

La méthode ASTEE 3R, une approche pragmatique et
sécuritaire du dimensionnement des liners
Prépondérance de la nappe et influence des défauts de
forme et structurels

Jean-Marie Joussin - FSTT

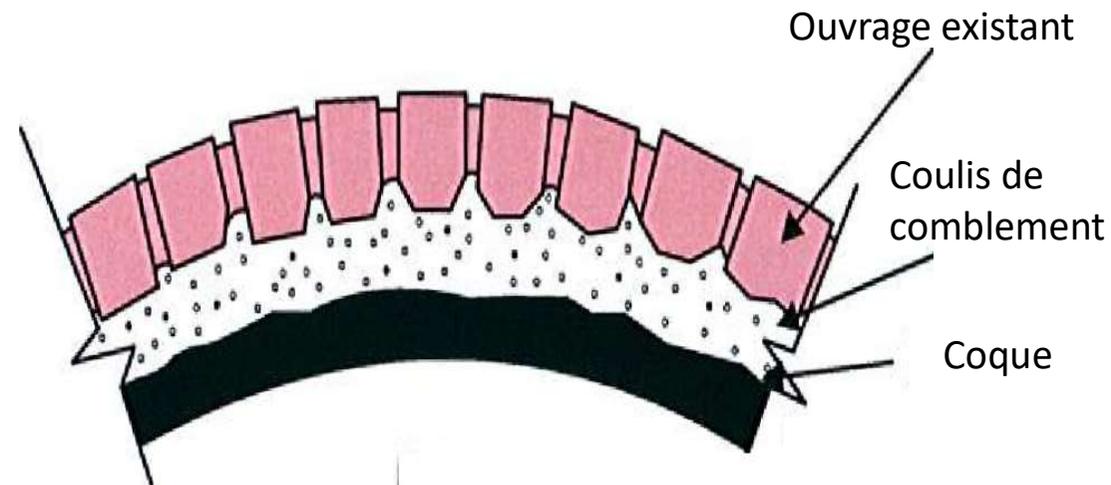
Olivier Thépot - Eau de Paris

Jean-Michel Bergue - FSTT

Les 2 types de liners les plus courants

Coques préfabriquées en PRV:

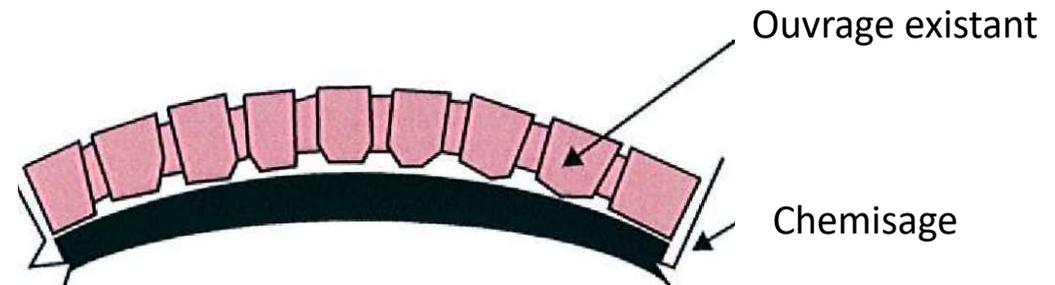
- Dimensions 600 à 4000 mm
- Formes sur demande:
Circulaires, ovoïdes, dalots,...
- Section établie après contrôle dimensionnel de l'ouvrage (laser, gabarit)
- Epaisseurs courantes: 12 à 65 mm
- Modules LT (wet): 4000 à 6000 Mpa



Les 2 types de liners les plus courants

Chemisages (« close fit »):

- Feutres ou fibres de verre
 - Curing: vapeur, eau, UV
 - Dimensions 150 à 1600 mm (UV) /3000 mm (feutre)
 - Formes courantes: circulaires, ovoïdes, dalots,...
 - Epouse la forme interne de l'ouvrage en place
 - Epaisseurs courantes: 2 à 30 mm (maxi 18 mm UV)
- Modules LT (wet): 500 à 6500 Mpa



Comment se comportent réellement les liners?

Idées fausses à propos des liners et de leur capacité à reprendre les charges:

- Les liners reprennent systématiquement **toutes les charges de terres...**
- Les charges du **trafic routier** sont “transférées” au liner via le sol...
- Dans le cas d'ouvrages en place “**totalelement détruits**” la totalité des charges (trafic, terres et nappe) est « transférée » au liner sous forme d'etreinte qui est soumis alors au risque de “flambement”...

Comment se comportent réellement les liners?

La vérité sur le comportement des liners :

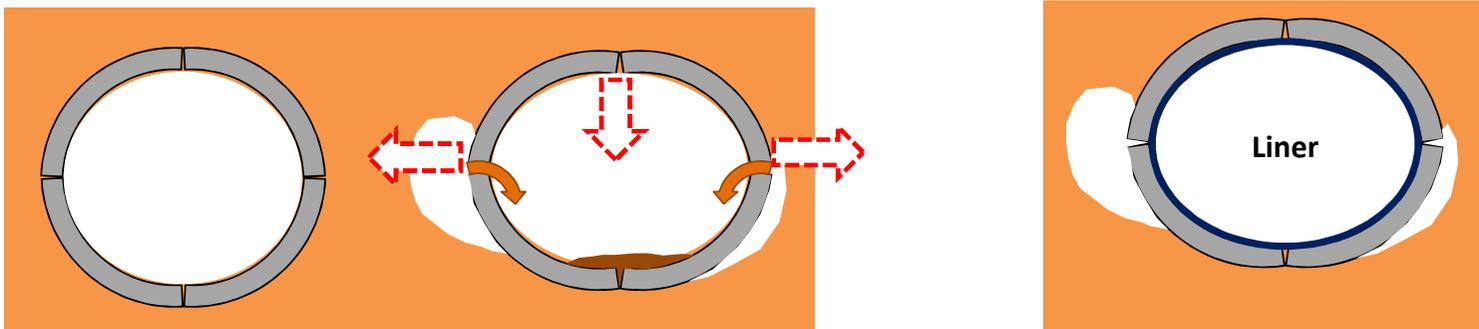
- **Sauf exception (coques épaisses par ex) la rigidité des liners est faible** comparée aux tuyaux rigides ou même plastiques (SN46 ou 72 psi).
- La rigidité des liners (**sauf coques épaisses**) est **très inférieure** à la raideur des **sols courants**.
- Les **sollicitations dues au trafic et aux terres** transmises au travers du sol et de l'ouvrage en place dégradé sont en général des **déplacements imposés** pas des forces ou pression imposées.
- Le liner, **sauf coques épaisses**, doit s'accomoder de **déplacements imposés**, pas "résister" aux charges à proprement parler.

Comment se comportent réellement les liners?

La vérité sur le comportement des liners :

- Les déformations du sol dues aux charges roulantes sont très faibles. Heureusement pour les chaussées! D'où en pratique aucun effet sur les liners.
- Les déformations sont avant tout liées à l'altération des sols due à la circulation d'eau favorisées par les défauts structurels ou fonctionnels de l'ouvrage. Le liner par nature stoppe les entrées ou pertes d'eau donc contribue à stabiliser par là l'ouvrage...

...mais attention aux vides dans le sol qui affectent sa portance et aux déformations différées!



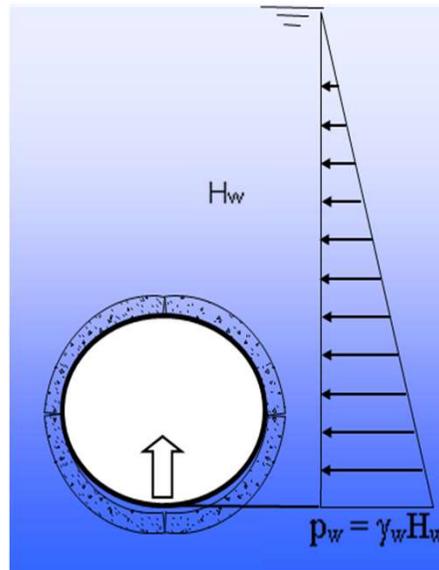
Comment se comportent réellement les liners?

La bonne approche en matière de design:

- C'est la **nappe** qui agit principalement directement sur le liner.
- La nappe exerce une pression imposée constante \Rightarrow sous l'effet du fluage la déformation du liner peut augmenter avec le temps.
- La pression de la nappe peut entraîner des **déformations inacceptables ou surtout une rupture par flambement.**
- **L'effet de la nappe peut être augmenté de façon dramatique par les imperfections, défauts de forme et structurels de l'ouvrage.**
- Les déformations différées de l'ouvrage en place diminueront aussi la résistance à la nappe du liner.

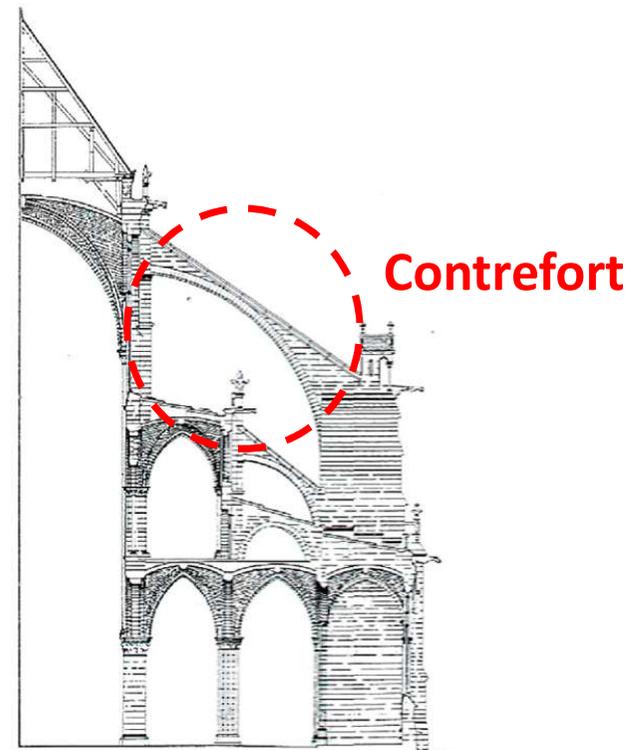
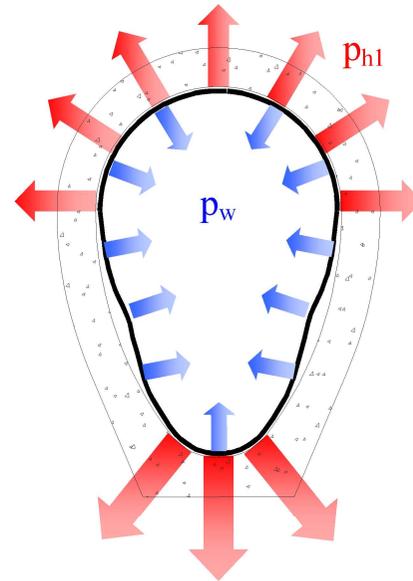
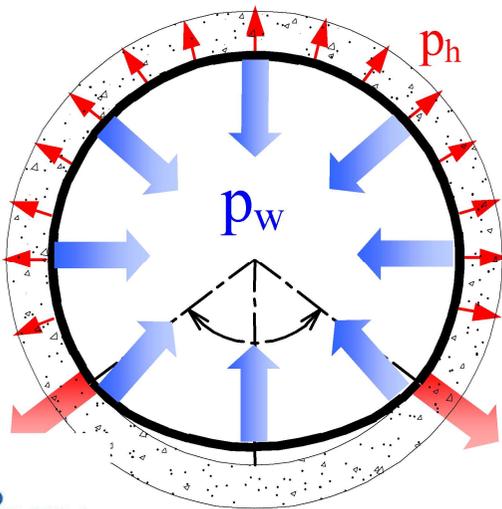
Comment se comportent réellement les liners?

Les liners doivent être conçus et calculés pour résister avant tout au risque de flambement lié à la nappe phréatique en prenant en considération l'exacte géométrie de l'ouvrage en place (close fit) ou du liner seul (coque), les défauts de forme ou structurels de l'ouvrage et les déformations présentes et différées du liner.



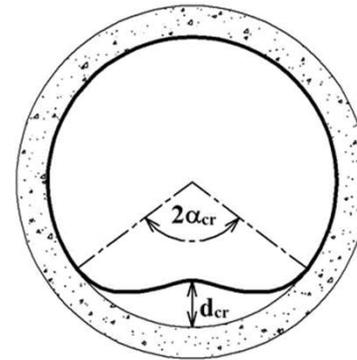
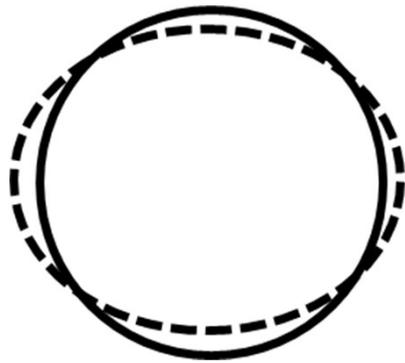
Resistance à la nappe phréatique

- Résistance du liner à la pression de la nappe dépend du soutien apporté par l'ouvrage en place et le sol environnant.



Resistance à la nappe phréatique

- La pression de flambement d'un tube libre est **typiquement 10 à 20 fois plus faible** que celle du même tube "encoffré".



⇒ Un liner mince libre (mal ou non "encoffré") a une moindre résistance à la pression de la nappe.

Imperfections

- Une imperfection est un écart par rapport au “profil idéalisé” (par exemple cercle, ovoïde théorique).
- Peut être due aux défauts de l’ouvrage en place (close fit) ou l’installation (close fit et coques).
- On en distingue 2 types: imperfection globale ou locale.
 - Globale: distribuée sur tout le périmètre comme le vide annulaire résiduel, l’ovalisation ou aplatissement des flancs (ovoïde).
 - Locale: daffectant le liner sur un secteur angulaire comme un aplatissement local ou une intrusion.



Annular gap.



Flattening.



Intrusion.



Ovality (4-hinge).

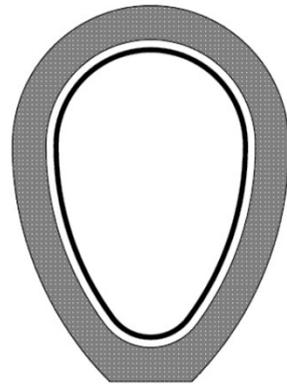


Ovality (elliptical).

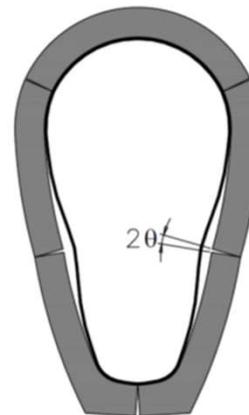
Imperfections

- Incidence des imperfections locales sur le comportement du liner de type "close-fit" (**le liner avec injection de coulis est censé remplir les fissures**) dépendent de leur position, contrairement aux imperfections globales.

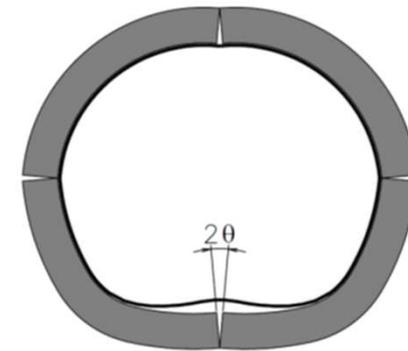
⇒ Les fissures ouvertes là même où se développe un lobe de pression auront un effet maximum!



Vide annulaire résiduel



Fissures articulées actives



Comment se comportent réellement les liners?

L'approche analytique 3R-2014 en matière de design:

Domaine: coque et chemisage – **Validité:** ovalisation < 15% (en pratique < 10%)

Pour un ovoïde 3 x 2 de hauteur H et épaisseur t :

$$p_{cr} = 0,407 \cdot \kappa_{défauts} \cdot \frac{E_{50,w}}{1 - \nu^2} \cdot \left(\frac{t}{H}\right)^{2,2}$$

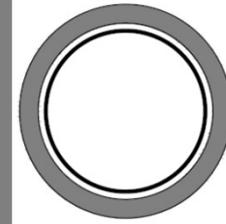
Pour un tuyau circulaire de rayon R et épaisseur t :

$$p_{cr} = 1,0 \cdot \kappa_{défauts} \cdot \frac{E_{50,w}}{1 - \nu^2} \cdot \left(\frac{t}{2 \cdot R}\right)^{2,2}$$

$\kappa_{défauts}$ = coefficient minorateur global de la pression critique vis-à-vis de la nappe

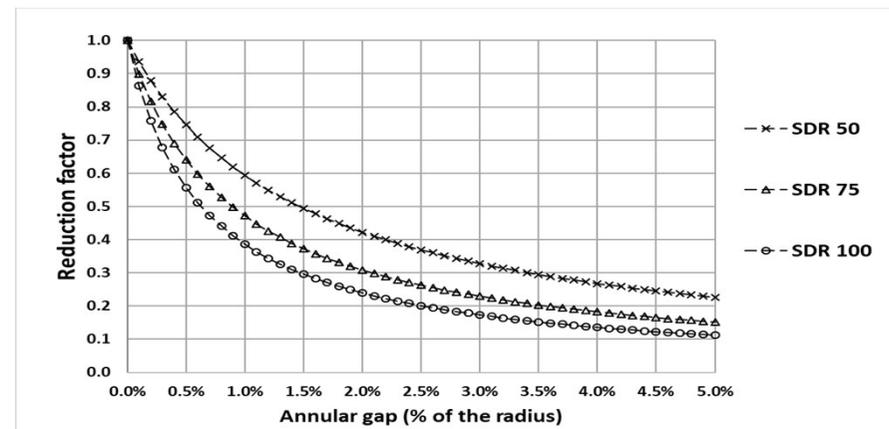
($\kappa_{défauts} = \kappa_{défauts \text{ de forme}} \times \kappa_{défauts \text{ structurels}}$)

Vide annulaire résiduel gap « g »



- Les **liners de type coque** sont par nature en contact parfait avec l'ouvrage via le coulis soit **$g=0$**
- Les **liners "close-fit"** sont conçus pour être plaqués sur la paroi intérieure de l'ouvrage en place avec une tolérance de placage le " **g_{adm}** ": pour un close-fit **$g = 0.5$ à 1%** du rayon moyen
- En cas de gap attendu ou mesuré après-coup supérieur on fera le calcul avec le **gap estimé**. Le gap peut évoluer défavorablement si dégradation différée de l'ouvrage!
- **Le gap affecte la résistance à la nappe phréatique de façon significative!**

"gap"

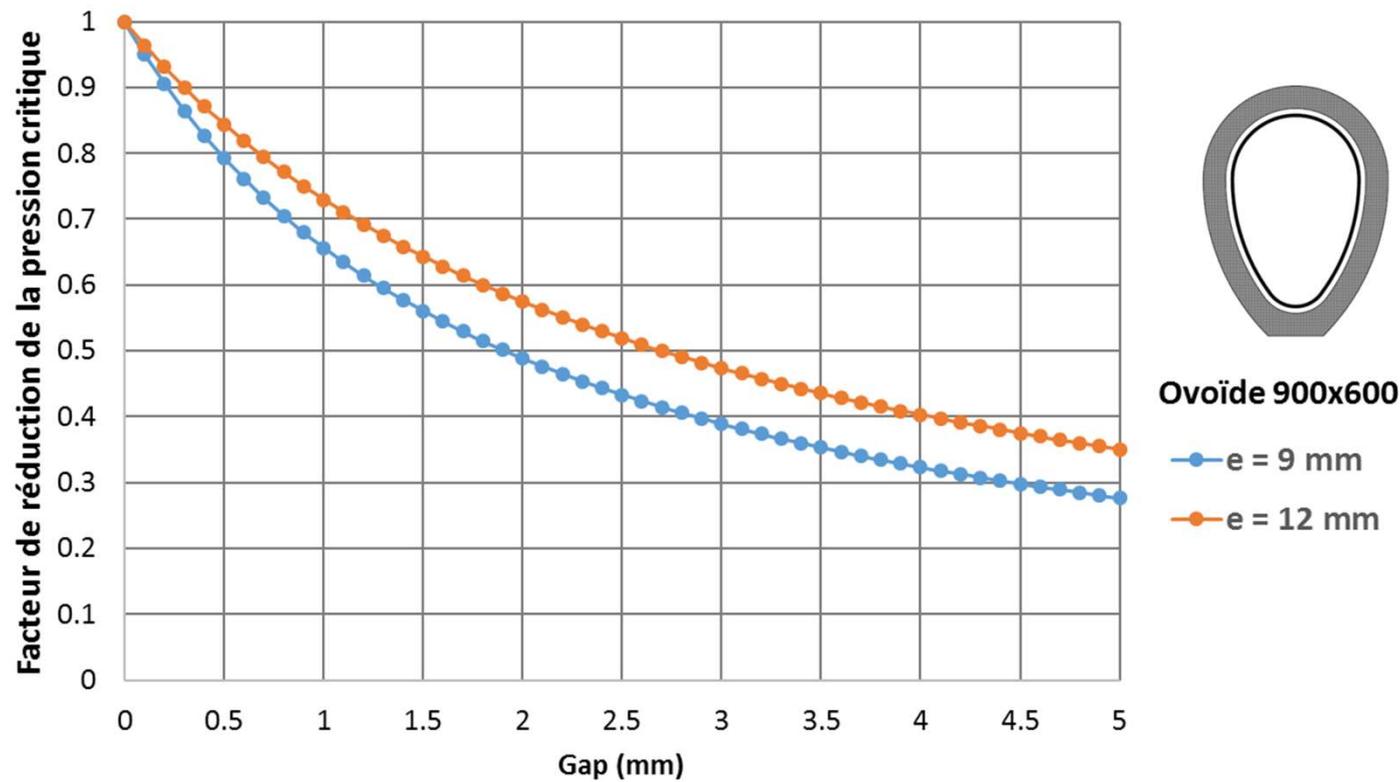
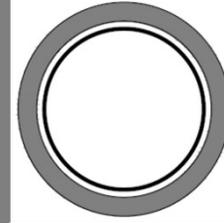


Diapositive 14

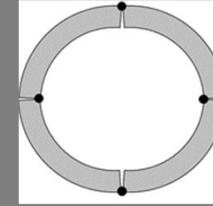
jmJ3

jean marie Joussin; 05/11/2019

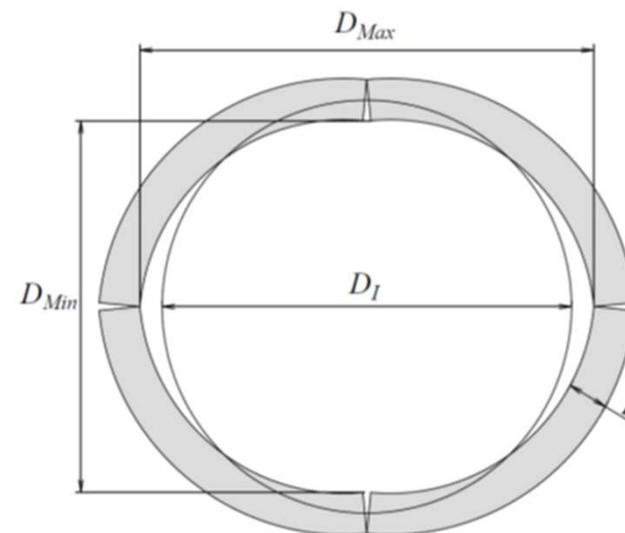
Vide annulaire résiduel « g »



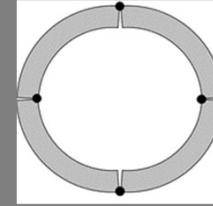
Fissuration formant 4 articulations



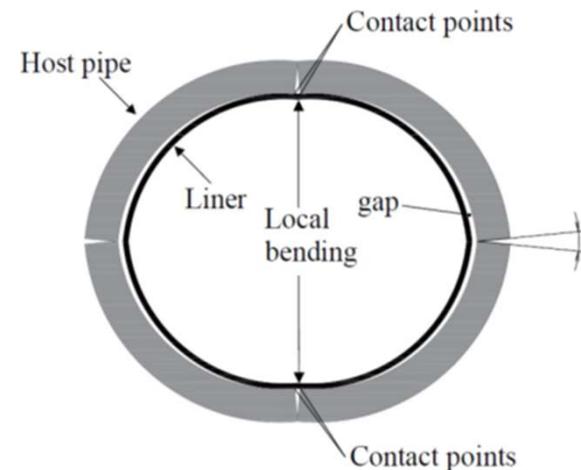
- Mode de rupture typique de tuyaux à comportement fragile (béton armé ou non, grès, maçonneries) et soumis à des surcharges de terres et roulantes.
- Ceci se traduit par une ovalisation non elliptique.



Fissuration formant 4 articulations



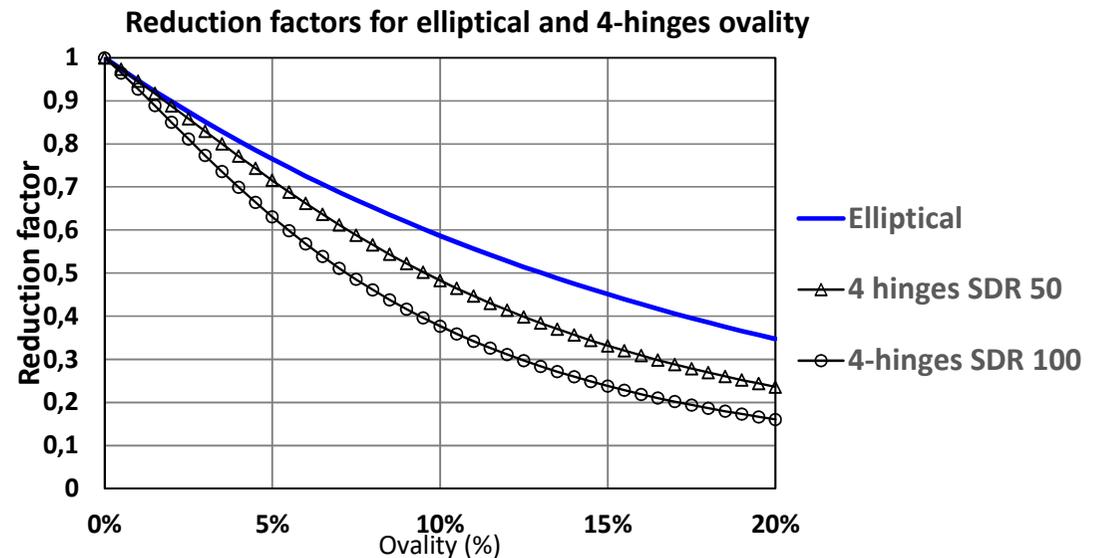
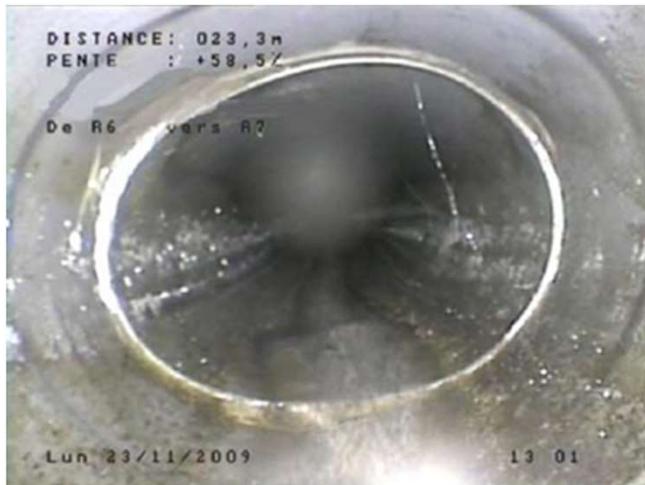
- Les fissures peuvent évoluer après lining \Rightarrow **déformations différées**
- Les déformations différées peuvent entraîner 3 effets pour le liner de type close-fit (Law and I.D. Moore) :
 1. Concentration de contraintes au droit des fissures (d'autant plus gênante que le liner est épais)
 2. Gap annulaire augmenté \Rightarrow **affecte la résistance à la nappe du liner**
 3. Augmentation de l'ovalisation \Rightarrow **affecte la résistance à la nappe du liner**
- L'ovalisation différée peut être estimée ou calculée.



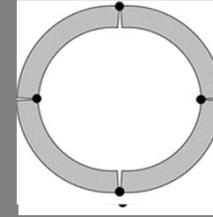
Ovalisation elliptique



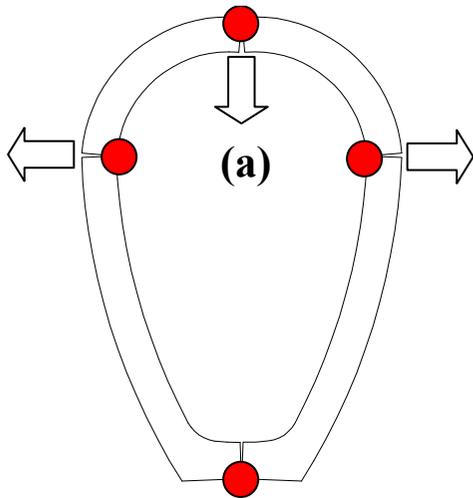
- L'ovalisation elliptique concerne les tubes flexibles
- Ovalisation elliptique \neq ovalisation conduite avec fissures avec 4 articulations
- La méthode ASTEE 3R distingue bien les 2 types de déformation de section et permet un calcul pour chacune.



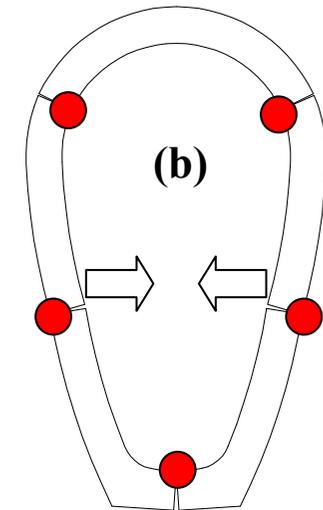
Fissuration formant 4 articulations



- La notion d'ovalisation ne s'applique pas à des ouvrages non circulaires de type ovoïde.
- La déformation se traduit par des **mouvements de rotations** au niveau des fissures articulées (**fissures actives**).
- Ceci entraîne une augmentation du gap ou une variation des rayons de courbure des flancs ce qui influence de façon négative la résistance à la nappe du liner.

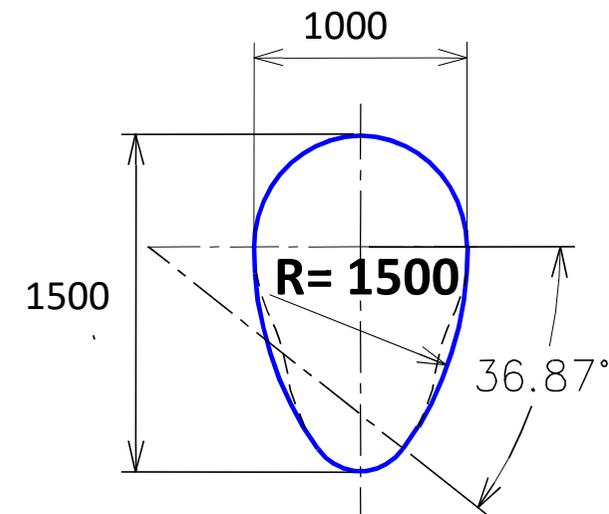
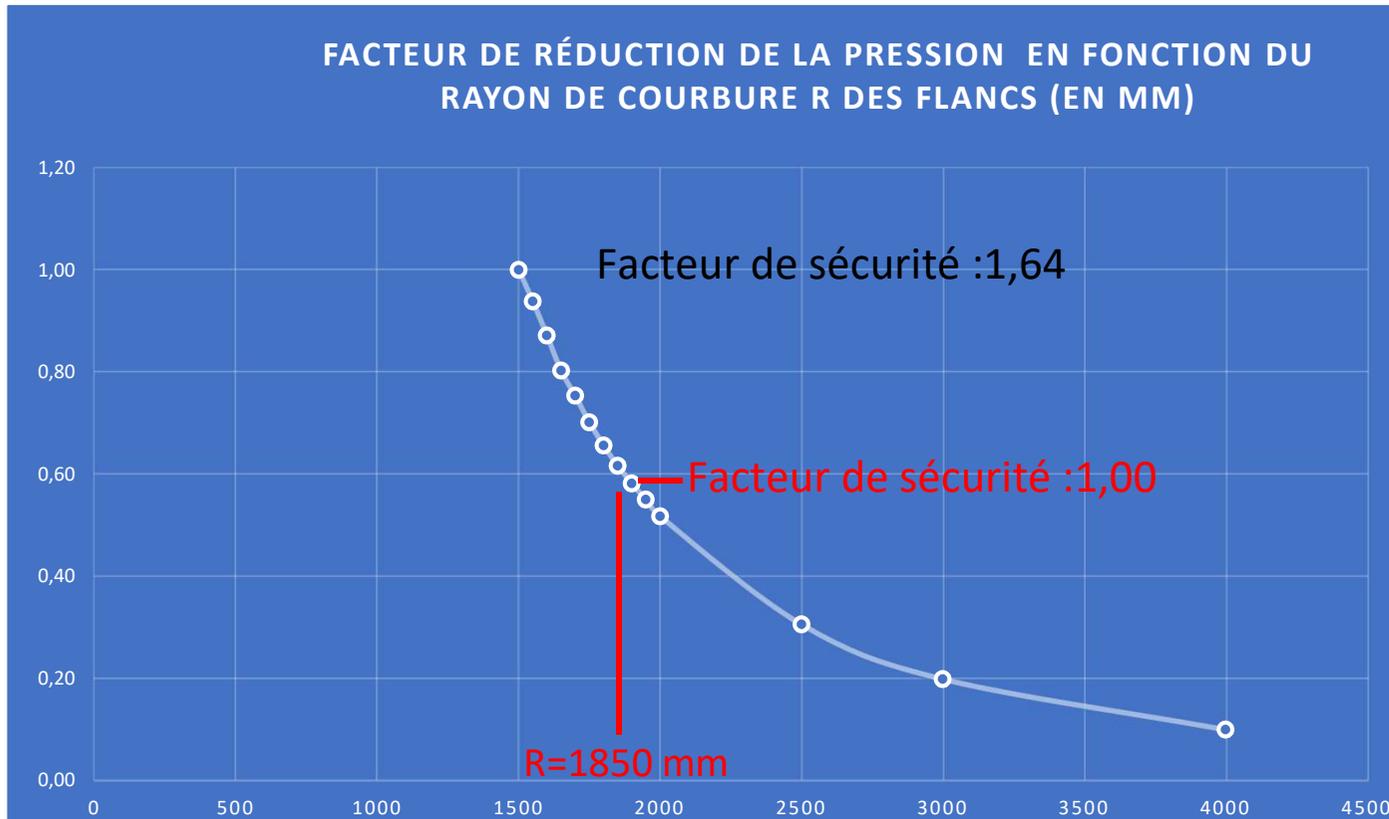


Insuffisance d'appui latéral
⇒ Augmentation du gap
résiduel



Excès de poussée latérale
⇒ Augmentation des rayons de
courbure des flancs

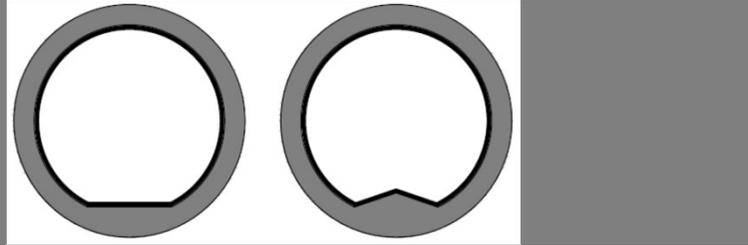
Influence rayons de courbure des flancs



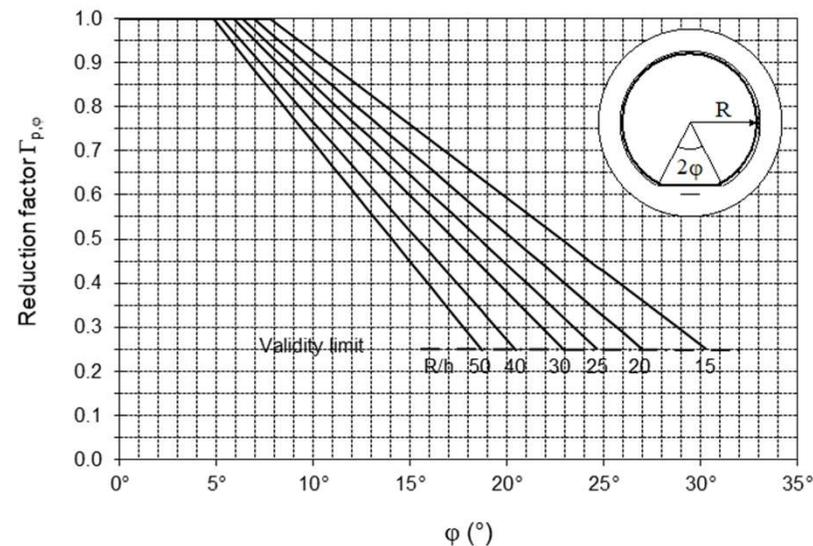
Chemisage UV
Ect/lit 14000/6000 Mpa
Epaisseur 18 mm
Profondeur FE: 3,5 m
Nappe: TN – 2,0 m

Il est donc essentiel de bien évaluer les rayons de courbure des flancs des ovoïdes!

Méplats et intrusions



- La méthode ASTEE 3R prend en compte ces défauts locaux.
- On doit les considérer quand on ne peut pas y remédier avant pose du liner.
- Exemple: méplat du à un dépôt solide de béton



Conclusions

- La technique de rehabilitation par liners est sans aucun doute une des plus séduisantes mais elle doit être appliquée à bon escient!
- Doivent être pris en compte l'effet de la nappe et les conséquences des défauts, y compris différés, affectant l'ouvrage en place et le liner. **Ceci est couvert par la méthode 3R.**
- La méthode 3R sera la base de la contribution française aux travaux du CEN.
- L'ASCE - Pipeline Division a repris la méthode ASTEE 3R pour son nouveau manuel "**Design of close-fit liners for gravity pipe applications**" qui sera publié début 2020!