

Introduction à la CFD

Généralités et applications aux bâtiments

Bertrand Carissimo, CEREAA



CFD = Computational Fluid Dynamics
= résolution numérique des équations de Navier-Stokes



C. Navier (1822)



G. Stokes (1845)

Equations de Navier-Stokes

Equations instantanées :

- Conservation de la masse (incompressible)

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0$$

- Conservation de la quantité de mouvement

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\nu \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right] - \delta_{i3} g$$

- Conservation de l'énergie

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u_j \frac{\partial T}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\frac{\nu}{Pr} \frac{\partial T}{\partial x_j} \right] + \frac{\varepsilon_m}{c_p} + \frac{\beta T}{\rho c_p} \left(\frac{\partial P}{\partial t} + u_j \frac{\partial P}{\partial x_j} \right)$$

- Equation de transport des espèces

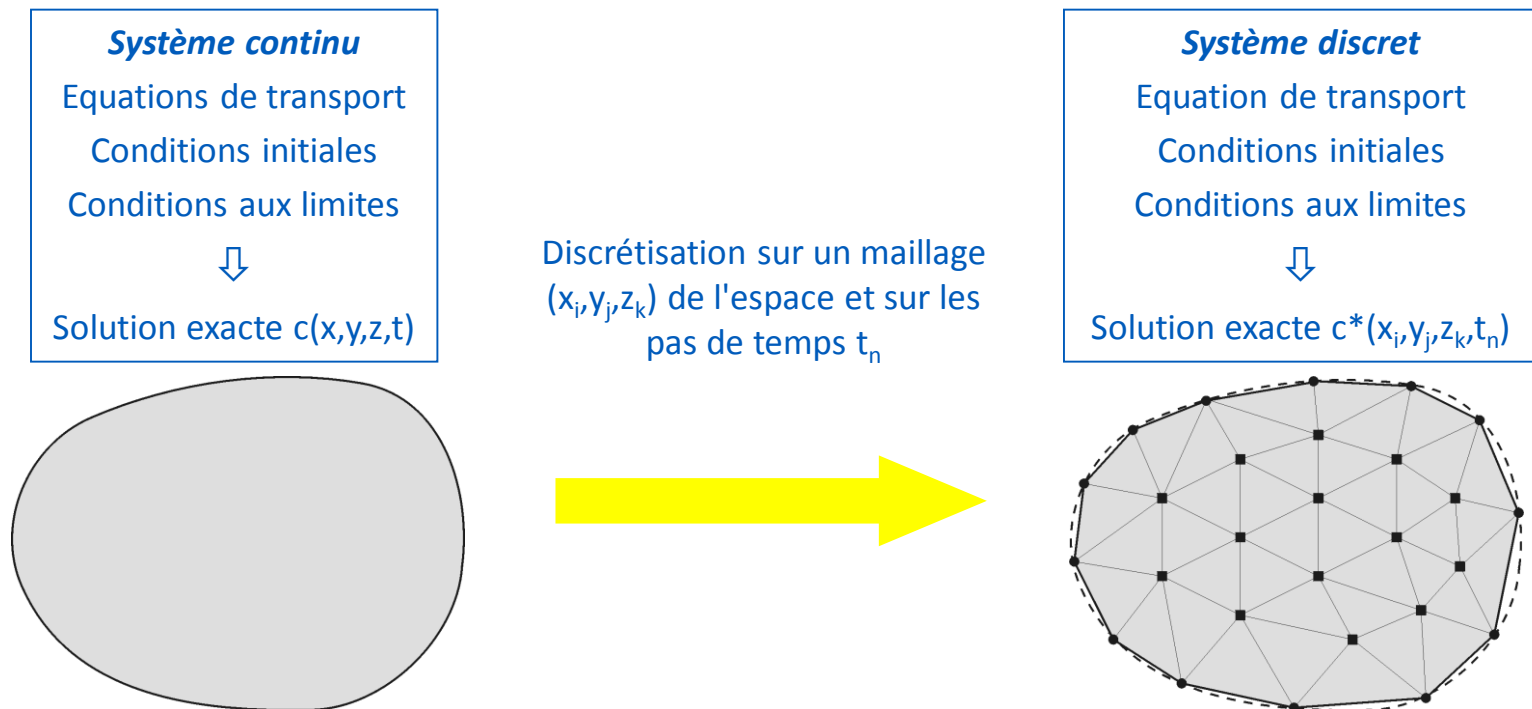
$$\frac{\partial c}{\partial t} + u_j \frac{\partial c}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[D_m \frac{\partial c}{\partial x_j} \right] + R$$

→ Système d'équation aux dérivées partielles (temps, espace)

Passage du modèle continu au modèle discrétisé

Principe

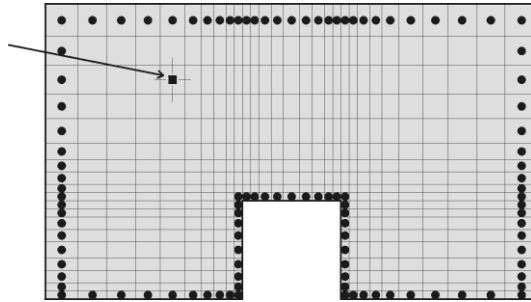
Modèle basé sur une discrétisation des équations de transport (masse, quantité de mouvement, espèce) sur un maillage de l'espace



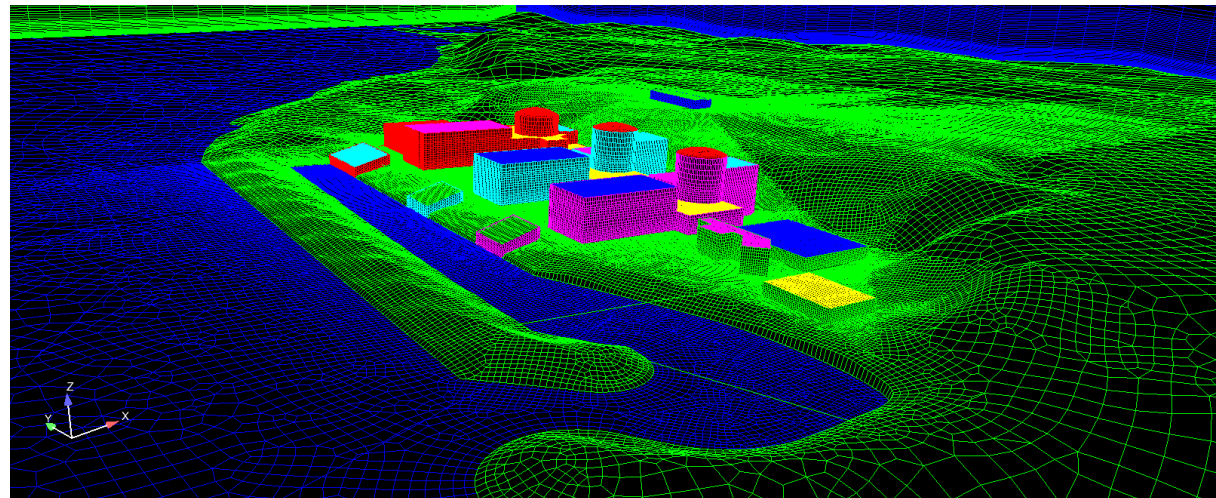
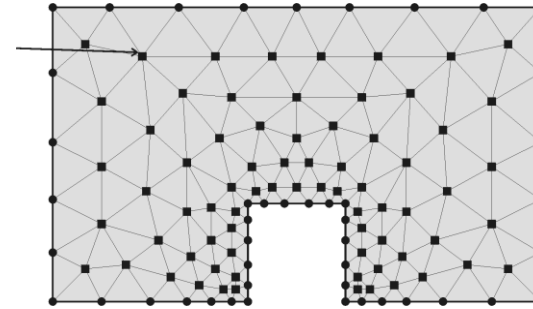
Maquette numérique / maillage : étape primordiale

Maillages

Structuré

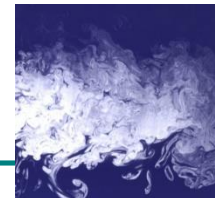


Non-structuré

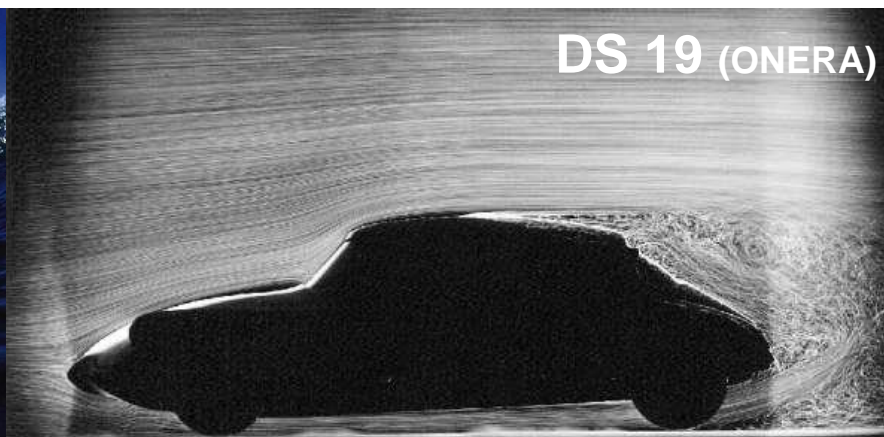


Géométrie complexe
→ non-structuré

Mais présence de turbulence



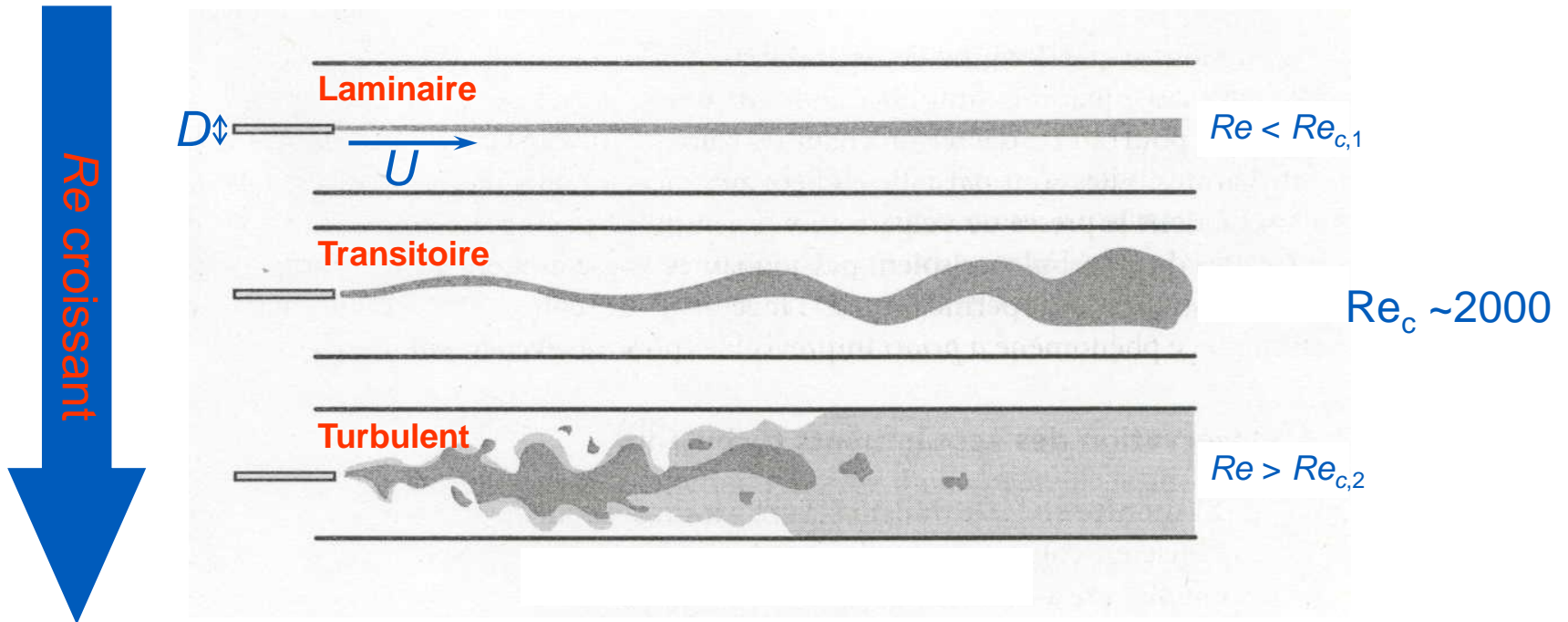
Complexité, variété...



L'expérience de Reynolds

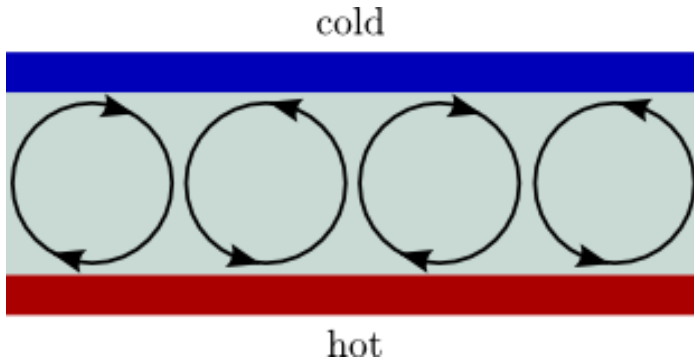
production de turbulence par instabilité dynamique

Suivant la valeur du nombre de Reynolds $Re = UD / \nu$, l'écoulement adopte des comportements radicalement différents.



→ Il paraît logique qu'un écoulement plus visqueux soit plus stable.

Instabilité de Rayleigh-Bénard : production de turbulence par effet thermique



The Rayleigh Number is defined as:

$$Ra_L = \frac{g\beta}{\nu\alpha}(T_b - T_u)L^3$$

Where :

T_u is the Temperature of the top plate

T_b is the Temperature of the bottom plate

L is the height of the container.

g is the acceleration due to gravity.

ν is the kinematic viscosity.

α is the Thermal diffusivity

β is the Thermal expansion coefficient

Valeur critique (Rayleigh 1916)

$$R_c = \frac{27}{4} \pi^4 \approx 657.51$$

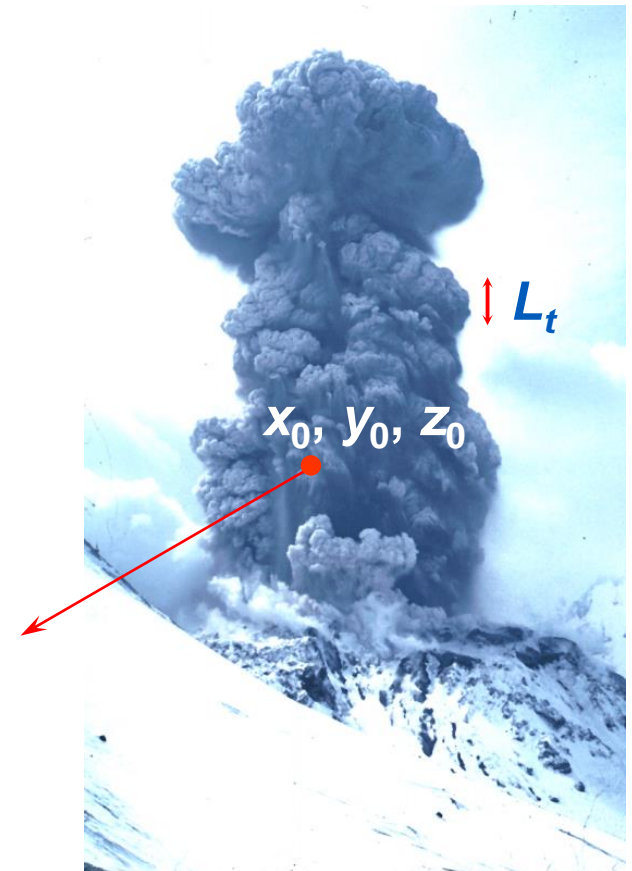
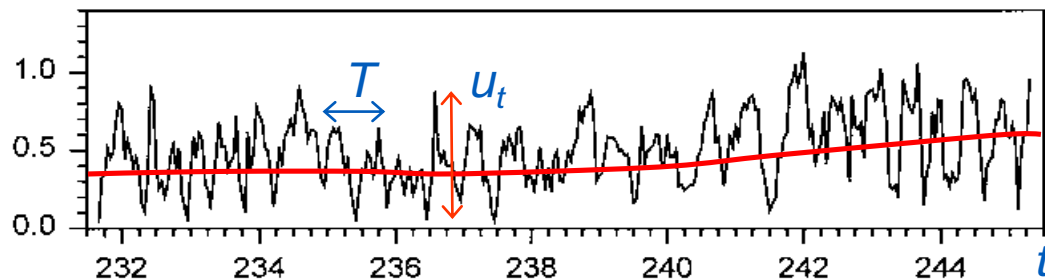
Répartition spatiale et temporelle



Aspect général du champ de vitesses

Un champ de vitesse turbulent présente :

- Une forte variabilité spatiale : tourbillons (ou structures) de taille $\sim L_t$
- Une variabilité temporelle : fluctuations d'échelles de temps $\sim T$
- Une « moyenne » lisse et peu variable

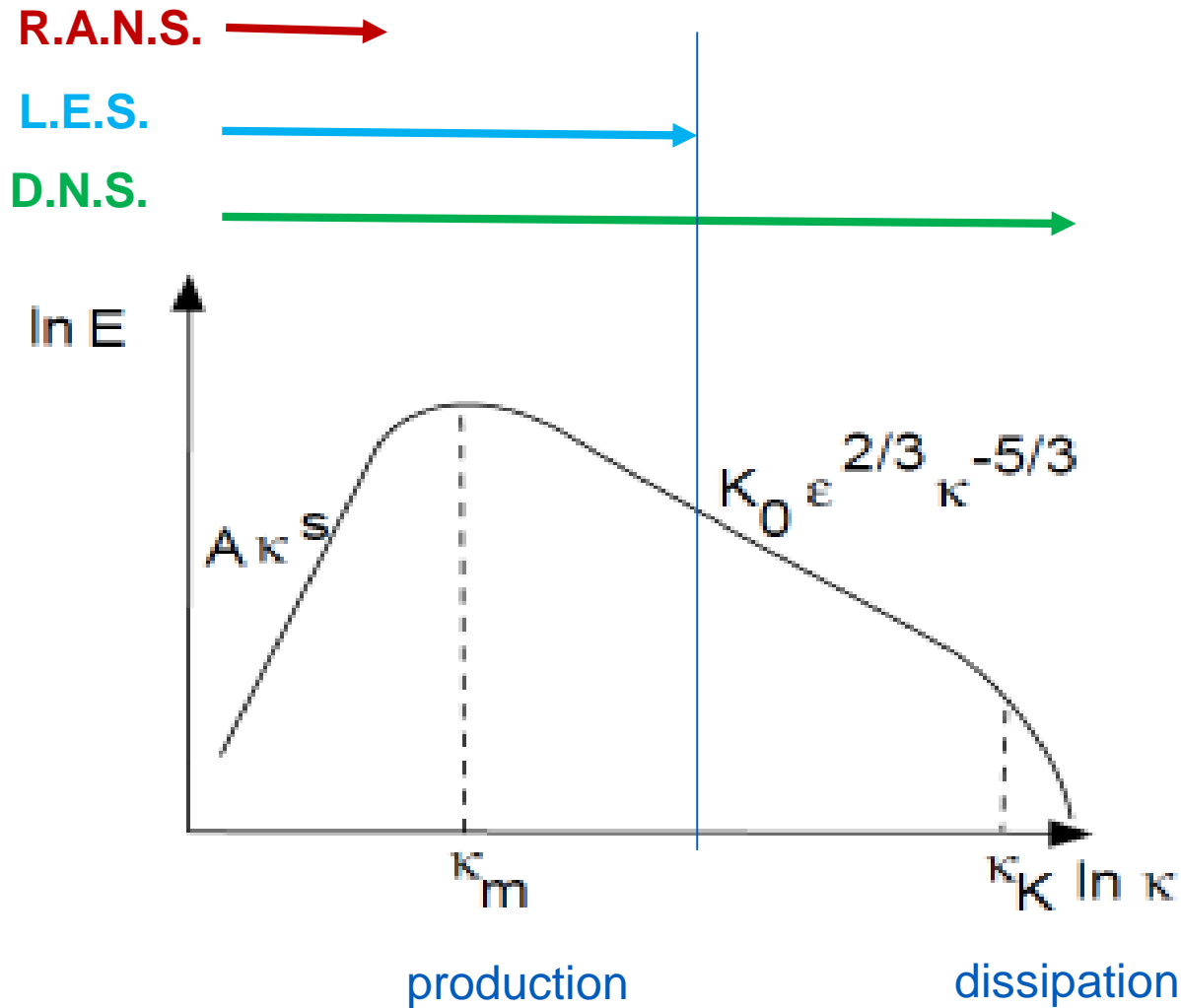


Equations résolues et modélisation de la turbulence

Approches de modélisation de la turbulence

- Direct Numerical Simulation (DNS)
 - Simulation de toutes les échelles de tourbillons
 - Plus petites échelles = échelle de Kolmogorov
- Large Eddy Simulation (LES)
 - Simulation des tourbillons (eddies) plus gros que la résolution du maillage
 - Modélisation des tourbillons de sous-maille
- Reynolds Averaged Navier Stokes (RANS)
 - Résolution des grandeurs moyennées sur un grand nombre de réalisations
 - Utilisation de modèles de turbulence

Répartition spectrale de l'énergie turbulente:



$$\kappa = \frac{2\pi}{\Lambda}$$

The issue of Direct Numerical Simulation

► Dimensional analysis (Kolmogorov)

- Size of the largest eddies: $L \sim k^{3/2}/\varepsilon$ (\sim size of the domain)
 - Size of the smallest eddies: $\lambda \sim (\nu^3/\varepsilon)^{1/4}$
- $\rightarrow L/\lambda \sim [k^{1/2} L/\nu]^{3/4} \sim Re^{3/4}$

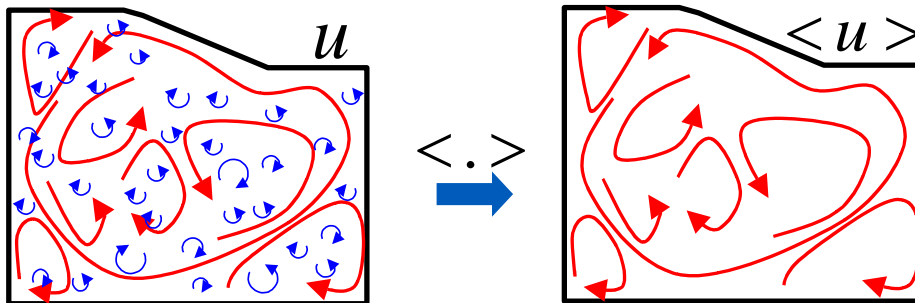
► Standard industrial calculation

- $L \sim 0,5$ m, $V \sim 2$ m/s, $\nu \sim 10^{-6}$ m²/s, turbulent intensity 10%
- $\rightarrow Re \sim 10^5$
- $\rightarrow L/\lambda \sim 6 \times 10^3$
- \rightarrow more than 200×10^9 cells needed for direct simulation of turbulence!!
(moreover, time step \propto linearly with L/λ)

Principle of LES

An unsteady approach

- no average, the equations solved yield instantaneous values
- the fields are spatially filtered, to consider only the larger turbulent scales
- the dissipative effect of the smaller eddies is modelled by an additional viscosity (« sub-grid viscosity »)
- filtering usually implicit (cut-off scale=mesh size)



$$\frac{\partial \langle u \rangle}{\partial t} + \frac{\partial (\langle v \rangle \langle u \rangle)}{\partial y} = - \frac{\partial \langle v'' u'' \rangle}{\partial y}$$

$$\langle v'' u'' \rangle = \nu_{sg} \frac{\partial \langle u \rangle}{\partial y}$$

Different models

- Smagorinsky model
 - similar in writing to a mixing length model
 - damping of C_s is needed near the walls
- dynamic model
 - automatic adaptation of C_s , including near the walls
 - based on explicit filtering

$$\nu_{sg} = (C_s \Delta)^2 \left| \frac{\partial \langle u \rangle}{\partial y} \right|$$

RANS/LES differences

- ▶ The equations are similar in writing
... but they are completely different in physical meaning

LES

- Modelling of the **small** structures
- **Instantaneous** variables
- Statistical analysis compulsory
- Unsteady by nature

RANS

- Modelling of **the whole turbulent spectrum**
- **Statistical averages**
- Direct analysis
- Usually steady

- ▶ LES is usually more expensive, but
 - finer description of specific areas
 - provides information on frequencies of turbulent phenomena
 - the choice is not always obvious

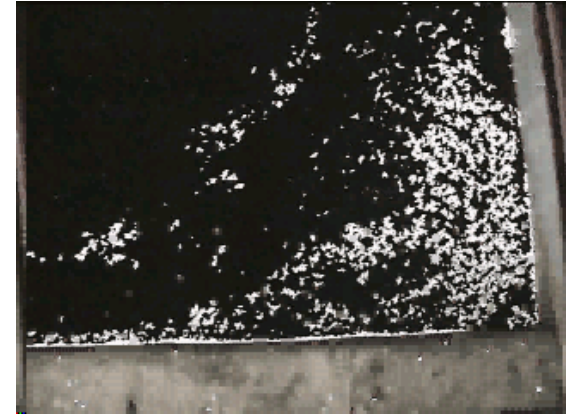
Moyennes de Reynolds



Effet du procédé

Le champ de vitesses moyenné est :

- **Lisse** (régulier dans le temps et l'espace)
- Insensible aux conditions initiales (**reproductible**)
- Parfois constant, parfois 2D, bien que le champ réel ne le soit *jamais*

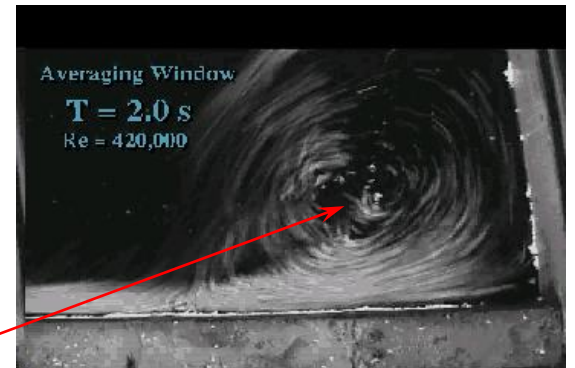


Vitesse réelle

Remarques importantes

On prendra garde :

- A se souvenir de la signification physique des champ moyens
- A ne pas confondre les *structures cohérentes* (recirculations du champ moyen, *stables*) avec des tourbillons turbulents



Vitesse moyenne

Approche Reynolds Averaged Navier Stokes (RANS)

- Décomposition de Reynolds

- Chaque grandeur G est décomposée en moyenne + fluctuation

$$G = \bar{G} + G'$$

- La moyenne de la fluctuation est nulle

$$\overline{G'} = 0$$

- La moyenne du produit des fluctuations de 2 grandeurs n'est pas forcément nulle

$$\overline{F'G'} \neq 0$$

$$\Rightarrow \overline{FG} = \bar{F}\bar{G} + \overline{F'G'}$$

Approche Reynolds Averaged Navier Stokes (RANS)

- Conservation de la masse (incompressible)

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0$$

- Conservation de la quantité de mouvement

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\nu \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - \overline{u'_i u'_j} \right] - \delta_{i3} \mathbf{g}$$

- Conservation de l'énergie

$$\frac{\partial \bar{T}}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\frac{\nu}{Pr} \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_j} - \overline{u'_j T'} \right] + \frac{\bar{\varepsilon}_m}{c_p} + \frac{\beta \bar{T}}{\rho c_p} \left(\frac{\partial \bar{P}}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_j} \right)$$

- Equation de transport des espèces

$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{c}}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[D_m \frac{\partial \bar{c}}{\partial x_j} - \overline{u'_j c'} \right] + \bar{R}$$

Approche Reynolds Averaged Navier Stokes (RANS)

- Problème de fermeture : exemple de l'équation de la QDM

- Equation des moments d'ordre 1

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = f_1 \left(\bar{u}_a, \overline{u'_a u'_b} \right)_{a,b \in \{1,2,3\}}$$

- Equation des moments d'ordre 2

$$\frac{\partial \overline{u'_i u'_j}}{\partial t} + \bar{u}_k \frac{\partial \overline{u'_i u'_j}}{\partial x_k} = f_2 \left(\bar{u}_a, \overline{u'_a u'_b}, \overline{u'_a u'_b u'_c} \right)_{a,b,c \in \{1,2,3\}}$$

- Equation des moments d'ordre 3

$$\frac{\partial \overline{u'_i u'_j u'_k}}{\partial t} + \bar{u}_l \frac{\partial \overline{u'_i u'_j u'_k}}{\partial x_l} = f_3 \left(\bar{u}_a, \overline{u'_a u'_b}, \overline{u'_a u'_b u'_c}, \overline{u'_a u'_b u'_c u'_d} \right)_{a,b,c,d \in \{1,2,3\}}$$

- Etc...



Approche Reynolds Averaged Navier Stokes (RANS)

- Fermeture à l'ordre 1

- Dans les applications atmosphériques, fermetures essentiellement à l'ordre 1, basées sur le modèle de Boussinesq

$$\left\{ \begin{array}{l} \overline{u'_i u'_j} = -K_m \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) + \frac{2}{3} k \delta_{ij} \\ \overline{u'_i T'} = -K_h \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_i} \\ \overline{u'_i c'} = -K_c \frac{\partial \bar{c}}{\partial x_i} \end{array} \right.$$

$k = \frac{1}{2} \overline{u'_i u'_i}$: Energie cinétique turbulente

- Il s'agit d'une analogie aux lois de Newton, Fourier et Fick

Approche Reynolds Averaged Navier Stokes (RANS)

- Les limites d'un modèle de fermeture
 - Prenons l'exemple de la diffusion d'espèce

$$\overline{u'_i c'} = -K_c \frac{\partial \bar{c}}{\partial x_i}$$

- La grandeur K_c n'est pas une constante, elle dépend de l'écoulement
- Le flux dans une direction dépend de la composante du gradient dans la même direction → pas toujours
- Le flux en un point est proportionnel au gradient au même point → pas toujours
- Le flux est en sens opposé au gradient → pas toujours

Approche RANS et modèle k-ε

- Fermeture à l'ordre 1

- On utilise le modèle de Boussinesq

$$\left\{ \begin{array}{l} \overline{u'_i u'_j} = -K_m \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) + \frac{2}{3} k \delta_{ij} \\ \overline{u'_i T'} = -K_h \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_i} \\ \overline{u'_i c'} = -K_c \frac{\partial \bar{c}}{\partial x_i} \end{array} \right.$$

- On modélise K_m , K_h et K_c

$$K_m = c_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad K_h = \frac{K_m}{Pr_t} \quad K_c = \frac{K_m}{Sc_t}$$

ε : taux de dissipation de l'énergie cinétique turbulente

Approche RANS et modèle k-ε

- Equations de transport pour k et ε

- Equation de transport pour k

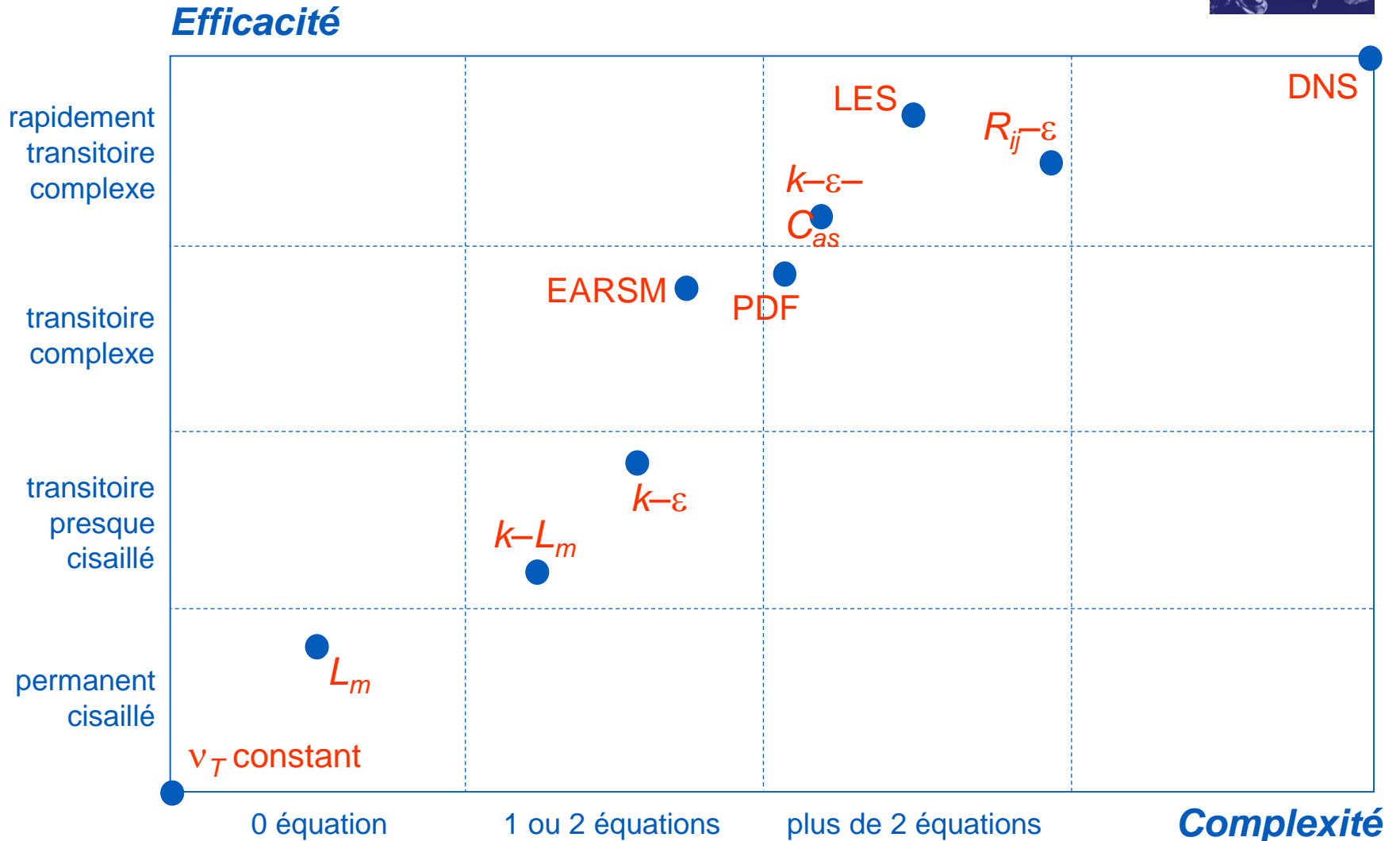
$$\frac{\partial k}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\nu + \frac{K_m}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_k + B_k - \varepsilon$$

$$\left\{ \begin{array}{l} P_k = -\overline{u'w'} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} = \text{production de k par cisaillement} \\ B_k = \frac{g}{\theta_0} \overline{w'\theta'} = \text{production/destruction thermique de k} \end{array} \right.$$

- Equation de transport pour ε

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\nu + \frac{K_m}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \frac{\varepsilon}{k} (c_{\varepsilon 1} P_k - c_{\varepsilon 2} \varepsilon)$$

Panorama des modèles existants



Exemples de modèles CFD

Liste de modèles

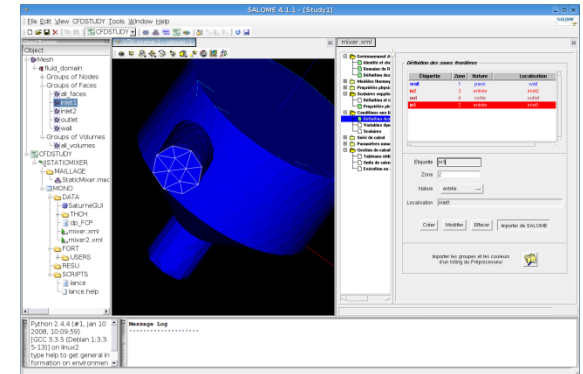
- Fluent
- CFX
- StarCD
- Phoenics
- Code_Saturne (www.code-saturne.org)
- OpenFoam (www.openfoam.org)
- etc...

Code_Saturne

Open-source general purpose CFD software

► Physical modelling

- Laminar and turbulent flows: $k-\varepsilon$, $k-\omega$, SST, $v2f$, RSM, LES
- Radiative transfer (DOM, P-1)
- Coal, heavy-fuel and gas **combustion**
- Electric arcs and **Joule** effect
- Lagrangian module for particles tracking
- Atmospheric modelling
- ALE method for deformable meshes
- Rotor / stator interaction for pumps modelling
- Conjugate heat transfer (SYRTHES & 1D)
- Common structure with NEPTUNE_CFD for Eulerian multiphase flows (DNB, LOCA, ...) – not open-source



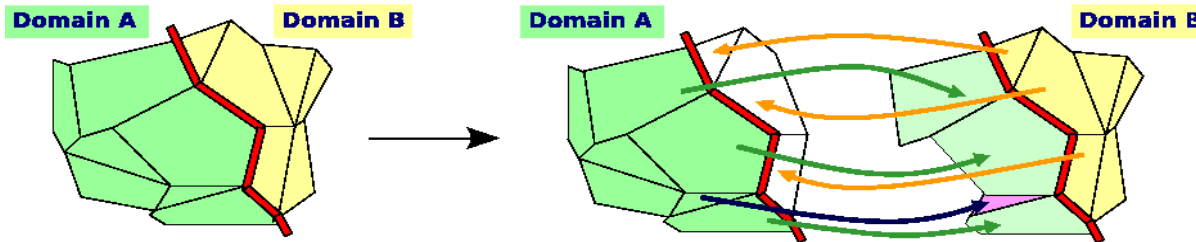
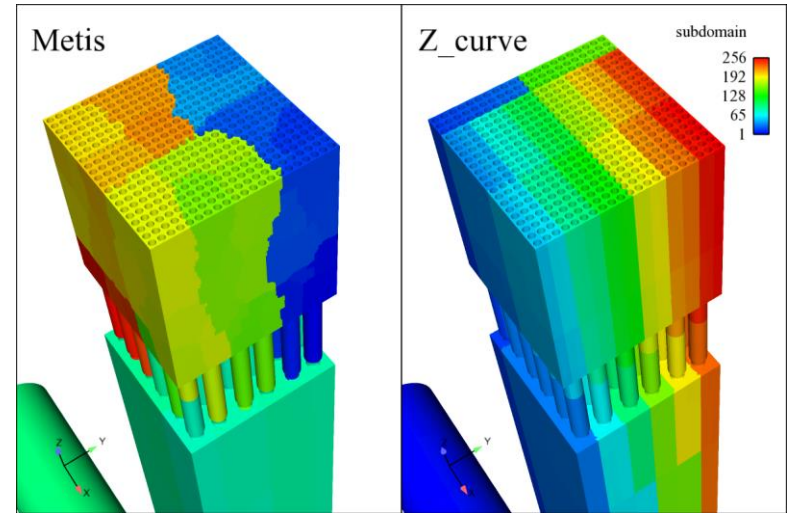
► Flexibility

- Portability (Unix, Linux, MacOS X and Windows)
- Graphical User Interface with possible integration within the SALOME platform
- Parallel software on distributed-memory computers – periodic boundaries with arbitrary interfaces
- Large range of unstructured meshes with arbitrary interfaces
- Code coupling capabilities (Code_Saturne / Code_Saturne, Code_Saturne /Code_Aster, ...)
- Mesh generators (IDEAS, Simail, SALOME, STAR-CCM+, GMSH, GAMBIT, ...)

Parallelism and periodicity

► Classical « domain partitioning » using MPI

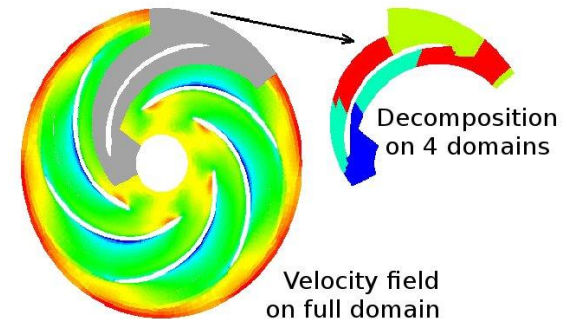
- Partitioning using METIS, SCOTCH or internal Morton space-filling curve
- Classical « ghost cell » method for both parallelism and periodicity
 - Most operations require only ghost cells sharing faces
 - Extended neighborhoods for gradients also require ghost cells sharing vertices



- Input output is partition independant

► Periodicity uses same mechanism

- True geometric periodicity (not a BC)
- Vector and tensor rotation may be required (semi-explicit component coupling in rotation)

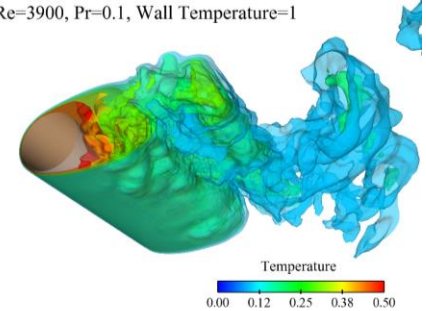


High Performance Computing with *Code_Saturne*

▶ *Code_Saturne* used extensively on HPC machines

- In-house EDF clusters
 - CCRT calculation centre (CEA based)
 - IBM Blue Gene (EDF BG/P with 32 000 cores, FZJ JuGene)
 - HECToR (EPCC)
 - Tests run by STFC Daresbury up to 1.96 billion cells
- ➔ Intensive work on parallel optimisation

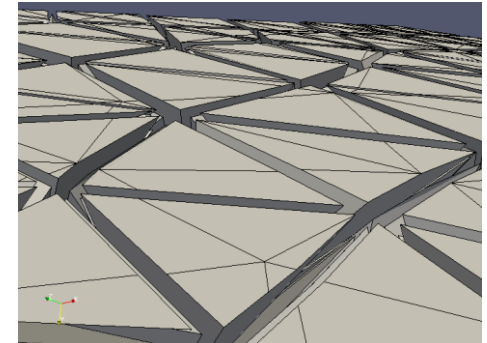
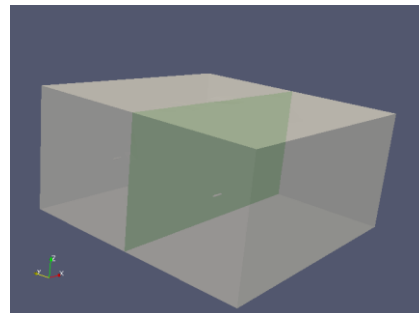
DNS Re=3900, Pr=0.1, Wall Temperature=1



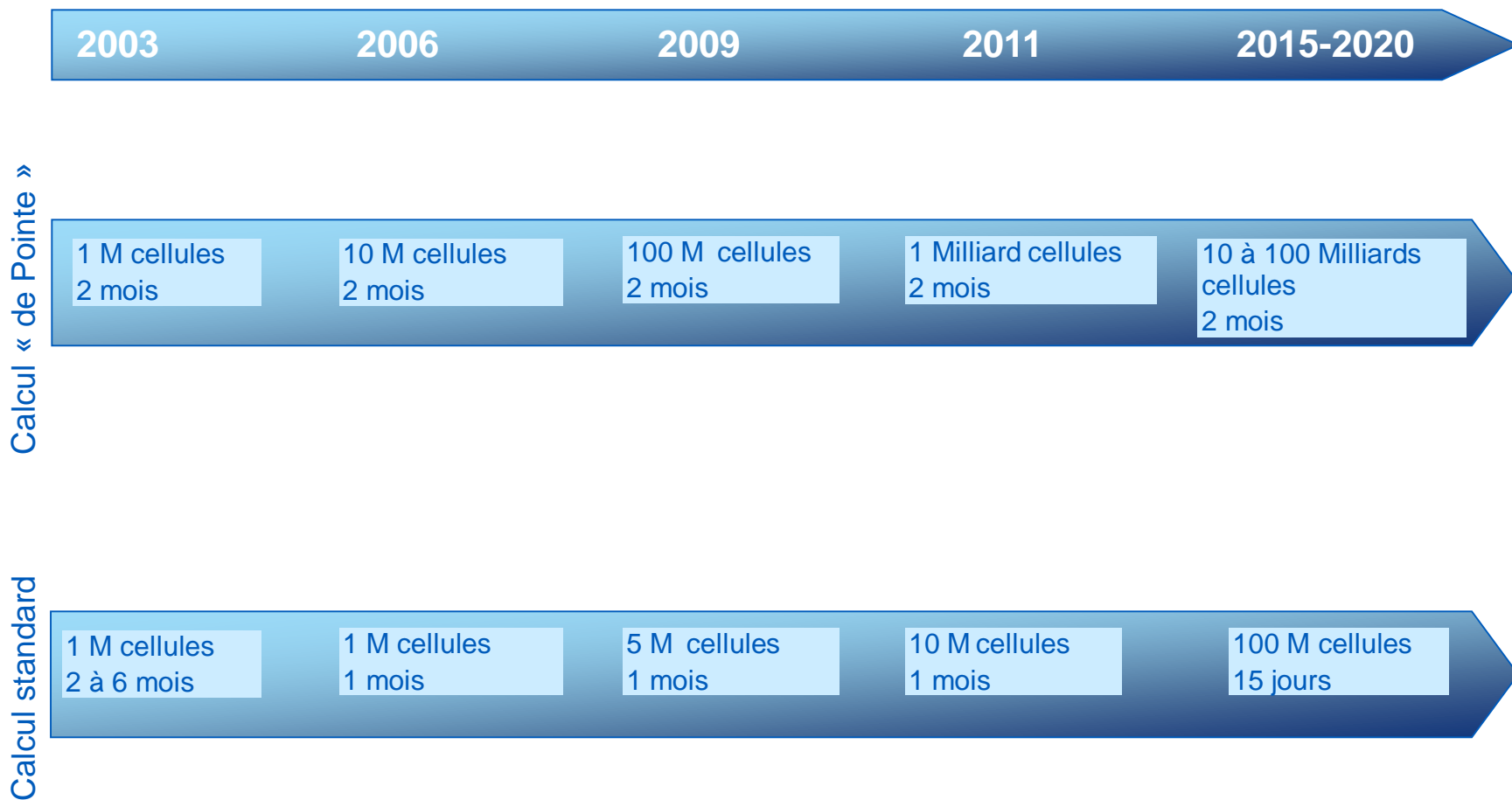
DNS HPC with *Code_Saturne*

▶ *Code_Saturne* used as a reference software in PRACE European project

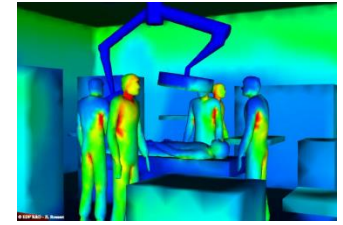
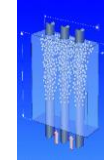
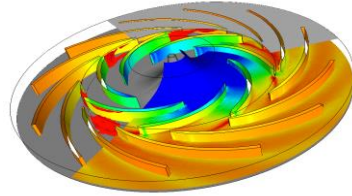
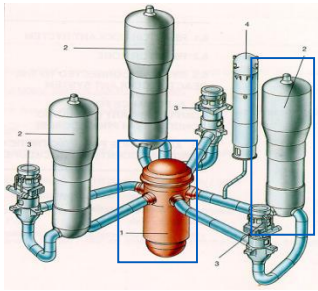
- Reference code for CFD benchmarks on 6 large European HPC centres



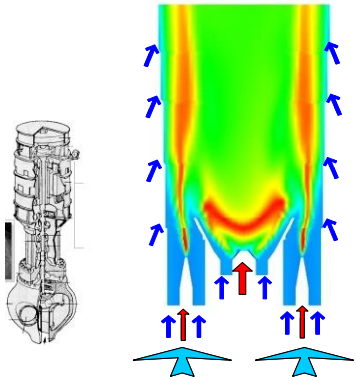
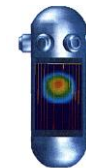
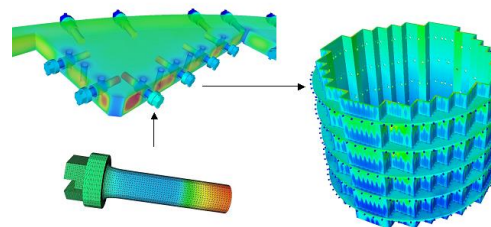
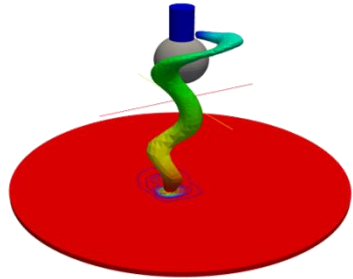
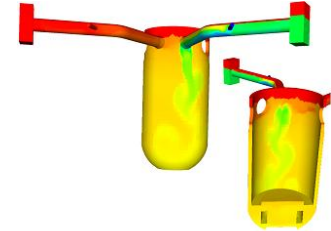
High Performance Computing



QUESTIONS ?
PAUSE !



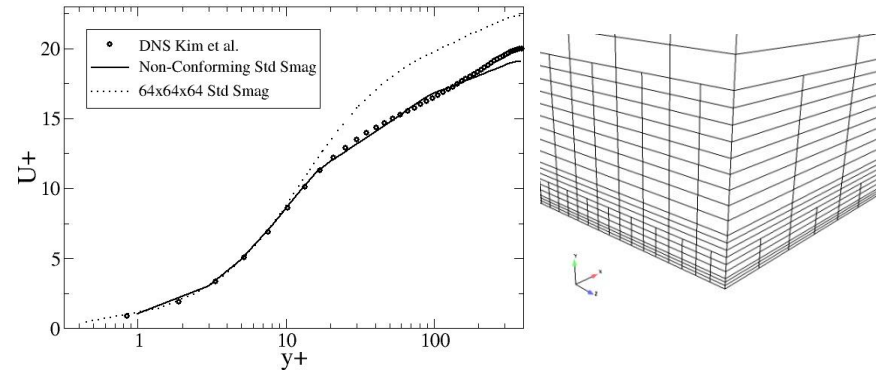
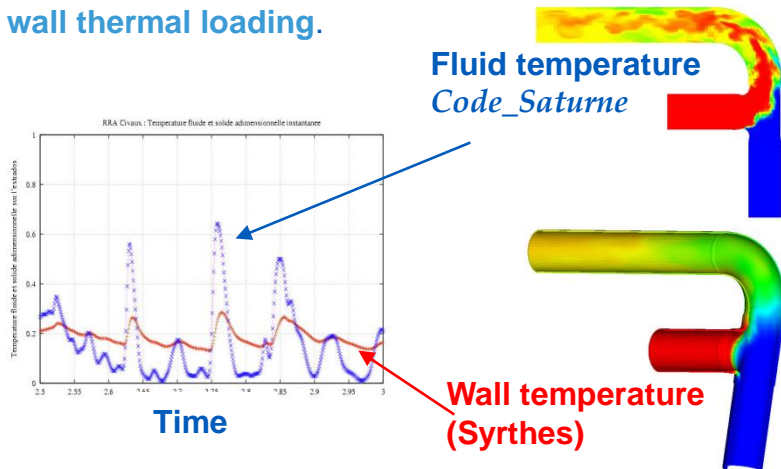
Exemples d'applications avec Code_Saturne



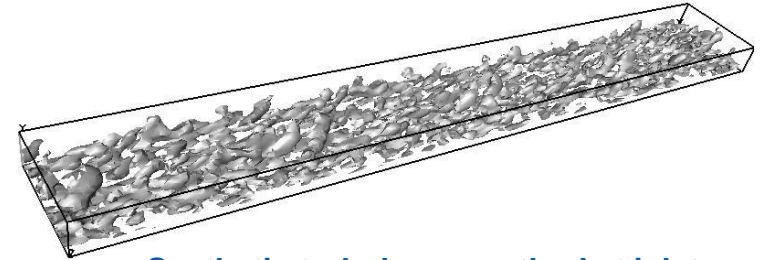
Large Eddy Simulation (unsteady turbulence modelling)

Application example: thermal fatigue

Contrary to classical RANS approaches, **Large Eddy Simulation** allows to represent the **large structures of the flow**, and, by **thermal coupling** with the structure, to determine the **wall thermal loading**.



Wall refinement with hanging nodes



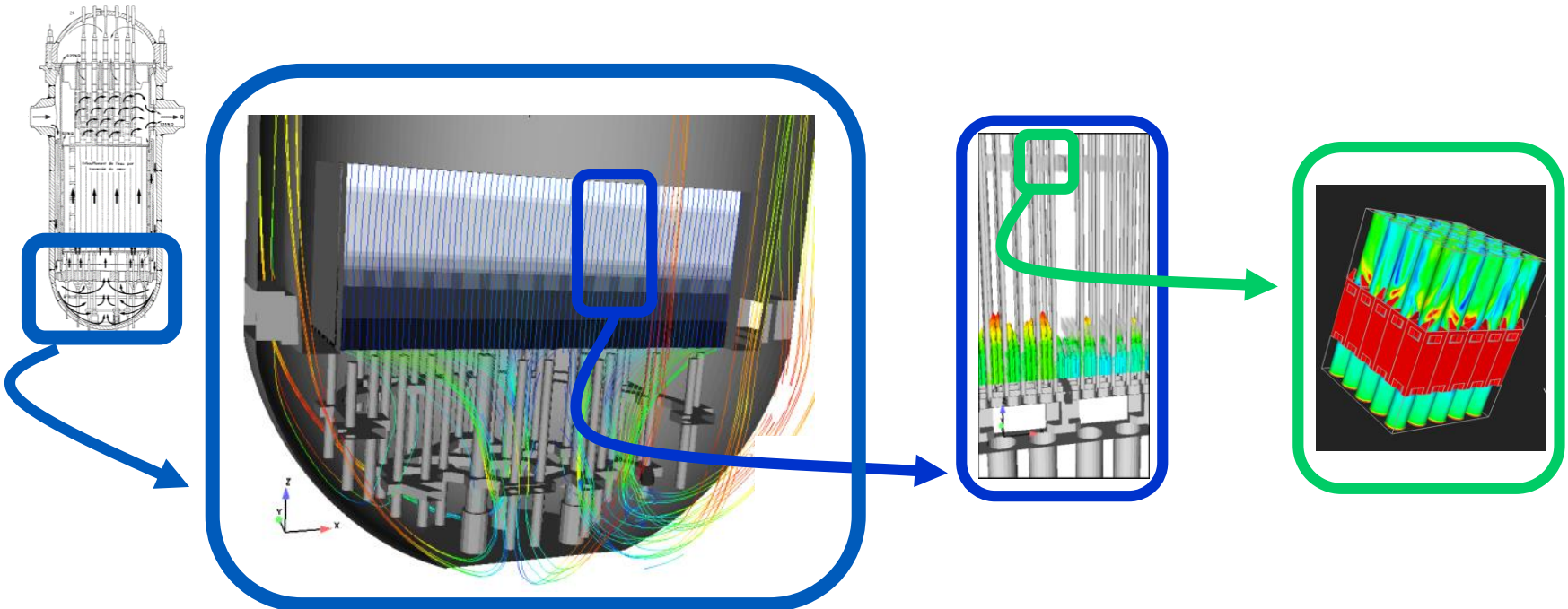
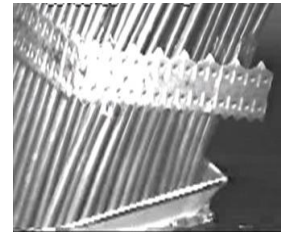
- Dynamic model (with filter requiring no homogeneous direction)
- Wall treatment: refinement with hanging nodes or wall functions
- Synthetic turbulence (for inlet and coupling with RANS)

Fuel Assembly Vibration and Deformation

► Expertise of manufacturer solutions

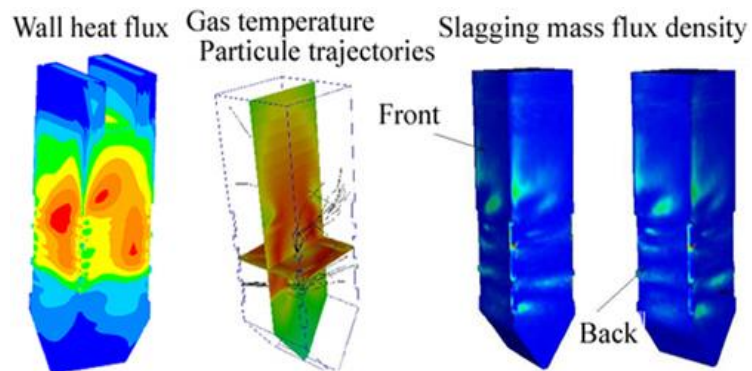
► Effect of hydraulic loads on:

- Progressively local approach from the vessel to the mixing grid
- Validation on experimental data at each stage

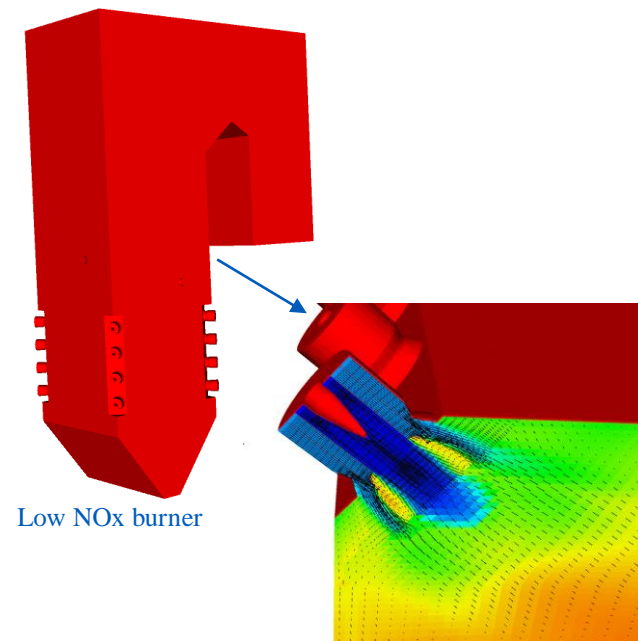


Pulverized Coal Furnace Slagging

► Pulverized Coal combustion

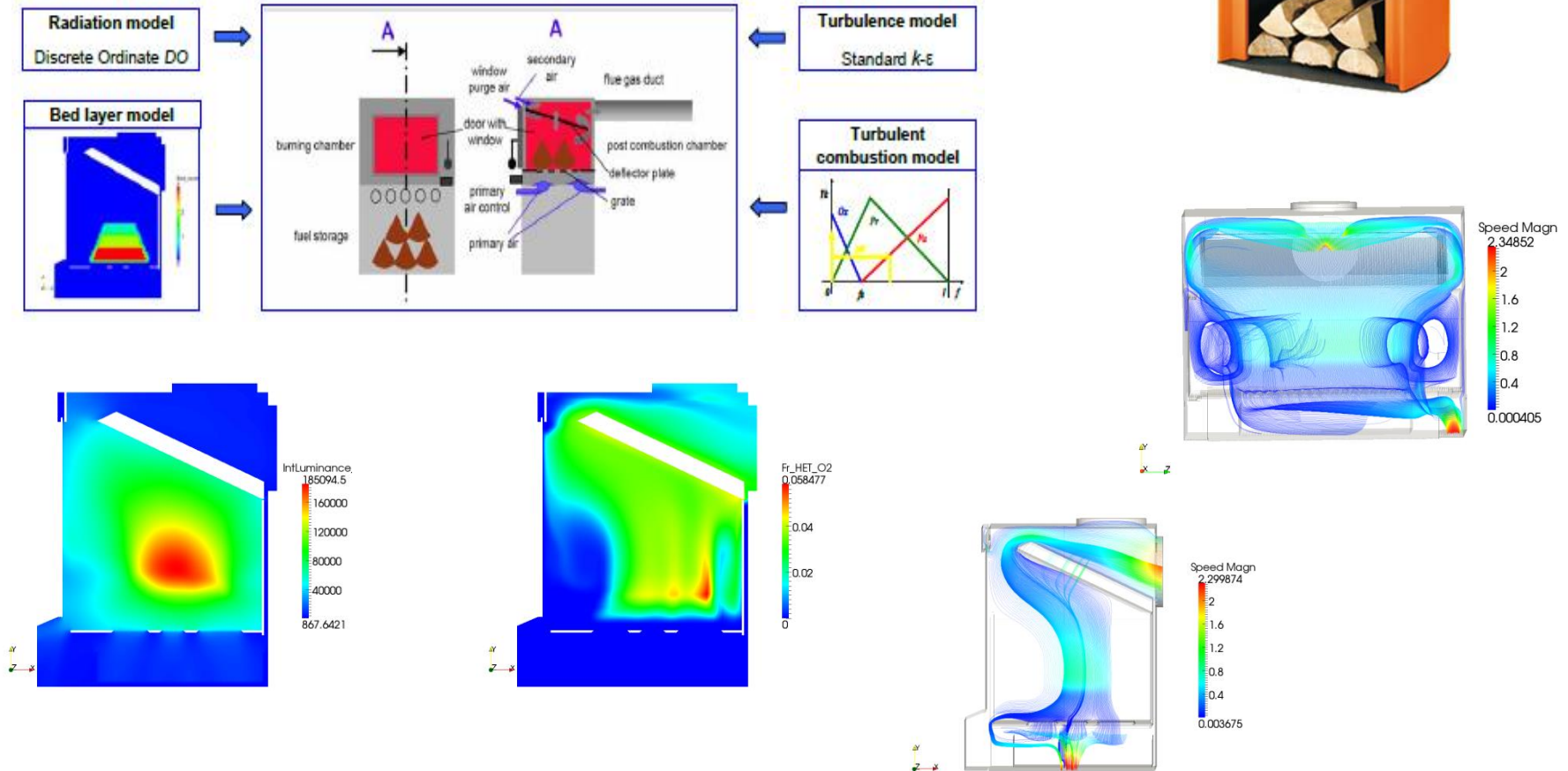


Ash deposit on shell plates and exchangers reduces the efficiency of Q600-type pulverized coal-fired boilers.



Wood combustion model for domestic stove

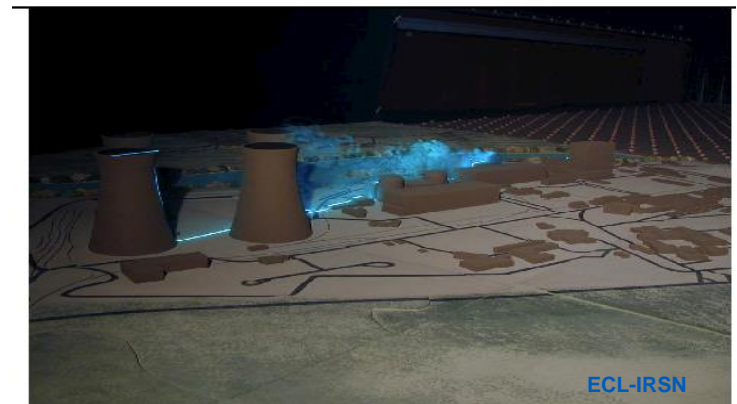
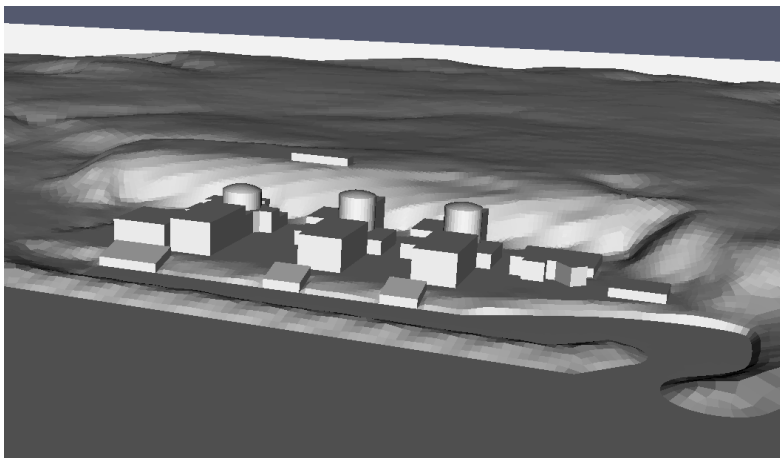
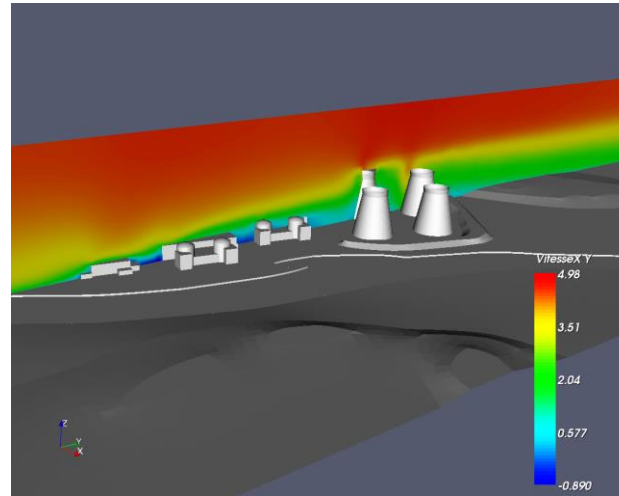
► Heavy fuel oil combustion



Atmospheric modelling

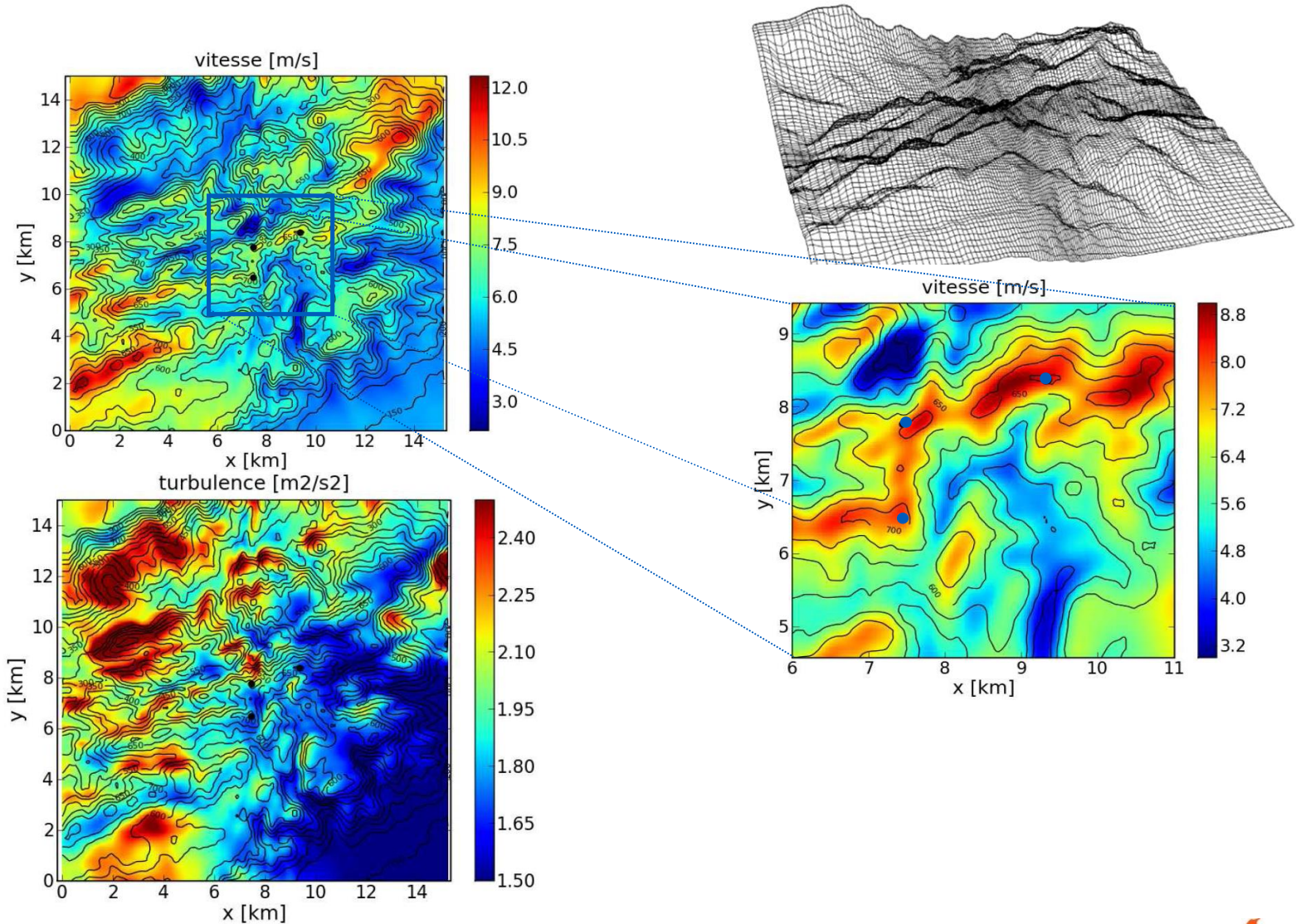
► Specified models

- Boundary conditions
- Atmospheric boundary layer
- Potential temperature

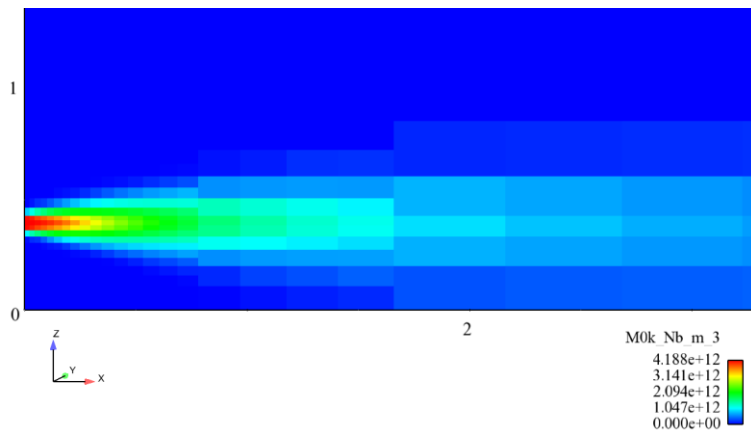
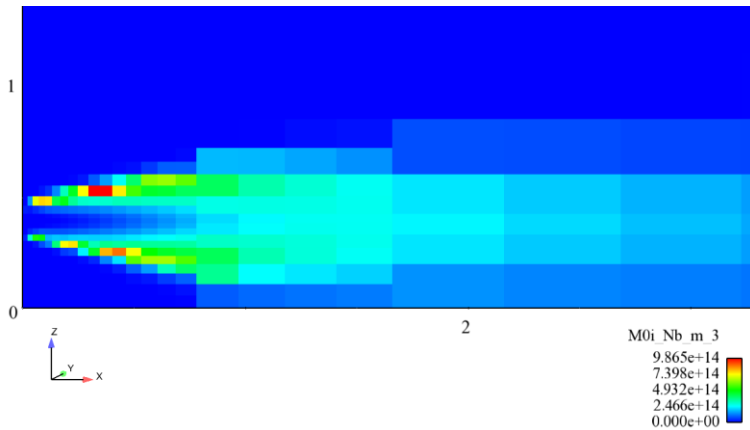
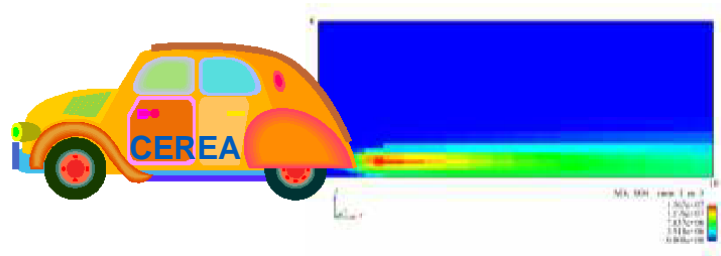


Atmospheric flows, plume emissions, pollutant dispersion

Wind potential estimates



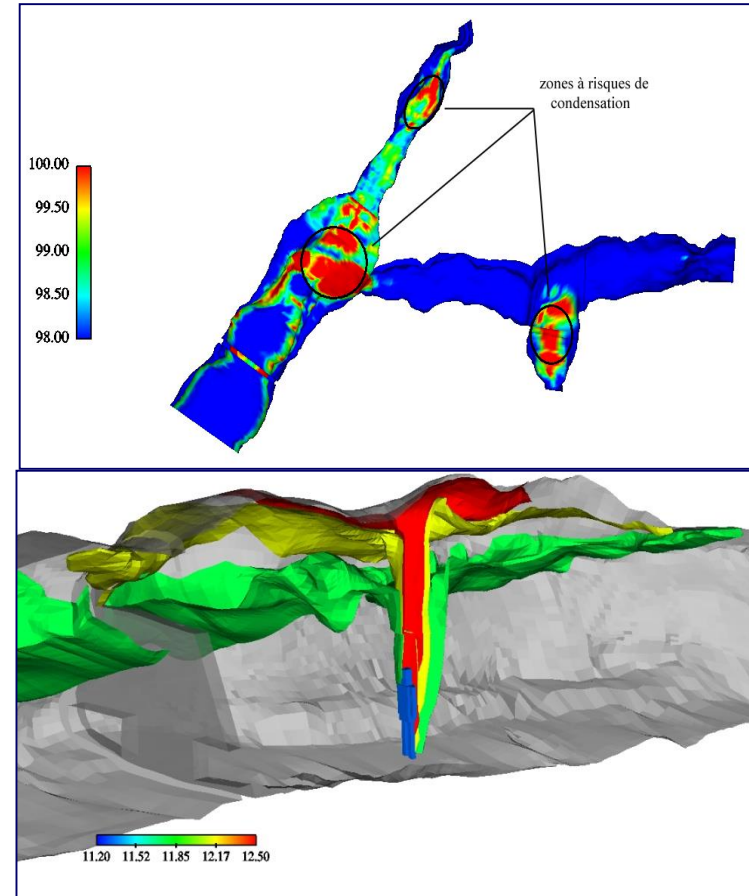
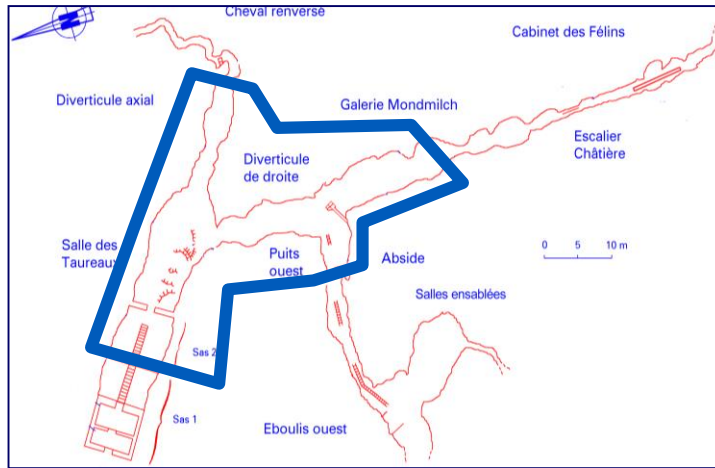
Nano particle formation due to road traffic emissions



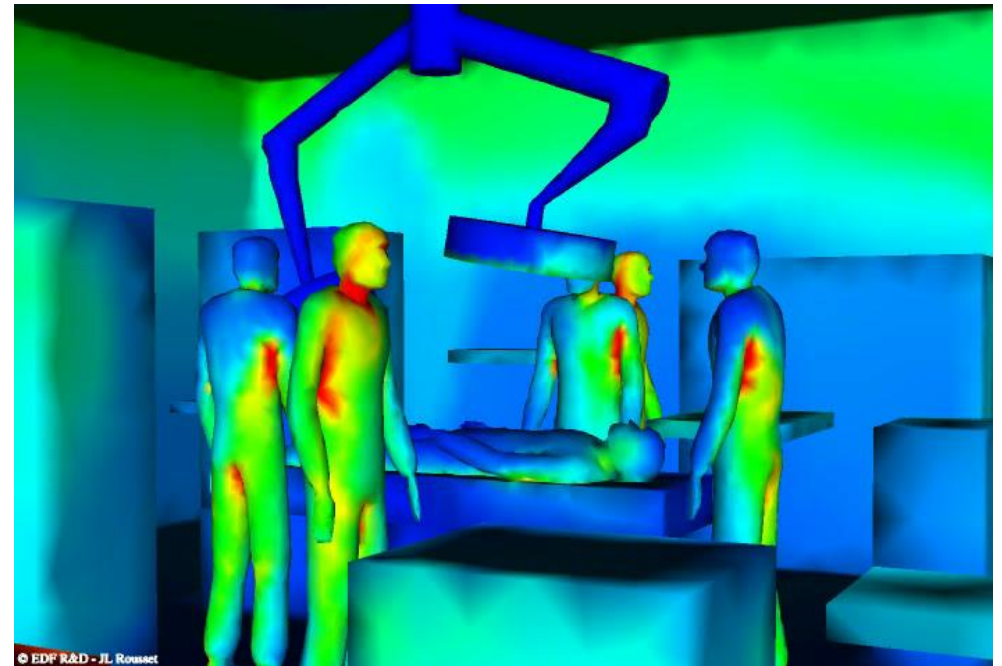
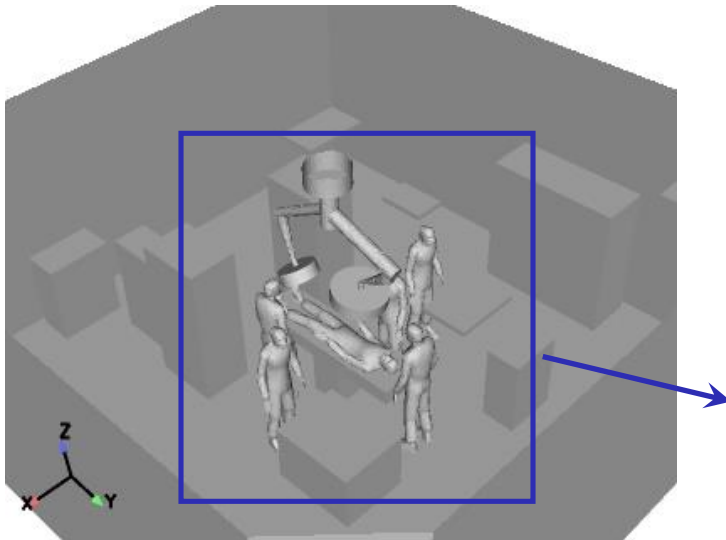
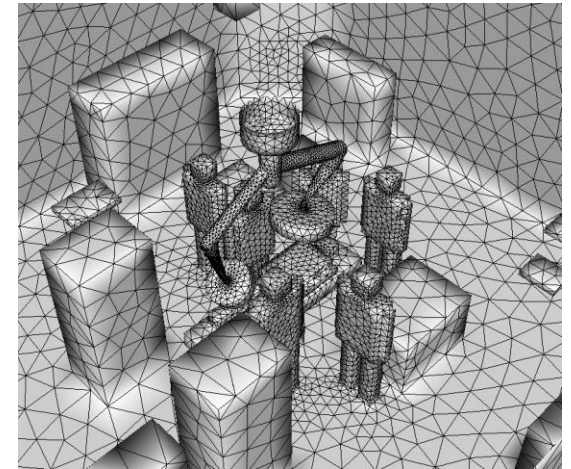
Preservation of the Lascaux cave

Aeraulics, thermal and hydric transfers

Collaboration with French Ministry of Culture



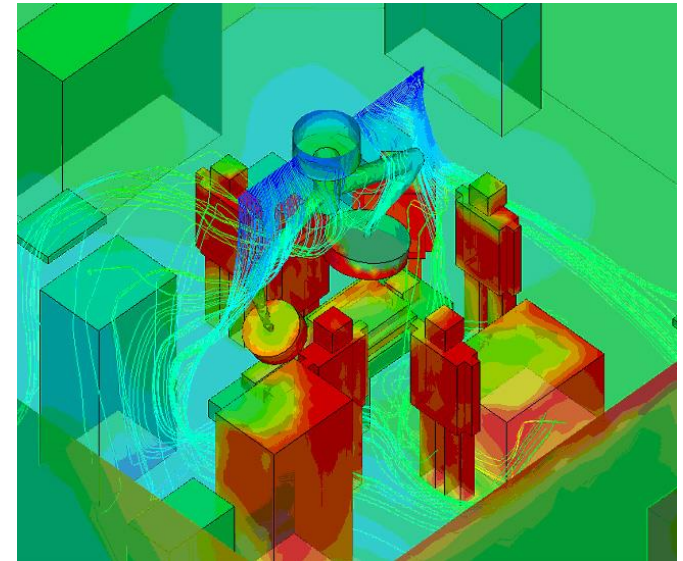
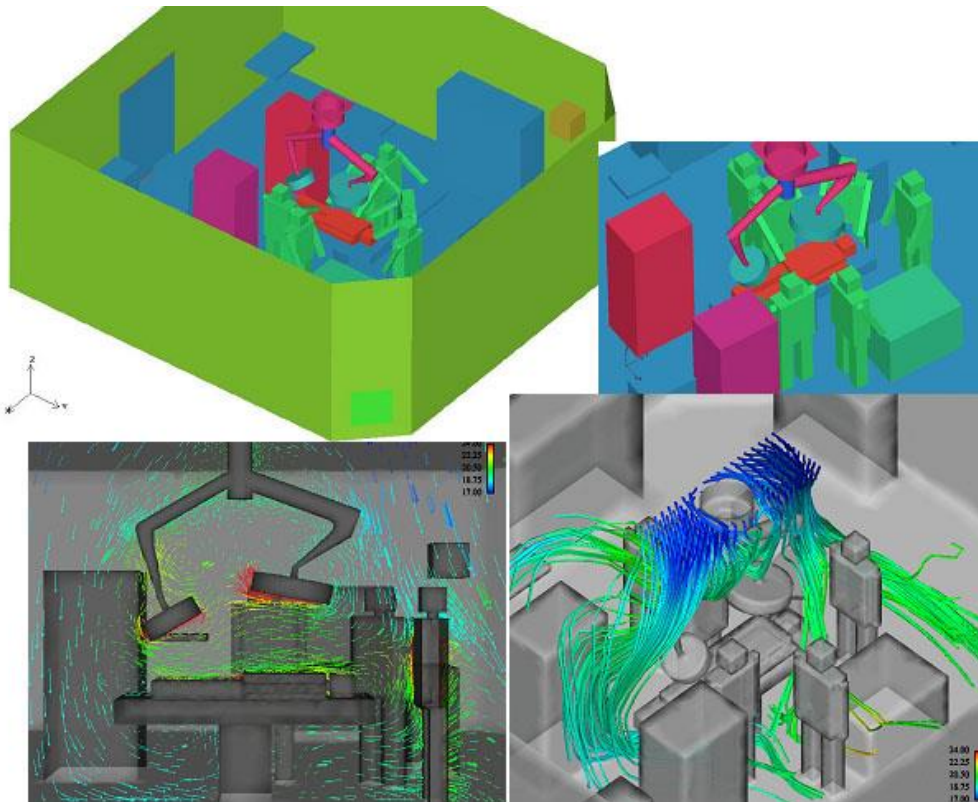
Air quality in operating theaters



Examples of exotic applications with Code_Saturne: Aeraulics – Health and Safety

Mixed convection in complex geometries

- Radiative heat transfer, mixed convection
- Pollutant advection
- Doors and air conditioning effects

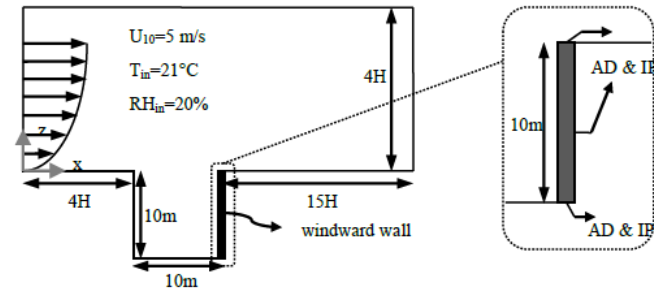


Autres applications autour du bâti

Influence d'une paroi végétalisée



Credit : Atelier International du Grand Paris



(Saneinejad, et al. 2011)

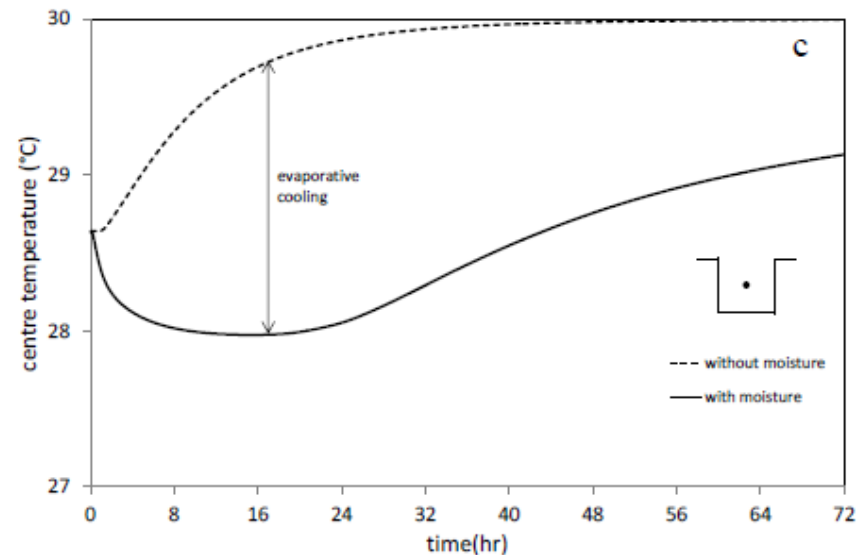
Evolution de la température au centre de la rue avec et sans végétation :



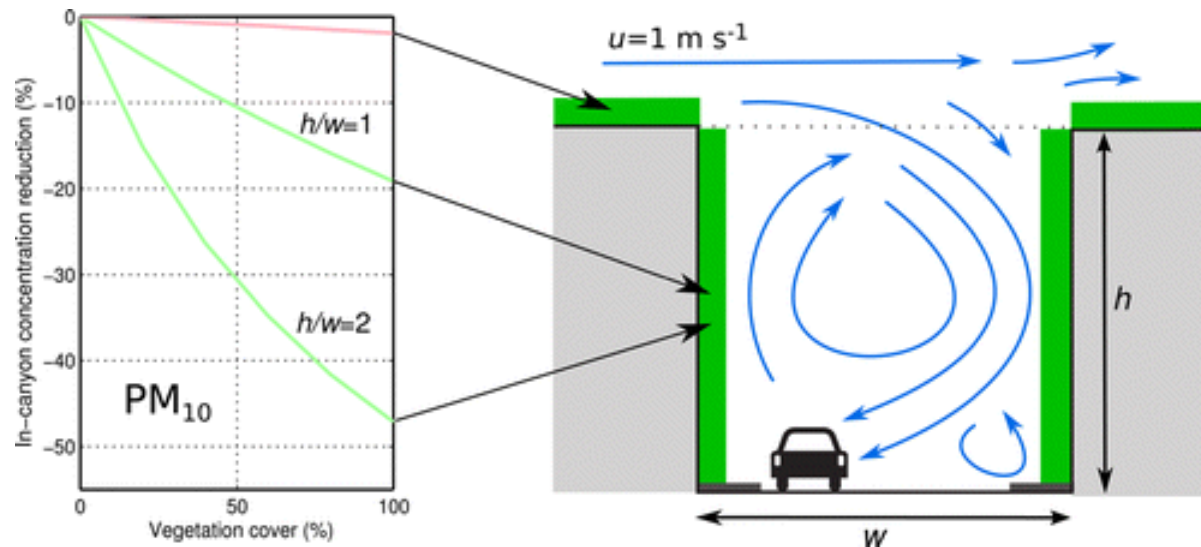
Les toits comme vecteurs de la nature en ville

Le réaménagement des toits permettrait de créer de nouveaux espaces de détente mais également d'apporter la nature en ville. Végétalisé les toits est par ailleurs un moyen efficace d'isolation pour une meilleure performance énergétique.

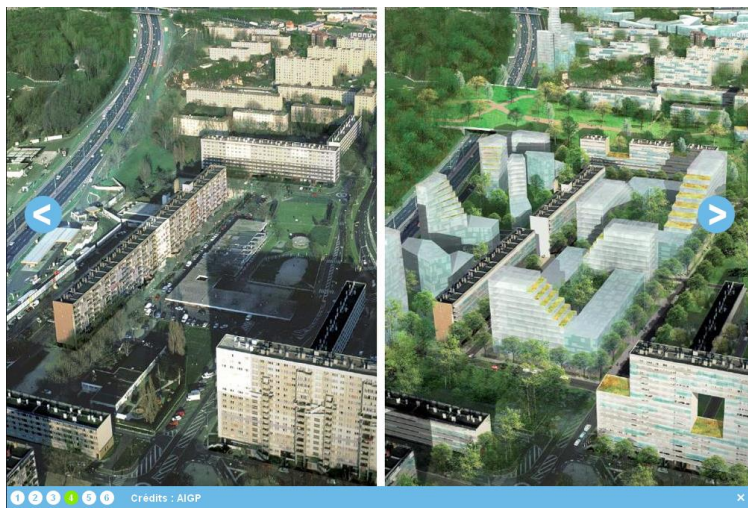
DOCUMENT PRÉSENTÉ PAR L'ÉQUIPE RICHARD ROGERS / ROGERS STIRH HARBOUR + PARTNERS, LES, ARUP



Effect of green walls in an urban canyon on pollution by particles (PM_{10} , Pugh et al. 2012)

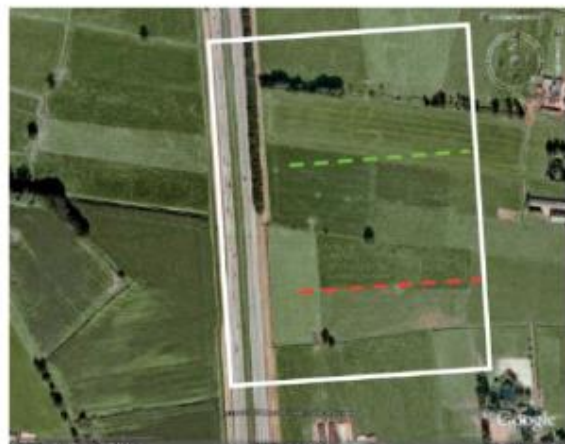


Influence des arbres



➤ Effets barrière + dépôts

➤ Emissions biogéniques



Différences de pollution avec et sans les arbres

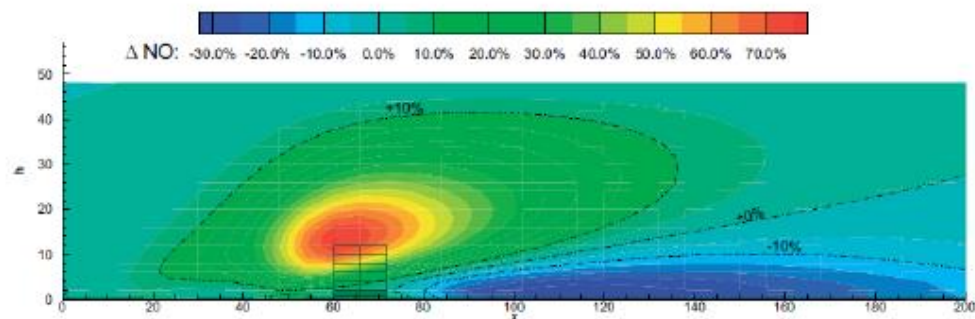


Figure 1: Left: Measurement location in Vaassen, 2006. Dashed lines indicate the line along which the measurements were taken (green: with vegetation, red: reference line). The white box indicates the model domain for the simulations. (Source: Google Earth). Right: Mean relative difference in NO concentrations with and without a vegetation barrier (from De Maerschalc et al., 2009).

Morphologie des quartiers

► Modifier un square pour le confort (vents forts)

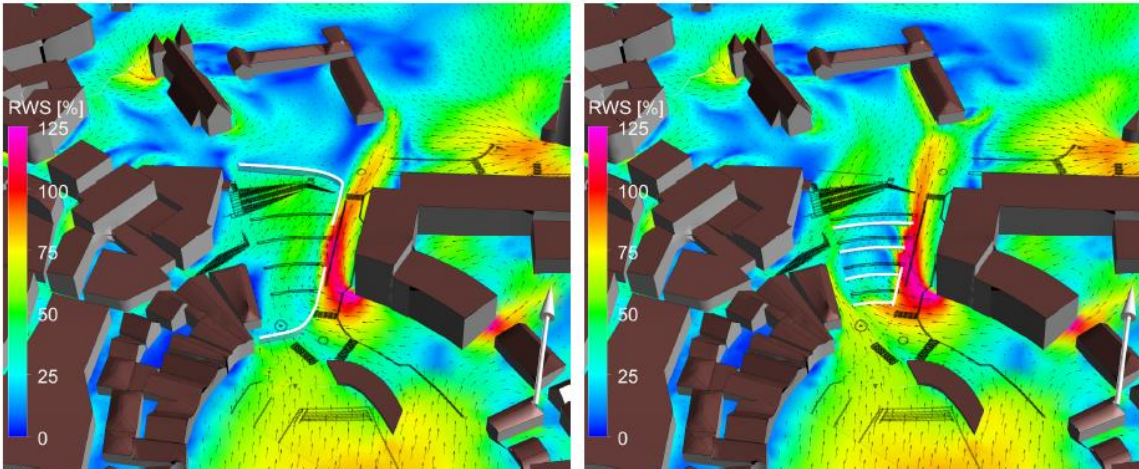


Figure 6. Wind shielding concepts, respectively, 5 m height around the square (left) and 3 meter height "distributed".

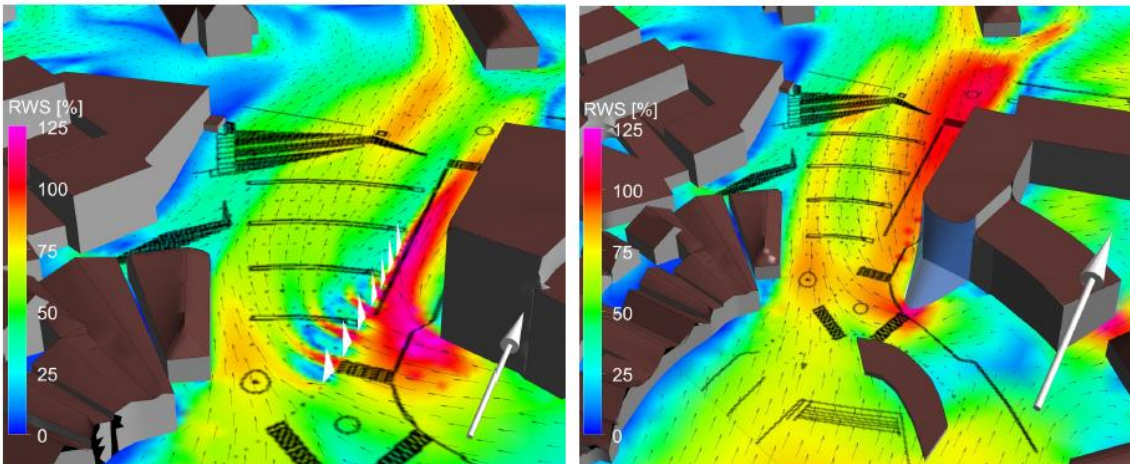


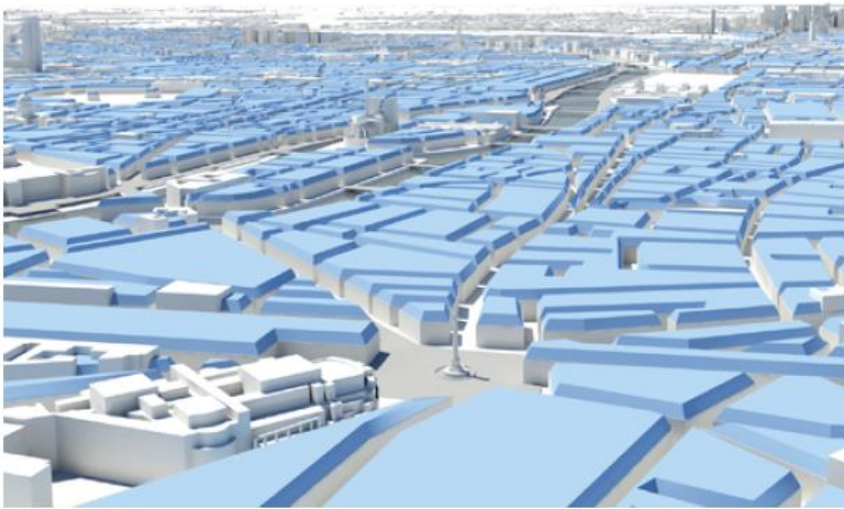
Figure 7. New ideas: distributed row of "sails" (left) and a new façade construction.

- Différentes options de pare vent
- Modification de façades

(Venas & Borresen, 2010)

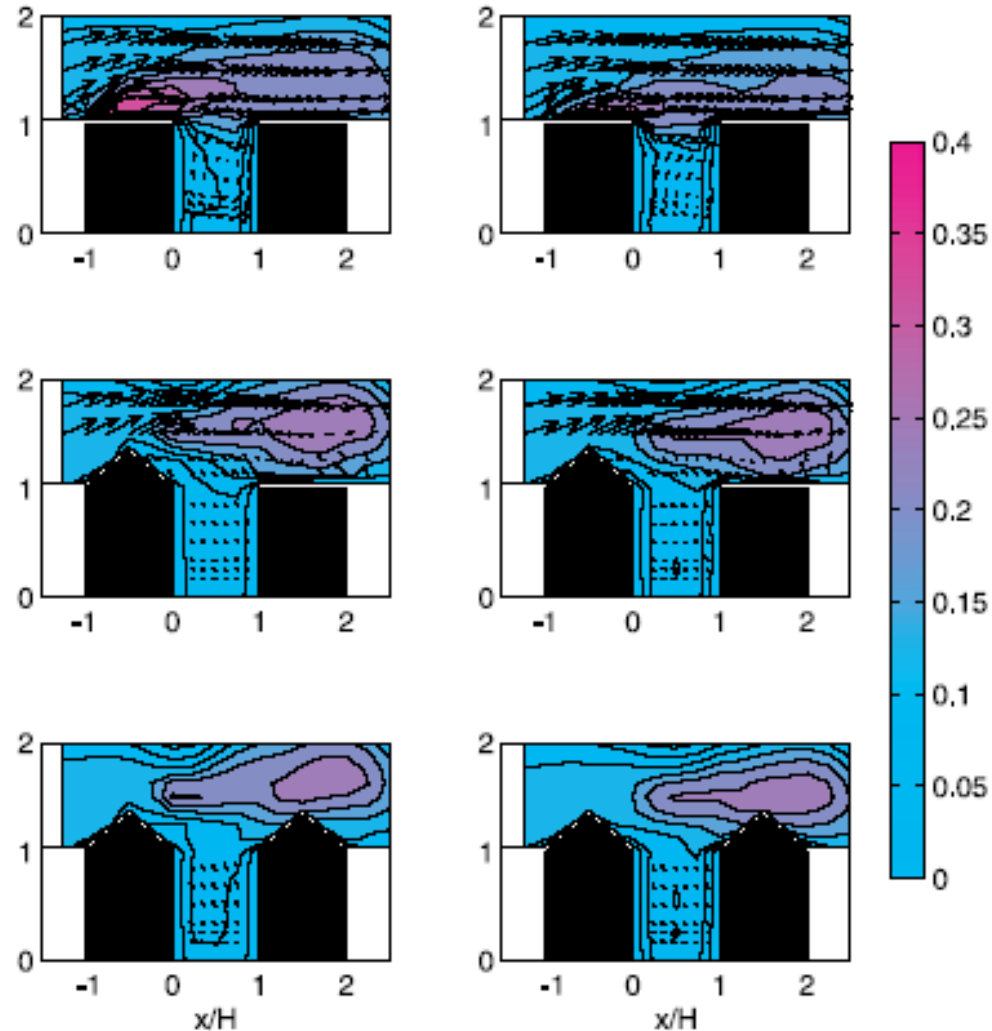
Morphologie des bâtiments

► Influence de la forme des toits



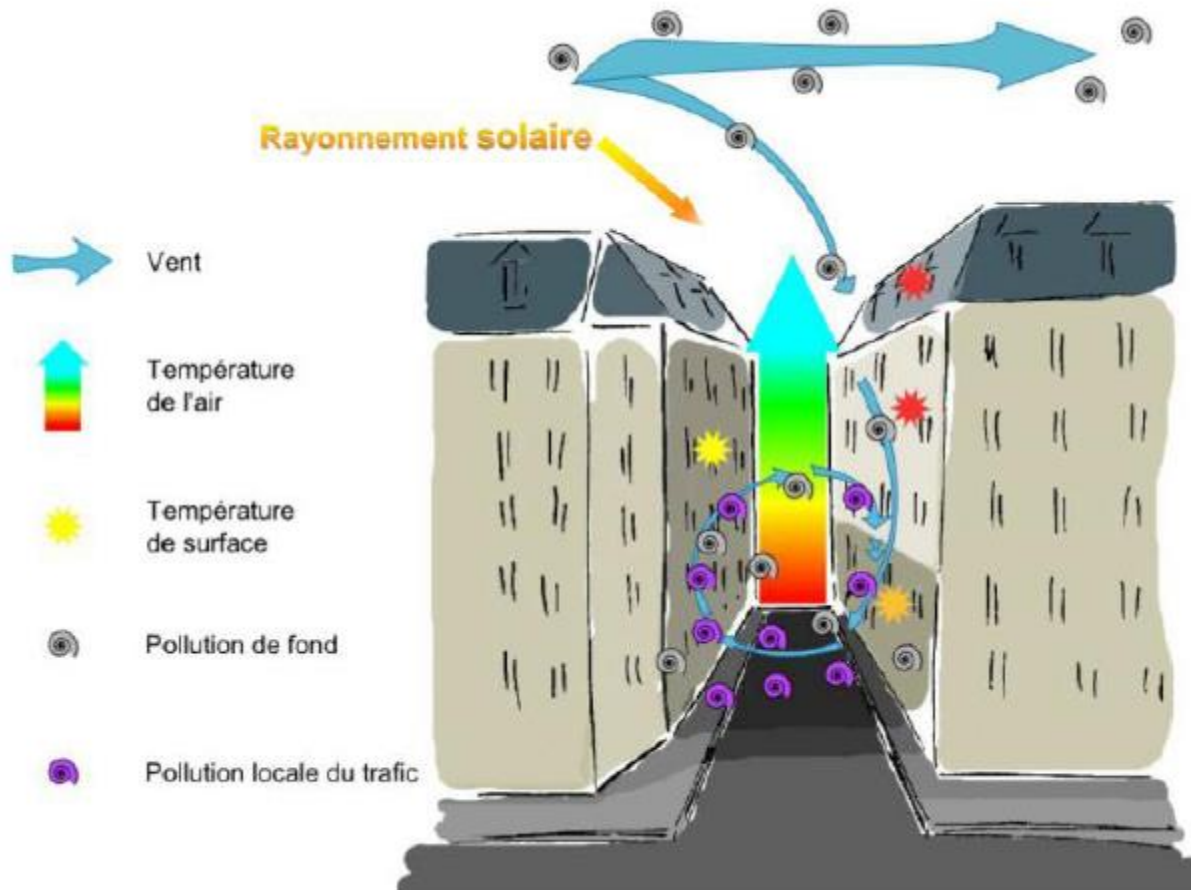
Principe d'extension sur les toits de Paris

DOCUMENT PRÉSENTÉ PAR L'ÉQUIPE WINY MAAS / MVRDV



Kastner-Klein et al 2004

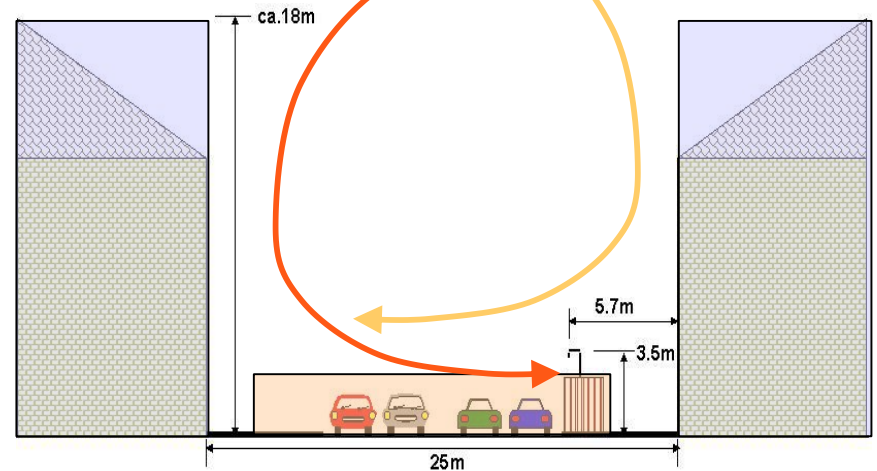
Pollution in a street canyon



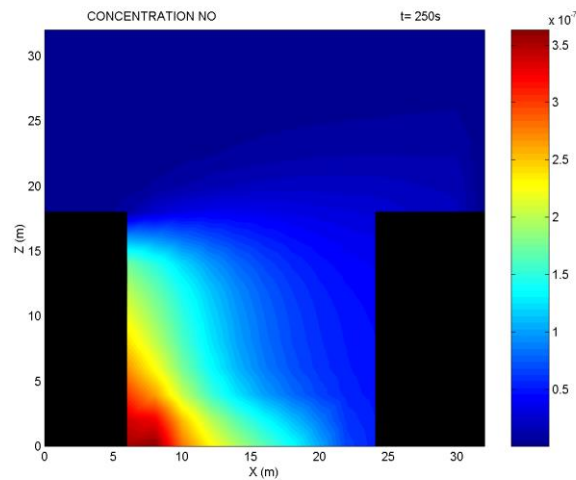
<http://www.iau-idf.fr/>

Trafic

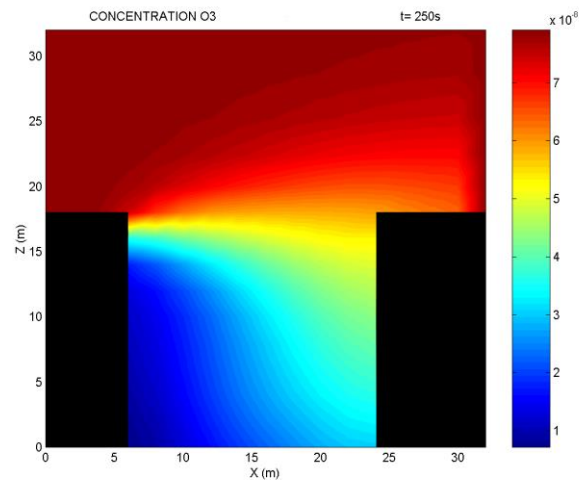
- ▶ Ventilation des rues
- ▶ Réactions chimiques



Oxyde d'Azote



Ozone



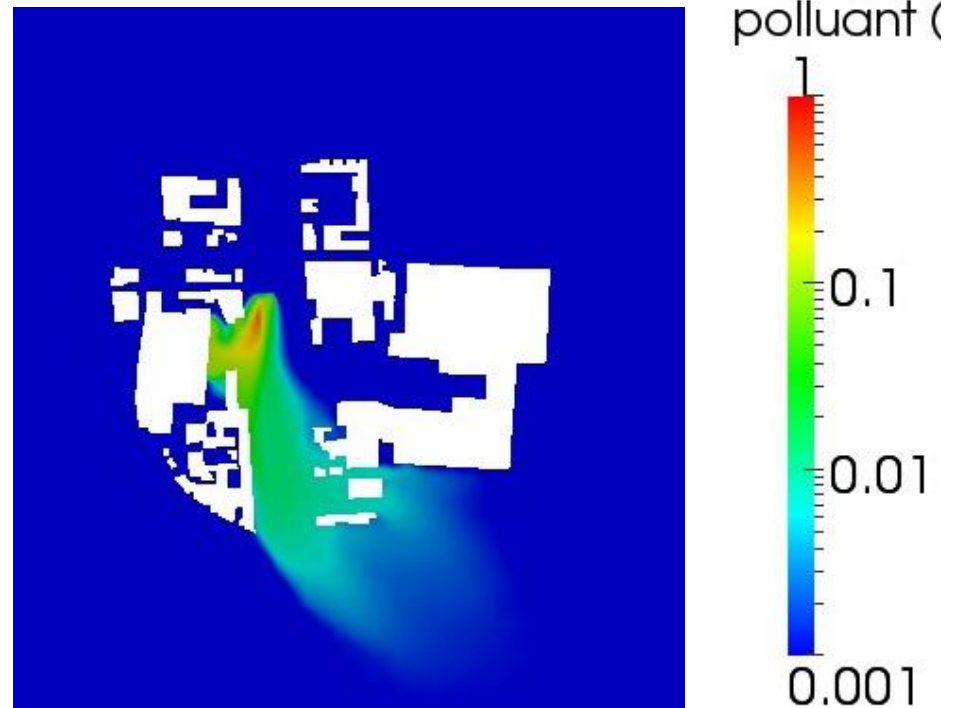
(Lacour et al. 2003)

Impacts des couvertures



Schéma de requalification de l'échangeur Masséna, Paris 13ème

DOCUMENTS PRÉSENTÉS PAR L'ÉQUIPE YVES LION / GROUPE DESCARTES



Couverture du Landy (A1) :
Thierry Kubwimana, CETU
Laëtitia Girault, CEEA

**Exemple de couplage d'un code CFD
avec un code de bâtiment
(campagne de mesure EM2PAU)**

Thèse Noëlie Daviau, CEREA

La campagne de mesures EM2PAU : présentation

Nantes, de mars à juin 2011

Documenter la circulation dans un canyon avec effets thermiques

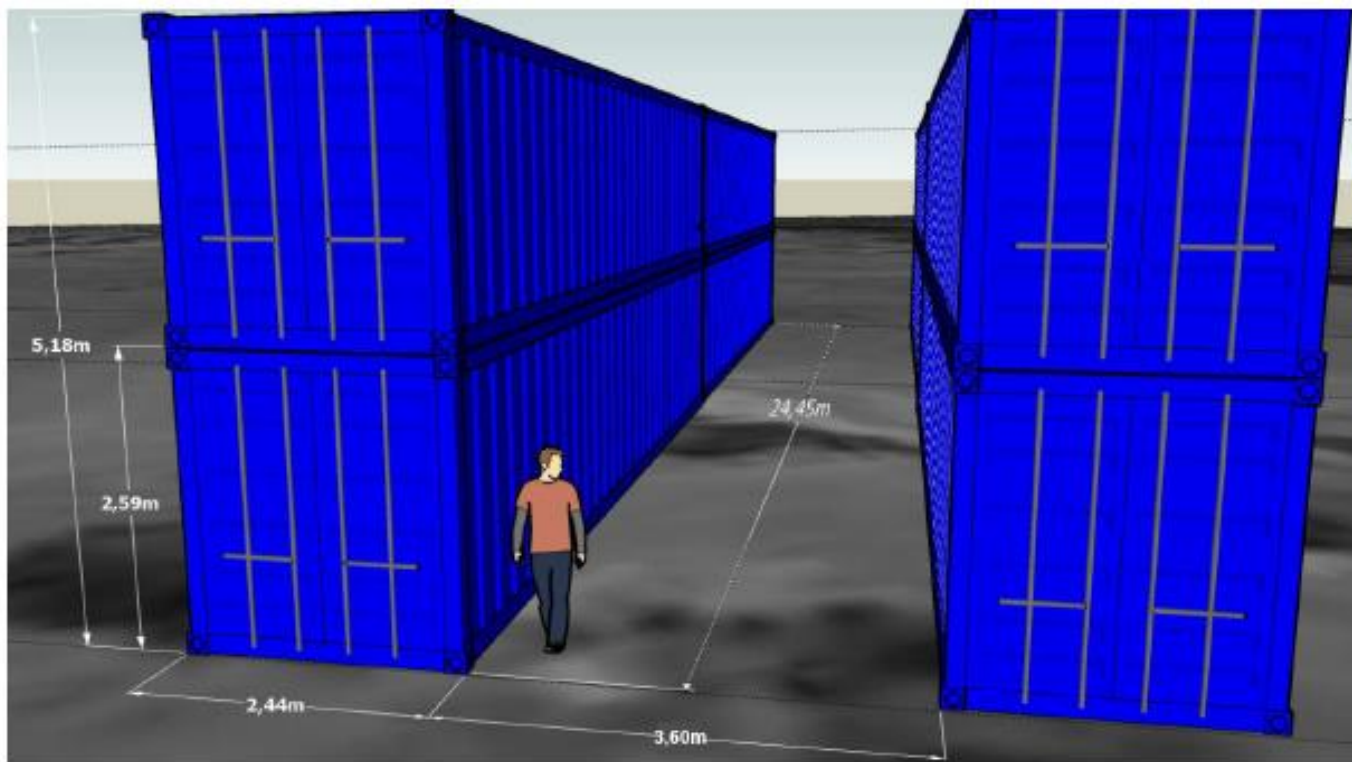
- IFSTTAR (Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux)
- LHEEA (Laboratoire de recherche en Hydrodynamique, Énergétique et Environnement Atmosphérique de l'École Centrale de Nantes)
- CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment)
- Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Maine



FIGURE: Vue aérienne du site de EM2PAU ;
Source : [Athamena(2012)]

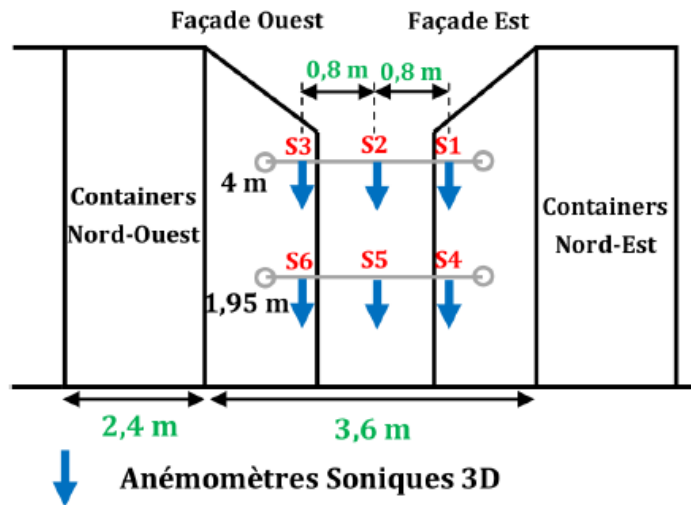
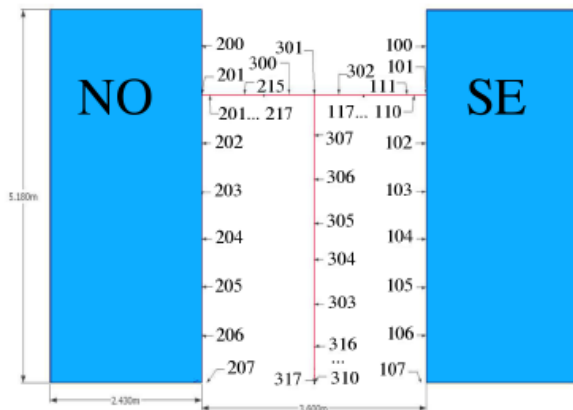


FIGURE: Radiomètre isolé ;
Source : [Athamena(2012)]



La campagne de mesures EM2PAU

- Nantes, de mars à juin 2011
- 2 blocs de 4 conteneurs pour simuler un canyon urbain
- Mesures de températures (parois, sol, air)
- Mesures de vent
- Mesures de rayonnement (direct, diffus, global)

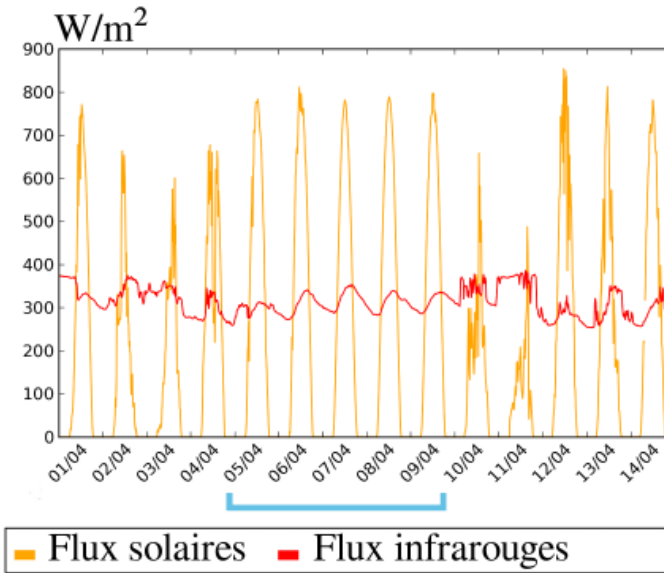
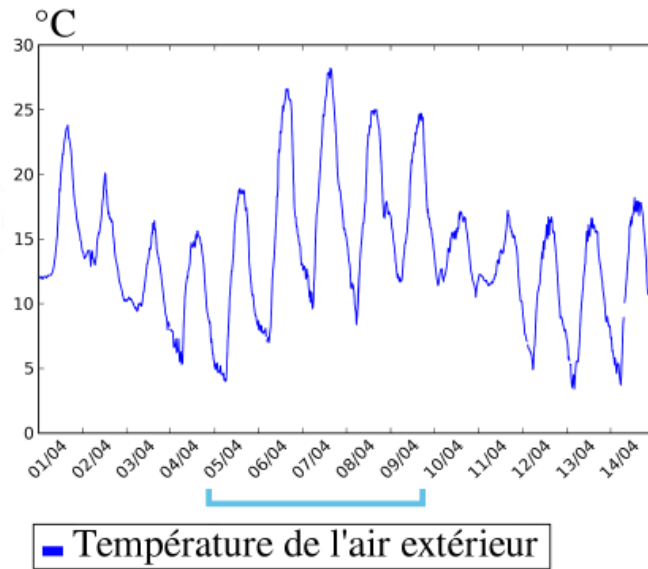


Mesures de températures dans le canyon.

Mesures de vent dans le canyon et à 10m d'altitude (Athamena (2012)).

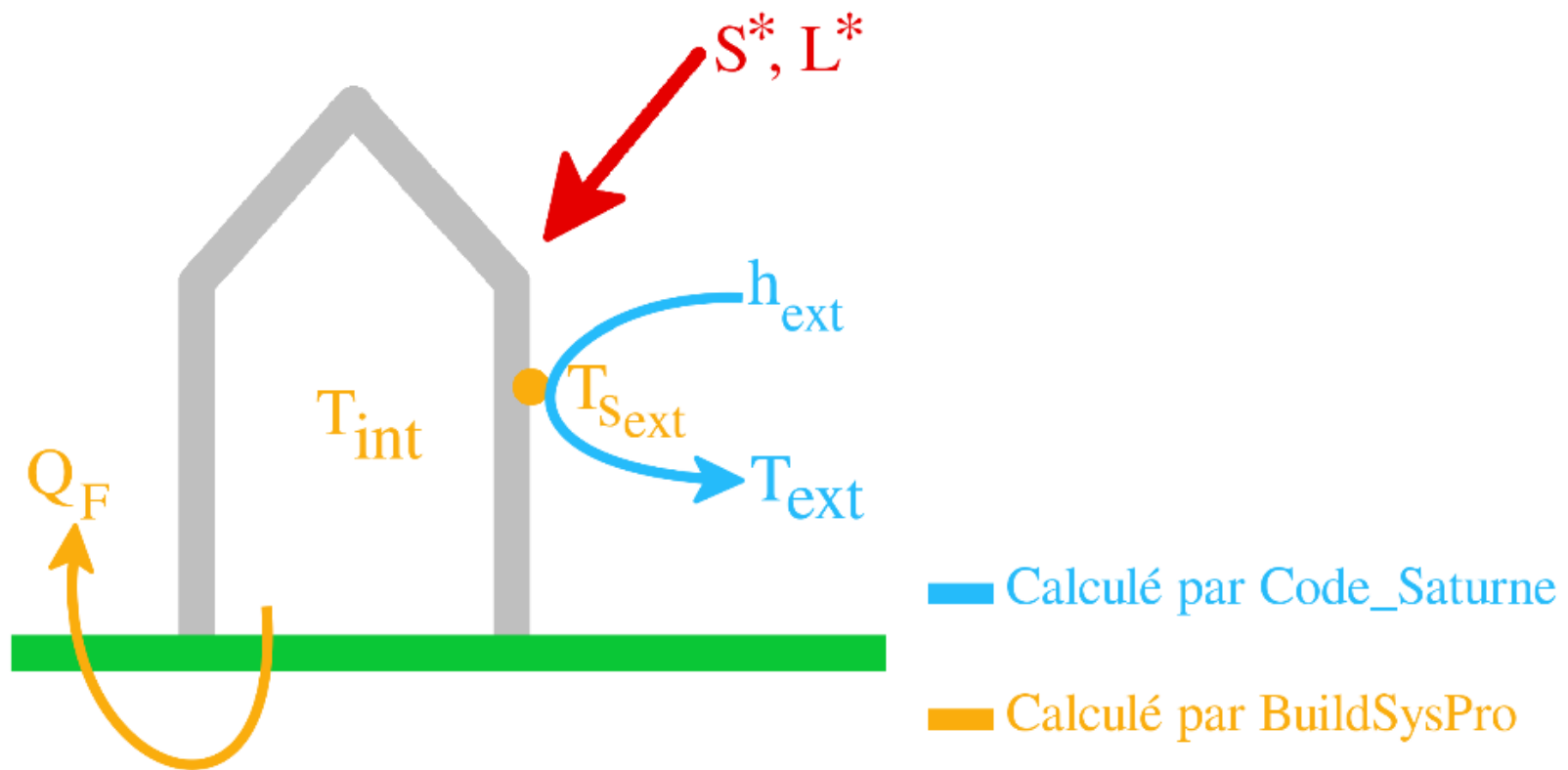
Analyse des mesures de EM2PAU

Choix de la période étudiée



Évolution de la température de l'air et des rayonnements solaires et infrarouges pendant la période d'observation.

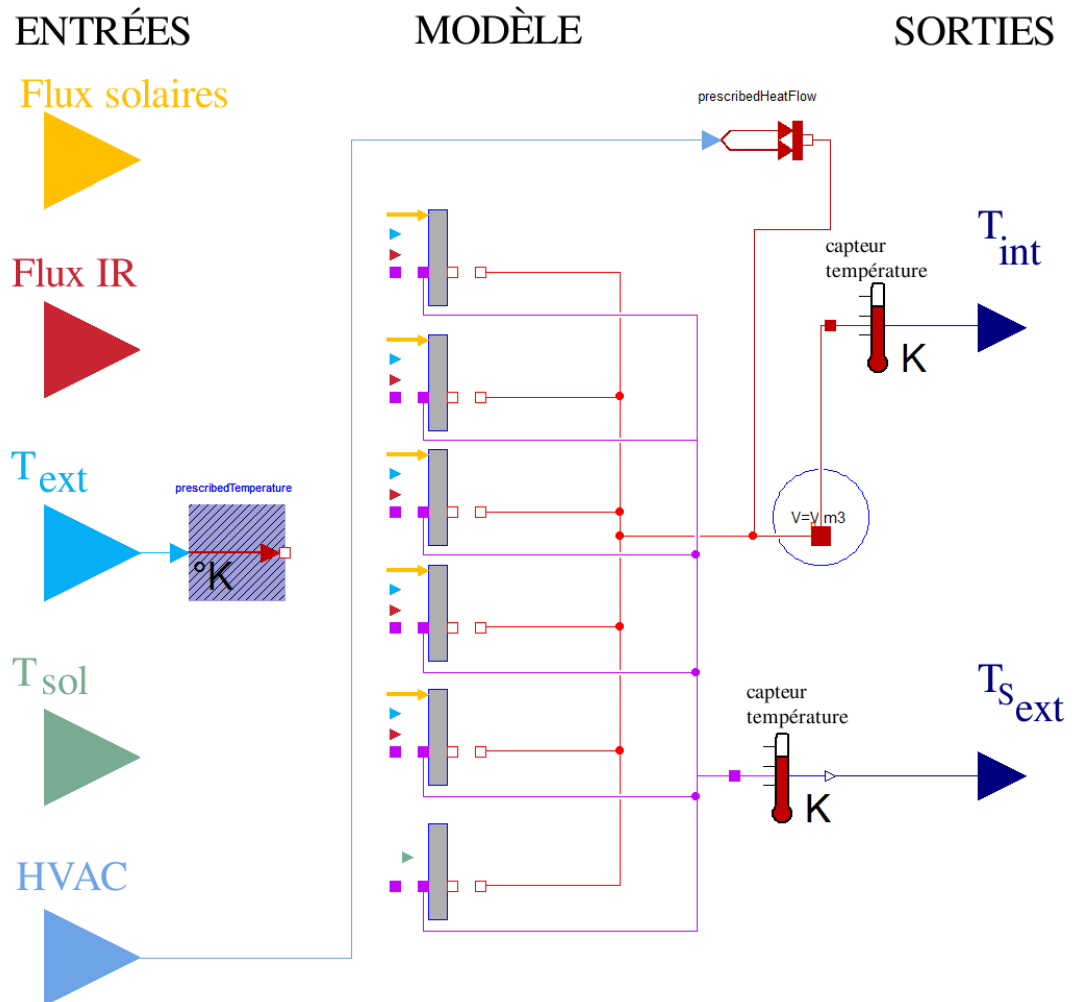
Objectifs du couplage de *Code_Saturne* avec un modèle de bâtiment



Données partagées par les logiciels pour le couplage.

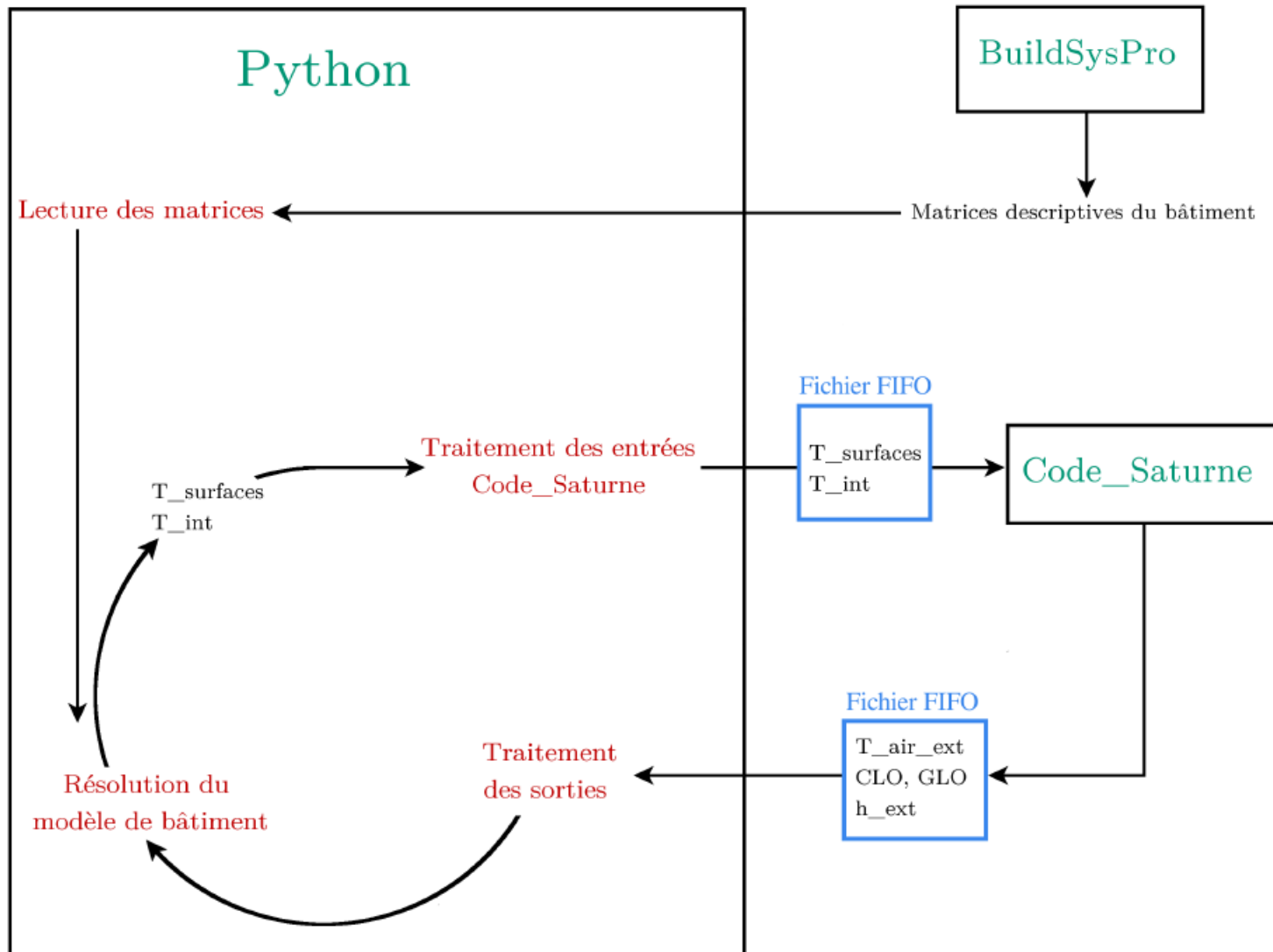
Un modèle de bâtiment à coupler avec Code_Saturne : BuildSysPro

- Logiciel développé par EnerBat de EDF
- Discrétisation des parois en plusieurs couches
- **Librairie permettant une modélisation 1D du bâtiment**



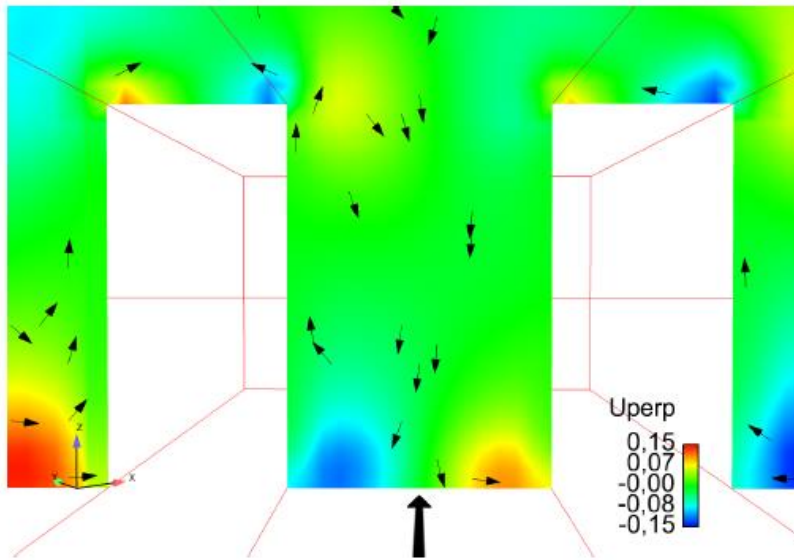
Modélisation d'un conteneur métallique sous BuildSysPro.

Couplage de Code_Saturne avec BuildSysPro

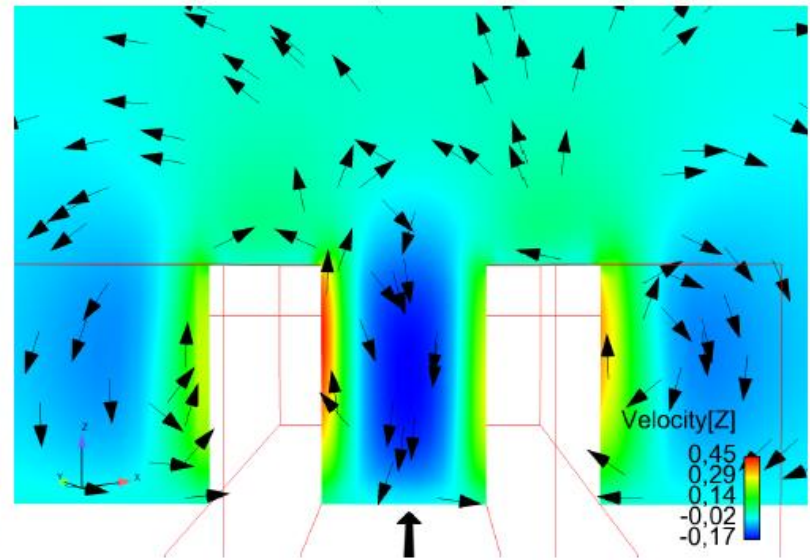


Influence des effets thermiques dans les simulations

- Recirculations dans le canyon **AVEC** effets thermiques.



(a) Champ coloré : vent perpendiculaire.

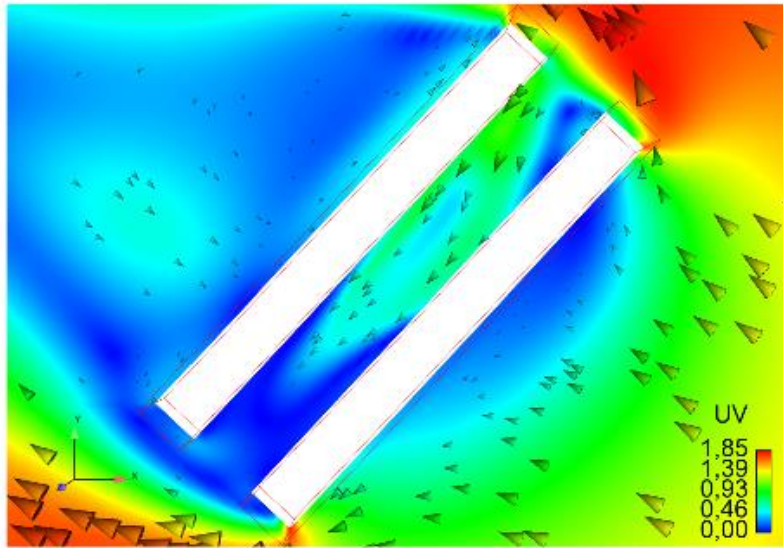


(b) Champ coloré : vent vertical.

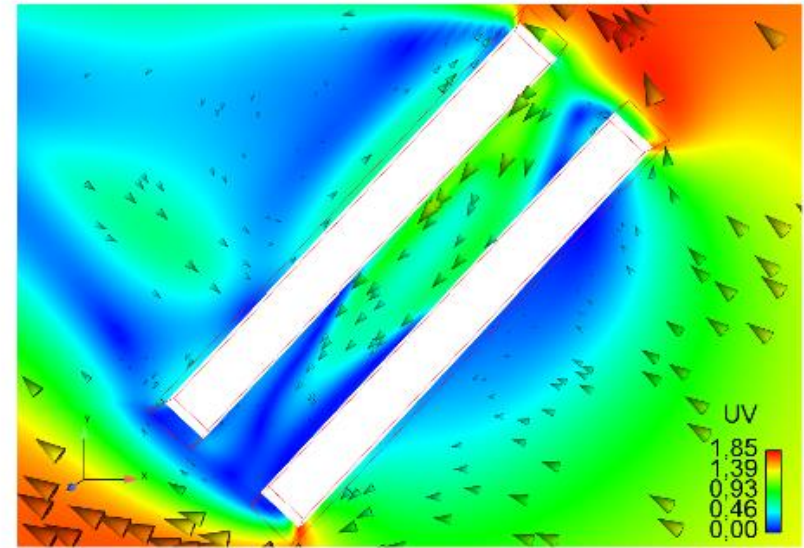
Vent horizontal perpendiculaire au canyon et vent vertical obtenus avec le couplage à 10h le 5 avril 2011 - TBSP-0510.

Comparaison des simulations avec températures mesurées et calculées par le couplage

Recirculations reproduites par le couplage.



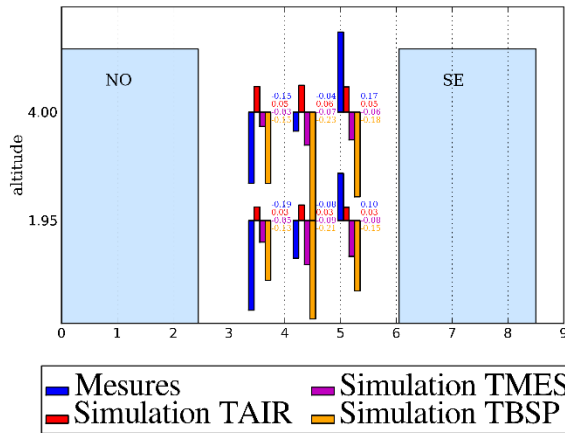
(a) Températures imposées - TMES-0611.



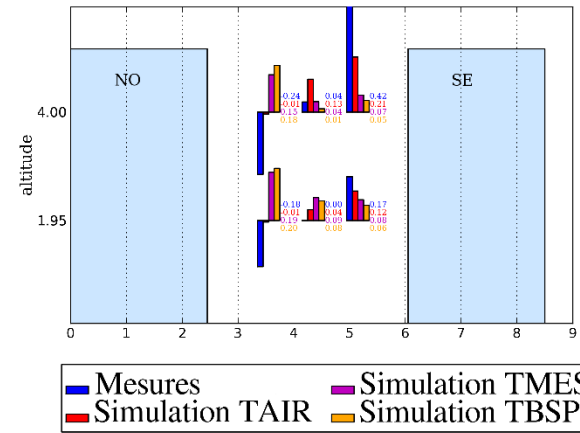
(b) Avec le couplage - TBSP-0611.

Vitesse horizontale du vent dans le canyon avec les températures mesurées et avec le couplage à 11h le 6 avril 2011.

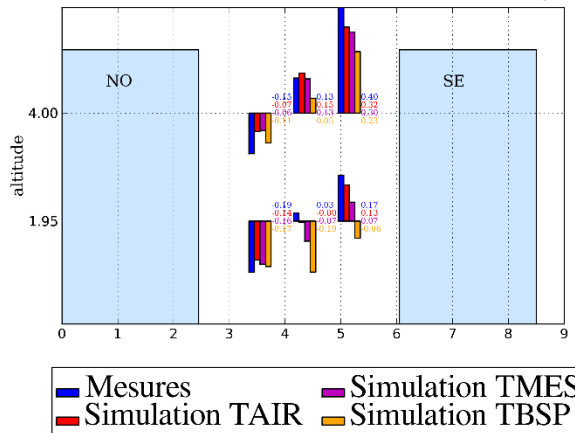
Comparaison des simulations et des mesures



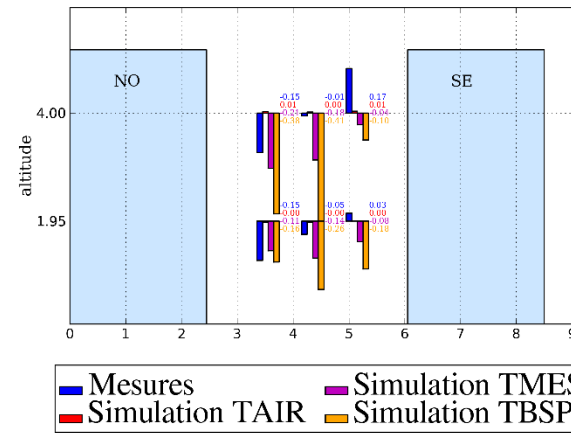
(a) À 10h le 05/04/2011.



(b) À 11h le 06/04/2011.



(c) À 16h le 06/04/2011.



(d) À 17h le 06/04/2011.

Vitesses verticales pour les différentes simulations.

Toulouse 2014 field campaigns (3) (also 1 in Paris and 1 in Marseille)

Fixed and mobile network:

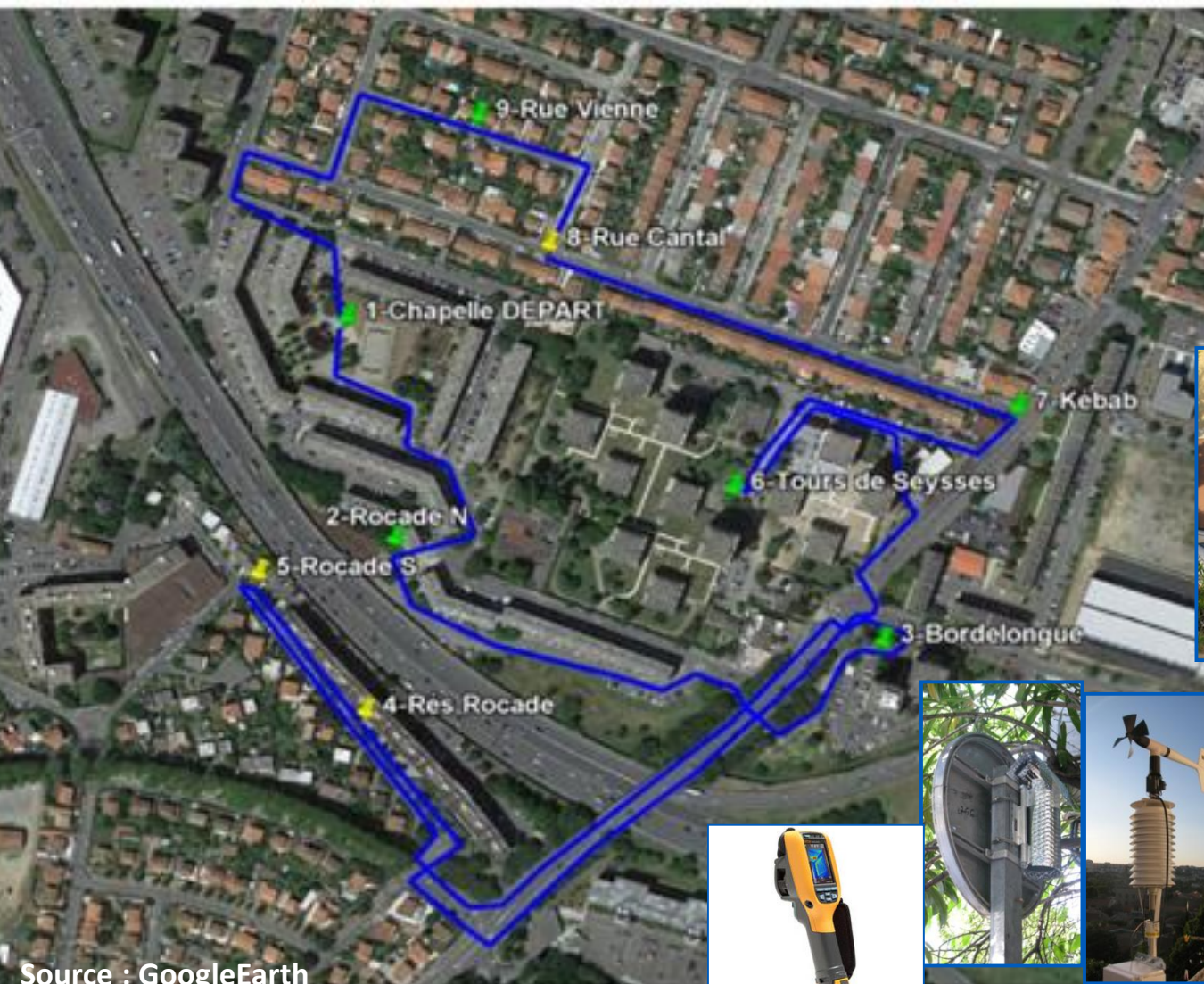
-Meteo

-AQ

-Sound

+ traffic counts

+ questionnaires (10,16,19h)



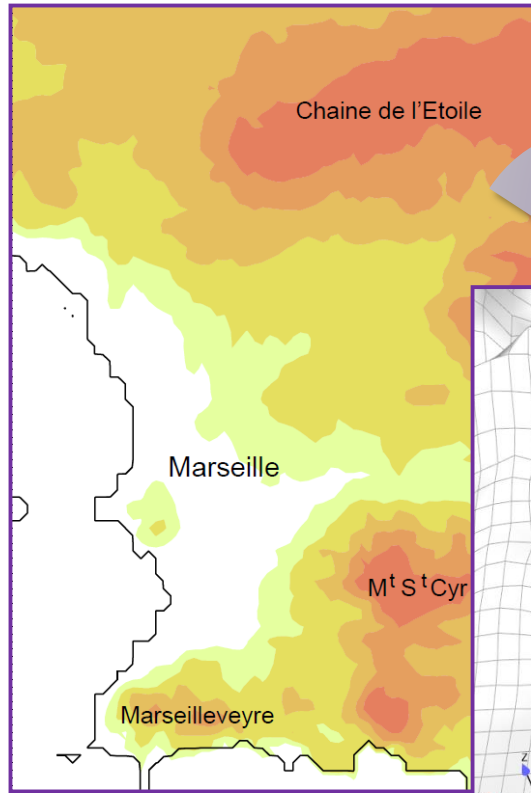
Numerical modeling :

3 - levels

Modèle dyn de trafic (ou comptage)

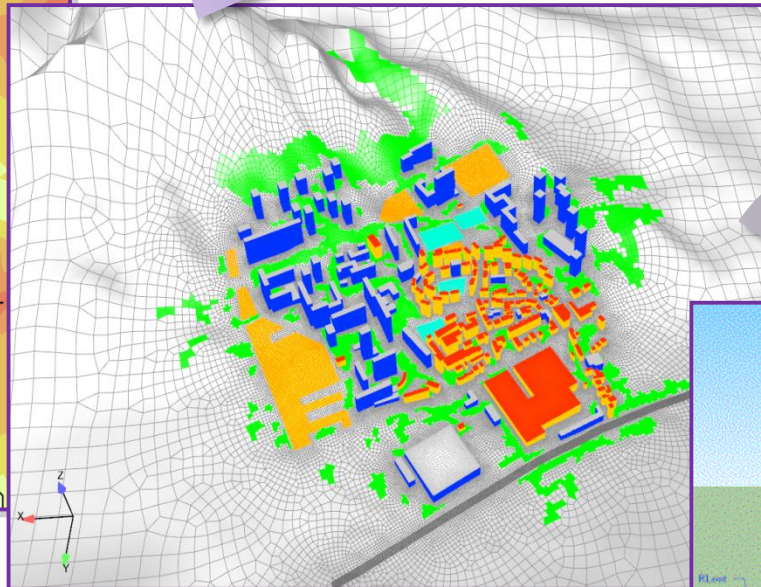


Modèle météo MESO-NH+TEB

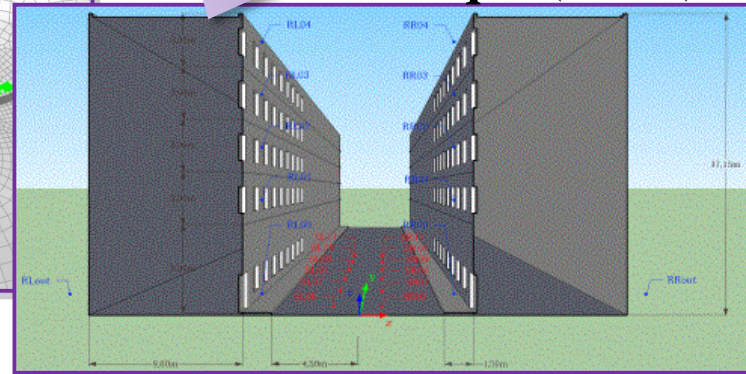


Boundary conditions

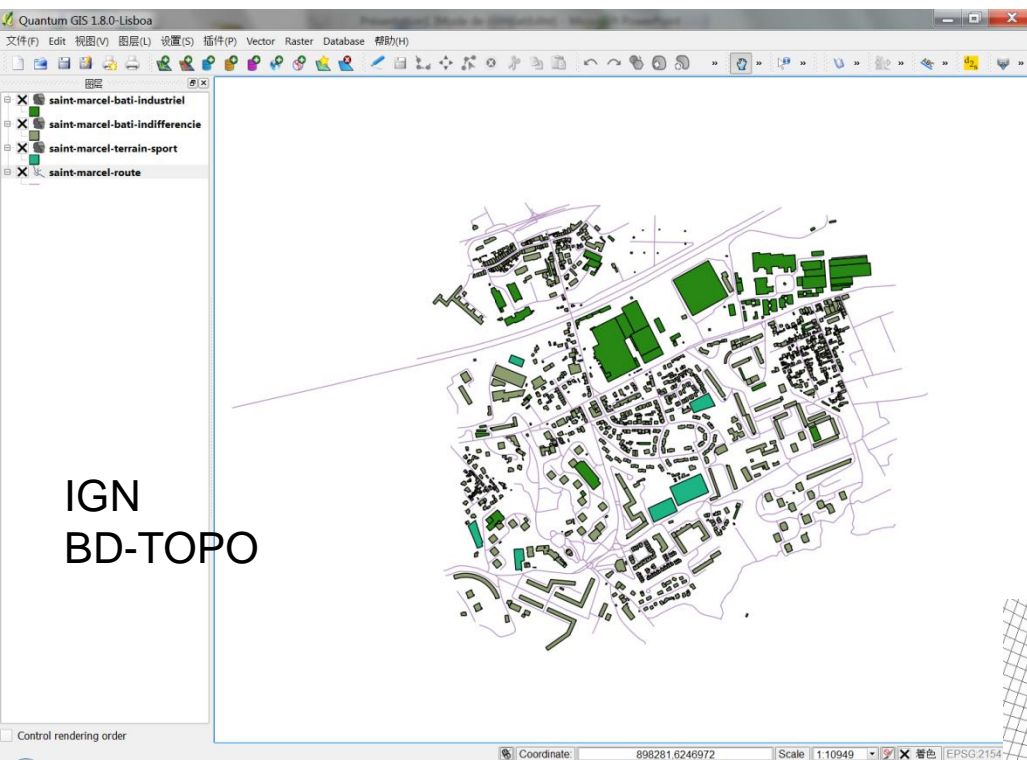
Modèle CFD+thermo-radiatif (800m x 500m)



Modèle acoustique (~300m)



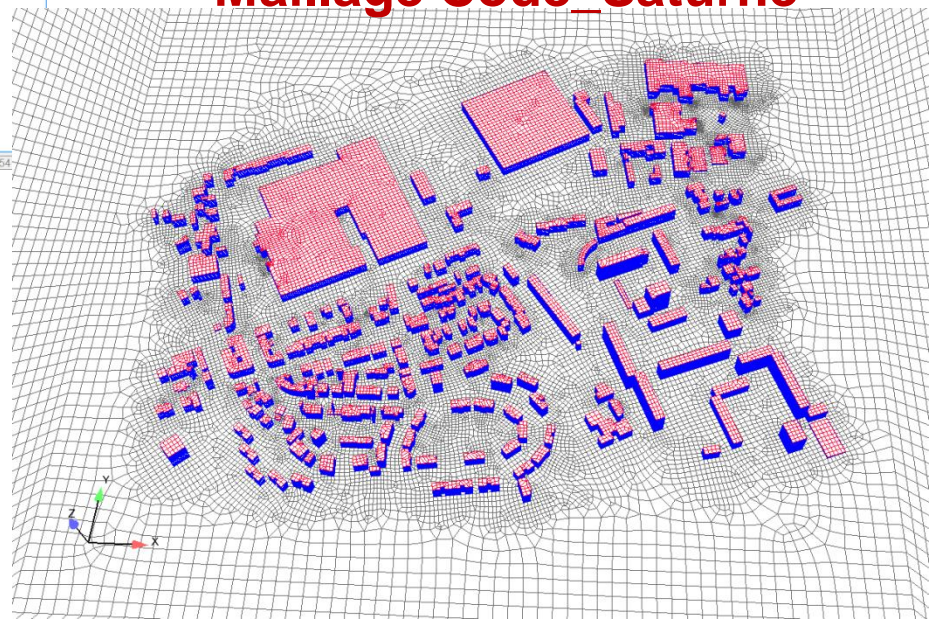
Maillage Marseille



IGN
BD-TOPO

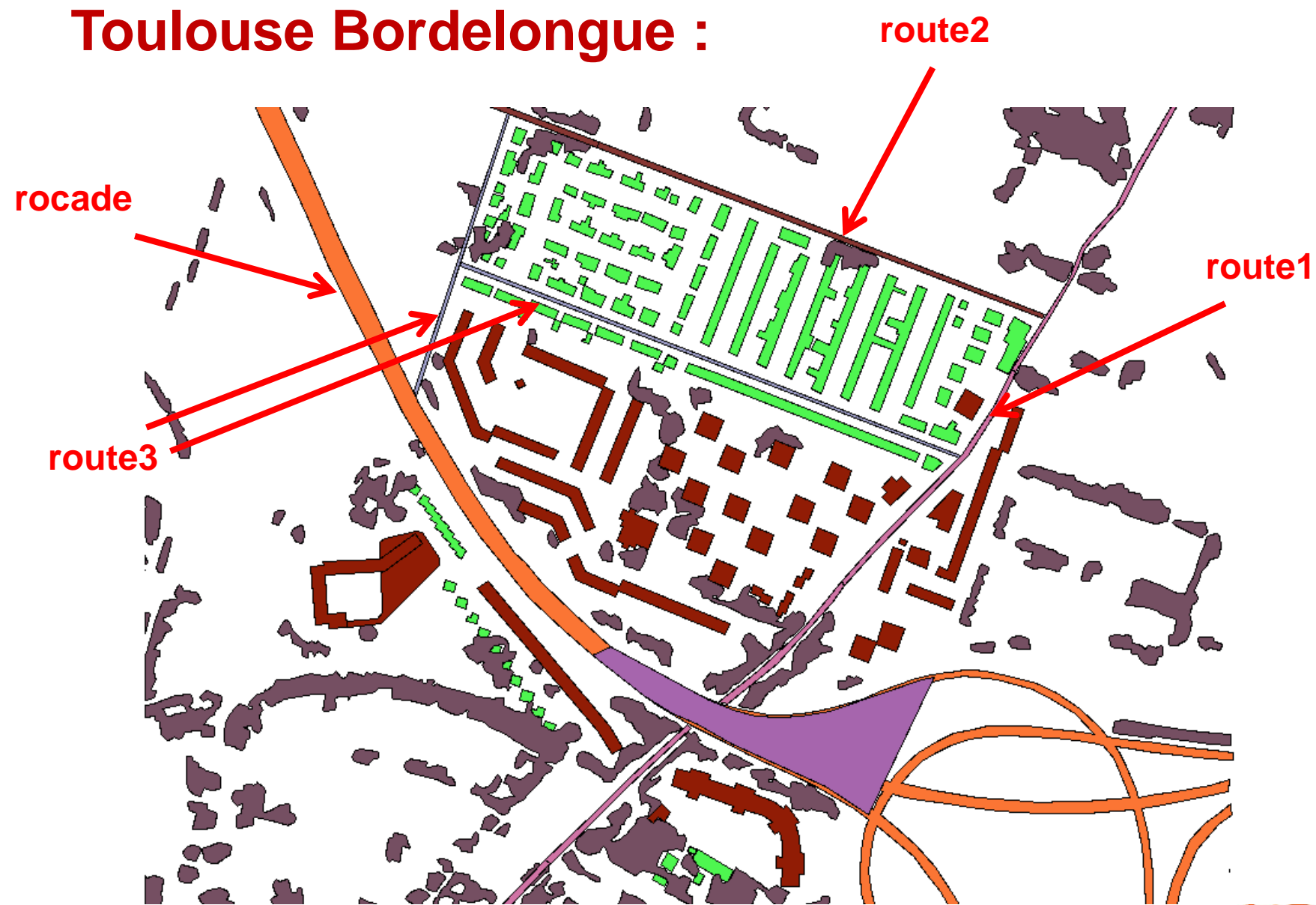


Maillage Code_Saturne



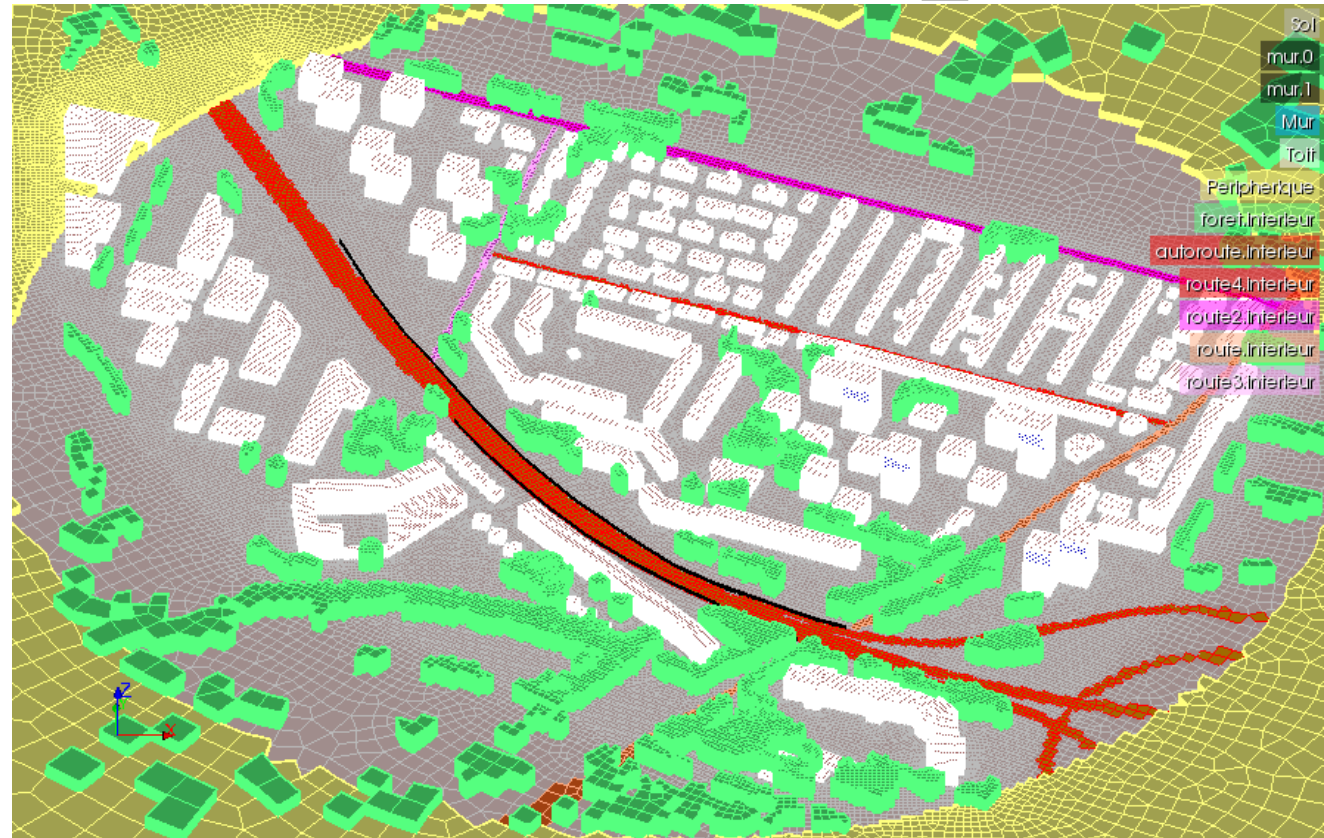
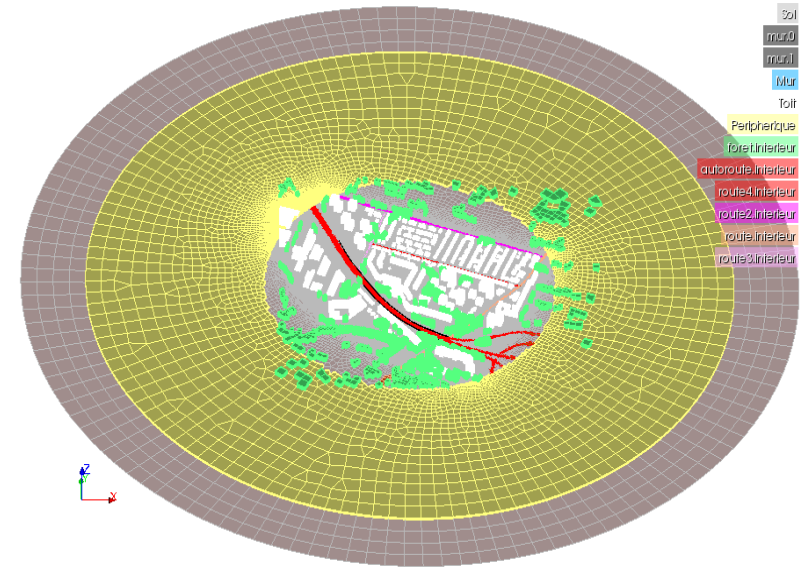
Geométrie et maillage :
salome-platform.org

Toulouse Bordelongue :



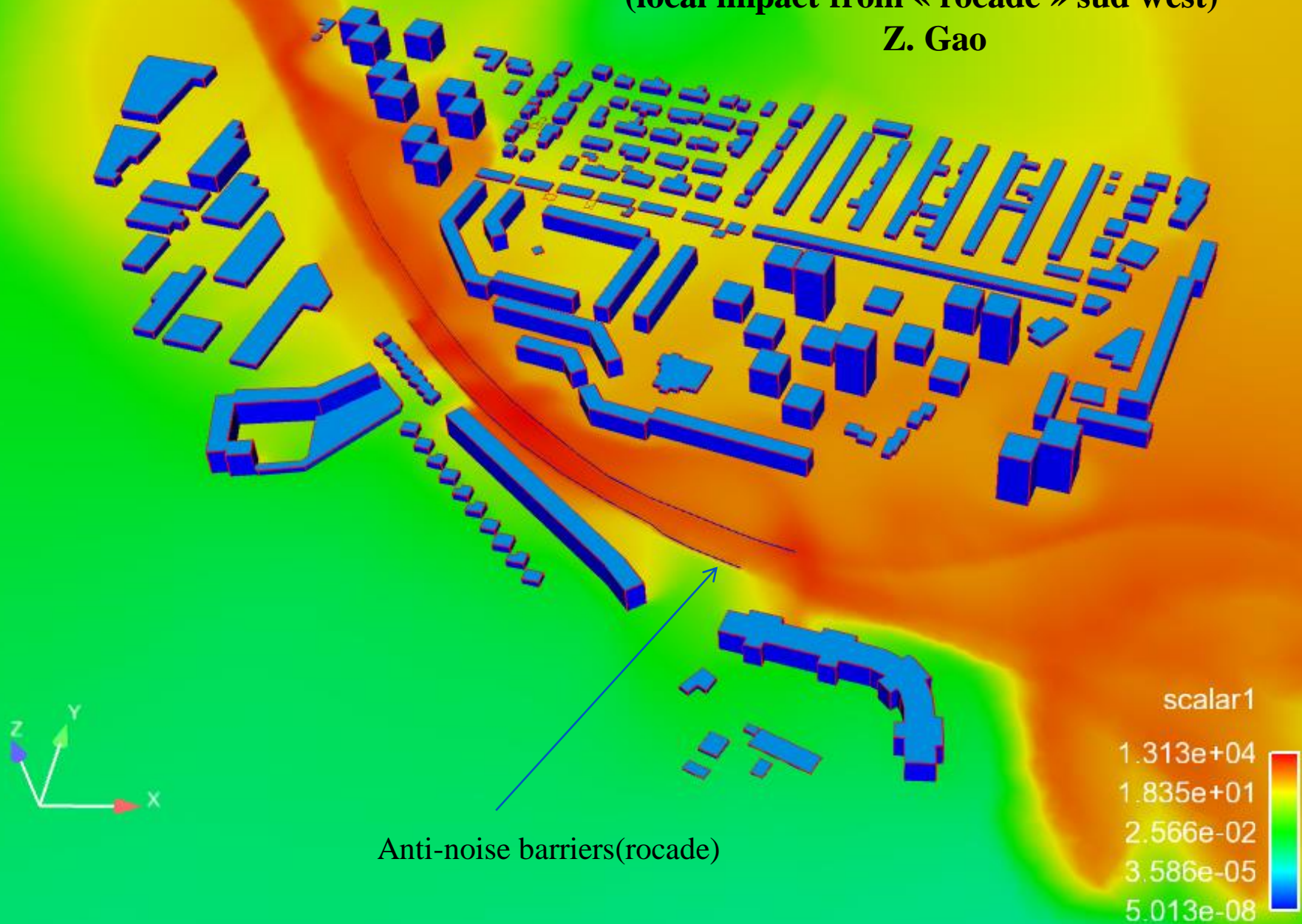
Prise en compte des sources locales de polluant dans le maillage

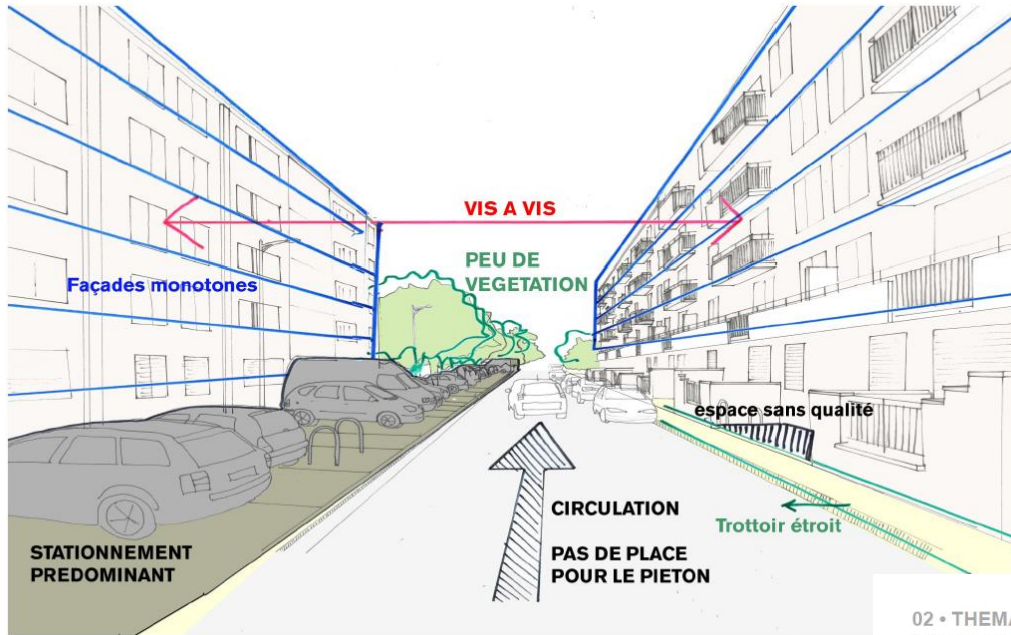
Simulation Code_Saturne
(micro-météo + qa, avec bâtiments)
(~2m minimum)
Imbriquée sur les résultats
de MesoNH (régional, 250m-100m)



**Simulation Code_Saturne coupled with Meso-NH
(local impact from « rocade » sud west)**

Z. Gao





20/05/2015

Ateliers Lion associés, Architectes Urbanistes Paysagistes

Architects provide scenario after meetings with locals



20/05/2015

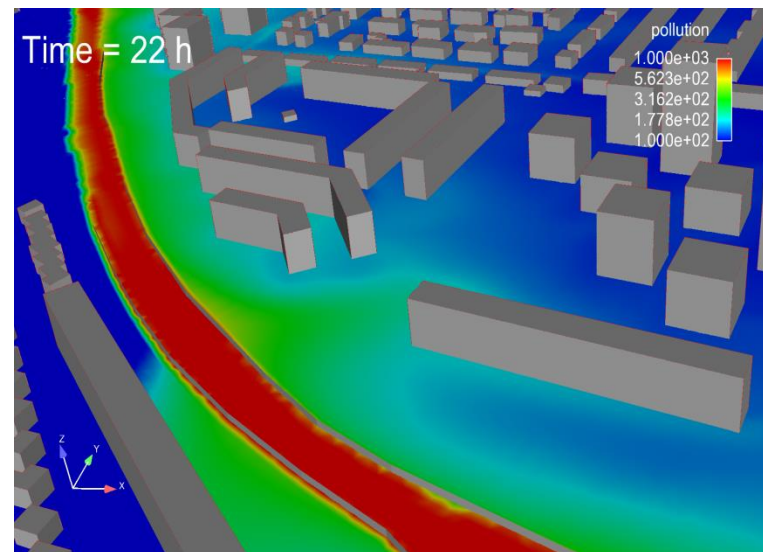
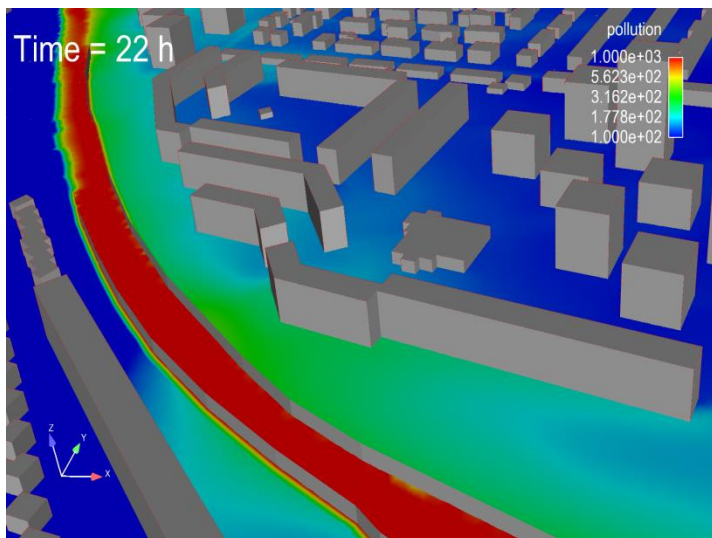
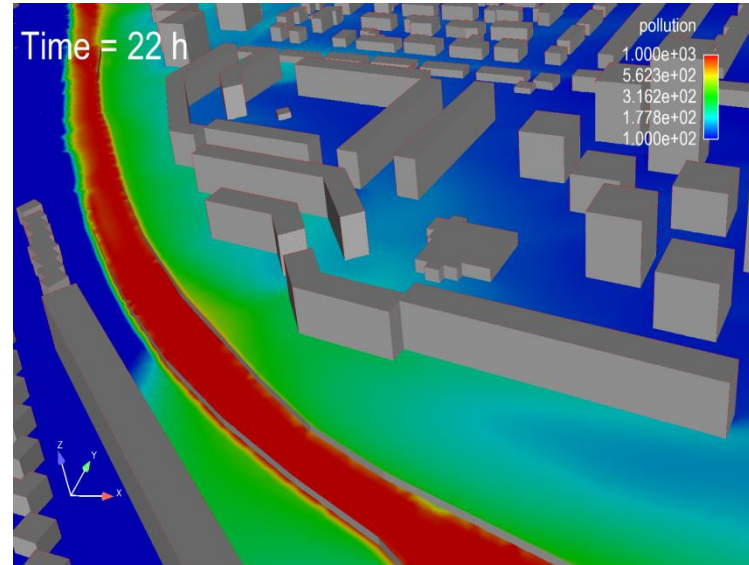
Ateliers Lion associés, Architectes Urbanistes Paysagistes

Trois scénarios

Mûr antibruit à la hauteur de 3m (right)

Mûr antibruit à la hauteur de 6m (bottom-left)

Mûr antibruit à la hauteur de 3m
avec deux bâtiments démolis (bottom-right)

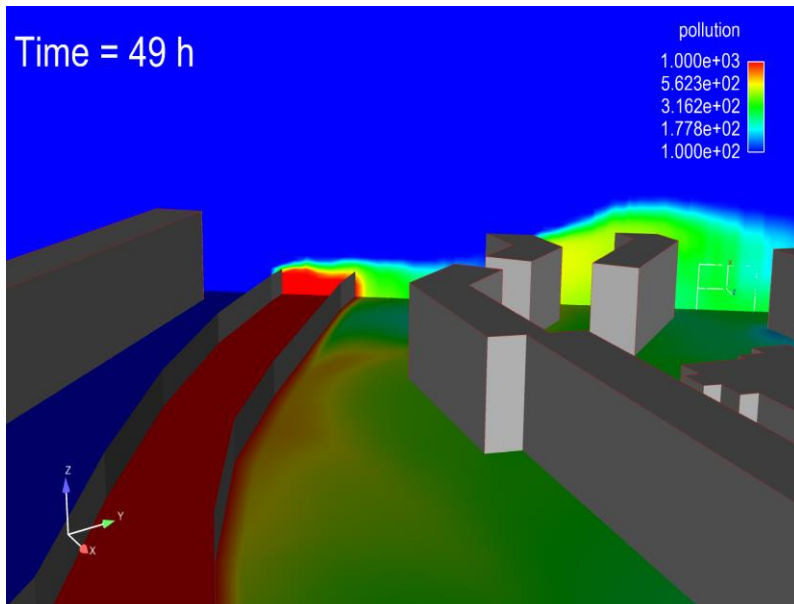
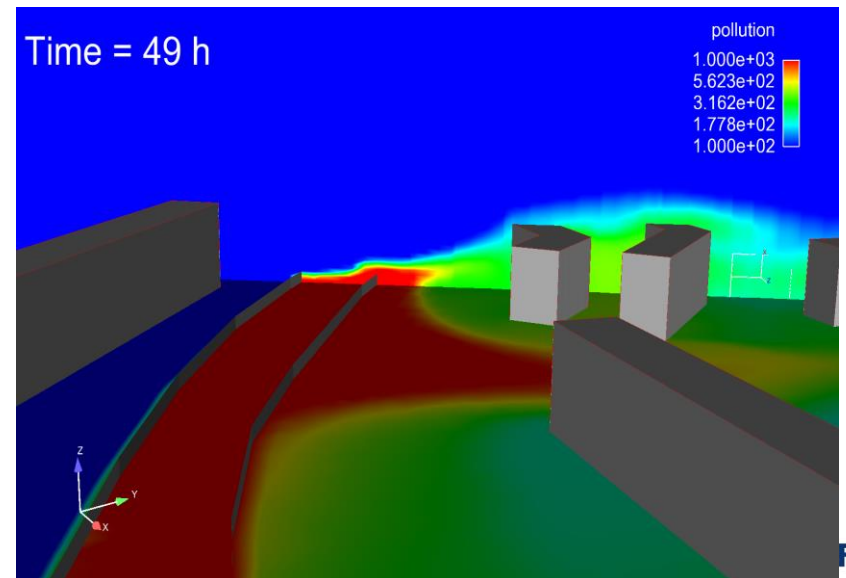
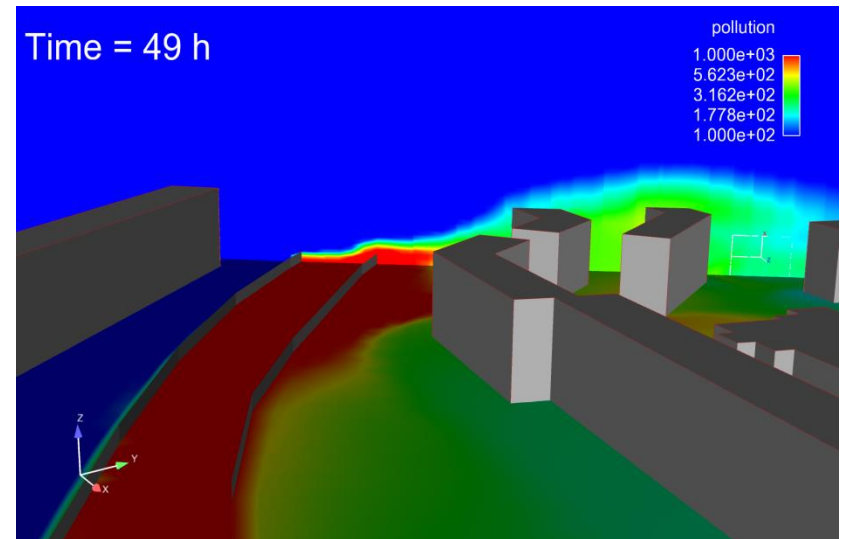


0,5m au dessus du sol et un plan vertical qui traverse le quartier

Mûr antibruit à la hauteur de 3m (right)

Mûr antibruit à la hauteur de 6m (bottom-left)

Mûr antibruit à la hauteur de 3m
avec deux bâtiments démolis (bottom-right)



QUESTIONS ?
FIN !