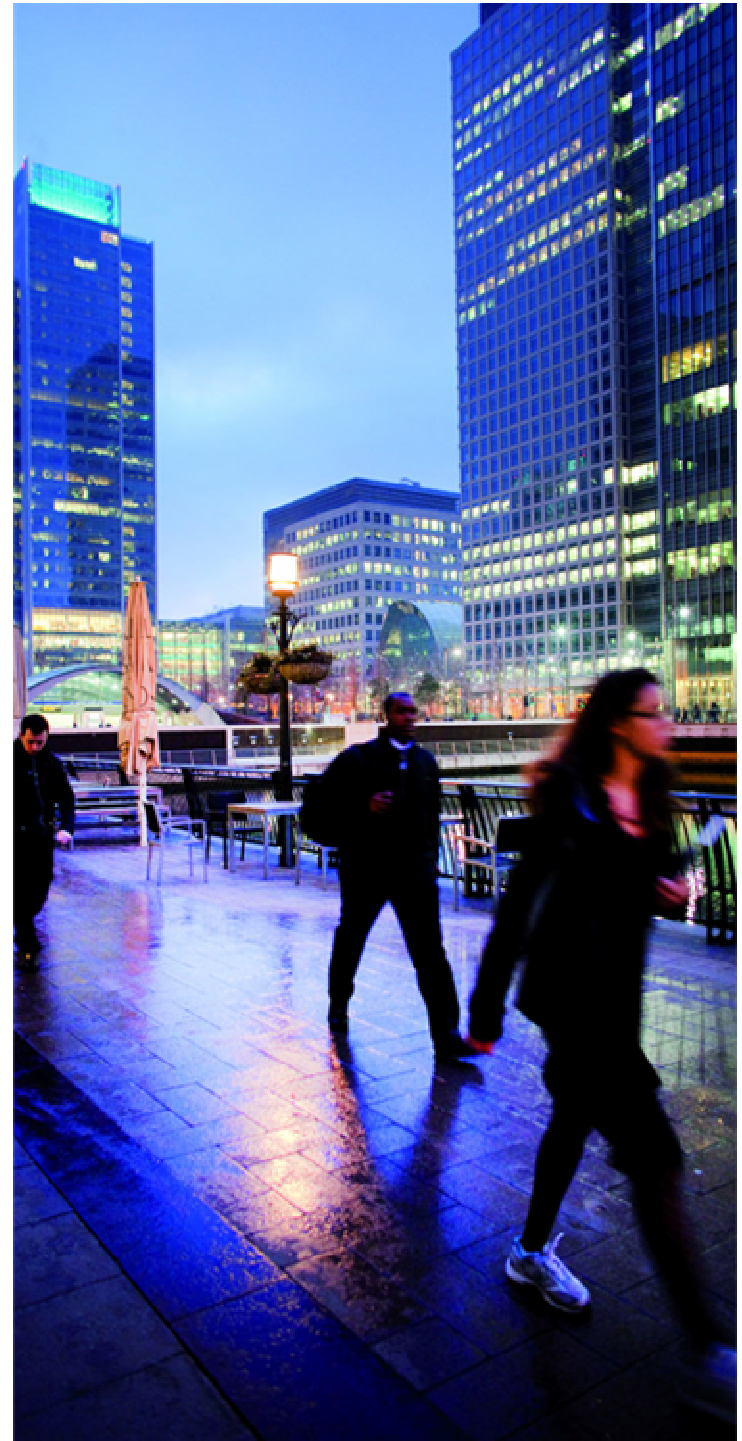




# Couplage explicite – implicite pour des calculs chaînés avec *Code\_Aster* et EUROPLEXUS

N. Greffet, L. Idoux (EDF R&D)

Journée des utilisateurs de Salome-Meca du 19 mars 2013



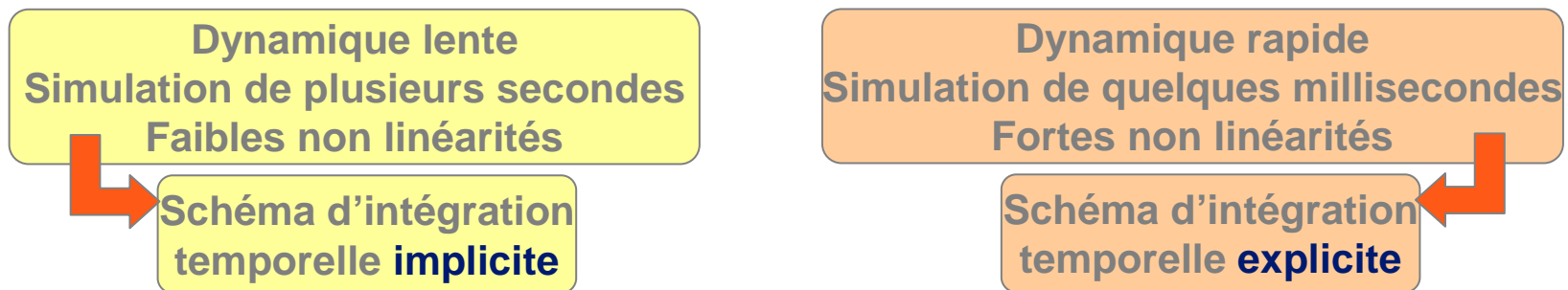
# SOMMAIRE

- 1. Couplage explicite – implicite : qui, comment et pourquoi ?**
- 2. Déroulement d'un calcul**
- 3. Perspectives**

# 1. Couplage explicite – implicite : qui, comment et pourquoi ?

## ▪ Pourquoi ?

- Disposer d'un moyen d'utiliser différents schémas d'intégration en temps au sein d'une même étude



## ▪ Comment ?

- Macro-commande **CALC\_EUROPLEXUS** : permet de lancer un calcul EUROPLEXUS dans l'environnement de Code\_Aster
- Macro-commande **MACRO\_BASCULE\_SCHEMA** : permet de basculer d'un schéma explicite vers un schéma implicite tout en corrigeant l'équilibrage de la solution

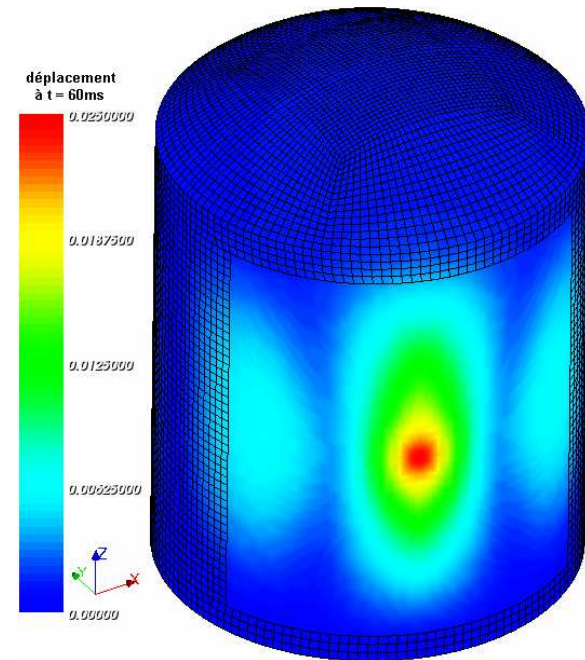
## ▪ Qui ?

- Limitation des choix de modélisation, qui doivent être compatibles entre les deux codes
  - Éléments finis : DIS\_T, DIS\_TR, POU\_D\_E, BARRE, Q4GG (élément de plaque)
  - Lois de comportement : ELAS, GLRC\_DAMA (loi de comportement de béton)
  - ...

## 2. Déroulement d'un calcul

### Exemple : cylindre surmonté d'un dôme avec câbles de précontrainte sous chargement dynamique

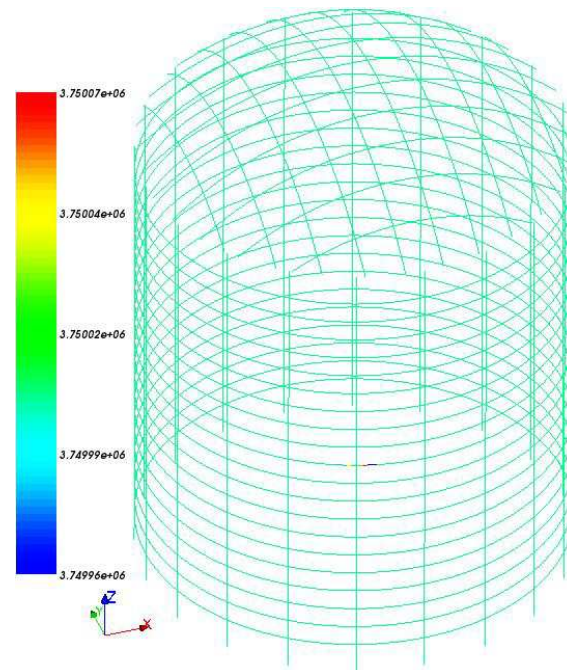
- Etape n°1 : calcul quasistatique d'un état initial précontraint par *Code\_Aster* (optionnel)
- Etape n°2 : calcul de dynamique explicite non linéaire par EUROPLEXUS (CALC\_EUROPLEXUS)
- Etape n°3 : poursuite du calcul dans *Code\_Aster* en dynamique lente faiblement non linéaire (MACRO\_BASCULE\_SCHEMA)
- Etape n°4 : post-traitements avancés dans *Code\_Aster* (SRO, spectres de plancher...)



Entièrement réalisé dans l'environnement de  
*Code\_Aster* !

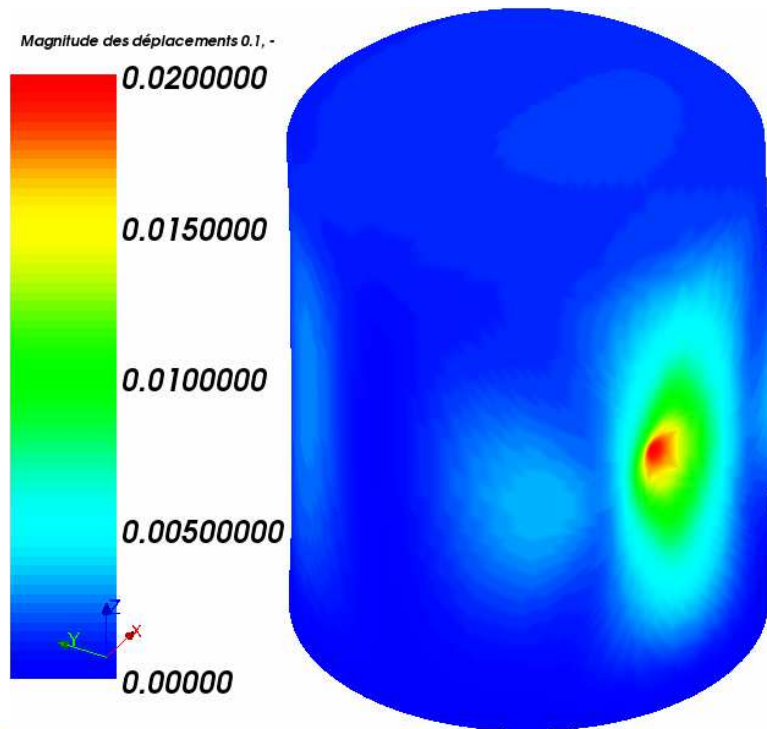
## 2. Déroulement d'un calcul

- **Etape n°1 : calcul de l'état initial issu de la mise en précontrainte des câbles en quasistatique dans *Code\_Aster***
  - **DEFI\_CABLE\_BP** : définition du profil de tension dans les câbles
  - **CALC\_PRECONT** : calcul de la précontrainte sur la structure

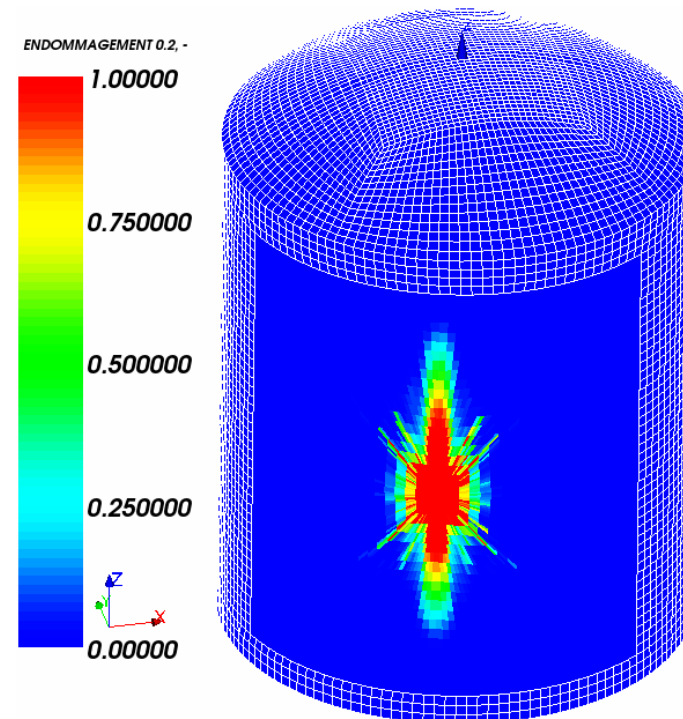


## 2. Déroulement d'un calcul

- **Etape n°2 : calcul de dynamique explicite fortement non linéaire dans EUROPLEXUS**
  - Transmission de l'état précontraint (contraintes, déplacements)
  - Transmission des liaisons cinématiques entre les nœuds du câble et les éléments de béton
  - Calcul de dynamique (pression imposée)



Facteur d'amplification x 250



Couplage explicite - implicite | 19 mars 2013 | 6

## 2. Déroulement d'un calcul

- **Etape n°3 : poursuite du calcul en dynamique lente faiblement non linéaire dans *Code\_Aster***

**Principe général : bascule en implicite lorsque les effets dynamiques rapides (ondes) sont négligeables devant l'ébranlement**

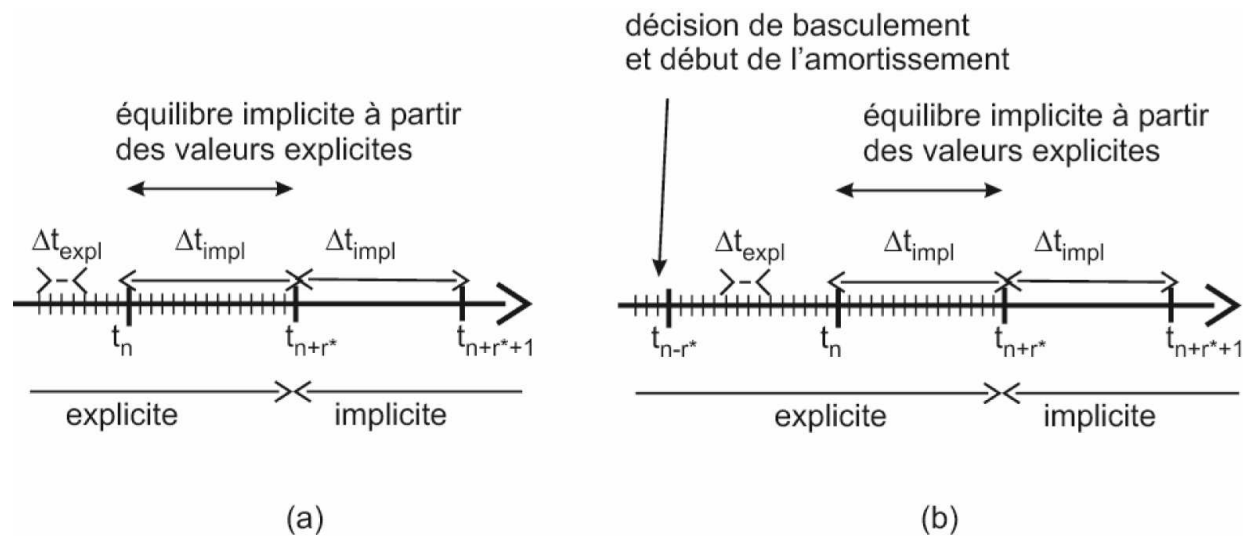
**Instant de bascule à définir, suffisamment « tard » pour être en régime vibratoire linéaire**

- Reconstruction (via MED) des champs pour la bascule EUROPLEXUS vers *Code\_Aster*
  - Champs cinématiques sur tout le modèle : champs aux nœuds
  - Variables internes et contraintes sur la partie non-linéaire (coques) : champs aux points de Gauss
  - Reconstruction des champs sur tout le modèle pour *Code\_Aster*
    - Champs de contraintes sur tout le modèle
  - Conditions initiales pour DNL

## 2. Déroulement d'un calcul

- Etape n°3 : poursuite du calcul en dynamique lente faiblement non linéaire dans *Code\_Aster*

### Principe de la méthode [Noels 2004]



### Période de recouvrement

- Solution explicite (avec schéma dissipatif) :  $n$  pas
- Solution implicite (un pas) avec prédiction à partir de la solution explicite

Référence

Noels L., Stainier L., Ponthot J.-P., « *Combined implicit/explicit algorithms for crashworthiness analysis* », International Journal of Impact Engineering, Vol. 30, 1161–1177, 2004



## 2. Déroulement d'un calcul

- **Etape n°3 : poursuite du calcul en dynamique lente faiblement non linéaire dans *Code\_Aster* (suite)**

### Mise en œuvre de la bascule dans le .comm

- Reconstruction (via MED) des champs pour la bascule EUROPLEXUS vers *Code\_Aster*
- MACRO\_BASCULE\_SCHEMA
  - Quelques pas en explicite (idem EUROPLEXUS) : vérification cohérence données MED
  - Rééquilibrage
  - Passage en implicite
- Remarques sur la bascule explicite-implicite : phase de rééquilibrage
  - Passage matrice de masse lumpée vers consistante
  - Amortissement compatible entre EUROPLEXUS et *Code\_Aster* : pas d'amortissement modal
  - Choix instant de bascule
    - Retour à une réponse vibratoire (ébranlement) : donc basse-fréquence
    - Possibilité de non-linéarités matériaux en implicite : reprise OK
- Utilisation de *Code\_Aster* NEW11 et EUROPLEXUS sur serveur aster4

## 2. Déroulement d'un calcul

### ▪ Etape n°4 : post-traitements

**Idée générale : environnement unique : *Code\_Aster***

#### **Difficultés principales**

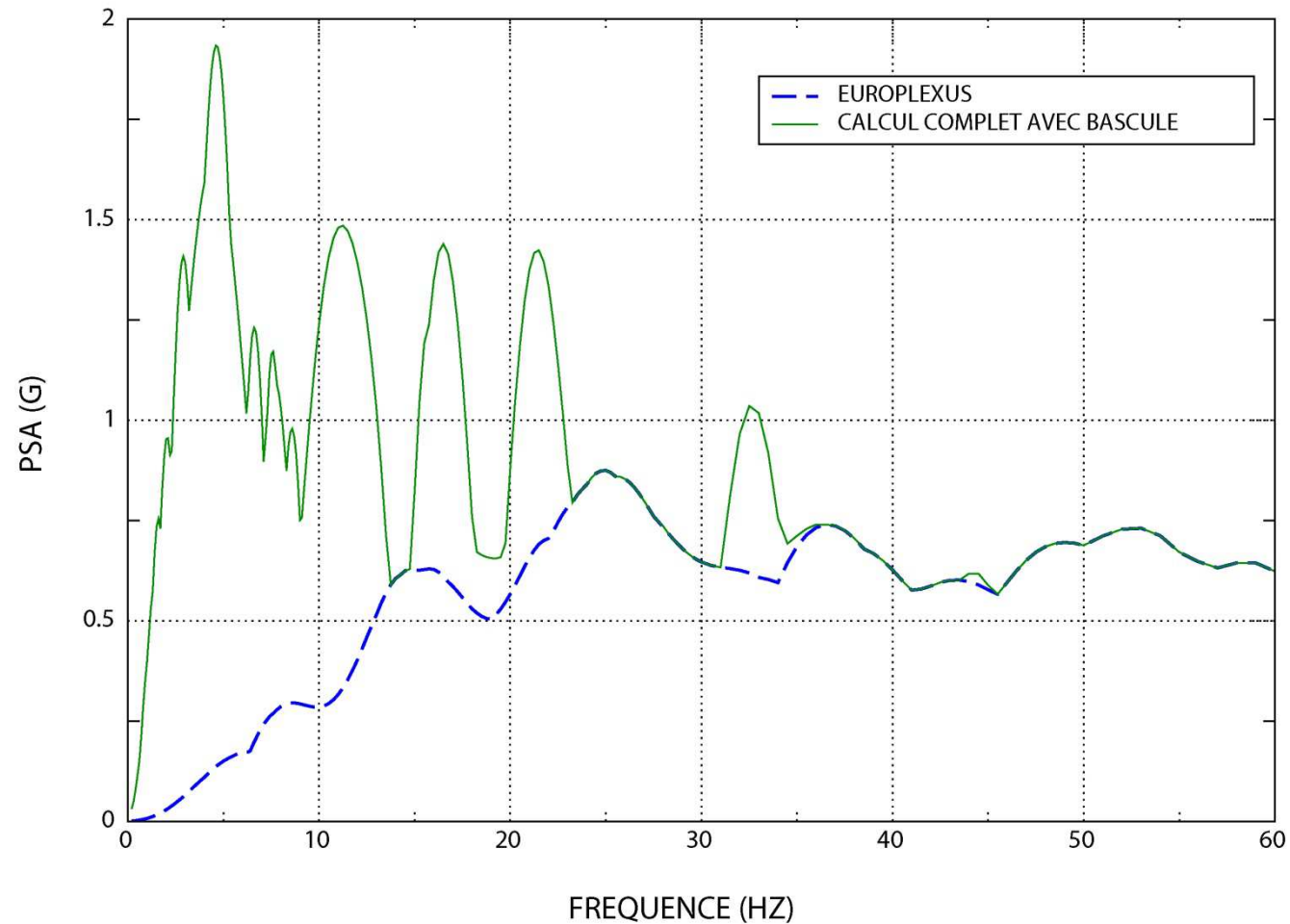
- Optimisation du stockage / pas de temps très variable (facteur 10 minimum)
  - Archivage hétérogène EUROPLEXUS / *Code\_Aster*
  - Observations pour les évolutions
- Reconstruction d'évolutions sur l'intervalle de temps complet
  - Observations séparées entre les codes : fusion de tables
  - Assemblage de fonctions
  - Rééchantillonnage et interpolation (pour les FFT par exemple)
- Calculs de spectres de réponse et spectres de plancher
  - Définition préalables des lieux de post-traitement pour ces calculs
  - Choix des intervalles de fréquence : en dehors du cadre BF sismique classique

## 2. Déroulement d'un calcul

- Etape n°4 : post-traitements

### SRO SOMMET BATIMENT

Direction X, amortissement = 5 %



- Le SRO EUROPLEXUS correspond au début du calcul (jusqu'à 0,2 s) : donc avant ébranlement, ce qui explique le faible niveau en BF, comparé au calcul complet (jusqu'à 5 s)

# 3. Conclusions et perspectives

## ▪ Conclusions

- Maquette en cours de développement avec une phase de vérification lourde qui impacte deux codes de calcul différents
- La méthodologie complète de chaînage fonctionne, mais sa mise en œuvre n'est pas encore évidente (syntaxe, choix des paramètres, post-traitements)
- Des oscillations se produisent lors du rééquilibrage
- Possibilité de mener tous les post-traitements dans Code\_Aster, y compris les analyses spectrales type SRO et spectres de plancher
- Temps CPU (pas d'optimisation : calcul implicite pénalisé par oscillations initiales)
  - 18 000 s EPX pour 0,2 s soit 90 000 s / min de temps physique simulé
  - 300 000 s DNL pour 4,8 s soit 62 500 s / min de temps physique simulé
    - Oscillations : 1 à 2 min par pas de temps (avec des subdivisions)
    - Plus tard (après 1 s) : 25 s par pas de temps
  - Gain envisagé à terme beaucoup plus important !

## ▪ Perspectives

- Tests complémentaires en basculant en implicite plus tardivement
- Optimisation de l'archivage et de l'observation
- Optimisation du temps CPU : choix du pas de temps, parallélisation
- Ergonomie : encapsulation dans les macros d'étapes intermédiaires

# MERCI