

Calcul dynamique d'un chronographe

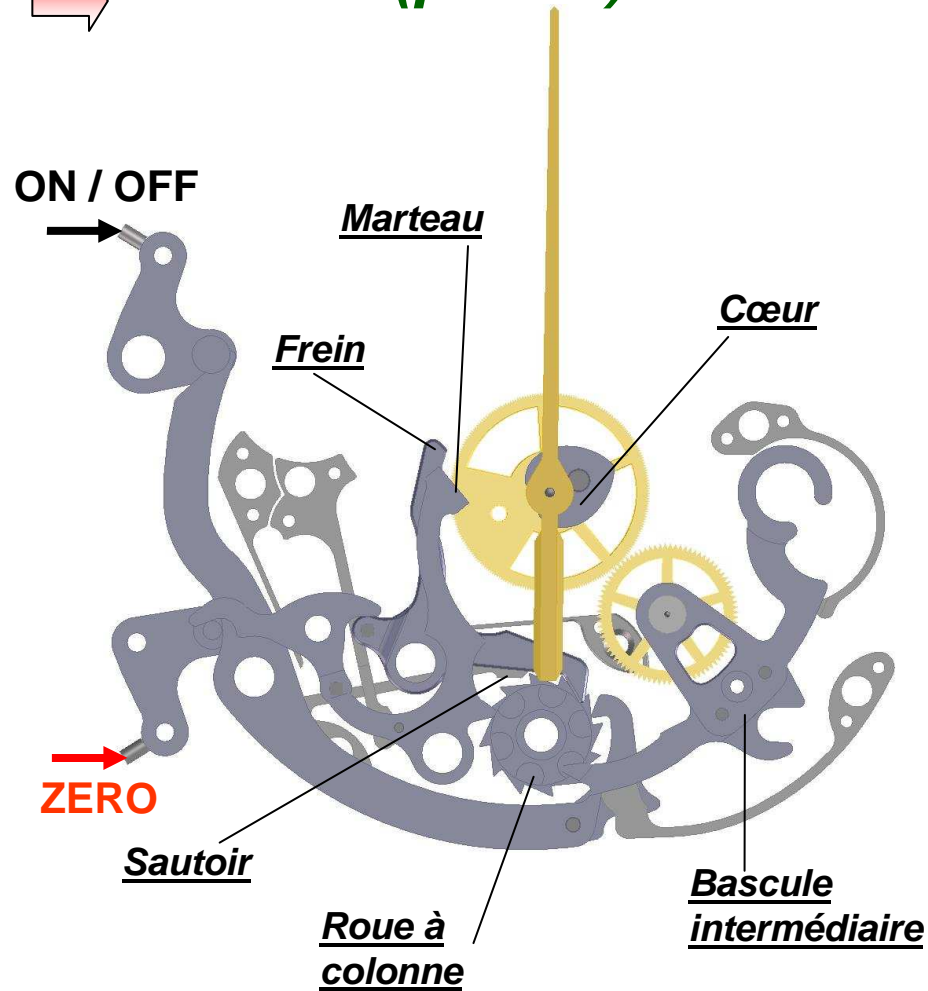
Forum ANSYS – 15 septembre 2010

Présenté par:

- **Tiavina Niaritsiry, Audemars Piguet SA & Cie**
- **Pascal Pelloquin, CADFEM (Suisse) AG**

- 1. Introduction**
- 2. Méthode de calcul**
- 3. Modèle**
- 4. Calcul**
- 5. Résultats**
- 6. Synthèse**
- 7. Conclusion**

➔ **Modèle (partiel) d'un chronographe avec roue à colonne**



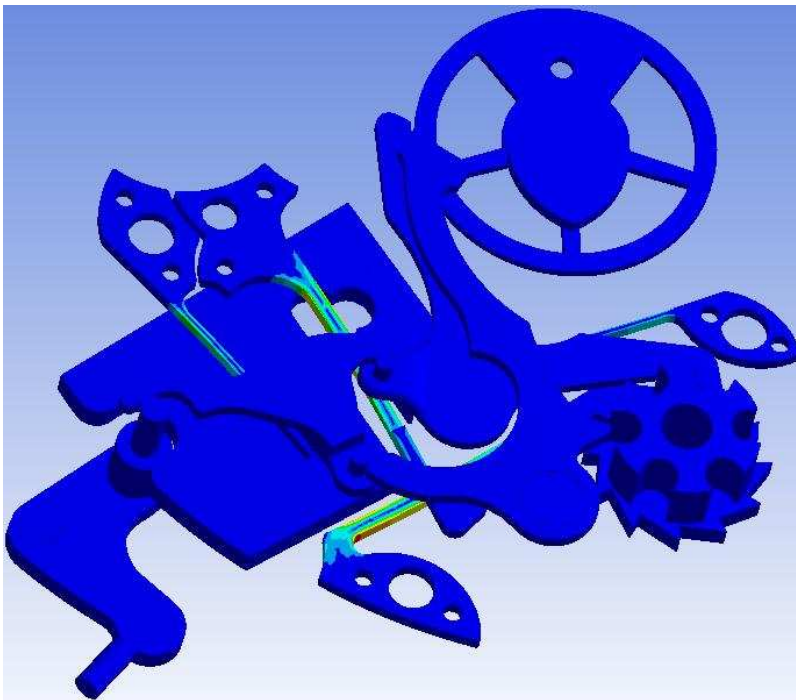
A vérifier:

- La remise à zéro (contact avec le cœur)
- Les constantes de temps
- Position des pièces sur la roue à colonne en fonction du temps
- Contraintes maximales
- Forces sur les poussoirs pour les fonctions ON/OFF et remise à zéro

 ***Buts de la simulation***

- ***Compréhension du fonctionnement du mécanisme***
- ***Vérification des performances***
- ***Optimisation des performances***
- ***Diminution du nombre d'itérations de prototypes***

➔ **Calcul dynamique par méthode implicite ?**



Problématique:

- 24 contacts non-linéaires
- Choc marteau cœur
- Corps flottants
- Nombre de pièces
- CONVERGENCE

➔ **Difficile pour le calcul d'un chronographe**

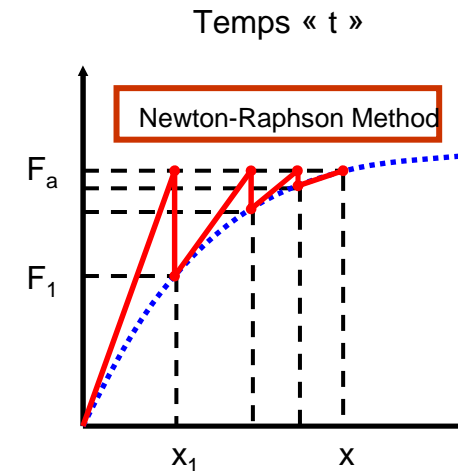
➔ **Méthodes de résolution:**

Méthode implicite

Solver ANSYS

$$\{u_{t+\Delta t}\} = [K]^{-1} \{F_{t+\Delta t}^a\}$$

- Résolution lente (inversion matricielle)
- Itérations nécessaires pour K non-linéaire
- Taille du pas de temps limité par la convergence



Méthode explicite

Solver LS-DYNA

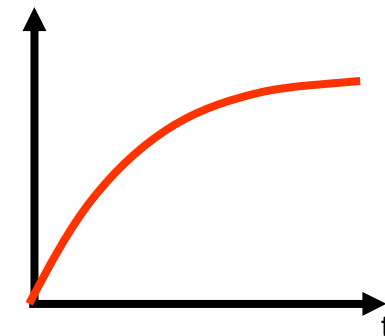
$$F^{int} = \Sigma \left(\int_{\Omega} B^T \sigma_n d\Omega \right) + F^{contact}$$

$$\{a_t\} = [M]^{-1} \left([F_t^{ext}] - [F_t^{int}] \right)$$

$$\{v_{t+\Delta t/2}\} = \{v_{t-\Delta t/2}\} + \{a_t\} \Delta t_t$$

$$\{u_{t+\Delta t}\} = \{u_t\} + \{v_{t+\Delta t/2}\} \Delta t_{t+\Delta t/2}$$

- Méthode rapide (opérations matricielles simples)
- Pas d'itérations nécessaires pour système non-linéaire
- Taille du pas de temps défini par le maillage



→ **Modélisation**

Géométrie

- Simplification drastique

Discrétisation

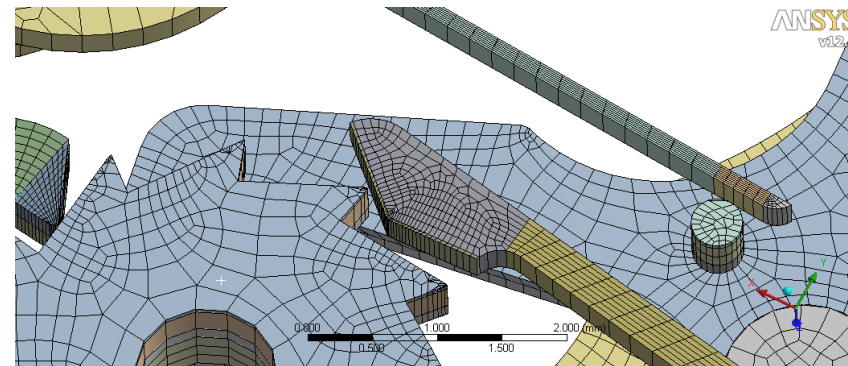
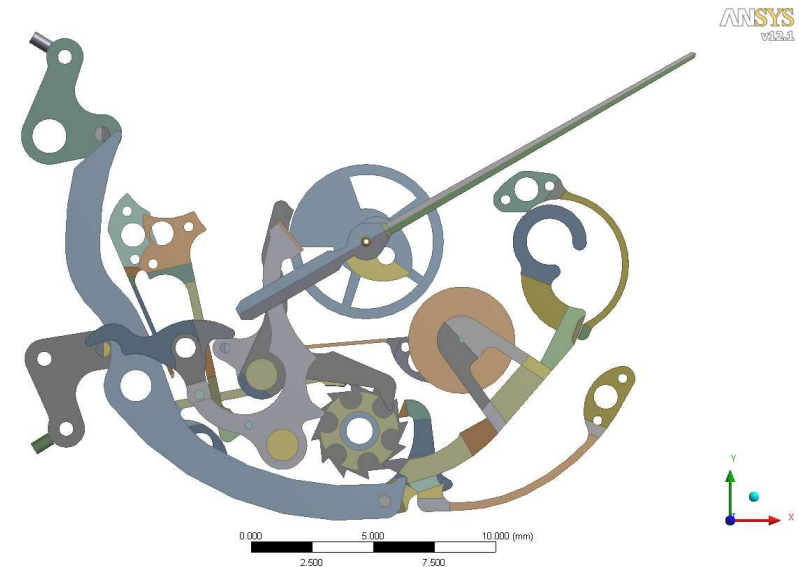
- Maillage : hexaèdres / prismes
- 8 éléments linéaires par section de ressort

Contacts

- Valeurs par défaut

Amortissement

- Coefficient de frottement 0.1
- Coefficient de frottement 0.25 sur le cœur
- Amortissement masse et rigidité 10% valeur critique

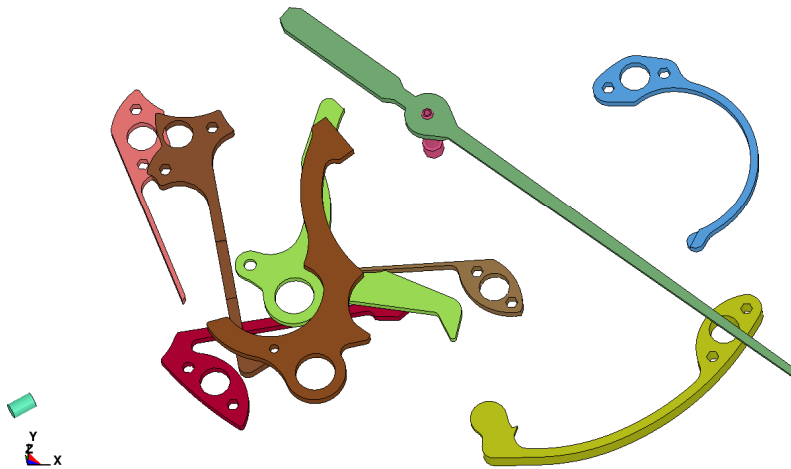


➔ **Modélisation**

Pièces :

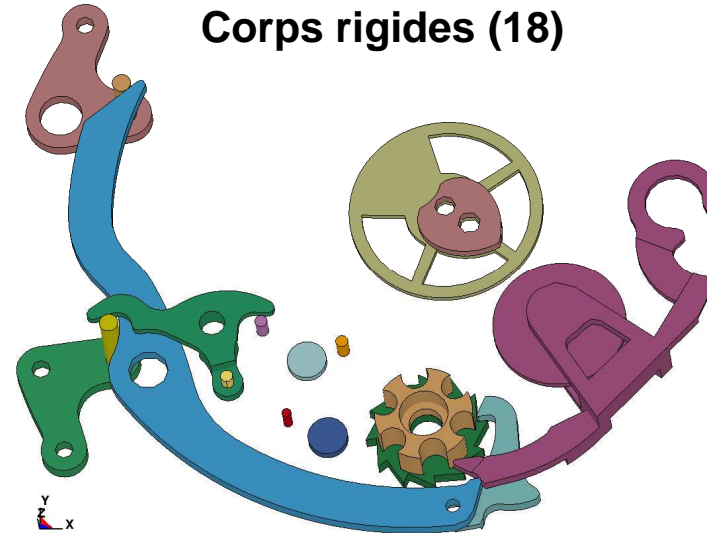
CHRONO

Corps flexibles (12)



CHRONO

Corps rigides (18)



Charges :

- Pré-charge des ressorts par déplacements imposés
- Déplacements imposés sur les boutons-poussoirs

→ *Etapes du calcul*

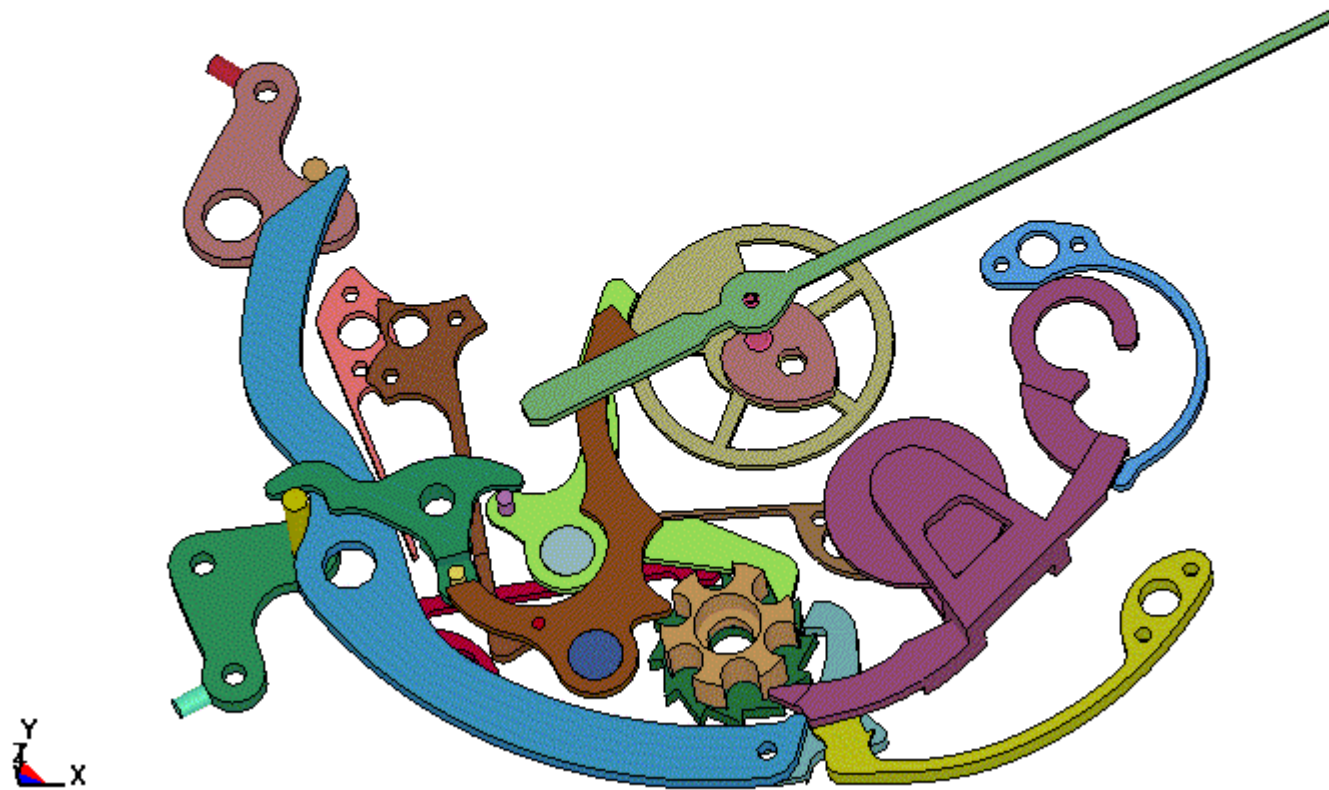
Pré-armage	Mise en place du modèle	4 ms simulées	~2h de calcul
ON	La bascule « entraine » l'aiguille	8 ms simulées	~4h de calcul
OFF	La bascule est désengagée. Le frein touche la roue	8 ms simulées	~4h de calcul
Remise à zéro	Le marteau touche le cœur	30 ms simulées	~12h de calcul
Simulation totale		60 ms simulées	~24 h de calcul

→ *Mass scaling*

- Permet de modifier la taille du pas de temps et donc la durée du calcul
- Choisi de manière à ajouter 2 % de masse au modèle

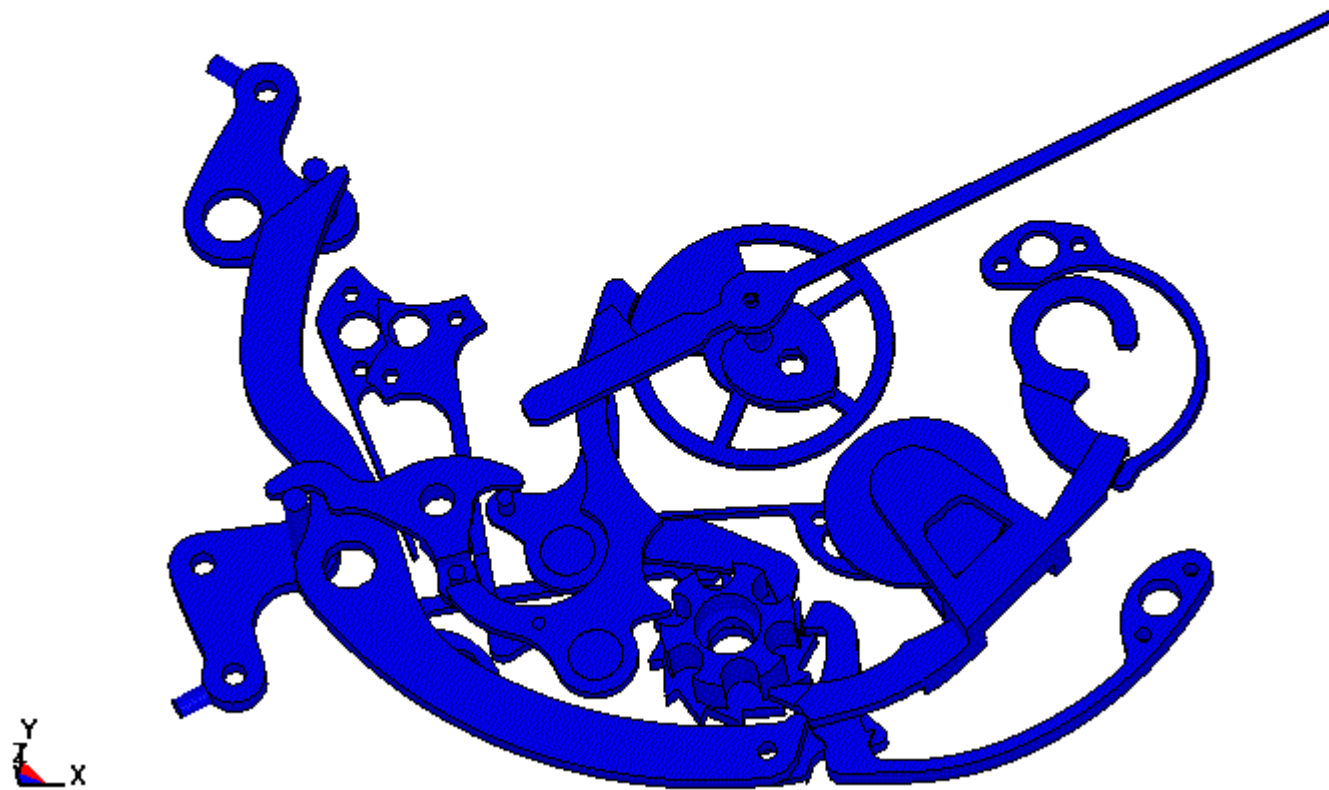
CHRONOGRAPHE (E5)

Time = 0

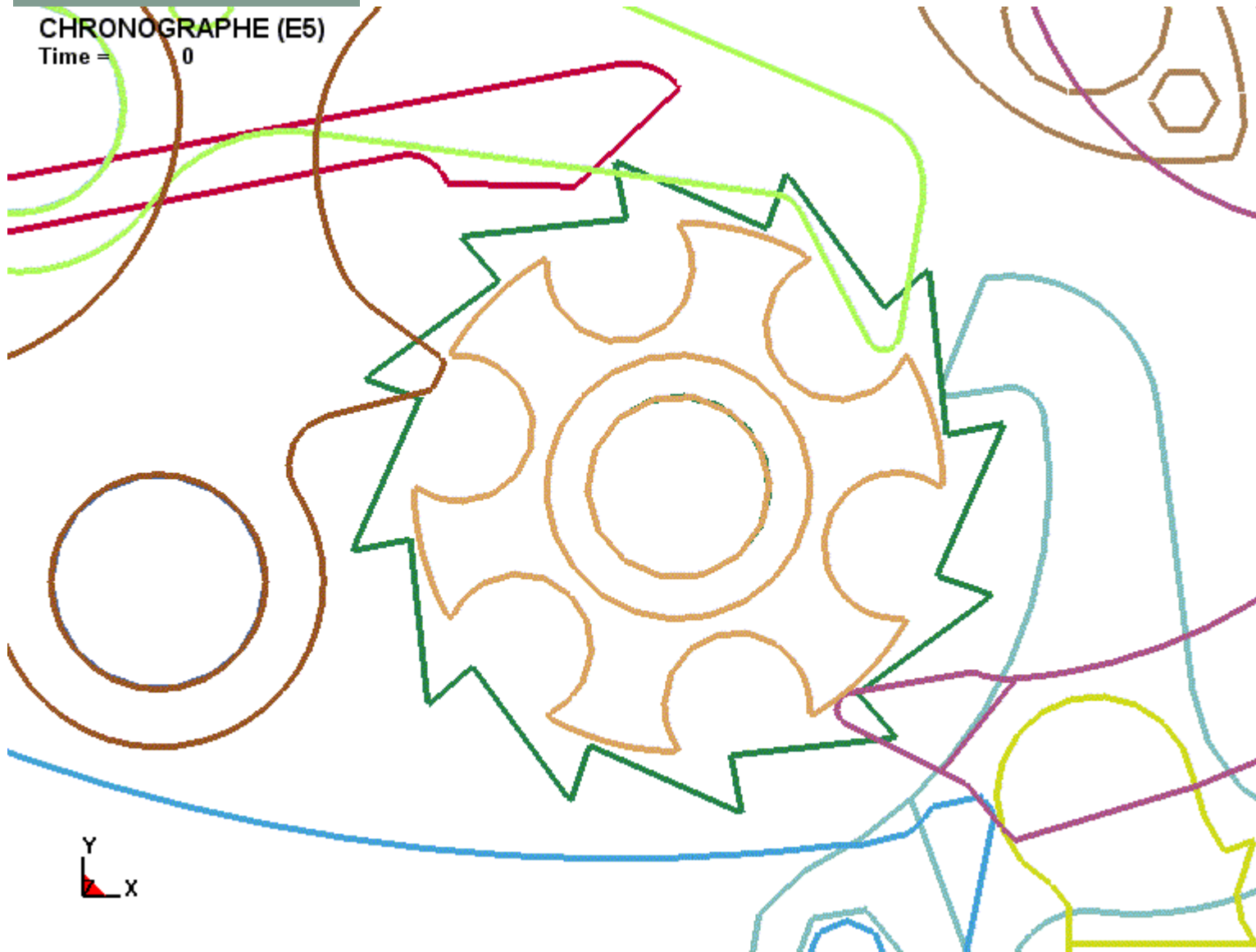


CHRONOGRAPHE (E5)

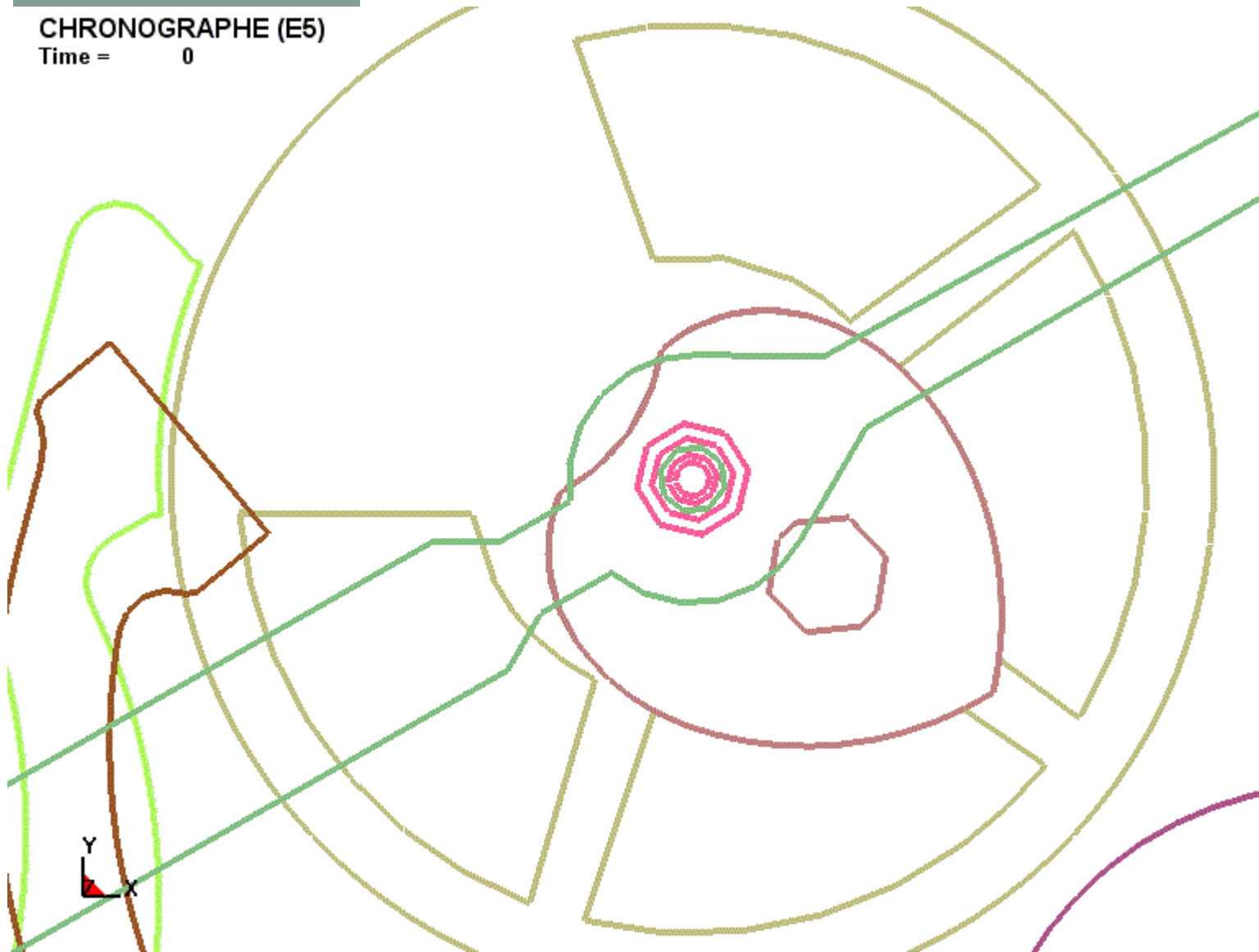
Time = 0



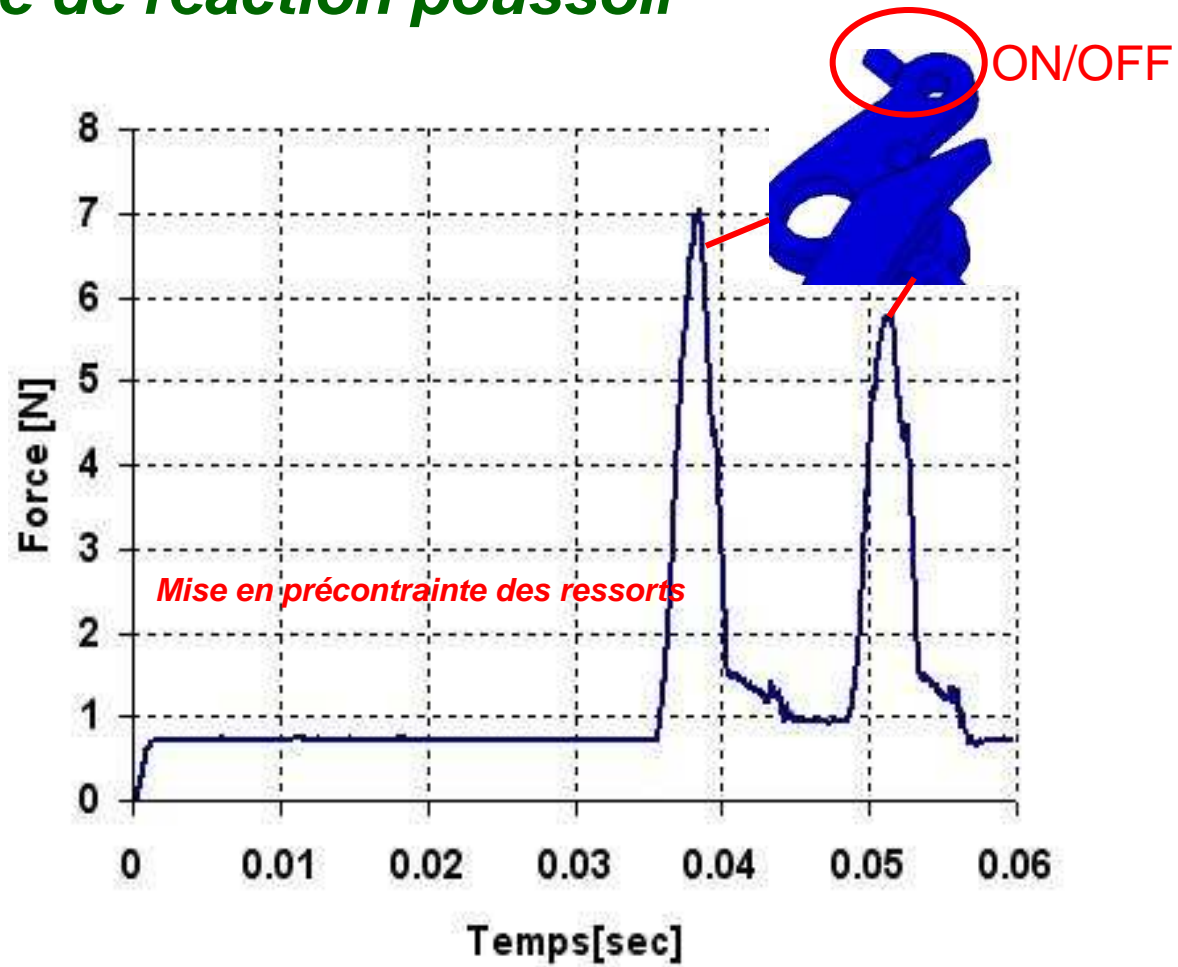
CHRONOGRAPHE (E5)
Time = 0



CHRONOGRAPHE (E5)
Time = 0

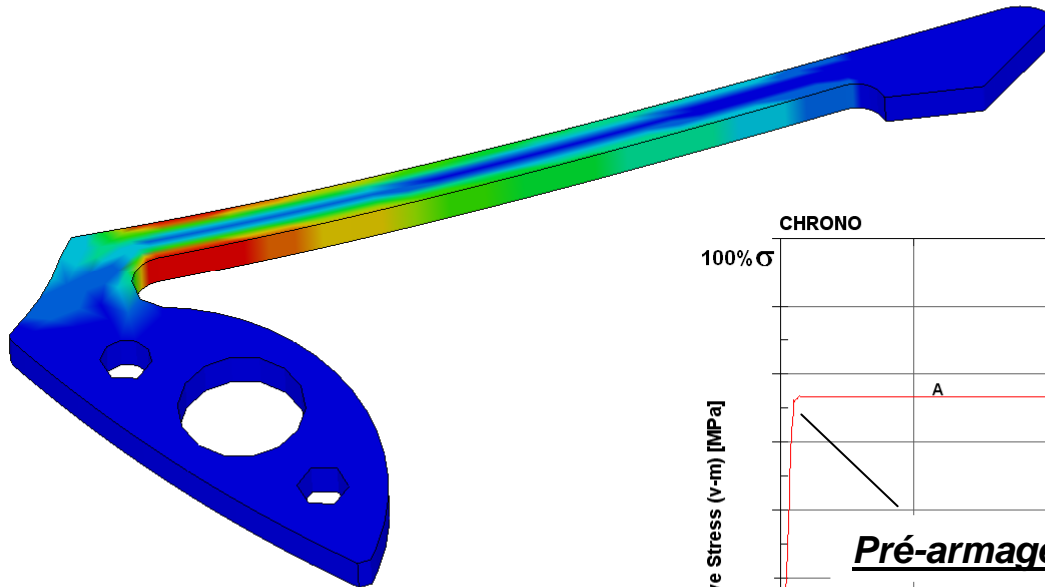


→ **Force de réaction poussoir**

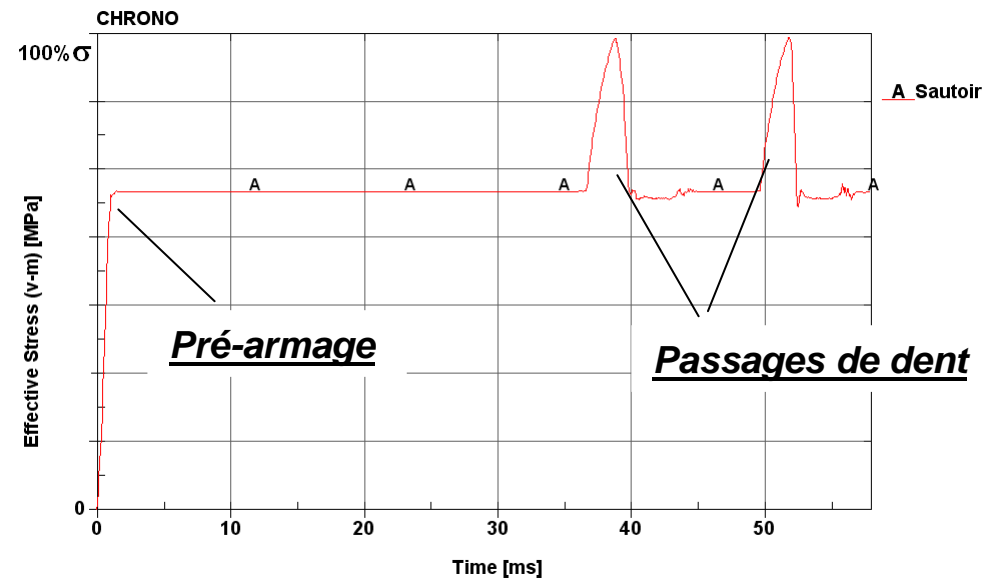
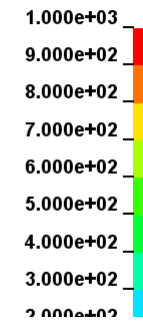


➔ **Contraintes dans le sautoir**

CHRONO
Time = 0.05004
Contours of Effective Stress (v-m)

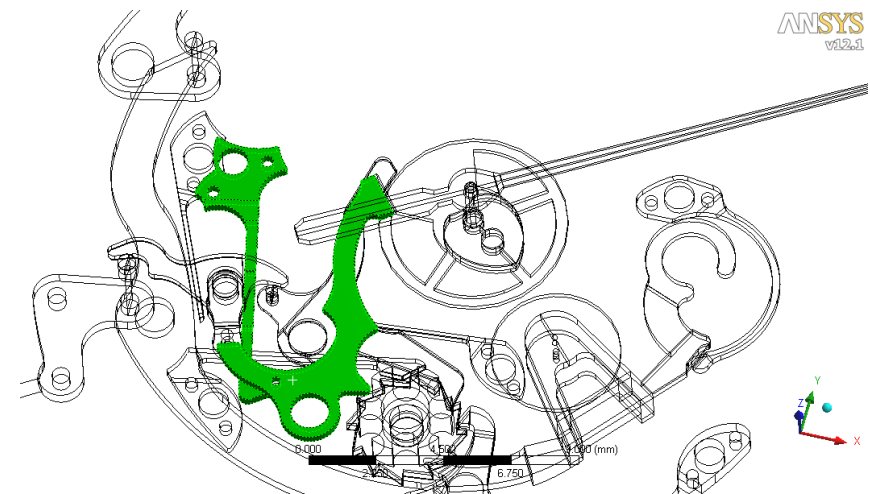
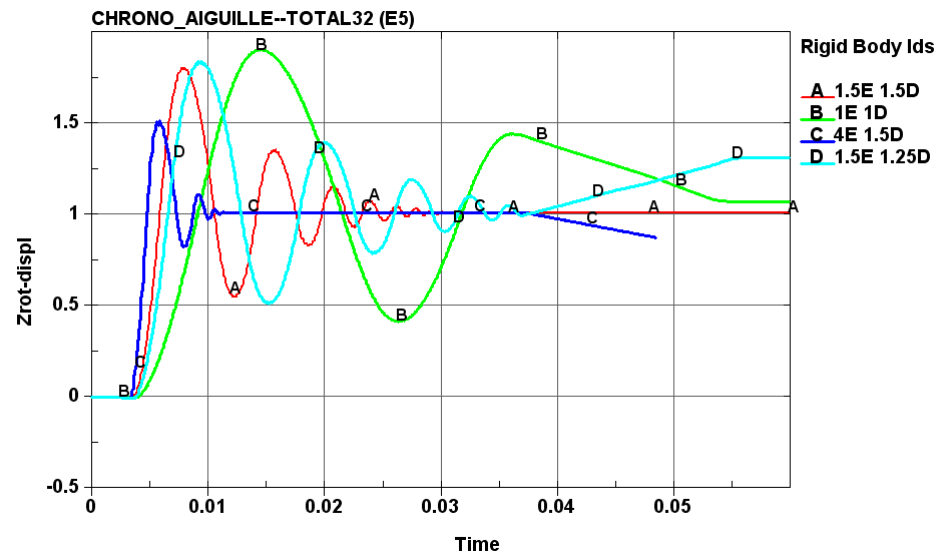


Fringe Levels

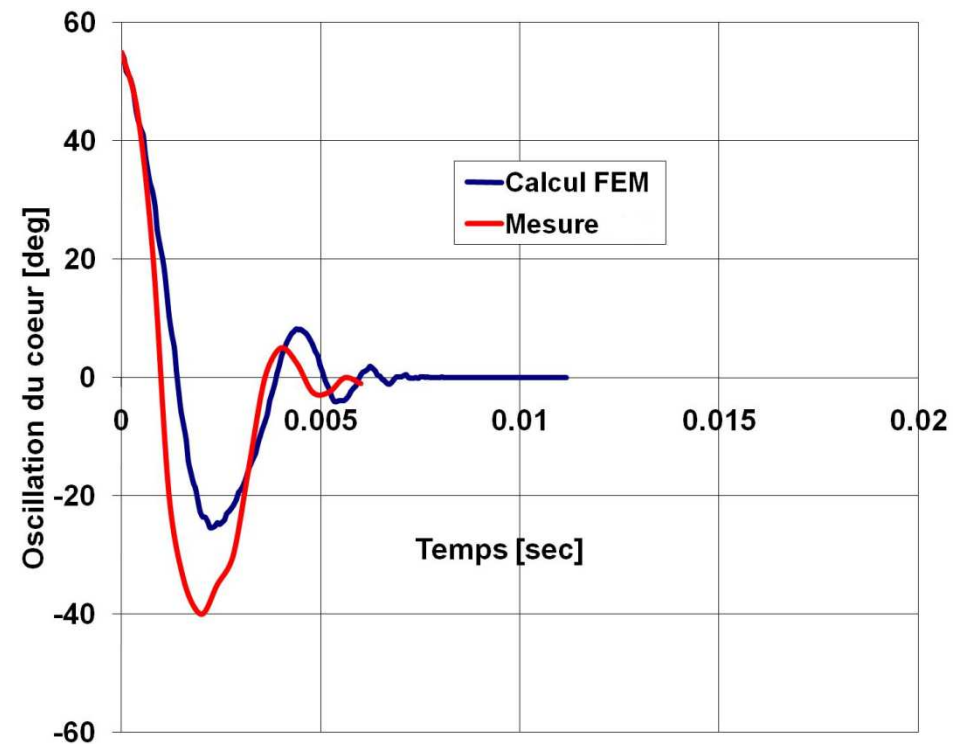
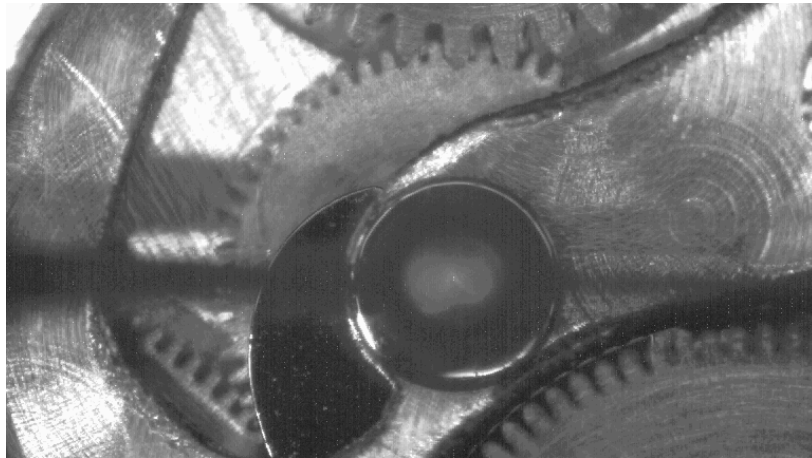


→ **Etude paramétrique ressort marteau**

- Variation du module de Young
- Variation de la pré-charge



→ **Vérification de la remise à zéro**



→ **Calcul de chronographe**

- Choix du coefficient de frottement entre marteau et cœur
- Modélisation de l'inertie de chaque pièce
- Prise en compte de toute la chaîne des rigidités (corps rigides / flexibles)

→ **Choix de la méthode explicite**

- Convergence assurée
- Avantageuse pour de nombreux contacts
- Avantageuse pour de nombreux corps, éventuellement flottants
- Avantageuse pour calcul du choc marteau cœur

→ **Adapté au calcul de chronographe**

→ Conclusion

- Les résultats sont plausibles et répondent favorablement aux attentes de la société Audemars Piguet
- Les aspects suivants sont couverts :
 - vérification de performance
 - analyse de sensibilité géométrique
 - optimisation

→ Perspective

- Cette étude permet d'étendre le champs d'application de la simulation numérique chez Audemars Piguet à la conception de mécanismes horlogers complexes :
 - Quantièmes instantanés
 - Organe réglant (balancier – spiral)
 - ...