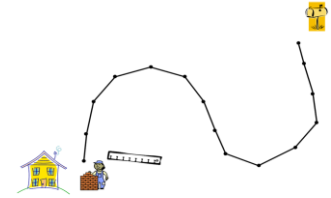


Chapitre II : Généralité sur la M.E.F

Simulation numérique par M.E.F

De nombreux comportements physiques sont régis par des équations aux dérivées partielles (EDP). Ces équations étant insolubles analytiquement, la méthode de calcul par éléments finis permet de les résoudre numériquement : cela permet d'avoir une solution approchée d'un problème physique.

- Exemple : mesurer la distance d'une trajectoire courbe en utilisant bâton de cour.



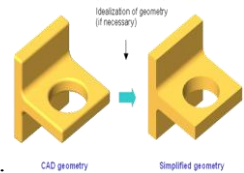
Simulation numérique : objectif de la démarche

- Identification du problème : phénomène à étudier, domaine d'utilisation
- Analyse des interactions avec l'extérieur (conditions aux limites)
- Analyse du comportement à étudier (état initial et évolutions)

Modélisation numérique

La modélisation numérique est la transcription du phénomène physique en langage informatique. Concrètement, le modèle numérique se construit en plusieurs étapes :

- Dessin de la structure à étudier et éventuelle décomposition du système en structures calculables (simplification du modèle, pièces non étudiées déterminées rigides et indéformables).
- Définition des propriétés du modèle :
 - Caractéristiques matériaux
 - Conditions aux limites et interactions
 - Chargements qui peuvent être sous différentes formes : vitesse, déplacement, effort, température...



Discretisation

La structure à analyser est divisée en plusieurs éléments afin de décomposer la géométrie en forme simple. Ces éléments sont reconnectés par l'intermédiaire des nœuds. L'ensemble de ces nœuds et éléments constituent le maillage du modèle (**voir tableau de types d'éléments**).

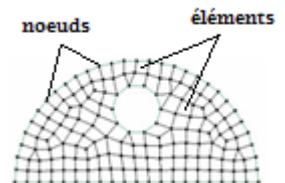
Le comportement de chaque élément est décrit par un set d'équations algébriques. En effet, en chaque nœud, l'une des deux composantes suivantes est connue : son déplacement ou la force extérieure appliquée. En supposant un comportement linéaire de la structure, la relation effort déplacement s'écrit :

$$\{F\} = [K] \cdot \{\delta\} \text{ d'où :}$$

F : vecteur des chargements (connu-Ex : matrice des forces nodales)

K : matrice des constantes (connue-Ex : matrice de rigidité)

Δ : vecteur d'inconnues (Ex : vecteur des déplacements)

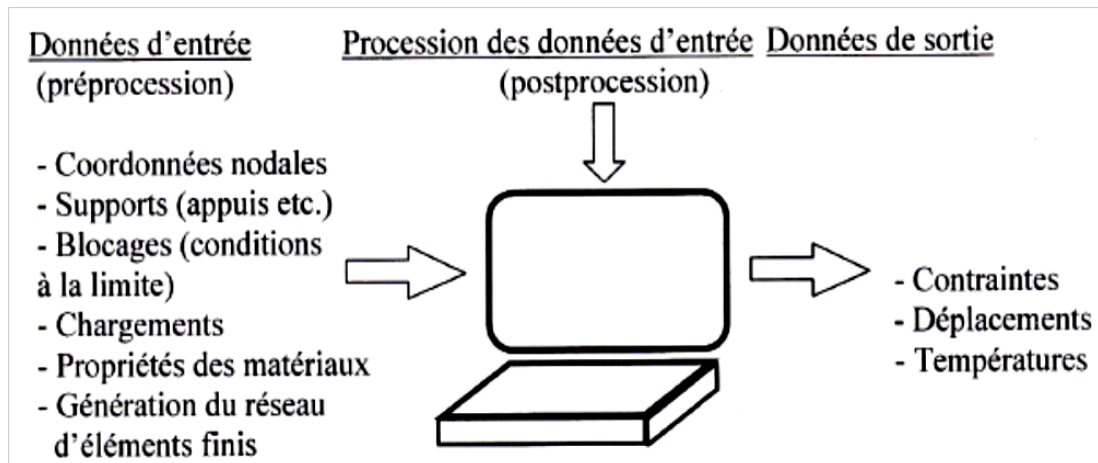


Etapas d'analyse par la MEF

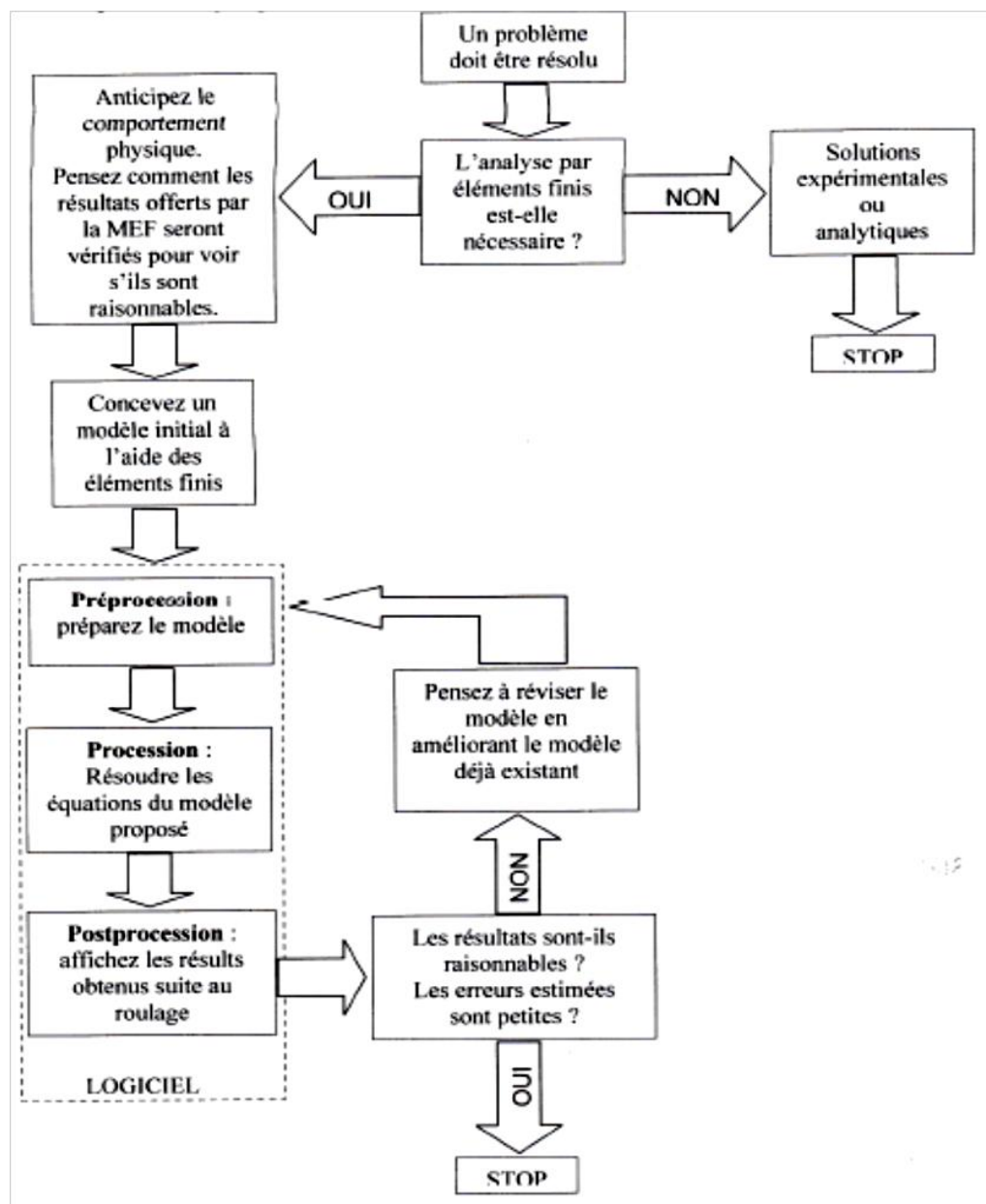
- Types d'éléments finis

Eléments	linéaires	paraboliques (quadratiques)	cubiques
unidimensionnels			
bidimensionnels			
tridimensionnels			
autres types	● Masse	Ressort	Contact

- Principales étapes pour une analyse par la MEF



- Diagramme d'analyse par la MEF



Post-traitement, analyse et interprétation des résultats

Les résultats sont visualisés à l'aide de l'interface graphique du logiciel de calcul. Le phénomène peut alors être observé à chaque incrément. Plusieurs paramètres peuvent être affichés en fonction du post-traitement voulu :

- sous forme de champs : déplacements (mm), contraintes de Von Mises (MPa), contraintes maximales principales (traction, MPa) et minimales principales (compression, MPa), pressions de contact (MPa), déformation élastiques (%), déformations plastiques cumulées (%), etc.
- sous forme de graphiques : énergies (interne, plastique, de frottement, cinétique, totale, ...), positions, vitesses, accélérations, efforts résultants, etc.

Il faut néanmoins être conscient que la méthode des éléments finis est une solution approchée d'un problème : il est nécessaire de vérifier la précision du calcul en validant la convergence du maillage et la cohérence des résultats (continuité des déformations dans la matière, ...).

Logiciels d'analyse par M.E.F

Les logiciels sont de type industriel capable de résoudre des problèmes variés de grandes tailles (de mille à quelques centaines de milliers de variables). Citons à titre d'exemple quelques noms de logiciels : NASTRAN, ANSYS, ADINA, ABAQUS, CASTEM 2000, CESAR, SAMCEF, etc.

Les possibilités offertes par de tels programmes sont nombreuses :

- analyse linéaire ou non d'un système physique continu;
- analyse statique ou dynamique ;
- prise en compte de lois de comportement complexes ;
- prise en compte de phénomènes divers (élasticité, thermiques, électromagnétiques, de plasticité, d'écoulement. . .) pouvant être couplés ;
- problèmes d'optimisation, etc.

L'utilisation de tels programmes nécessite une formation de base minimale.

Introduction à ABAQUS

ABAQUS est un code de calcul par la méthode des éléments finis créé en 1978. Il est caractérisé par :

Deux grands codes:

- ABAQUS/Standard : résolution par un algorithme statique implicite.
- ABAQUS/Explicit : résolution par un algorithme dynamique explicite.

Domaines physiques: Mécanique ; Thermique ; Électrique (piézo et thermique) ; Problèmes couplés.

Problèmes:

- Statique et dynamique
- Linéaires et non linéaires
- Dynamique des corps rigides

Un très large choix d'éléments (plus de 100).

Non-linéarités matérielles

- Hyper-élasticité
- Plasticité
- Visco-plasticité
- Endommagement
- Non-isotrope (y compris laminates = composites)

Non-linéarités géométriques

- Grandes déformations
- Grands déplacements
- Grandes rotations
- Instabilités (bifurcations, points-limites)

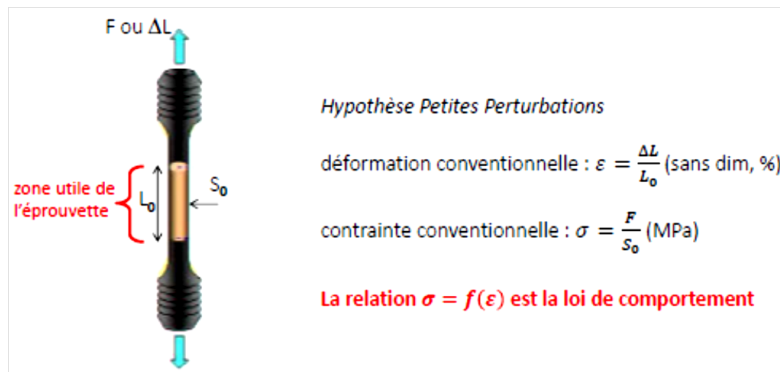
Non-linéarités de contact

- Grands déplacements
- Contact 2D et 3D
- Rigide/Rigide, Rigide/Déformable, Déform./Déform.
- Lois de frottement diverses et complexes

Chapitre III : Modélisation en mécanique des solides

Grandeurs d'intérêt

Etude du comportement mécanique d'un matériau : suivi de la réponse (allongement / déformation) en fonction de la charge (force / contrainte).

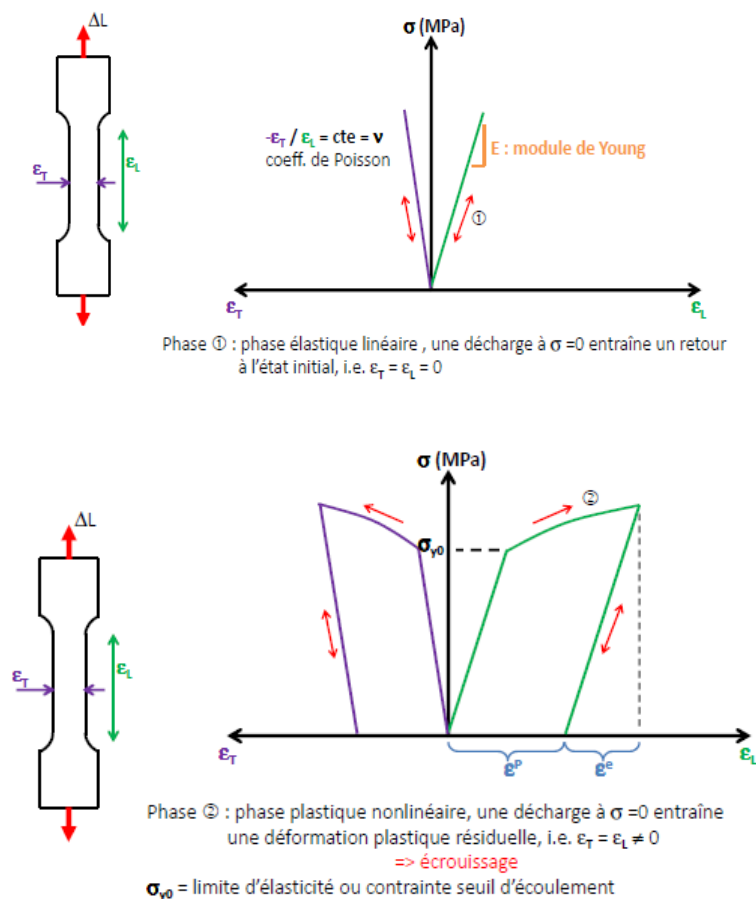


Les métaux et alliages métalliques

- Matériaux les plus employés pour les applications structurales (90% métaux ferreux, autres : alliages Al, Ti, Cu, Ni).
- Matériaux métalliques sont denses, et bons conducteurs thermiques et électriques.
- Les matériaux métalliques sont capables de se déformer de manière permanente = plasticité (Ex d'étude : Mise en forme (emboutissage) ; Dissipation d'énergie (choc mécanique)).

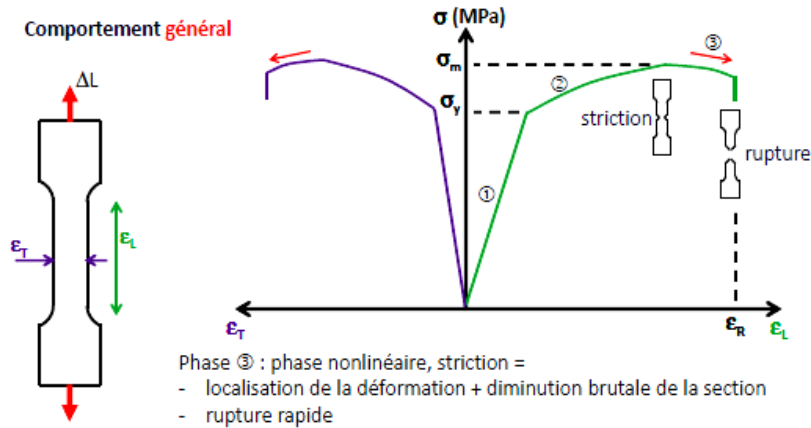
Comportement général

Pour un matériau isotrope : 2 coefficients élastiques sont pris en compte : le module de Young E et le coefficient de poisson ν .



Origines physiques de la plasticité

Le mécanisme de déformation plastique est un glissement relatif de plans cristallins qui s'effectue progressivement => dislocations.

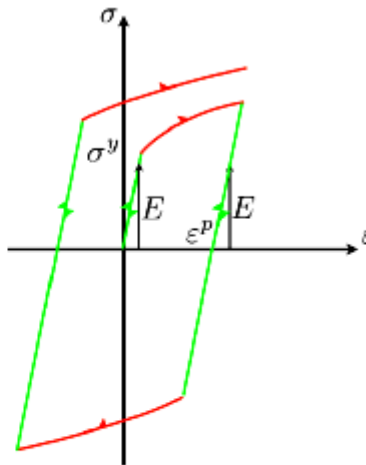


Si ③+②>>① alors le matériau est ductile sinon fragile

En résumé :

- élasticité linéaire
- σ_y limite d'élasticité initiale
- plasticité avec écrouissage
- décharge élastique
- ϵ^p déformation permanente
- remise en plasticité
- etc...

Symétrie initiale traction/compression mais peut devenir dissymétrique



Comportement non-linéaire

Courbe contrainte/déformation pas univoque car dépend de l'histoire du chargement

Hystérésis = dissipation thermique