



[www.enim.rnu.tn](http://www.enim.rnu.tn)



[www.lgm.rnu.tn](http://www.lgm.rnu.tn)

# Habilitation Universitaire

*Présentée par :*

**ABDELMAJID BENAMARA**

Docteur, Maître Assistant en Génie Mécanique

Département de **G**énie **M**écanique, **ENIM**

**L**aboratoire de **G**énie **M**écanique

*Abdel.benAmara@enim.rnu.tn*

*www.benamara.fb.bz*



# Plan de l'exposé

1- Parcours scientifique

2- Bilan des Activités pédagogiques

5 mn

Partie: I

3- Recherches Post-Doctorales

*Actions, Résultats et Perspectives*

AXE 1 et AXE 2

30 mn

Partie: II

4- Bilan des Activités de Recherche

5- Implications dans la vie Universitaire

10 mn

Partie: III



## 1. Parcours Scientifique

- Maîtrise Science Technique, option FM, ENSET  
• Certificat d'Aptitude à l'Enseignement Technique  
*Mention assez bien* 1990
- DEA Génie Mécanique, option CFM, ENIT  
*Codirection : Pr. B. HadjSaassi et Mr. M. Jemmali* *Mention assez bien* 1992
- Doctorat en Génie Mécanique, ENIT  
• Doctorat en Automatique et Informatique, UVHC  
*Co-tutelle: Pr. A. Dogui (ENIM) et Pr. R. Soenen (UVHC)* *Mention Très Honorable* 1998

## 2. Bilan des Activités Pédagogiques

1 <sup>er</sup> ANNÉE Génie Mécanique ENIM			
MODULES	C	C.I.	T.P.
CAO		<u>15</u>	<u>30</u>
Conception	<u>15</u>		

2 <sup>ème</sup> ANNÉE Génie Mécanique ENIM		
MODULES	C.I.	T.P.
Étude de conception	<u>15</u>	<u>30</u>
Calcul par Éléments Finis	30	<u>15</u>

3 <sup>ème</sup> ANNÉE Génie Mécanique ENIM		
MODULES	C.I.	T.P.
Projet d'industrialisation		<u>30</u>
F.A.O	<u>15</u>	<u>15</u>
Conception intégrée	<u>15</u>	
Modélisation géométrique et CAO	<u>15</u>	

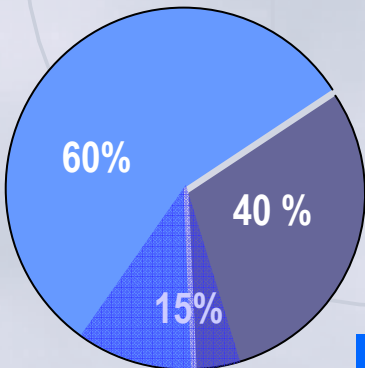
École Polytechnique de Tunisie 3 <sup>ème</sup> ANNÉE Option MEST	
MODULES	depuis 2002
CONCEPTIQUE	15H + mini projets

MASTERE Génie Mécanique ENIM Option Système mécanique	
MODULES	Cours
Méthodes et Modèles de conception des systèmes mécaniques	<u>15h</u>

- 2 Fascicules de cours
- 3 Fascicules de TP

## 2. Bilan des Activités Pédagogiques

Encadrement de PFE	
2005 - 2006	<u>04</u>
2004 - 2005	<u>07</u>
2003 - 2004	<u>03</u>
2002 - 2003	<u>04</u>
2001 - 2002	<u>10</u>
2000 - 2001	<u>03</u>
1999 - 2000	<u>06</u>
<b><u>37 PFE</u></b>	

60%      40 %

15%

■ Étranger (15%)

### ■ Académiques (60%)

- Tunisie (ENIM, EPT)
- France (CER METZ)
- CANADA (UQTR, Univ. LAVAL)

### ■ Industriels (40%)

- Tunisie (AMS, STIA, STIP, CPG, SOGERMA ...)
- France (Labinal - Groupe SNECMA)



# Plan de l'exposé

1- Parcours scientifique

2- Bilan des Activités pédagogiques

5 mn

Partie: I

3- Recherches Post-Doctorales

*Actions, Résultats et Perspectives*

**Axe 1** et **Axe 2**

30 mn

Partie: II

4- Bilan des Activités de Recherche

5- Implications dans la vie Universitaire

10 mn

Partie: III

## 3. Activités de Recherches Post-Doctorales

# Équipes de travail

### Co-encadreurs



A. Dogui, (Pr) ENIM



L. Romdhane (MC) ENIM



H. BelHadjSalah (MC) ENIM



R. Soenen (Pr) Univ Lyon1



D. Deneux (Pr) UVHC



V. François (Pr) UQTR

### Doctorat



N. Aifaoui (s 2003)



B. Louhichi (3a) ←



R. Fredj (3a)



K. Souaissa (1a) ←



I. Hajjaji (1a) ←



M. Hamdi (1a)



O. Hasnaoui (1a)

### Mastères



F. Bouabda (S 2002)



A. Chamekh (S 2003)



K. Belaid (1a)



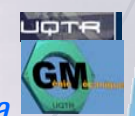
M. BenSaid (1a)

### Financement:

• DGRST/CNRS,  
France



• Fonds Propres  
LGM/UQTR Canada



## Recherches Post-Doctorales (98-06)

- **Axe I : Intégration CAO/Calcul**

*Axe de Recherche principal*

- **Action 1:** *Intégration CAO /Calcul : Une Approches par les Features de Calcul → Action 1.1*
- **Action 2:** *Intégration CAO/Calcul par Reconstruction du Modèle CAO à partir des Résultats de Calcul par Éléments Finis . → Action 2.1*
- **Action 3:** *Plateforme de Développement Dédiée à Intégration CAO/Calcul*

- **Axe II : Modélisation et Étude Expérimentale et Numérique  
des Procédés de Fabrication Mécanique.**

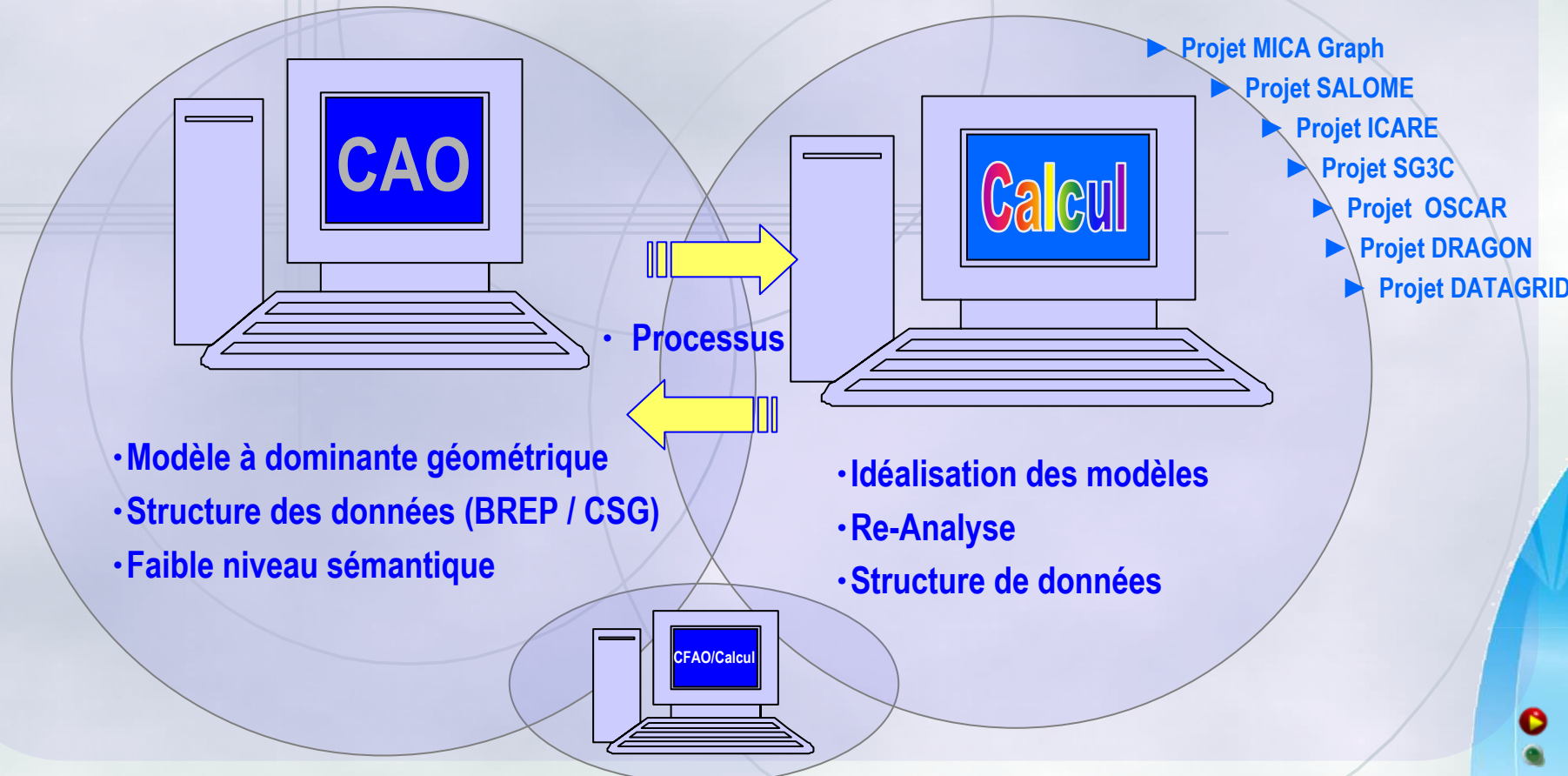
*Axe de Recherche émergent*

- **Action 1:** *Étude Expérimentale et Numérique du Procédé du Tournage Dur → Action 2.1*
- **Action 2:** *Simulation Numérique du Procédé d'Emboutissage des Tôles Mince*



## Axe I : Intégration CAO/Calcul

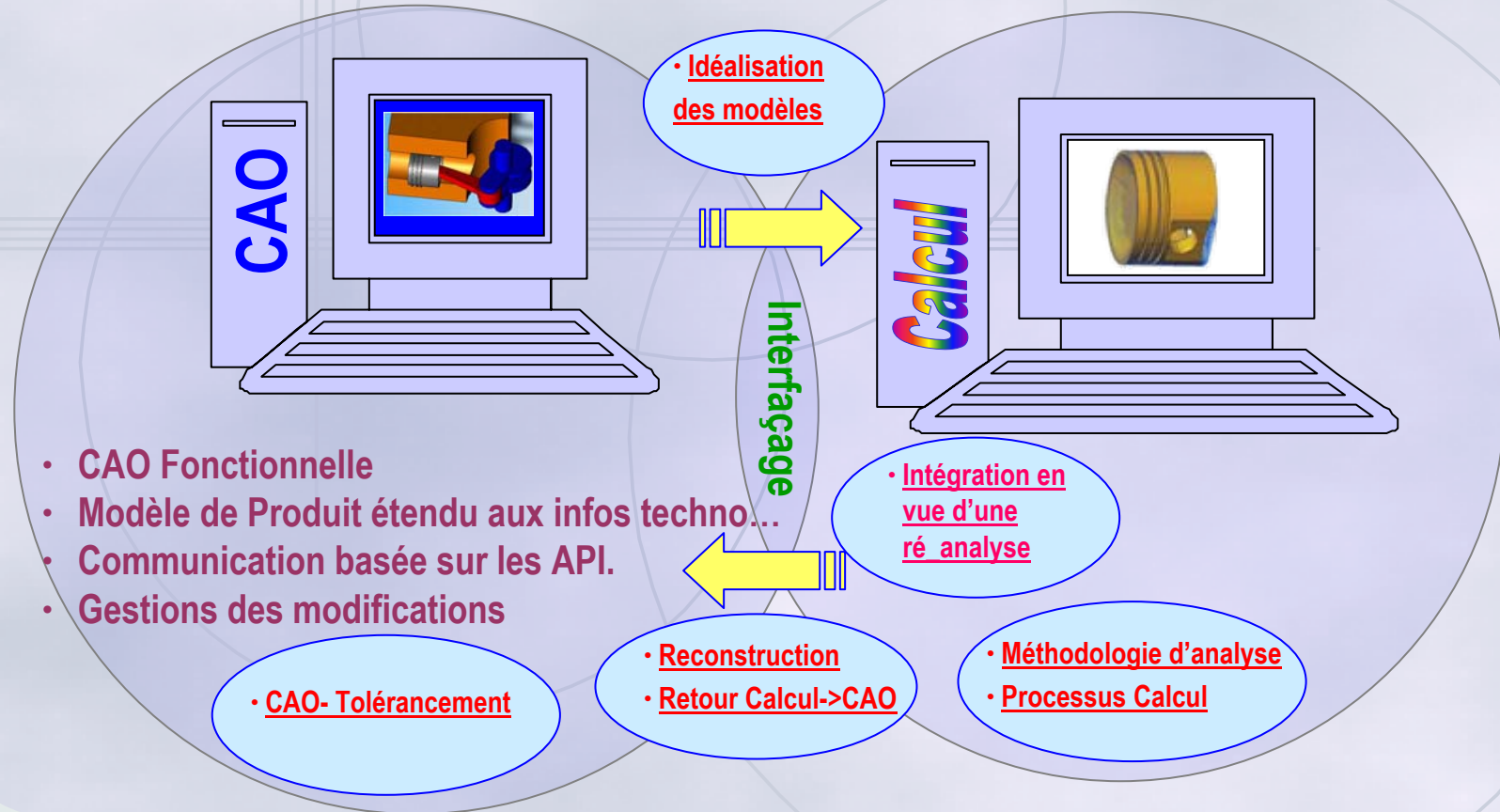
### • Introduction et positionnement des travaux



## 3. Activités de Recherches Post-Doctorales: Axes I

# Axe I : Intégration CAO/Calcul

DEA (92) – Thèse (98) – Encadrement (99-06)



## Axe I : Intégration CAO/Calcul

### • Rappel du travail de thèse

#### ◆ Au niveau du modèle produit

- Modéliser les données requises par les tâches de calcul
- Représenter de manière explicite et structurée les relations entre ces données et les autres données du modèle produit

#### ◆ Au niveau du modèle de processus

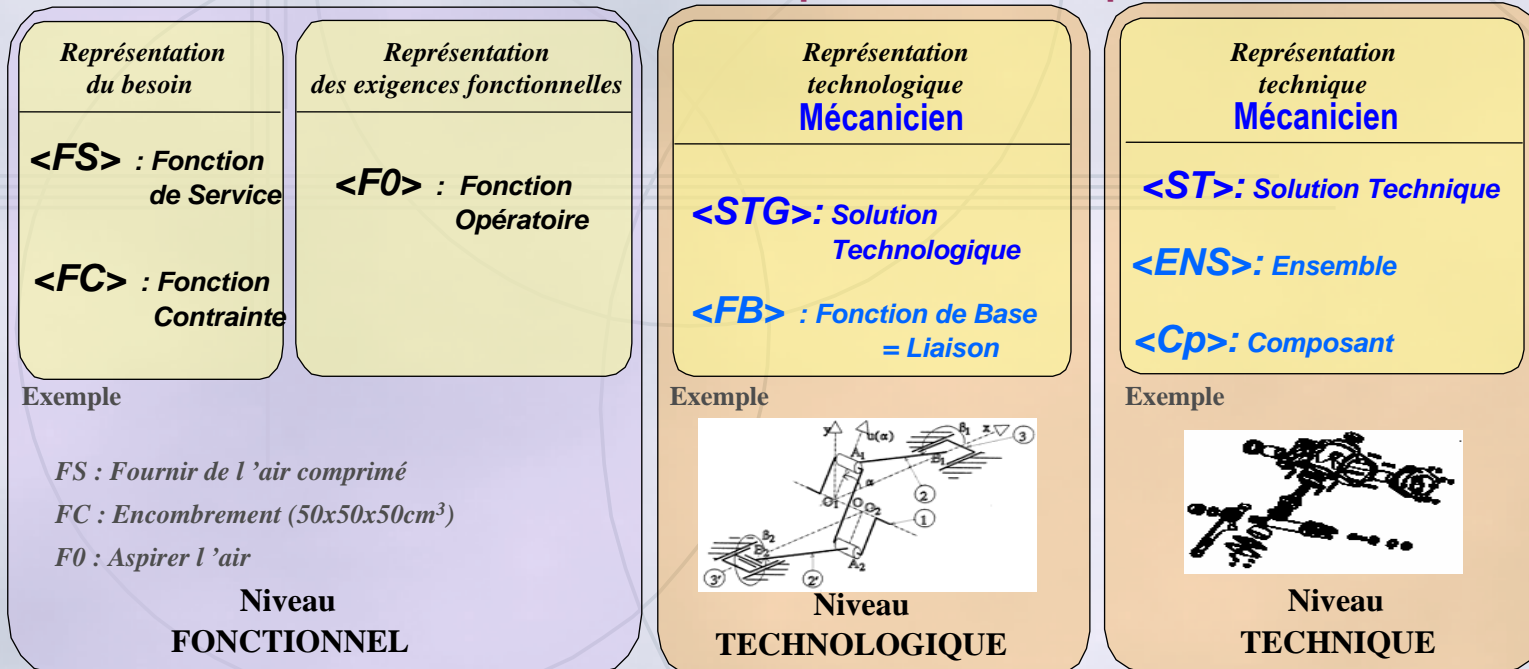
- Permettre l'enchaînement opportuniste de tâches de conception et de tâches de calcul
- Propager dans le modèle produit les conséquences des tâches de calcul

## 3. Activités de Recherches Post-Doctorales: Axes I

# Axe I : Intégration CAO/Calcul

## • Rappel du travail de thèse

### ↓ Les niveaux de représentation du produit



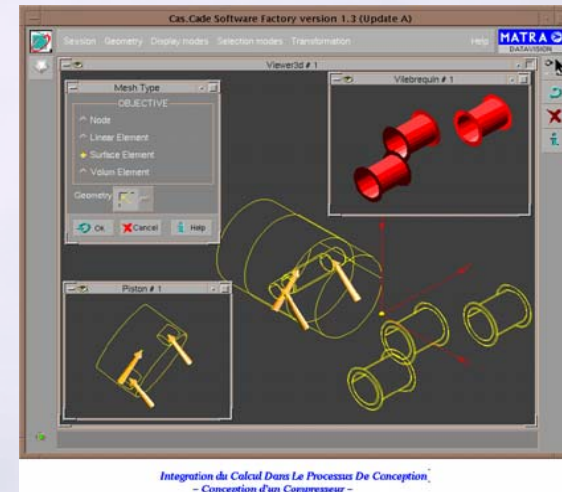
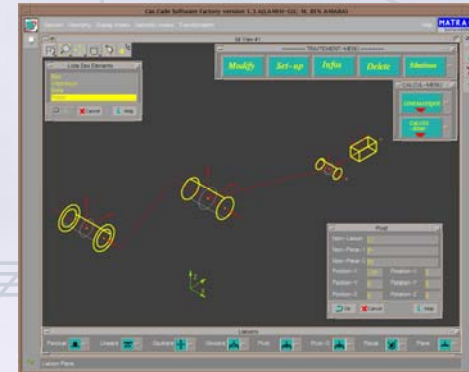
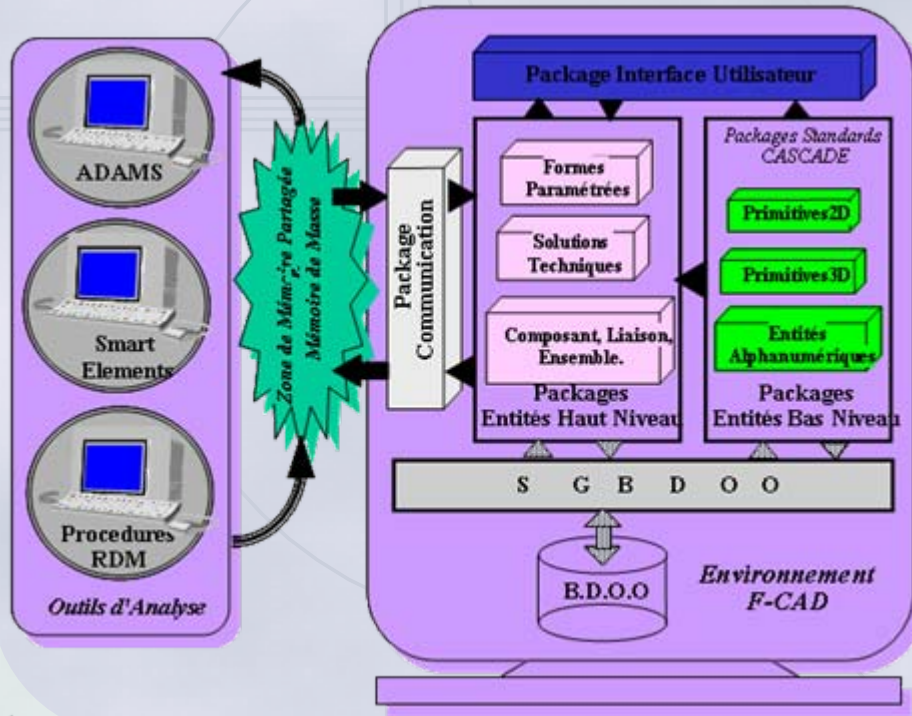
Domaines particulièrement concernés par le calcul



## Axe I : Intégration CAO/Calcul

- Rappel des travaux de thèse

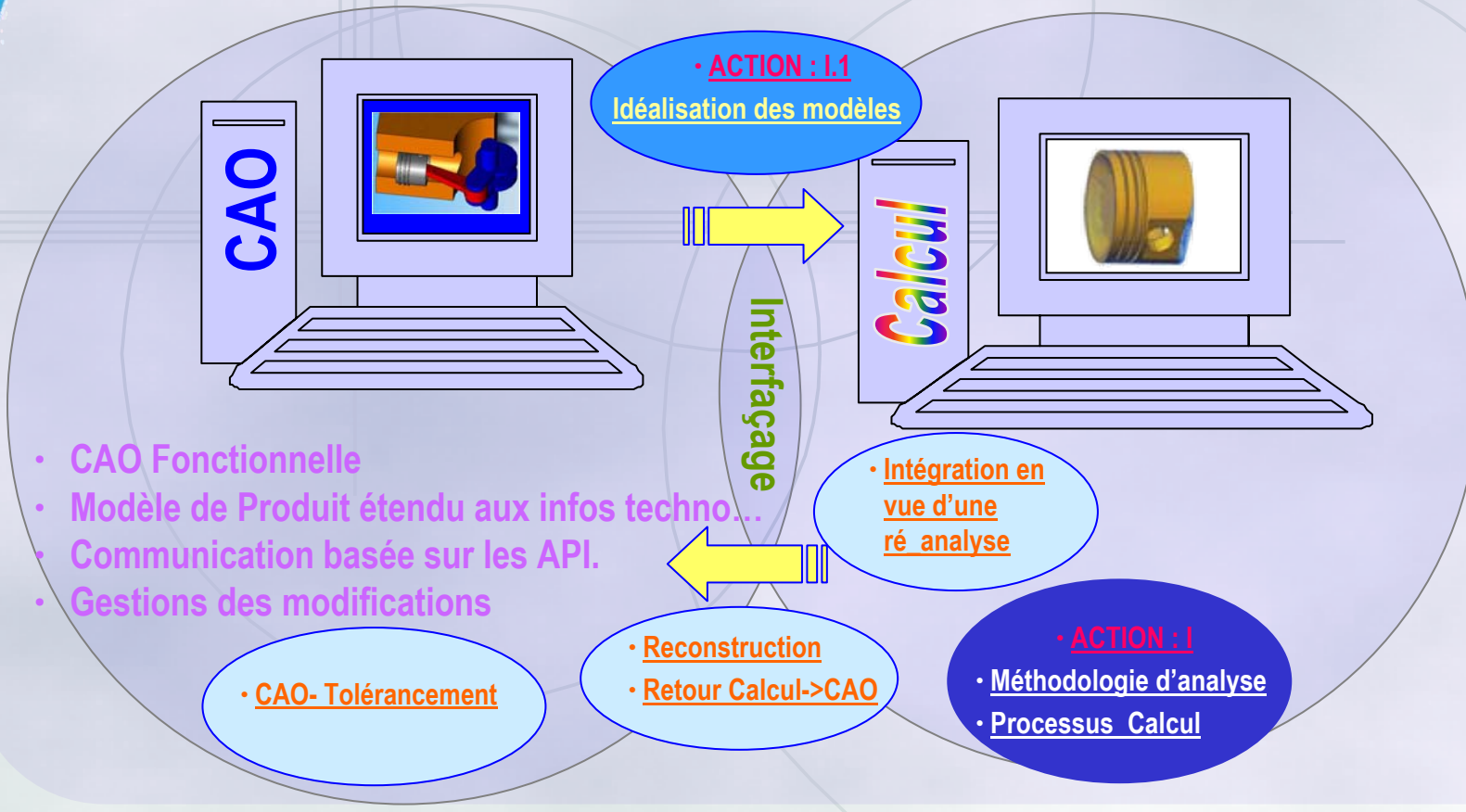
### La Maquette F-CAD :



Intégration du Calcul Dans Le Processus De Conception, - Conception d'un Compresseur -

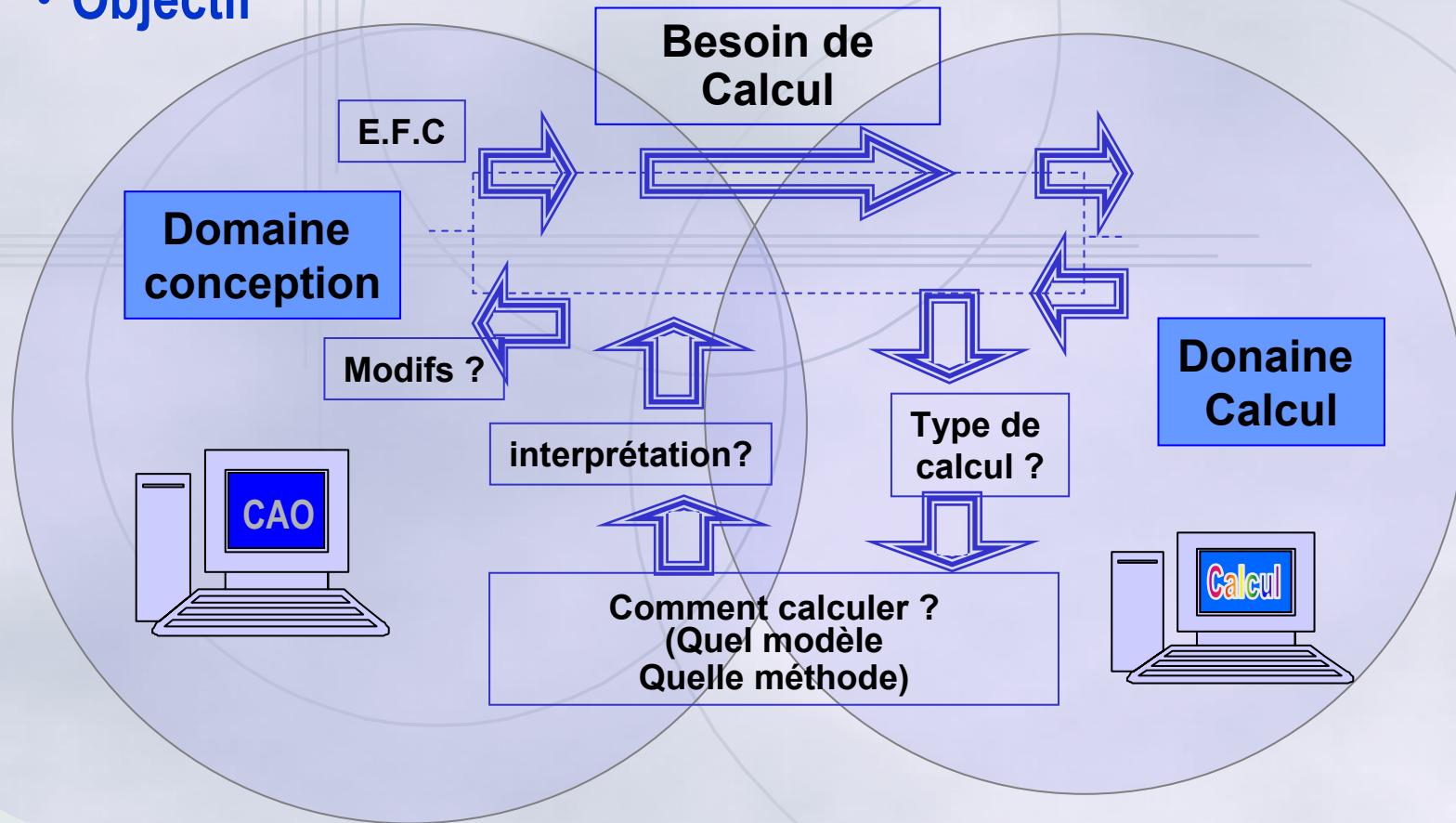
## Axe I : Intégration CAO/Calcul

DEA (92) – Thèse (98) – Encadrement (99-06)



## Axe I - Action 1: *Intégration CAO /Calcul par les Features de Calcul*

- **Objectif**



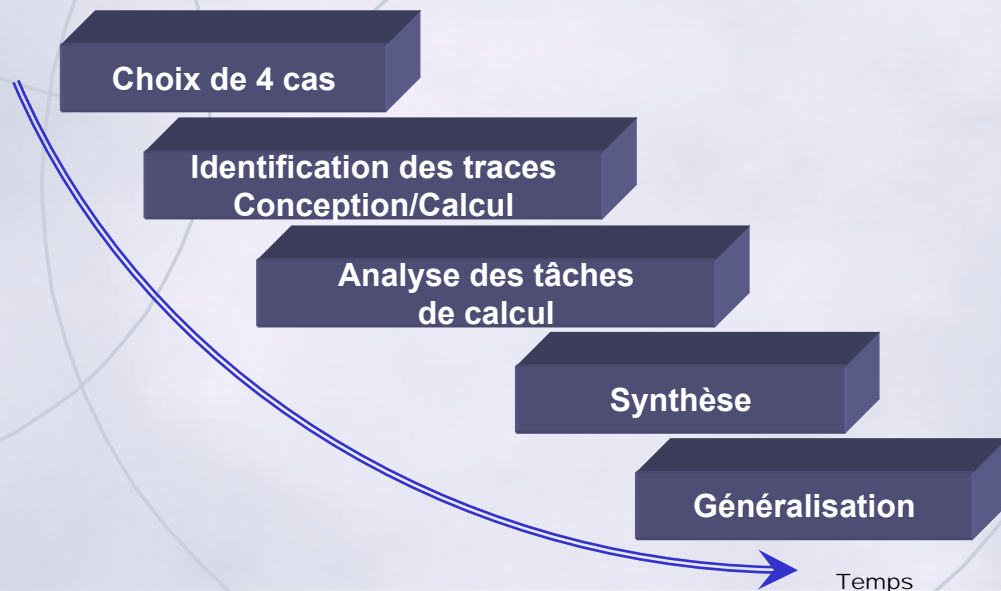
## Axe I - Action 1: *Intégration CAO /Calcul par les Features de Calcul*

### • Objectif

- Interopérabilité des 2 processus
- Contribution de portée générale
- Toutes les phases de modélisation
- différents processus d'analyse
- Réutiliser des processus existants
- Modification et Re-calcul

### • Méthodologie

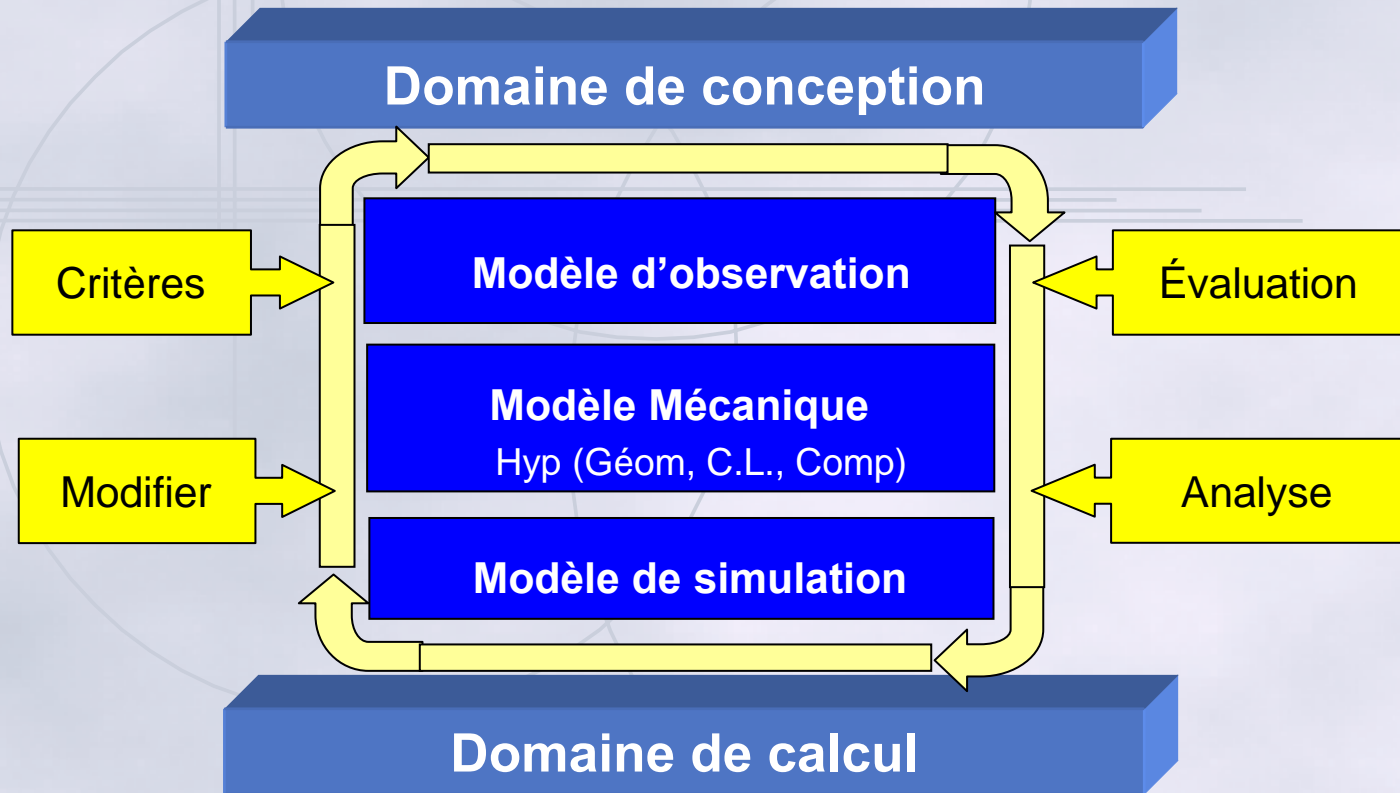
**Étude expérimentale de plusieurs cas de conception**





## Axe I - Action 1: *Intégration CAO /Calcul par les Features de Calcul*

Résultat de l'analyse expérimentale



## Axe I - Action 1: *Intégration CAO /Calcul par les Features de Calcul*

### • Le concept de Feature de Calcul

• [Shah 91], [Joshi 88], [Shi 02] ...

3 Modèles

**<MM>**, **<MS>**, **<MI>**,

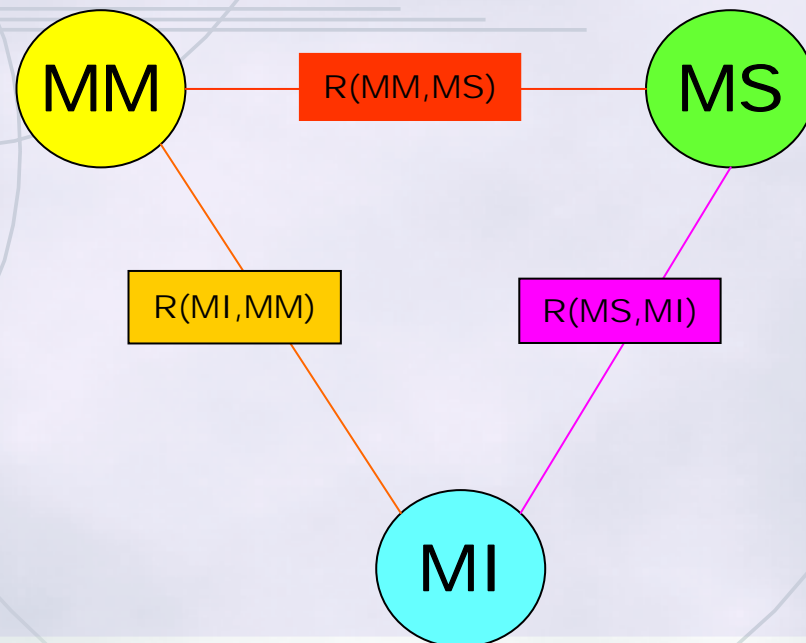
3 relations

**R(MM,MS)**, **R(MS,MI)**, **R(MI,MM)**

**MM: Représentation** d'un ou de plusieurs éléments de la solution de conception établie à partir **d'hypothèses** liées à la forme, au comportement, et aux sollicitations

**MS:** modèle calculatoire du MM, précise les formules et les procédures de calcul susceptibles de produire une évaluation du comportement

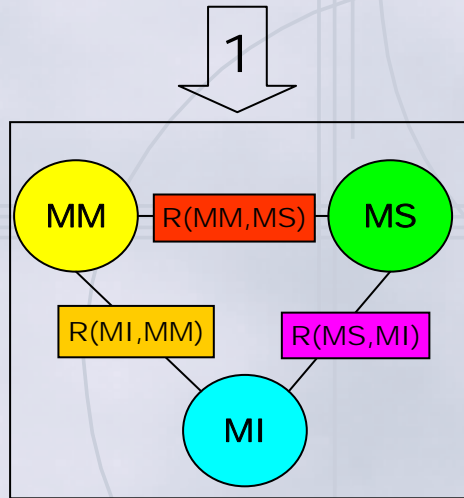
**MI:** Ensemble de variables d'observation du comportement que le concepteur souhaite analyser, il permet également de valider les hypothèses faites au niveau du MM (cf. EFC)



## Axe I - Action 1: Intégration CAO /Calcul par les Features de Calcul

### • Récapitulatif

### • Bilan (1 article, 5 Communications)

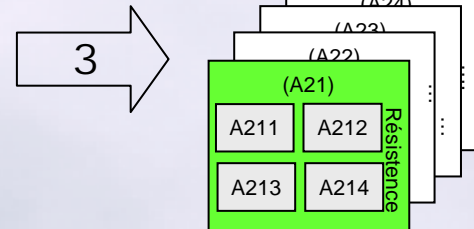
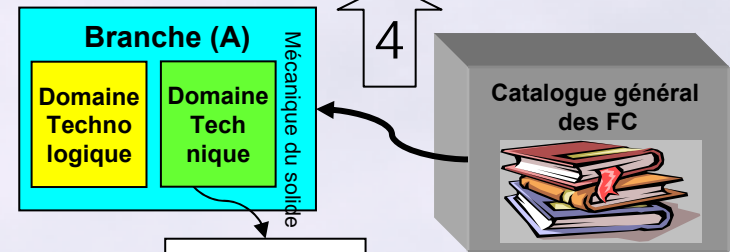
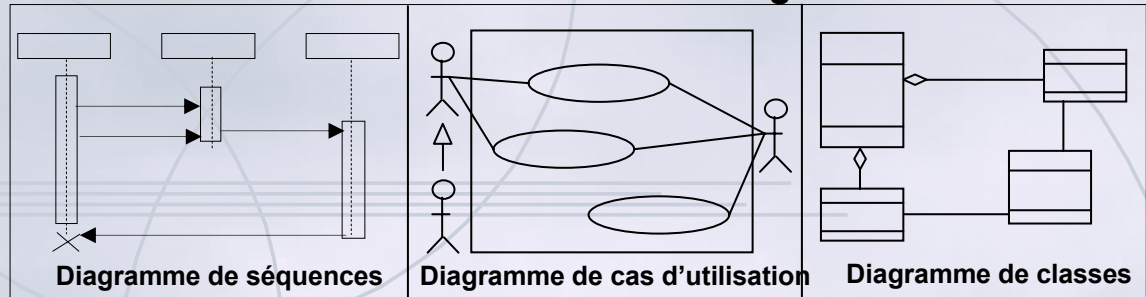


2

Caractérisation complète de 3 classes de features de calcul

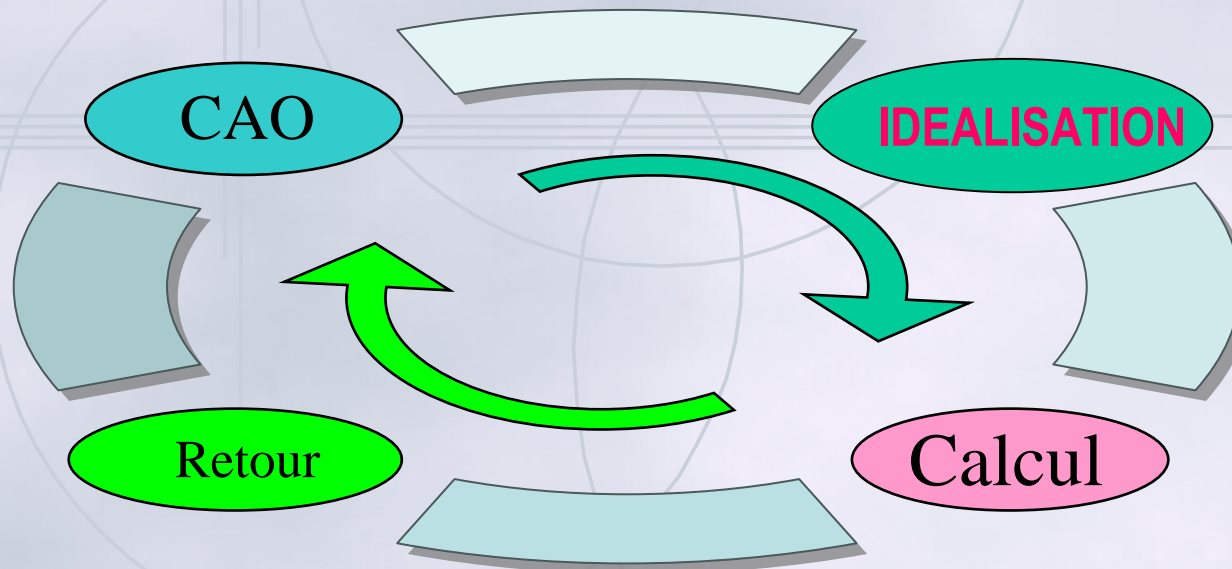
- F. Cinématique
- F. Statique
- F. Résistance

### Utilisation du catalogue



## Axe I - Action 1.1: *Idéalisation des modèles CAO en vue d'un calcul*

- **Objectif :** • **Aide au choix du modèle** → adapter le modèle CAO au besoin du calcul

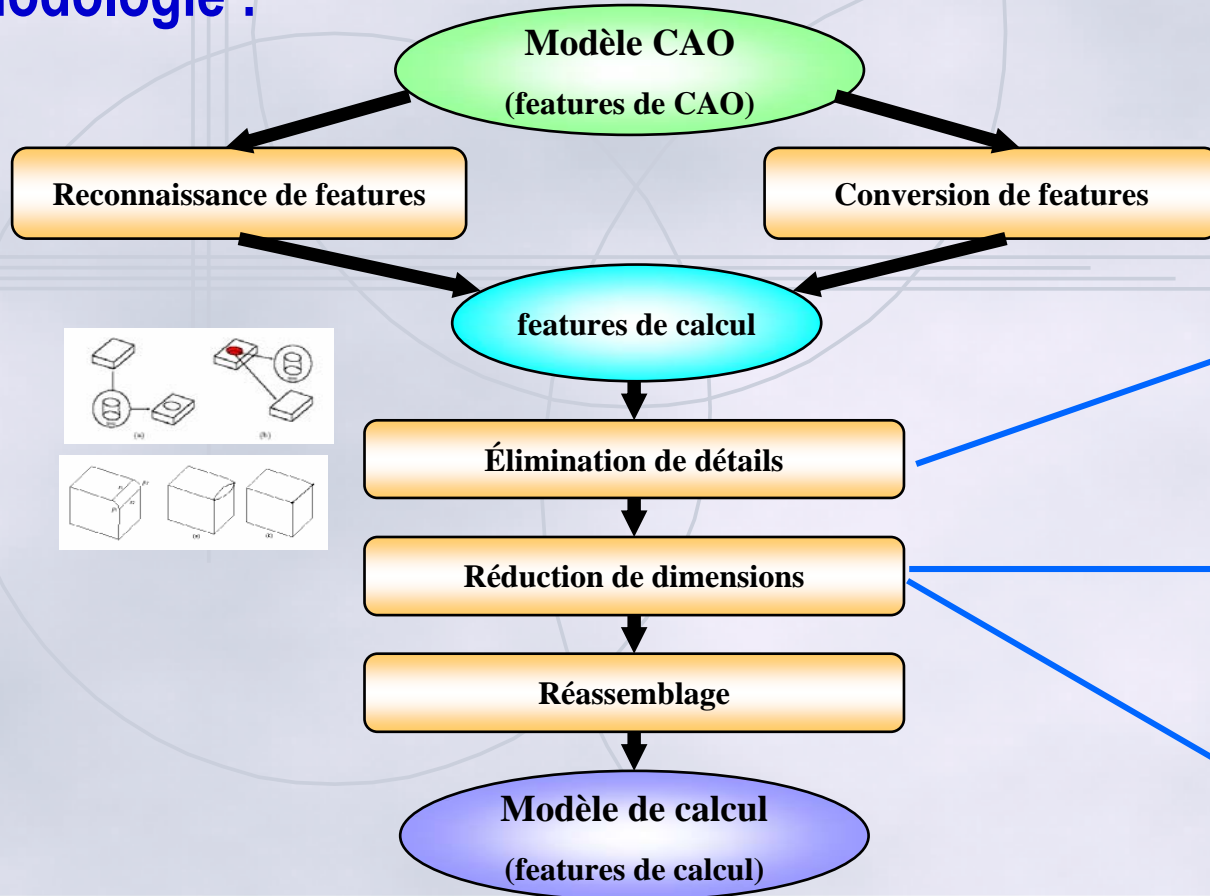


- **Idéalisation du modèle CAO :** Simplification et adaptation du modèle CAO pour le Calcul



## Axe I - Action 1.1: *Idéalisation des modèles CAO en vue d'un calcul*

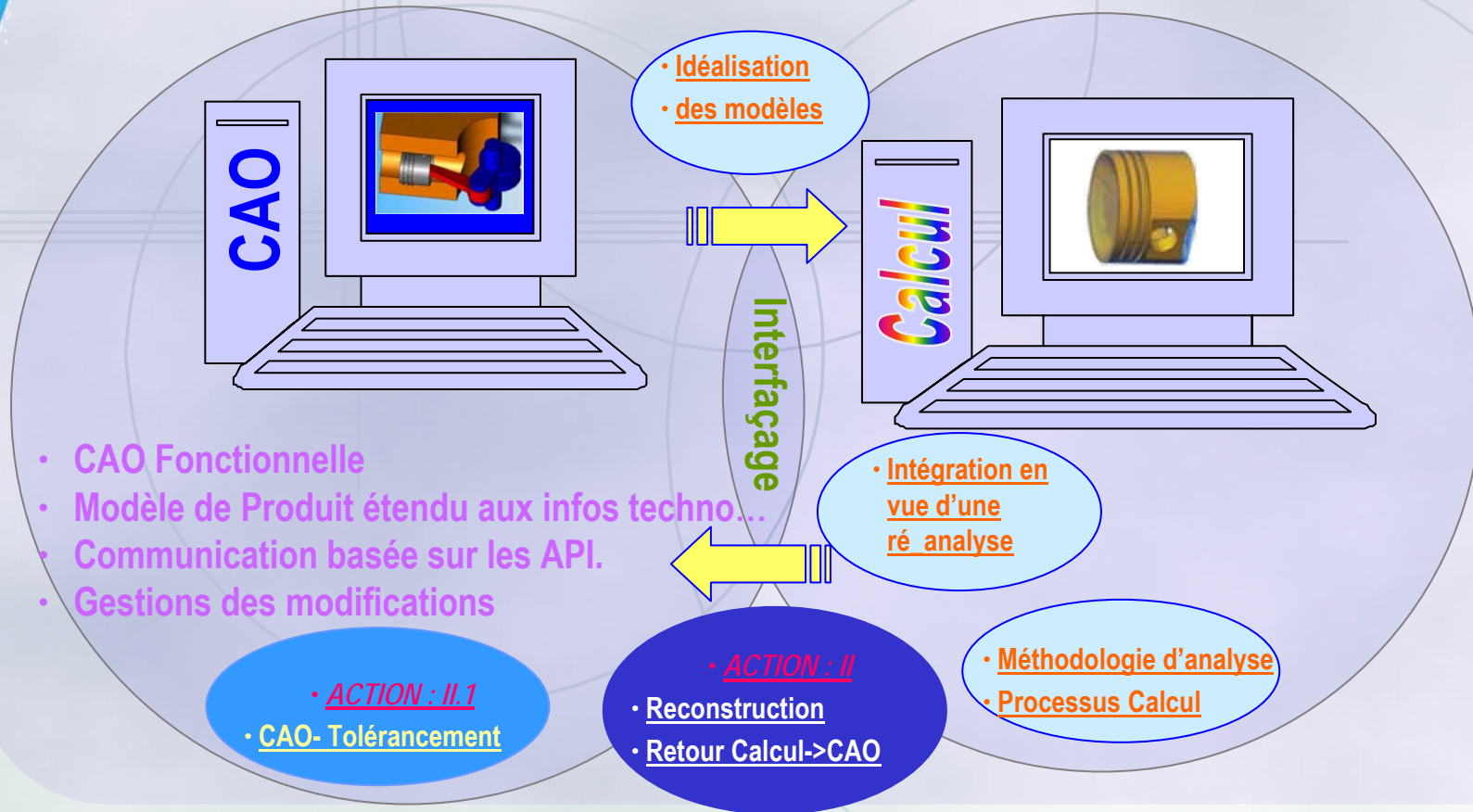
### • Méthodologie :



## 3. Activités de Recherches Post-Doctorales: Axes I

# Axe I : Intégration CAO/Calcul

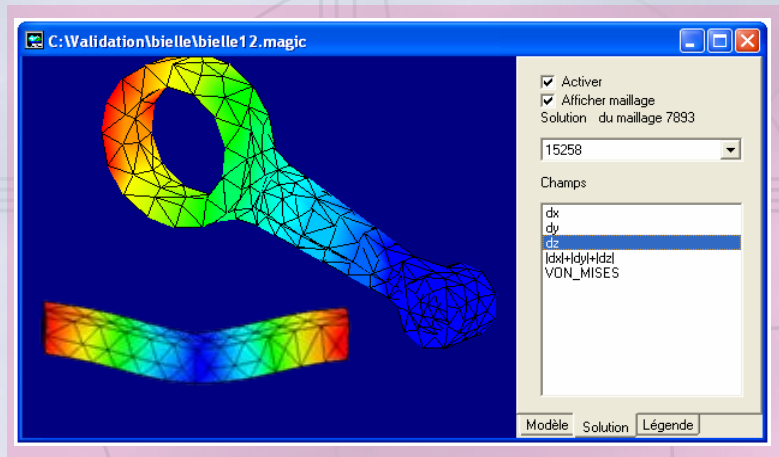
DEA (92) – Thèse (98) – Encadrement (99-06)



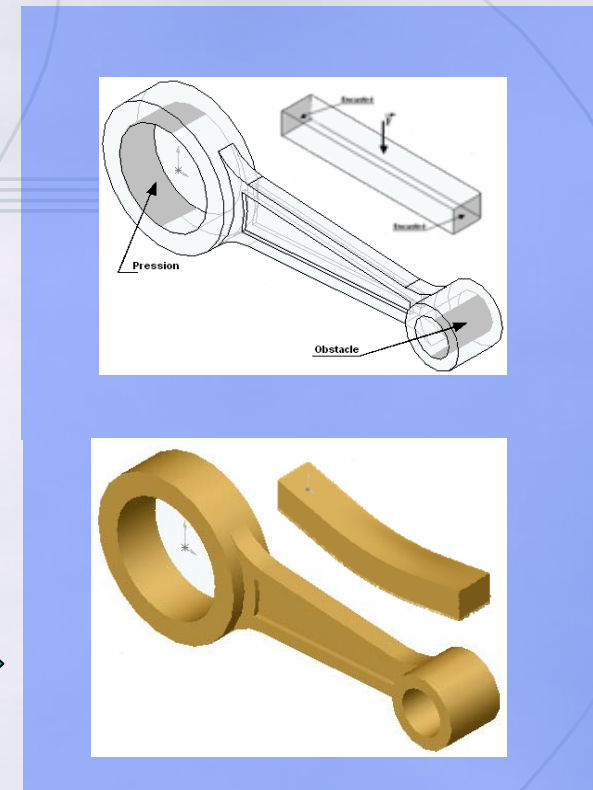
## Axe I - Action 2: *Reconstruction du Modèle CAO à partir des Résultats de Calcul par Éléments Finis*

- **Objectif :**

Environnement CALCUL



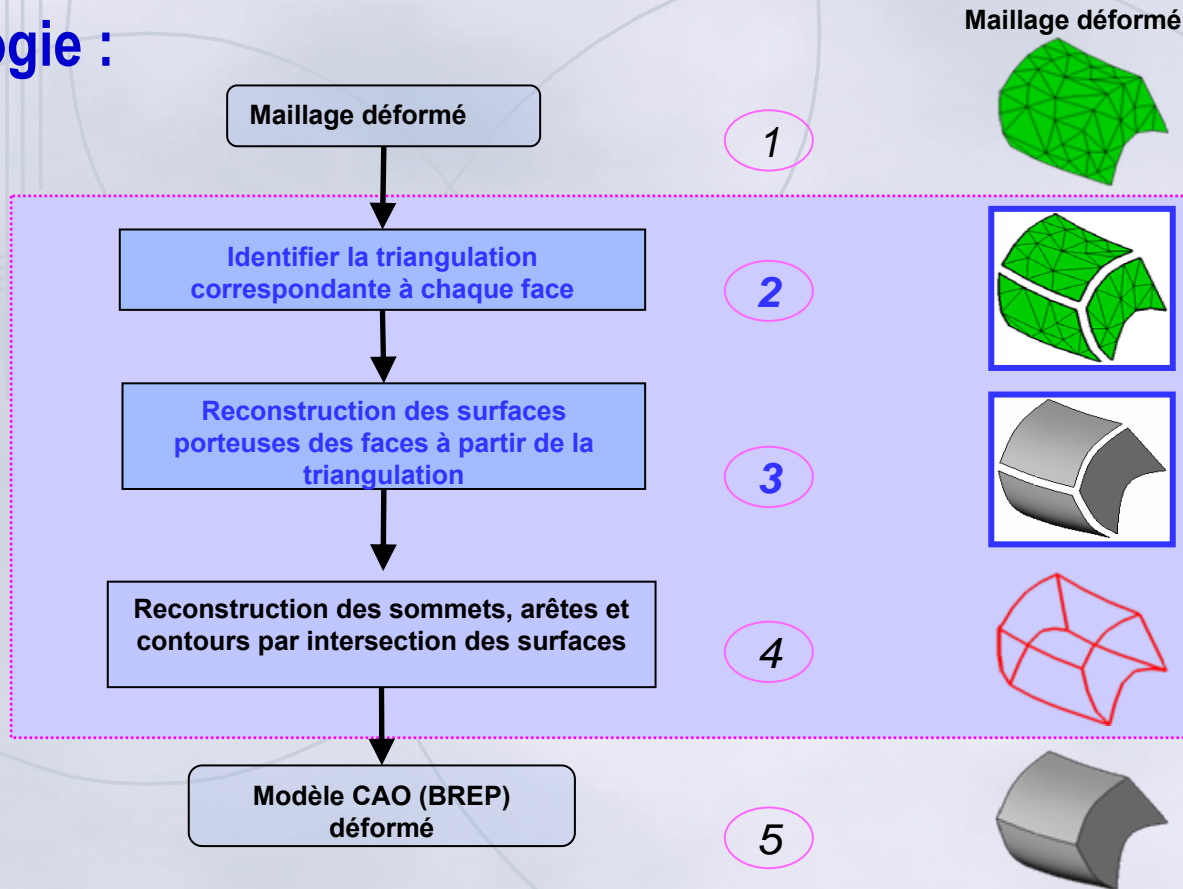
Environnement CAO



**Techniques de Reconstruction du  
modèle CAO à partir du maillage déformé**

## Axe I - Action 2: *Reconstruction du Modèle CAO à partir des Résultats de Calcul par Éléments Finis*

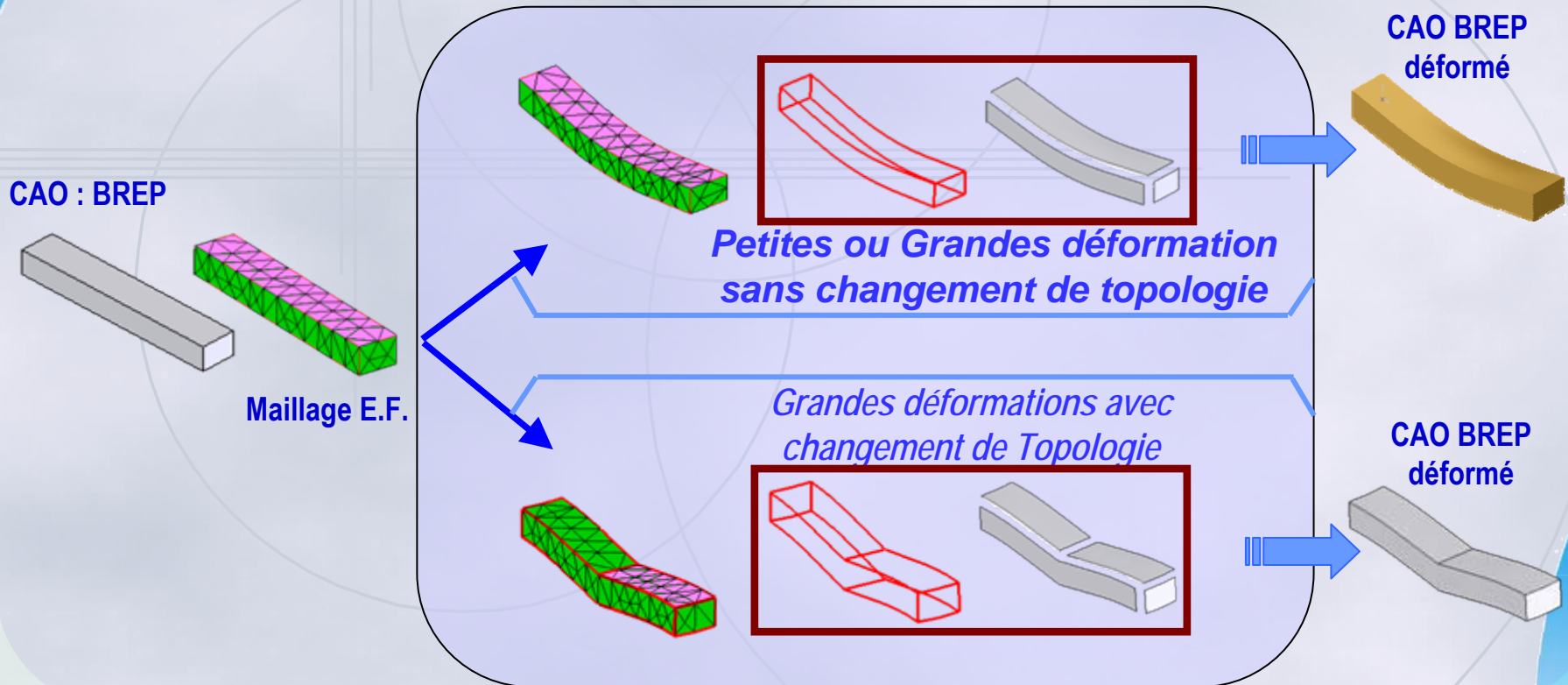
### • Méthodologie :





## Axe I - Action 2: *Reconstruction du Modèle CAO à partir des Résultats de Calcul par Éléments Finis*

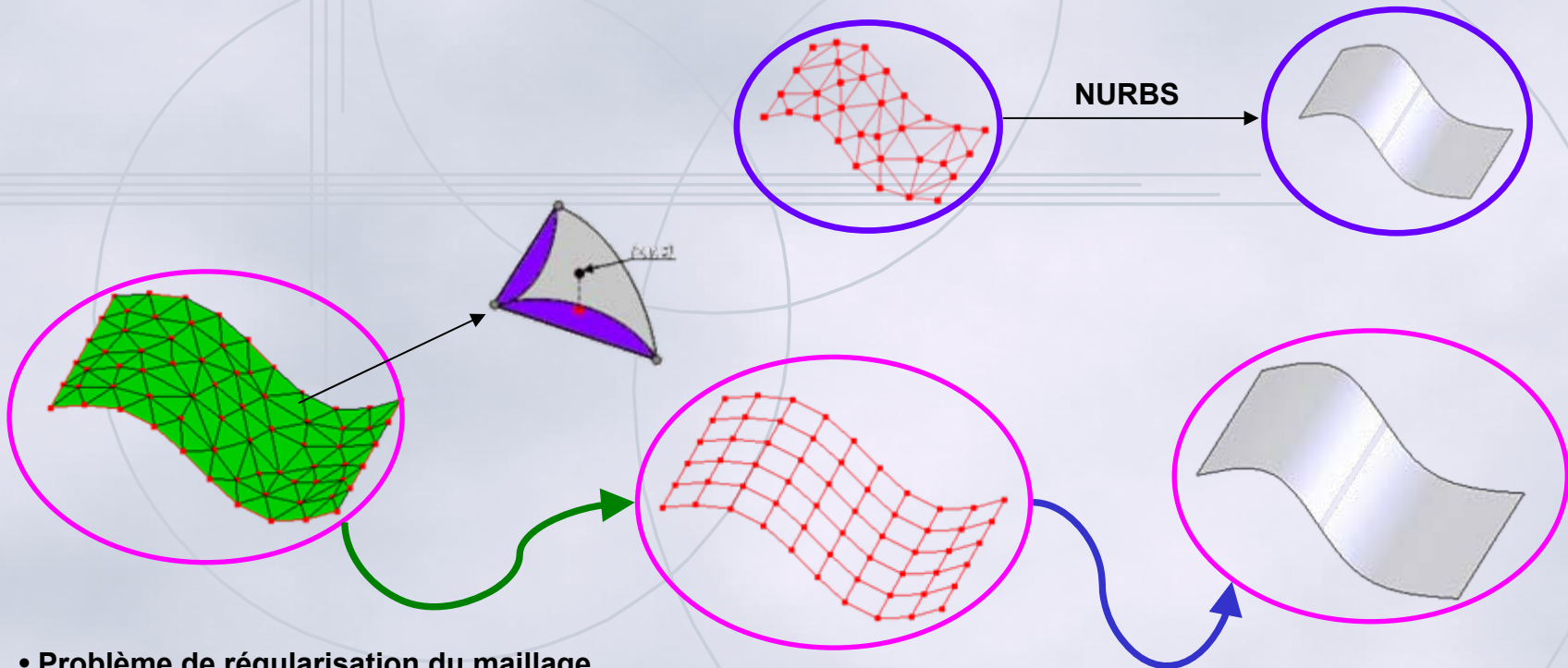
- Analyse du problème :**



3. Activités de Recherches Post-Doctorales: **Axes I – Action2.**

## Axe I - Action 2: *Reconstruction du Modèle CAO à partir des Résultats de Calcul par Éléments Finis*

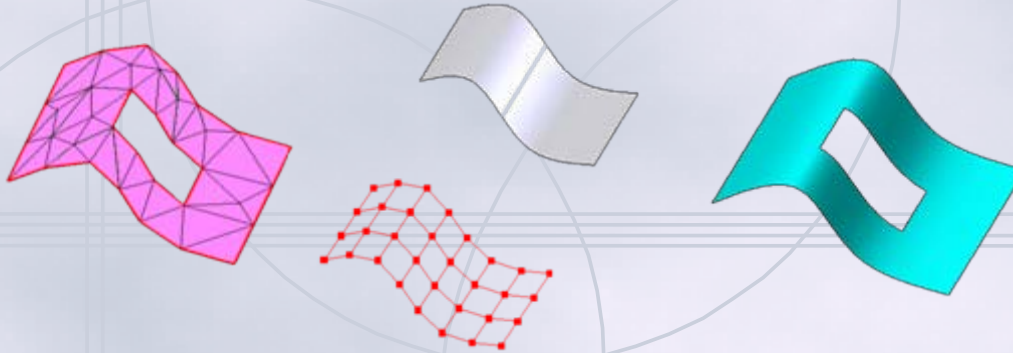
### • Reconstruction des surfaces porteuses



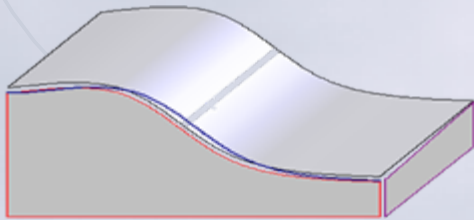
- Problème de régularisation du maillage
- Précision de l'approximation [Walton 03]

## Axe I - Action 2: *Reconstruction du Modèle CAO à partir des Résultats de Calcul par Éléments Finis*

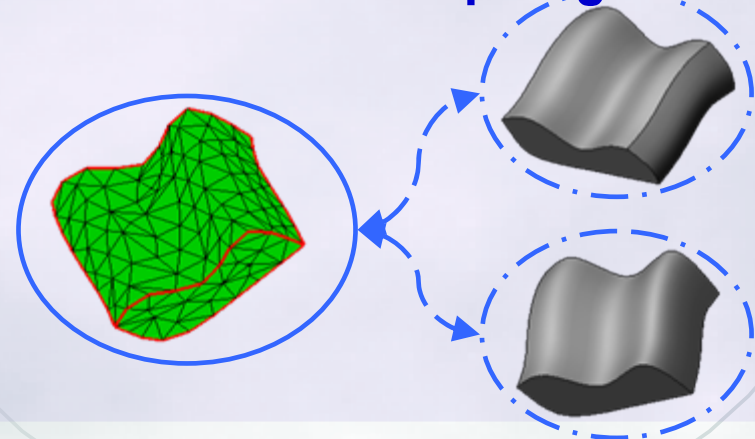
- **Surfaces gauches avec plusieurs contours intérieurs:**



- **Erreurs numériques:**



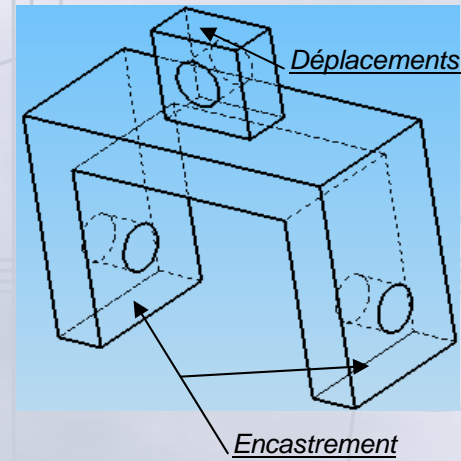
- **Recherche de Topologie :**



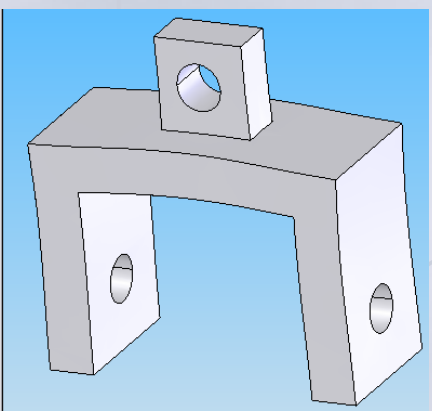
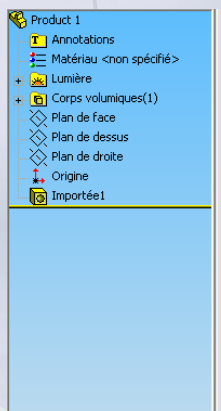
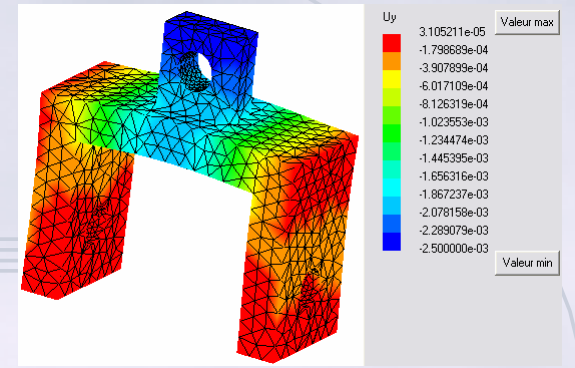
## 3. Activités de Recherches Post-Doctorales: Axes I – Action2.

# Axe I - Action 2: Reconstruction du Modèle CAO à partir des Résultats de Calcul par Éléments Finis

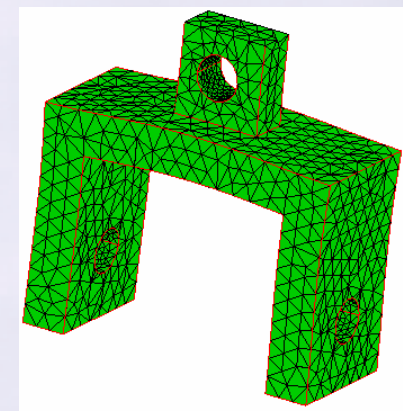
### • Résultats :



**Calcul**



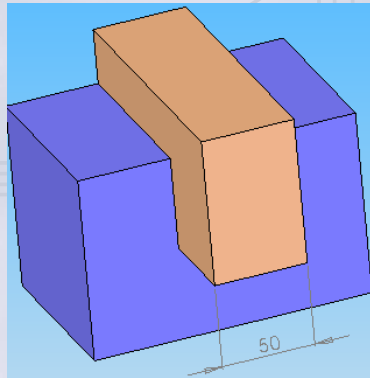
**Reconstruction**



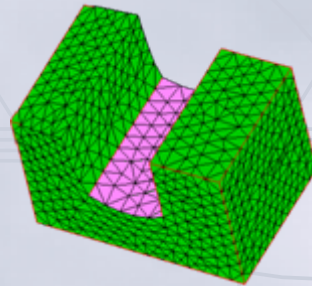


## Axe I - Action 2: *Reconstruction du Modèle CAO à partir des Résultats de Calcul par Éléments Finis*

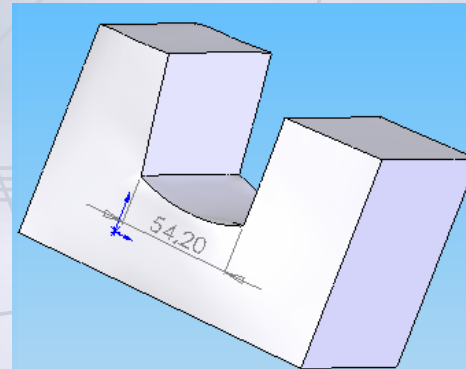
### • Interprétation des surfaces en assemblage et collisions :



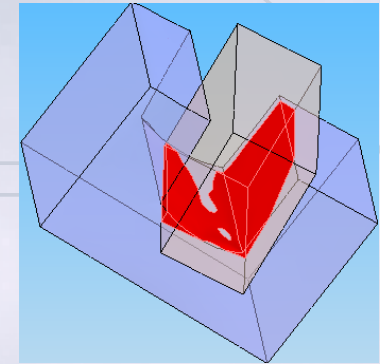
Assemblage (SW)



Maillage déff (Magic)



Solide déformé (SW)



Assemblage déformé (SW)

### • Travaux en cours :

- Forcer le type des surfaces en cas de déformation faibles ou uniformes.
- Modèle de CAO Orienté Tolérancement (CAOT) : → **Projet de MASTERE en cours**

### • Bilan (Thèse en 3 a, 1 article, 7 Communications)

## Axe I - Action 2.1: *Modèle de CAO orienté Tolérancement*

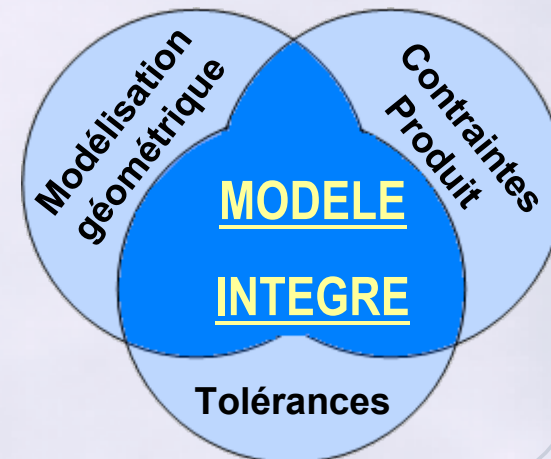
### • Objectifs :

Tenir compte des tolérances dans les systèmes CAO en vue de:

- Vérifier, par simulation, les plages de déformations admissibles en assemblage
- Détecter les interférences dues aux déformations
- Réaliser différentes représentations d'une pièce mécanique.

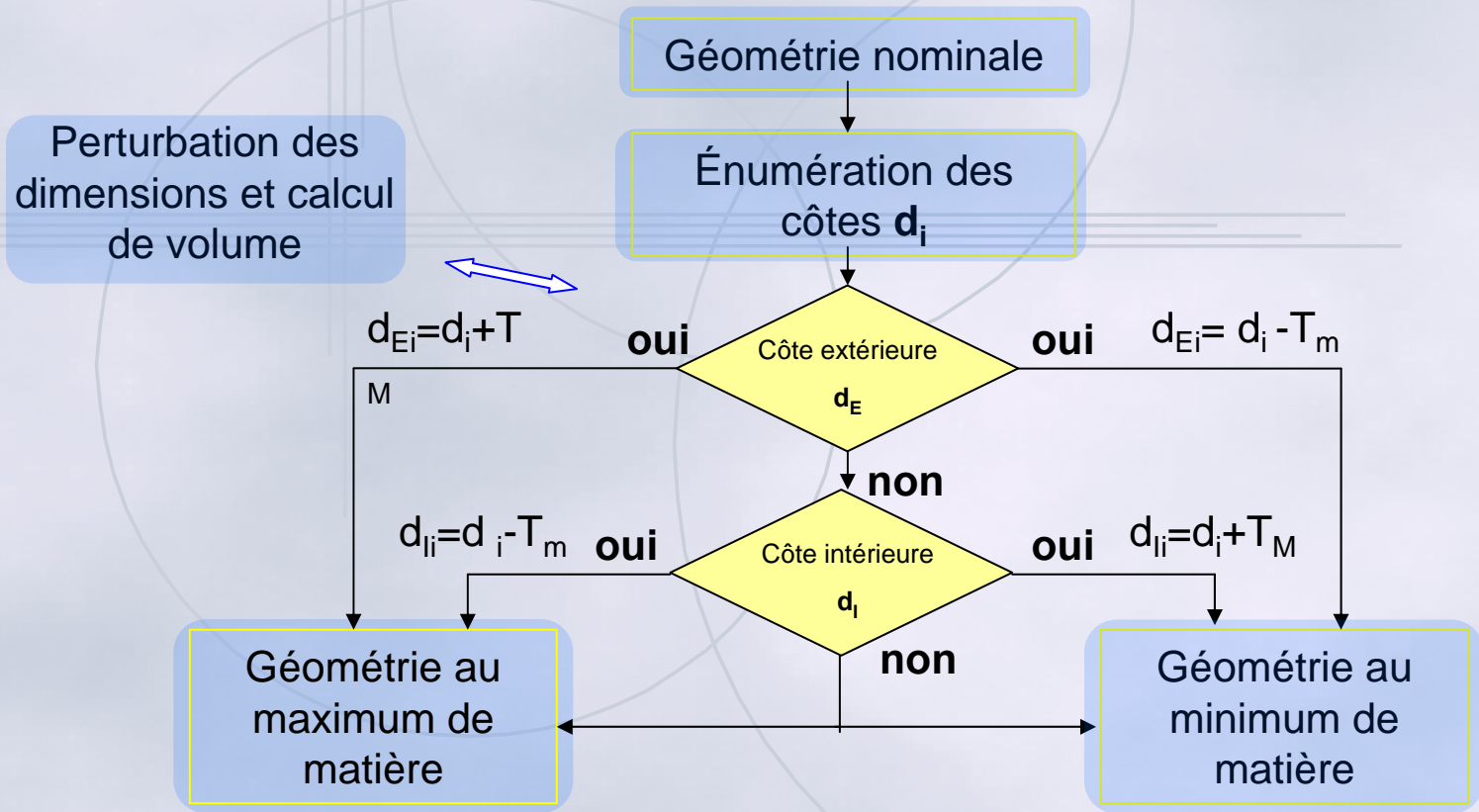
A partir d'une configuration nominale tolérancée, générer automatiquement:

- ✓ La configuration max et min de matière
- ✓ Configuration réelle.



## Axe I - Action 2: *Modèle de CAO orienté Tolérancement*

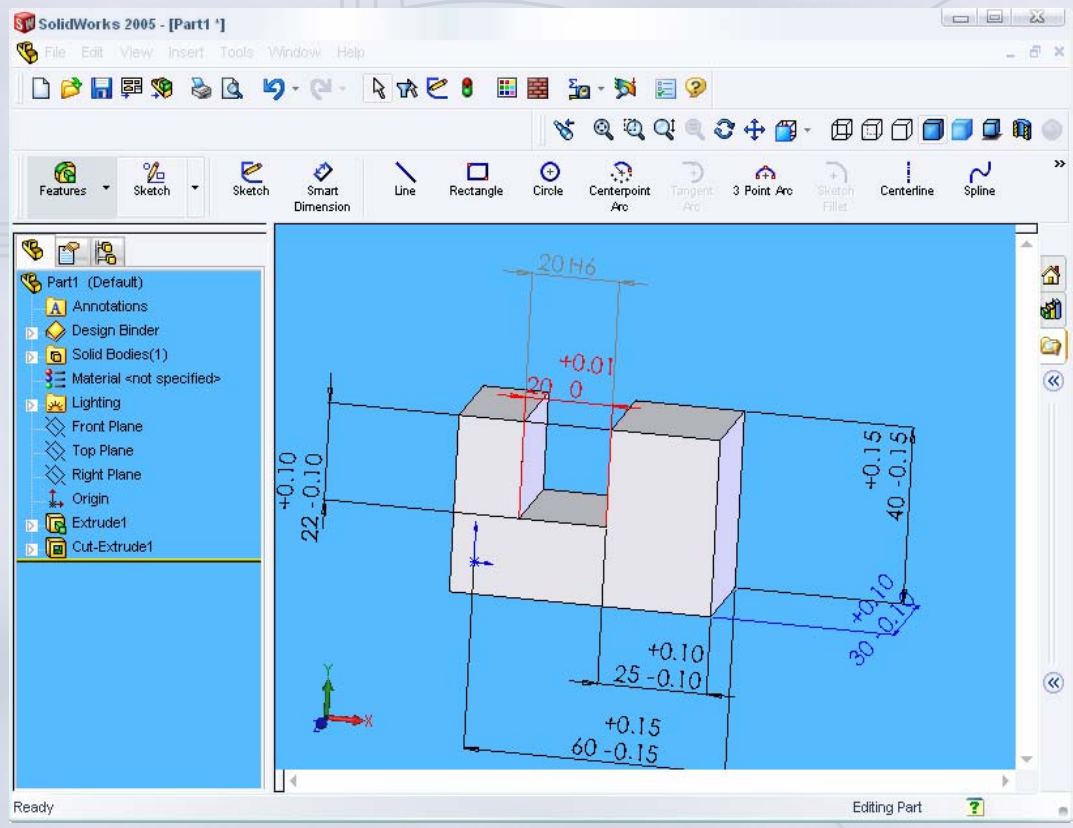
- **Solution de base: prise en compte de tolérances dimensionnelles**



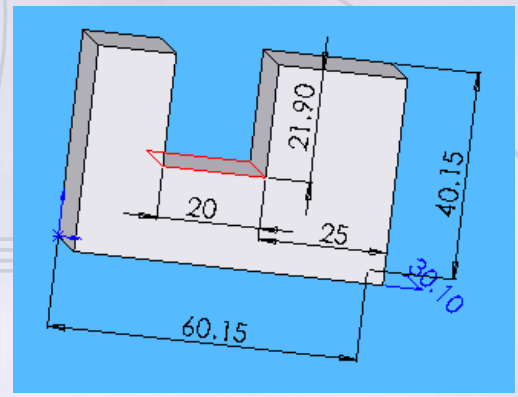
3. Activités de Recherches Post-Doctorales: **Axes I – Action2.1.**

## Axe I - Action 2: *Modèle de CAO orienté Tolérancement*

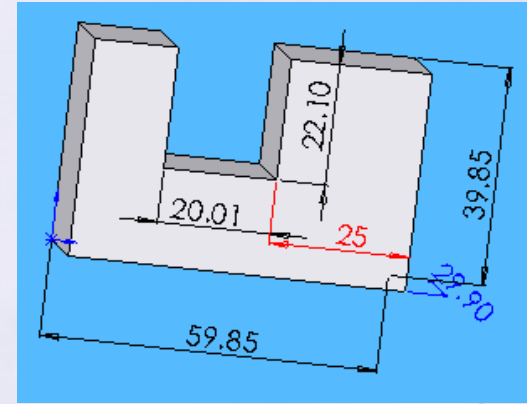
- Quelques résultats



**Config. NOMINALE (SW)**



**Config. Min Mat (SW)**

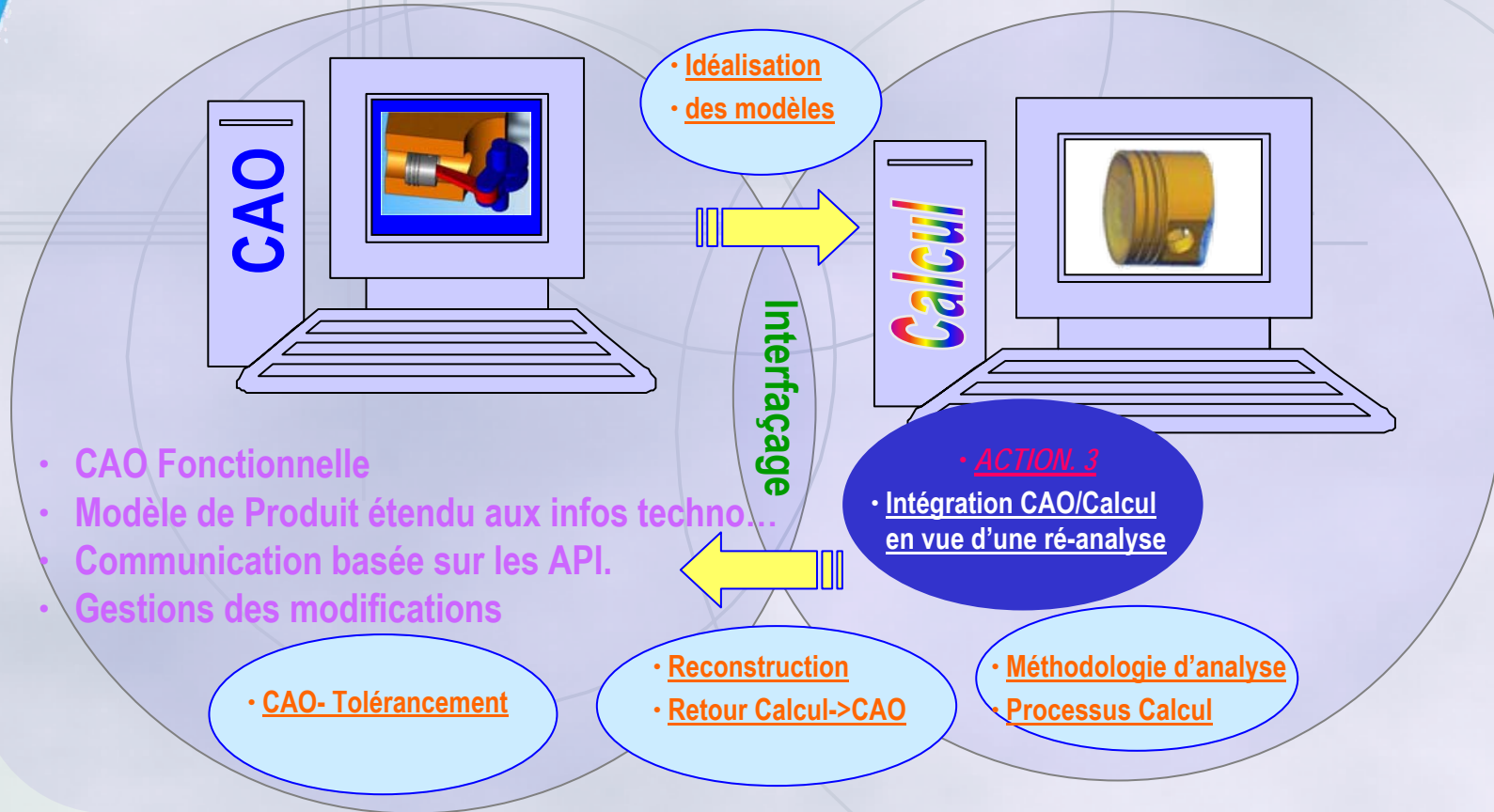


**Config. MAX Mat (SW)**



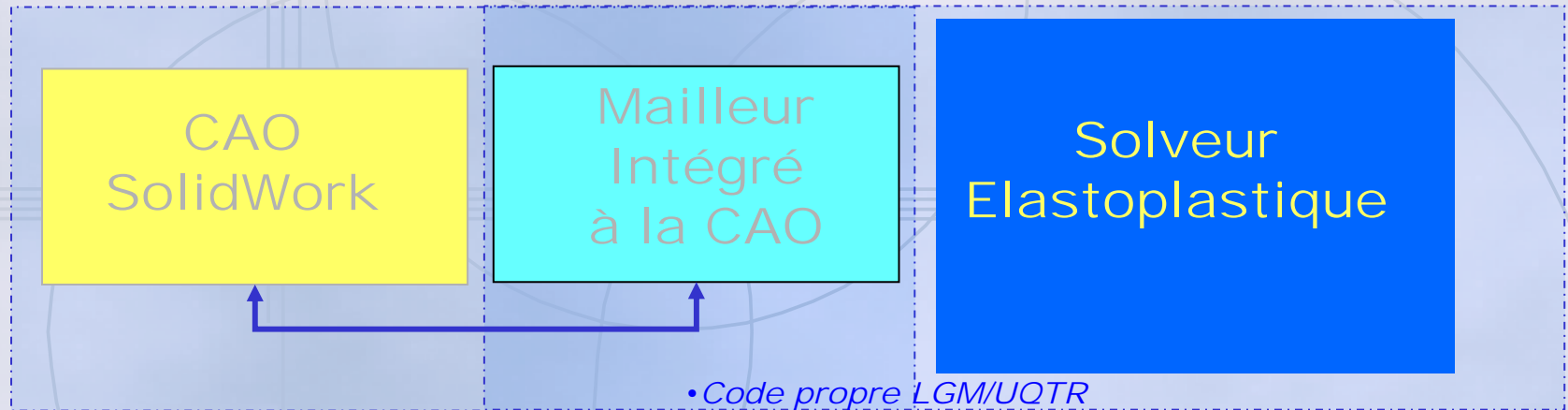
## Axe I : Intégration CAO/Calcul

DEA (92) – Thèse (98) – Encadrement (99-06)



## Axe I - Action 3: *Plate forme de développement dédiée à l'intégration CAO/Calcul*

### • Objectifs :



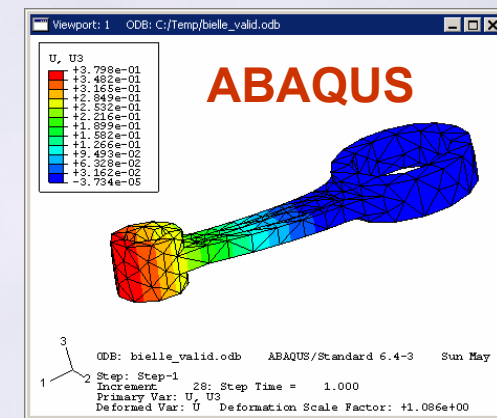
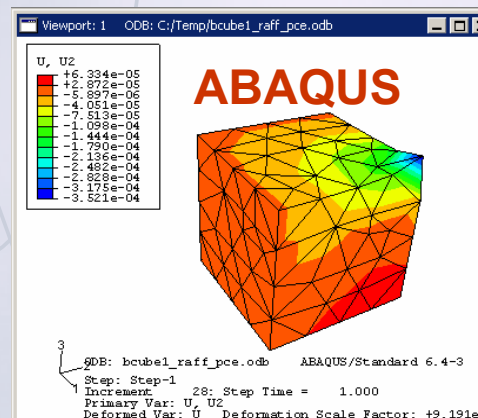
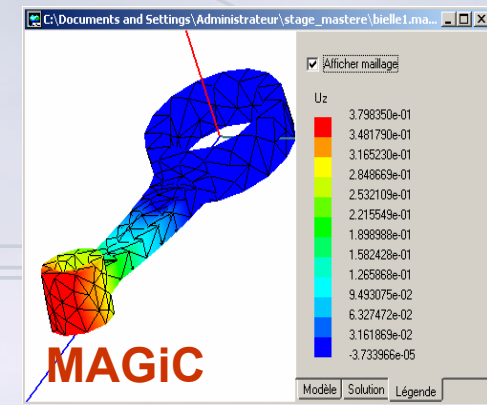
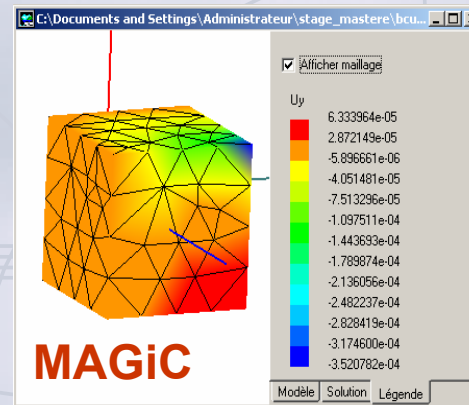
- Solveur Elastoplastique **intégré** à la CAO
- **Lien dynamique** entre CAO-Maillage
- Optimisation des modifs (**ne pas remailler tout**)
- **Carte de taille**  $f(\text{CL}, \text{singularité géométriques})$

## 3. Activités de Recherches Post-Doctorales: Axes I – Action3

### Axe I - Action 3: Plate forme de développement dédiée à l'intégration CAO/Calcul

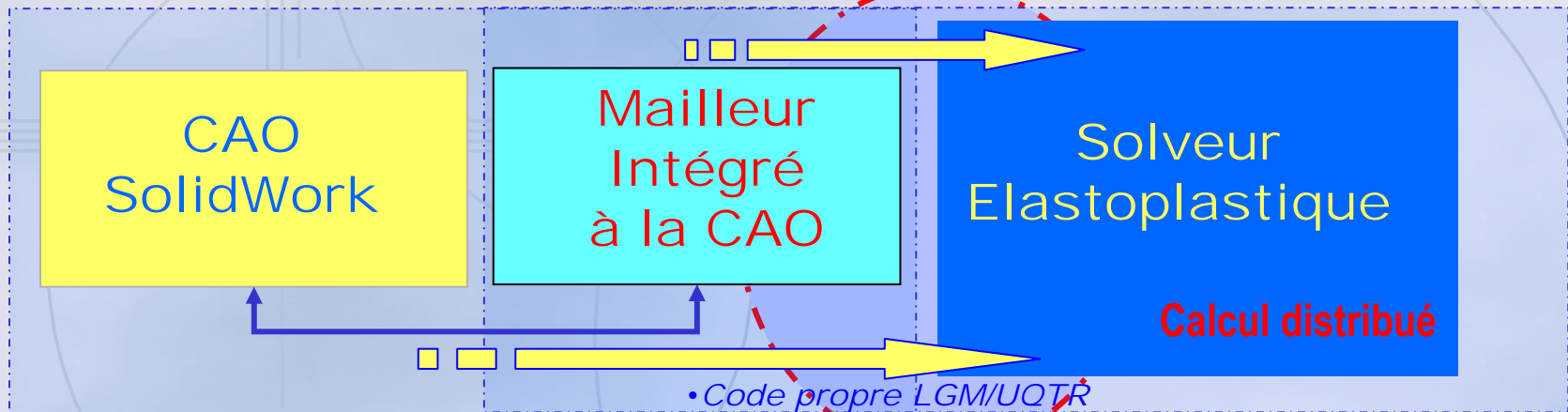
#### • Résultats :

- ✓ Solveur Elastoplastique Validé
- ✓ Solveur intégré à la CAO
- ✓ Temps de calcul ??
- ✓ Plate forme pour les futurs développement



## Axe I - Action 3: *Plate forme de développement dédiée à l'intégration CAO/Calcul*

- Objectifs 1 : Ne pas remailler tout
- Objectif actuel: **Ne pas recalculer tout** (calcul distribué)



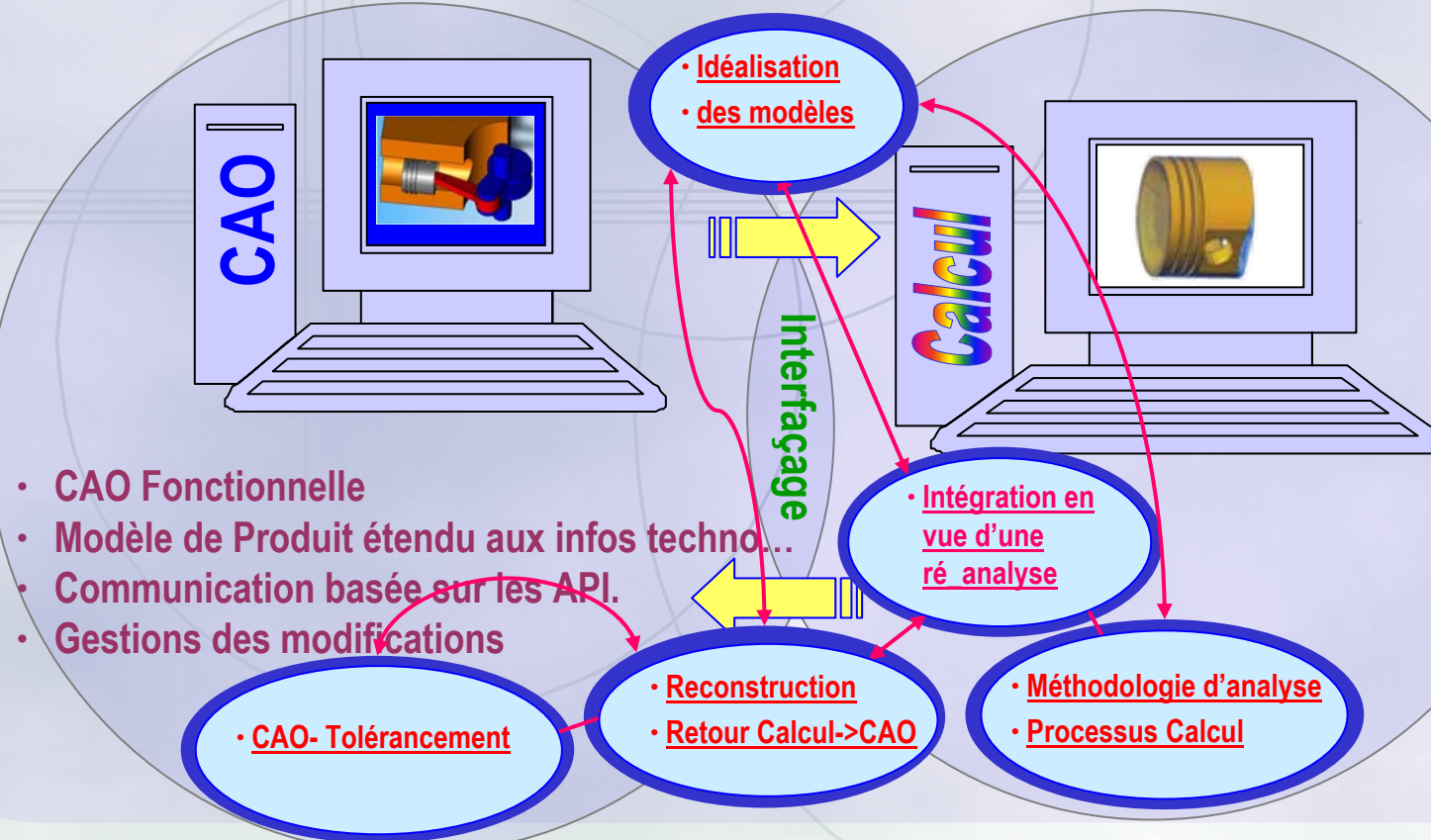
- Liens dynamique entre la CAO et le SOLVEUR
- Nouvelle technique d'assemblage
- Réduction de la taille du Système à résoudre
- Tirer profit des technologies de calcul distribué



## AXE I : Intégration CAO-CALCUL *Action 1, 2 et 3*

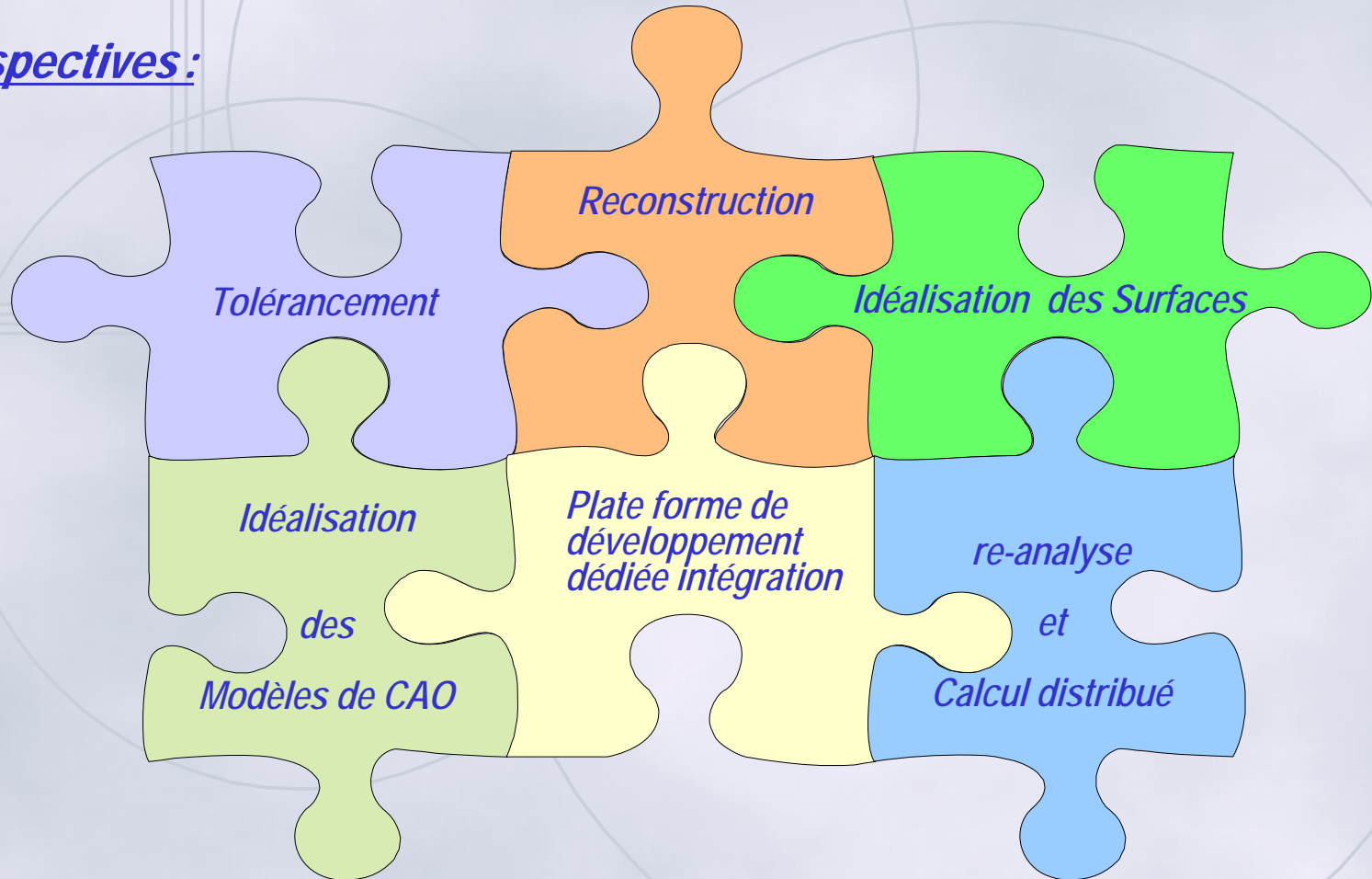
### Objectif:

Contribution à l'amélioration de l'interopérabilité entre les systèmes de CAO et les outils de calcul.



## AXE I : Intégration CAO-CALCUL *Action 1, 2 et 3*

Perspectives:



## **Axe II : Modélisation et Étude Expérimentale et Numérique des Procédés de Fabrication Mécanique** **Action 1, Action 2**

### • Contexte et objectifs :

- ❑ *Développement des Modèles de simulation (coût de l'expérimental)  
(Pour prédire et mieux contrôler les process)*
- ❑ *Maîtrise et compréhension des phénomènes importants  
(usure, qualité d'usinage, frottement, etc.)*

## Axe II : Action 1 : *Étude Expérimentale et Numérique du procédé du Tournage Dur*

### • Objectifs :

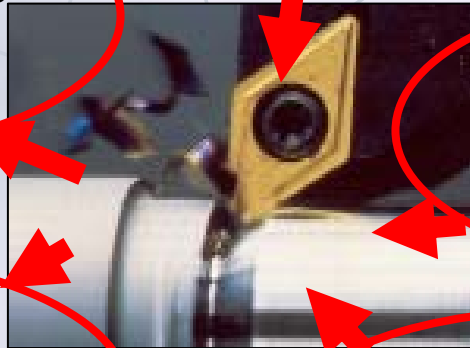
**Surface usinée :**  
Microstructure, Contrainte résiduelle, **Rugosité...**

**Conditions de coupe :**  
**Vitesse de coupe, Avance, profondeur de passe....**

**Propriétés de l'outil:**  
Géométrie, revêtements, matériaux ...

**Formation du Copeau :**  
**Efforts, usure de l'outil, température...**

**Système usinant :**  
Rigidité, vibration, ...





## Axe II : Action 1 : Étude Expérimentale et Numérique du procédé du Tournage Dur

### • Méthodologie :

#### Acier

**X155 Cr MoV12 durcis  
thermiquement à 57 HRC**

#### Machine

**Tour CN OMAP**

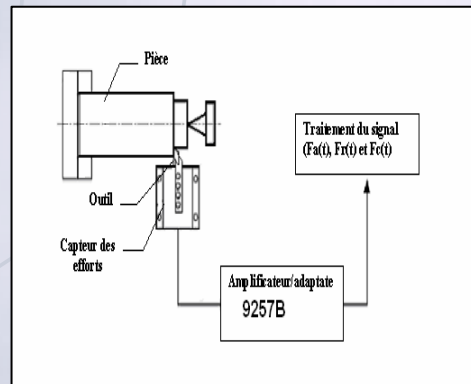
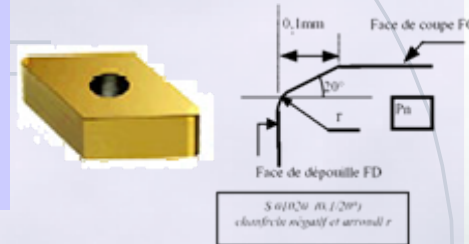
#### Matériels de mesure

**Banc de mesure des efforts Kistler  
Rugosimètre  
Loupe optique**

#### Outil de coupe

**Plaquette : CNGA 12 04 08 S 01020, en CBN  
(Nitrure de Bore Cubique) nuance CB7020**

**Porte plaquette : CCLNR 25252M 12-IC**



#### Plan d'expériences

- ▶ 3 facteurs (VC, ap, f)
- ▶ 3 Niveaux

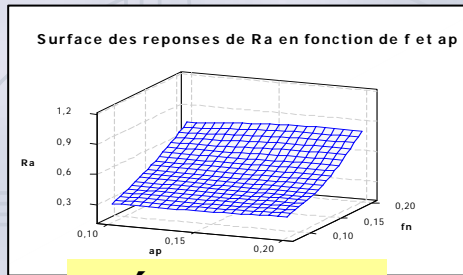
#### Réponses Mesurées

- ▶ Ra, Vb, Effort

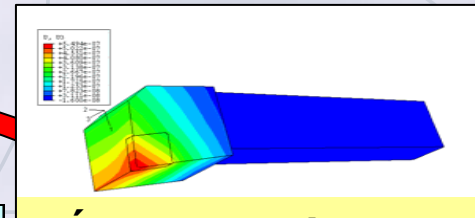
3. Activités de Recherches Post-Doctorales: **Axes II : Action 1**

## Axe II : Action 1 : Étude Expérimentale et Numérique du procédé du Tournage Dur

### • Dépouillement des résultats :



**Évolution**

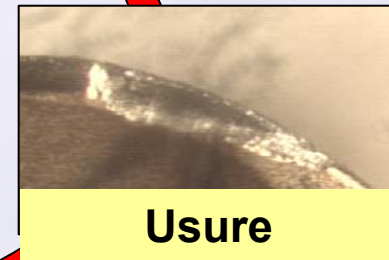


**Étude numérique**

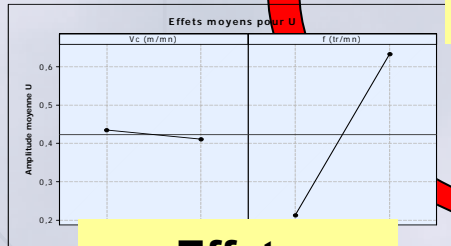
Facteur			Réponse				
Vc	fn	ap	Fx	Fy	Fz	Ra	V <sub>B</sub>
1	1	1					
-1	1	0					
1	1	-1					

**Plan d'expériences**

1	-1	1					
-1	-1	0					
1	-1	-1					
0	1	1					



**Usure**



**Effets**

**Modèle**

$$Ra = (100.756)VC^{-0.669} \cdot f^{1.027}$$

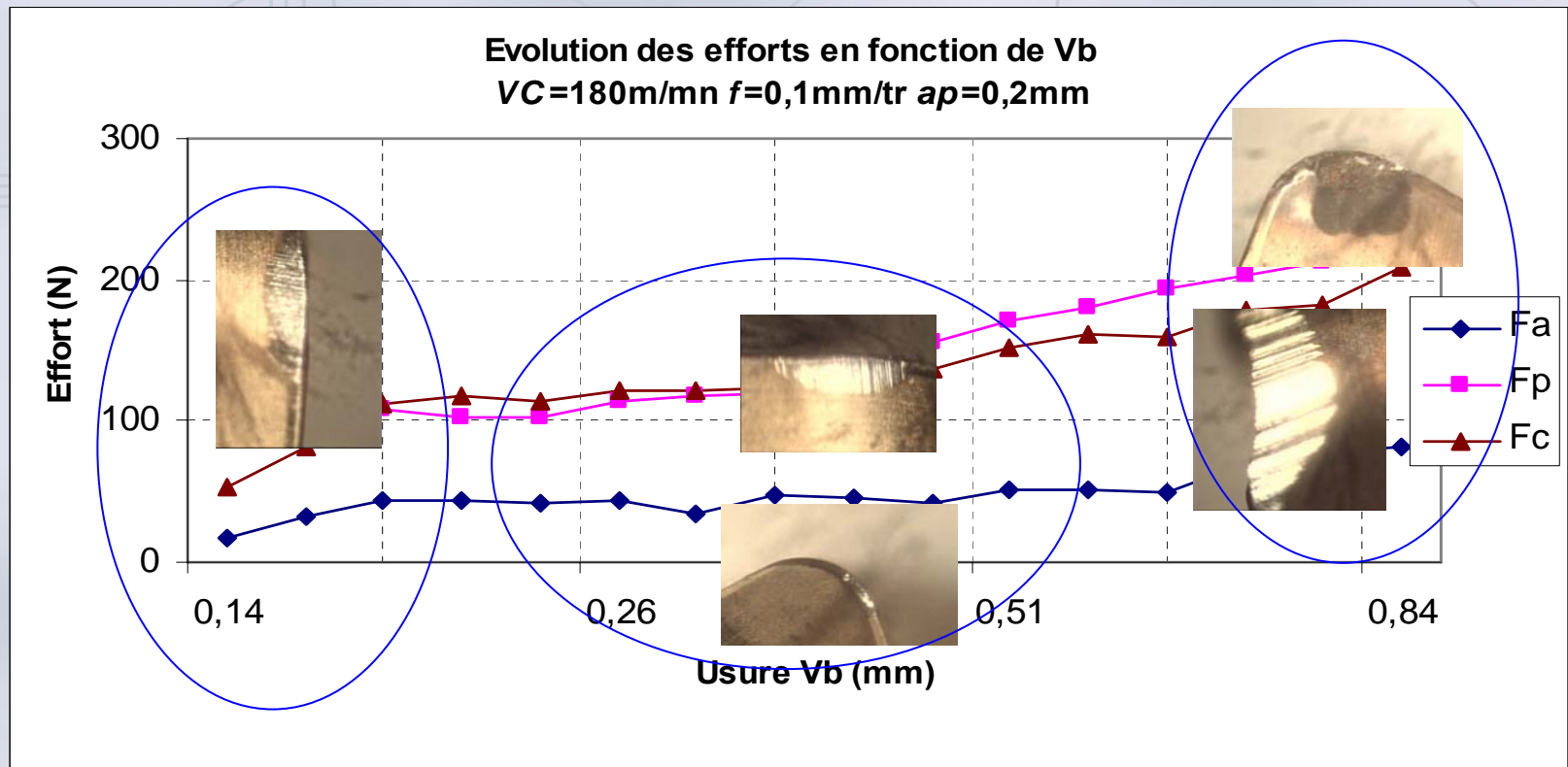
$$F_a = 3677 \cdot V_c^{-0.426} \cdot f^{0.413} \cdot a_p^{1.18} \quad 87.1 \%$$

$$F_p = 2416 \cdot V_c^{-0.324} \cdot f^{0.274} \cdot a_p^{0.49} \quad 87.8 \%$$

$$F_c = 73130 \cdot V_c^{-0.92} \cdot f^{0.44} \cdot a_p^{0.82} \quad 83.9 \%$$

## Axe II : Action 1 : Étude Expérimentale et Numérique du procédé du Tournage Dur

### Évolution des efforts en fonction de l'usure Vb



## Axe II : Action 1.1 : Prédiction des paramètres de rugosité d'une surface sculptée avec une fraise boule

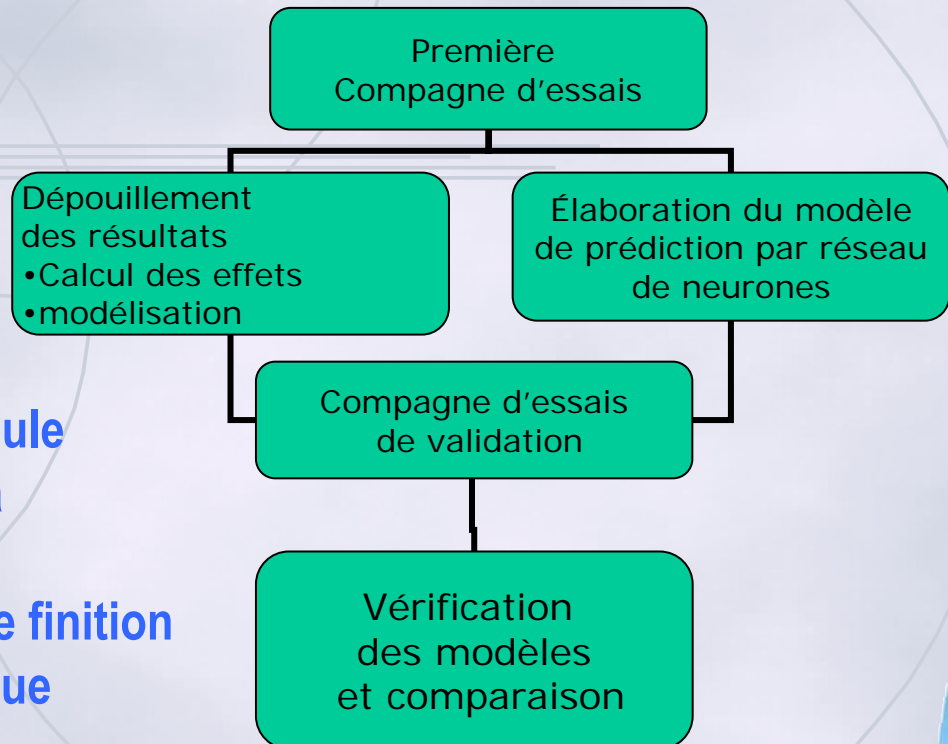
### • Objectif :

Étude de l'influence des **paramètres de coupe** ( $V_c$ ,  $f_n$ ,  $a_p$ , usure, ...) sur la **qualité des surfaces sculptées** avec une **fraise boule**.

### • Application :

- Matière: Acier prétraité pour moule 40CrMnMoS8 1.2312 à 1050MPa
- Outil de fraisage: Fraise boule de finition à plaquettes en carbure métallique

### • Méthodologie :



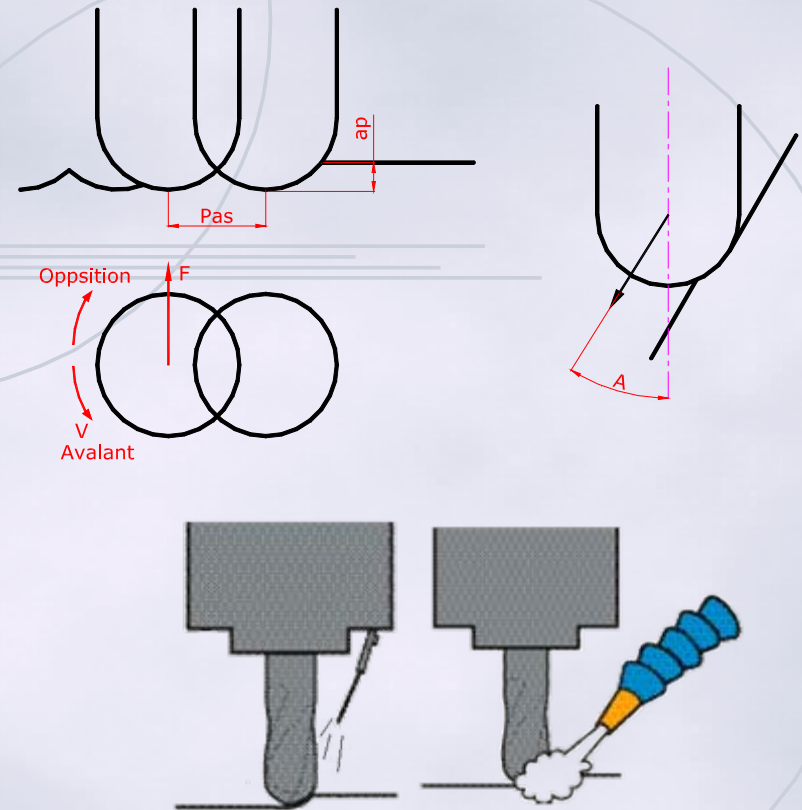


## Axe II : Action 1.1 : Prédiction des paramètres de rugosité d'une surface sculptée avec une fraise boule

### Facteurs sélectionnés

- Vitesse de coupe
- Avance
- Profondeur de passe
- Incrément de passe
- Stratégie d'usinage
- Direction de l'avance
- Angle de contact outil - surface
- Arrosage

**8 facteurs**  
**à 2 niveaux**



## **Axe II : Action 1.1** : *Prédiction des paramètres de rugosité d'une surface sculptée avec une fraise boule*

### Équipement

- Centre d'usinage 3 axes
- Rugosimètre
- Chaîne de mesure des efforts de coupe en fraisage



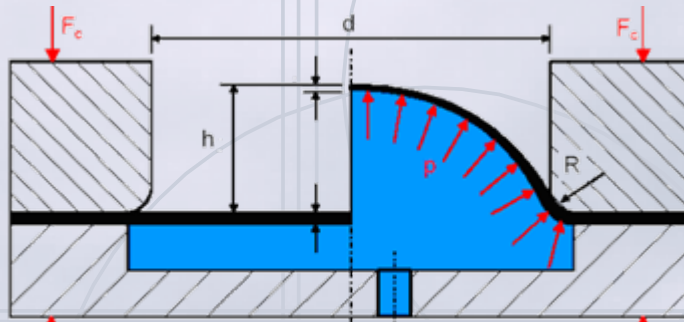
- **Bilan** (2 Thèse en cours, 1 mastère, 4 Communications)

## **Axe II : Action 2 :** *Simulation numérique et expérimentale de l'emboutissage des tôles minces.*

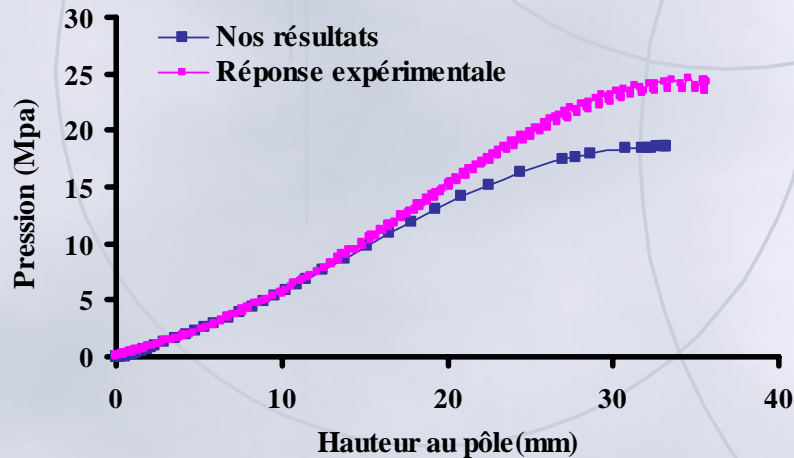
### **Objectif**

- **Confrontation Expérience – Simulation en vue de la compréhension du comportement du matériau.**
- **Identification des paramètres du comportement (courbe d'écrouissage).**

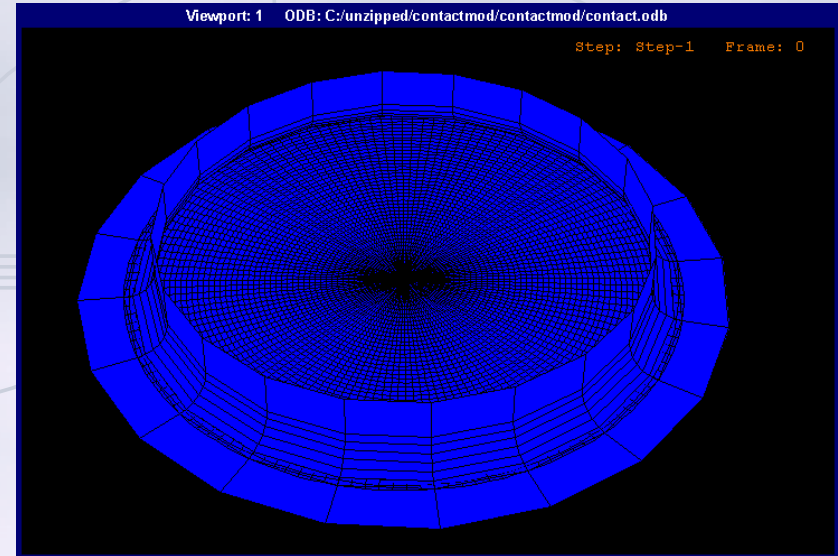
## Axe II : Action 2 : Simulation numérique et expérimentale de l'emboutissage des tôles minces.



Cellule de gonflement hydraulique



Variation de la pression en fonction de la hauteur au pôle

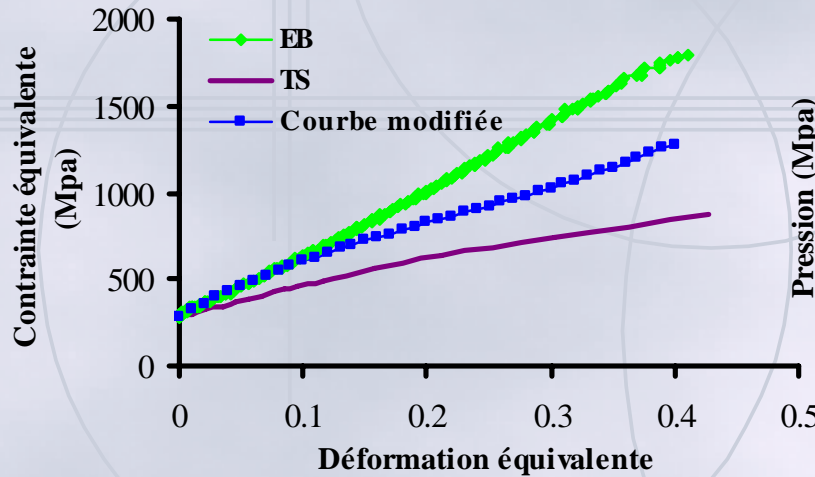


- Écart entre les courbes expérimentales et numériques.

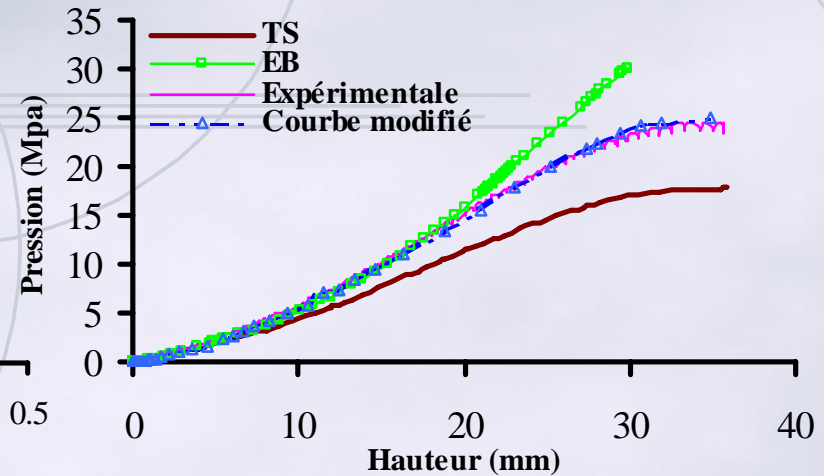


## Axe II : Action 2 : Simulation numérique et expérimentale de l'emboutissage des tôles minces.

### Résultats :



Courbe d'écroutissage



Variation de la pression en fonction de la hauteur au pôle

- **Bilan** (1 mastère, 1 article, 1 communication)

# Plan de l'exposé

1- Parcours scientifique

2- Bilan des Activités pédagogiques

5 mn

Partie: I

3- Recherches Post-Doctorales

*Actions, Résultats et Perspectives*

**Axe 1 et Axe 2**

30 mn

Partie: II

4- Bilan des Activités de Recherche

5- Implications dans la vie Universitaire

10 mn

Partie: III

## Partie III : Bilan des Activités des Recherches Post-Doctorales

### Production scientifique (2000 - 2006)

Axes	Articles		Communications	
	<i>Publiés</i>	<i>Soumis</i>	<i>Publiés</i>	<i>Soumis</i>
Axe I	3	3	15	3
	<i>Publiés</i>	<i>Soumis</i>	<i>Publiés</i>	<i>Soumis</i>
Axe II	1	-	6	1
	<i>Publiés</i>	<i>Soumis</i>	<i>Publiés</i>	<i>Soumis</i>
<b>Total</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>21</b>	<b>4</b>

## 3. Bilan des Activités de Recherche post-doctorales

# Partie III : Bilan des Activités des Recherches Post-Doctorales

## Encadrement et Co-cadrement

Thèses	Soutenus	En cours			Total
		1 <sup>er</sup>	2 <sup>ème</sup>	3 <sup>ème</sup>	
	1	4	-	2	1S + 6EC
Mastères	5	-	2	-	5S + 2EC

## Projets de Collaboration Scientifique

- DGRST/CNRS, LGM/LAMIH, France (2001 et 2002)
- Fonds Propres, LGM/UQTR, Canada (2002 – présent)



## Partie III : *Participation à la vie Universitaire*

### Responsabilités Scientifiques et Administratives

Direction du Département de Génie Mécanique	99 - 02
Membre du comité Directeur du LGM	02 - présent
Membre du Conseil Scientifique de l'ENIM	05 - présent
Membre du Jury National des Technologues	04 - 05

### Participation à des Manifestations Scientifiques

Membre dans des <b>Comités Scientifiques Internationales</b> :	(03)
Membre dans des <b>Comités d'organisation</b> :	(06)
<b>Conférencier / Coauteur</b> :	(14)



[www.enim.rnu.tn](http://www.enim.rnu.tn)



[www.lgm.rnu.tn](http://www.lgm.rnu.tn)

# Habilitation Universitaire

*Présentée par :*

- **ABDELMAJID BENAMARA**  
Docteur, Maître Assistant en Génie Mécanique

# MERCI POUR VOTRE ATTENTION