

# VIBRATIONS DU DEVERSOIR DE SUPERPHENIX

René – Jean Gibert

# CHRONOLOGIE

- Au début des années 80 :
  - Etude vibratoire de SPX1 à l'aide de CASTEM
  - Expérimentations sur site pendant la construction
- En 85 :
  - Essais à chaud sur site
  - Observation du phénomène d'instabilité du déversoir
  - Mise au point d'un modèle et validation sur 2 maquettes hydro élastiques
  - Solution du problème par modification des paramètres hydrauliques

# SCHEMA GENERAL DU BLOC REACTEUR

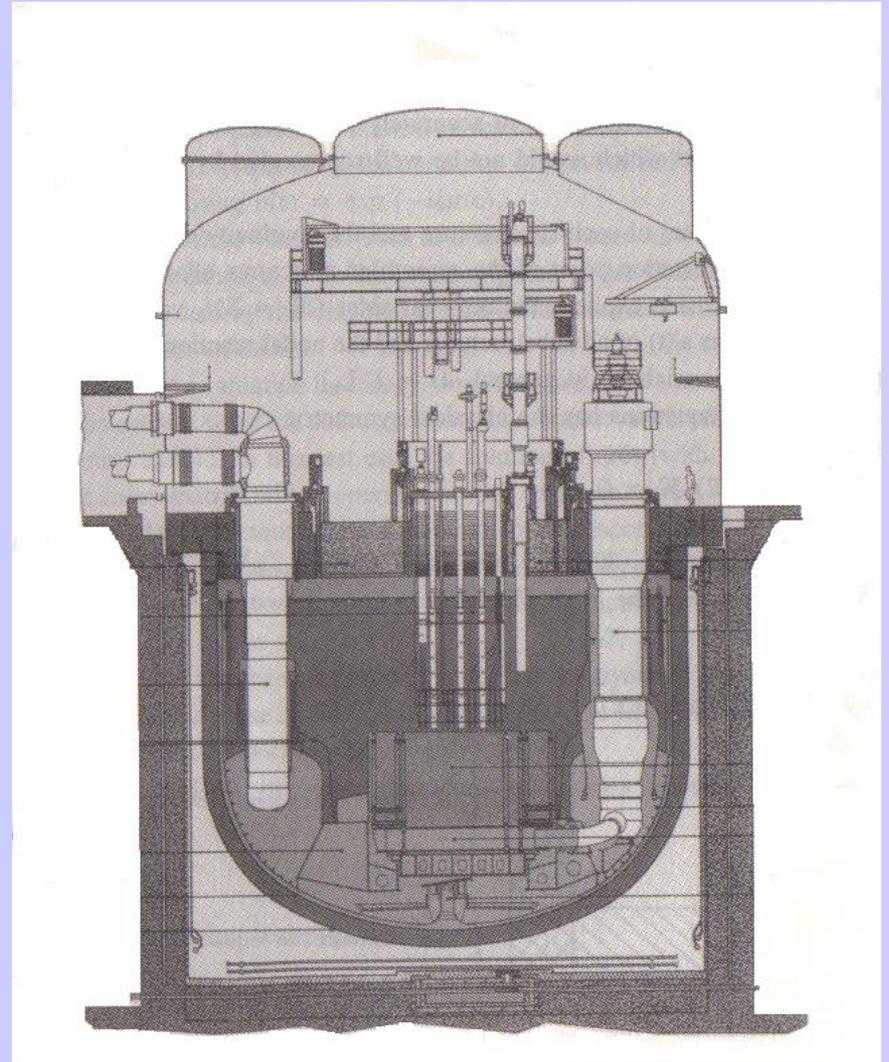
- Bloc réacteur :

Un ensemble tridimensionnel de coques minces séparées par des volumes fluides

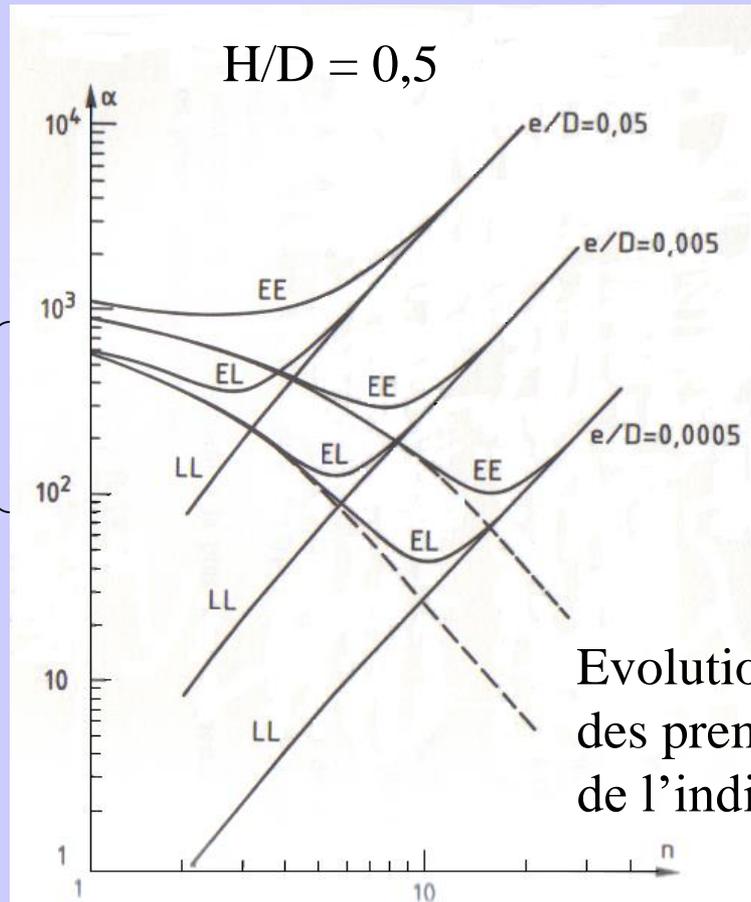


Grande complexité de la structure des modes de vibration du fait :

- des coques minces
- des défauts de forme
- du couplage par les lames fluides
- des surfaces libres fluides



# STRUCTURE MODALE DES COQUES MINCES DE REVOLUTION



Comportement  
membranaire  
 $\alpha \sim n^{-2}$

Conditions  
aux limites :  
E = encastéré  
L = libre

SPX :  $e/D \approx 10^{-3}$   
 $H/D \approx 0,5 \text{ à } 1$

Comportement  
de flexion  
 $\alpha \sim n^2$

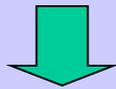
$$\omega_{1n} = 2 \alpha(n) / D (E/\rho)^{1/2}$$

Evolution de la pulsation de résonance  
des premiers modes axiaux en fonction  
de l'indice azimutal n

# EFFET DES DEFAUTS DE FORME

- Défaut « sinusoïdal » :

$$\delta = \delta_0 \cos n_0 \theta \sin \pi z/L$$

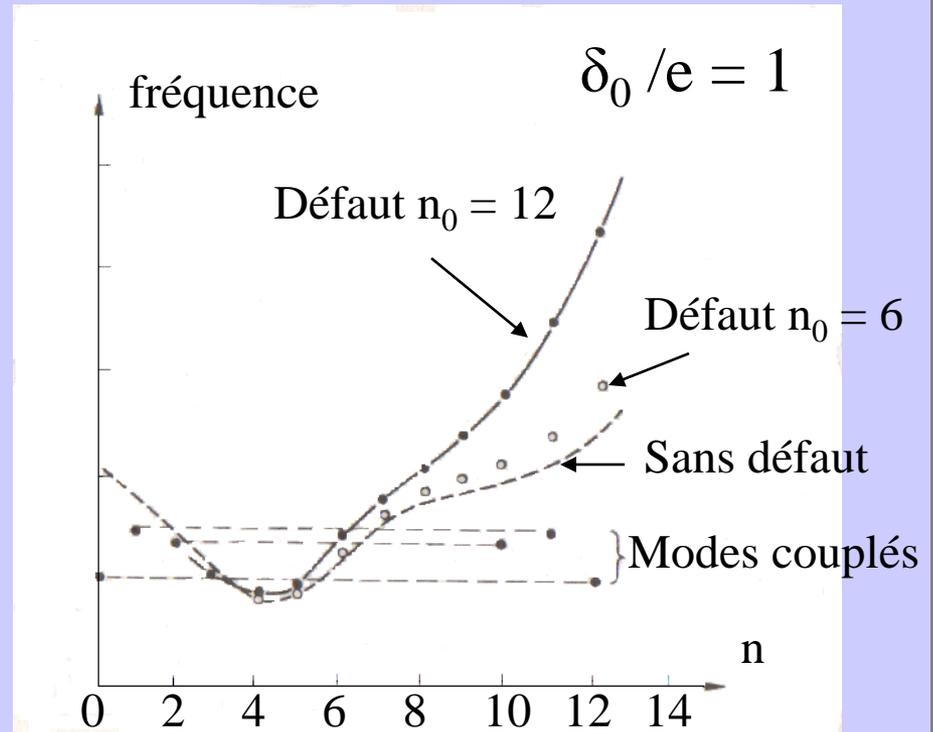


L'effet d'un défaut de l'ordre de l'épaisseur de la coque est important sur les modes tels que :

$$|n - n_0| = 0, 1 \text{ ou } 2$$

et  $f_{|n - n_0|} \approx f_n$

( $f_n$  étant la fréquence de résonance sans défaut)



Evolution des fréquences de résonance en fonction de l'ordre azimutal n

# INTERACTION FLUIDE STRUCTURE

- Lames minces de révolution :

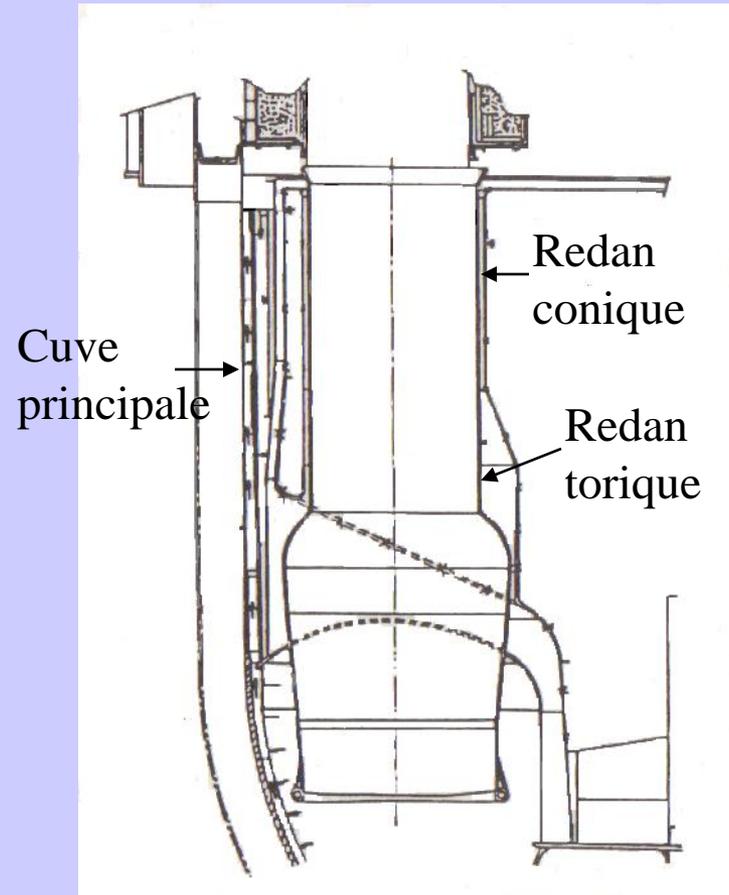
SPX1 : épaisseur/D  $\approx 10^{-2}$

Forte diminution des fréquences de résonance : Rapport masse ajoutée fluide / masse structure  $\approx 30$



Premières résonances vers 0,8 Hz

- Couplages tridimensionnels :  
En particulier au niveau des traversées des pompes et des échangeurs



Couplage fluide structure au niveau des traversées de pompe

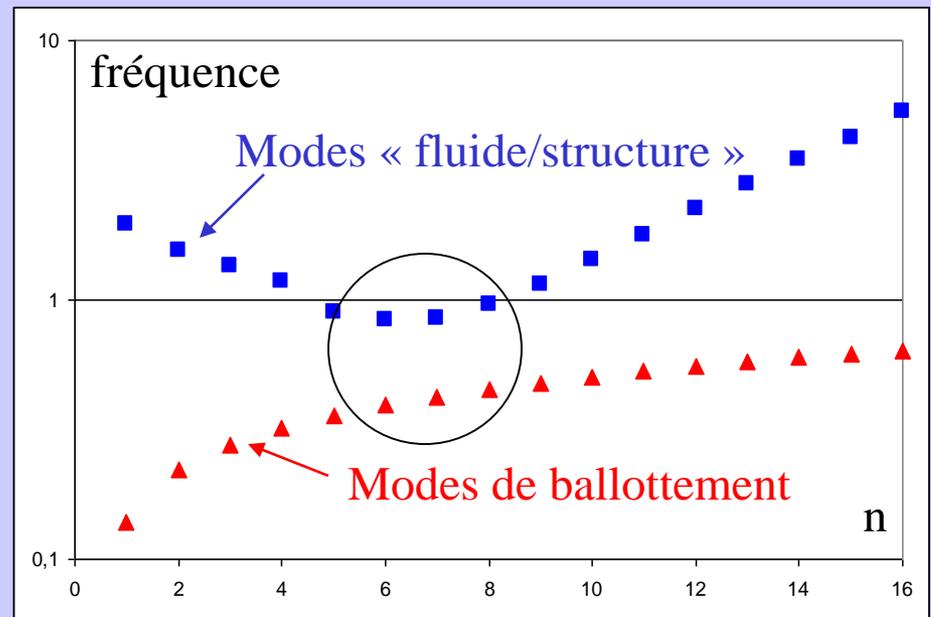
# MODES DE BALLOTTEMENT

- Présence de surfaces libres dans le champ de pesanteur :  Modes de ballottement importants pour les structures si :  $\mathcal{F} = \omega^2 D/g$

*Exemple* : coque cylindrique encastrée-libre couplée à une lame fluide avec surface libre (dimensions SPX1) : Evolution des fréquences de résonance en fonction de l'ordre azimutal.



Couplage possible dans la zone du minimum

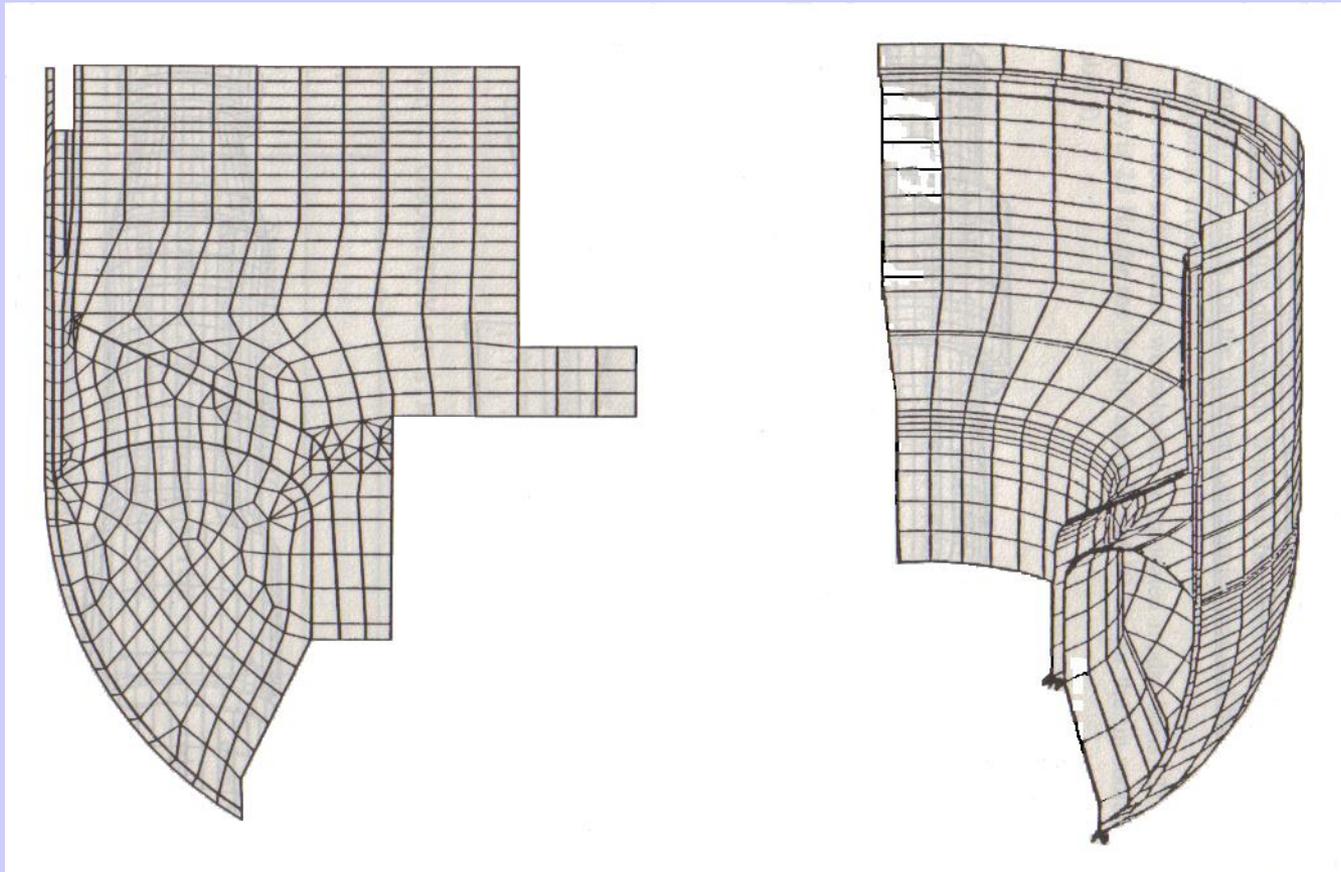


# CHOIX DE LA MODELISATION

- Analyse par **synthèse modale** selon la procédure libre :
  - Calcul modal des sous structures : Ensembles coques lames fluides de **révolution** (grandes viroles, redans, traversées de pompes et d'échangeurs intermédiaires)
  - Raccordement des sous structures avec **correction de contribution des modes négligés**.
  - Prise en considération approchée du couplage dû au grands volumes fluides
- Outils :
  - AQUAMODE → CASTEM 2000
  - TRISTANA → OSCAR (CASTEM 2000)

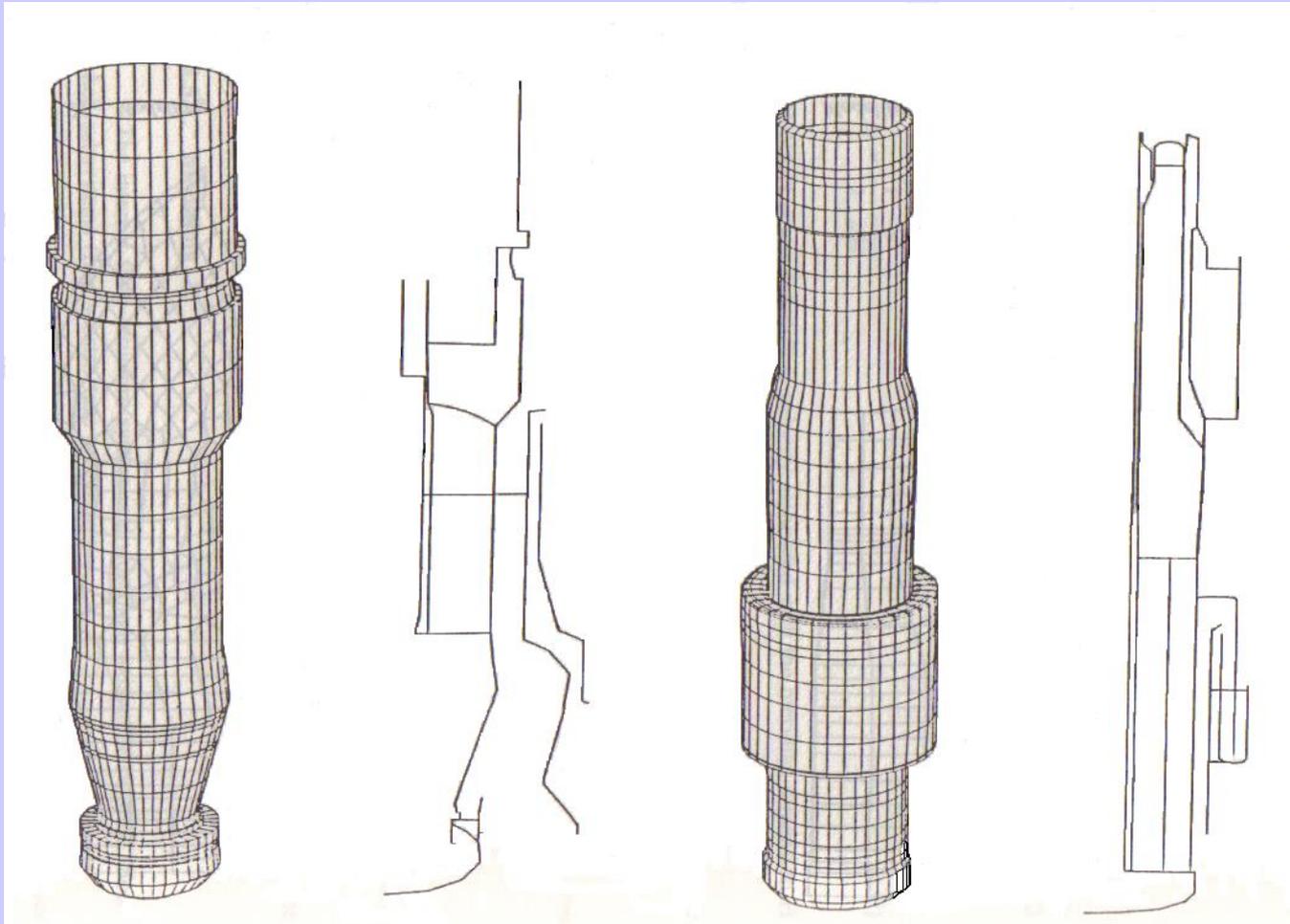
# MAILLAGES des SOUS STRUCTURES

- Ensemble grandes viroles, redans, lames fluide et grands volumes fluides :



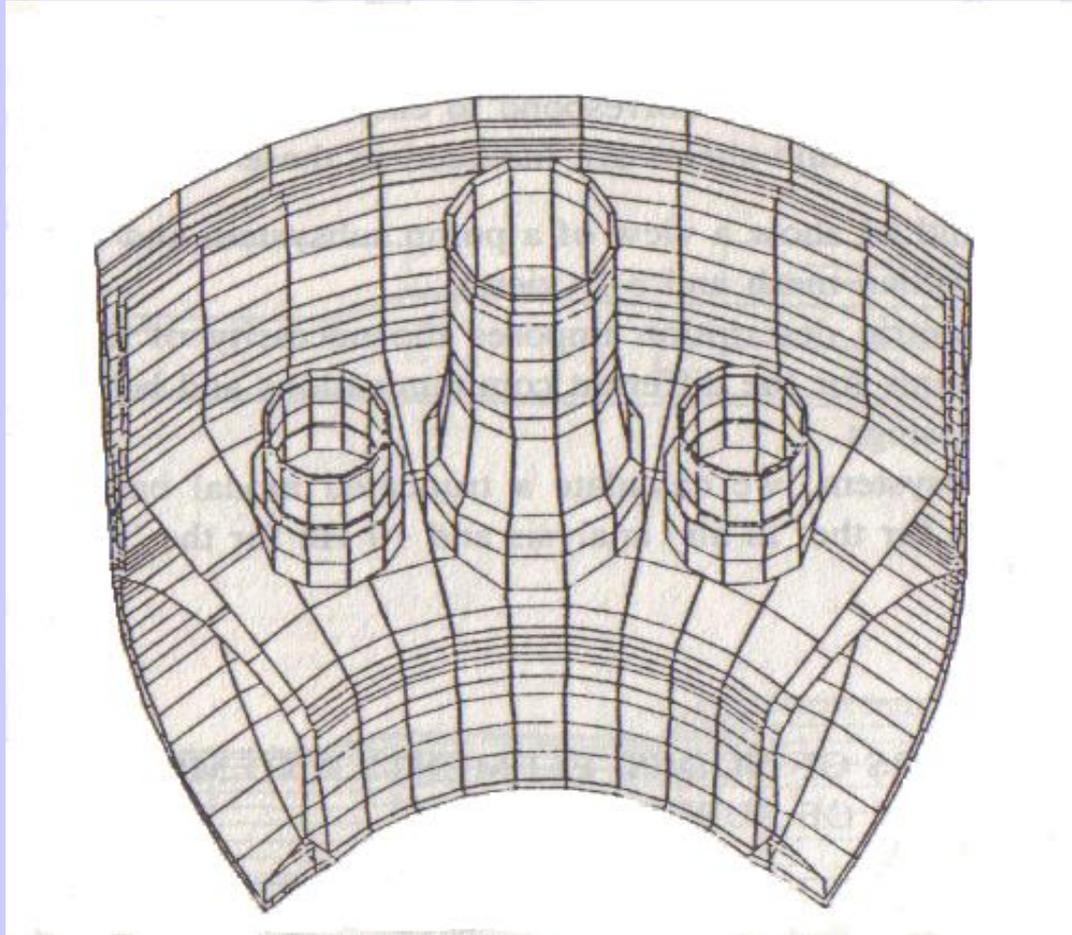
# MAILLAGES des SOUS STRUCTURES

- Traversées d'échangeur intermédiaire et de pompe :



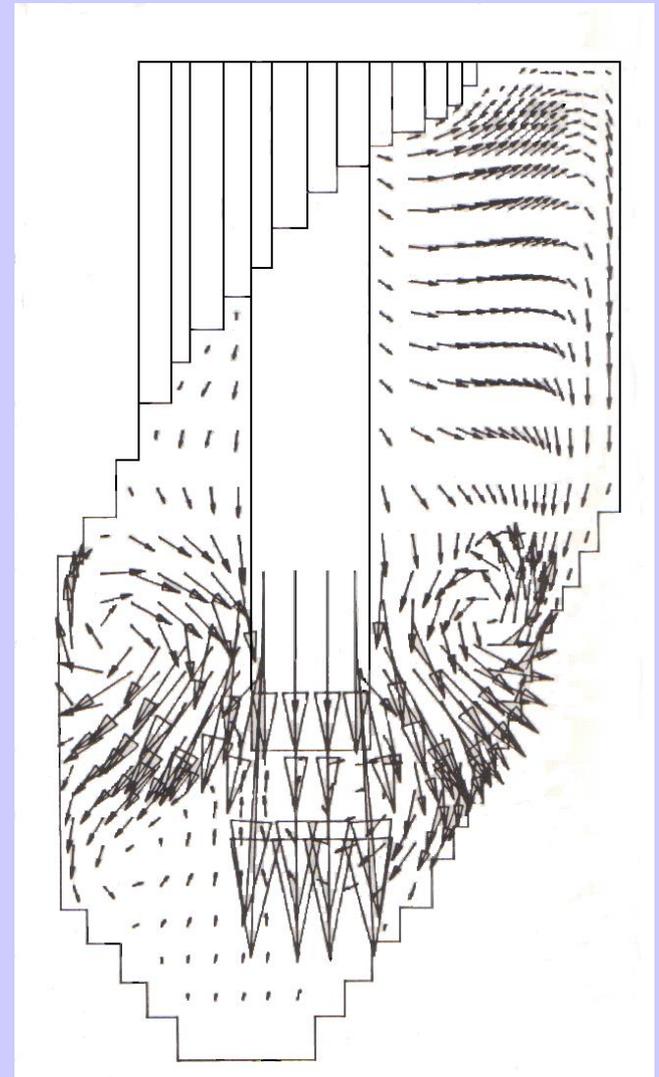
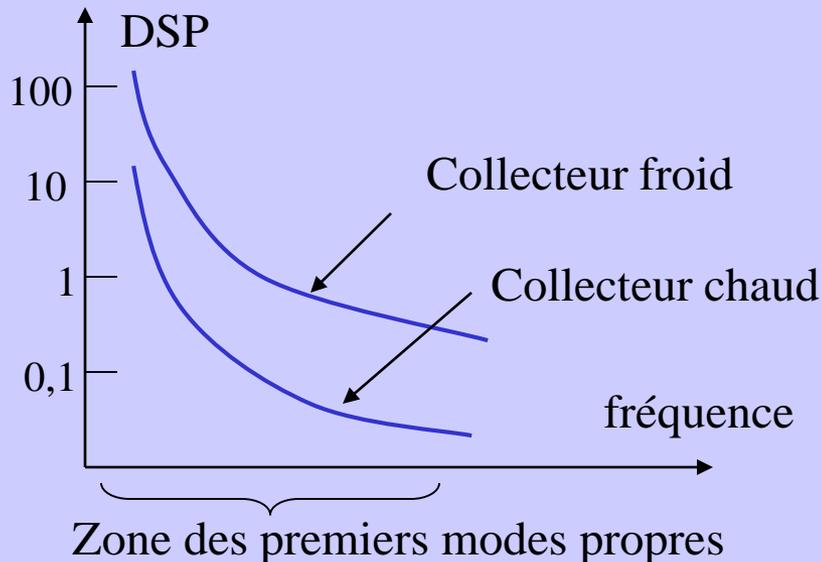
# STRUCTURE ASSEMBLEE

- Vue d'un quart de structure assemblée :



# SOURCES D'EXCITATION

- Champs de pression fluctuantes de paroi associés aux zones les plus perturbées :
  - Sortie des échangeurs intermédiaires (collecteur froid)
  - Sortie du cœur (collecteur chaud)



Calcul d'écoulement à la sortie d'un E.I.

# CONCLUSION DE L'ETUDE VIBRATOIRE

- Résultats :

Calculs modaux en air  
et vérifications expérimentales sur site



Calculs couplés en sodium  
(500 modes de base)



74 modes dans la gamme 0,25 Hz et 1,5 Hz



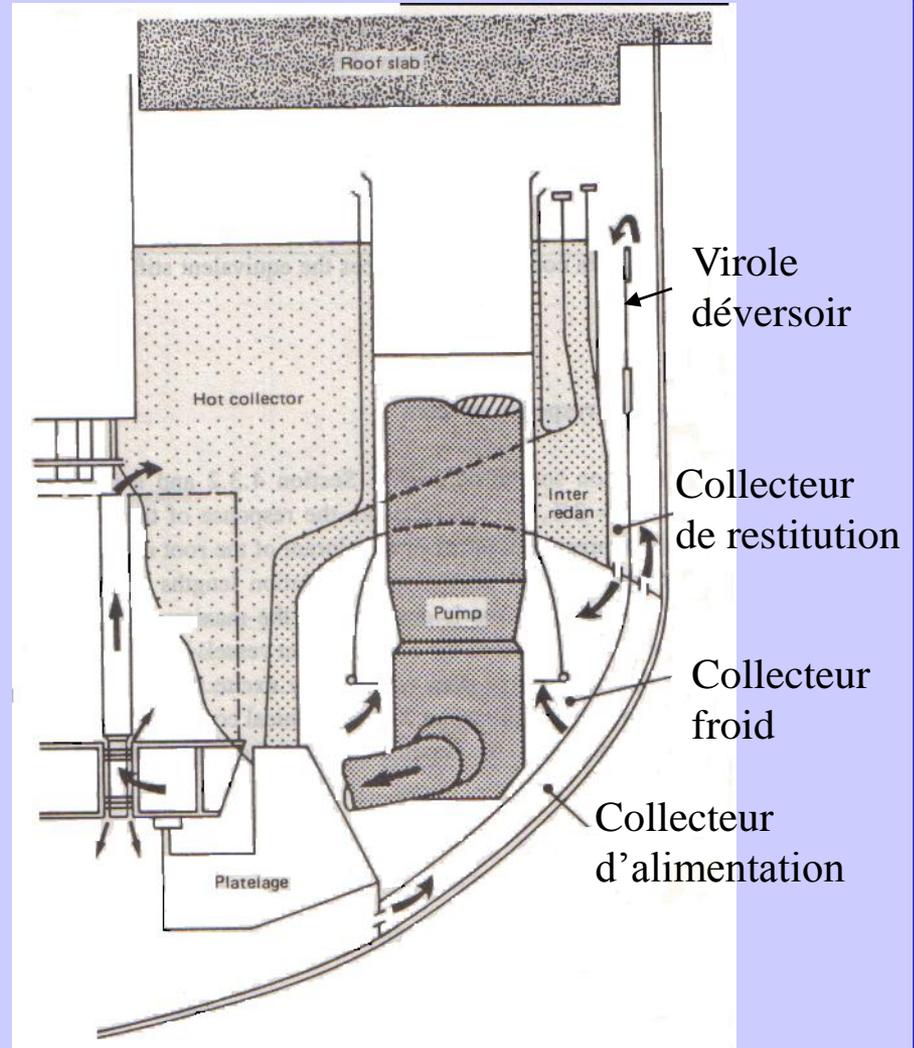
Calcul des niveaux vibratoires  
(avec la source la plus pénalisante)



Niveaux vibratoires (contraintes) acceptables

# OBSERVATIONS LORS DES ESSAIS A CHAUD

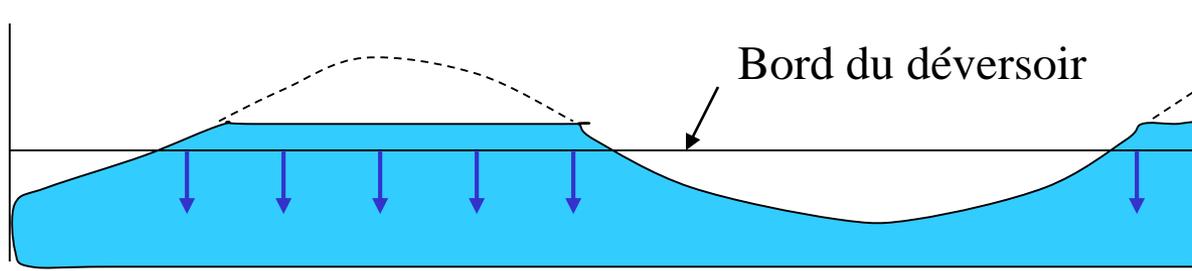
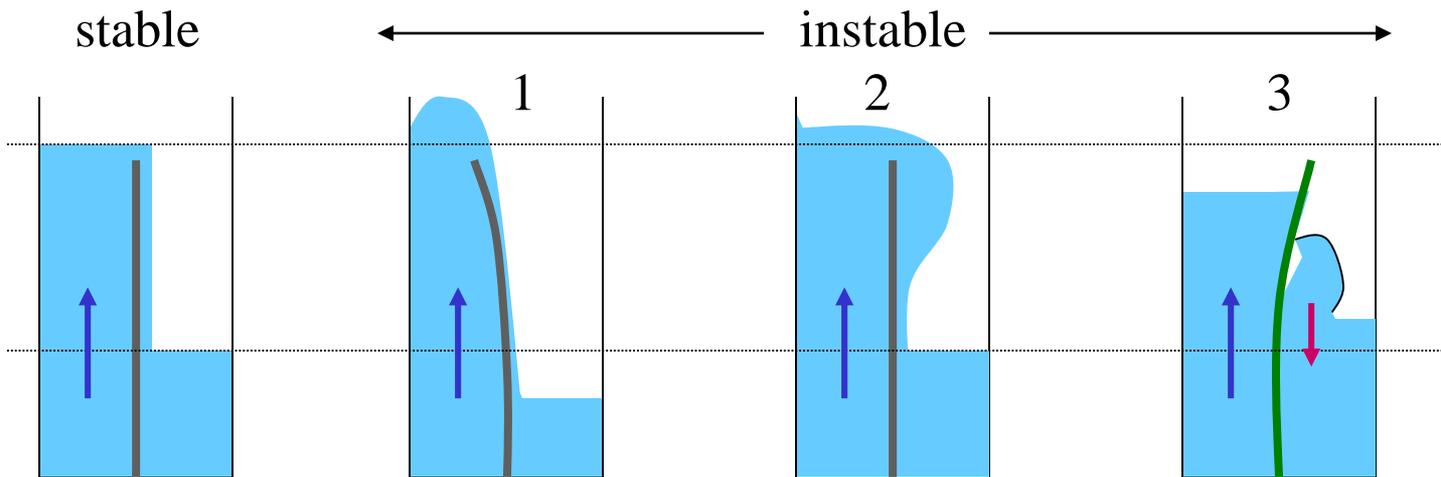
- A 0,3 Hz environ :
  - Débattement vertical de la surface libre du collecteur de restitution de plusieurs dizaines de centimètres
  - Importants mouvement de la virole déversoir (nécessitant l'arrêt pour préserver les marges en fatigue des structures)



Vue du circuit du déversoir sur une coupe au niveau d'une pompe

# INSTABILITE DU DEVERSOIR

- *Schéma du mécanisme :*



# MODELISATION

- Collecteur d'alimentation :

Condition de surface libre :  $p_1 = \rho_f g Z_1$

+ source de débit fluctuant :  $\Delta q_1(t, \theta) = -k\sqrt{g} Z_1^{3/2}$

(relation validée en écoulement permanent ;  $k$  = coefficient fonction de la forme du déversoir et de la tension superficielle du fluide)

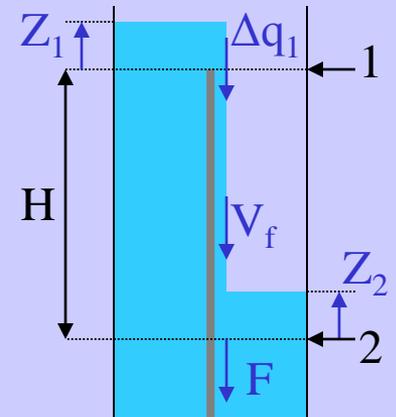
- Collecteur de restitution :

Condition de surface libre :  $p_2 = \rho_f g Z_2$

+ source de débit fluctuant :  $\Delta q_2(t, \theta) = -\Delta q_1(t - \tau, \theta)$

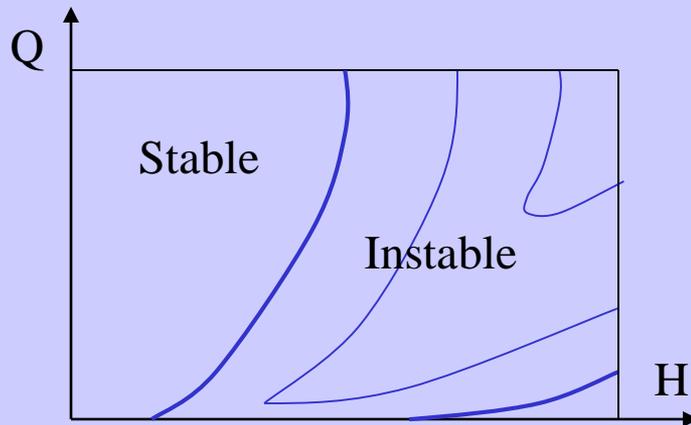
+ Force :  $F(t, \theta) = -\rho_f \Delta q_2(t, \theta) V_f$

( $\tau$  et  $V_f$  sont calculés pour un écoulement permanent à l'aide de la corrélation de Manning. Il sont donc fonctions du débit  $Q$  et de la hauteur de chute  $H$ )

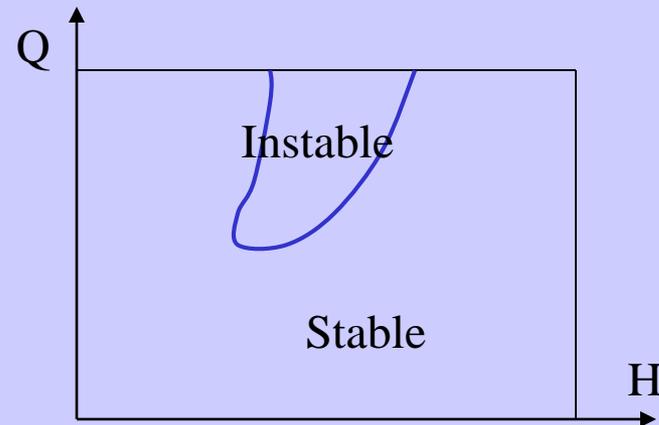


# LINEARISATION DU MODELE et ETUDE DE STABILITE

- On linéarise les conditions aux limites et on les applique sur la position moyenne des surfaces libres
- On effectue l'étude de stabilité : Pour un ordre azimutal  $n$  correspondant aux modes les plus sensibles :



*Comportement bimodal :*  
Couplage par la virole déversoir  
des 2 modes de ballottement des  
collecteurs



*Comportement monomodal :*  
Mode fluide – structure  
(ballottement secondaire)

# ANALYSE SUR MAQUETTES DE LA STABILITE

- 2 maquettes : plane (LDP) et cylindrique (LDC) :

Paramètre de similitude de base :

$$\Omega g = (\rho_f g D)/E$$

( = fréquences de ballottement/fréquences fluidélastiques)

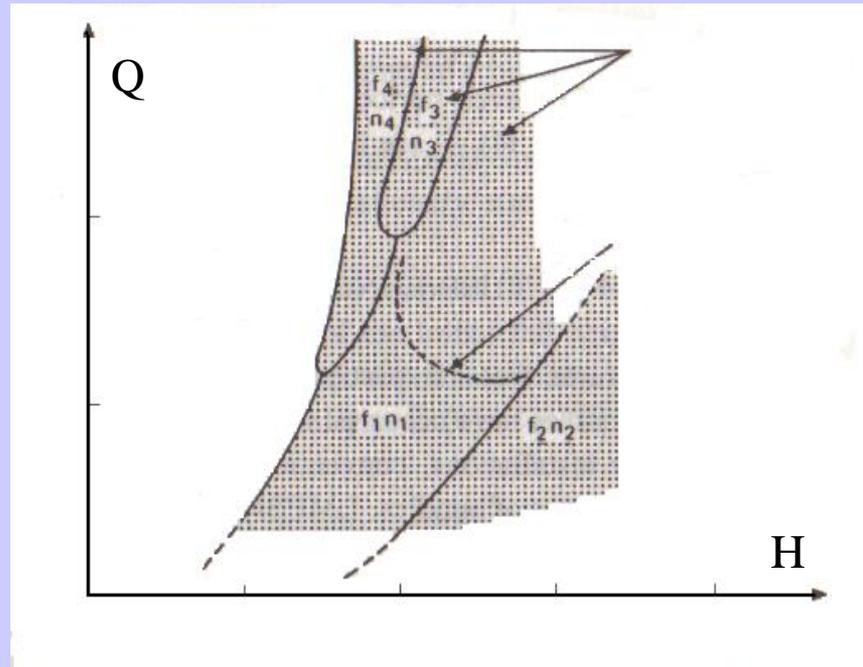
Les diagrammes de stabilité cadrent très bien avec le modèle.

Ils ne sont pas directement transposables à la réalité du fait des différentes distorsions (Reynolds, Froude, géométrie et complexité des structures, amortissements,...)

	échelle	$\Omega g$
SPX1	1	0,48
LDP	1/10	0,54
LDC	1/12	0,36

# ANALYSE SUR SITE DE LA STABILITE

- Courbes limites plus compliquées mais limites globales bien représentées par le modèle :



# CONCLUSION

- Elimination du phénomène d'instabilité :

Une **modification hydraulique** (Q et H) a permis de sortir des plages d'instabilité



Problème résolu en quelques mois !

- Enseignements :

Malgré une analyse vibratoire préliminaire très sérieuse, le phénomène n'a pas été prévu du fait :

- De son **caractère nouveau** (type de mécanisme jamais observé – saut entre Phénix et Superphénix)
- De la **complexité des structures** et du caractère **local** (le déversoir est un « détail » dans l'ensemble du bloc réacteur)
- La prévision de tels phénomènes reste toujours très difficile