

Mécanique Physique des Matériaux

Leçon de morale aux ingénieurs



École des Ponts

Daniel Weisz-Patrault

Remerciements

Prof. Alain Ehlacher



Moradin



Plan de la séance

- 1| Secteurs d'activité
- 2| Objets à concevoir
- 3| Responsabilité des ingénieurs
- 4| Programme

Plan de la séance

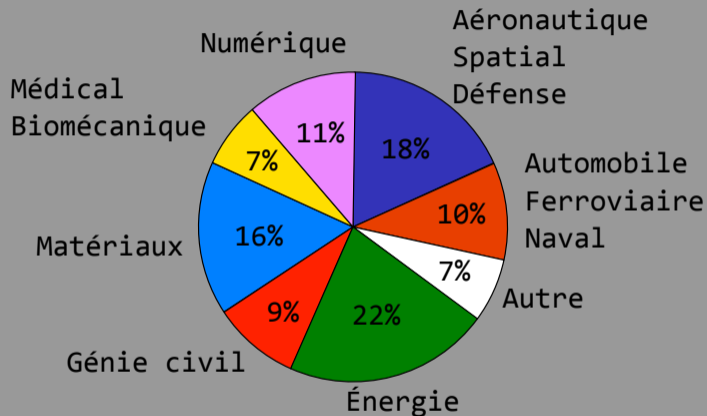
- 1| Secteurs d'activité
- 2| Objets à concevoir
- 3| Responsabilité des ingénieurs
- 4| Programme

Secteurs d'activité

| Répartition par secteur industriel

| Répartition par type d'activité

Répartition par secteur industriel

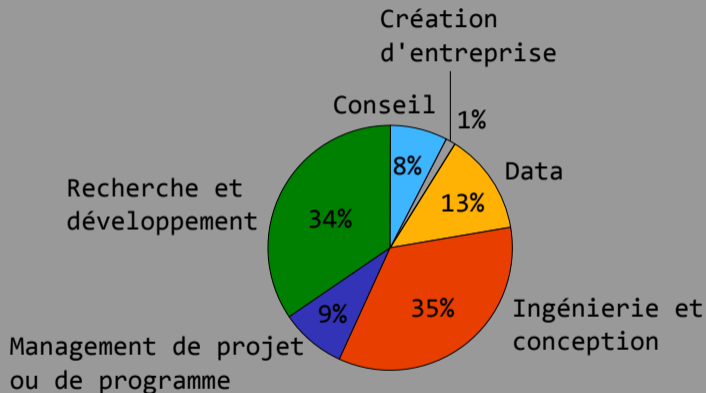


93% des étudiants sont dans le coeur d'activité de la filiale

Secteurs d'activité

- | Répartition par secteur industriel
- | Répartition par type d'activité

Répartition par type d'activité



Plan de la séance

- 1| Secteurs d'activité
- 2| Objets à concevoir
- 3| Responsabilité des ingénieurs
- 4| Programme

Objets à concevoir

| Quelques exemples

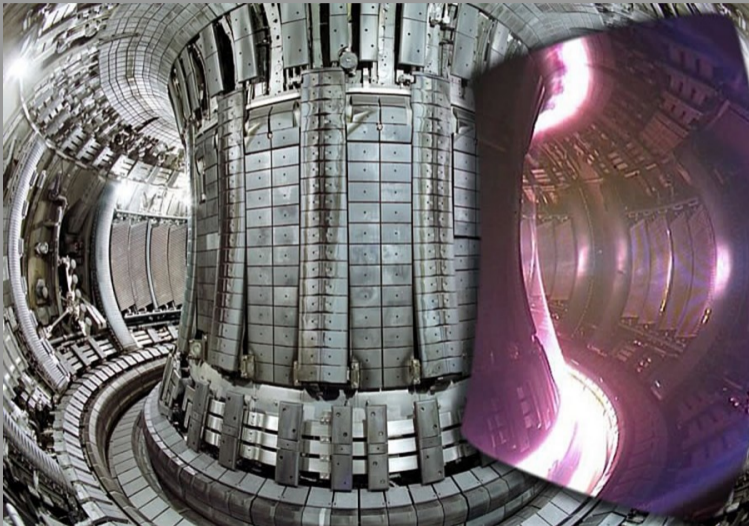
| Diversité des matériaux

| Grandes déformations

| Chargements extrêmes et cahier des charges complexe

Quelques exemples

Tokamak ITER



Quelques exemples

Virole de cuve de centrale nucléaire



Quelques exemples

Transport



Quelques exemples

Laminage



© Viktor Mächa

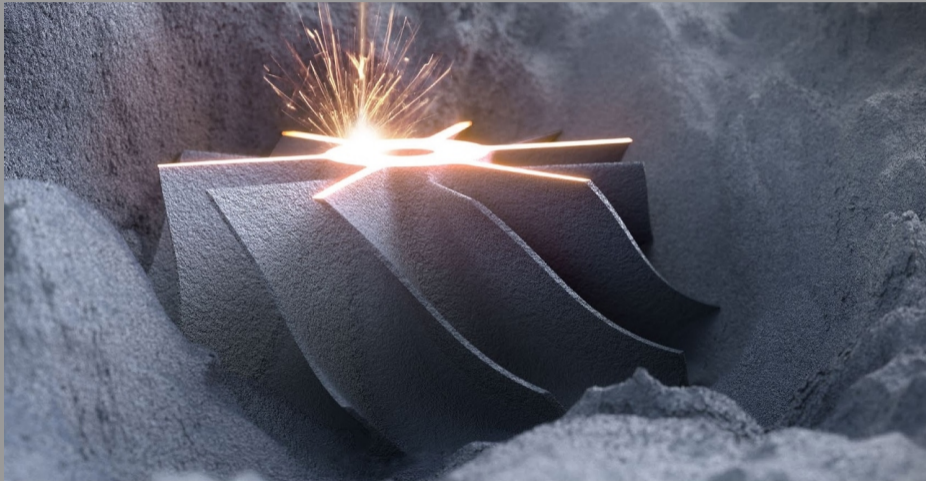
Quelques exemples

Fabrication additive (DED)



Quelques exemples

Fabrication additive (SLM)



Quelques exemples

Fabrication additive



Objets à concevoir

| Quelques exemples

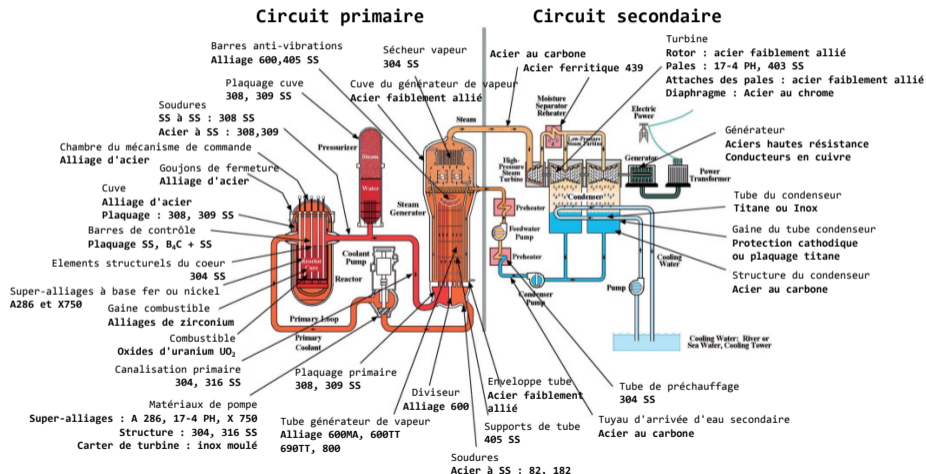
| **Diversité des matériaux**

| Grandes déformations

| Chargements extrêmes et cahier des charges complexe

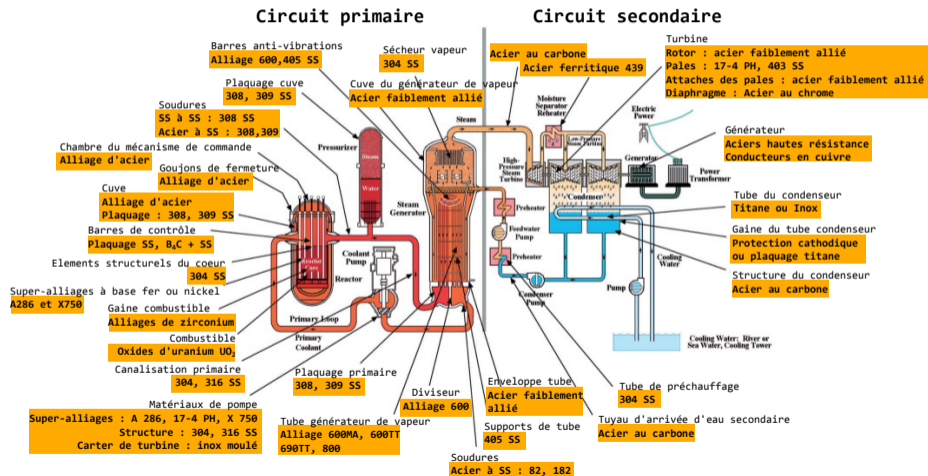
Diversité des matériaux

Nucléaire



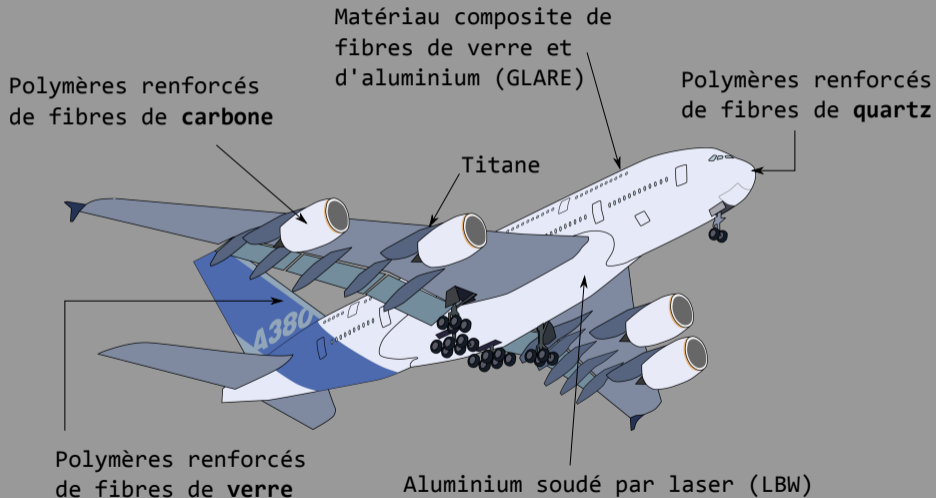
Diversité des matériaux

Nucléaire



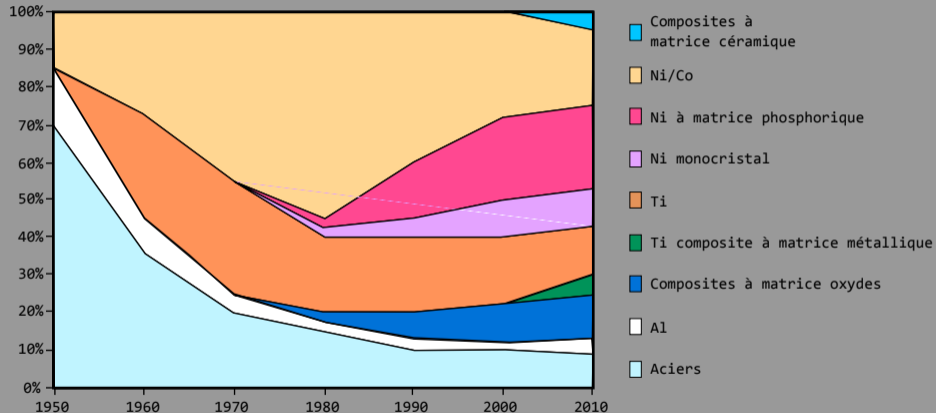
Diversité des matériaux

A380



Diversité des matériaux

SNECMA Moteurs



Objets à concevoir

| Quelques exemples

| Diversité des matériaux

| **Grandes déformations**

| Chargements extrêmes et cahier des charges complexe

Grandes déformations

Laminage

Grandes déformations

Emboutissage

Grandes déformations

Usinage



Grandes déformations

Friction stir welding



Grandes déformations

Friction stir welding

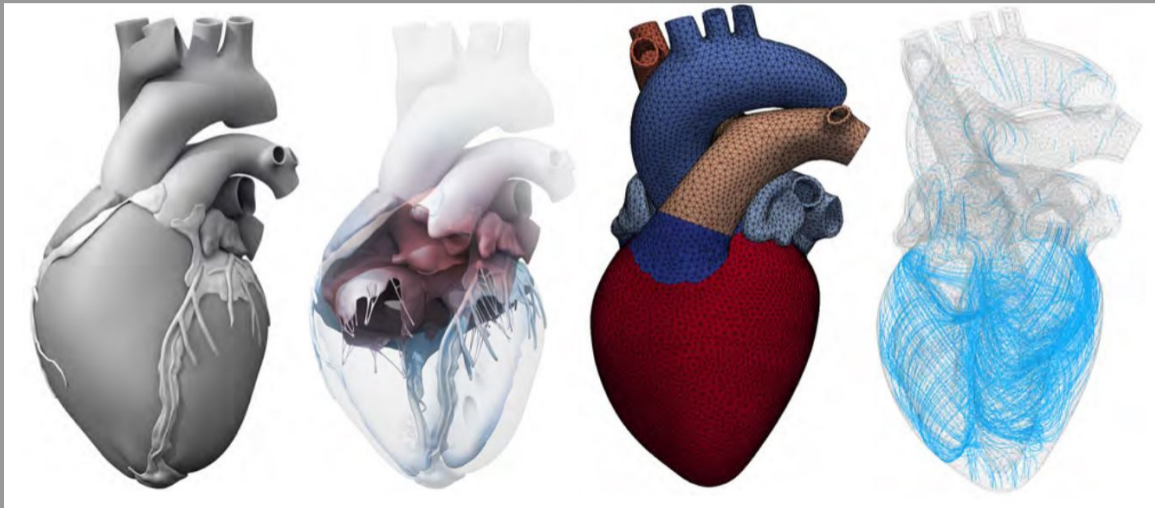
Grandes déformations

Situations accidentelles



Grandes déformations

Tissus biologiques (M. Genet et al. 2017)



Objets à concevoir

- | Quelques exemples
- | Diversité des matériaux
- | Grandes déformations
- | Chargements extrêmes et cahier des charges complexe

Chargements extrêmes et cahier des charges complexe

Sous-marin



Chargements extrêmes et cahier des charges complexe

Télescope Hubble



Chargements extrêmes et cahier des charges complexe

Prothèse de hanche



Plan de la séance

- 1| Secteurs d'activité
- 2| Objets à concevoir
- 3| Responsabilité des ingénieurs**
- 4| Programme

Responsabilité des ingénieurs

| Sécurité

| Morale des ingénieurs

| Problématique environnementale

| Pensée méthodique

Sécurité

Conception d'objets dangereux...

- Pas d'**ingénierie** sans **risque**
- Attentes sociales** croissantes en matière de **sécurité**
- Apprendre des **accidents passés**
- Conception **saine**
 - Choix des **matériaux**
 - Choix des **procédés de fabrication** et mise en forme
 - Dès la **conception** : notions de **risque** et **incertitude**
 - **Redondance**
 - **Instrumenter** pour **surveiller**

...mais utiles

- Aucun risque n'est permis si...** l'objet ne rend aucun service
- Balance **bénéfice / risque**

Sécurité

Une distinction fondamentale

Danger (Hazard)

Il existe

- une circonstance
- une dose
- ...

pour laquelle l'objet crée
un dommage

- pour la santé humaine
- environnemental

Risque

Probabilité d'exposition au danger

- condition normale d'utilisation
- exposition accidentelle
- à quelle dose?
- sur quelle durée?

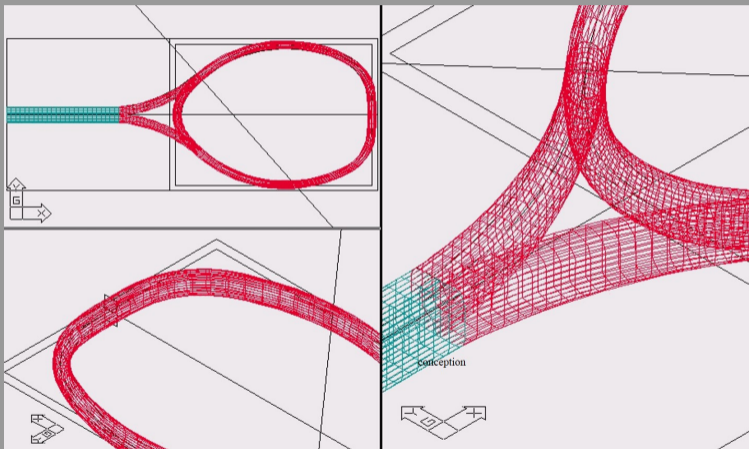
Le danger ne suffit pas à disqualifier une technologie, l'évaluation des risques si.

Principe de précaution?

Evaluer le risque d'agir **aussi bien** que le risque de ne pas agir.

Sécurité

Projet élèves : très peu risqué



Sécurité

Projet d'envergure



Sécurité

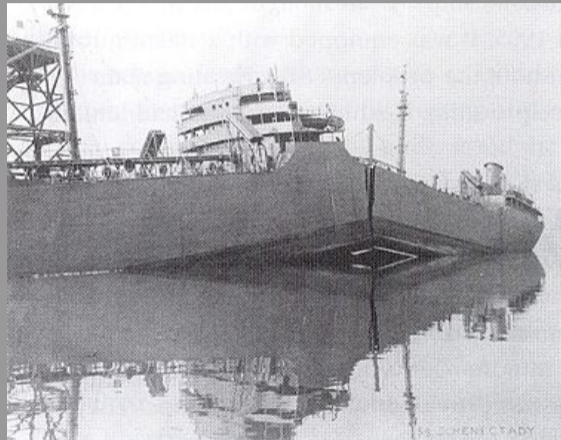
28 avril 1988 / Boeing 737-200



Rupture en fatigue : 89 090 cycles décollages/atterrissages pour une conception à 75 000 cycles

Sécurité

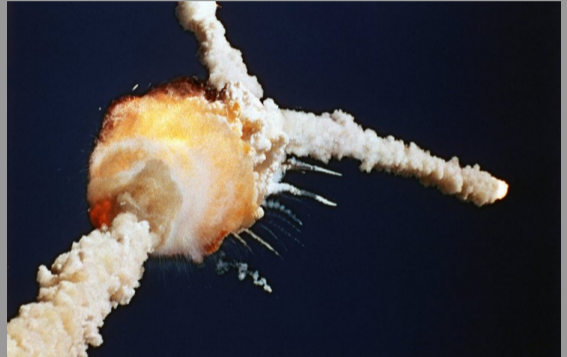
Tanker pétrolier militaire 1943



Ténacité fonction de la température.

Sécurité

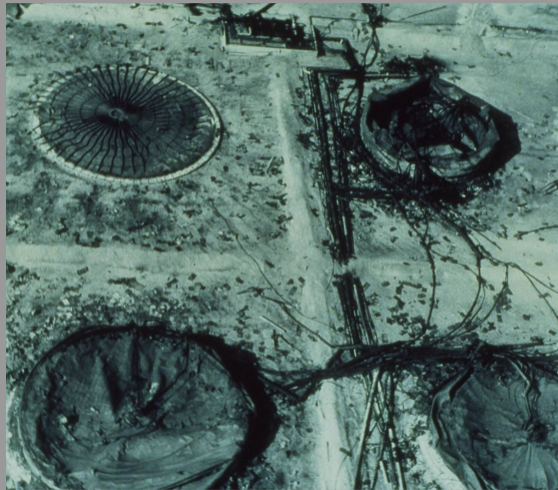
Navette challenger



Comportement des joints toriques des boosters à basses températures
Prise de décision en décalage avec la réalité physique.

Sécurité

Complexe gazier



Cycles thermiques

Sécurité

Accident nucléaire de Chernobyl 1986



Pour se renseigner de manière fiable : publications de l'UNSCEAR !

Sécurité

62 barrages de Banqiao Chine, 1975



Estimations : 150 000 morts.

Responsabilité des ingénieurs

- | Sécurité
- | **Morale des ingénieurs**
- | Problématique environnementale
- | Pensée méthodique

Morale des ingénieurs

Habituellement

Conséquences attendues

Principes

Société juge un ingénieur

Conséquences réelles

Principes

- Modèles **prédictifs**
- Validations **expérimentales**
- Grandes** transformations
- Aspects **matériaux**
- Probabilité** des évènements

- Déontologie

Pour un ingénieur : l'ignorance est condamnable

Responsabilité des ingénieurs

- | Sécurité
- | Morale des ingénieurs
- | **Problématique environnementale**
- | Pensée méthodique

Problématique environnementale

Génie Mécanique et Matériaux : secteurs émetteurs



Problématique environnementale

- Se former sur ces questions : **cours des Mines** etc.
- Rapports du **GIEC**
- Concevoir** avec ces problématiques en tête
- Cabinet d'**expertise carbone**
- Coût **environnemental**
- Analyse de **cycle de vie**
- Rareté** des éléments chimiques (ex : indium, argent, cuivre, zinc)
- Dilution** des éléments, alliages (ex : titane, etc.)
- Durabilité** des structures / **réparation**
- Retraitement, recyclage, revalorisation
- Rapport **utilité** / **coût environnemental**

Responsabilité des ingénieurs

- | Sécurité
- | Morale des ingénieurs
- | Problématique environnementale
- | **Pensée méthodique**

Pensée méthodique

- Arguments **fallacieux**
- Illusions** cognitives
- Rôle de la **preuve**
- Papiers scientifiques, système des **publications**
- Tests d'hypothèses** (p -value) vs **Bayesiannisme**

Pensée méthodique

- Biais : **confirmation**
- Biais : **confusion cause et corrélation**
- Négligence de la **taille de l'échantillon**
 - Hasard produit de l'**extraordinaire** tous les jours
 - Ne pas sous-estimer la **probabilité** d'occurrence d'**évènements improbables**
- Contamination du **vrai** par le **désir**

Plan de la séance

- 1| Secteurs d'activité
- 2| Objets à concevoir
- 3| Responsabilité des ingénieurs
- 4| Programme

Programme

Objectifs du cours

Savoir écrire des comportements en grandes transformations pour savoir ce qui sous-tend les codes de calcul

- **Très souvent** : calculs faux
 - **Conditions aux limites** mal pensées
 - **Comportements** mal écrits
 - Mauvaise connaissance des **concepts calculés** par les codes
 - HPP vs grandes transformations
 - **Problèmes numériques** (ex : convergence, défaut de maillage etc.)
- Biais entre la **question posée** à un calcul et la **réalité**
- Ne pas faire dire à un calcul ce qui sort de son **domaine de validité**

Programme

Séance 1 Classification et choix des matériaux

Séance 2 Méthode générale de modélisation en mécanique

Séance 3 Exemple : mécanique de milieux continus classique

Séance 4 Écriture générale des relations constitutives

Séance 5 Comportement des polymères et des élastomères

Séance 6 Étude de cas

Séance 7 Origine physique de la plasticité

Séance 8 Élastoplasticité HPP

Séance 9 Élastoplasticité en grandes transformations

Séance 10 Étude de cas

Séance 11 Microstructures et transitions de phase

Séance 12 Contraintes résiduelles

Séance 13 Examen