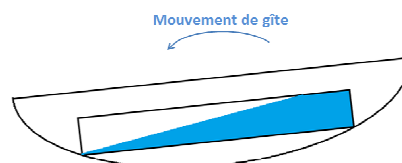


CUVE ANTI-ROULIS

Pierre-Arthur Fortin
Clément Hayer
Camille Leducq
Anne-Charlotte Regnaut

Introduction

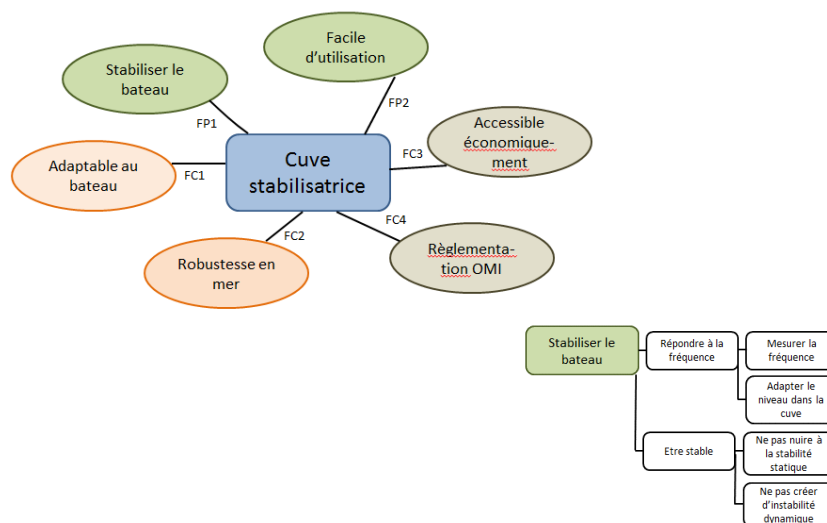
- Le roulis est un problème en termes de :
 - Sécurité
 - Confort
 - Opérabilité du navire
- Forme de la carène + ajout d'artifices actifs ou passifs
- Utiliser une carène liquide pour stabiliser le navire
 - Création d'une houle en décalage de phase avec l'excitation
 - Distinguer stabilité statique et stabilité dynamique
 - Pilotage dynamique pour élargir le spectre d'efficacité



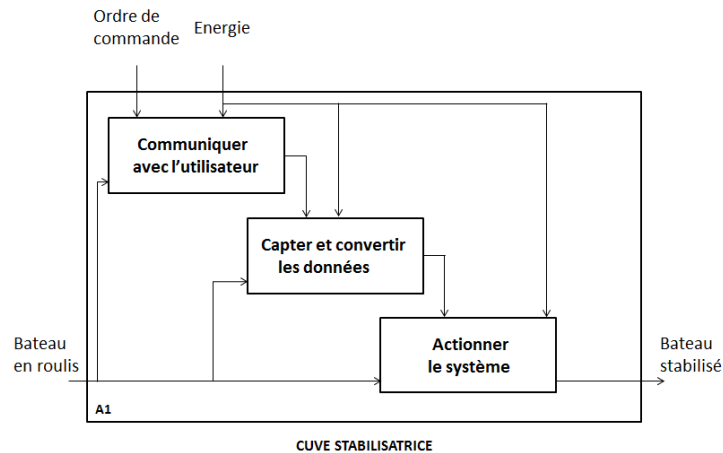
Démarche générale

- Élaboration du cahier des charges
 - Contraintes et efficacité recherchée
- Établissement d'une solution et étude de faisabilité
 - Justification de la solution retenue
- Expérimentation d'un modèle réduit avec le canal à houle
 - Démonstration du principe physique
- Vérification numérique pour une prédire à grande échelle
 - Mise en place d'une méthodologie pour dimensionner ce système

Cahier des charges



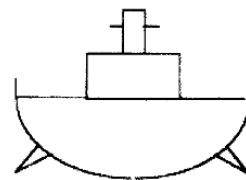
Cahier des charges



Les autres méthodes

- Déplacement de masses solides (PA Charles-de-Gaulle)
- Quilles anti-roulis (décrochement tourbillonnaire)
- Ailerons dynamiques (différentiel de portance)
- Cuve en U (différentiel de poids)

- Intérêts de la cuve passive
 - Très économe en énergie
 - Simplicité, robustesse et adaptabilité
 - Pas d'impact sur la trainée hydrodynamique



Équations générales

- Equation de dispersion dans la cuve

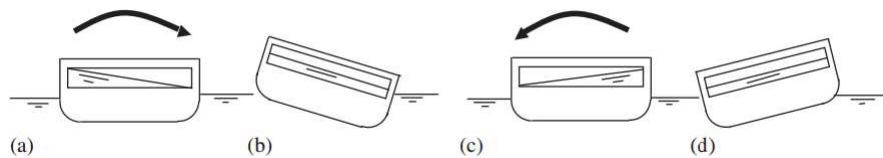
- $c^2 = \frac{g}{k} \tanh(kh) \rightarrow c = \sqrt{gh}$ (faible profondeur)

- Contrôle de la fréquence de houle

- $c = \sqrt{gh} = \frac{2l}{T_{cuve}}$

- Adaptation du niveau d'eau

- $h = \left(\frac{2l}{T_{roulis}} \right)^2 \frac{1}{g}$



Solution technique

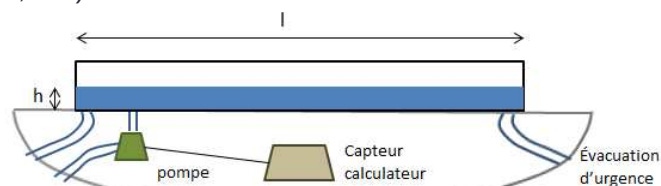
- Solution par modification de dimension (vérins) pour faire varier le niveau d'eau (volume constant) → abandonnée

- Simplicité technique → solution par pompe

- Adaptabilité et robustesse

- Modularité

- Efficacité dépend des caractéristiques du système (dimensions, pompe, etc.)



Analyse économique

- Adaptable à tout type de bateau :
 - Électronique
 - Pompe
 - Tôle pour la cuve + protection corrosion
 - Eau de mer
 - Segments de marché visés:
 - Diversité des états de mer
 - Allure lente ou opérations à l'arrêt
- chalutiers, exploration parapétrolière, frégates multi-missions...

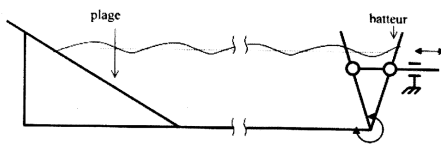
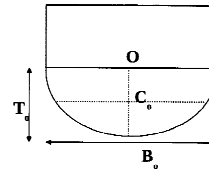
Pré-dimensionnements

bateau		exploration parapétrolière	frégate DCNS	chalutier	chalutier- thonier
	longueur (m)	106	142	16	84,1
	largeur (m)	28	20	6	13,8
	masse (T)	18250	6000	184,5	2319
	fréquence de houle (Hz)	0,2	0,2	0,2	0,2
cuve possible	largeur (m)	12	11	4	8
	longueur (m)	5	3	1	2
	hauteur (m)	4,11	3,45	0,46	1,83
	épaisseur (mm)	4	4	4	4
acier	masse (T)	17,17	8,23	0,33	2,53
eau	hauteur (m)	2,35	1,97	0,26	1,04
	masse volumique (T/m³)	1,025	1,025	1,025	1,025
	masse (T)	144,44	66,75	1,07	17,12
total	masse totale ajoutée (T)	161,61	74,98	1,40	19,65
	% masse ajoutée	0,89	1,25	0,76	0,85

→ Tenir compte également de la réserve de stabilité statique

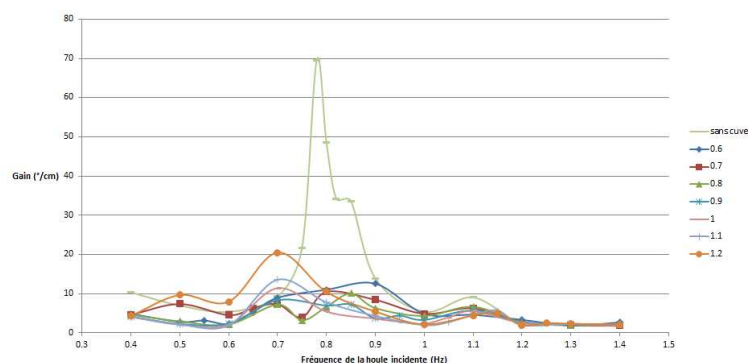
Principe expérimental

- Canal à houle avec batteur automatique
- Carène idéalisée elliptique
 - Cuve en plexiglas (2x25x4cm)
- Limnimètre pour l'amplitude de la houle
- Potentiomètre pour l'angle de gîte



Résultats expérimentaux

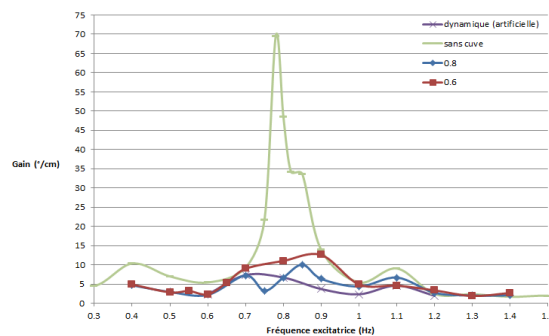
- RAO en roulis
 - Cuves calibrées pour amortir une fréquence



- Effets négatifs lorsque le calibrage ne correspond pas à l'excitation (courbe orange calibrée pour 1,2 Hz)

Résultats expérimentaux

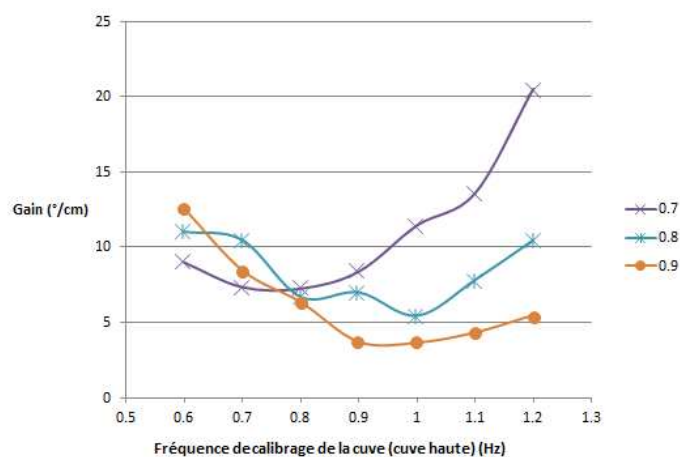
- Courbe « artificielle » représentant l'adaptation dynamique de la cuve à la fréquence excitatrice



- Une cuve calibrée à la fréquence propre ne suffirait-elle pas?
 - Fréquence propre peut changer (chargement)
 - Optimisation de la réduction en roulis
 - Nécessité d'adapter la cuve

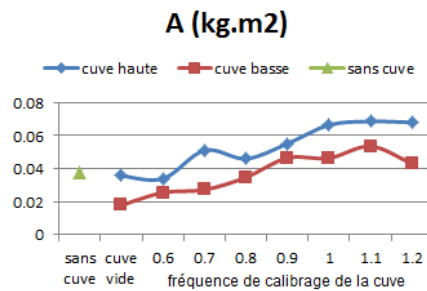
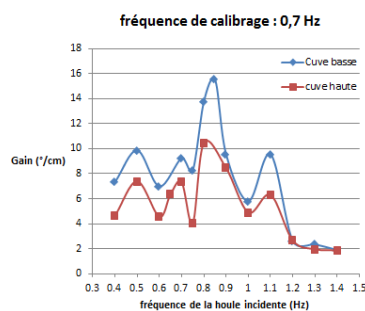
Résultats expérimentaux

- Vérification de la pertinence d'une cuve bien calibrée



Résultats expérimentaux

- Comparaison entre deux cuves : influence de la hauteur de paroi
- Gain d'amortissement
- Inertie ajoutée



Difficultés expérimentales

- Fort retour de vague → Onde stationnaire
- Mauvaise flottaison de la maquette → frottement solide
- Mesure imprécise et bruitée
 - Difficilement transposable à une application réelle



- Nécessité de passer par des simulations numériques

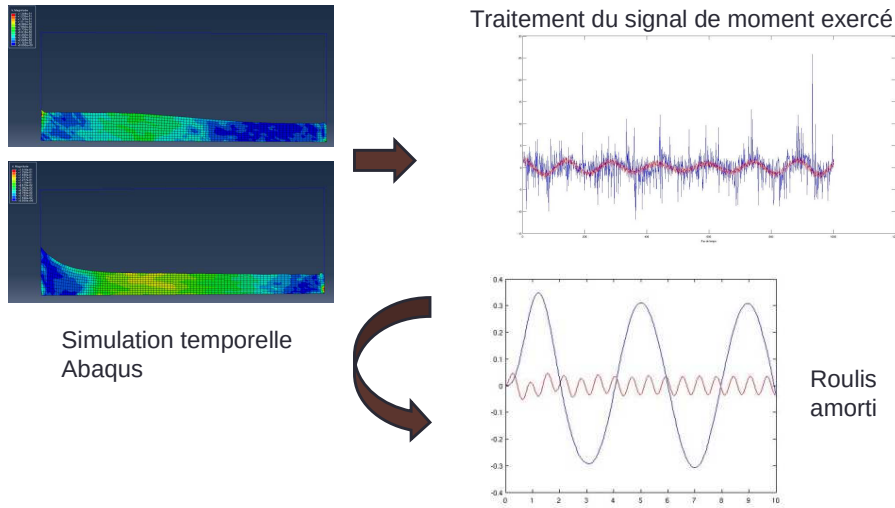
Démarche numérique

- Passer à une plus grande échelle
- Outil de prédiction fiable en comparant avec les résultats expérimentaux
- S'affranchir des incertitudes expérimentales
- Plus grande quantité de données accessibles
- Permet la simulation du système adapté pour chaque navire
 - Prédiction des performance apportées par la cuve

Principe des simulations

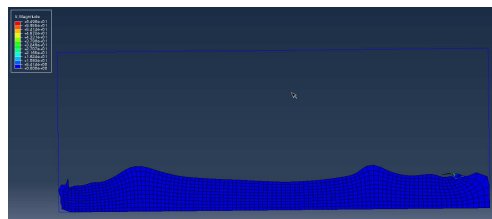
- Calcul avec Abaqus → comportement de l'eau dans la cuve
- Obtention des valeurs temporelles du moment exercé sur le bateau
- Reconstruction d'un signal analytique clair (Fourier)
- Résolution de l'équation de roulis → comportement temporel du navire et quantification de l'amortissement

Résultats numériques - temporels



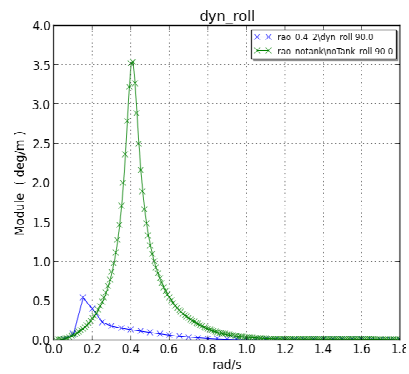
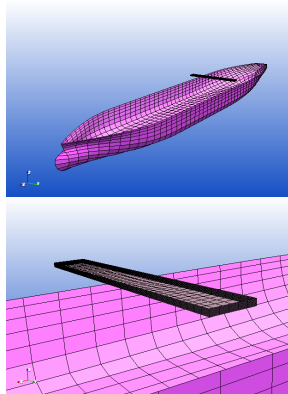
Problèmes de simulation

- Mauvaise gestion du sloshing et des mouvements non-linéaires
- Mauvaise prise en compte de la dissipation d'énergie par frottement entre les différentes couches d'eau (divergence des calculs)
- Nécessité d'utiliser un logiciel CFD avant l'industrialisation
- Manque un bouclage entre le mouvement du fluide et le mouvement du bateau



Utilisation d'un code de tenue à la mer

- Utilisation de HydroStar (théorie potentielle)
 - Prédire les mouvements du navire
 - Tient compte de l'effet de la cuve

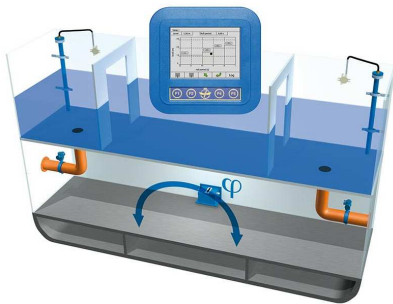


Comparaison visuelle

2 vidéos

Application industrielle

- Système déjà commercialisé par Hoppe Marine
- Il équipe plusieurs centaines de navires



Ship Type	Size (Meters)	Number
PASSENGER SHIPS	80 - 200	50
RO/PAK VESSELS	50 - 180	51
GENERAL CARGO AND REEFER SHIPS	75 - 175	217
RO/RO VESSELS	70 - 200	244
CONTAINER VESSELS	70 - 250	130
LNG CARRIERS	195 - 290	20
RESEARCH VESSELS	40 - 125	111
OFFSHORE OIL SERVICE VESSELS	40 - 160	245
FISHING VESSELS	20 - 155	251
CABLE REPAIR AND LAY VESSELS	85 - 140	19
OFFSHORE PATROL VESSELS	30 - 105	44
BUOY TENDERS	45 - 75	25
MINE LAYERS AND HUNTERS	45 - 50	21
MISCELLANEOUS	20 - 210	134
BULK CARRIERS	10,000 - 93,000 DWT	19
TANKERS	21,000 - 254,000 DWT	124

Conclusion et axes d'ouverture

- Reproduction de résultats de la littérature
- Mise en place effective de la démarche d'analyse et de conception
- Obtention d'une première réponse au problème
- Perfectionnement de l'outil de simulation (couplage CFD)
- Idées d'amélioration
 - Modification de la forme de la cuve pour élargir le spectre d'efficacité
 - Système à plusieurs cuves