



100 ans de mécanique des fluides

© 2010 cmefe / hepia / HES-SO//Genève
Auteur : Patrick Haas
Date: 22 mars 2010, 2ème édition

CMEFE - Groupe de compétences en mécanique des fluides
et procédés énergétiques

hepia
Rue de la Prairie 4
CH 1202 Genève

Téléphone +41 22 54 62 660
Télécopieur +41 22 54 62 661
info@cmefe.ch

<http://www.cmefe.ch>
<http://www.hesge.ch/hepia>

« Ceux qui consacrent leur vie à la Science peuvent, à juste titre, être fiers, tout comme ceux qui, comme vous, étudiants et étudiantes, peuvent consacrer quelques années de leur vie à une discipline scientifique, car il n’y a rien de plus beau, malgré le travail et la peine que cela exige, que la possibilité de se consacrer à la recherche de la vérité sur la nature et sur l’homme.

Les études vous permettent de découvrir l’infinie richesse du savoir humain, la diversité inouïe des créatures – depuis la plus grande jusqu’à la plus petite – la magnificence de l’univers, les merveilles de la nature. Apprenez aussi à remercier le Créateur pour la vie. Retrouvez ce lien organique et fondamental entre le culte et la culture, ce lien qui a toujours été la moelle des plus belles civilisations. »

« La tâche de l’université est aussi d’enseigner, mais au fond, elle est là pour que l’homme qui la fréquente, qui possède déjà sa propre raison un tant soit peu développée et une certaine expérience vitale, pour que cet homme apprenne à penser seul. Le rôle de l’université est de libérer le potentiel intellectuel et spirituel de l’homme, et de l’aider à se libérer – mais cette libération est un acte propre et personnel. »

Jean-Paul II,
extraits de discours prononcés lors de rencontres
avec des étudiants à Kinshasa, Louvain et Lublin
entre mai 1979 et mai 1985.



Flavio Noca
Professeur HES



Patrick Haas
Professeur HES



Roberto Putzu
Professeur HES



Pierre-Louis Schmitt
Assistant de recherche HES



Meytham Astaneparast
Assistant HES



Pierre Munier
Assistant HES



Piero Pontelandolfo
Assistant HES



Christophe Cerutti
Assistant technique



Charles Brack
Assistant technique

L'équipe du cmefe

100 ANS DE MECANIQUE DES FUIDES

Les laboratoires à l'origine du cmefe ont 100 ans. A cette occasion, nous publions le présent livre. Il n'est pas un document historique retraçant avec exactitude son histoire, mais plutôt comme un message d'amitié et de reconnaissance à tous ceux qui l'ont fréquenté ou qui le fréquentent aujourd'hui.

L'histoire de la mécanique des fluides à Genève est une histoire d'amour. D'abord parce qu'il s'agit d'une ville bâtie sur le Rhône, un des plus beaux fleuves d'Europe, ensuite parce que de nombreuses sociétés genevoises excellent ou ont excellé dans cette discipline. Parmi elles, la société Charmilles, qui a produit des turbines hydrauliques. Il y a également la société Hispano, dont le fondateur Mark Birkigt a été un des premiers élèves de l'École des Arts et Métiers de Genève à l'origine de l'école actuelle.

Les pages qui suivent présentent quelques activités du cmefe et vous invitent à partager avec nous 100 ans de passion pour une des plus belles sciences, la mécanique des fluides.

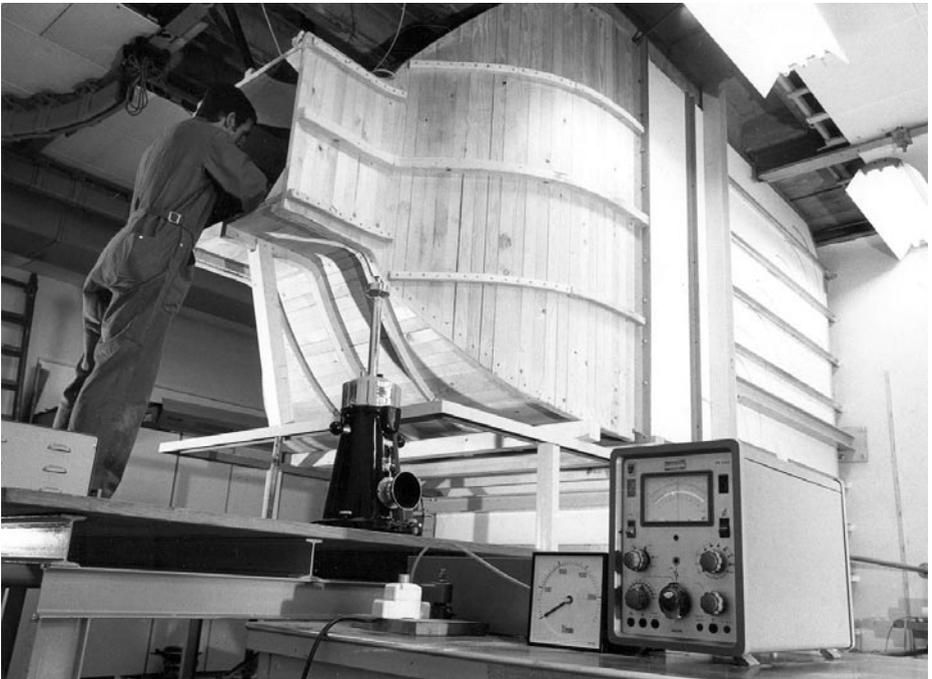
L'équipe du cmefe

HISTORIQUE

Les laboratoires d'aérotechnique et d'hydraulique de l'École d'Ingénieurs de Genève, anciennement l'École des Arts et Métiers, existent depuis 1905. L'école située à côté de la gare Cornavin, a par la suite déménagé à la rue de la Prairie dans le quartier des Délices. Les activités de ces laboratoires étaient essentiellement orientés dans les domaines de l'aérodynamique des avions légers et des planeurs, de l'hydraulique et des moteurs.

Les travaux réalisés depuis se sont inscrits dans un domaine beaucoup plus large :

- Aéronautique
- Fusées, propulseurs à eau surchauffée (Pohwaro), à liquides et à poudre
- Aérodynamique des bâtiments
- Sport
- Systèmes de mesure
- Aérodynamique des trains et autres véhicules

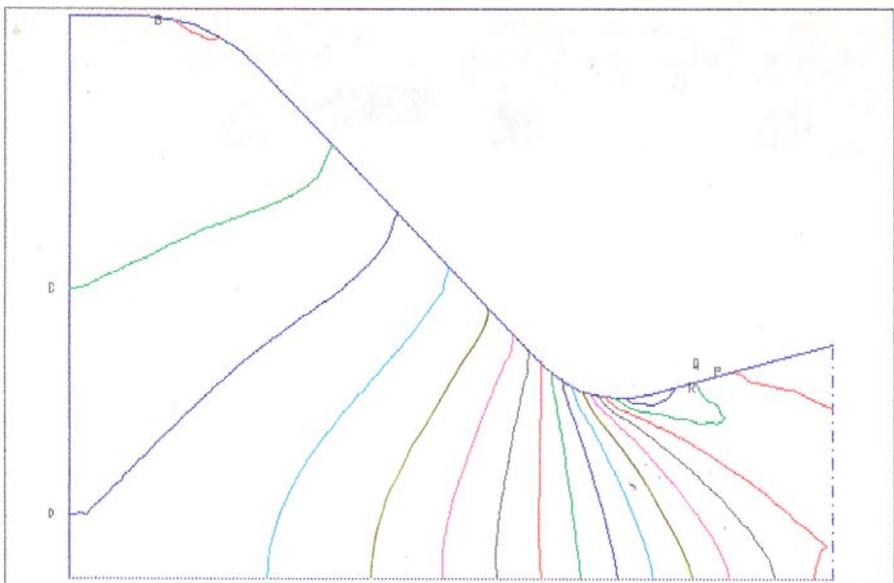


Réalisation d'une soufflerie didactique (1970)

Depuis les années 1980, la modélisation numérique est également une part importante des développements réalisés. En 1982, un code de calcul d'écoulements supersoniques est développé, puis un code destiné aux écoulements transsoniques (1984).

En 1987, le laboratoire d'Aérotechnique a déménagé sous le Pont-Butin au Petit-Lancy (Genève) dans des locaux ayant appartenu à la société Hispano. Il s'agit d'un ancien tunnel destiné initialement au passage des trains. Il a été aménagé en laboratoire et comporte aujourd'hui des installations modernes destinées à la recherche. Il s'agit notamment :

- Une soufflerie subsonique de grandes dimensions
- Un local laboratoire dans lequel sont installées des souffleries subsoniques et supersoniques, ainsi que des machines-outils
- Un local d'étalonnage de balances
- Des bureaux et des salles de travail
- Des locaux de stockage de carburant
- Une salle de calcul destinée à la simulation des écoulements

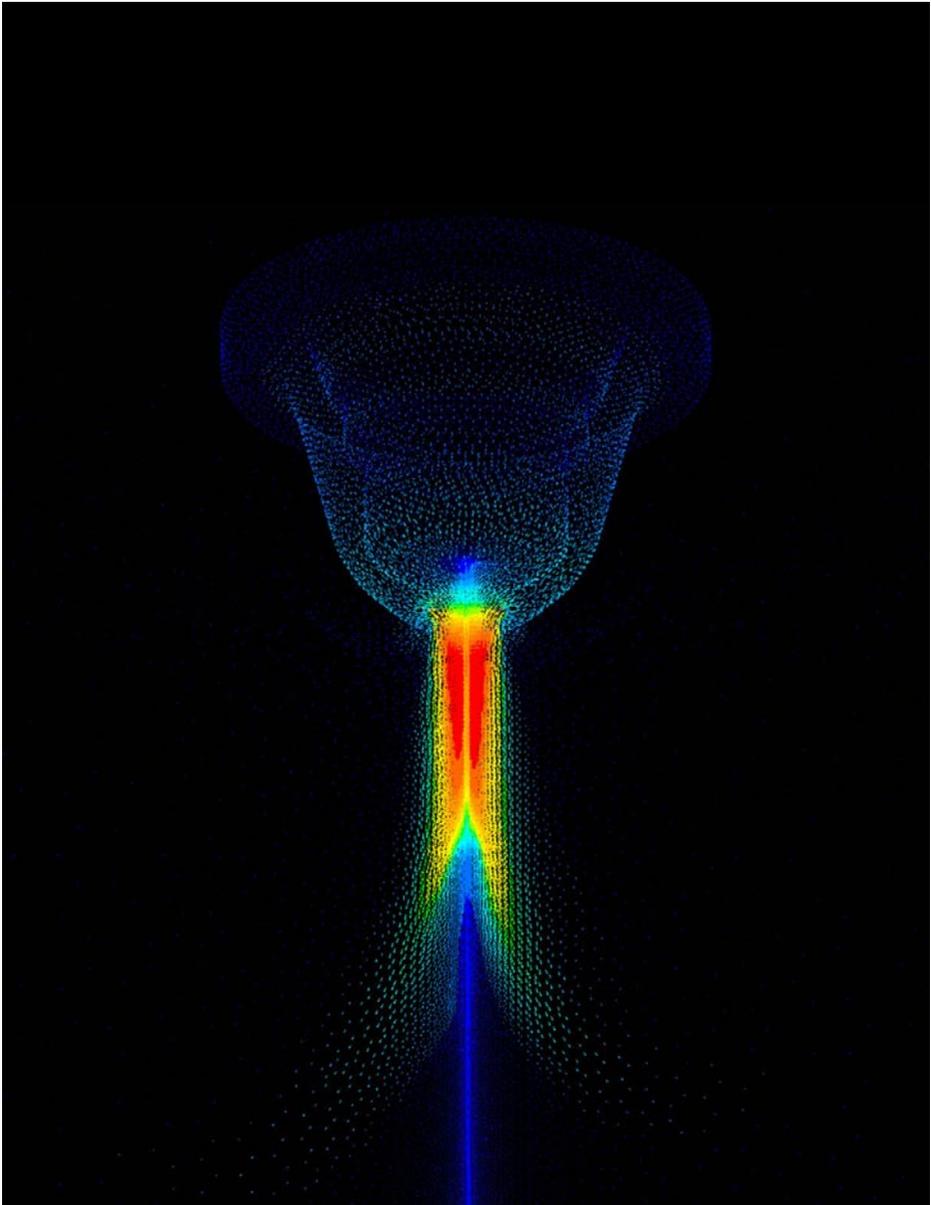


Simulation d'écoulements transsoniques (1984)



Grande soufflerie du cmefe (1995)

A la même époque, le laboratoire d'énergétique appliquée a été quant à lui transféré dans l'ancienne usine Verntissa à Vernier (Genève). En 2002, les laboratoires d'aérotechnique, d'énergétique appliquée et de machines hydrauliques ont été regroupés sous une seule entité, le cmefe, groupe de compétence en mécanique des fluides et procédés énergétiques.



Modélisation CFD d'un jet de diélectrique (2005)

COMPETENCES

Depuis de nombreuses années le cmefe développe des activités de recherche dans les domaines suivants :

- La mécanique des fluides expérimentale
- La modélisation des écoulements
- L'énergétique
- La thermique

Axes stratégiques :

De manière à répondre aux questions actuelles qui se posent, les activités de recherche du cmefe sont orientées selon deux axes qui sont

1) L'application de la mécanique des fluides

- Aérodynamique interne et externe des constructions
- Aérodynamique des systèmes de transport et de leurs composants
- Environnement
- Optimisation de procédés industriels
- Refroidissement des systèmes électroniques
- Amélioration des performances des équipements sportifs

2) L'énergétique

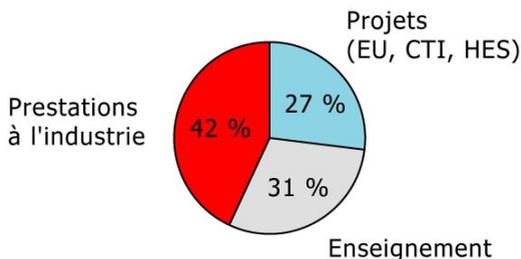
- Transformation des énergies renouvelables
- Développement de techniques d'utilisation des bio-carburants
- Valorisation des rejets thermiques pour la production d'électricité
- Gestion optimale de l'énergie

ACTIVITES

Le cmefe est partenaire de nombreux développements industriels et projets de recherche. Vous trouverez dans les pages qui suivent un résumé de quelques activités.

En termes de ressources, leur répartition sur les trois dernières années s'établit selon la figure ci-dessous. Les prestations à l'industrie sont des mandats effectués pour des clients et facturés à l'heure ou à la prestation. Les projets EU, CTI ou HES sont des projets financés en partie par des institutions étatiques suisses ou européennes. Finalement, la dernière tranche représente les activités d'enseignement du cmefe financées par la HES-SO et les cantons.

Le cmefe porte un intérêt particulier aux contrats avec l'industrie. Nous pensons que c'est une excellente manière de mettre en contact nos étudiants avec le milieu qui les attend. Nous avons pu remarquer qu'ils sont très sensibles à cette démarche.



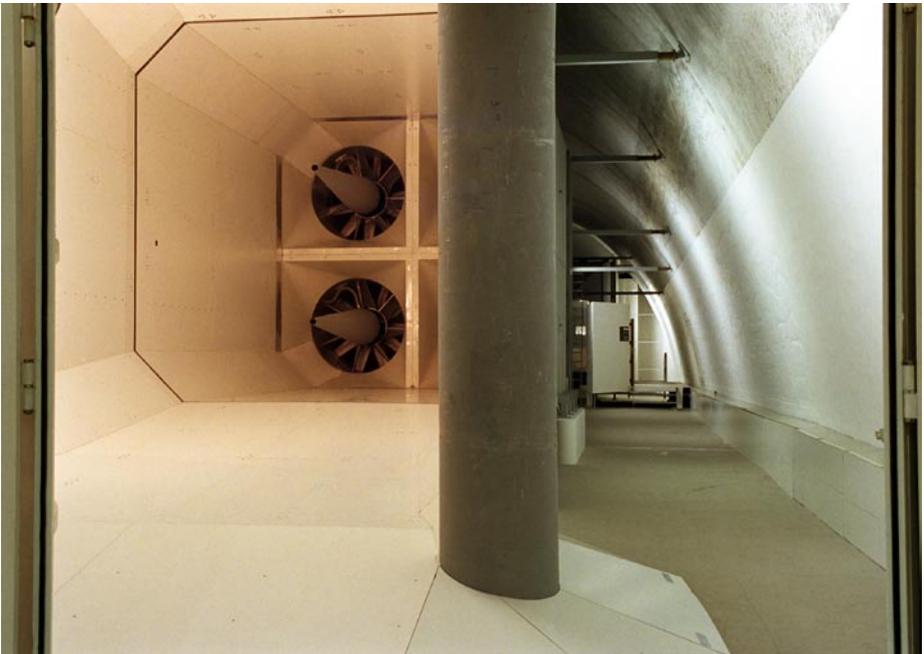
Répartition des ressources

GRANDE SOUFFLERIE DU CMEFE

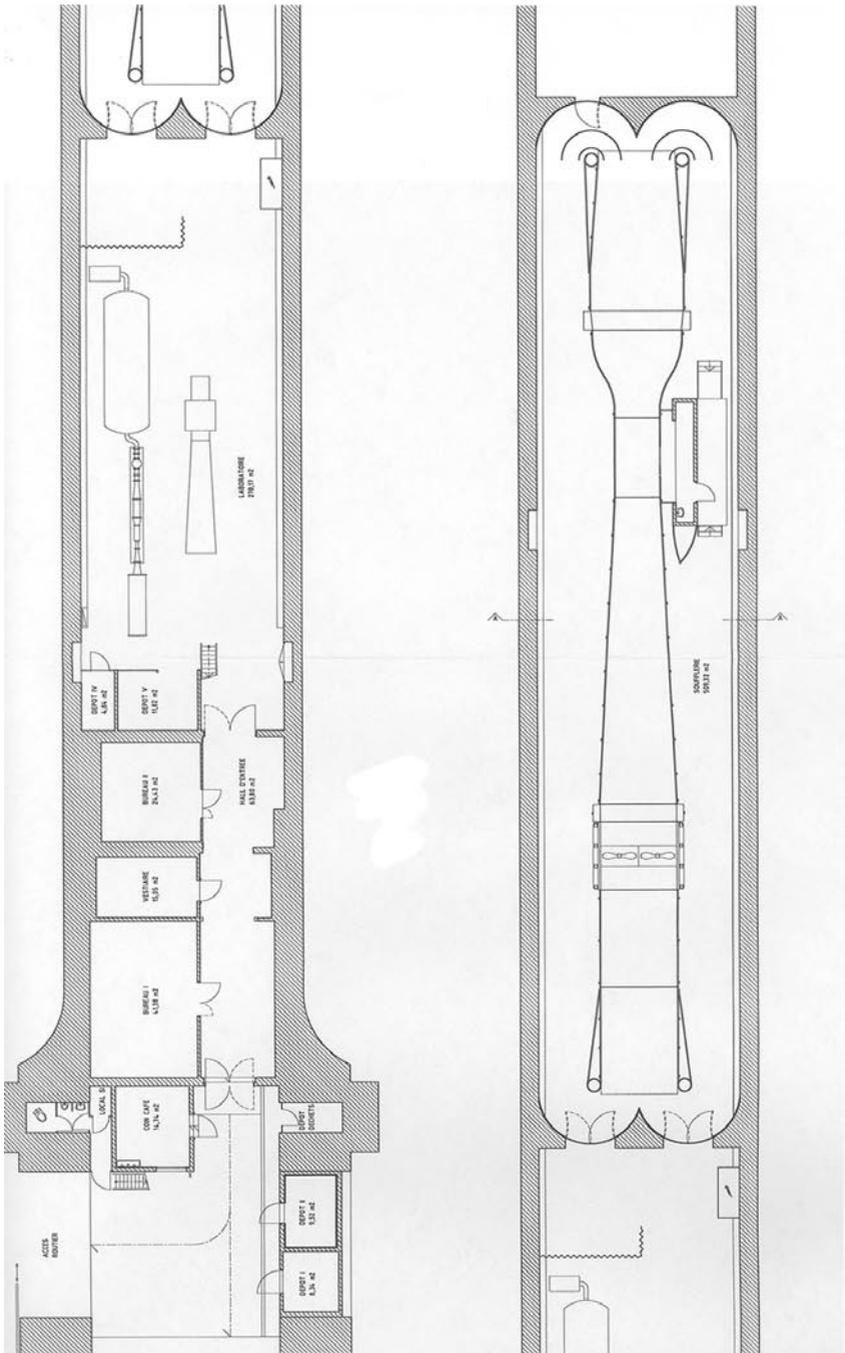
La conception de la grande soufflerie subsonique du cmefe a débuté en 1987. Un concept se rapprochant de celui développé par Eiffel a été imaginé par Michel Perraudin et Patrick Haas. Elle a été installée dans un ancien tunnel destiné à l'origine à la circulation ferroviaire. Le retour de l'air n'est pas libre. Il a lieu dans l'espace annulaire entre la construction et les parois du tunnel en béton armé.

Le tracé de la buse convergente a été réalisé à l'aide de modèles numériques se basant sur des méthodes de singularités et dont l'exactitude a été améliorée grâce à des données semi-empiriques.

La construction de l'ensemble a été achevée en 1995. Les gros ouvrages ont été réalisés par des entreprises, mais une grande partie de la soufflerie a été réalisée en faisant appel à des actions de l'office cantonal de l'emploi du Canton de Genève. Des améliorations lui sont constamment apportées, de manière à profiter des dernières innovations.



Grande soufflerie subsonique



Vue de plan de l'installation

Caractéristiques :

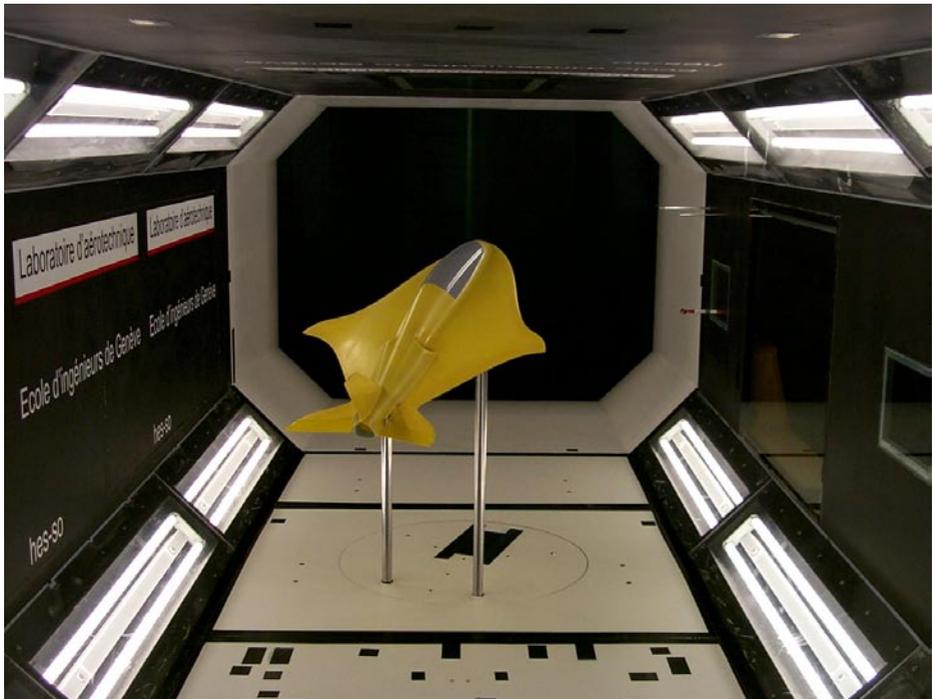
Longueur : 55 m
Section maximum : 4,6 m x 4,6 m .

Veine de mesure :

Dimensions : 4 m x 2 m x 1,5 m
Vitesse maximale : 80 m/s (env. 300 km/h)

Motorisation :

Ventilateurs axiaux : 4 x 10 pales \varnothing 1,4 m.
Puissance unitaire : 75 kW.
Puissance totale max. 300kW (408cv)
Débit d'air : 240 m³/s ou 756'000 m³/h.
Température de service : entre 15° et 30° C.



Développement de l'avion Smartfish



Vue du laboratoire



La préparation d'un essai

BALANCES

La mesure des forces et des moments agissants sur des maquettes ou des hommes est réalisée par des systèmes complexes faisant intervenir des technologies pointues. Depuis ses débuts le cmefe développe ce type d'unités pour son propre usage.

Deux types de balances sont développées. Il s'agit de balances statiques de trois à six composantes (trois forces et trois moments) et des balances dynamiques dont la résolution peut atteindre 0.01 Newton sur une capacité de 1'000 Newtons.

Des contacts étroits avec des grands centres de recherche européens de l'aéronautique lui permettent de réaliser des systèmes parmi les plus sensibles et les plus stables qui existent.

Une chaîne de mesure informatisée et un local destiné à l'étalonnage muni de différents statifs viennent compléter cette ensemble.



Balance à six composantes à jauges d'extensométrie

SOUFFLERIE SUPERSONIQUE

Le cmefe possède une soufflerie supersonique à rafales. Des écoulements dont le nombre de Mach peut atteindre 2,4 (env. 3'000 km/h) sont générés par détente de l'air dans une conduite munie d'un col. L'écoulement est visualisé à l'aide d'un système optique de type Schlieren.

Réservoir :

Capacité : 20 m³ - 16 bars

Température de travail : 100° C

Veine de mesure :

Type : rectangulaire 120 x 80 mm

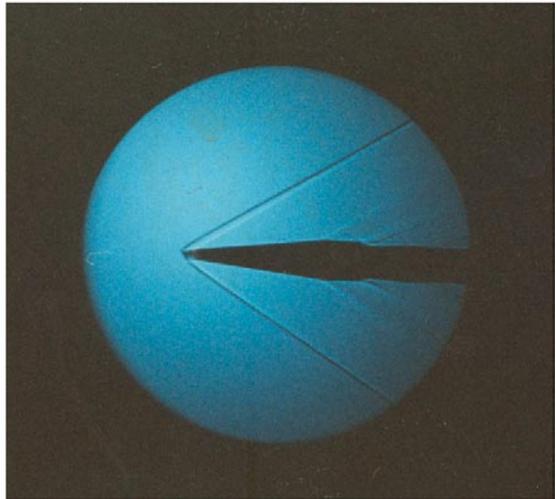
Tuyères interchangeables : Mach 1,4 - 1,8 - 2,4

Motorisation :

Temp de mise en pression : 9 heures, temps de travail : 90 s.

Compresseur double étage 7,5 kW

Ondes de chocs dans un écoulement à Mach 2,4



Ondes de choc et de détente dans un écoulement à Mach 2,4

METHODES DE VISUALISATION

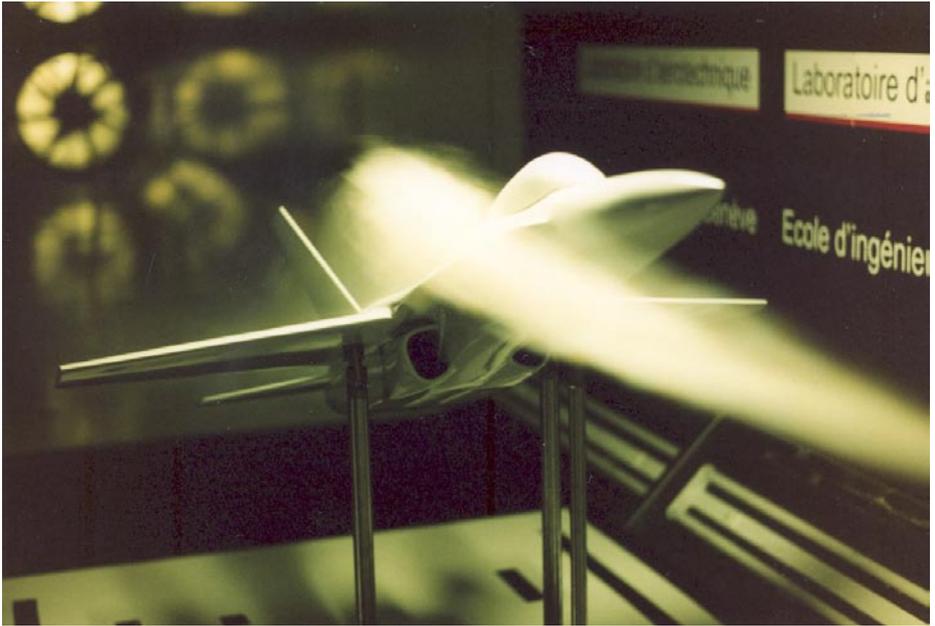
Le cmefe a développé plusieurs méthodes de visualisation des écoulements. Les images qui suivent ont été réalisées dans le cadre de travaux sur les tourbillons d'apex et ceux dits marginaux qui se développent en bouts d'ailes ou de surfaces portantes quelconques.

La mise en évidence des structures tourbillonnaires est à la base de la compréhension des phénomènes aérodynamiques existants autour d'un corps. Elle permet de développer des effets hypersustentateurs, de réduire la résistance à l'avancement ou d'optimiser une performance quelconque.

Ces systèmes ne sont pas seulement des outils de recherche, ils sont aussi des outils pédagogiques efficaces. Ils permettent d'illustrer les phénomènes aérodynamiques de base et servent donc aussi de support à l'enseignement de la dynamique des fluides.



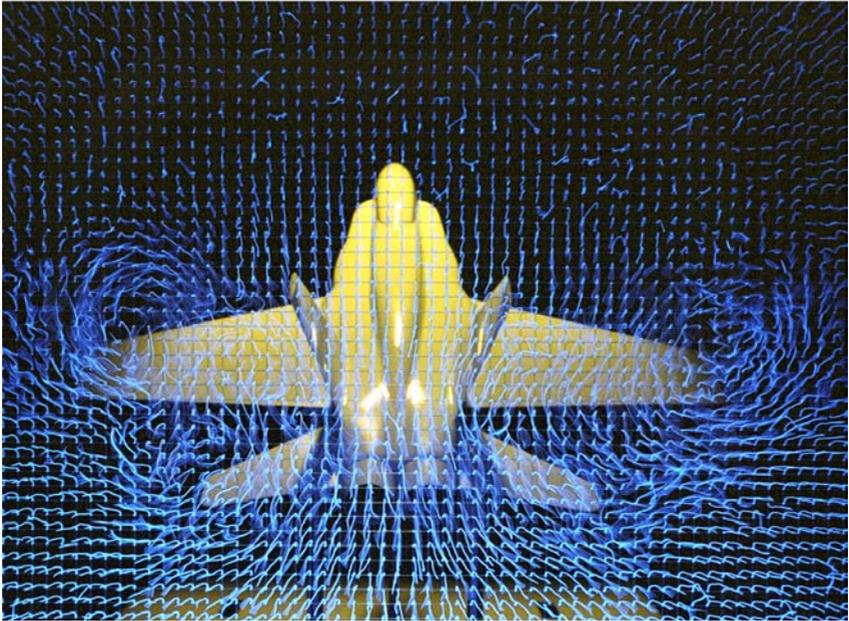
Montage d'un modèle sur pilônes motorisés



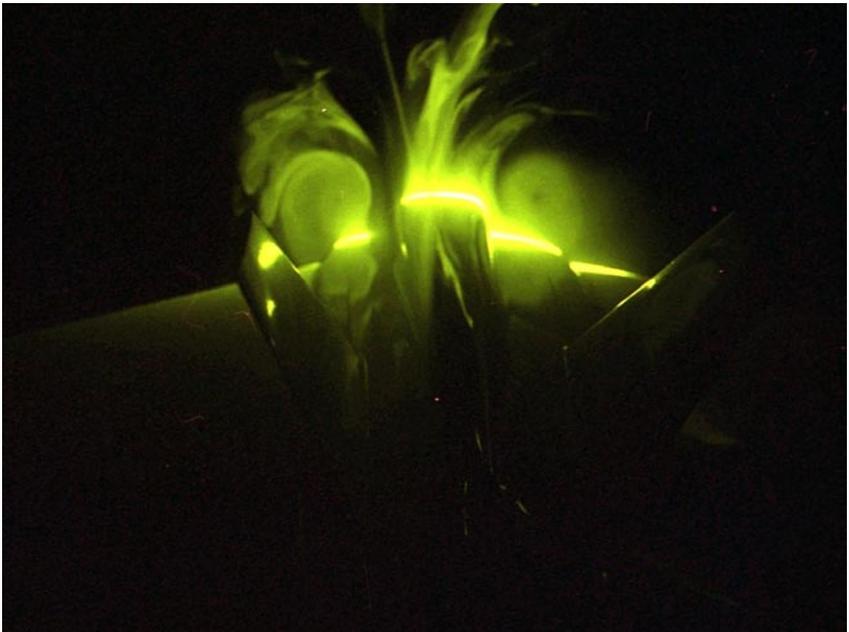
Canne et fumigène



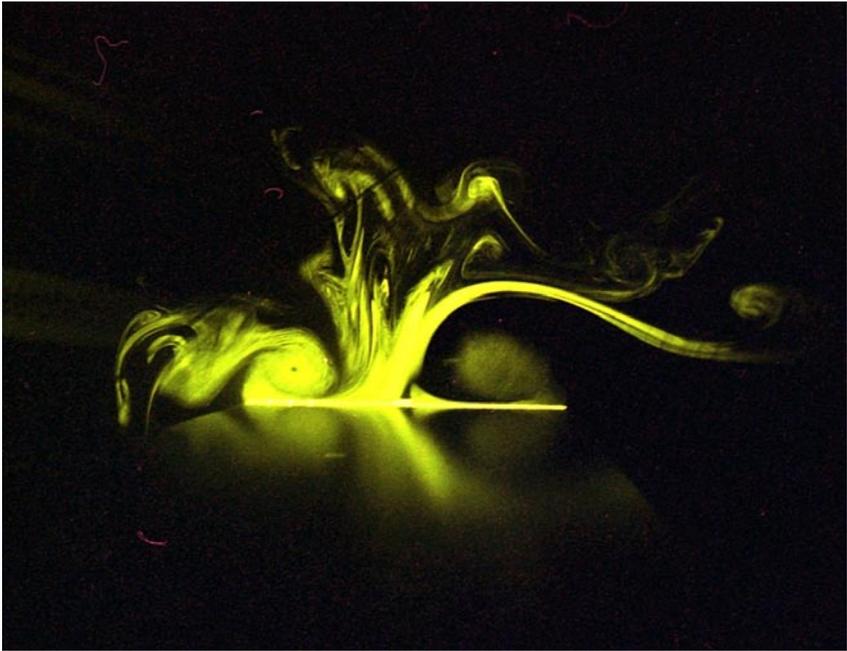
Visualisation des tourbillons d'apex



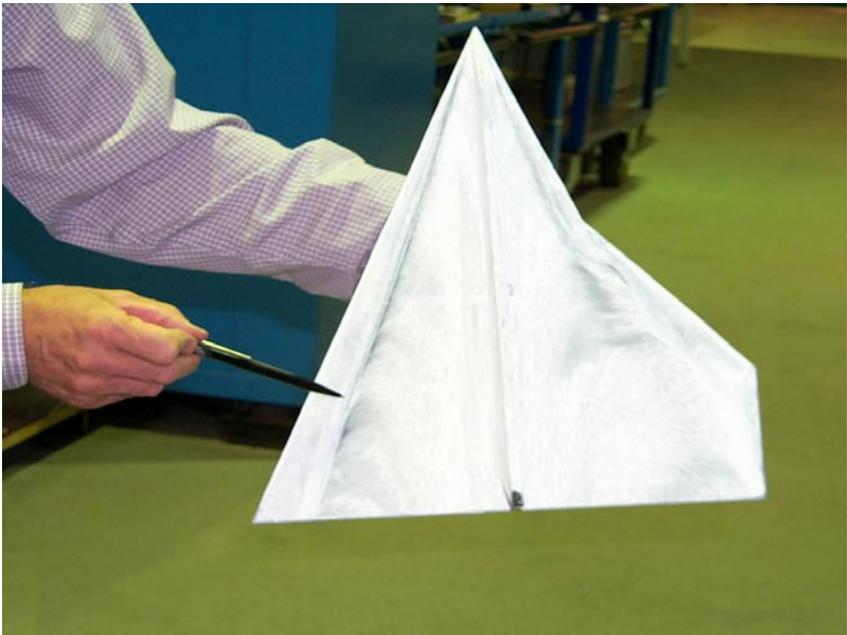
Visualisation par treilli de tufts



Visualisation de tourbillons dans un plan laser



Structure tourbillonnaire transitoire



Visualisation des écoulements pariétaux

SOUFFLERIE VERTICALE

Le cmefe a développé une soufflerie verticale destinée à l'étude de corps en chute libre. Un puissant ventilateur pulse de l'air dans une conduite légèrement divergente. Les modèles sont lâchés depuis l'extrémité supérieure de l'installation. Ils se stabilisent à une certaine hauteur dans la conduite et le poids est alors exactement compensé par la résistance aérodynamique. Cette installation a été à la base du développement de sacs parachutes destinés au largages humanitaires.



Soufflerie verticale du cmefe

SPORTS ET EQUIPEMENTS

Depuis environ 15 ans, les sports de glisse représentent un domaine d'activités important du cmefe. Des skieurs, des lugeurs ou des hommes volants de plusieurs pays d'Europe s'entraînent régulièrement dans la grande soufflerie genevoise.

Les essais sur des hommes représentent une situation complexe. La répétitivité des essais, la mesure de la position des personnes ou les aspects relatifs à la sécurité forment un ensemble de contraintes qui nécessite un savoir-faire particulier.

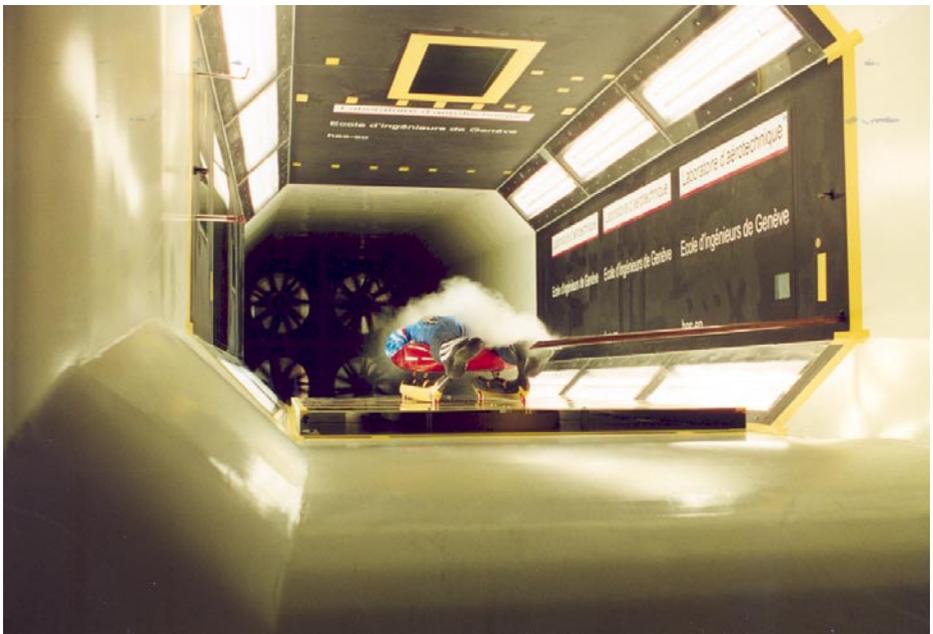
Le cmefe a contribué à l'établissement de plusieurs records du monde. Il contribue également au développement d'équipements. Il oriente actuellement ses recherches dans la compréhension et la mesure des frottements.



Skieurs de vitesse



Equipe olympique de France



Vue depuis la chambre de tranquillisation

ECO-MOBILES

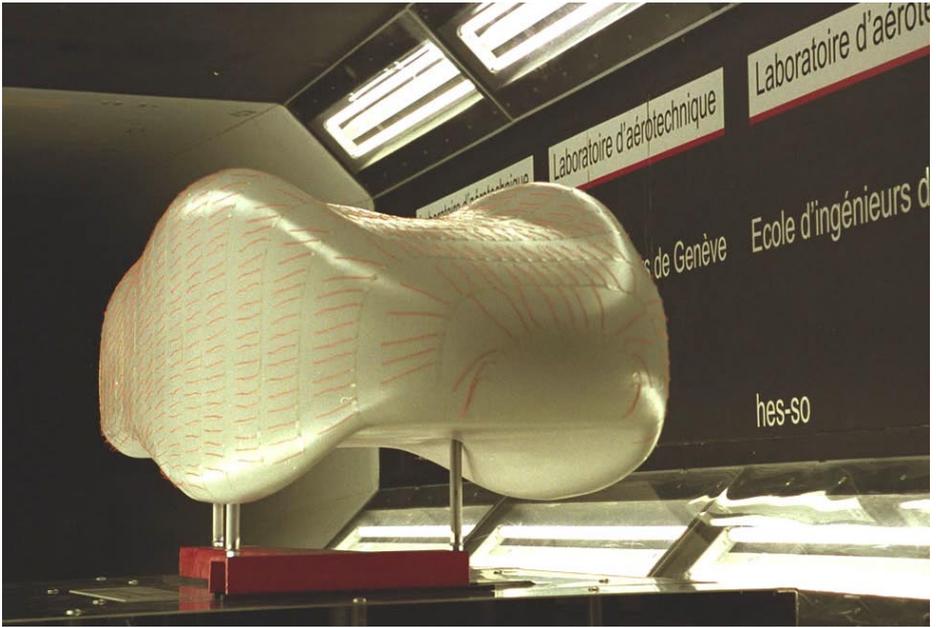
La HES-SO participe chaque année à l'éco-marathon organisé par Shell sur le circuit de Nogaro dans le sud de la France. Le véhicule Consomini réalisé par la Haute Ecole de l'Arc Jurassien, l'Ecole d'Ingénieurs et d'Architectes de Fribourg et l'Ecole d'Ingénieurs de Genève a parcouru en mai 2004 l'équivalent de 1'200 km avec un litre d'essence à la vitesse moyenne de 30 km/h. Le projet a également obtenu deux prix.

Le cmefe est partenaire de ce projet. Il a réalisé l'étude de l'aérodynamique du véhicule. Il a effectué des campagnes d'essais et des simulations numériques en vue d'optimiser sa résistance à l'avancement.

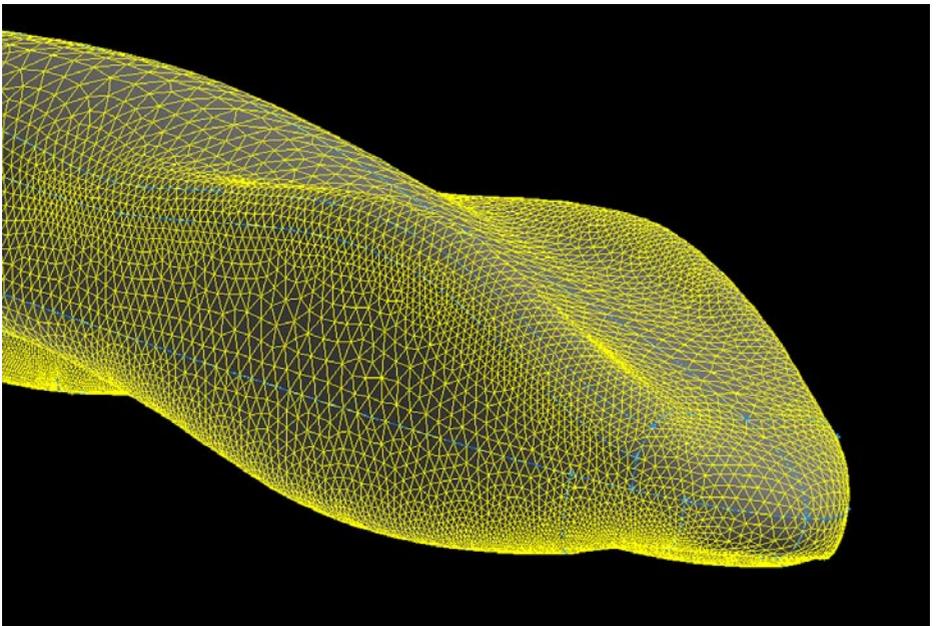
Une technique de numérisation tridimensionnelle a été utilisée pour retrouver en fin d'étude une image de la maquette modifiée.



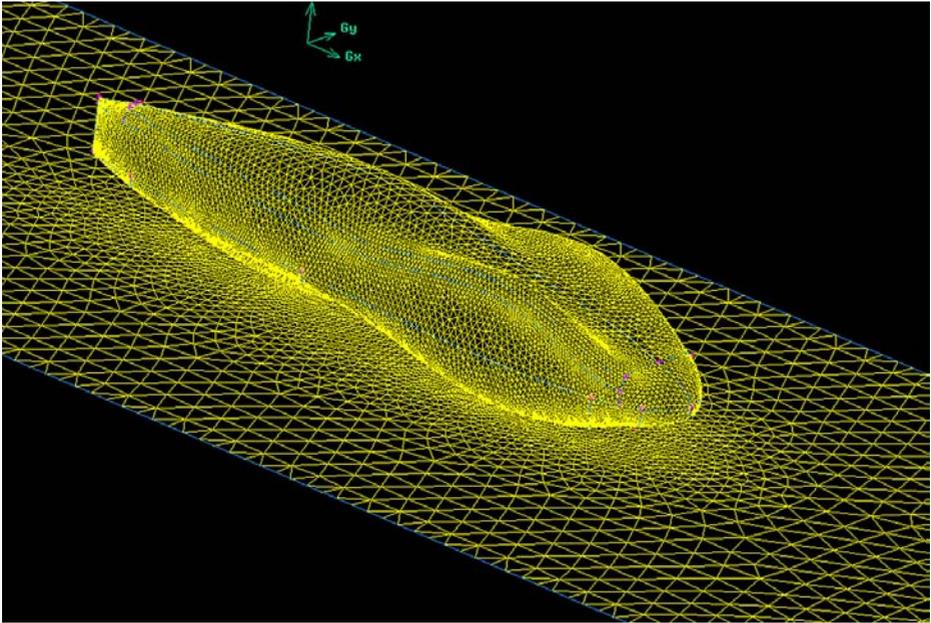
Le véhicule Consomini



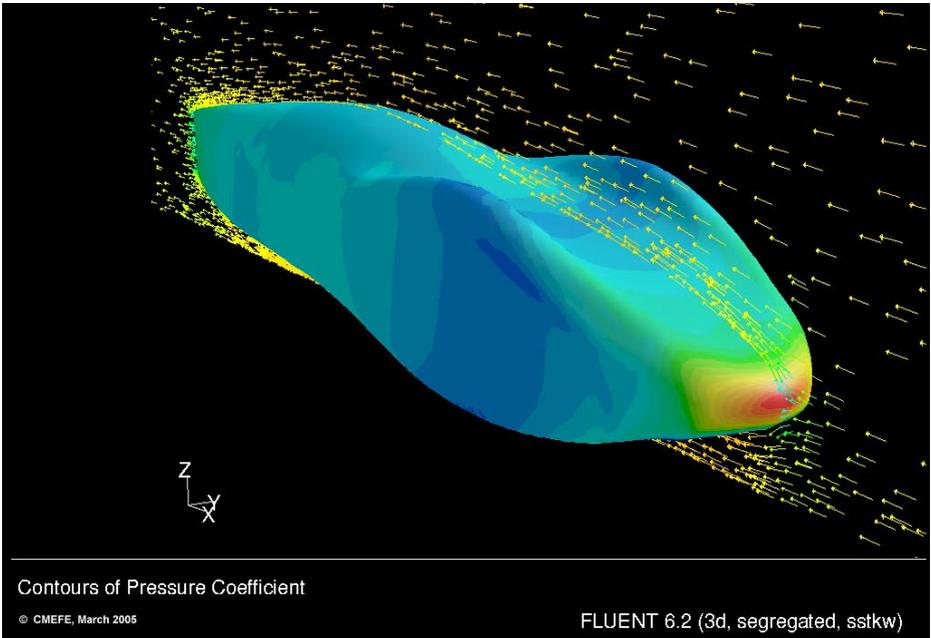
Etude aérodynamique à pleine échelle



Maillage destiné à la simulation CFD de l'écoulement



Fonctions de taille du maillage



Etude des champs de pressions et de vitesses

BIOMOBILE.CH

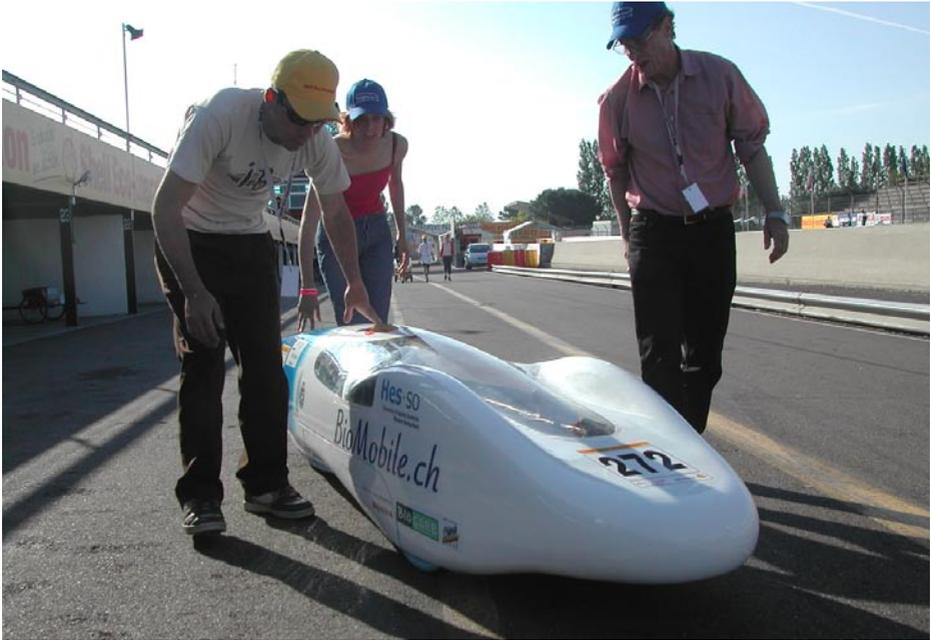
Une seconde éco-mobile a été créée par la HES-SO. Il s'agit d'un véhicule destiné à participer à l'Eco-marathon Shell fonctionnant avec une bio-essence issue 100% de déchets végétaux. Le projet est réalisé en collaboration avec la société genevoise Biocarb SA.

Une partie de l'innovation apportée par le carburant utilisé réside dans le fait qu'il n'est pas destiné uniquement aux moteurs de type diesel, comme c'est le cas par exemple de l'huile de colza. Il s'agit d'une essence destinée à des moteurs traditionnels fonctionnant selon un cycle thermodynamique Beau-de-Rochas. De ce fait la majeure partie du parc de véhicules existant est concerné, de même que tous les moteurs de petite cylindrée tels que deux-roues, machines de jardin, etc.

Le procédé de fabrication de ce carburant est également différent de celui qui consiste à produire de l'éthanol comme par exemple au Brésil à partir de la canne à sucre ou en Europe pendant la guerre.



Bio-essence réalisée avec des déchets végétaux



Biomobile.ch sur le circuit de Nogaro (France) en mai 2005

Le projet Biomobile.ch a pour objectif la réalisation d'une éco-mobile dont la quantité de CO₂ produite par kilomètre est la plus faible possible.

PRISES D'AIR POUR TRAINS RAPIDES

Le cmefe développe des prises d'air pour des unités de climatisation de trains à grande vitesse. Un projet financé par la HES-SO, ainsi que des travaux de diplômés et de semestres ont été réalisés.

Il s'agit de concevoir une prise d'air frais qui permette d'obtenir un coefficient de pression nul au point d'entrée. La pression en ce point est donc égale à la pression atmosphérique et ne varie plus avec la vitesse du train. Lorsque de telles conditions sont atteintes, le dimensionnement de la puissance thermique de l'unité de climatisation est optimale, car le débit d'air frais est alors lui aussi constant quelle que soit la vitesse du train.

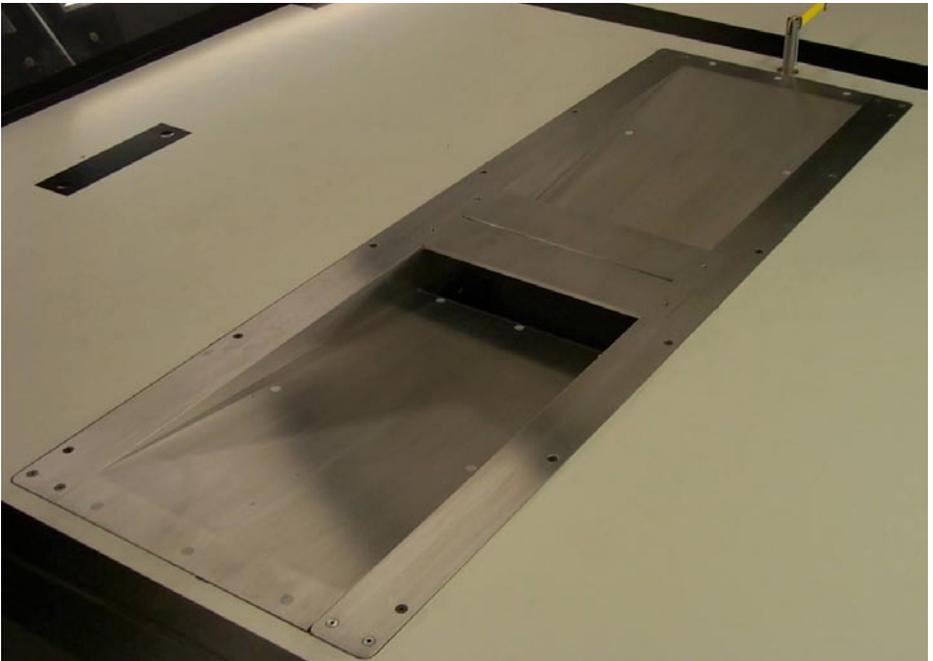
L'étude comporte des parties théorique, numérique et expérimentale. L'établissement de critères de similitude des phénomènes physiques sont un aspect particulièrement important du projet.



Usinage d'une des maquettes à l'aide d'une machine-outil cinq axes



Etude de l'écoulement dans le voisinage d'une unité de climatisation



Une des prises d'air développées

CARMEN* - UN MODELE THERMIQUE DU RHONE

Les objectifs du projet CARMEN sont de réaliser un modèle hydraulique et thermique du Rhône urbain à l'aide d'une approche CFD en volumes finis. L'existence à Genève d'un modèle de simulation du Rhône permettra d'évaluer l'impact des rejets thermiques provenant du rafraîchissement.

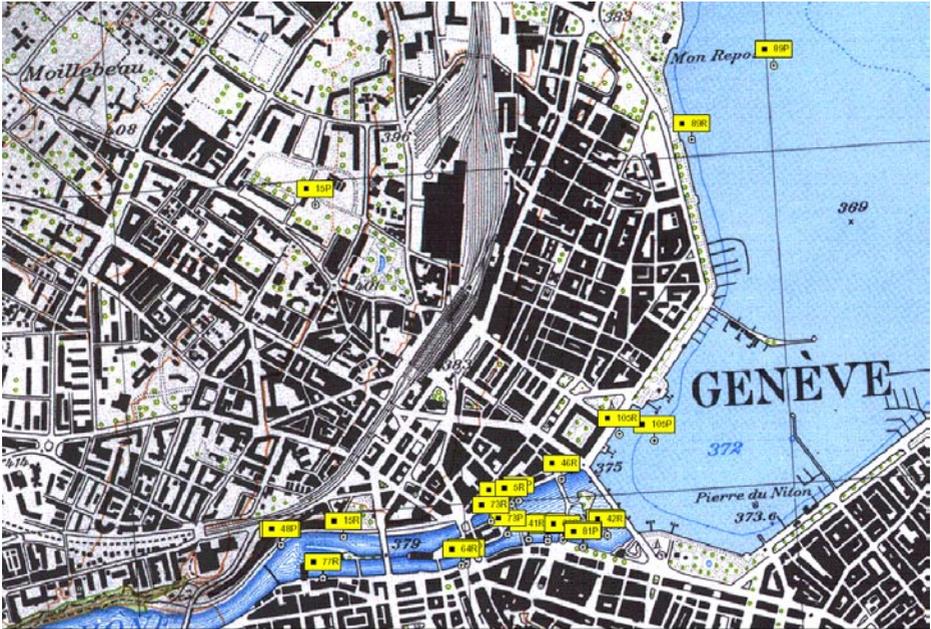
Un groupe de travail sur la thermique et la biologie du Rhône comprenant le CUEPE (Centre Universitaire d'Etude des Problèmes de l'Energie de l'Université de Genève), le Département de l'Intérieur, de l'Agriculture et de l'Environnement (DIAE), le Service Cantonal de l'Energie (SCanE) et le cmefe, a été créé en mai 2005.

Du point de vue pédagogique ce projet est important. Au delà de l'aspect esthétique extraordinaire, il permet de sensibiliser nos étudiants aux conséquences environnementales d'un projet.

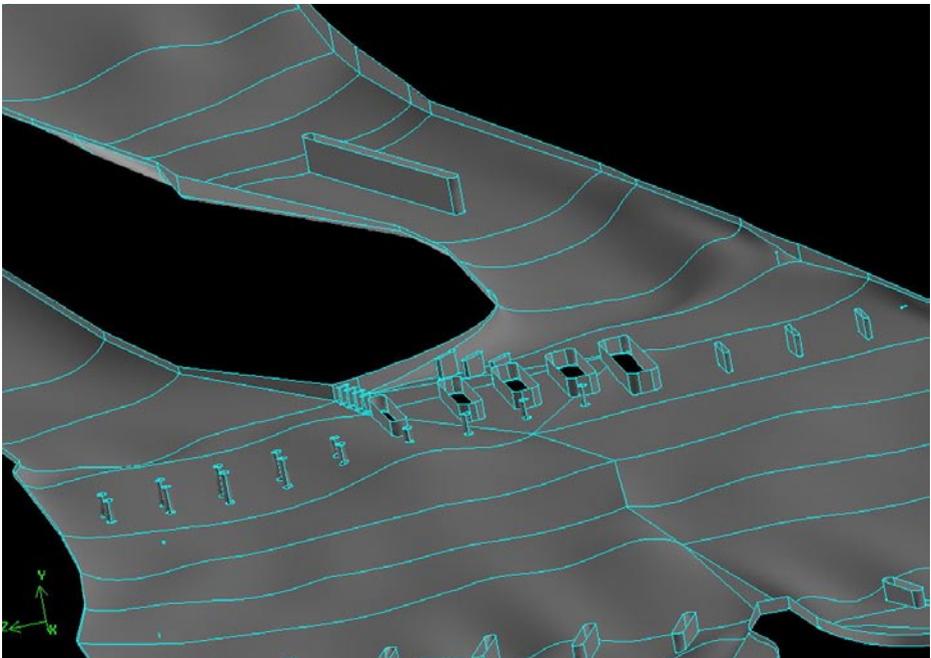
* Cette belle qui parcourant la ville attisait toutes les convoitises.



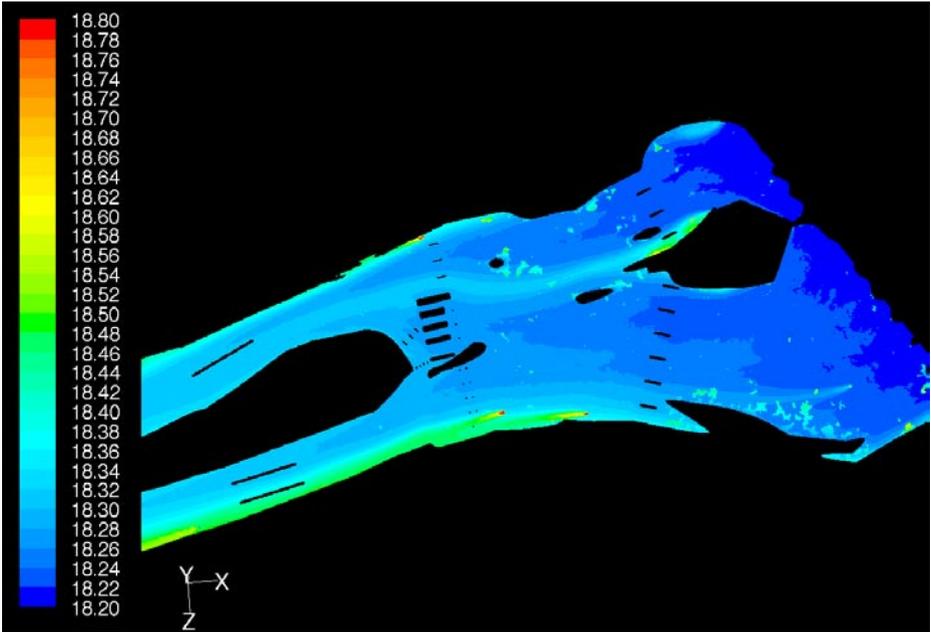
Le Rhône vu depuis le cmefe (Pont-Butin)



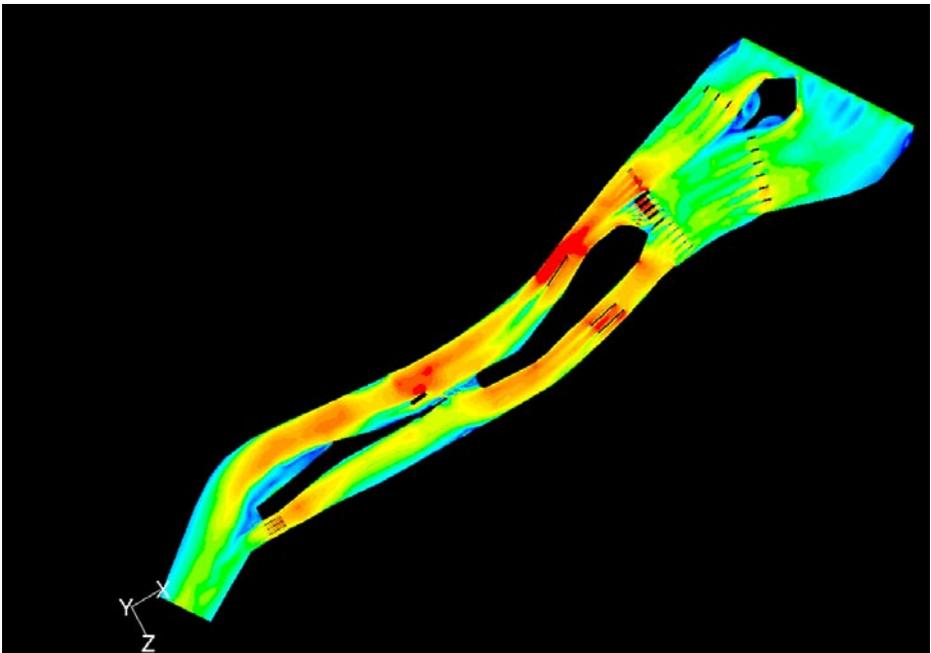
Situations des rejets thermiques dans le Rhône urbain



Détails du fond au pont de la Machine



Distribution de la température et panaches



Vitesse du fluide à la surface du Rhône

SIMULATION DES ECOULEMENTS DANS UNE EGLISE

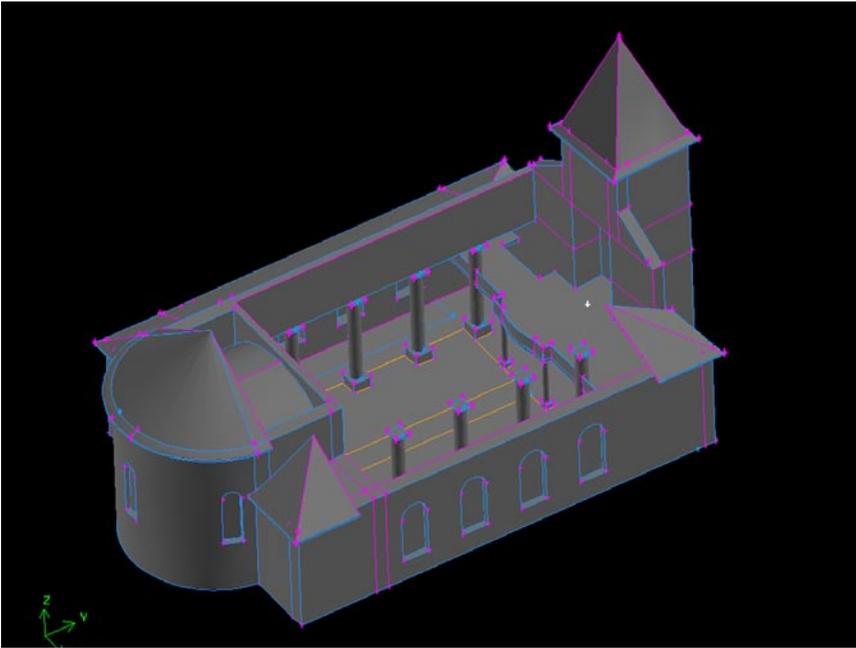
La simulation des écoulements dans un bâtiment de taille importante ou présentant des caractéristiques particulières permet de développer des concepts adaptés de chauffage, de ventilation ou de climatisation ayant un minimum d'impact sur les aspects architecturaux.

Le cmefe réalise la simulation d'écoulements générés par convection naturelle ou provenant de sources forcées.

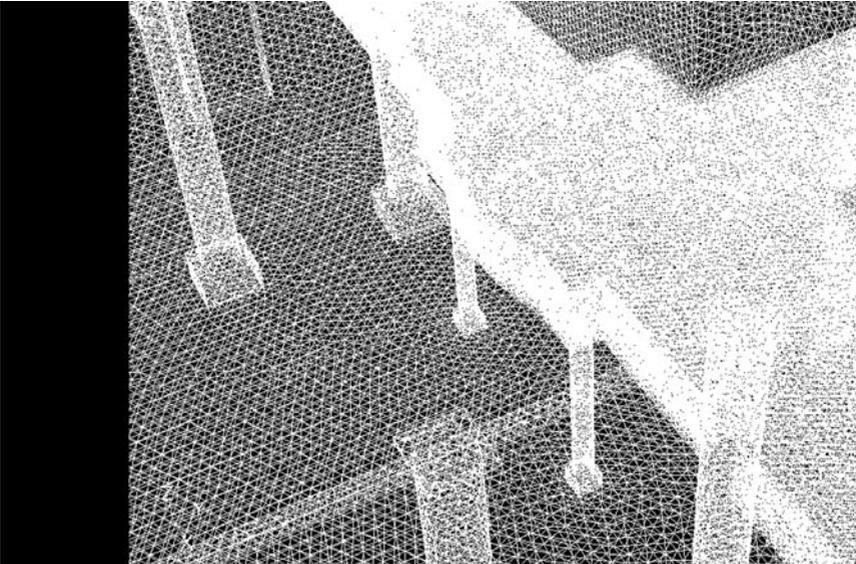
L'étude d'une salle d'opéra a été réalisée en 2004. Plus récemment, l'Eglise catholique romaine de Genève a confié au cmefe l'étude des écoulements dans l'église de Compesières. L'édifice datant de 1270 aurait été donné par l'évêque de Genève Aymon de Menthonnay à l'ordre de Saint-Jean-de-Jérusalem, connu sous le nom d'Ordre de Malte. L'Eglise a été agrandie en 1633, puis reconstruite en 1834 pour donner sa forme actuelle. Une rénovation et des fouilles archéologiques sont actuellement en cours.



L'église et le château de Compesières (Genève)



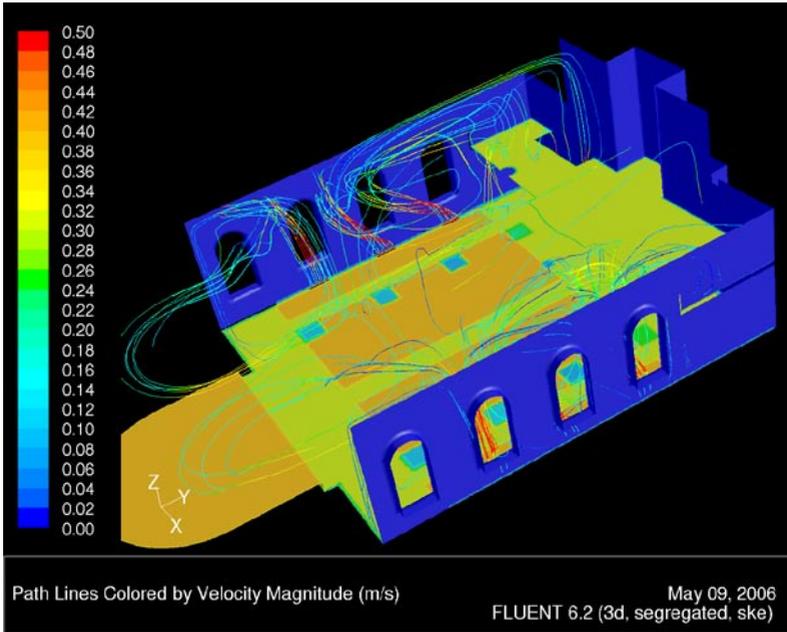
Modèle géométrique de l'église



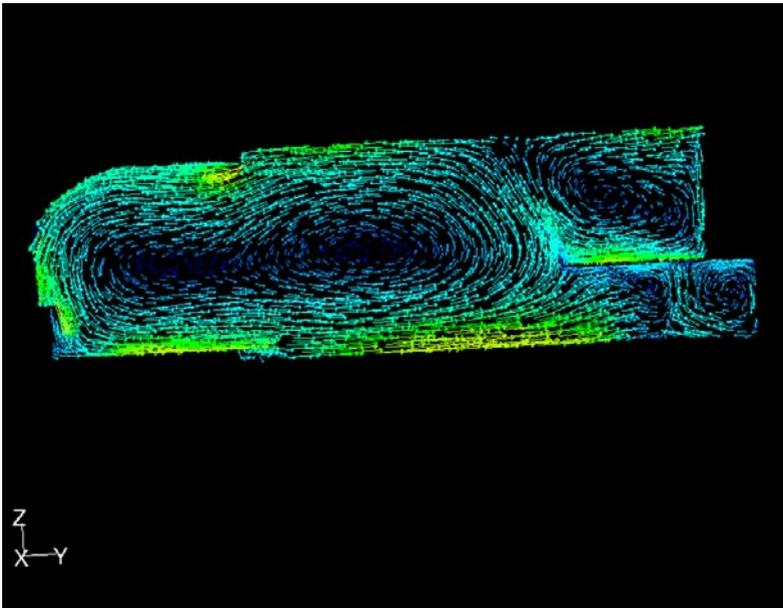
Grid

Nov 09, 2005
FLUENT 6.2 (3d, segregated, ske)

Maillage à l'aide de tétraèdres



Trajectoires des particules d'air



Champ de vitesses dans le plan médian de l'église

Pour obtenir d'avantages d'informations sur les activités du cmefe n'hésitez pas à nous contacter :

CMEFE - Groupe de compétences en mécanique des fluides
et procédés énergétiques

hepia

Rue de la Prairie 4

CH 1202 Genève

Téléphone +41 22 54 62 660

Télécopieur +41 22 54 62 661

info@cmefe.ch

ou consulter nos sites internet :

<http://www.cmefe.ch>

<http://www.hesge.ch/hepia>