WEST ATLANTIC MARINE ENERGY CENTER
Research, Education & Innovation in PAYS de la LOIRE

Projet OMCEND

Ondes Mécaniques dans les Câbles pour leur Évaluation Non Destructive: approche numérique et expérimentale

Durée : 36 mois

Consortium : IFSTTAR (GERS/GeoEND), ECN (GeM/MS)

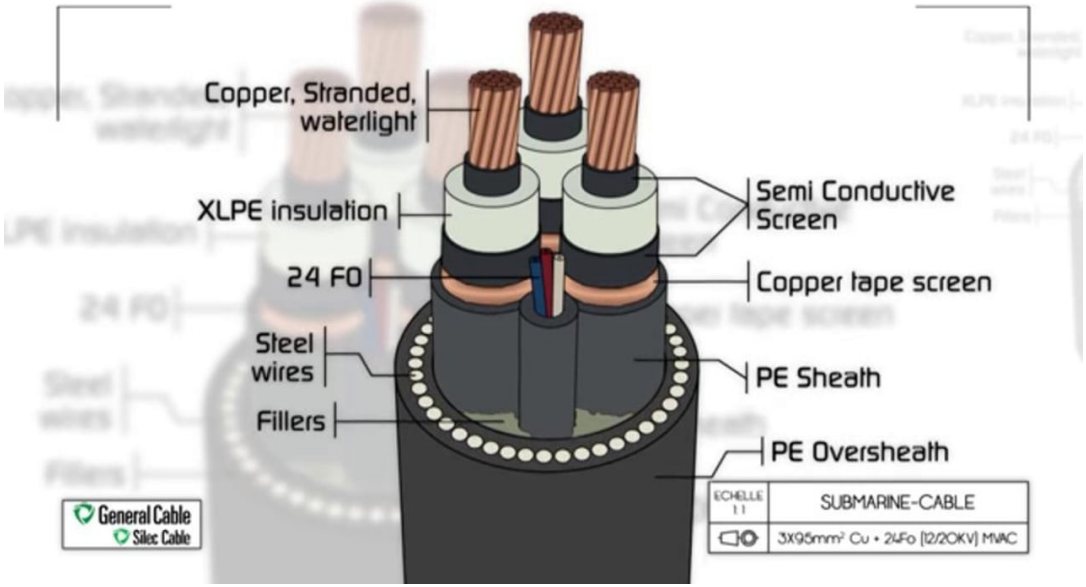
Objectif : évaluer la faisabilité des ondes guidées pour le SHM/END des câbles de transport d'électricité de l'éolien flottant

CE PROJET EST COFINANCÉ PAR
LE FONDS EUROPÉEN DE DÉVELOPPEMENT RÉGIONAL

WEST ATLANTIC MARINE ENERGY CENTER
Research, Education & Innovation in PAYS de la LOIRE

OMCEND

Contexte et besoins : détection d'endommagements dans l'armure (~plastification des brins acier), pour anticiper la détérioration de la partie interne du câble (conducteurs)



Applications visées : développement de méthodes END/SHM robustes et faible coût

Fabien TREYSSÈDE

CENTRALE NANTES · UNIVERSITÉ DE NANTES · IRT JULES VERNE · EMC2 · UNION EUROPÉENNE · Région PAYS de la LOIRE · Nantes Métropole · CARENE Saint-Nazaire agglomération

CE PROJET EST COFINANCÉ PAR LE FONDS EUROPÉEN DE DÉVELOPPEMENT RÉGIONAL

OMCEND

Pourquoi utiliser les ondes guidées ?

- Propagation sur de longues distances → moins de capteurs
- Sensibilité à des défauts de taille petite → diagnostic précoce

Mais… un phénomène physique complexe :

- Ondes guidées = ondes multimodales, dispersives
- Modèles de propagation : indispensables à une mise en œuvre END
- Hautes fréquences : recours à des simulations 3D rédhibitoire

CENTRALE NANTES · UNIVERSITÉ DE NANTES · IRT JULES VERNE · EMC2 · UNION EUROPÉENNE · Région PAYS de la LOIRE · Nantes Métropole · CARENE Saint-Nazaire agglomération
CE PROJET EST COFINANCÉ PAR LE FONDS EUROPÉEN DE DÉVELOPPEMENT RÉGIONAL

WEST ATLANTIC MARINE ENERGY CENTER
Research, Education & Innovation in PAYS de la LOIRE

OMCEND

Pourquoi utiliser les ondes guidées ?
- Propagation sur de longues distances → moins de capteurs
- Sensibilité à des défauts de taille petite → diagnostic précoce

Mais… un phénomène physique complexe :
- Ondes guidées = ondes multimodales, dispersives
- Modèles de propagation : indispensables à une mise en œuvre END
- Hautes fréquences : recours à des simulations 3D rédhibitoire

Verrou scientifique = difficultés de modélisation des câbles :
- Structures hélicoïdales, multi-brins, précontraintes, avec contacts mécaniques, en interaction avec d'autres milieux environnants (gaines, eau)...
- Nécessité d'un projet de recherche amont pour initier l'activité (TRL~2,3)

Approche proposée dans le projet :
- ✓ Développement de méthodes numériques pour la propagation des ondes mécaniques guidées dans les câbles de transport d'électricité
- ✓ Validations expérimentales des modèles
- ✓ Dimensionnement d'une instrumentation permettant d'évaluer la faisabilité des ondes mécaniques pour l'END de l'armure des câbles

CENTRALE NANTES · UNIVERSITÉ DE NANTES · IRT JULES VERNE · EMC2 · UNION EUROPÉENNE · Région PAYS de la LOIRE · Nantes Métropole · CARENE Saint-Nazaire agglomération
CE PROJET EST COFINANCÉ PAR LE FONDS EUROPÉEN DE DÉVELOPPEMENT RÉGIONAL

OMCEND : complémentarité des partenaires

Dynamique des câbles

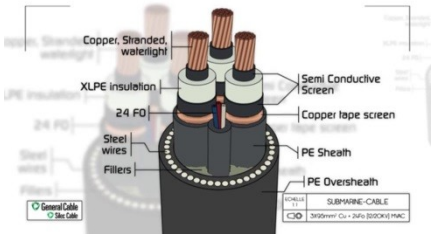
Modélisation numérique ← IFSTTAR → Propagation des ondes guidées

↓

Expérimentation

CENTRALE NANTES SEM-REV

Besoins
Spécifications



Statique des câbles

Modélisation numérique ← CENTRALE NANTES → Homogénéisation Contact

↓

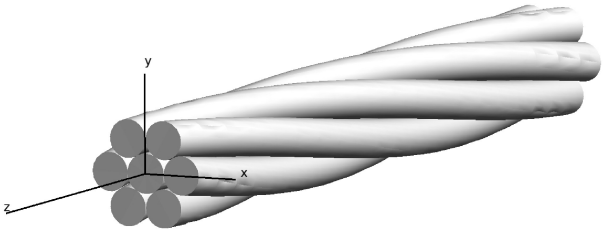
Tests mécaniques

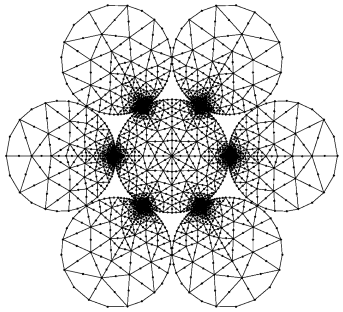
Support industriel
Besoins
Spécifications

ideol

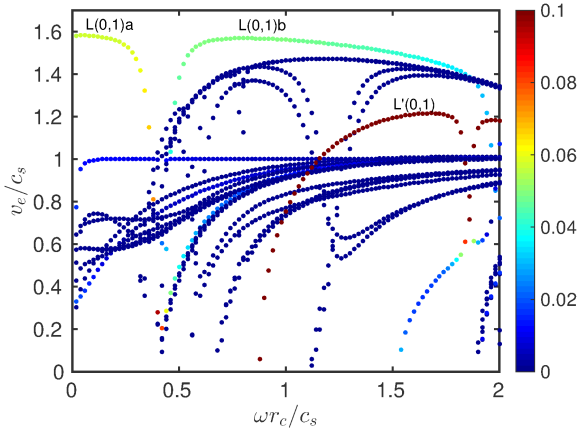
WEST ATLANTIC MARINE ENERGY CENTER
Research, Education & Innovation in PAYS de la LOIRE

Savoir-faire initial du consortium : le toron à 7 brins





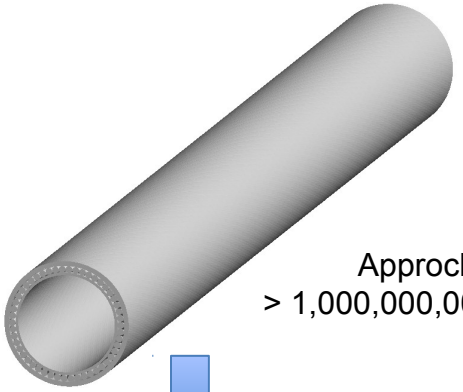
- Développements numériques pour les ondes guidées : modèles **SAFE** (Semi-Analytical Finite Element) prenant en compte l'**invariance par translation hélicoïdale** (3D → 2D)
- Expérimentations en labo : dispositifs de mesure, bancs de traction,...
- Publications (*), projets ANR, expertises sur sites, brevet, co-développement techno.



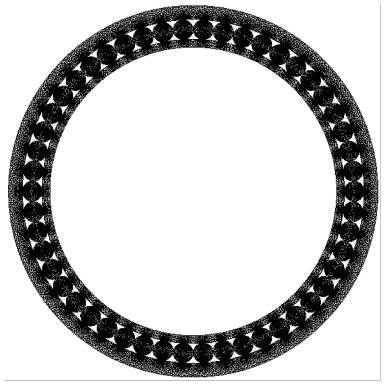
Calculs des courbes de dispersion :
→ détermination des {modes;fréquences} minimisant atténuation par dispersion + pertes
→ dimensionnement d'une instrumentation (fréquences, excitation, espacement capteurs,…)

(*) Treyssède and Laguerre JSV 2010
Frikha, Cartraud and Treyssède IJSS 2013
Treyssède, Frikha and Cartraud IJSS 2013
Treyssède JSV 2015...

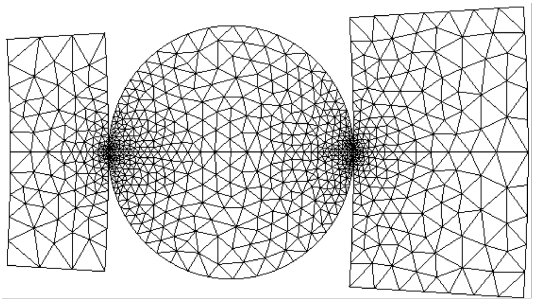
OMCEND : une méthode numérique pour les câbles à armure simple



Approches éléments finis 3D
> 1,000,000,000 degrés de liberté (ddls)...



Semi-Analytical Finite Element :
transformée de Fourier spatiale dans la direction hélicoïdale
→ ~ 500,000 ddls...



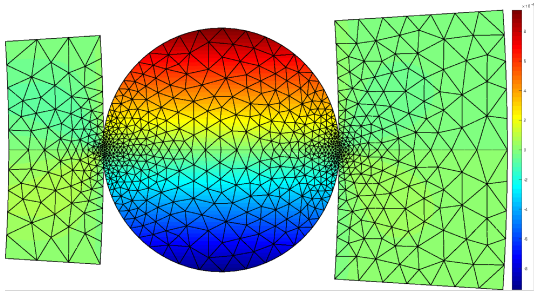
Contribution OMCEND :
SAFE + symétrie rotationnelle (conditions de type Bloch-Floquet)
→ ~ 10,000 ddls

Fabien TREYSSÈDE

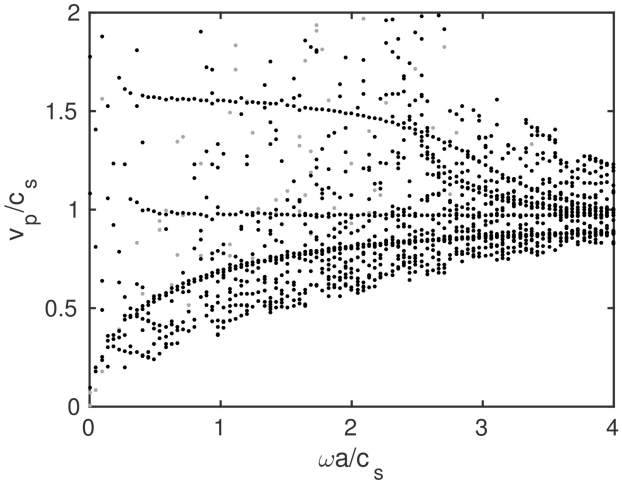
OMCEND : premiers résultats numériques (simple armure)

Paramètres du câble modèle :
- 50 brins acier de rayon a=2.25mm
- Gaines PE (interne + externe)

Chargements statique appliqués :
- Tension (~135kN)
- Pression externe (~5 bars)
- Validation des aires de contact brins/gaines par comparaison avec la théorie de Hertz



Déplacement statique axial microscopique



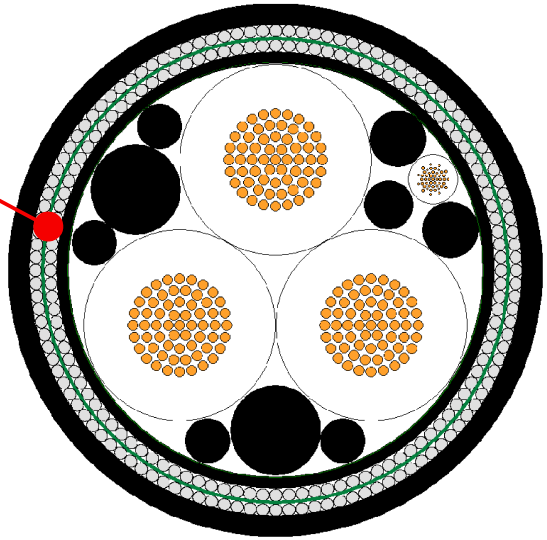
Courbes de dispersion normalisées des modes d'onde (vitesse de phase en fonction de la fréquence)

Résultats pour la dynamique des câbles :
- Courbes de dispersion pour la propagation des ondes guidées avec effets des chargements statiques (précontrainte et contact)
- La propagation des ondes dans les brins apparaît comme peu sensible à la présence des gaines au-delà d'une certaine fréquence

Suite prévue :
- Prise en compte de l'atténuation intrinsèque des matériaux
- Comparaison avec résultats expérimentaux

Conclusions

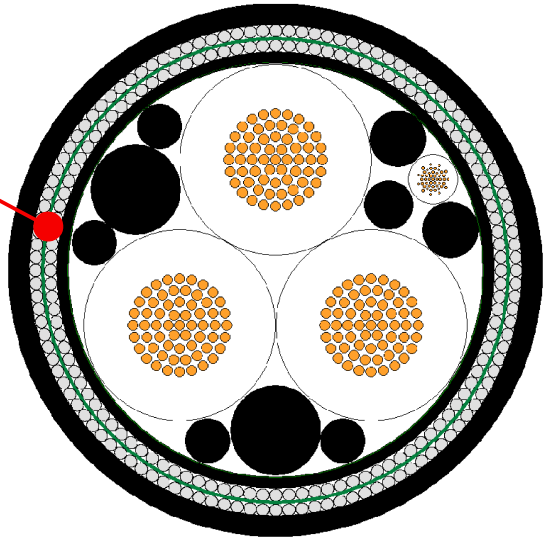
Perspectives (travaux en cours) : le cas des câbles double armure



→ Perte de l'invariance
par translation hélicoïdale...

Conclusions

Perspectives (travaux en cours) : le cas des câbles double armure



→ Perte de l'invariance par translation hélicoïdale...

Dates clés :

Novembre 2016
Kick-off

Janvier 2018
Modèles théoriques pour la propag. des ondes guidées

Janvier 2019
Validation expérimentale

Novembre 2019
Dimensionnement d'une instrumentation

Merci de votre attention