Introduction
Ingénierie
Modélisation
Simulation
Numérique
Mécanique des fluides
Modèles
Application au contrôle d'écoulement
Application à l'optimisation
Application à l'hydrodynamique des bâteaux
Extension au trafic
Couplages complexes
Analyse structurale et optimisation
Application à la biologie
Réalité virtuelle
Conclusion

Modélisation et simulation : lorsque l'ingénierie devient numérique

Jean-Antoine Désidéri
et ses collègues de l'Équipe-Projet INRIA OPALE
Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique (INRIA)
Centre de Sophia Antipolis Mediterranée
http://www-sop.inria.fr/opale

Avignon, 22 Mai 2012
BTS 1e année (CPI, MAI, IRIS), ING 2e année

Introduction
Ingénierie
Modélisation
Simulation
Numérique
Mécanique des fluides
Modèles
Application au contrôle d'écoulement
Application à l'optimisation
Application à l'hydrodynamique des bâteaux
Extension au trafic
Couplages complexes
Analyse structurale et optimisation
Application à la biologie
Réalité virtuelle
Conclusion

Contenu

1. Introduction
   - Ingénierie
   - Modélisation
   - Simulation
   - Numérique
2. Mécanique des fluides
   - Modèles
   - Application au contrôle d'écoulement
   - Application à l'optimisation
   - Application à l'hydrodynamique des bâteaux
   - Extension au trafic
   - Couplages complexes
3. Analyse structurale et optimisation
4. Application à la biologie
5. Réalité virtuelle
6. Conclusion

Introduction
Ingénierie
Modélisation
Simulation
Numérique
Mécanique des fluides
Modèles
Application au contrôle d'écoulement
Application à l'optimisation
Application à l'hydrodynamique des bâteaux
Extension au trafic
Couplages complexes
Analyse structurale et optimisation
Application à la biologie
Réalité virtuelle
Conclusion

Ingénierie

et sciences physiques

Mécanique des fluides

Secteurs concernés

- Ingénierie des transport terrestre, aérien et marin: aérodynamique des avions (ailes et moteurs), des automobiles, des trains„ hydrodynamique des bâteaux, ...
- Énergie: éoliennes, atome, ITER
- La météo, le trafic routier ou piétonnier
- Physique fondamentale (par ex.: turbulence)

Mécanique des milieux continus

Mécanique des matériaux et analyse structureale (contraintes internes et déformations, thermique; structures métalliques, bêton, etc)

Biologie

Modélisation géométrique et fonctionnelle des organes; dynamique cellulaire, . . .
Ici: cicatrisation, anti-angiogénèse

Réalité virtuelle

Et bien d'autres domaines encore non abordés ici

Électricité, électronique, électro-magnétisme, . . . , robotique, . . . , chimie, . . . , systèmes couplés, . . .

Introduction
Ingénierie
Modélisation
Simulation
Numérique
Mécanique des fluides
Modèles
Application au contrôle d'écoulement
Application à l'optimisation
Application à l'hydrodynamique des bâteaux
Extension au trafic
Couplages complexes
Analyse structurale et optimisation
Application à la biologie
Réalité virtuelle
Conclusion

Modélisation

Construire un modèle mathématique représentant un phénomène physique ou un système complexe (souvent mécanique) avec suffisamment de fidelité

- Modèles locaux (x,y,z,t) de "haute-fidélité":
  Équations aux Dérivées Partielles (EDP)
  Traduisent les lois fondamentales de la mécanique/physique: conservation de la masse, quantité de mouvement, énergie, etc
- Modèles globaux
  Ex.: équilibre des forces

Faire l'étude mathématique du modèle

existence et unicité des solutions, propriétés générales

LE CONSTAT : pour les modèles complexes non-linéaires, on sait rarement "calculer" la solution exacte continue; on a recours à l'approximation discrète.

Introduction
Ingénierie
Modélisation
Simulation
Numérique
Mécanique des fluides
Modèles
Application au contrôle d'écoulement
Application à l'optimisation
Application à l'hydrodynamique des bâteaux
Extension au trafic
Couplages complexes
Analyse structurale et optimisation
Application à la biologie
Réalité virtuelle
Conclusion

Simulation numérique

Résoudre les équations du modèle exact ou approché au moyen de l'ordinateur; visualiser et analyser les solutions

Modèle approché

S'applique surtout aux modèles locaux.

- Construire un maillage du domaine de calcul
- Discrétiser les inconnues; typiquement
  $\mathrm{U}(x,y,z,t) \longrightarrow \mathrm{U}_i^n \approx \mathrm{U}_h(x_i,y_i,z_i,t^n)$
  (i: nœud du maillage; h caratérise la finesse du maillage)
  Mécanique des fluides: $\mathrm{U} = (\rho, \rho u, \rho v, \rho w, E)$
- Discrétiser les équations du modèle (approximation) $\Longrightarrow$ système "algébrique" (non-différentiel) souvent non-linéaire au grand nombre d'inconnues
- Résoudre les équations discrètes au moyen de l'ordinateur; visualiser et analyser les solutions.

Introduction
Ingénierie
Modélisation
Simulation
Numérique
Mécanique des fluides
Modèles
Application au contrôle d'écoulement
Application à l'optimisation
Application à l'hydrodynamique des bâteaux
Extension au trafic
Couplages complexes
Analyse structurale et optimisation
Application à la biologie
Réalité virtuelle
Conclusion

Numérique

Analyse numérique et programmation informatique

Très nombreuses questions soulevées

- Convergence quand le maillage est raffiné: $\lim_{h\to 0} U_h = U$? Le maillage est-il adapté ?
- Les temps de calcul sont-ils satisfaisants
- L'architecture de M. Ordi est-elle la bonne ?
- Le modèle physique posé *a priori* était-il le bon ?
- Etc

Introduction
Ingénierie
Modélisation
Simulation
Numérique
Mécanique des fluides
Modèles
Application au contrôle d'écoulement
Application à l'optimisation
Application à l'hydrodynamique des bâteaux
Extension au trafic
Couplages complexes
Analyse structurale et optimisation
Application à la biologie
Réalité virtuelle
Conclusion

Contenu

1 Introduction
- Ingénierie
- Modélisation
- Simulation
- Numérique

2 Mécanique des fluides
- Modèles
- Application au contrôle d'écoulement
- Application à l'optimisation
- Application à l'hydrodynamique des bâteaux
- Extension au trafic
- Couplages complexes

3 Analyse structurale et optimisation

4 Application à la biologie

5 Réalité virtuelle

6 Conclusion

Introduction
Ingénierie
Modélisation
Simulation
Numérique
Mécanique des fluides
Modèles
Application au contrôle d'écoulement
Application à l'optimisation
Application à l'hydrodynamique des bâteaux
Extension au trafic
Couplages complexes
Analyse structurale et optimisation
Application à la biologie
Réalité virtuelle
Conclusion

Exemple de la météo

Étude de l'écoulement de couche limite atmosphérique terrestere

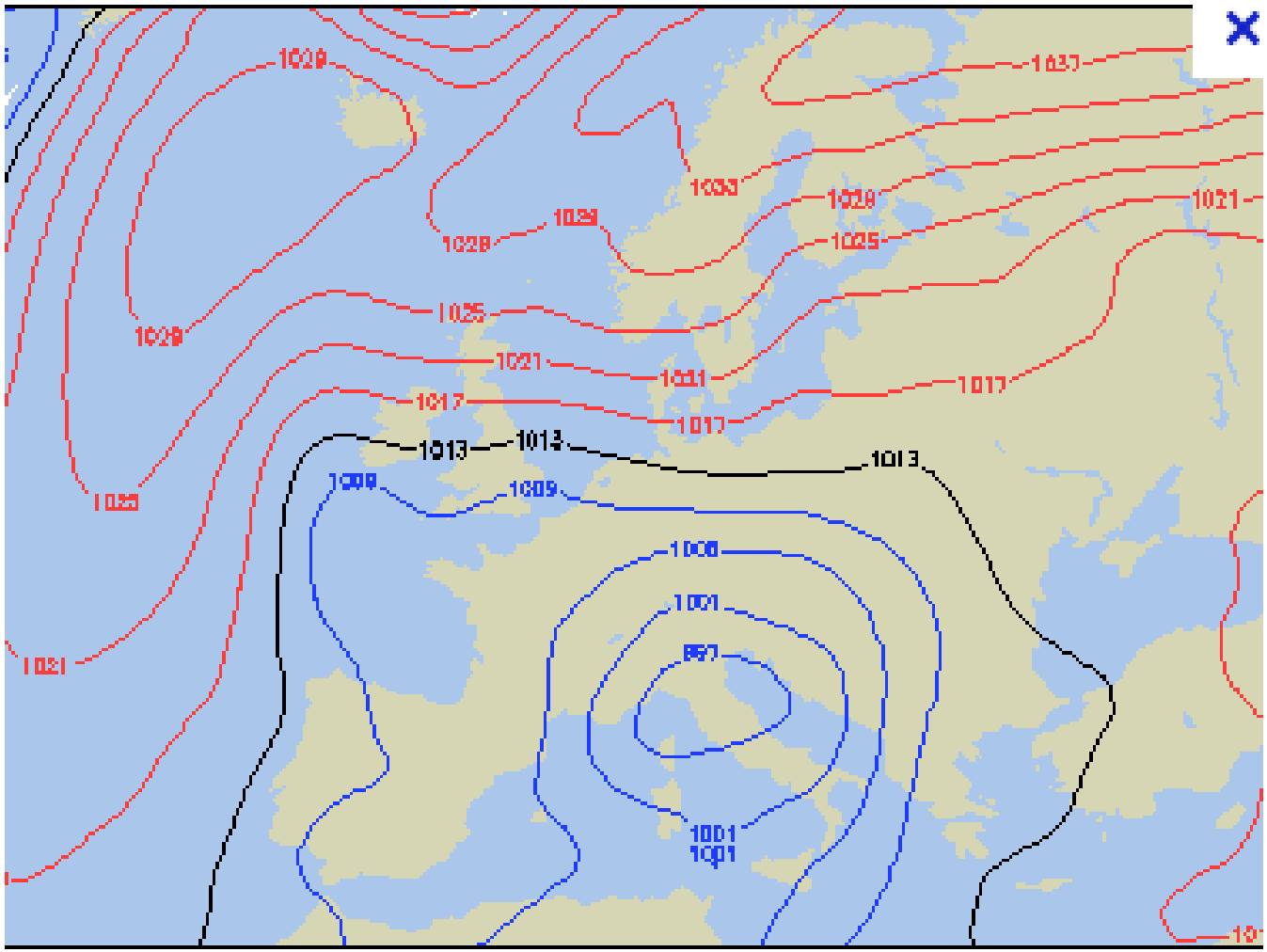
Connaissant les conditions d'hier et d'aujourd'hui, et les conditions de terrain (océan, plaine, forêt, montagne, . . .), prévoir celles de demain.

Les isobares

Introduction
Ingénierie
Modélisation
Simulation
Numérique
Mécanique des fluides
Modèles
Application au contrôle d'écoulement
Application à l'optimisation
Application à l'hydrodynamique des bâteaux
Extension au trafic
Couplages complexes
Analyse structurale et optimisation
Application à la biologie
Réalité virtuelle
Conclusion

Les isobares de la météo

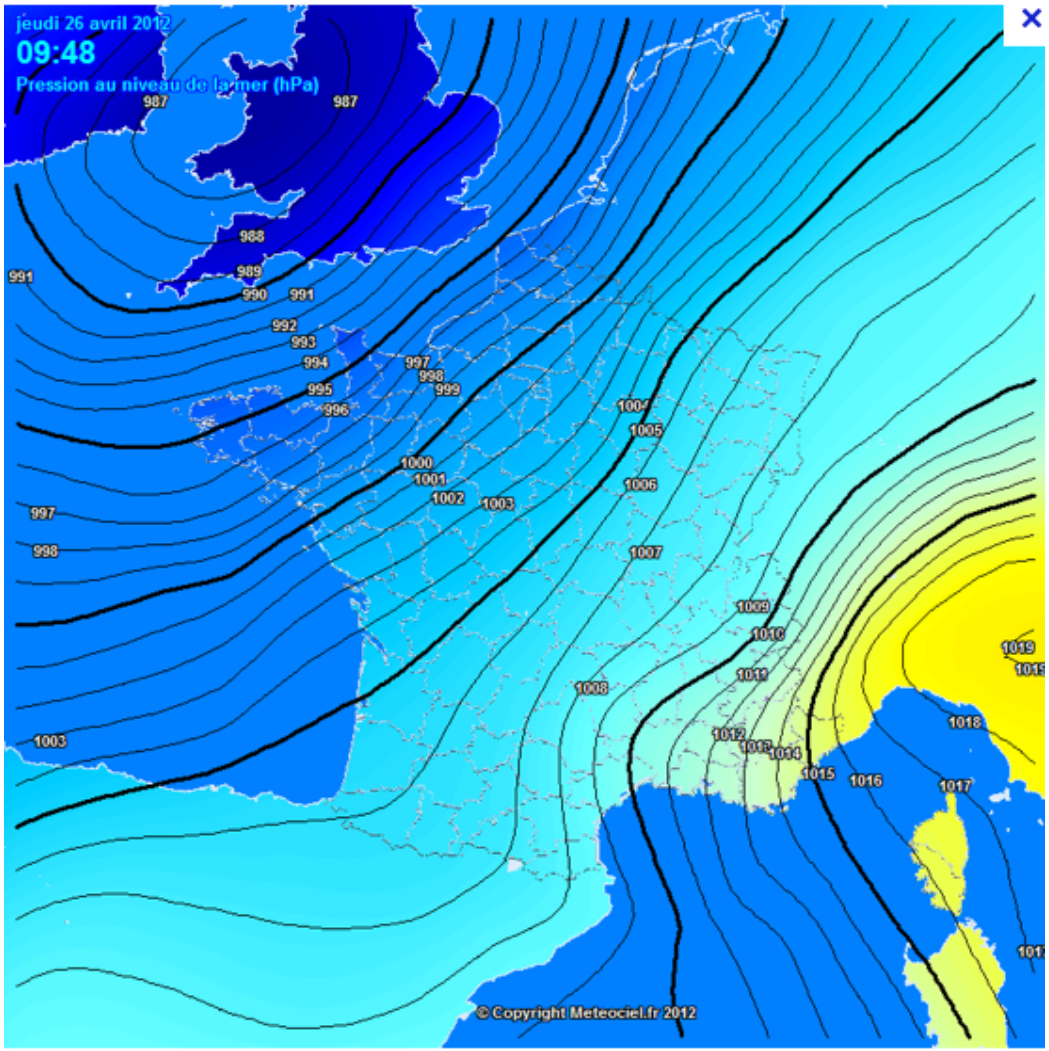
Représentation de la pression atmosphérique $p(x, y)$ par lignes de niveau



Introduction
Ingénierie
Modélisation
Simulation
Numérique
Mécanique des fluides
Modèles
Application au contrôle d'écoulement
Application à l'optimisation
Application à l'hydrodynamique des bâteaux
Extension au trafic
Couplages complexes
Analyse structurale et optimisation
Application à la biologie
Réalité virtuelle
Conclusion

Les isobares de la météo

Représentation de la pression atmosphérique $p(x, y)$ par lignes de niveaux et palette de couleurs



Introduction
Ingénierie
Modélisation
Simulation
Numérique
Mécanique des fluides
Modèles
Application au contrôle d'écoulement
Application à l'optimisation
Application à l'hydrodynamique des bâteaux
Extension au trafic
Couplages complexes
Analyse structurale et optimisation
Application à la biologie
Réalité virtuelle
Conclusion

Aérodynamique

Expérience fondamentale

portance, traînée

Modèle local

Exemple: l'aile portante

Analyse fine de l'écoulement par simulation numérique (résolution des équations d'Euler ou de Navier-Stokes)

Modèle global

Équilibre des forces en vol stabilisé: portance, traînée, poids, poussée des moteurs

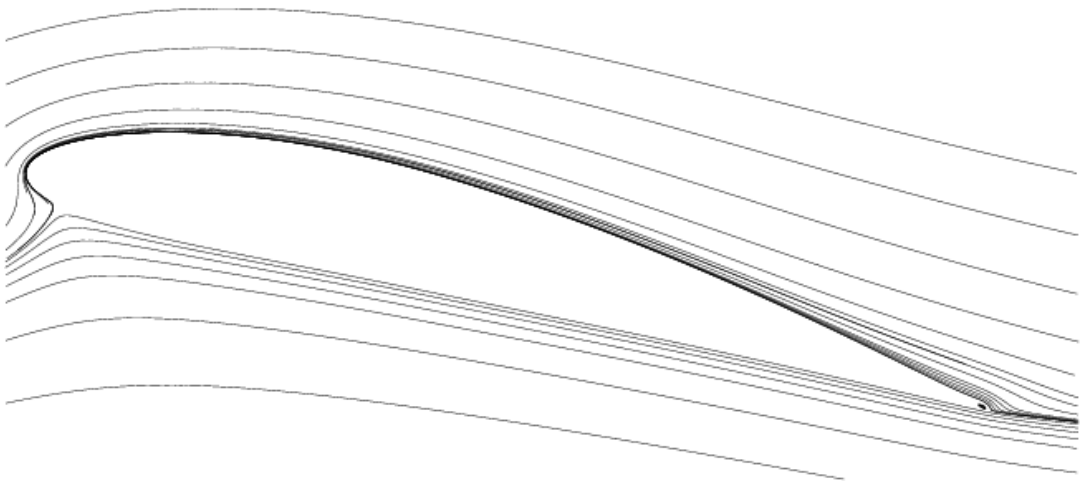
Introduction
Ingénierie
Modélisation
Simulation
Numérique
Mécanique des fluides
Modèles
Application au contrôle d'écoulement
Application à l'optimisation
Application à l'hydrodynamique des bâteaux
Extension au trafic
Couplages complexes
Analyse structurale et optimisation
Application à la biologie
Réalité virtuelle
Conclusion

L'aile portante

Modèle local: l'écoulement

$$\mathrm{U} = (\rho, \rho u, \rho v, \rho w, E) = \mathrm{U}(x, y, z, t) \quad \text{en } (x, y, z) \text{ à l'instant } t$$

Lignes de courant d'un écoulement bidimensionnel incompressible turbulent de Navier-Stokes



Introduction
Ingénierie
Modélisation
Simulation
Numérique
Mécanique des fluides
Modèles
Application au contrôle d'écoulement
Application à l'optimisation
Application à l'hydrodynamique des bâteaux
Extension au trafic
Couplages complexes
Analyse structurale et optimisation
Application à la biologie
Réalité virtuelle
Conclusion

L'aile portante

Sur l'élément δS de la surface portante, de normale $\vec{n}$, l'écoulement exerce une force aérodynamique

- de pression, $-p\vec{n}\delta S$, normale à la paroi,
- de frottement, tangentielle à la paroi.

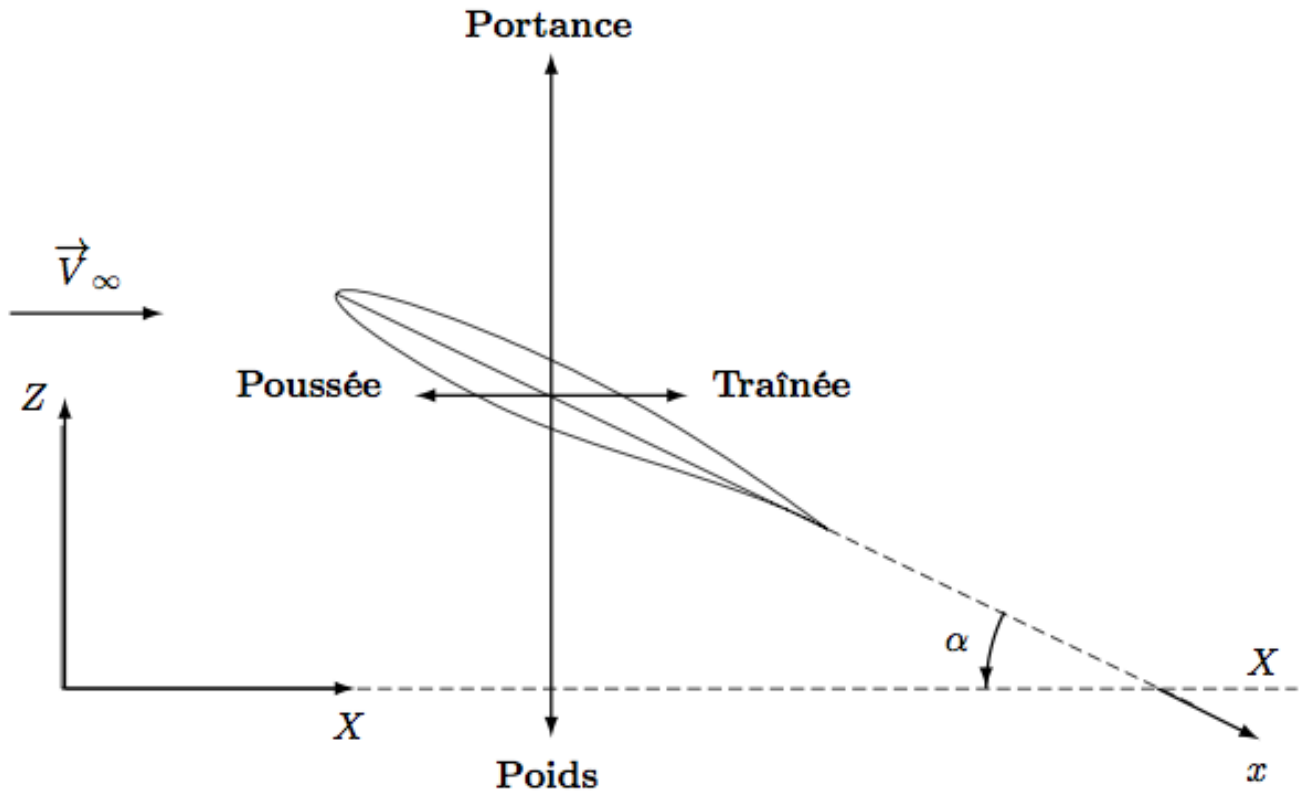
La résultante de ces forces se décompose en portance et traînée.

Introduction
Ingénierie
Modélisation
Simulation
Numérique
Mécanique des fluides
Modèles
Application au contrôle d'écoulement
Application à l'optimisation
Application à l'hydrodynamique des bâteaux
Extension au trafic
Couplages complexes
Analyse structurale et optimisation
Application à la biologie
Réalité virtuelle
Conclusion

L'aile portante

Modèle global: équilibre des forces

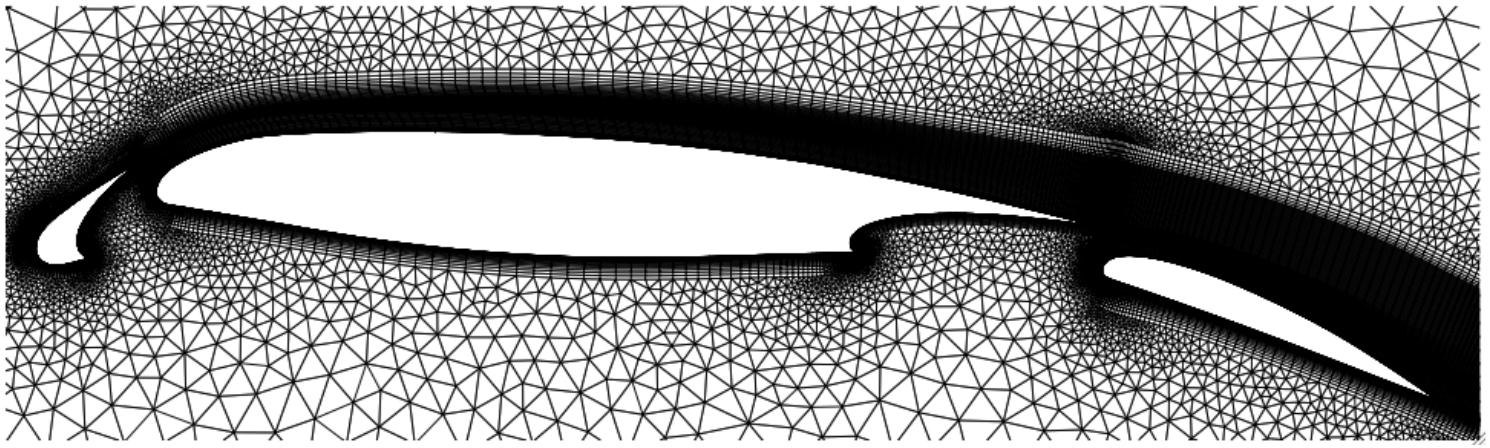
Repère *xyz* lié au corps et repère aérodynamique *XYZ* lié à la vitesse à l'infini amont $\vec{V}_\infty$; incidence $\alpha = AoA$



Exemple de maillage non structuré

pour la résolution d'un modèle local

Maillage non structuré autour d'un profil d'aile, bec et volet déployés densifié dans la couche limite pariétale



En chaque nœud d'un maillage tridimensionnel, 5 inconnues fondamentales:

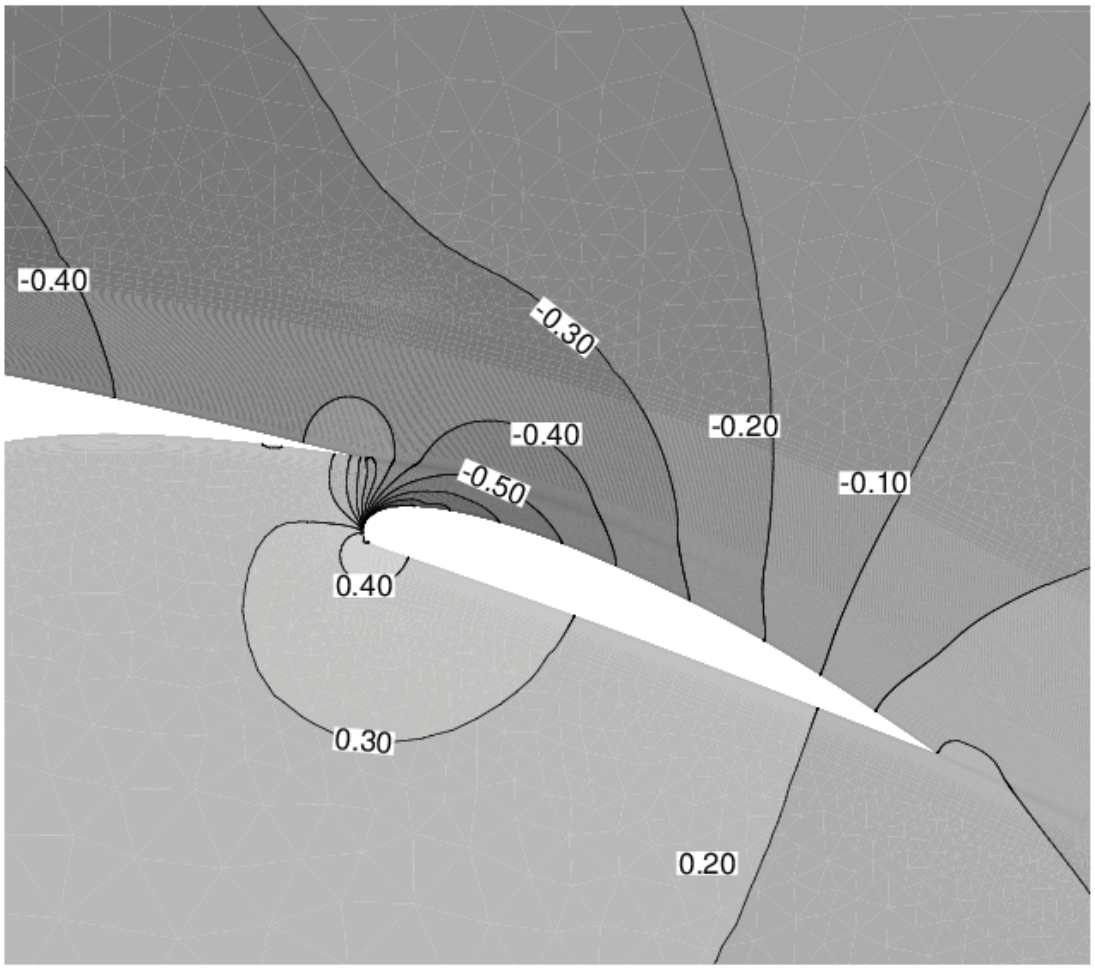
- masse volumique), ρ,
- 3 composantes de quantité de mouvement spécifique, $(\rho u, \rho v, \rho w)$,
- énergie totale spécique, E (interne+cinétique).

Nombre de Mach: $M = \sqrt{u^2 + v^2 + w^2}/c$.

Introduction
Ingénierie
Modélisation
Simulation
Numérique
Mécanique des fluides
Modèles
Application au contrôle d'écoulement
Application à l'optimisation
Application à l'hydrodynamique des bâteaux
Extension au trafic
Couplages complexes
Analyse structurale et optimisation
Application à la biologie
Réalité virtuelle
Conclusion

Champ de pression

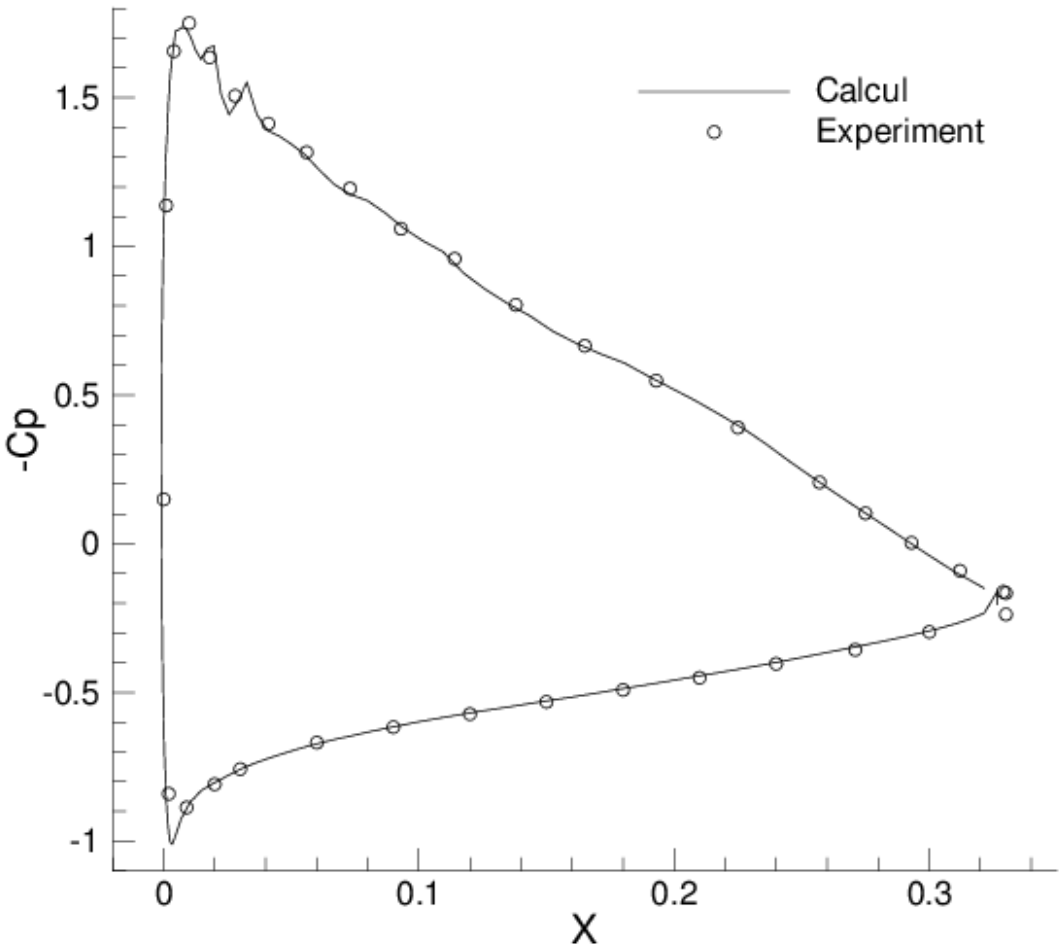
Cas test AGARD 303: Navier-Sokes incompressible turbulent; $\alpha = 4.01^o$, $Re = 3.53 \times 10^6$



Introduction
Ingénierie
Modélisation
Simulation
Numérique
Mécanique des fluides
Modèles
Application au contrôle d'écoulement
Application à l'optimisation
Application à l'hydrodynamique des bâteaux
Extension au trafic
Couplages complexes
Analyse structurale et optimisation
Application à la biologie
Réalité virtuelle
Conclusion

Comparaison calcul/expérience

Cas test AGARD 303: Navier-Sokes incompressible turbulent; $\alpha = 4.01^o$, $Re = 3.53 \times 10^6$



Introduction
Ingénierie
Modélisation
Simulation
Numérique
Mécanique des fluides
Modèles
Application au contrôle d'écoulement
Application à l'optimisation
Application à l'hydrodynamique des bâteaux
Extension au trafic
Couplages complexes
Analyse structurale et optimisation
Application à la biologie
Réalité virtuelle
Conclusion

Application au contrôle d'écoulement

Instabilité hydrodynamique (vorticité)

Décollement (vorticité)

Excitation d'une couche limite par un jet pulsant (vitesse)

Contrôle du décrochage par excitation (vorticité)

Introduction
Ingénierie
Modélisation
Simulation
Numérique
Mécanique des fluides
Modèles
Application au contrôle d'écoulement
Application à l'optimisation
Application à l'hydrodynamique des bâteaux
Extension au trafic
Couplages complexes
Analyse structurale et optimisation
Application à la biologie
Réalité virtuelle
Conclusion

Déformation de forme

Le logiciel de l'EPI Galaad

Déformation de bord par B-Spline (profil d'aile)

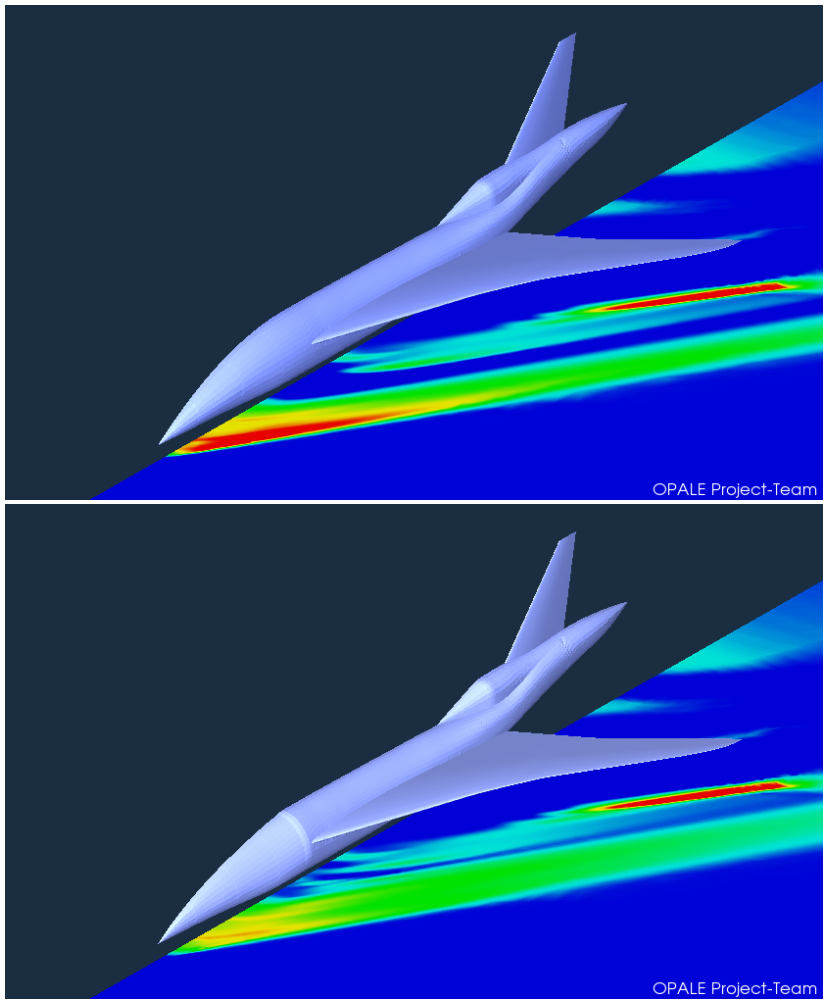
Déformation de maillage par B-Spline

Application à l'optimisation

en aérodynamique externe

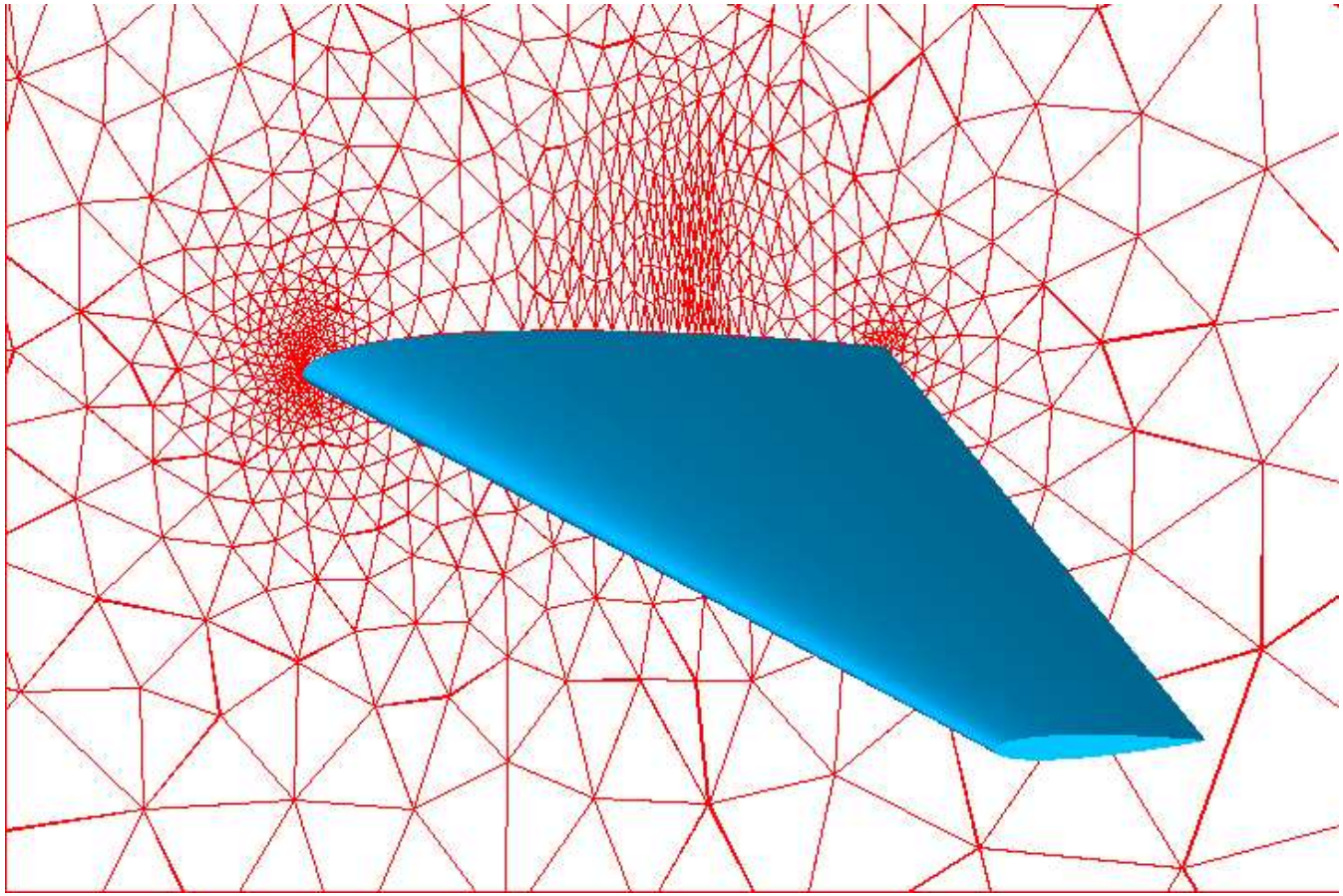
Optimisation de la forme du nez d'un jet supersonique

pour réduire le bang sonique (visualisation du champ de pression avant/après optimisation)



Optimisation de voilure

Maillage non structuré raffiné aux bords d'attaque et de fuite, et au choc

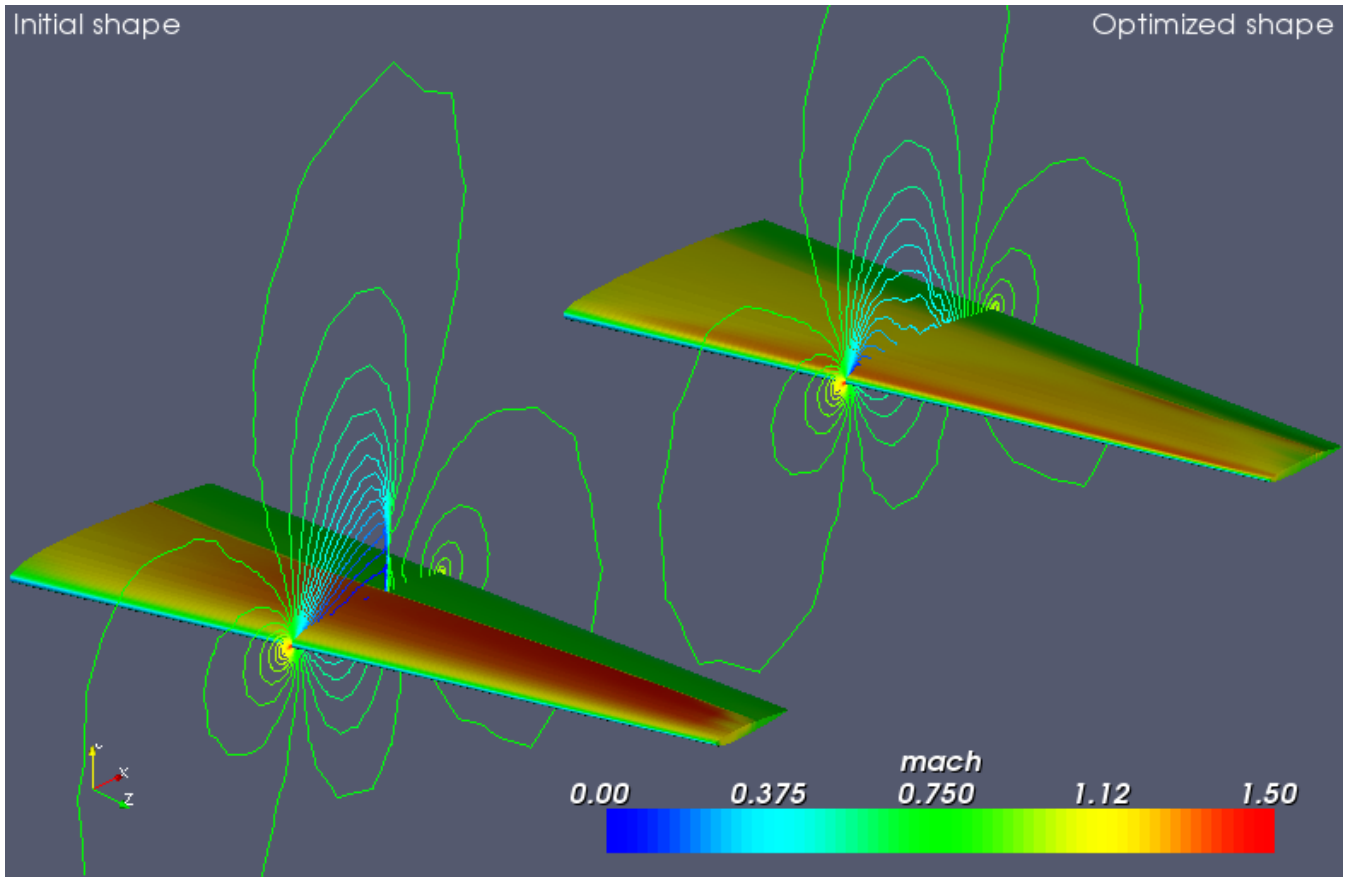


Introduction
Ingénierie
Modélisation
Simulation
Numérique
Mécanique des fluides
Modèles
Application au contrôle d'écoulement
Application à l'optimisation
Application à l'hydrodynamique des bâteaux
Extension au trafic
Couplages complexes
Analyse structurale et optimisation
Application à la biologie
Réalité virtuelle
Conclusion

Application à l'optimisation

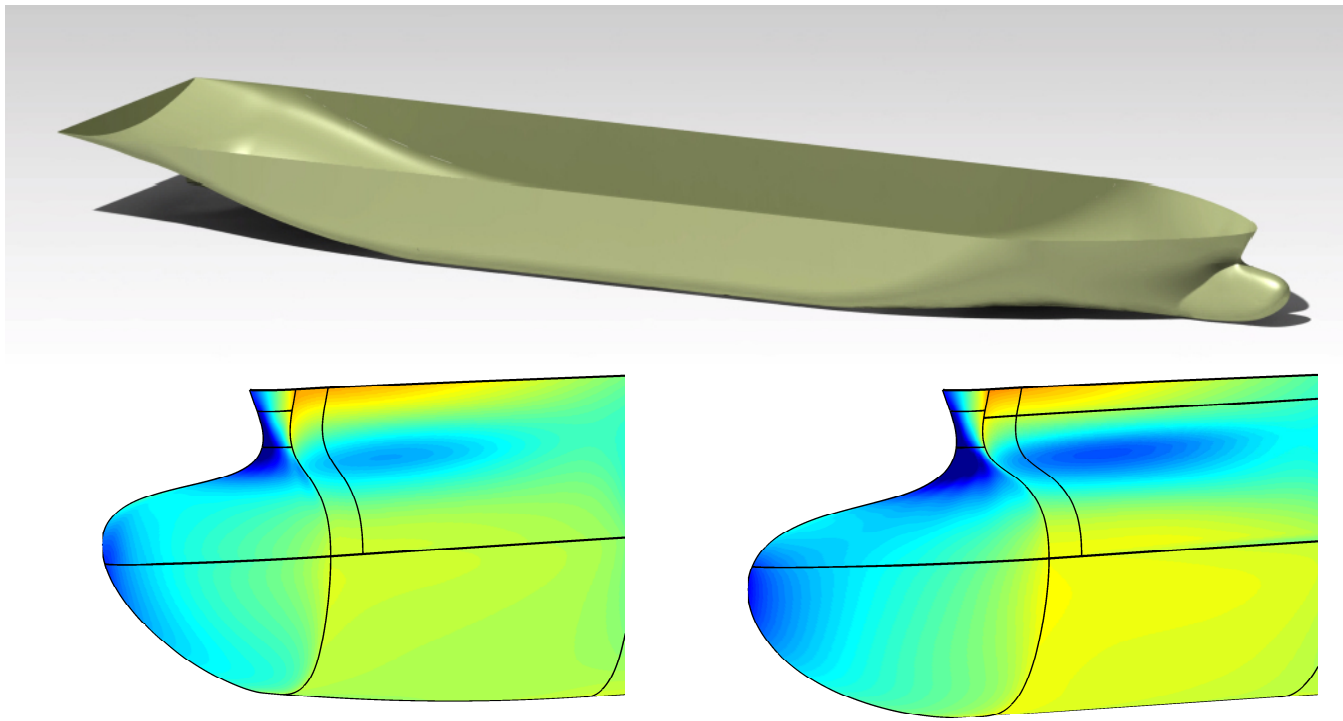
Réduction de la traînée à portance fixe

Nombre de Mach visualisé



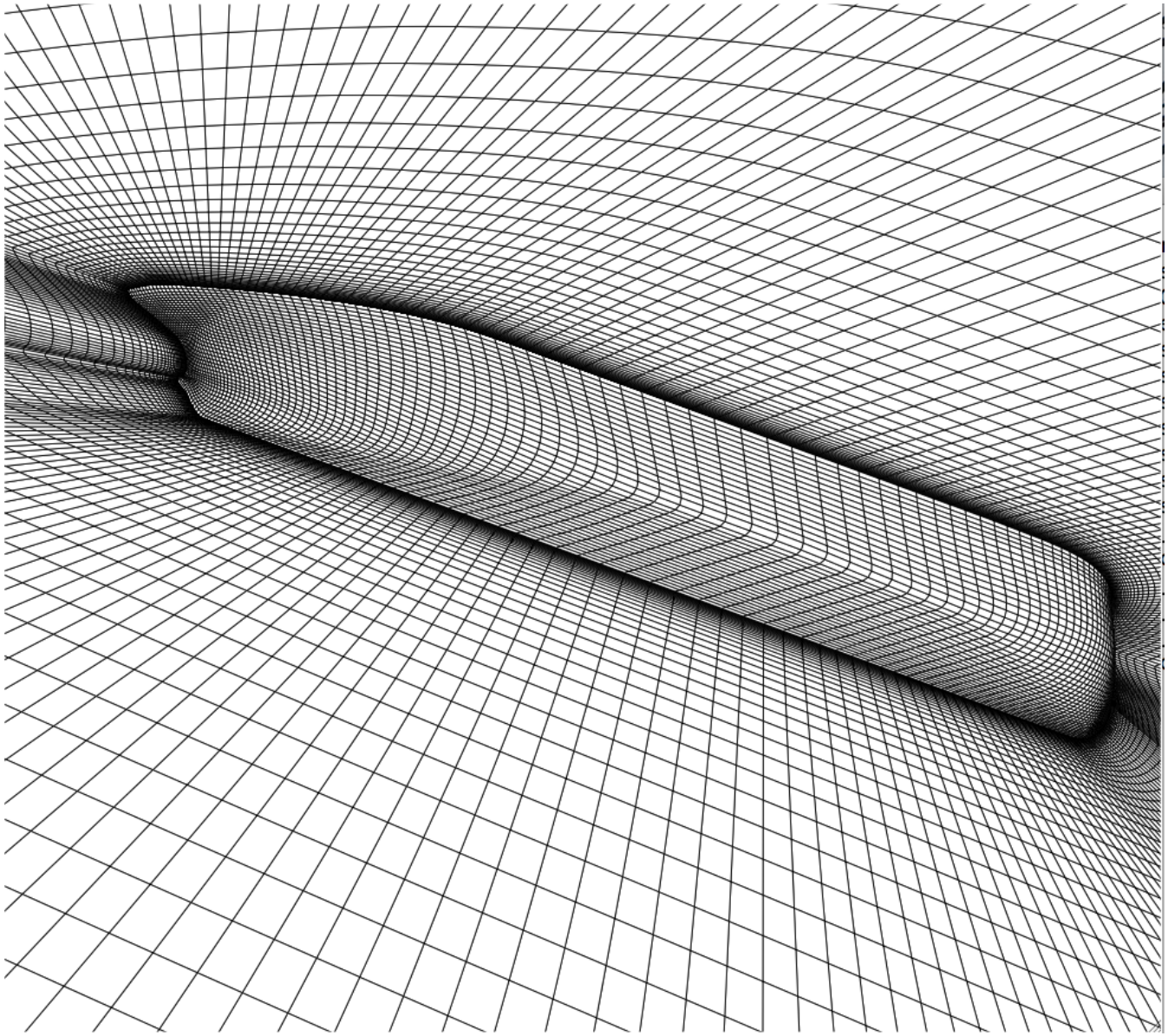
Application à l'hydrodynamique des bâteaux

Optimisation de la forme de bulbe d'un porte-conteneur



Introduction
Ingénierie
Modélisation
Simulation
Numérique
Mécanique des fluides
Modèles
Application au contrôle d'écoulement
Application à l'optimisation
Application à l'hydrodynamique des bâteaux
Extension au trafic
Couplages complexes
Analyse structurale et optimisation
Application à la biologie
Réalité virtuelle
Conclusion

Maillage de porte-conteneur



Introduction
Ingénierie
Modélisation
Simulation
Numérique
Mécanique des fluides
Modèles
Application au contrôle d'écoulement
Application à l'optimisation
Application à l'hydrodynamique des bâteaux
Extension au trafic
Couplages complexes
Analyse structurale et optimisation
Application à la biologie
Réalité virtuelle
Conclusion

Autres applications

Réduction de traînée d'un grand navire

Réduction de traînée d'un bâteau de pêche au moyen d'un *kyte*

Stabilisation d'un canoë-kayak de course par vent latéral

Introduction
Ingénierie
Modélisation
Simulation
Numérique
Mécanique des fluides
Modèles
Application au contrôle d'écoulement
Application à l'optimisation
Application à l'hydrodynamique des bâteaux
Extension au trafic
Couplages complexes
Analyse structurale et optimisation
Application à la biologie
Réalité virtuelle
Conclusion

Extension à la modélisation du trafic routier ou piétonnier

Les inconnues

$$\rho\,,\ \vec{V}$$

Trafic routier

- Modéliser le flot, l'effet de situations particulières (accident, péage, radar!)
- Identifier les paramètres influants; optimiser leur conception+agencement

Trafic piétonnier

- Simuler la congestion de lieux publics
- Simuler l'évacuation d'une salle; la démo
- Identifier les paramètres influants; optimiser leur conception+agencement des bâtiments

Simulation d'évacuation

Données

- Salle: 50×50 m
- Vitesse maximale des piétons: 2 m/s
- Densité maximale: 10 pers./m^2

Simulation

- Les piétons choisissent le plus court chemin en évitant les zones à forte densité.

Résultats

- Pas de congestion derrière la colonne
- La présence de la colonne rend l'évacuation plus fluide et plus rapide!

Introduction
Ingénierie
Modélisation
Simulation
Numérique
Mécanique des fluides
Modèles
Application au contrôle d'écoulement
Application à l'optimisation
Application à l'hydrodynamique des bâteaux
Extension au trafic
Couplages complexes
Analyse structurale et optimisation
Application à la biologie
Réalité virtuelle
Conclusion

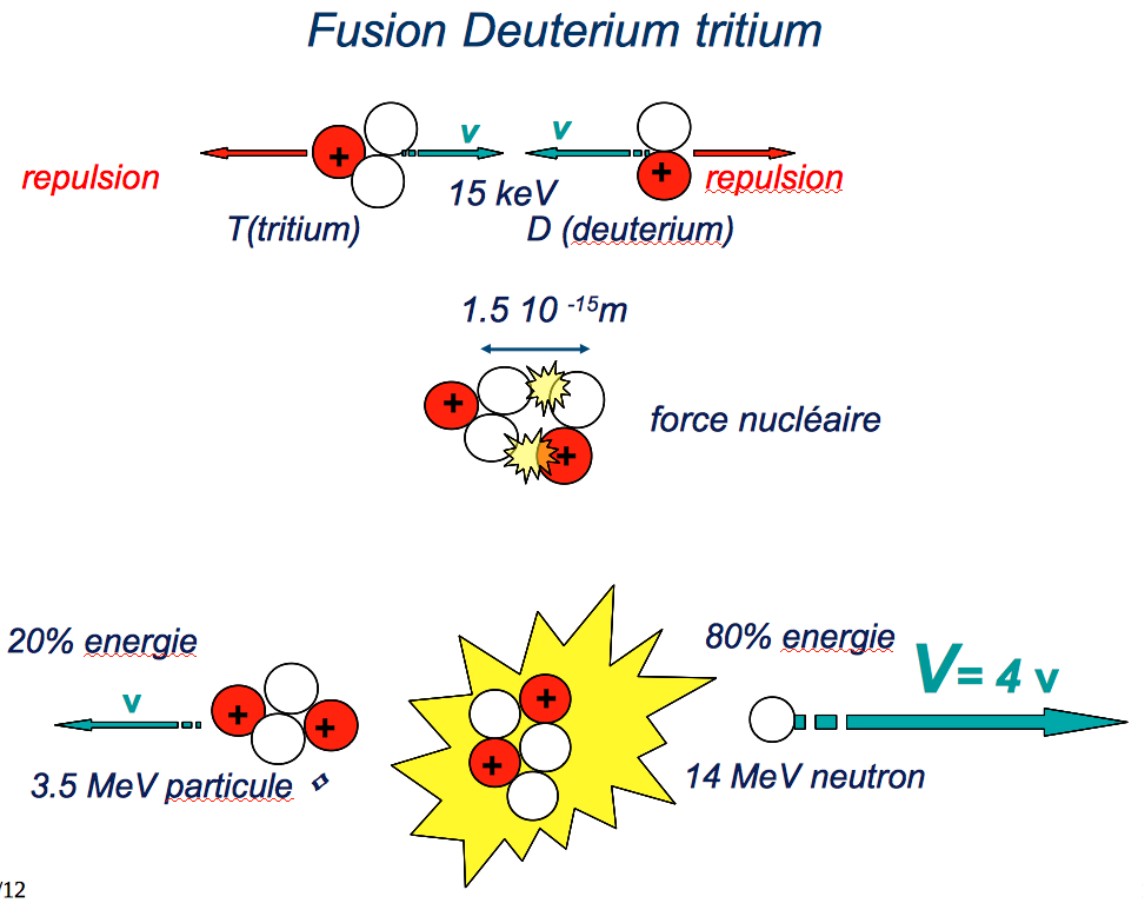
Exemple de couplage complexe

La MHD: Magnéto Hydro Dynamique

La fusion : ITER (Cadarache)

La fusion deutérium-tritium

La fusion se réalise si l'on réussit à rapprocher suffisamment les deux atomes



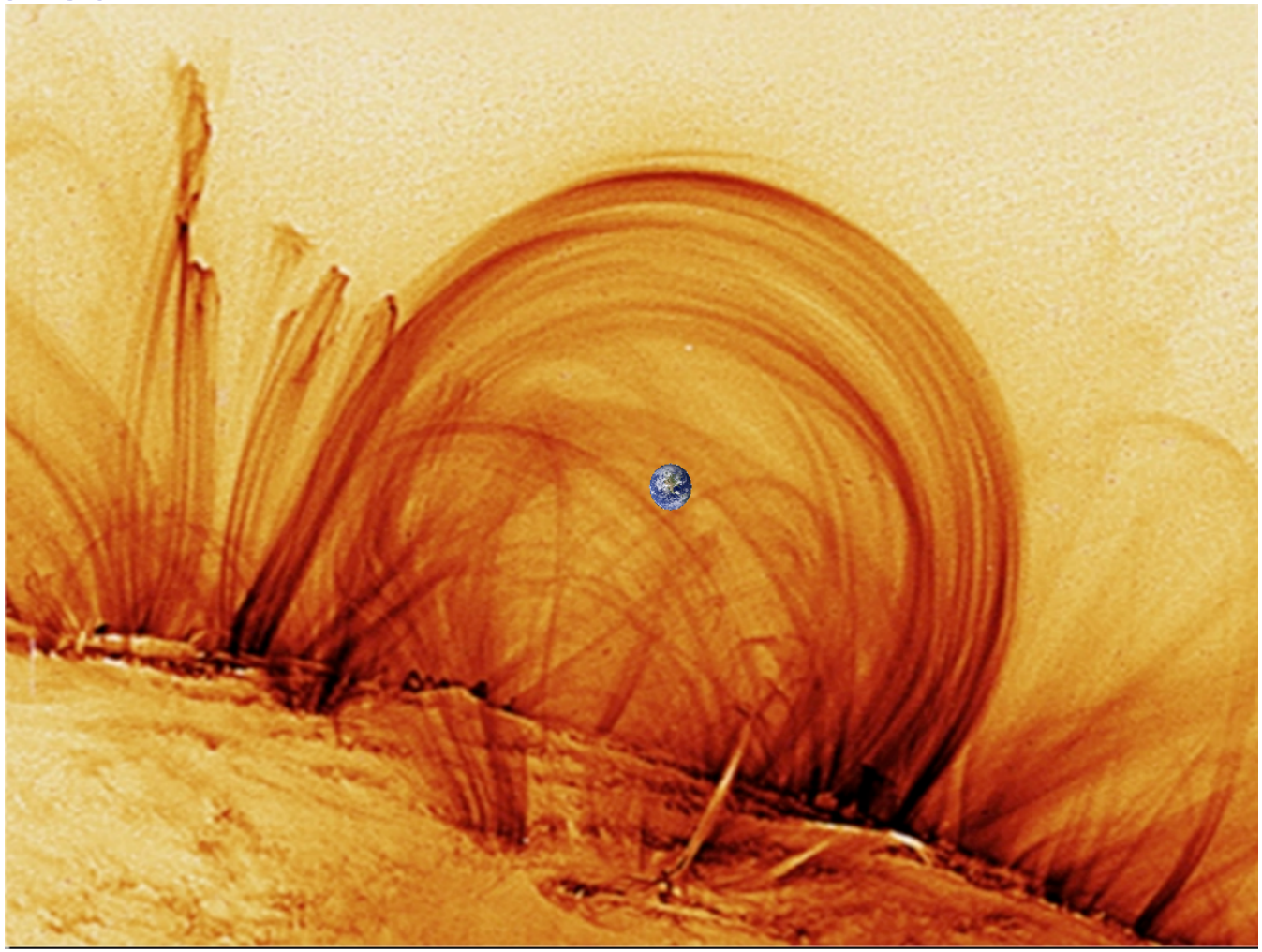
(particule α)

Introduction
Ingénierie
Modélisation
Simulation
Numérique
Mécanique des fluides
Modèles
Application au contrôle d'écoulement
Application à l'optimisation
Application à l'hydrodynamique des bâteaux
Extension au trafic
Couplages complexes
Analyse structurale et optimisation
Application à la biologie
Réalité virtuelle
Conclusion

Le soleil

Phénomène similaire

Flux de particules guidées par le champ magnétique intense

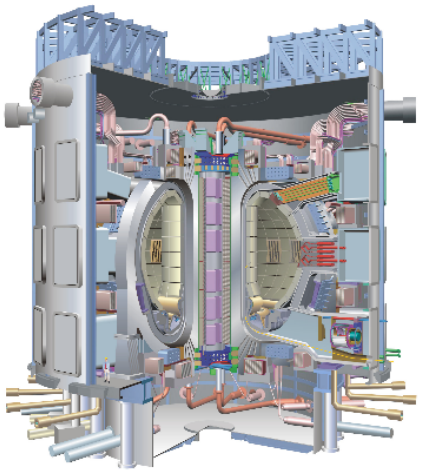


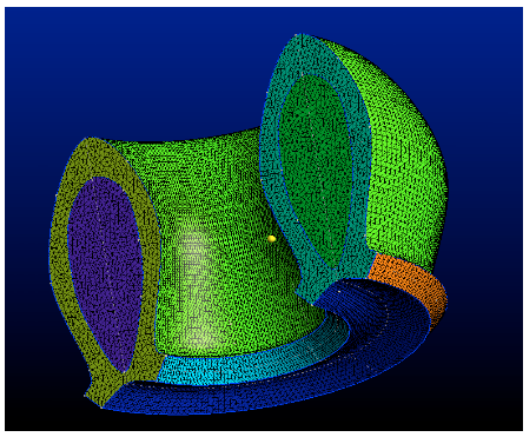
Introduction
Ingénierie
Modélisation
Simulation
Numérique
Mécanique des fluides
Modèles
Application au contrôle d'écoulement
Application à l'optimisation
Application à l'hydrodynamique des bâteaux
Extension au trafic
Couplages complexes
Analyse structurale et optimisation
Application à la biologie
Réalité virtuelle
Conclusion

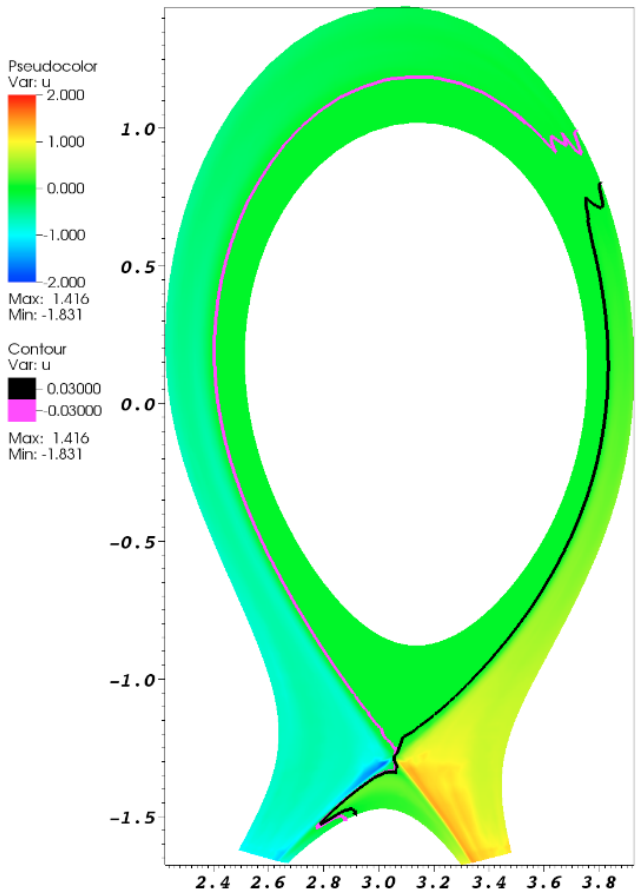
Le Projet ITER (Cadarache)

Le "TOKAMAK" (chambre toroïdale), et la simulation numérique dans une section faite à l'INRIA

Couplage mécanique des fluides et électromagnétisme: MHD







Introduction
Ingénierie
Modélisation
Simulation
Numérique
Mécanique des fluides
Modèles
Application au contrôle d'écoulement
Application à l'optimisation
Application à l'hydrodynamique des bâteaux
Extension au trafic
Couplages complexes
Analyse structurale et optimisation
Application à la biologie
Réalité virtuelle
Conclusion

Contenu

1 Introduction
- Ingénierie
- Modélisation
- Simulation
- Numérique

2 Mécanique des fluides
- Modèles
- Application au contrôle d'écoulement
- Application à l'optimisation
- Application à l'hydrodynamique des bâteaux
- Extension au trafic
- Couplages complexes

3 Analyse structurale et optimisation

4 Application à la biologie

5 Réalité virtuelle

6 Conclusion

Introduction
Ingénierie
Modélisation
Simulation
Numérique
Mécanique des fluides
Modèles
Application au contrôle d'écoulement
Application à l'optimisation
Application à l'hydrodynamique des bâteaux
Extension au trafic
Couplages complexes
Analyse structurale et optimisation
Application à la biologie
Réalité virtuelle
Conclusion

Analyse structurale et optimisation

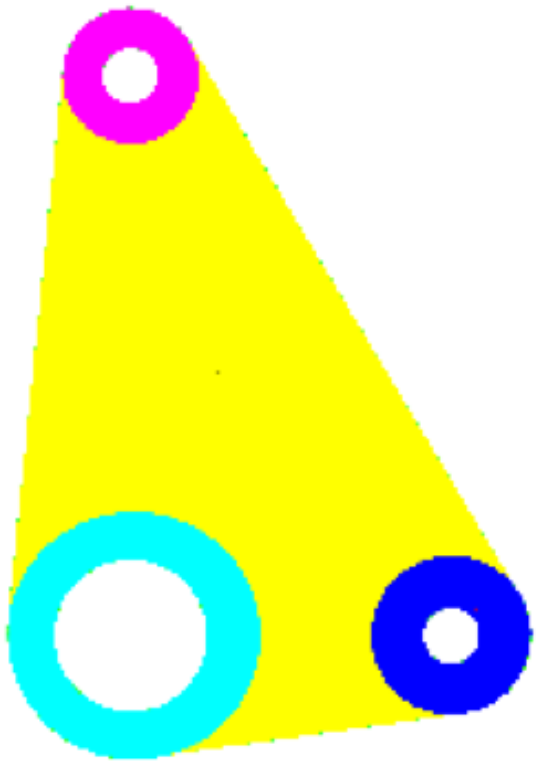
Optimisation topologique et de forme d'un élément métallique d'automobile

Couplage à la thermique

Optimisation topologique et de forme

d'un élément métallique d'automobile

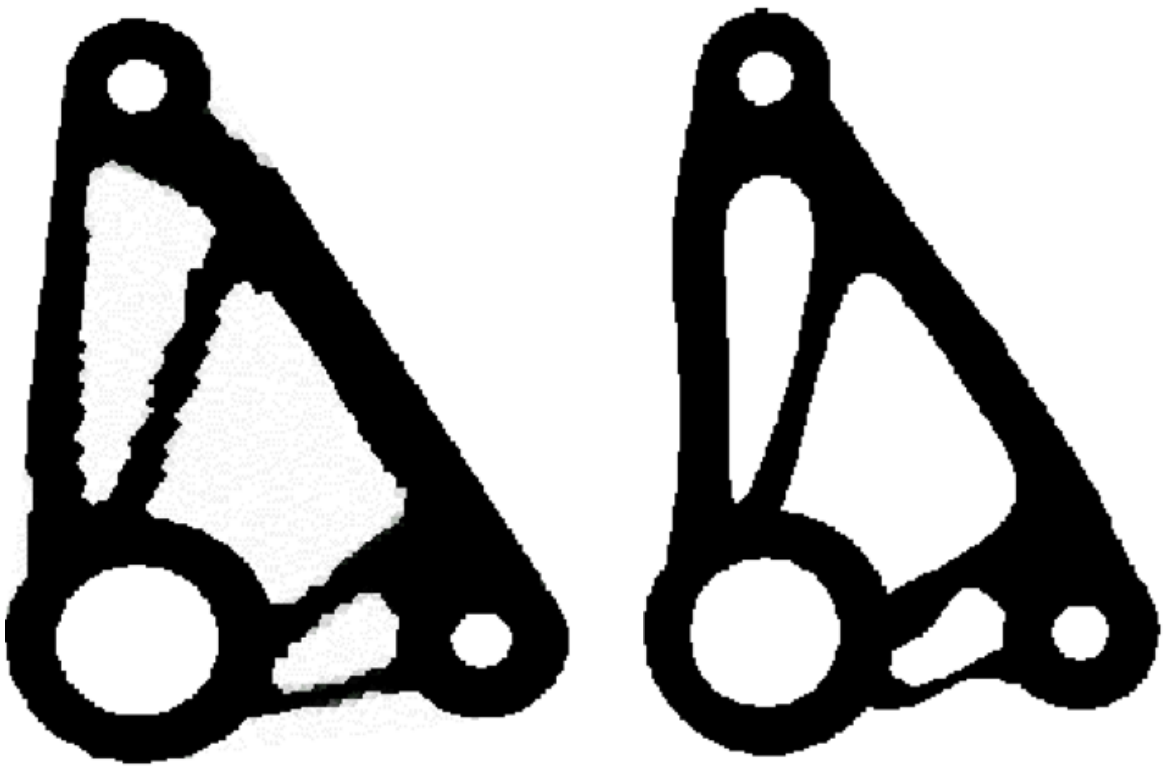
Optimisation topologique par calcul d'une densité continue



Optimisation topologique et de forme

d'un élément métallique d'automobile

Identification des zones sans métal, et optimisation de forme des bords



Introduction
Ingénierie
Modélisation
Simulation
Numérique
Mécanique des fluides
Modèles
Application au contrôle d'écoulement
Application à l'optimisation
Application à l'hydrodynamique des bâteaux
Extension au trafic
Couplages complexes
Analyse structurale et optimisation
Application à la biologie
Réalité virtuelle
Conclusion

Contenu

1 Introduction
- Ingénierie
- Modélisation
- Simulation
- Numérique

2 Mécanique des fluides
- Modèles
- Application au contrôle d'écoulement
- Application à l'optimisation
- Application à l'hydrodynamique des bâteaux
- Extension au trafic
- Couplages complexes

3 Analyse structurale et optimisation

4 Application à la biologie

5 Réalité virtuelle

6 Conclusion

Introduction
Ingénierie
Modélisation
Simulation
Numérique
Mécanique des fluides
Modèles
Application au contrôle d'écoulement
Application à l'optimisation
Application à l'hydrodynamique des bâteaux
Extension au trafic
Couplages complexes
Analyse structurale et optimisation
Application à la biologie
Réalité virtuelle
Conclusion

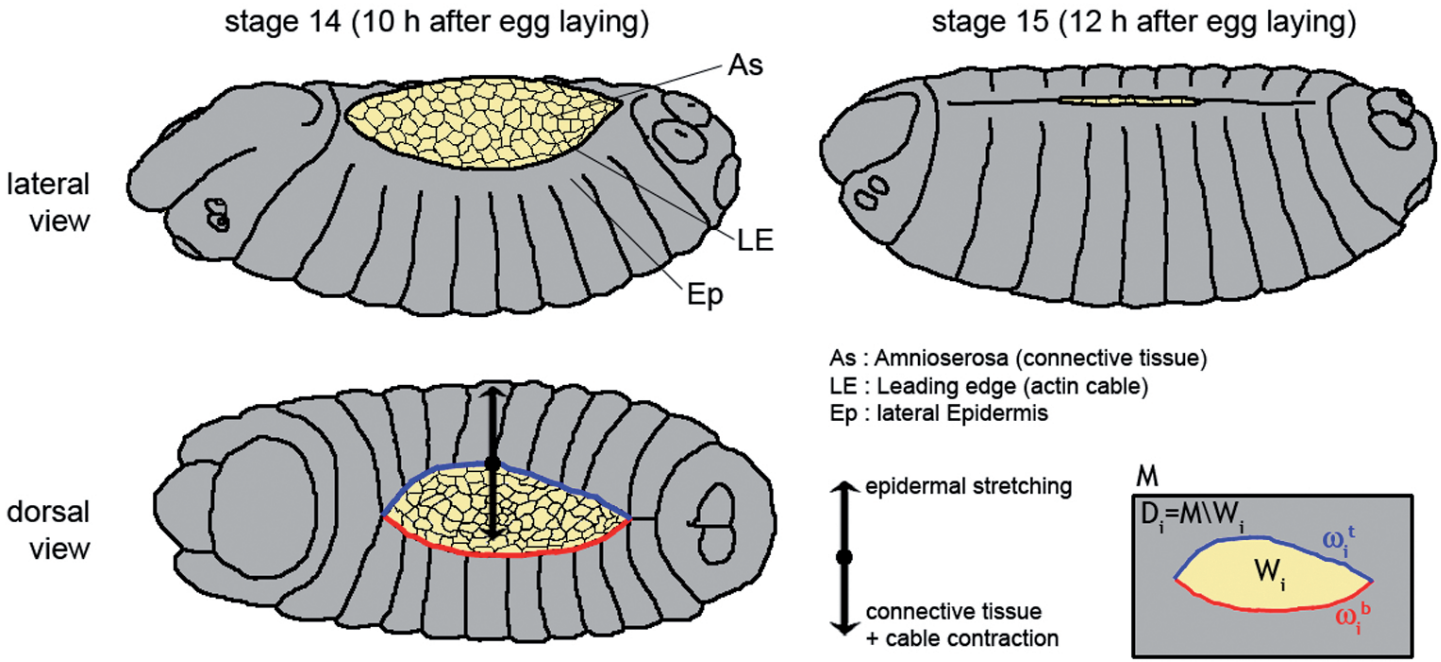
Application à la biologie

Cicatrisation

- Fermeture dorsale chez l'embryon du drosophile
- Cicatrisation pathologique (drosophile)
- Dynamique cellulaire

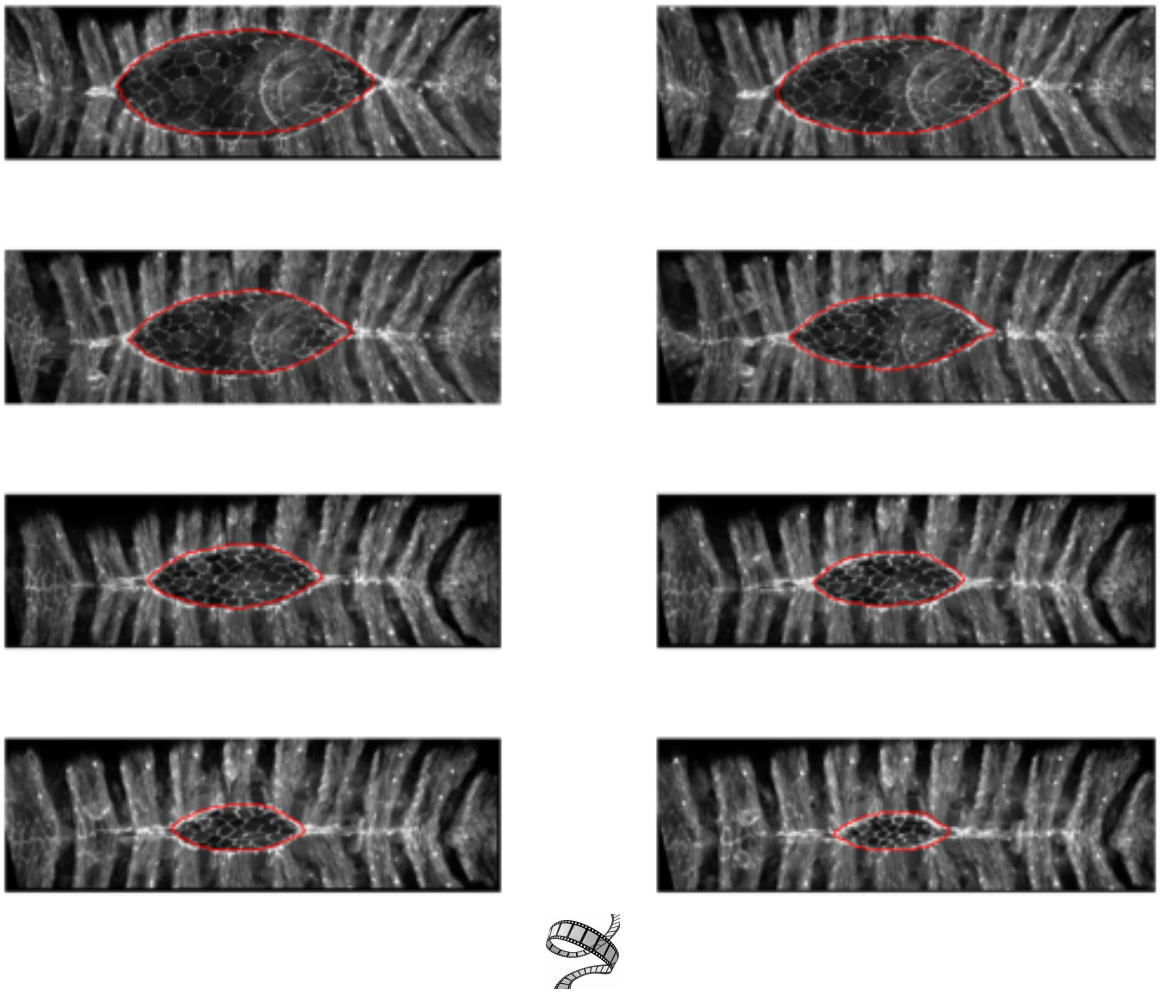
Anti-angiogénèse

Fermeture dorsale chez l'embryon du drosophile



Introduction
Ingénierie
Modélisation
Simulation
Numérique
Mécanique des fluides
Modèles
Application au contrôle d'écoulement
Application à l'optimisation
Application à l'hydrodynamique des bâteaux
Extension au trafic
Couplages complexes
Analyse structurale et optimisation
Application à la biologie
Réalité virtuelle
Conclusion

Simulation de la cicatrisation



Introduction
Ingénierie
Modélisation
Simulation
Numérique
Mécanique des fluides
Modèles
Application au contrôle d'écoulement
Application à l'optimisation
Application à l'hydrodynamique des bâteaux
Extension au trafic
Couplages complexes
Analyse structurale et optimisation
Application à la biologie
Réalité virtuelle
Conclusion

Cicatrisation pathologique (drosophile)

Dynamique de la cicatrisation

résultat du traitement d'image de l'expérience

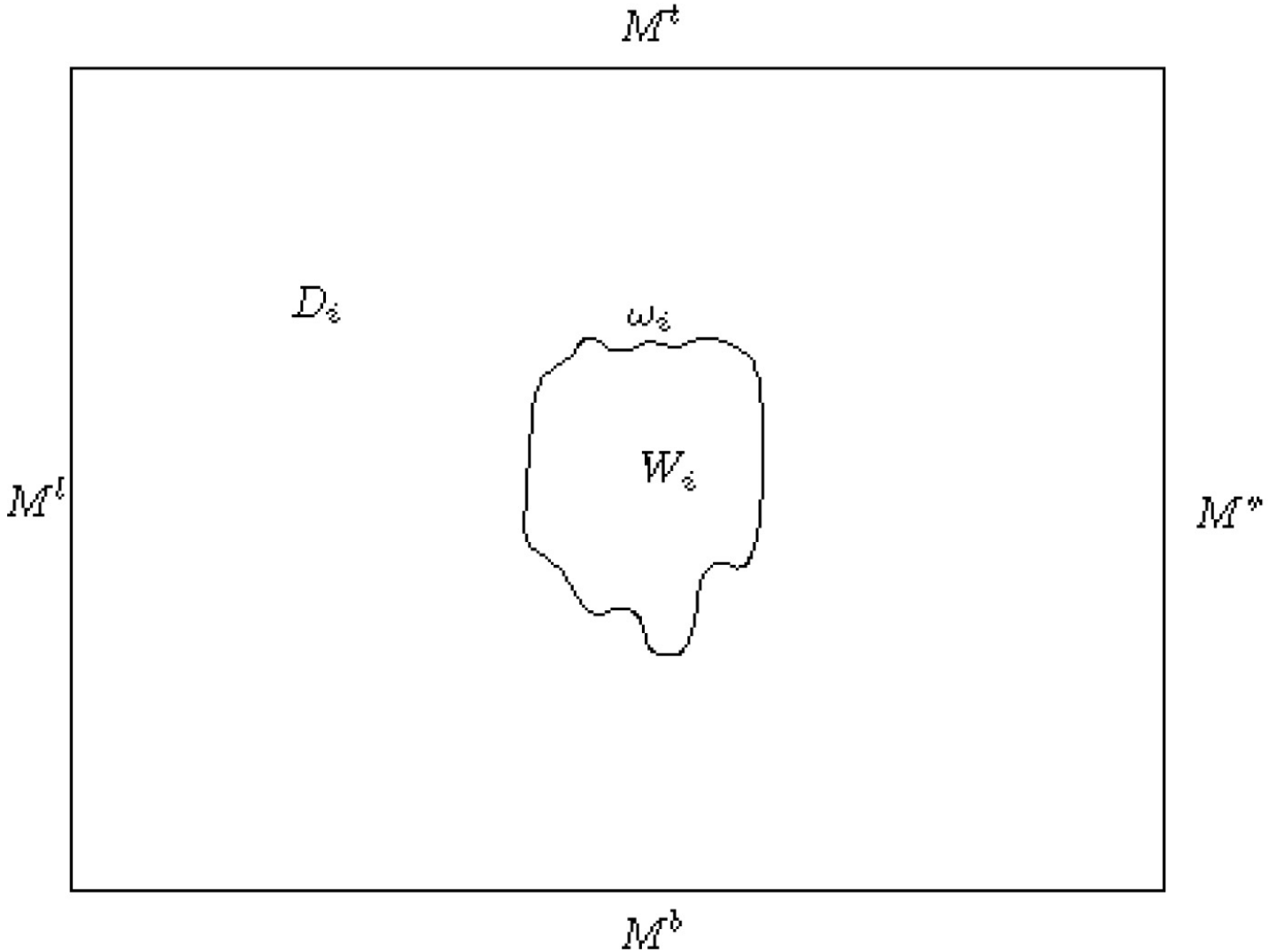
résultat de la simulation numérique

Conclusions:

- La cicatrisation pathologique s'effectue, mais imparfaitement
- Le modèle dynamique de simulation numérique suit bien la réalité observée

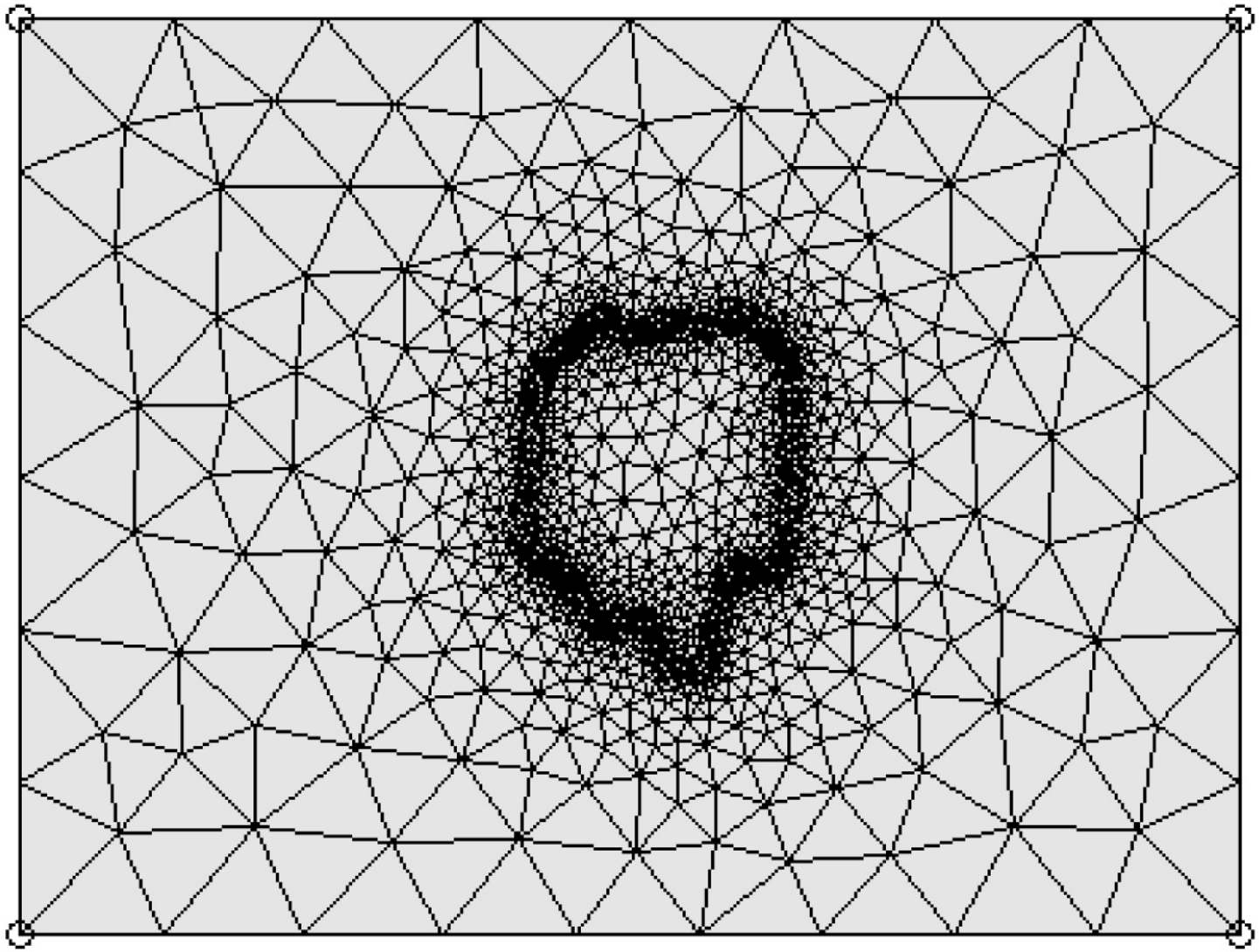
Introduction
Ingénierie
Modélisation
Simulation
Numérique
Mécanique des fluides
Modèles
Application au contrôle d'écoulement
Application à l'optimisation
Application à l'hydrodynamique des bâteaux
Extension au trafic
Couplages complexes
Analyse structurale et optimisation
Application à la biologie
Réalité virtuelle
Conclusion

Modélisation mathématique de la blessure



Introduction
Ingénierie
Modélisation
Simulation
Numérique
Mécanique des fluides
Modèles
Application au contrôle d'écoulement
Application à l'optimisation
Application à l'hydrodynamique des bâteaux
Extension au trafic
Couplages complexes
Analyse structurale et optimisation
Application à la biologie
Réalité virtuelle
Conclusion

Maillage adapté évolutif pour la simulation



Introduction
Ingénierie
Modélisation
Simulation
Numérique
Mécanique des fluides
Modèles
Application au contrôle d'écoulement
Application à l'optimisation
Application à l'hydrodynamique des bâteaux
Extension au trafic
Couplages complexes
Analyse structurale et optimisation
Application à la biologie
Réalité virtuelle
Conclusion

Question

Quel est l'objectif visé par cette étude de la cicatrisation "pathologique" ?

Introduction
Ingénierie
Modélisation
Simulation
Numérique
Mécanique des fluides
Modèles
Application au contrôle d'écoulement
Application à l'optimisation
Application à l'hydrodynamique des bâteaux
Extension au trafic
Couplages complexes
Analyse structurale et optimisation
Application à la biologie
Réalité virtuelle
Conclusion

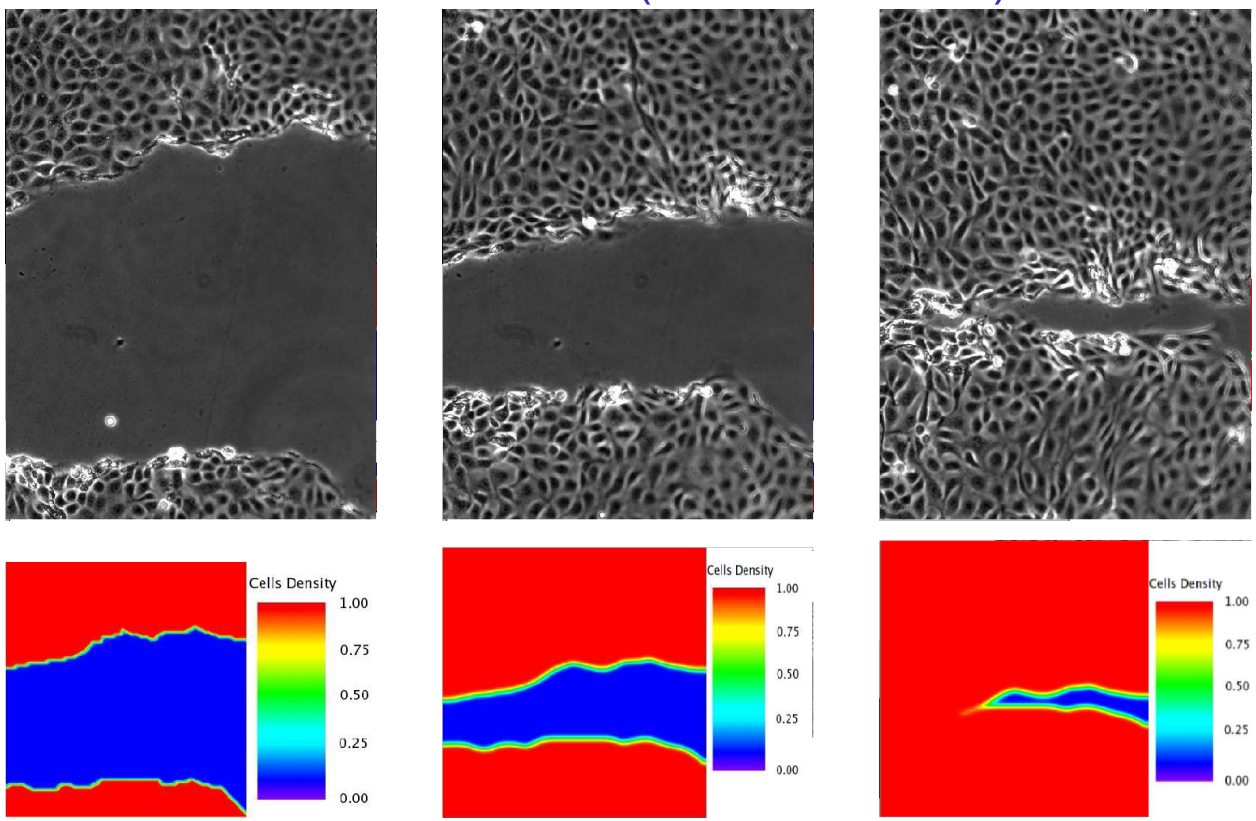
La réponse

La médecine régénérative

Dynamique cellulaire

(Recherche sur le cancer)

Migration de cellules MDCK (rein de chien)

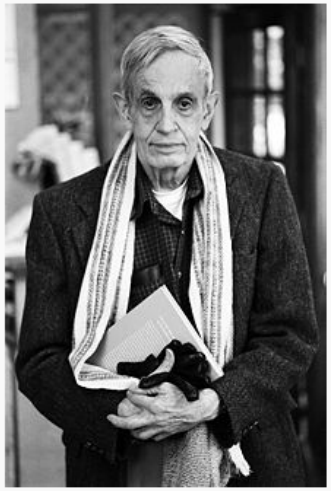


Objectif à terme: identifier des inhibiteurs de migration

Notion de jeu de Nash

à somme nulle

John Forbes Nash Jr.



John Nash en 2000

Naissance	13 juin 1928 (83 ans) Bluefield (en), État de Virginie-Occidentale (États-Unis)
Nationalité	américaine
Champs	Économie Mathématiques
Institutions	Université de Princeton, RAND Corporation
Diplômé de	Carnegie Institute of Technology, Massachusetts Institute of Technology
Renommé pour	Travaux sur l'*équilibre de Nash*, la théorie des jeux, la géométrie algébrique, et son *théorème de plongement*
Distinctions	« prix Nobel d'économie » 1994

- Exemple fondamental:
  la négociation vendeur-acheteur
- Généralisation:
  Joueur 1: choisit la variable x; vise à minimiser le critère f
  Joueur 2: choisit la variable y; vise à minimiser le critère g

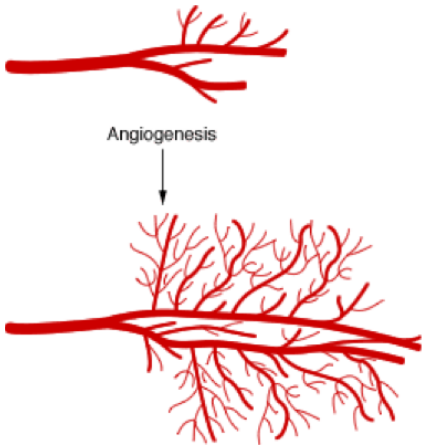
$$f = f(x,y) \quad g = g(x,y)$$

Définition: $(\bar{x},\bar{y})$ est un équilibre de Nash, si $\bar{x}$ est le meilleur choix possible de x pour minimiser $\phi(x) = f(x,\bar{y})$, et symétriquement, $\bar{y}$ est le meilleur possible de y pour minimiser $\psi(y) = g(\bar{x},y)$.

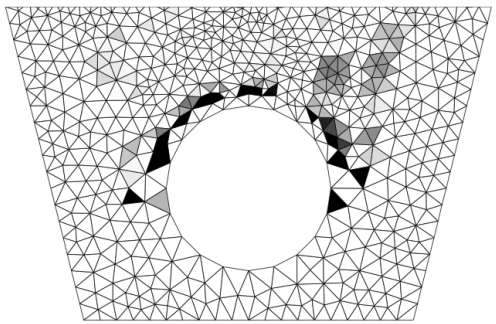
Lorsqu'un point d'équilibre de Nash est atteint, aucun des 2 joueurs n'a intérêt à modifier la variable (x ou y) qu'il choisit.

Anti-angiogénèse

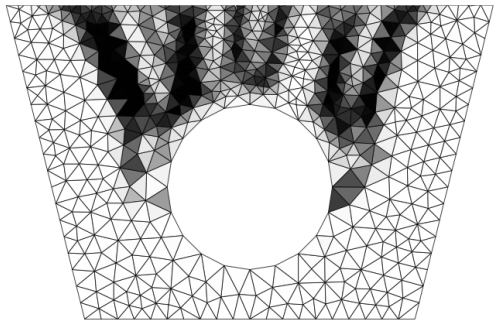
Modélisation de l'*Anti-Angiogénèse Tumorale* par un *jeu de Nash à 2 disciplines (2 joueurs)*



Concentration inhibiteur



Réseau d'équilibre



Agents : concentrations en proteïnes (inhibiteurs, activateurs)

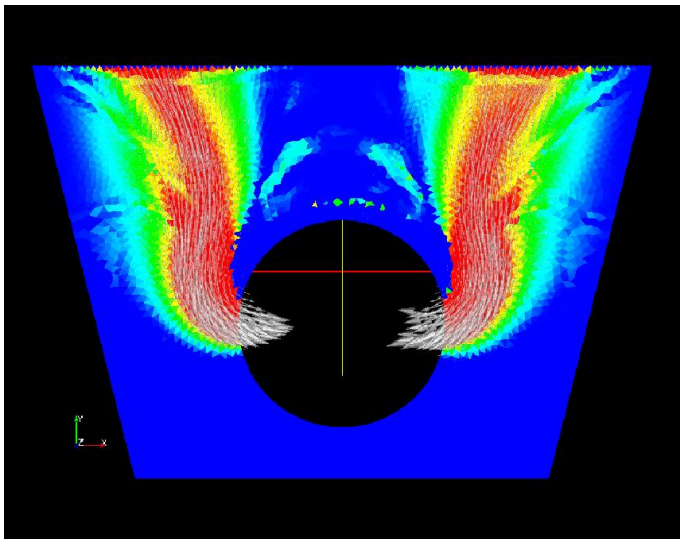
- **Joueur 1** : vise à maintenir l'intégrité du tissu par maximisation de la "rigidité" du milieu
  variable d'état: déformation ; modèle: élasticité linéaire
- **Joueur 2** : vise a créer un réseau d'alimentation sanguine de la tumeur par réduction de la perte de charge
  variable d'état: pression; modèle: loi de Fick (milieu poreux)

Interaction : Les joueurs virtuels "échangent" les valeurs distribuées des concentrations en protéïnes

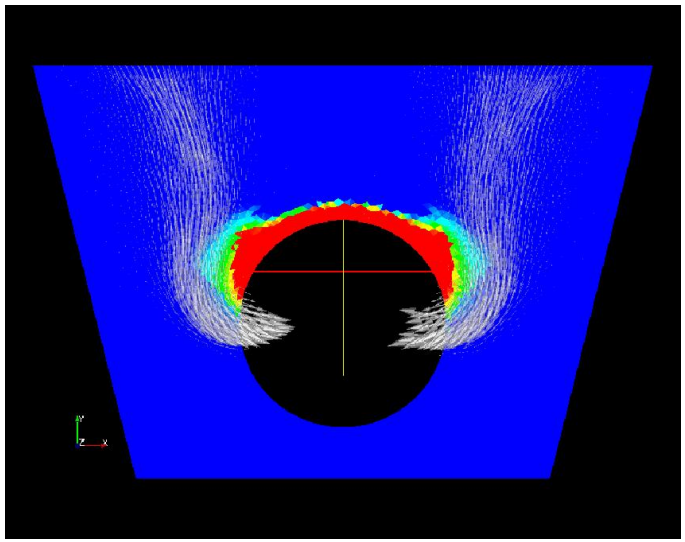
Introduction
Ingénierie
Modélisation
Simulation
Numérique
Mécanique des fluides
Modèles
Application au contrôle d'écoulement
Application à l'optimisation
Application à l'hydrodynamique des bâteaux
Extension au trafic
Couplages complexes
Analyse structurale et optimisation
Application à la biologie
Réalité virtuelle
Conclusion

Anti-angiogénèse

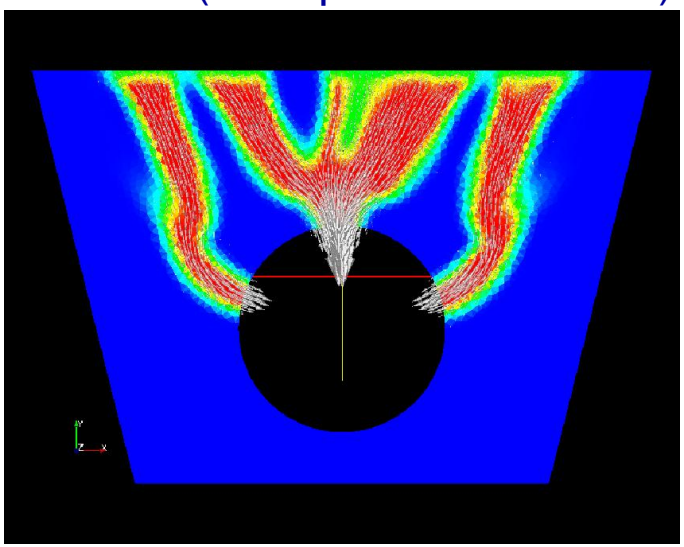
Activateurs



Inhibiteurs



Réseau (à l'équilibre de Nash)



Introduction
Ingénierie
Modélisation
Simulation
Numérique
Mécanique des fluides
Modèles
Application au contrôle d'écoulement
Application à l'optimisation
Application à l'hydrodynamique des bâteaux
Extension au trafic
Couplages complexes
Analyse structurale et optimisation
Application à la biologie
Réalité virtuelle
Conclusion

Contenu

1 Introduction
- Ingénierie
- Modélisation
- Simulation
- Numérique

2 Mécanique des fluides
- Modèles
- Application au contrôle d'écoulement
- Application à l'optimisation
- Application à l'hydrodynamique des bâteaux
- Extension au trafic
- Couplages complexes

3 Analyse structurale et optimisation

4 Application à la biologie

5 Réalité virtuelle

6 Conclusion

Introduction
Ingénierie
Modélisation
Simulation
Numérique
Mécanique des fluides
Modèles
Application au contrôle d'écoulement
Application à l'optimisation
Application à l'hydrodynamique des bâteaux
Extension au trafic
Couplages complexes
Analyse structurale et optimisation
Application à la biologie
Réalité virtuelle
Conclusion

Réalité virtuelle

Vidéothèque INRIA: *"La Cave"*

Introduction
Ingénierie
Modélisation
Simulation
Numérique
Mécanique des fluides
Modèles
Application au contrôle d'écoulement
Application à l'optimisation
Application à l'hydrodynamique des bâteaux
Extension au trafic
Couplages complexes
Analyse structurale et optimisation
Application à la biologie
Réalité virtuelle
Conclusion

Contenu

1 Introduction
- Ingénierie
- Modélisation
- Simulation
- Numérique

2 Mécanique des fluides
- Modèles
- Application au contrôle d'écoulement
- Application à l'optimisation
- Application à l'hydrodynamique des bâteaux
- Extension au trafic
- Couplages complexes

3 Analyse structurale et optimisation

4 Application à la biologie

5 Réalité virtuelle

6 Conclusion

Introduction
Ingénierie
Modélisation
Simulation
Numérique
Mécanique des fluides
Modèles
Application au contrôle d'écoulement
Application à l'optimisation
Application à l'hydrodynamique des bâteaux
Extension au trafic
Couplages complexes
Analyse structurale et optimisation
Application à la biologie
Réalité virtuelle
Conclusion

Conclusion

Le calcul scientifique est un vaste champ d'investigation combinant des compétences pluridisciplinaires

- Modélisation physique dans tous les secteurs de l'ingénierie
- Analyse mathématique, approximation, traitement de la géométrie
- Construction d'algorithmes, implantation sur ordinateur

Un secteur d'activité exigeant qui ouvre à de nombreux métiers

De la recherche scientifique à la technique (et réciproquement), en passant par la haute technologie (dans toutes les disciplines de l'ingénieur, et notamment en informatique)

Introduction
Ingénierie
Modélisation
Simulation
Numérique
Mécanique des fluides
Modèles
Application au contrôle d'écoulement
Application à l'optimisation
Application à l'hydrodynamique des bâteaux
Extension au trafic
Couplages complexes
Analyse structurale et optimisation
Application à la biologie
Réalité virtuelle
Conclusion

Merci aux collègues qui m'ont aidé, notamment

- Régis Duvigneau (mécanique des fluides)
  `Regis.Duvigneau@inria.fr`
- Hervé Guillard (fusion; projet ITER)
  `Herve.Guillard@inria.fr`
- Abderrahmane Habbal (mécanique, biologie)
  `Abderrahamane.Habbal@unice.fr` ou inria.fr
- Paola Goatin (modélisation du trafic)
  `Paola.Goatin@inria.fr`

. . . et merci de votre attention!