces ne sont pas en mesure de supporter des charges concentrées lourdes tel que des conduits de service ou des machines de service, sans l'ajout de nervures ou d'autres types de raidisseurs. Un autre inconvénient provient du fait qu'il n'est pas possible de loger le grand nombre de systèmes qui se produisent dans un bâtiment, tels que des fils, des tuyaux, etc., dans la très petite zone structurelle d'une coque. Ce problème ne se pose pas dans les bâtiments qui ont des structures de type poteau et poutre plus inefficaces car le volume structurel assez important impliqué fournit une zone dans laquelle de nombreux composants requis (conduits, chemins de câbles) peuvent être logés. La grande complexité de la forme de coque, combinée à ses autres inconvénients, la rend donc adaptée à une gamme plutôt limitée de types de bâtiments.

3.1.2 Type des coques

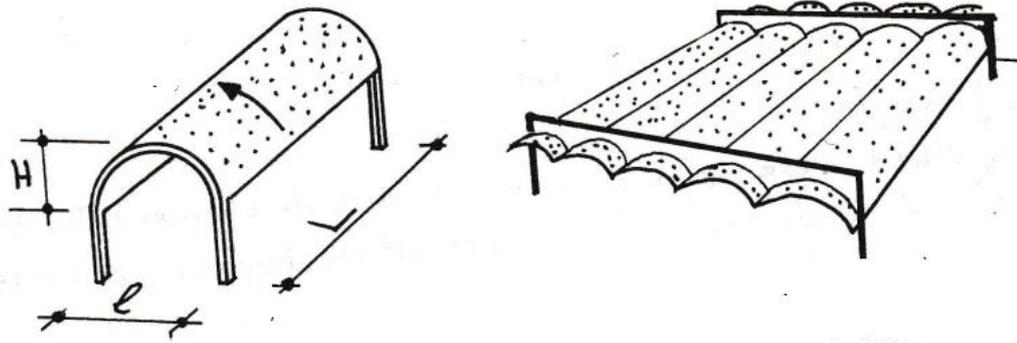
1. *Coques sphériques* : appelées aussi 'surfaces de révolution'. Elles sont engendrées par la rotation d'une courbe plane autour d'un axe verticale. La courbe plane ou courbe méridienne, peut avoir des contours variés donnant ainsi naissance à tout un éventail de formes de coupoles convenant à la couverture d'une surface circulaire.



2. *Coques cylindriques* : appelée aussi 'surface de translation'. Elle s'obtiennent en faisant glisser, tout en maintenant verticale une courbe plane sur un axe qui lui est perpendiculaire.

Les dimensions qui suivent peuvent être adoptés pour les coques cylindriques en béton armé ou en bois.

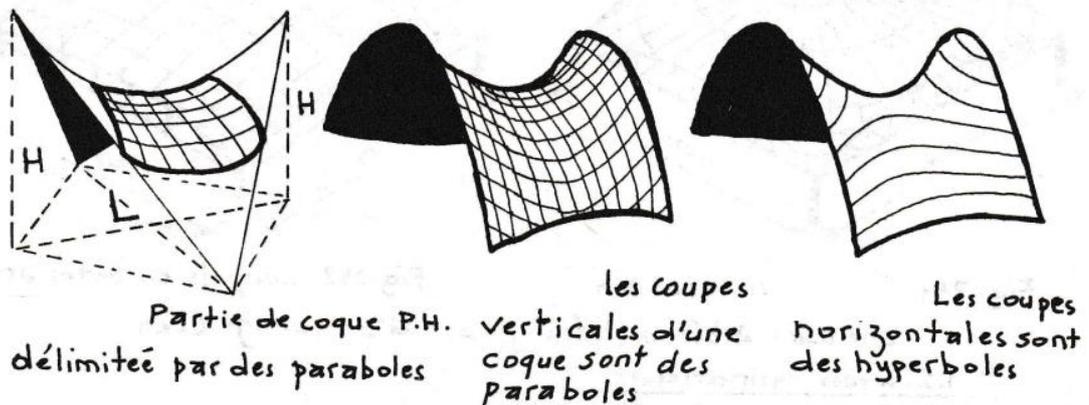
- $L = 2$ à $5l$
- $H = \frac{1}{8}$ à $\frac{1}{12} L$
- Courbe maximale : $R(\text{rayon}) = 12m$



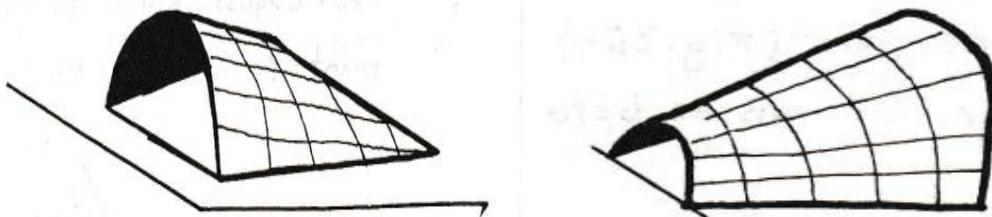
3. *Coques paraboloides hyperboliques (P.H)* : elles résultent de la translation d'une parabole à courbure vers le bas sur une parabole à courbure vers le haut. La section horizontale d'un P.H. est une hyperbole et sa section verticale est une parabole.

En pratique, on peut adopter :

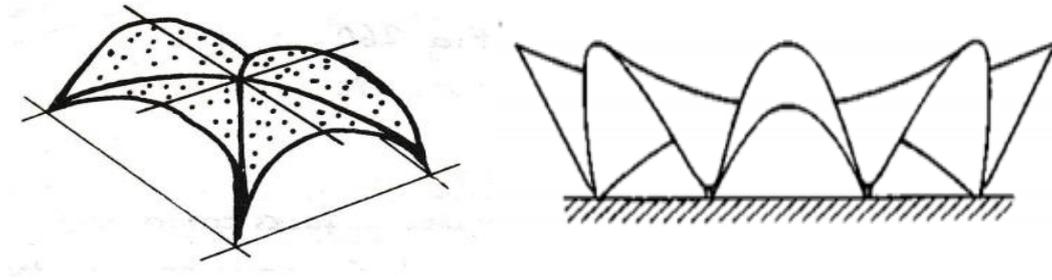
- La différence de hauteur H entre les deux points hauts et les deux points bas d'une coque P.H. doit être la plus grande possible. Il faut que : $H \geq \frac{1}{15} \cdot L$
- En béton armé, l'épaisseur d'une coque est de 30 à 60mm environ pour une portée $L = 30$ à 40m.



4. *Coques réglées* : appelées aussi 'surface réglées'. Ce sont des surfaces obtenues en faisant glisser les extrémités d'un segment de droite sur deux courbes distinctes ou sur une courbe et un autre segment.

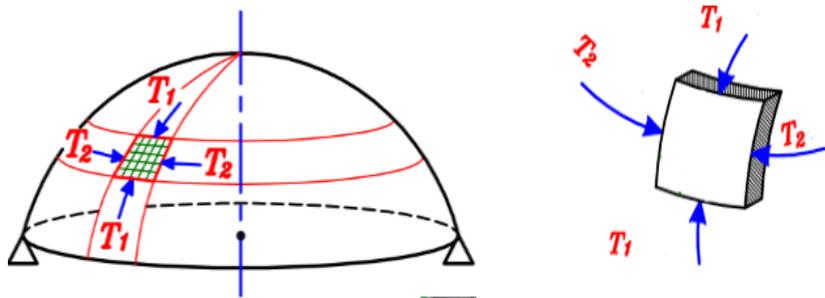


5. *Coques complexes* : les surfaces définies précédemment peuvent être combinées de façon quelconque, en vue d'obtenir des surfaces plus complexes.

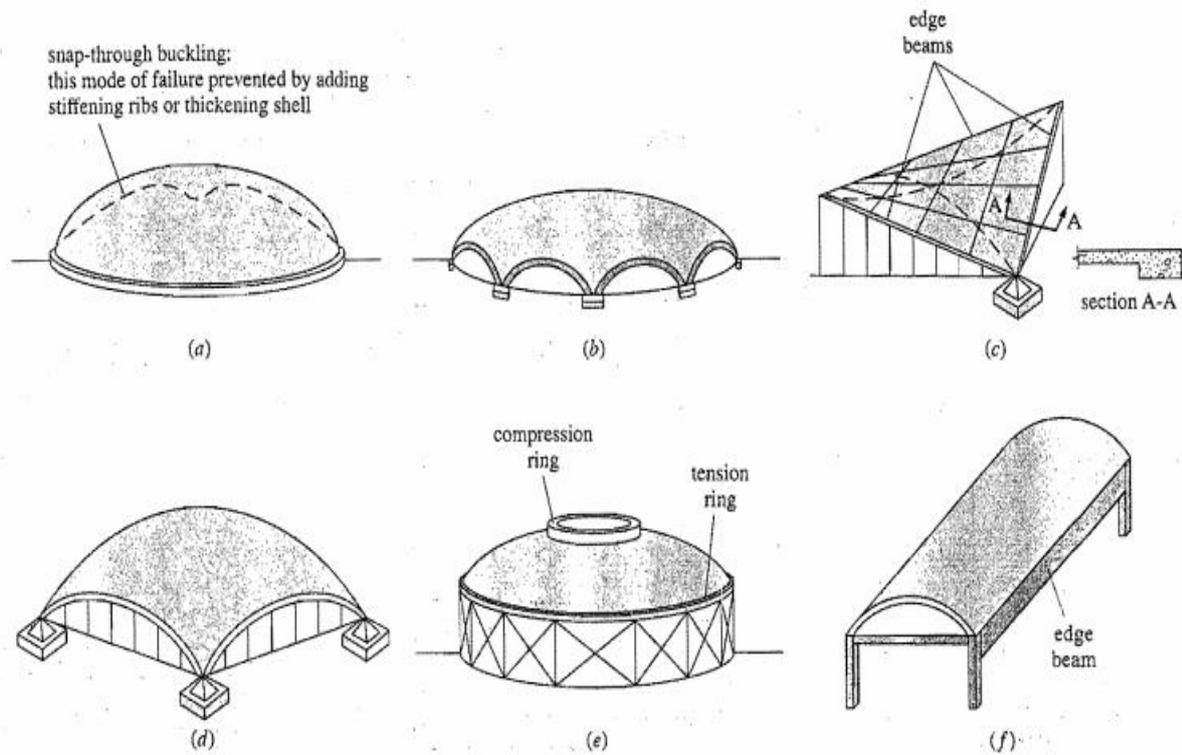


3.1.3 Fonctionnement des coques

Sous des charges uniformément réparties, les coques développent des contraintes de traction et de compression parallèles à la paroi et constantes sur son épaisseur (appelées contraintes membranaires) et leurs résultantes sur l'épaisseur sont appelées « efforts membranaires ». Ces efforts supportent efficacement la charge externe.



Si la coque a des bords qui peuvent équilibrer les contraintes membranaires en tous points (voir Fig. a et b), la majorité de la charge sera supportée par les contraintes de membrane. Mais si les limites de la coque ne peuvent pas fournir de réactions pour les contraintes membranaires (Fig. d), la région de la coque près des limites se déformera. Étant donné que ces déformations créent un cisaillement normal à la surface de la coque ainsi qu'aux moments, la coque doit être épaissie ou un élément de bord fourni. Dans la plupart des coques, le cisaillement et les moments limites chutent rapidement avec la distance du bord.



- (a)** Dôme sphérique avec un soutènement continu (anneau). Les conditions aux limites pour l'effet membranaire sont appliquées. Instabilité de forme 'Voilement instantané', ce mode de rupture a été évité en ajoutant des nervures de redressement ou coque épaisse.
- (b)** Dôme modifié avec des supports étroitement espacés. En raison des ouvertures, l'état de la membrane est un peu perturbé aux limites. La coque doit être épaissie ou des poutres de rive fournies aux ouvertures.
- (c)** Pour cette coque parabolôïde hyperbolique, des éléments de bord sont nécessaires pour fournir la réaction aux contraintes membranaires.
- (d)** Dôme avec des supports largement espacés. les efforts membranaires ne peuvent pas se développer aux frontières. Des poutres latérales et un renforcement de la coque sont nécessaires autour du périmètre.
- (e)** Dôme avec un anneau de compression en haut et un anneau de tension en bas. Ces anneaux fournissent des réactions aux contraintes membranaires. Les colonnes doivent supporter uniquement une charge verticale.

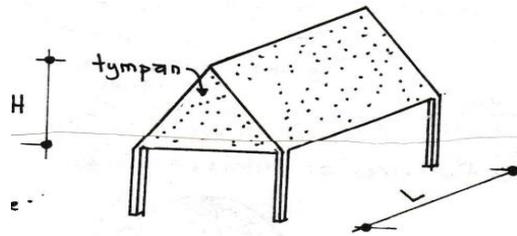
3.3 Les voiles plissés

Ce sont des voiles polygonaux constitués d'un ensemble de plaques rectangulaires accolées coupant suivant des droites parallèles formant les arrêtes de la structures des voiles raidisseurs

(tympan) transversaux, ajoutés généralement au droit des appuis afin de transmettre les réactions aux différentes plaques.

En pratique, les dimensions adoptées sont comme suit :

- La portée maximale L des voiles plissés en béton armé est de $50m$ environ pour une travée ;
- La hauteur $H \approx \frac{1}{10} \cdot L$



Les voiles plissés sont employés comme structures, mais leur application comme plancher peut devenir intéressante lorsque les hauteurs sont susceptibles d'être utilisées pour les installations mécaniques. Ils peuvent être employés comme murs verticaux.

