GPGPU :
le point de vue d'une PME

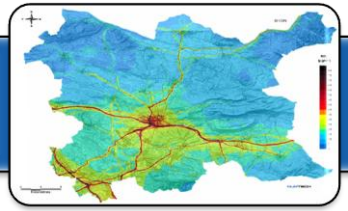
Ter@tec 2011

Vivien CLAUZON

27/06/2011

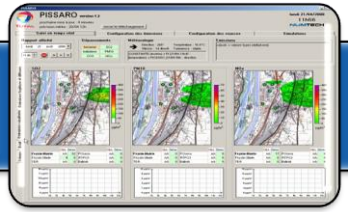
Activités de NUMTECH

Etude de dispersion atmosphérique



Prévision de la qualité de l'air

Etude d'évènements météorologiques



Système opérationnel d'aide à la décision

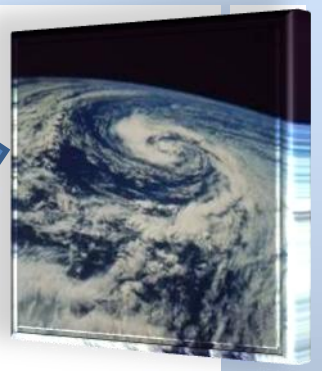
Une histoire d'échelle…

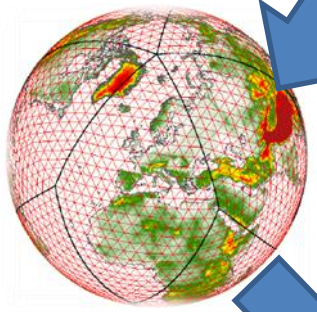
Météorologie

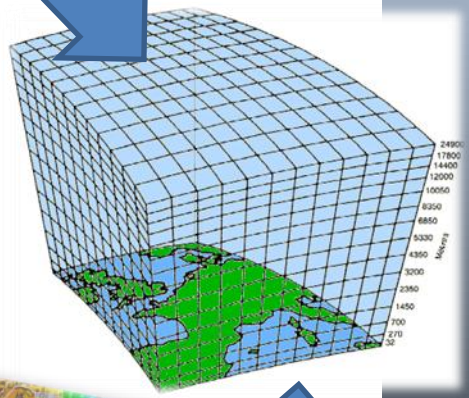
Données d'entrée, échelle synoptique : 50km

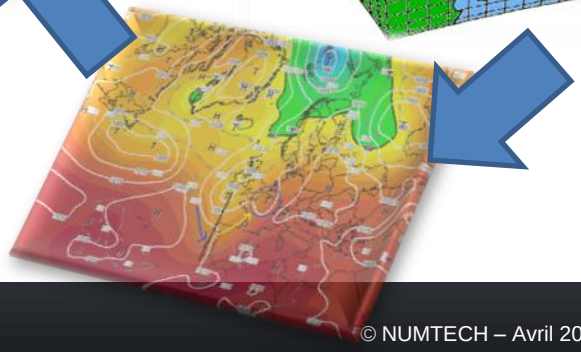
Calcul méso-échelle : 1km-50km

(Micro échelle, calcul CFD : 1m-1km)









Dispersion

Dispersion fine échelle: < 500m

Dispersion échelle locale: 500m-10km

Dispersion échelle régionale : > 10km

Pourquoi le GPGPU ?

Un besoin : faire une mise à l'échelle des champs météo très rapidement

Beaucoup de questions :

Essayons !

Cas tests @ Numtech

Solveur fluide Compressible	• Solveur de Riemann HLLC • Second ordre MUSCL • Interaction utilisateur et obstacle
Solveur fluide Incompressible	• Advection Semi-lagrangienne • Diffusion implicite et projection : gradient conjugué • Interaction utilisateur et obstacle
Dispersion Lagrangienne	
Dispersion Gaussienne	

Solveur fluide compressible avec CUDA

Compressible flow solver

- Solveur de Riemann HLLC Riemann
- Second ordre MUSCL
- Interaction utilisateur et obstacle

Pourquoi ? : 1ier cas test bien adapté au GPU

- Bonne **localité** (même avec le schéma MUSCL)
- Méthode MUSCL **bien connue** (thèse)
- Extension simple **2D vers 3D**
- Bonne **intensité arithmétique** du solveur de Riemann
- **Peu de publications** initialement en décembre 2008 …

(… beaucoup aujourd'hui !)

Solveur fluide compressible avec CUDA

Quoi ? : Equations d'Euler

L'inconnue est (sous forme conservative) $\boldsymbol{U} = {}^t(\rho, \rho u, \rho v, \rho w, E)$

$$\frac{\partial \boldsymbol{U}}{\partial t} + \frac{\partial \boldsymbol{F}(\boldsymbol{U})}{\partial x} + \frac{\partial \boldsymbol{G}(\boldsymbol{U})}{\partial y} + \frac{\partial \boldsymbol{H}(\boldsymbol{U})}{\partial z} = 0.$$

Avec les flux

$$\boldsymbol{F}(\boldsymbol{U}) = \begin{pmatrix} \rho u \\ \rho u^2 + P \\ \rho uv \\ \rho uw \\ u(E+P) \end{pmatrix}, \quad \boldsymbol{G}(\boldsymbol{U}) = \begin{pmatrix} \rho v \\ \rho uv \\ \rho v^2 + P \\ \rho vw \\ v(E+P) \end{pmatrix},$$

$$\boldsymbol{H}(\boldsymbol{U}) = \begin{pmatrix} \rho w \\ \rho uw \\ \rho vw \\ \rho w^2 + P \\ w(E+P) \end{pmatrix}.$$

Solveur fluide compressible avec CUDA

Comment ? :

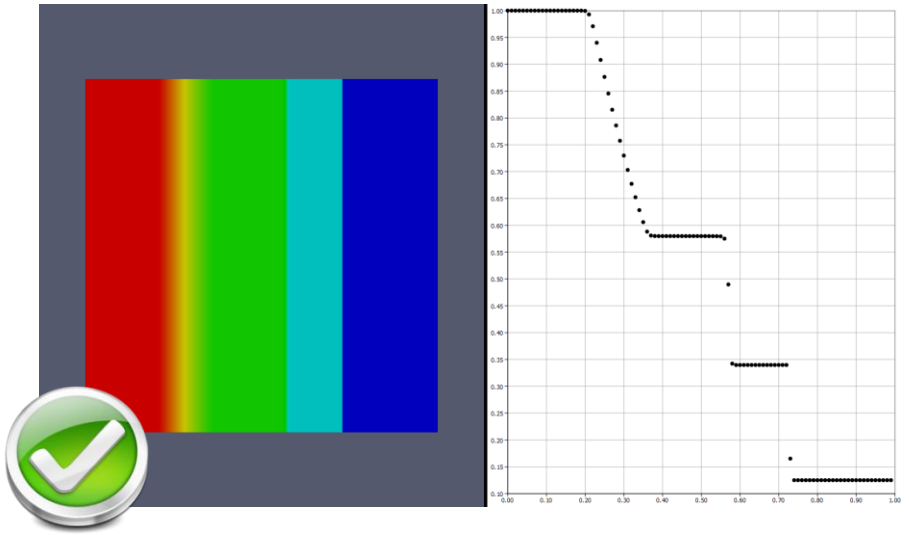
- Schéma en temps d'Euler explicite ⇒ *simple, rapide, faible coût memoire*
- Méthode MUSCL ⇒ *précision et localité (Shared Memory)*
- Limiteur *Minmod* ⇒ *stable et rapide*
- Solveur de Riemann
  - *Bonne intensité : 89 flops pour 12 reads et 6 writes*
  - *Mais … 22 registres utilisés*
  - *33% occupancy*
  - *Bon load-balancing*
  - *Robuste*

Solveur fluide compressible avec CUDA

Validation

Cas test pseudo 1D : **shock tube**

Toro, E. F. (1999), Riemann Solvers and Numerical Methods for Fluid Dynamics.



Cas test 2D : **forward facing step**

Woodward & Colella (1984), The Numerical Simulation of Two-Dimensional Fluid Flow with Strong Shocks.

Solveur fluide compressible avec CUDA

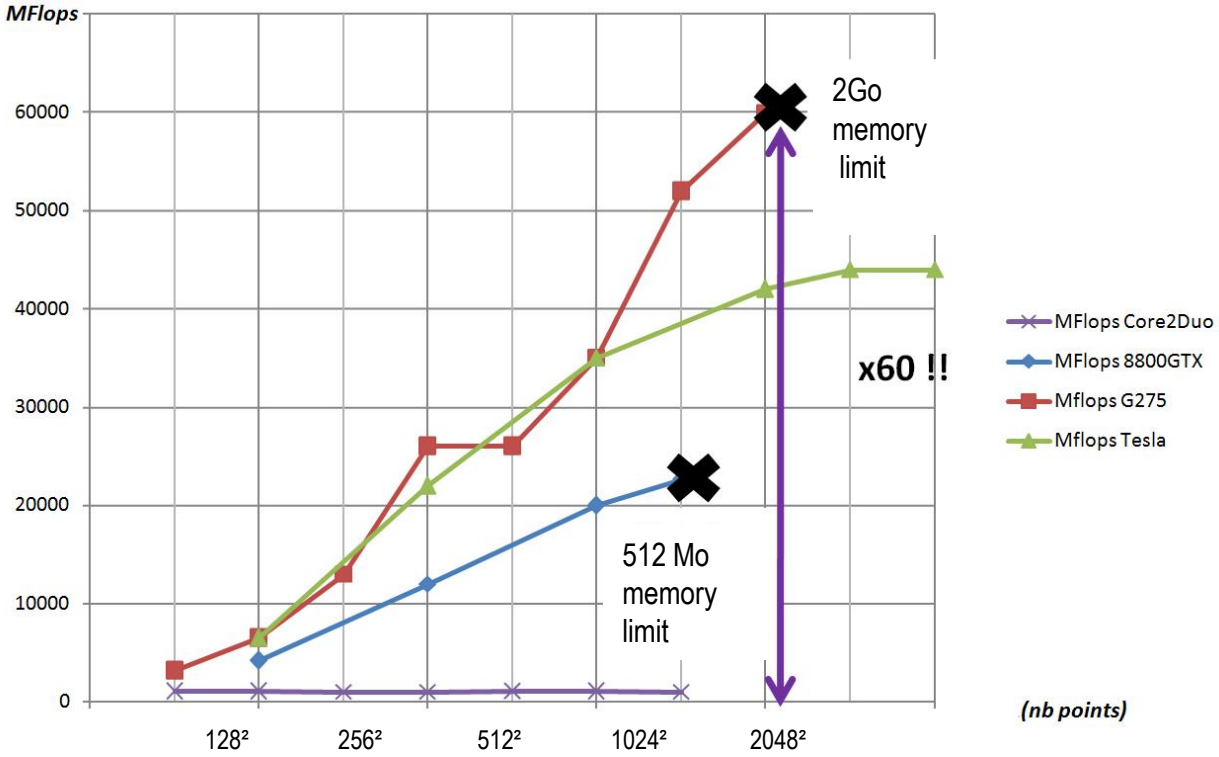
Performances

Maillage	temps sur GPU	temps sur CPU	speedup
256^2	1 minute	15 minutes	15
512^2	4 minutes	2 heures	30
1024^2	25 minutes	16 heures	28.5
2048×1024	1 heure	44 heures	44

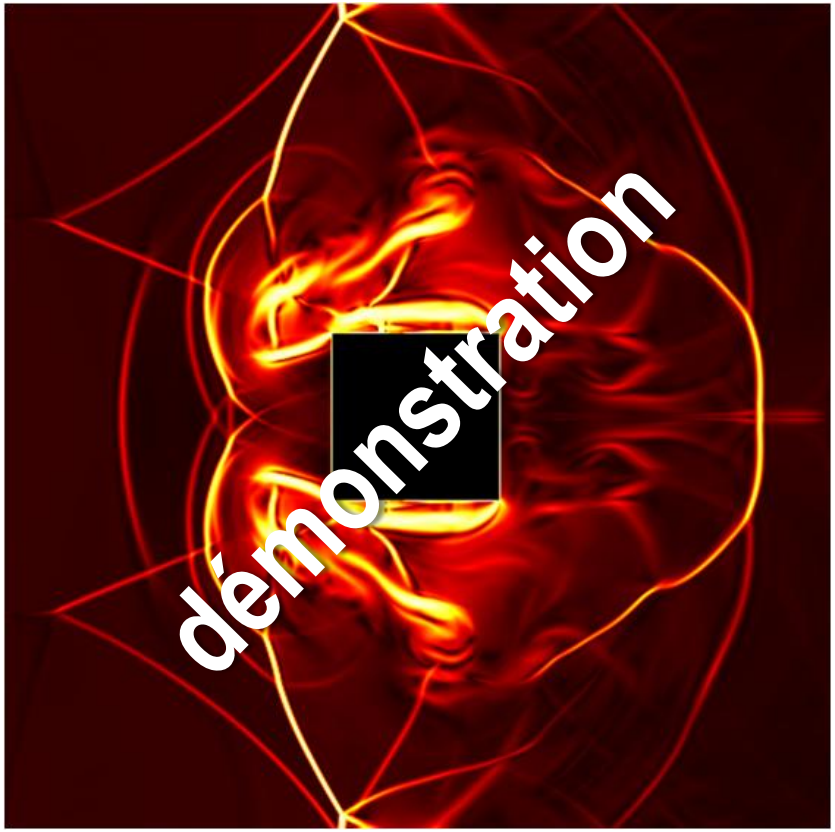
Comparaison entre les temps de retour pour un test standard entre la version CPU séquentielle (Corei7 920) et la version GPU (Tesla S1060) en fonction du nombre de point de maillage.

Solveur fluide compressible avec CUDA

Performances



Solveur fluide compressible avec CUDA



Solveur fluide incompressible avec CUDA

Incompressible flow solver

- Advection semi-lagrangienne
- Diffusion implicite et projection : gradient conjugué
- Interaction utilisateur et obstacle

Pourquoi ? : besoin de vitesse

- Champs météo petite échelle requis pour calcul de dispersion locale
- Besoin d'être rapide pour répondre en cas de crise
- Géométries complexes : site urbain et topographie
- Hardware "mobile" : meilleure réactivité

Solveur fluide incompressible avec CUDA

Quoi ? : Equation de Navier Stokes incompressible

$$\begin{cases} \rho \dfrac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \underbrace{\rho(\vec{u}.\nabla)\vec{u}}_{advection} + \underbrace{\nabla P}_{pression} - \underbrace{\mu \Delta \vec{u}}_{diffusion} + \underbrace{\vec{F}}_{forces} = 0 \\ \nabla.\vec{u} = 0 \\ \dfrac{\partial \theta}{\partial t} = -(\vec{u}.\nabla)\theta + \mu_\theta \Delta \theta \end{cases}$$

$$\vec{F} = \underbrace{C_\theta \theta \vec{y}}_{buoy} + \underbrace{\frac{\vec{u} - \vec{u}_{ref}}{C_{obs}} \Omega_{obs}}_{obstacle} - \underbrace{g \vec{y}}_{gravité}$$

Solveur fluide incompressible avec CUDA

Comment ? :

- Advection semi-lagrangienne

$$q(\vec{x}, t+\delta t) = q(\vec{x} - \vec{u}(\vec{x}, t)\delta t, t)$$

- Interpolation bi/tri-cubic
- Diffusion implicite

$$(I - \nu\delta t\Delta)\vec{u}(\vec{x}, t+\delta t) = \vec{u}(\vec{x}, t)$$

- Méthode de projection (Gradient *Conjugate* pour l'équation de Poisson)

$$\vec{w}^{n+1} = (A + D + F)(\vec{u}^{n})$$

$$\Delta P^{n+1} = \nabla . \vec{w}^{n+1}$$

$$\vec{u}^{n+1} = \vec{w}^{n+1} - \nabla P^{n+1}$$

Solveur fluide incompressible avec CUDA

Add-ons

- Schéma de MacCormack

$$1°)\ \widehat{\Psi}^{n+1} = A(\Psi^n) \quad \leftarrow \text{Standard SL}$$

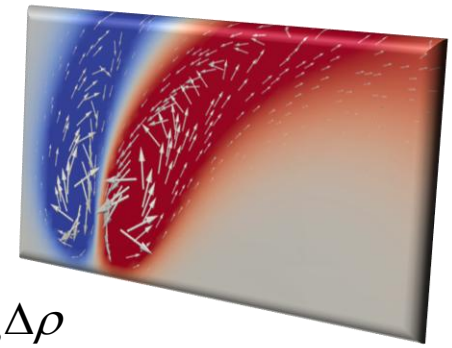
$$2°)\ \widetilde{\Psi}^{n} = A^R(\widehat{\Psi}^{n+1}) \quad \leftarrow \text{Backward SL}$$

$$3°)\ \Psi^{n+1} = \widehat{\Psi}^{n+1} + \frac{(\Psi^n - \widetilde{\Psi}^n)}{2} \quad \leftarrow \text{Error correction}$$

- Confinement de vorticité

$$N = \frac{\eta}{|\eta|},\ (\eta = \nabla|\omega|)$$

$$F_{conf} = \varepsilon\, N \times \omega$$



- Densité variable (Guermond)

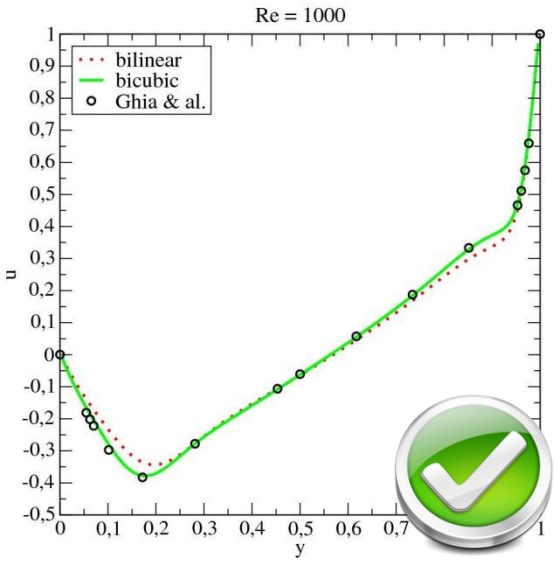
$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -(\vec{u}.\nabla)\rho + \mu_\rho \Delta \rho$$

- Taux de réaction (effet de flamme)

$$\frac{\partial Y}{\partial t} = -(\vec{u}.\nabla)Y + \mu_Y \Delta Y \underbrace{- kY}_{reaction}$$

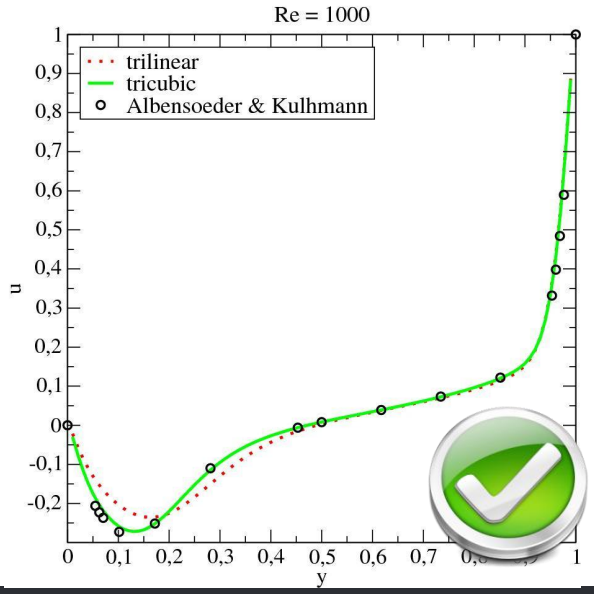
Solveur fluide incompressible avec CUDA

Validation



Cas test 2D : **lid-driven cavity (100<Re<100 000)**

Ghia, Ghia, and Shin (1982),
High-Re solutions for incompressible flow using the Navier-Stokes equations and a multigrid method.

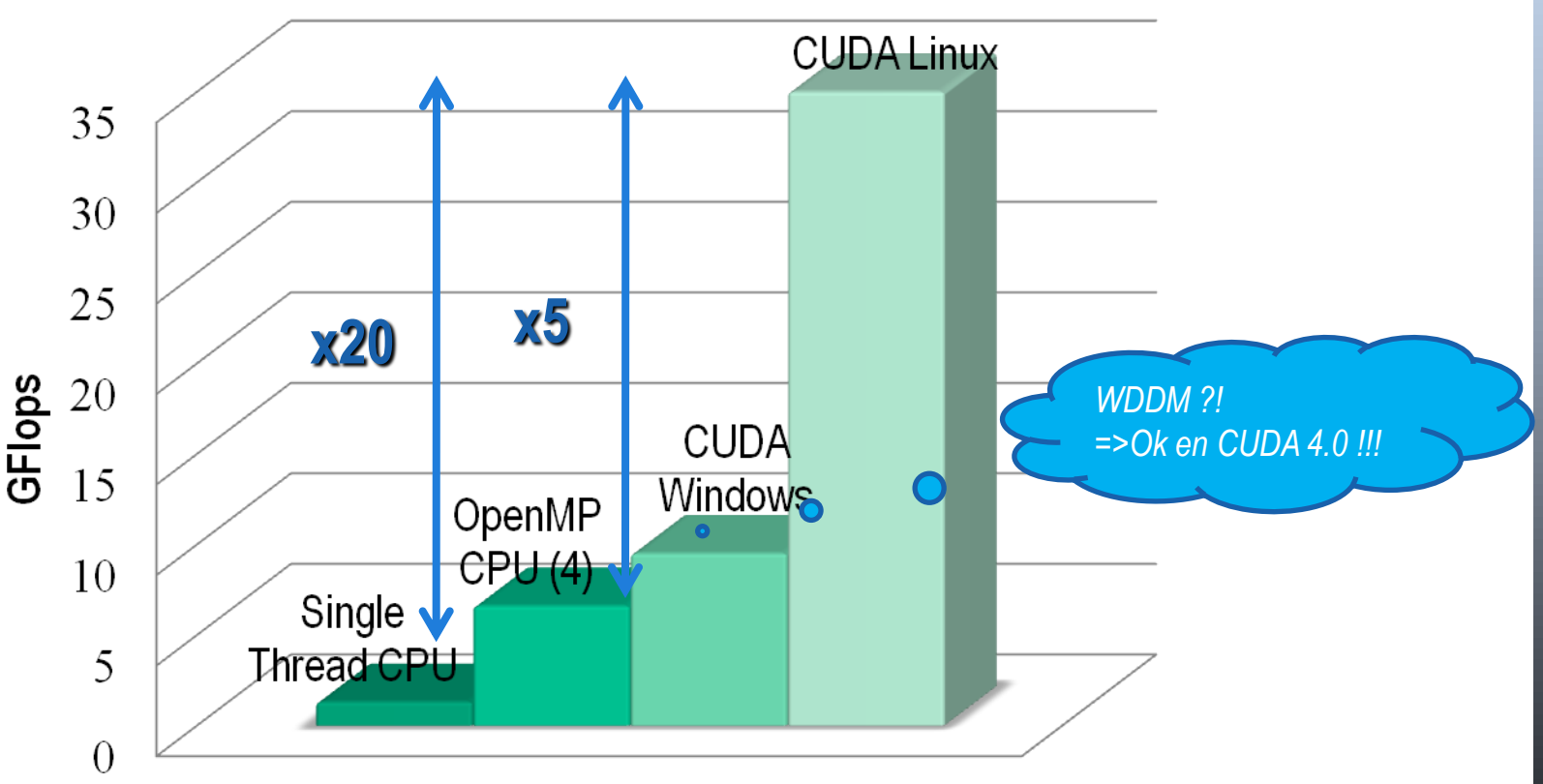


Cas test 3D : **lid-driven cavity (Re=1000)**

Albensoeder & Kuhlmann (2005)
Accurate three-dimensional lid-driven cavity flow

Solveur fluide incompressible avec CUDA

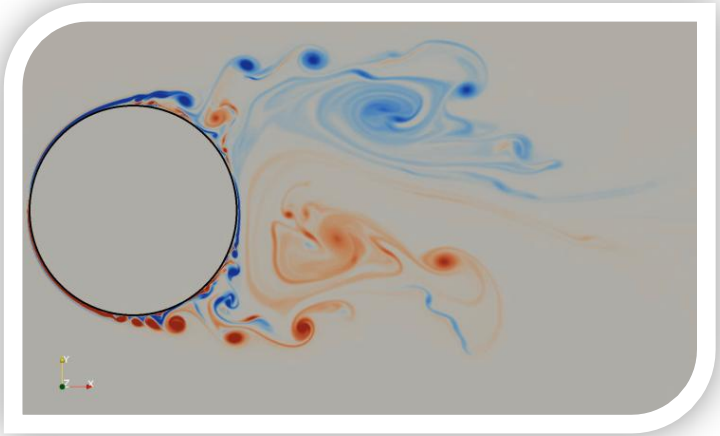
Performances (Tesla C1060)

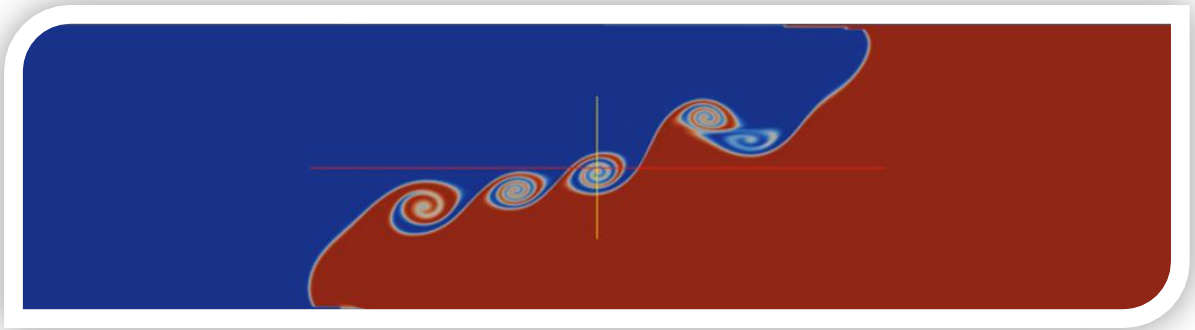


Solveur fluide incompressible avec CUDA

Et maintenant ?

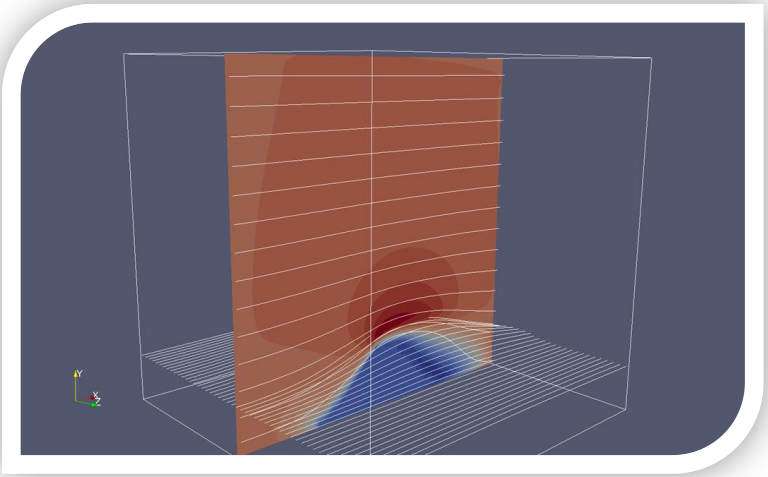
- Validation densité variable et obstacle
- Conditions aux limites + complexes
- 1st Release Q4-2011

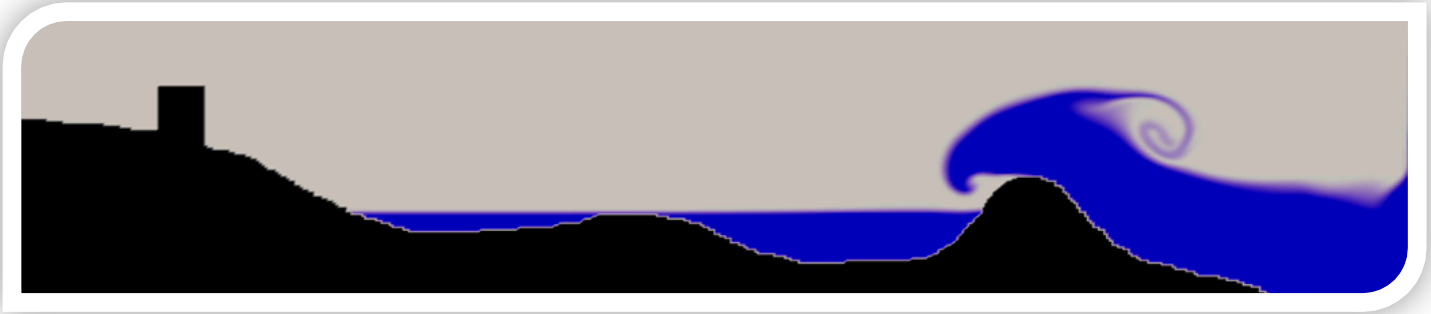




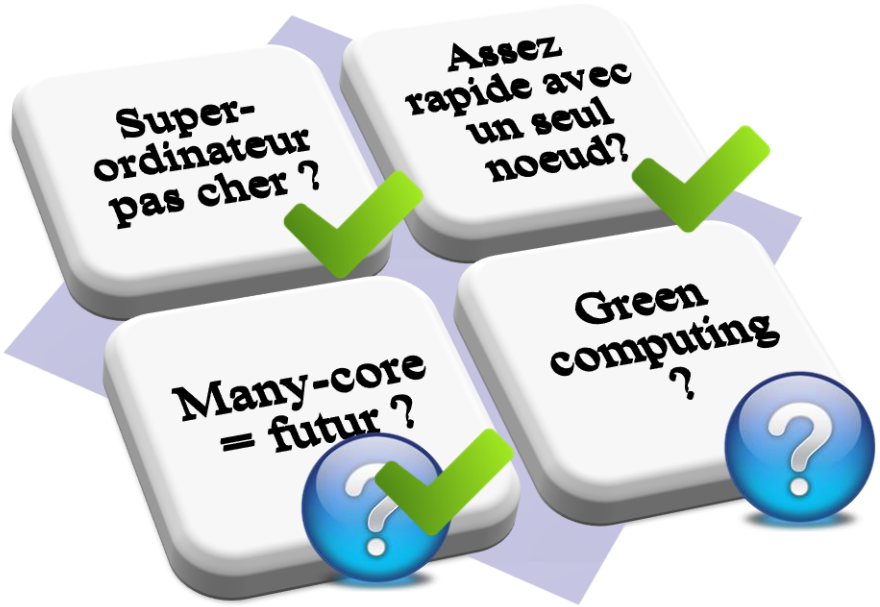
Et maintenant ?

- Validation densité variable et obstacle
- Conditions aux limites + complexes
- 1st Release Q4-2011





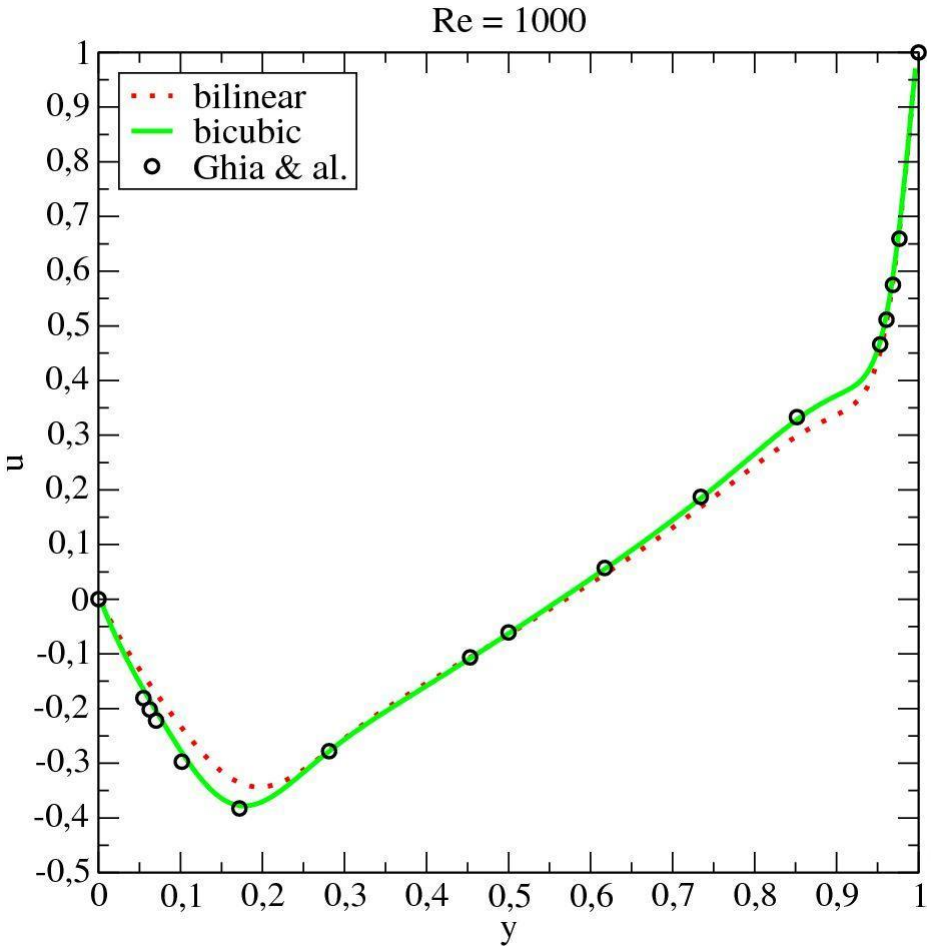
Et maintenant ?



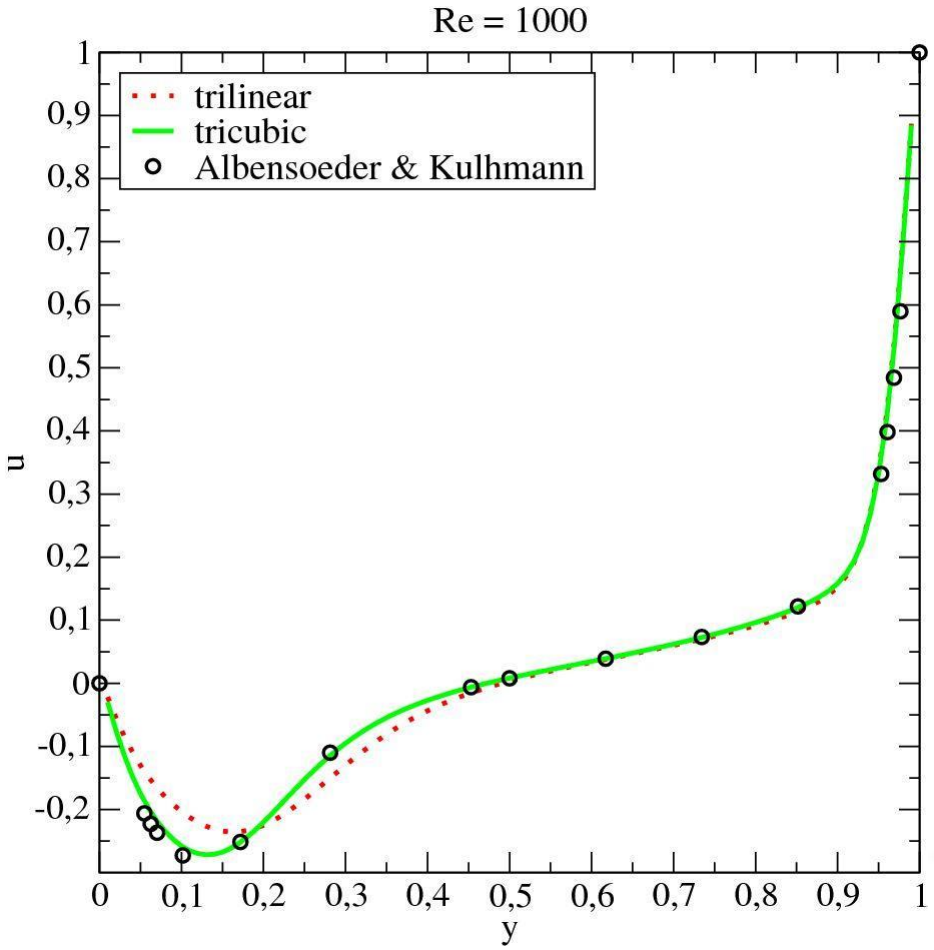
Merci!

Contact :
clauzon@numtech.fr

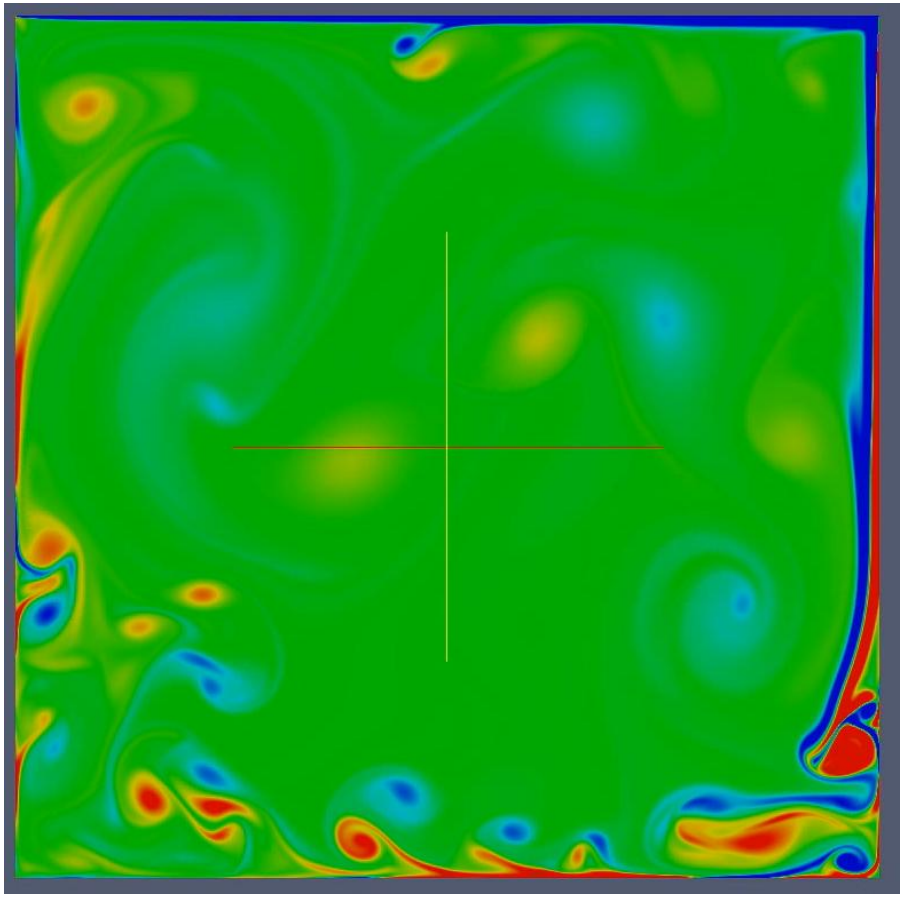
2d lid-driven cavity, Re = 1000



3d lid-driven cavity, Re = 1000



2d lid-driven cavity, Re = 100 000, mesh 1024²



1d shock tube, Sod test case