

Post-traitement

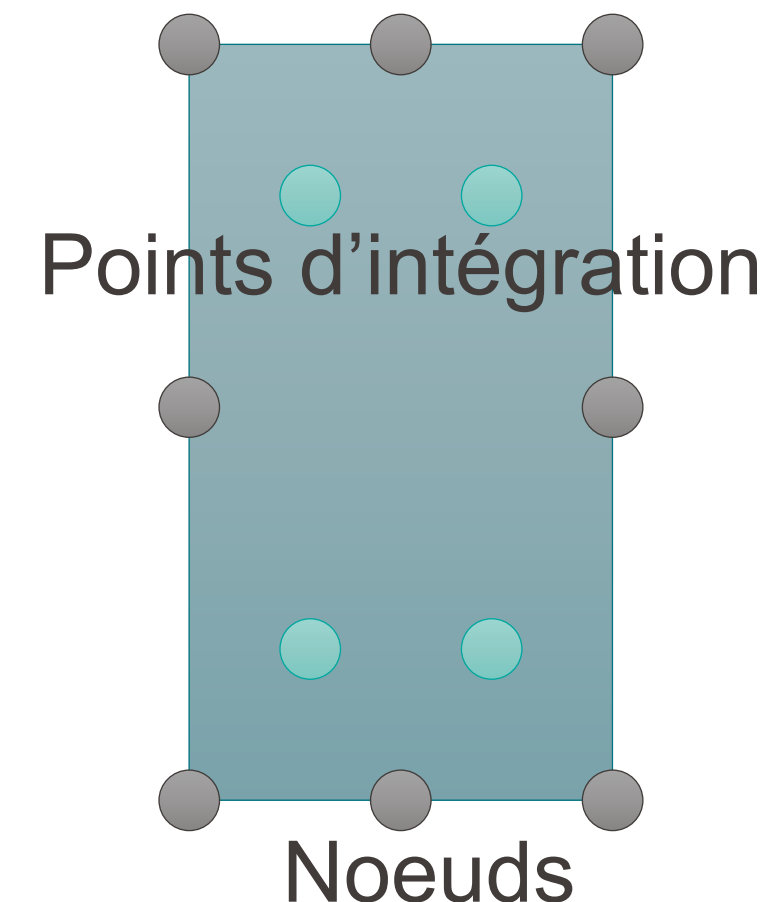
**Modélisation et simulation
par éléments finis**

Résultats d'une simulation EF

- Variables essentielles :
 - Valeurs nodales q : déplacement u , température T , etc.
 - On cherche q tel que : $Kq = r$
- Variables naturelles :
 - Contraintes $\sigma = C \nabla u$, flux de chaleur $\phi = -k \nabla T$, etc.
 - Directement liées aux variables essentielles (loi constitutive).
- Variables dérivées :
 - Déformations $\varepsilon = \nabla u$, énergie de déformation, etc.
 - Se calculent aussi à partir des variables essentielles.

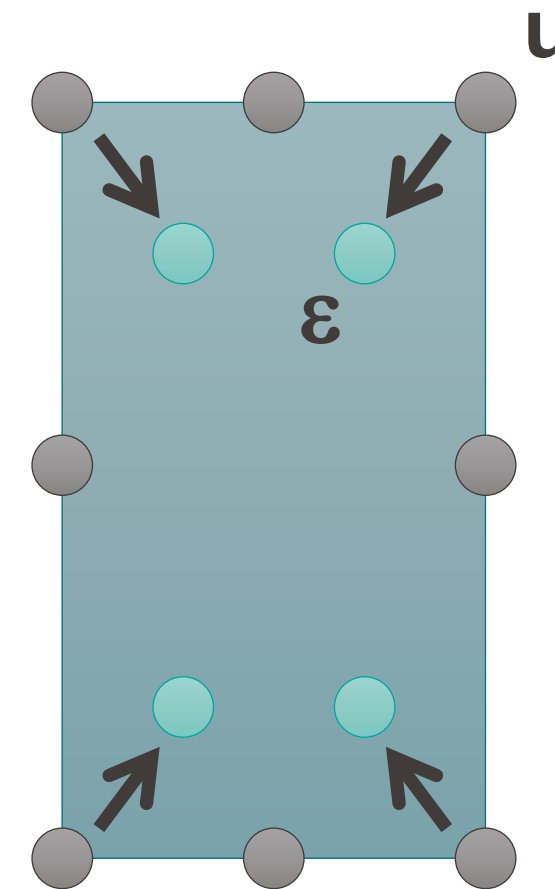
Résultats d'une simulation EF

- Type :
 - Scalaires ($T...$) : 1 composante
 - Vecteurs ($\mathbf{u}...$) : 3 composantes + magnitude
 - Tenseurs 2nd-ordre ($\boldsymbol{\sigma}$, $\boldsymbol{\varepsilon}...$) : 6 composantes si symétriques + invariants (par ex. contraintes von Mises, principale min./max., hydrostatique etc.)
- Localisation :
 - Aux nœuds de chaque élément
 - Aux nœuds (valeur unique)
 - Aux points d'intégration
 - Au centroïde de chaque élément



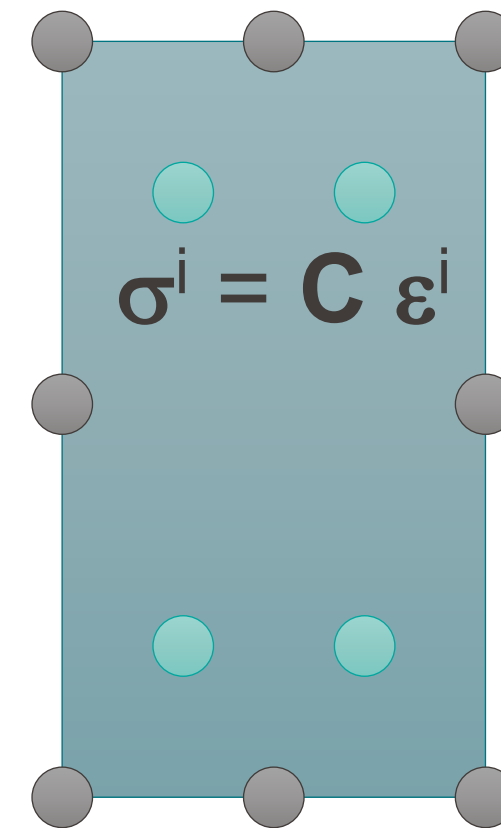
Post-traitement : déplacements \rightarrow déformations

- Déplacement nodal \mathbf{u} (variable essentielle, valeur unique aux noeuds).
- Fonctions de base et dérivées aux pts d'intégration \rightarrow matrice \mathbf{B} .
- Déformations aux pts d'intégrations de chaque élément $\boldsymbol{\varepsilon} = \mathbf{B} \mathbf{u}$.



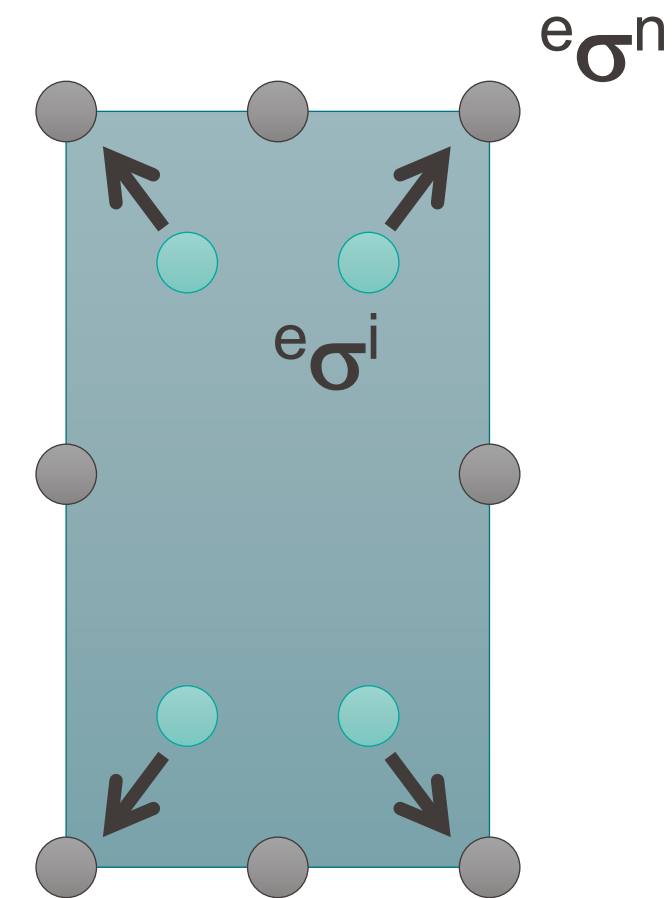
Déformations → contraintes aux pts d'intégration

- Déformations ε^i aux pts d'intégrations i de chaque élément e .
- Matrice \mathbf{C} des constantes élastiques dans chaque élément.
- Loi de Hooke → contraintes $\sigma^i = \mathbf{C} \varepsilon^i$ aux pts d'intégrations dans chaque élément.
- Problème : on aimerait connaître σ aux nœuds / aux surfaces.

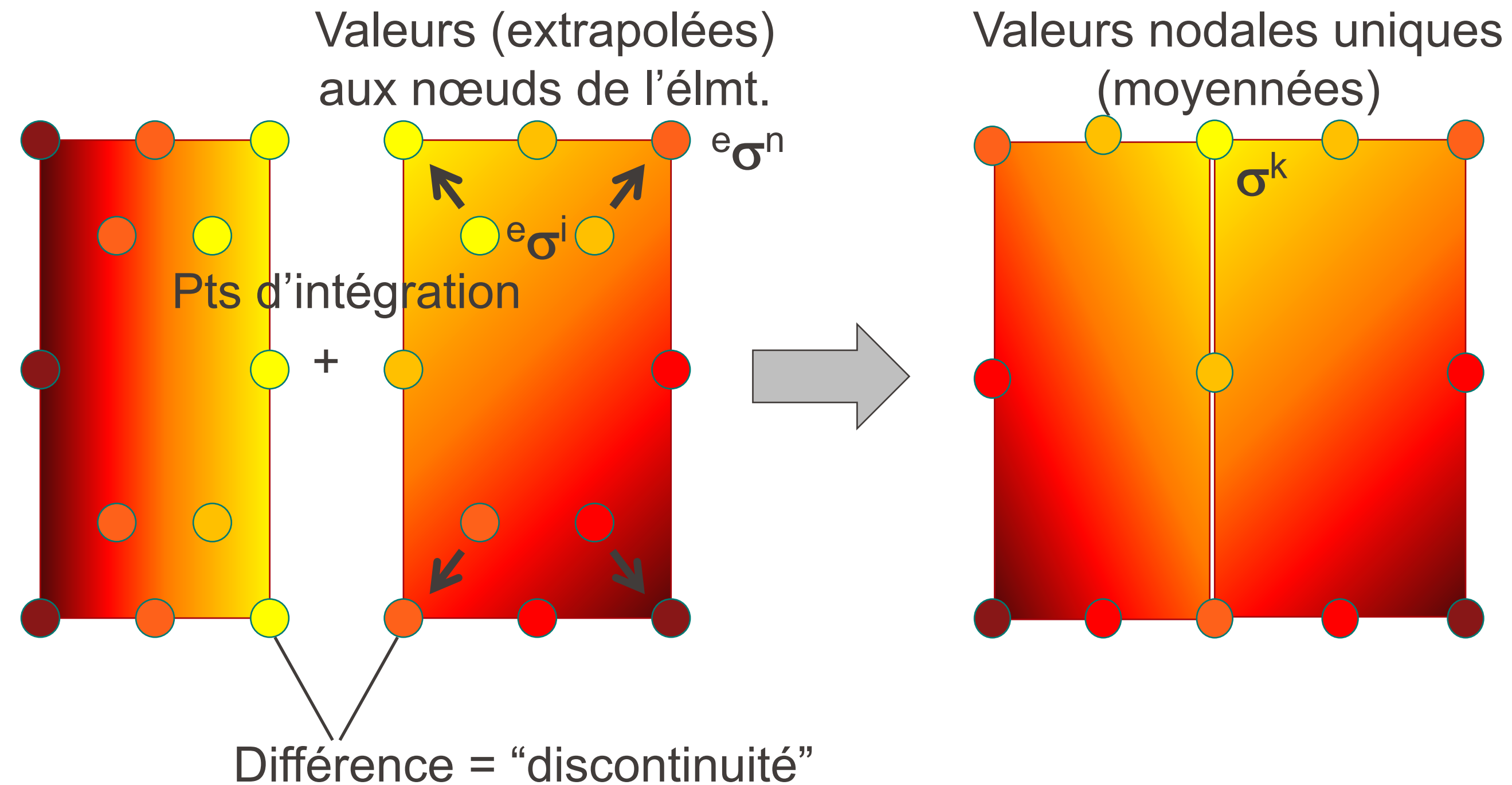


Contraintes : points d'intégration \rightarrow nœuds

- Contraintes ${}^e\sigma^i$ aux pts d'intégration i dans chaque élément e .
- Fonctions de base (ou autre fonction d'extrapolation) \rightarrow contraintes ${}^e\sigma^n$ aux nœuds n (différentes dans chaque élément).
- Moyennage sur les éléments qui partagent le nœud \rightarrow contraintes σ^k aux nœuds k du maillage global (valeur unique aux nœuds).



Contraintes : extrapolation et moyennage



- Le moyennage a un impact important sur les valeurs nodales affichées, et donc sur l'interprétation des résultats !
- Possible d'activer/désactiver le moyennage, et de visualiser les discontinuités pour identifier les régions de forts gradients.

Résultats EF dans Abaqus

- **“Field output”** : snapshot à un instant donné pour une / plusieurs variables, à tous les points (ou un sous-ensemble) du modèle. Exemple : $U1(x)$ à tous les nœuds à certains temps $t=t_i$.
- **“History output”** : évolution temporelle pour une / plusieurs variables, en un point donné. Exemple : $U1(t)$ en un certain nœud.
- Module "Step" :
 - Choisir les variables dans Field output / History output.
 - Spécifier une fréquence (pour réduire la taille des données).
 - History output : doit définir un ensemble ("set") de points / éléments.

Accéder aux résultats dans Abaqus

Sélection des résultats

Sélection du temps

Options d'affichage

Modes de visualisation

Options d'animation

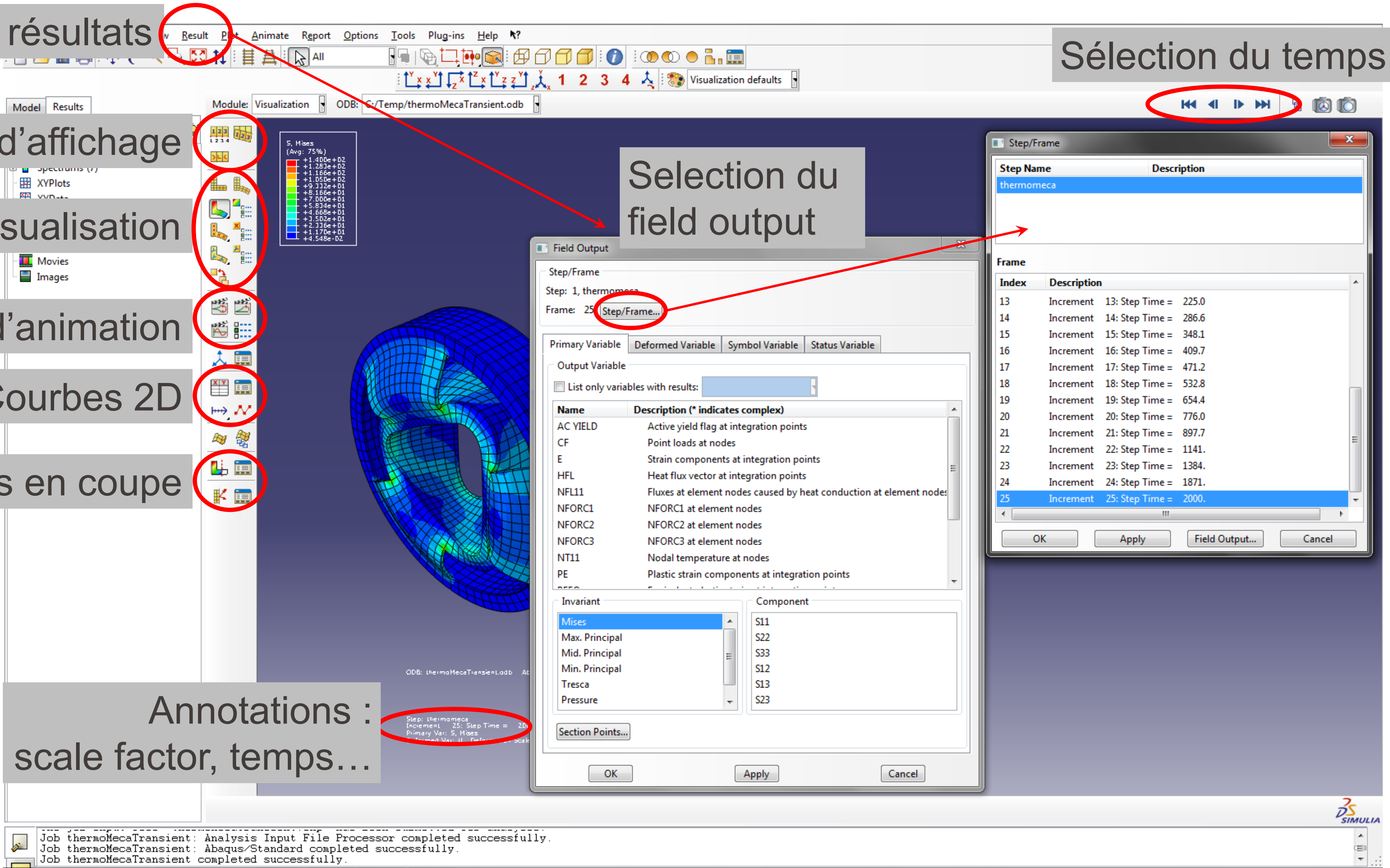
Courbes 2D

Vues en coupe

Selection du field output

Annotations :
scale factor, temps...

Modélisation et simulation par éléments finis



Certains Field outputs dans Abaqus

| Field output | Composantes | Signification |
|--------------|---|---|
| S | S11,S12,... & VMIS, PRESS, MAX_PRINCIPAL... | Tenseur contraintes σ , + invariants |
| E | E11,E12,... & INVA_2, ... | Tenseur deformations ε , + invariants |
| U | U1,U2,U3 (UR1-3), MAG | Vecteur déplacements \mathbf{u} |
| RF | RF1-3 (RM1-3), MAG | Forces de réaction (où \mathbf{u} est imposé) |
| NFORC | NFORC1-3 | Forces nodales de chaque élément |
| NT11 ou TEMP | - | Température nodale (thermo-mécanique) |
| HFL | HFL1,2,3 | Vecteur flux de chaleur |

Techniques de post-traitement à connaître

- Spécifier un Field output / History output non-standard
- Visualiser champs moyennés / non-moyennés / discontinuités
- Vues 3D : color map, déformation, vue en coupe...
- Extraire des valeurs en un nœud / élément
- Extraire des courbes : graphe le long d'un chemin
- Extraire des courbes : graphe d'évolution temporelle
- Exporter des données (champs ou courbe)
- Extraire des images & animations
- Changer de système de coordonnées

→ cf. slides suivants

Spécifier un Field / History output non-standard

- Méthode : éditer les options Field / History output dans le module "Step".
- Exemple : **vidéo PostProDemo1**
 - Ouvrir thermoMecaExo1Correct.cae ; sélectionner Model-1-Transient
 - Module "**Step**" :
 - Editer le **Field output** existant :
 - Ajouter tous les output "Energy", et l'output "Forces → NFORC"
 - Ajouter les outputs "Thermal → NFLUX & HFLA"
 - **History output** :
 - Créer un ensemble de points pour l'History output : Tool → Set → Create
 - Créer un nouveau History output
 - Domain : choisir le set juste créé ; choisir l'output "Thermal → NT"
 - Lancer le job "thermoMecaTransient" pour mettre à jour la solution

Visualiser champs (non-)moyennés / discontinuités

- Le solveur d'Abaqus ne sauvegarde (dans les fichiers "output database" .odb) que les résultats nécessaires :
 - Variables essentielles : valeurs nodales uniques
 - Variables naturelles : seulement aux points d'intégration
 - Variables dérivées : localisées aux points pertinents
- Le module de visualisation peut extrapoler certains résultats à d'autres points :
 - Exemple : valeur nodales des contraintes à partir des points d'intégration.
 - On peut contrôler l'extrapolation dans Result → Options.
 - On peut aussi visualiser les discontinuités d'extrapolation pour identifier les régions de "fort gradient" (solution peu précise).

Visualiser champs (non-)moyennés / discontinuités + Vues 3D : color map, déformation, vue en coupe...

- Exemple : **vidéo PostProDemo2**
 - Ouvrir thermoMecaTransient.odb
 - **Contour plots** du champs de contraintes, au temps $t = 2000$ s
 - Sélectionner différents invariants / composantes : Mises, S33, Max. Principal component
 - Changer les options de visualisation : Options → Common (deformation scale factor, edges), Options → Contour (colormap min/max)
 - Utiliser la vue en coupe (View Cut)
 - **Result Options** (avec contraintes Mises) :
 - Désactiver le moyennage, regarder les valeurs nodales de chaque élément, noter les discontinuités.
 - Activer le moyennage, changer le seuil (0% - 100%)
 - Afficher les discontinuités, noter les régions de grandes discontinuités.
 - **Symbol plot** :
 - Visualiser les vecteurs de contraintes principales et déplacements principaux

Extraire des valeurs en un nœud / élément

- Sélectionner un Field output, activer le Contour plot
- Tools → Query → Probe Value
- Sélectionner Probe = Element ou Probe = Node
- Sélectionner localisation (pour éléments) : integration pts, centroid, element nodal
- Activer résultats désirés dans le tableau
- Cliquer un nœud / élément pour l'ajouter à la liste
- Possible d'écrire le tableau vers un fichier texte : Write
- Exemple : **vidéo PostProDemo3**
 - Extraire différentes valeurs de contraintes (integration pts, element nodal, averaged nodal)

Extraire des courbes : graphe le long d'un chemin

- Chemin = courbe (spatiale) où extraire des données : Tools → Path → Create
 - Node list : cliquer des nœuds pour définir une courbe
 - Point list : entrer des coordonnées sur une courbe
 - Edge list : sélectionner arêtes d'éléments
 - Circular : sélectionner points pour créer un cercle
- Pour afficher / sauvegarder : Tools → XY data → Create
 - Source = Path ; choisir le chemin
 - Configuration = undeformed ; activer include intersection
 - Générer la courbe & sauvegarder pour usage ultérieur
- Exemple : **vidéo PostProDemo4**
 - Définir chemin linéaire avec 2 nœuds
 - Définir chemin le long d'arêtes avec option "feature edge" ou "shortest distance"
 - Définir chemin circulaire avec 3 points
 - Extraire courbes de contraintes Mises le long de chaque chemin, sauver XY data

Extraire des courbes : graphe d'évolution temporelle

- Courbe d'évolution temporelle :
 - A partir de Field outputs : Tools → XY data → Create
 - Source = Field Output
 - Sélectionner localisation (integration pt, nodal...) ; sélectionner résultat à extraire
 - Cliquer éléments ou nœuds
 - Tracer et sauver si nécessaire
 - A partir de History outputs : Tools → XY data → Create
 - Source = History output
 - Sélectionner l'output désiré, tracer et sauver
- Exemple : **vidéo PostProDemo5**
 - Extraire courbes temporelles de la température à quelques nœuds
 - Extraire courbes temporelles des contraintes Mises pour différents types de localisation
 - Tracer toutes les courbes XY

Exporter des données (champs ou courbe)

- Exporter des Field outputs :
 - Si nécessaire, isoler région d'intérêt avec Display Group
 - Report → Field Output
 - Sélectionner localisation & type de résultat
 - Sélectionner fichier output & vérifier append / overwrite
 - Sélectionner données : all data, column totals, statistics
- Exporter courbes XY :
 - Créer données XY et sauver
 - Report → XY
 - Sélectionner courbes XY
 - Sélectionner fichier output & vérifier append / overwrite
- Exemple : **vidéo PostProDemo6**
 - Report → Field Output, pour extraire température nodale min/max/moyenne dans fichier texte
 - Créer courbe XY de l'évolution de la température en un point, exporter vers autre fichier texte

Extraire des images & animations

- Capture d'image : File → Print
 - Choisir Destination = Printer ou File
 - Si "File" : choisir format (par ex. PNG) et nom de fichier
- Animations :
 - Animate → Time History / Scale Factor / Harmonic
 - Animate → Save As, pour générer animation
 - Sélectionner le fichier destination et le format
 - Choisir le niveau de compression
 - Choisir les options d'affichage
 - Choisir le frame rate (par ex. environ 5 image/s)
- Exemple : **vidéo PostProDemo7**
 - Extraire une image des contraintes Mises à $t=2000$ s, avec valeurs min & max
 - Extraire une animation avec l'évolution de la température dans le modèle

Changer de système de coordonnées

- Changer de système de coordonnées :
 - Créer un système de coordonnées (par ex. coord. cylindriques)
 - Results → Options : choisir Transformation, User defined
 - Sélectionner le coord. sys. à utiliser pour le post-traitement.
- Calculer des nouveaux champs :
 - Si nécessaire, créer un nouveau coord. sys. : Tools → Coord. System → Create
 - Run Tools → Create Field outputs → From fields
 - Sélectionner un temps : Step & Increment
 - Entrer une expression (sélectionner des operateurs & champs dans la liste)
 - Le nouveau résultat est gardé en mémoire dans un step temporaire ("Session Step")
 - Peut utiliser cette méthode pour évaluer quantités dans différents coord. sys. (par ex. contraintes en coordonnées cylindriques)