

Ecole Centrale Marseille

9 novembre 2010

Modéliser c'est comprendre :
un défi pour les générations futures

Jean-Michel GHIDAGLIA

Professeur à l'Ecole Normale Supérieure de Cachan
et Directeur scientifique de « La Recherche »

Plan

- Qu'est ce qu'une soufflerie numérique ?
- Quelques situations
- Les mots clefs :
 - Multi échelles
 - Multi disciplinaire
 - La notion de système
 - Optimiser
- L'ingénieur de demain

Qu'est ce qu'une soufflerie ~~numérique~~ ?

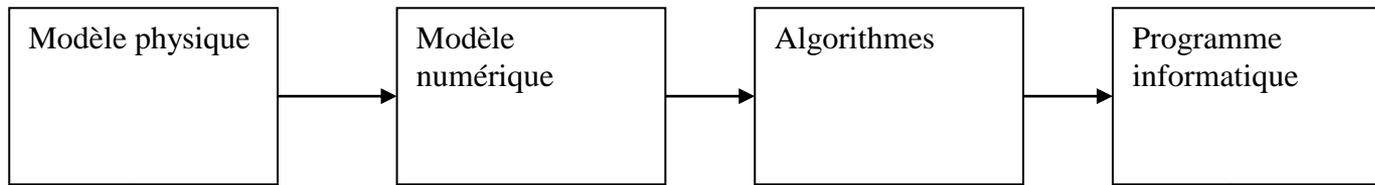


Modane
ONERA



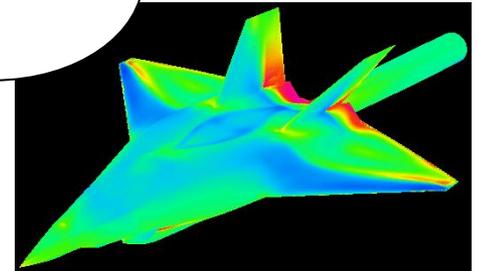
Qu'est ce qu'une soufflerie numérique ?

La démarche de modélisation



Réalité

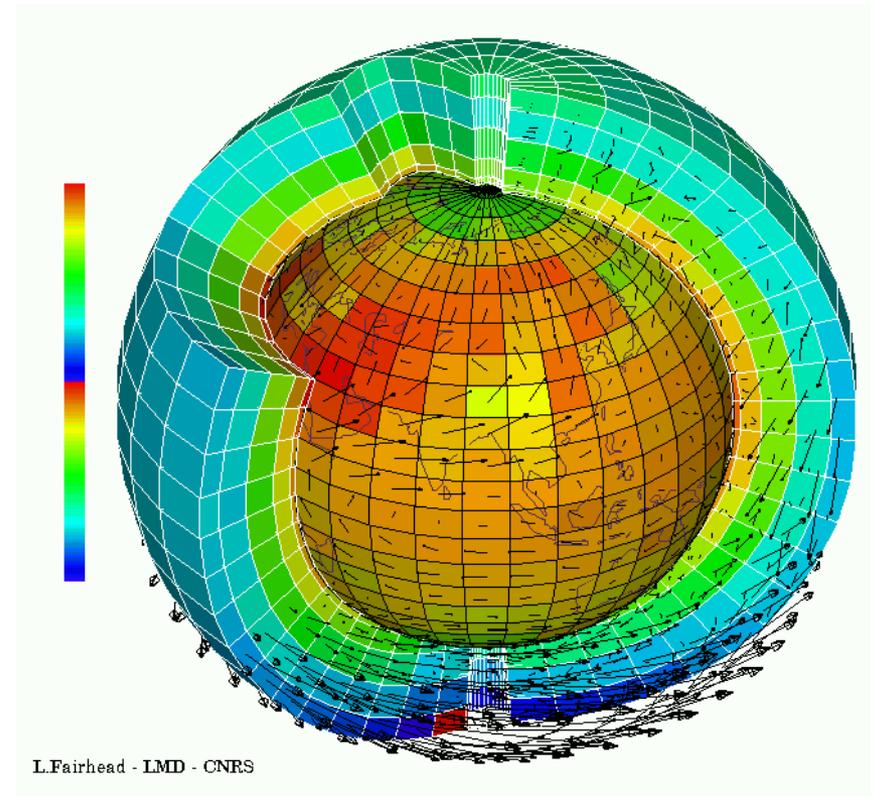
Résultat



QUELQUES EXEMPLES

Une première situation : la météorologie

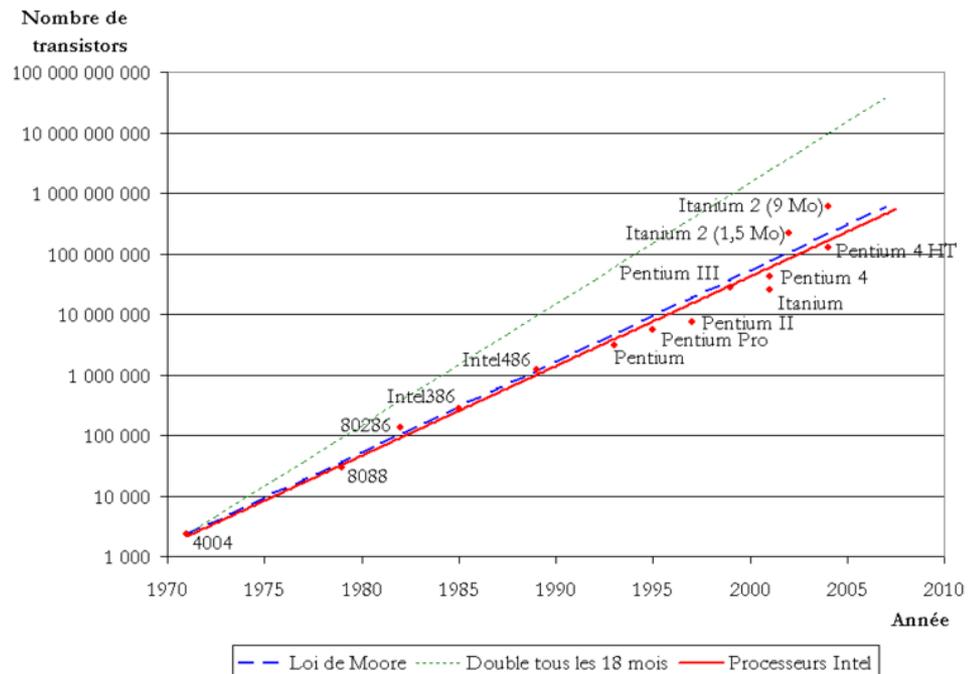
- Prévoir le temps jusqu'à 10 jours
- Mailles de 800 km (1990)
- A l'origine du développement du calcul vectoriel
- Aujourd'hui 200 km + chimie + interaction avec végétation
- Maille d'1 km : ordinateur exaflopique (10^{18} opérations flottantes par secondes) 2020 ?



Développement des ordinateurs

- ▶ Motivation historique : les armes militaires
 - ▶ Demande des moyens financiers importants
 - ▶ ENIAC : Issu du projet Manhattan (Bombe A) pendant la seconde guerre mondiale
- ▶ Loi de Moore

- - - « Le nombre de transistors sur une puce double tous les 2 ans »



Puissant driver : la modélisation du monde qui nous entoure

Pourquoi ?

- ▶ Questions fondamentales
- ▶ Aspects économiques : simuler est beaucoup moins cher qu'expérimenter.
- ▶ Aspects durabilité : moins d'énergie consommée, moins de matières premières consommées que pour l'expérience

Mais attention : les ordinateurs consomment de plus en plus d'énergie



« Green computing »

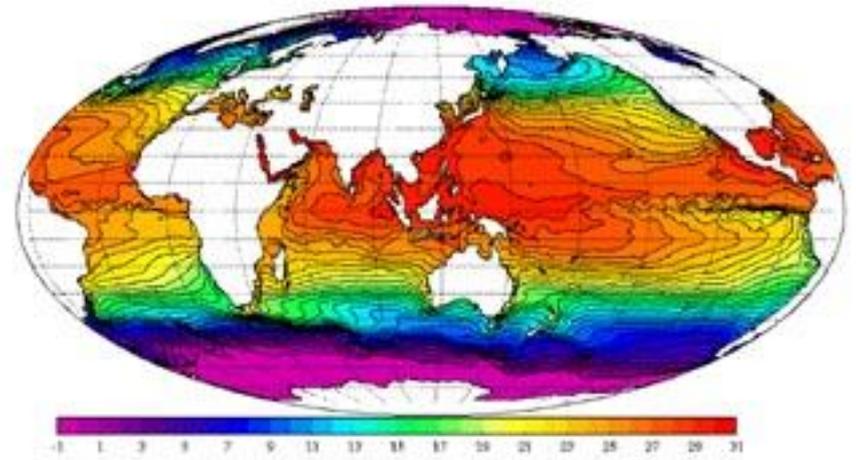
Puissant driver : la modélisation du monde qui nous entoure (suite)

Pourquoi ?

- ▶ Optimiser les « process »
- ▶ Mettre au point de nouvelles technologies durables
- ▶ Diminuer la consommation d'énergie (par exemple simuler une ville)
- ▶ Diminuer l'empreinte anthropique (par exemple stocker le CO₂)
- ▶ Mieux soigner
- ▶ ...

Une deuxième situation : la prévision du climat

- Prévoir à 3 mois, 1 an, 10 ans,...
- Approche globale indispensable
- Une foule de problèmes fondamentaux et pratiques

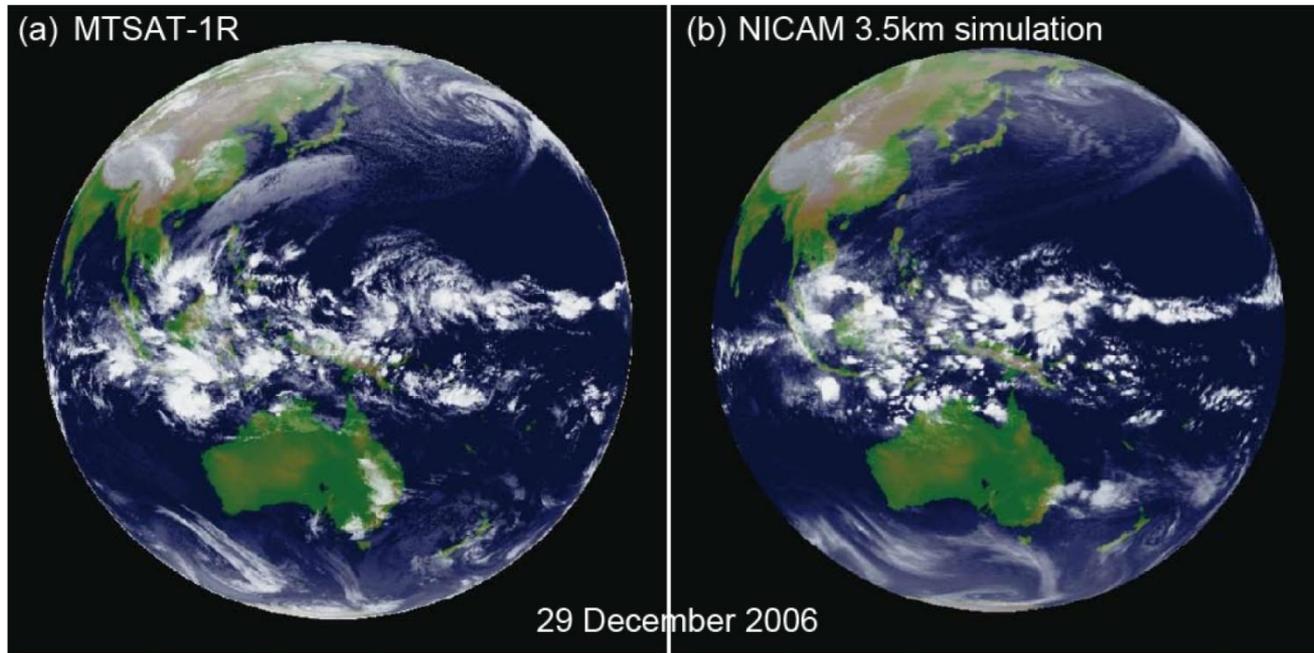


Températures de surface des océans simulées avec $0,5^\circ$ de longitude de résolution horizontale et 300 niveaux verticaux.
Simulation réalisée en 48 heures sur **Earth Simulator**

Earth Simulator (Japon)

Image satellite

Simulation

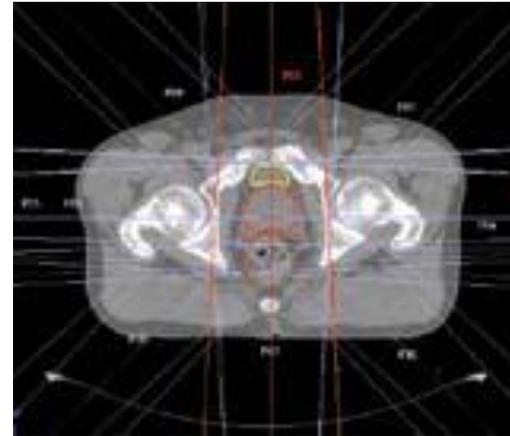


Miura et al, Science 2007

Quelques (!)
semaines de temps
calcul

Une troisième situation : soin des cancers

Calculer très précisément, lors de radiothérapies, la dose de rayonnements ionisants à déposer à partir d'images (scanner) du corps du patient



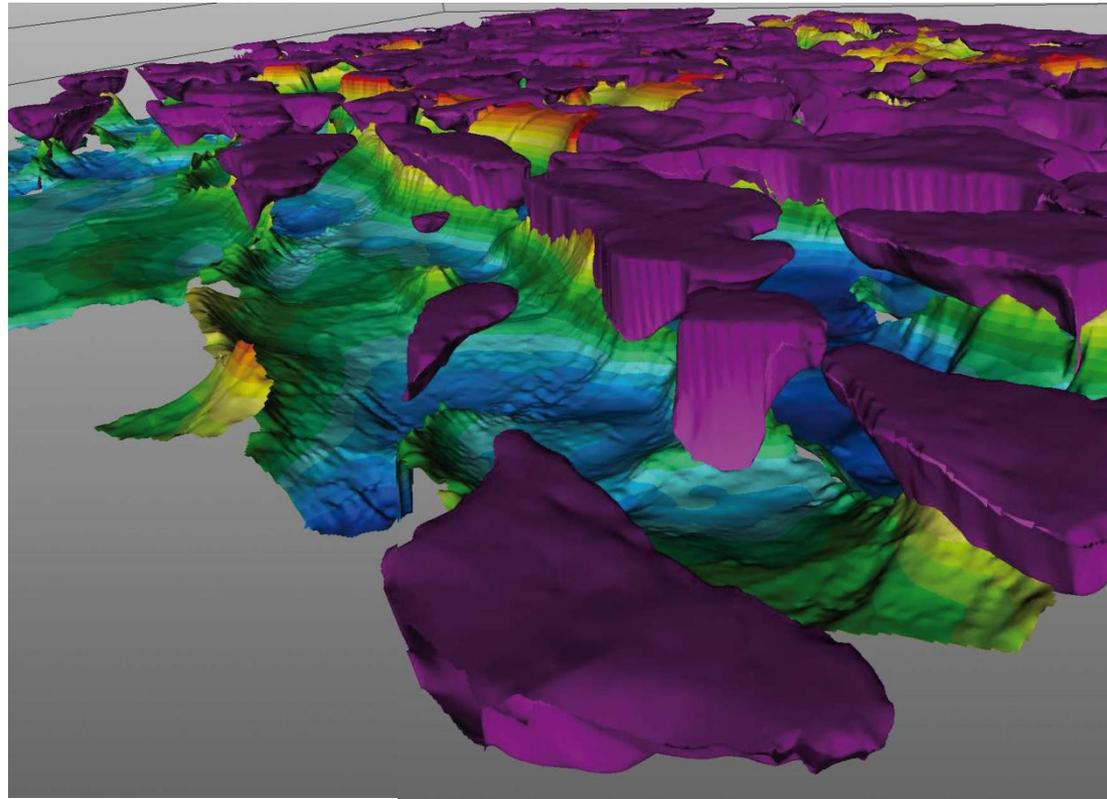
Simulation du positionnement des faisceaux qui seront réalisés lors du traitement.

Une quatrième situation : Gisements pétroliers

Image du sous-sol dans l'offshore profond.

La zone, qui couvre 4 000 km²,
montre des dômes de sel de
plusieurs kilomètres
d'épaisseur (en violet)
surplombant des couches de
sédiments (du bleu au rouge)
déposés au cours des 100
derniers millions d'années.

Ce paysage géologique sous une
profondeur d'eau de 2 000 m
(*offshore très profond*)
évolue jusqu'à une
profondeur de 10 000 m.



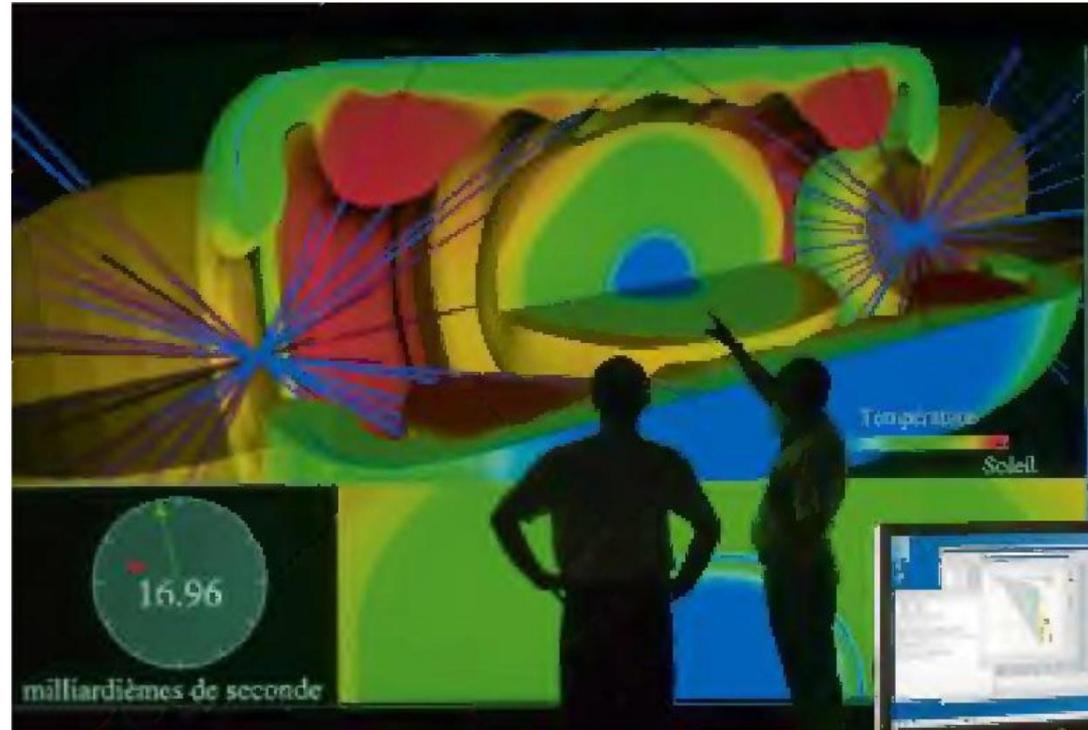
Travaux de TOTAL SA

Une cinquième situation : la FCI

Fusion par confinement inertiel

Voie concurrente d'ITER
(confinement magnétique).

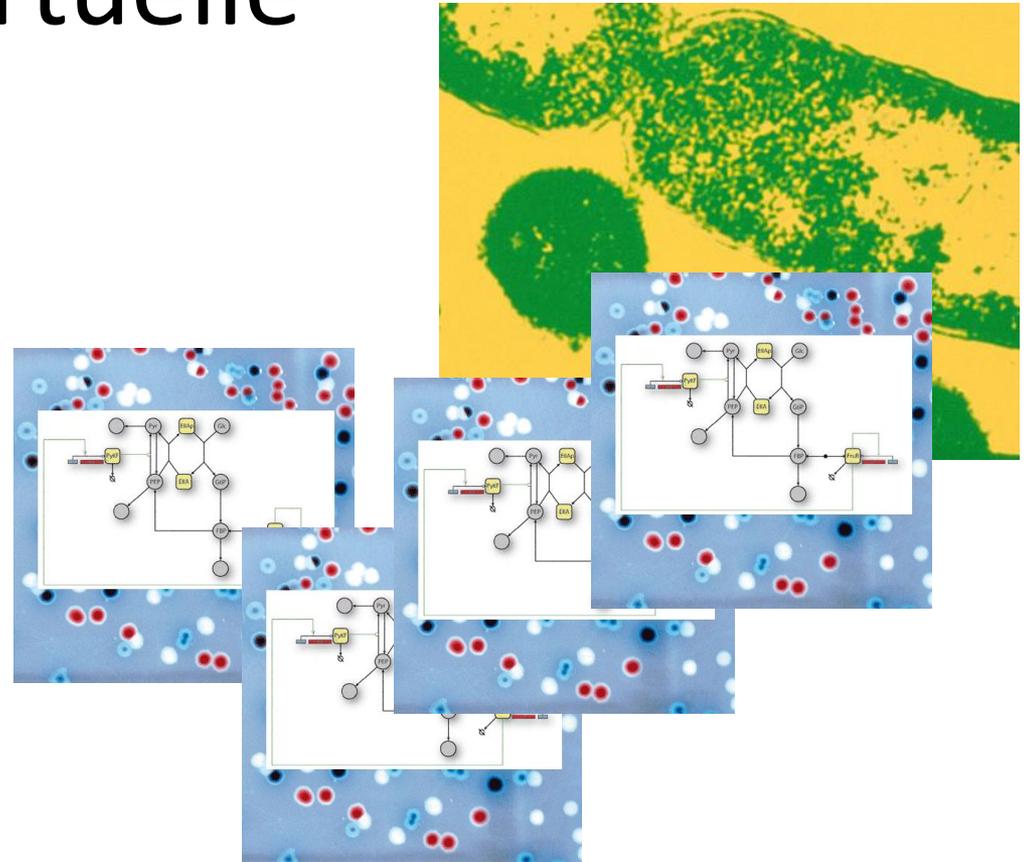
Des faisceaux LASER viennent faire imploser une bille d'Au qui contient un mélange D+T qui donne un noyau d'He et libère de l'énergie de fusion $>$ à celle fournie.



Travaux du CEA Bruyères

Une sixième situation : la cellule virtuelle

La cellule est le siège de très nombreuses réactions biochimiques. Mathématiques et informatique donnent une clé supplémentaire pour la compréhension du fonctionnement des cellules, pour simuler leurs réactions et peut-être accéder à leur contrôle.



Travaux de l'INRIA

Une septième situation : Simuler la ville

Probablement le plus grand défi, il referme toutes les difficultés :

- Comportement humain
- Multi-échelle
- Système sous fortes sollicitations extérieures
- Inertie intrinsèque
- Contraintes réglementaires
- ...



Résoudre ou disparaître

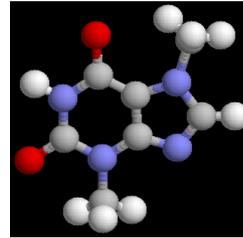
QUELQUES MOTS CLEFS

Multi échelles

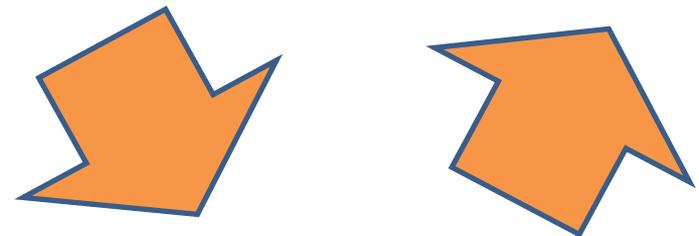
- Sujet « historique » pour la Science :

Passer de l'atome aux milieux continus

Micro 10^{-6} m → Macro 1 m



- Sujet moderne :
Déduire des propriétés à une certaine échelle à partir d'échelles plus petites
 10^{-10} m → 10^{+7} m



Nouveaux métiers



Multi disciplinaire

Evolution des « savants »

Universels : Léonard de Vinci, d'Alembert, Newton

Spécialistes : chercheurs fin du XX°

L'individu disparaît au profit de l'*équipe*

Transition difficile



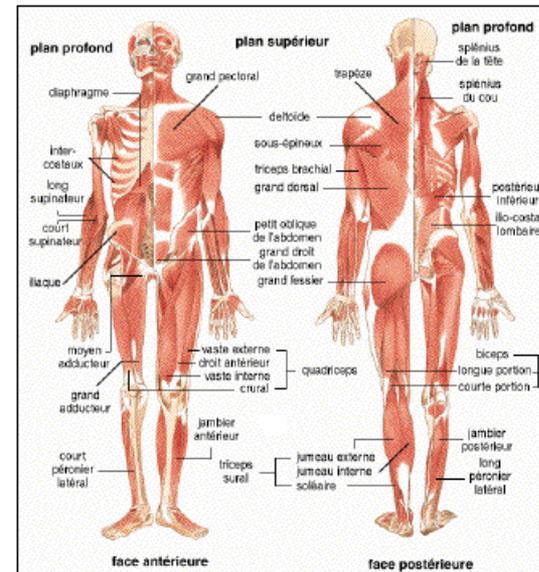
Auguste Comte
(1798 -1857)
philosophe
français père de
la célèbre
classification



Nouveaux
paradigmes se
mettent en place et
Nouveaux *profils*

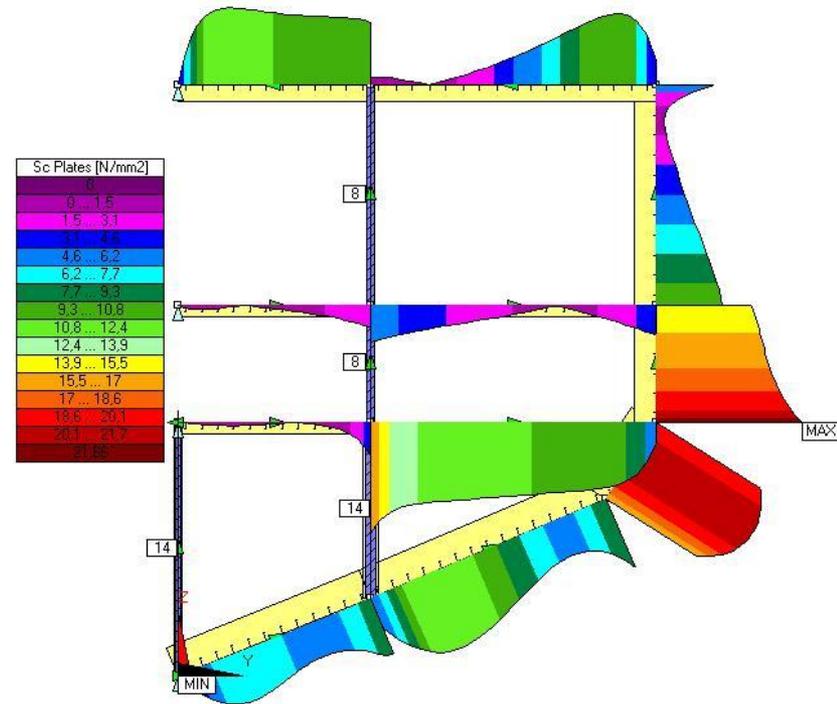
La notion de Système

- Il y a jamais de système isolé
- Définir les interactions avec l'extérieur
- Comportement de l'extérieur



Optimiser

- **Optimiser** c'est réaliser un *compromis* (le meilleur si possible) entre des *contraintes contradictoires*
- **Jusqu'à présent** uniquement critère économique
- **Aujourd'hui** : très forte pression *environnementale*



L'INGÉNIEUR DE DEMAIN

Il a la triple formation :

Ingénieur
Chercheur (thèse)
Gestionnaire

généraliste
spécialiste
intègre les réalités

Merci pour votre attention