

Procédé d'Enroulement Filamentaire modélisation et applications

Etude et dimensionnement de réservoirs de
stockage hydrogène avec prise en compte des
variabilités physiques et géométriques

Jean-Christophe WAHL

Maître de Conférences, IUT - Université de Bordeaux

Jean-christophe.wahl@u-bordeaux.fr

PLAN

❖ Généralités sur les réservoirs en matériaux composites

Diapos jointes

Variabilité dans les réservoirs (Th. A Pilato 2011- et M. El Moussaid 2016)

❖ Description des propriétés physiques

- Analyse de l'existence des porosités
- Variation de la fraction volumique de fibres
- Évolution des angles d'enroulement dans le fond
- Évolution des épaisseurs des couches le long des fond

❖ Détermination des propriétés mécaniques élastiques locales

- Procédure de calculs éléments finis : double homogénéisation
- Choix des volumes élémentaires représentatifs (VER)
- Définition des conditions aux limites
- Résultats

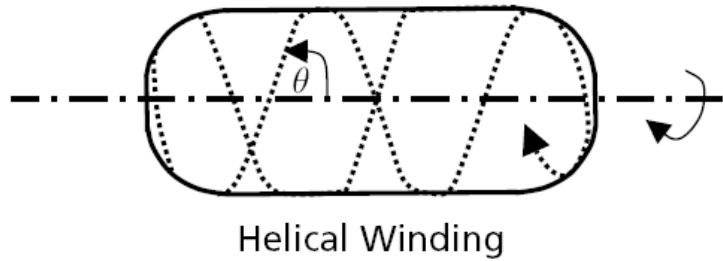
Diapos non
fournies (se
référer à la
bibliographie)

❖ Modélisation des réservoirs et simulation du comportement mécanique

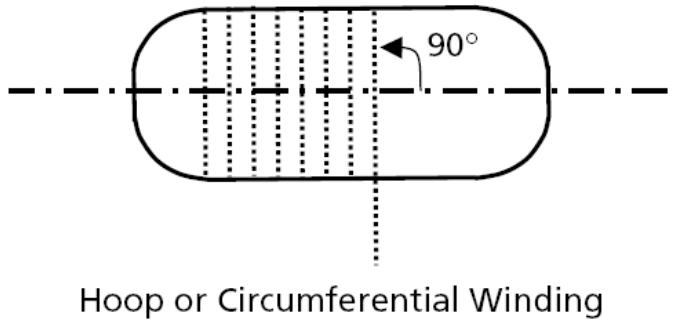
- Modèle de structuration : construction de la géométrie des fonds des réservoirs
- Modèle d'analyse par méthode éléments finis des réservoirs bobinés

Généralités

Enroulement filamentaire sur des réservoirs: 2 types de couches



Helical angle chosen to make geodesic winding



Reinforcement of cylindrical part

Typologie des réservoirs

Métallique → Type I

Métallique avec un renforcement
circonférentiel en composites → Type II

Composites avec liner métallique → Type III

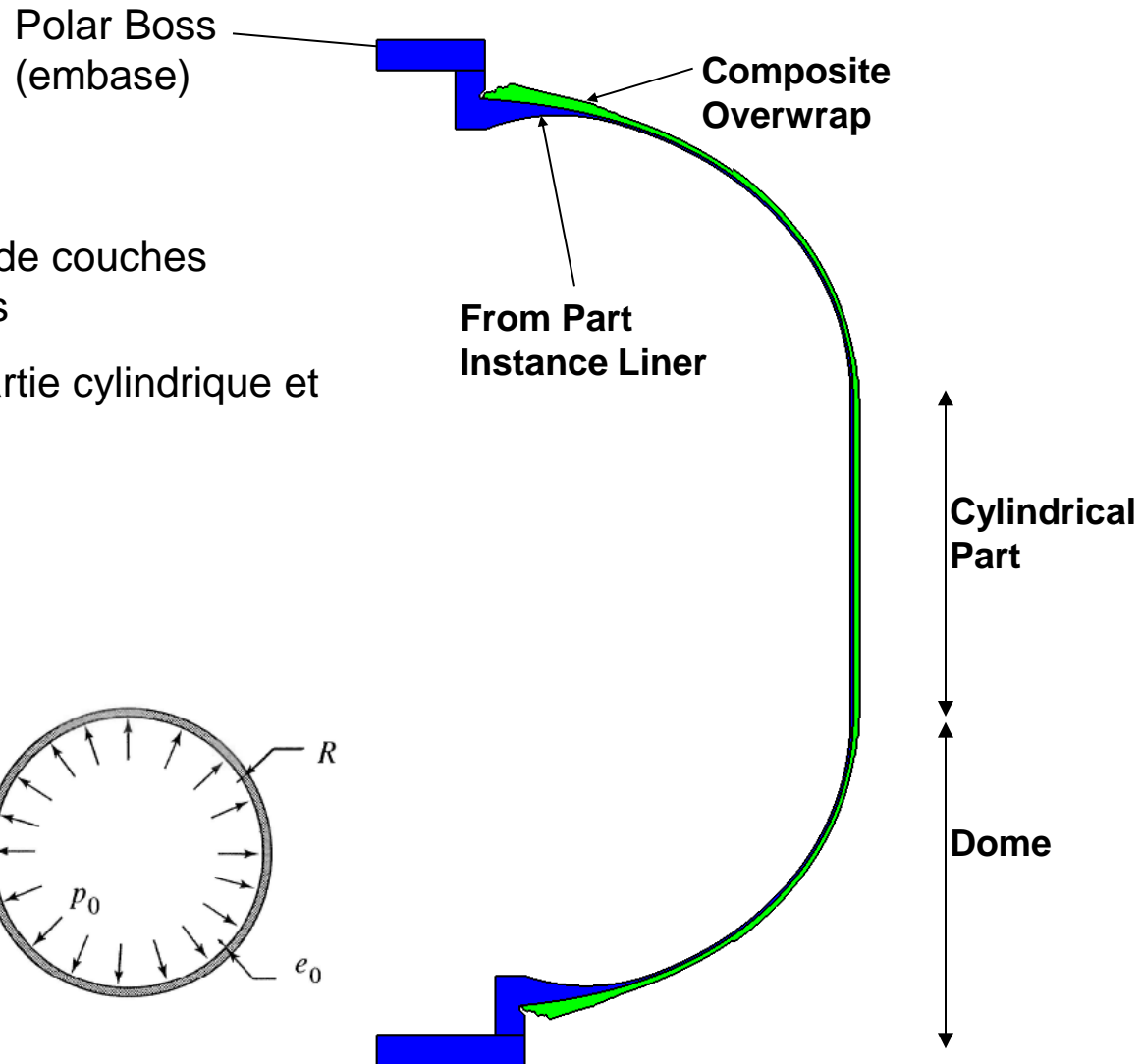
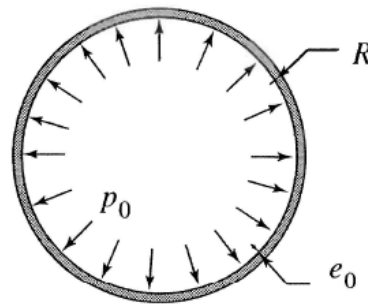
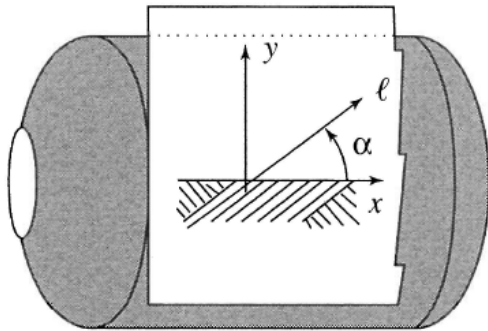
Composites avec liner polymère → Type IV

Composites sans liner → Type V

Généralités

Géométrie courante (Types III et IV)

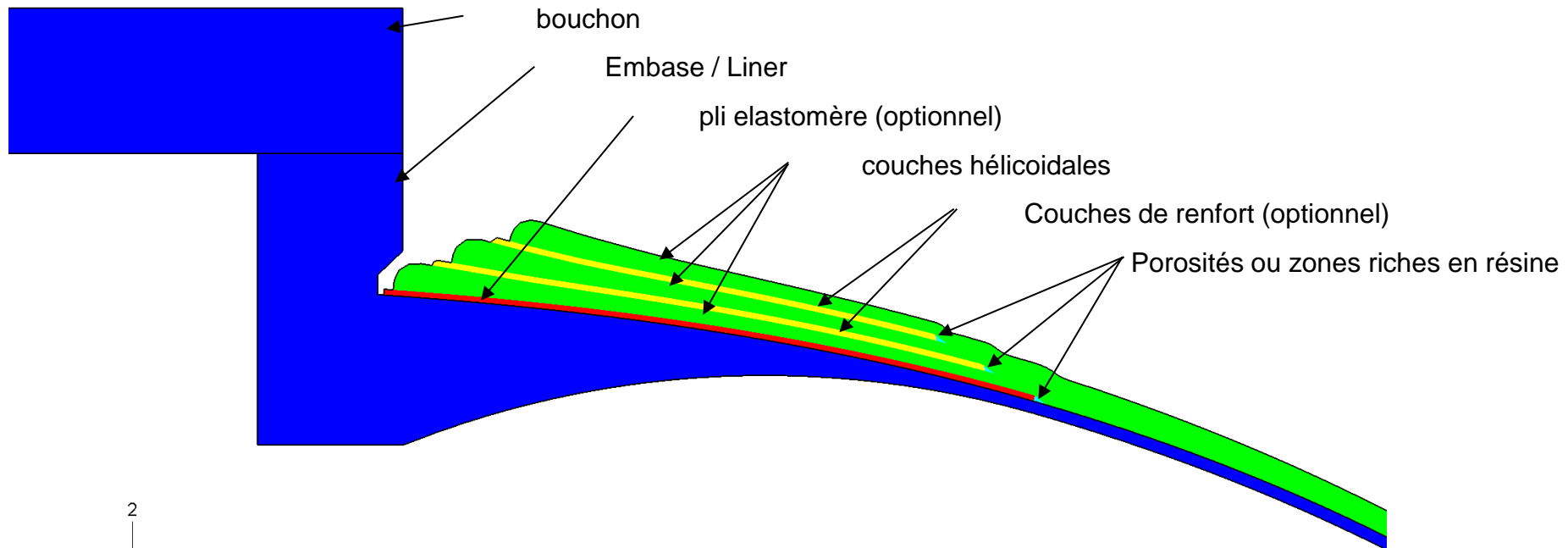
- Liner assurant l'étanchéité
- Couches composites : Addition de couches hélicoidales et circonférentielles
- Epaisseur constante dans la partie cylindrique et variable dans les fonds



Zones proches des ouvertures (fonds)

→Variation importante de l'épaisseur de composite

→Presence de porosités ou de zones riches en résine à chaque fin de couche

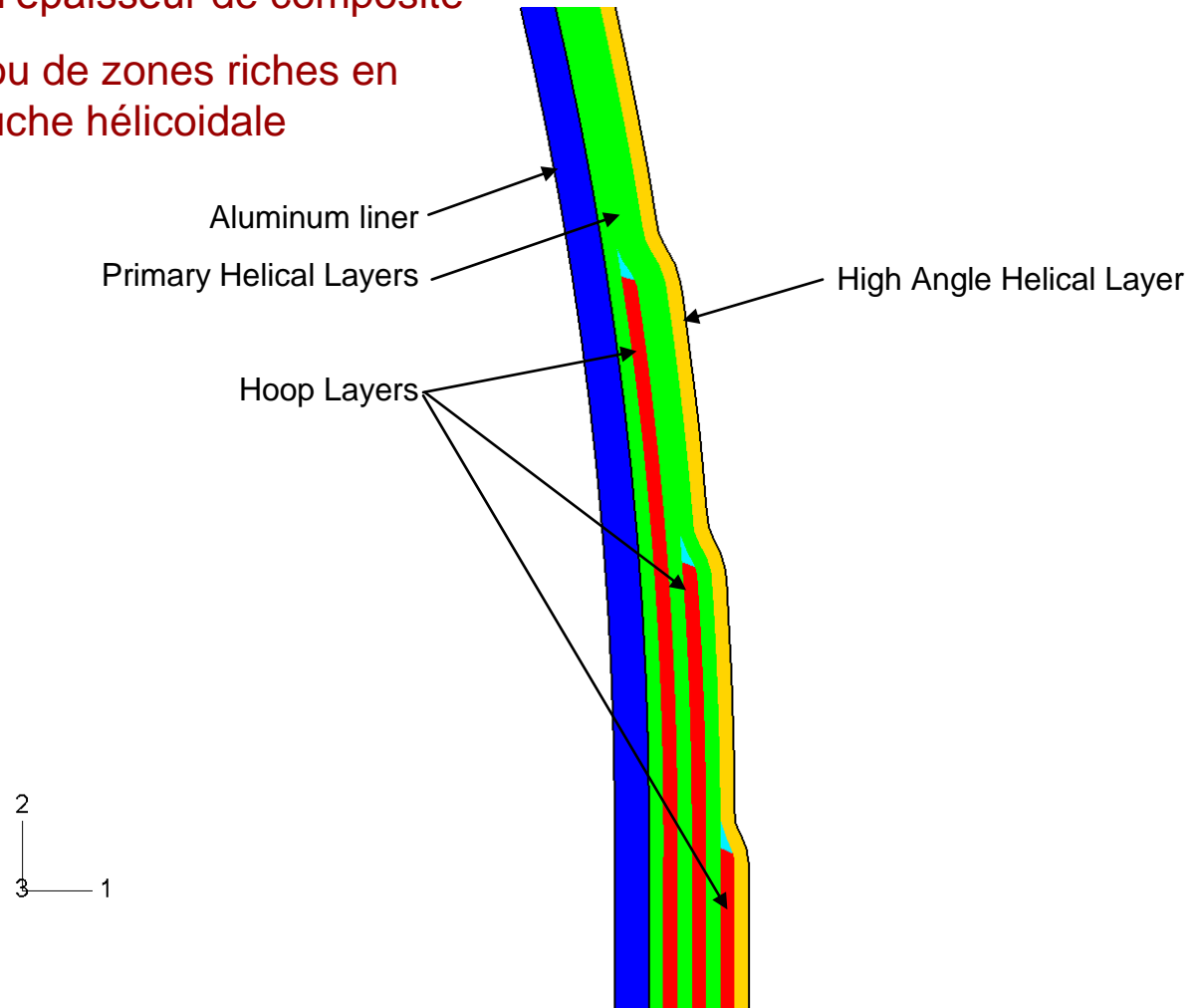


2
3 — 1

Zone de transition partie cylindrique / fonds

→Variation importante de l'épaisseur de composite

→Presence de porosités ou de zones riches en résine à chaque fin de couche hélicoidale



Généralités

Orientation de la fibre θ /axe du reservoir
relation de Clairaut

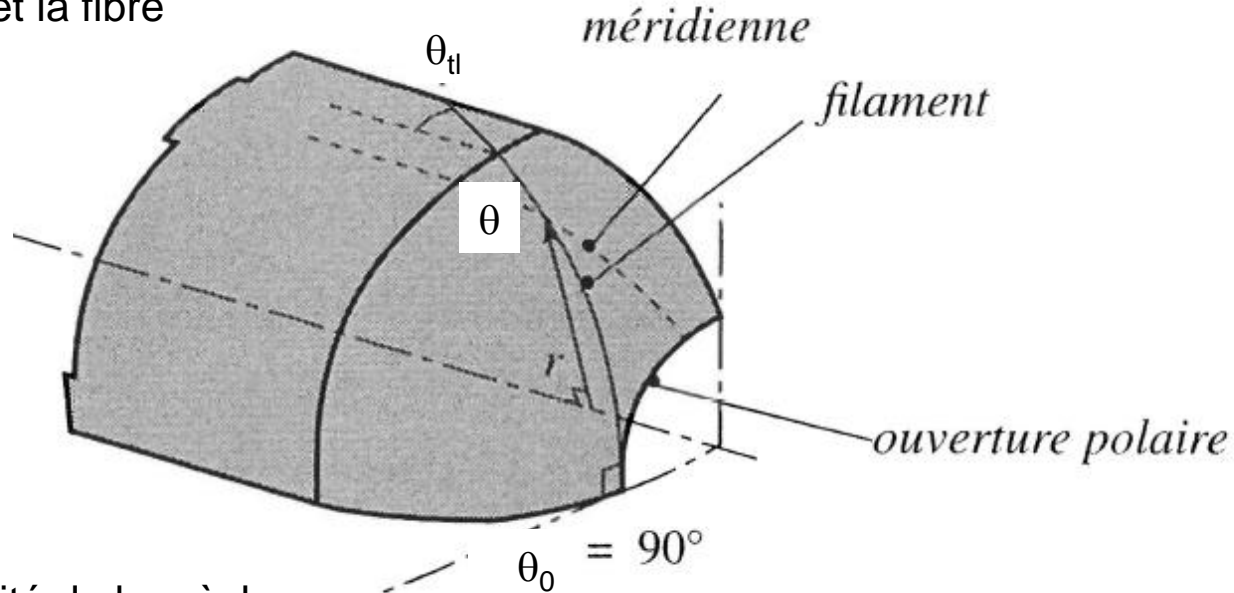
$$r \times \sin \theta = cst$$

Hypothèses:

- * Pas d'adhérence entre le liner et la fibre
- * Trajectoire geodésique

Par exemple:

$$r \times \sin \theta = r_{tl} \times \sin \theta_{tl} = r_0 \times \sin \theta_0$$



A partir de la condition de continuité de la mèche,
l'épaisseur en chaque point est donnée par:

$$t_r \times r \times \cos \theta = t_{tl} \times r_{tl} \times \cos \theta_{tl} = t_0 \times r_0 \times \cos \theta_0$$



$$t_r = \frac{t_{tl} \times r_{tl} \times \cos \theta_{tl}}{r \times \cos \theta}$$

Généralités

Avec prise en compte du frottement :

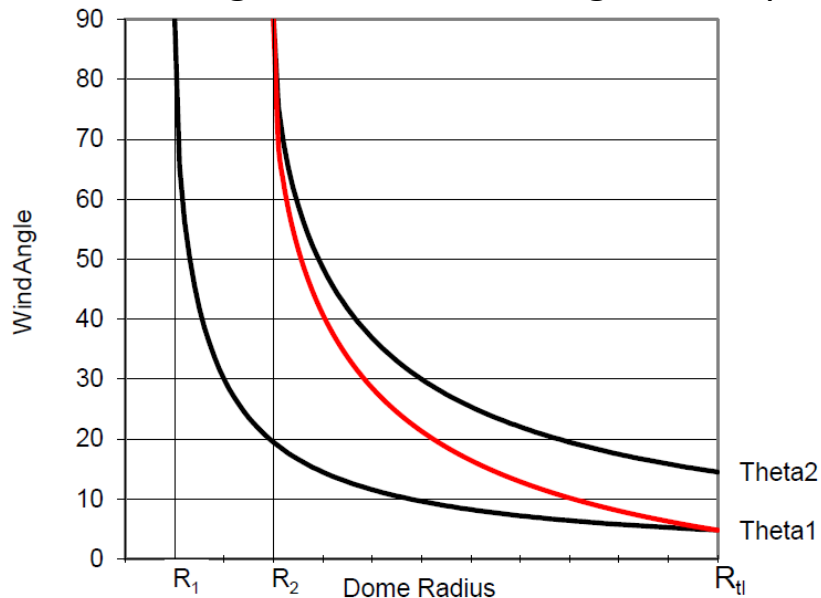
$$\theta(R) = \sin^{-1} \left(\frac{R_0}{R} \right) \pm \delta \left(\frac{R - R_0}{R_{tl} - R_0} \right)^n$$

R_{tl} = Rayon en partie cylindrique

R_0 = Rayon à l'ouverture

δ = déviation de l'angle de bobinage par rapport à la trajectoire géodésique

Influence du glissement sur l'angle de dépose



Ordre de grandeur : $\delta < 7^\circ$ en voie humide et $< 10^\circ$ en preg

→ Film transition

Bibliographie / Communications

- « Matériaux Composites » Daniel GAY, édition HERMES
- Wound Composite Modeler for ABAQUS – User Manual
- Claude BATHIAS : Matériaux Composites, Ed DUNOD, 2005, ISBN:2 10 006398 7
- Manufacturing Technology for Aerospace Structural Materials - F.C. Campbell 2006 Elsevier
- CADWIND, site web consulté le 15 janvier 2017 <https://www.material.be/cadwind/index.html>

- El Moussaid, M., 2016. Analyse et intégration des spécificités liées au procédé de fabrication dans les modèles de calcul des structures composites application à la simulation du comportement mécanique des fonds des réservoirs bobinés (Thèse de doctorat). Université Bordeaux.
- El Moussaid, M., Perry, N., Wahl, J.-C., Bois, C., 2013. Modèle de comportement des structures bobinées : étude des fonds. 21ème Congrès Français de Mécanique, Bordeaux, France.
- El Moussaid, M., Wahl, J.-C., Perry, N., 2015. Development of structuring model of wound composite vessel dome. ICCM20: 20th international conference on composite materials, Copenhagen, Denmark.
- El Moussaid, M., Wahl, J.C., Perry, N., Bois, C., 2014. Development of a micromechanical model in interaction with parameters related to the microstructure of carbon/epoxy composites. 16th European Conference on Composite Materials, ECCM 2014.
- Perry, N., Wahl, J.C., Bois, C., Pilato, A., Bernard, A., 2013. Thick composite design for hydrogen vessels: A contribution to composite design method. CIRP Ann. - Manuf. Technol. 62, 139–142. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2013.03.108>
- Pilato, A., 9. Caractérisation des structures composites bobinées épaisses, application à l'étude du comportement de réservoirs de stockage d'hydrogène (Thèse de doctorat). Université Bordeaux 1.
- Pilato, A., Perry, N., Wahl, J.-C., Bois, C., 2009. Modèle de calcul analytique sur des réservoirs composite multicouche épais soumis à une pression interne et à des contraintes thermiques résiduelles. JNC16, 16ème Journées Nationales des Composites, Toulouse, France.
- Wahl, J.-C., Bois, C., Pilato, A., Perry, N., Lorriot, T., 2013. Caractérisation des propriétés mécaniques des matériaux composites pour le dimensionnement de structures bobinées, in: JNC18, 18èmes Journées Nationales Sur Les Composites. Nantes, France.