

# TRAITEMENT D'IMAGES APPLIQUÉ AUX ÉCOULEMENTS TURBULENTS

Nicolas Mazellier  
Laboratoire PRISME  
Université d'Orléans

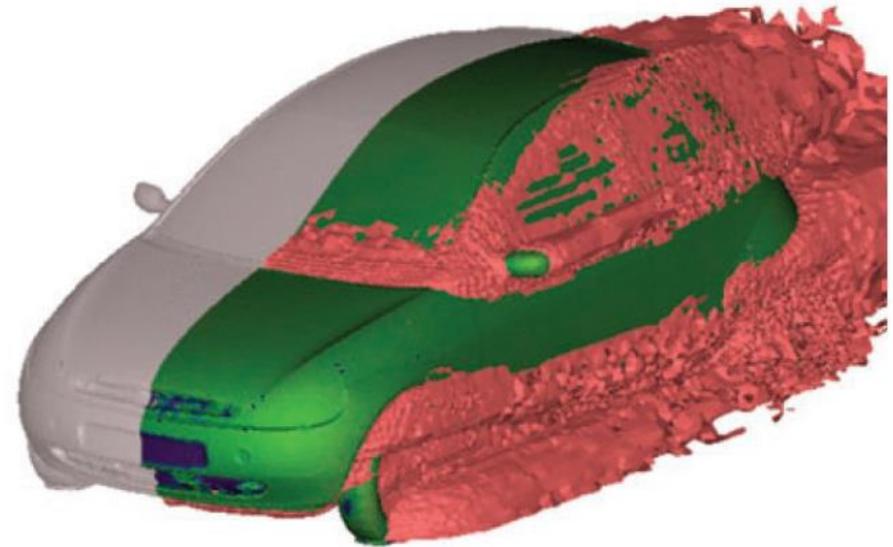
- CONTEXTE**
- VERROUS**
- DIAGNOSTICS OPTIQUES**
  - ETAPE 1 : l'acquisition d'images
  - ETAPE 2 : inter-corrélation d'images
  - ETAPE 3 : analyse d'images
- LES LIMITES**
- QUELLES PISTES ?**

Etude d'écoulements du type :

- Décollement/réattachement
- Sillage



Sources de **nuisances** et **dégradations** des performances



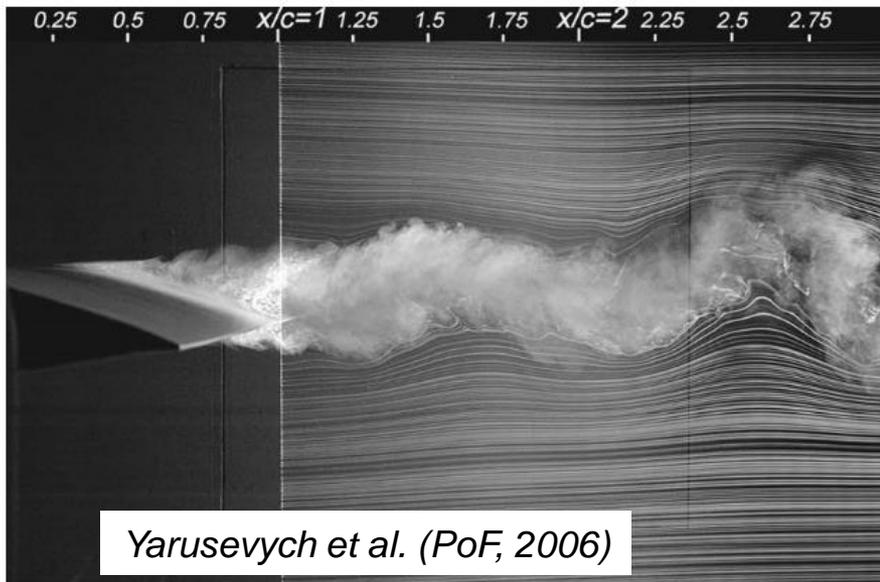
*Iso-contours de sources sonores (Spalart, ARFM 2009)*

**Objectifs : caractérisation / modélisation / contrôle**

Champs d'application : transport, production d'énergie ...

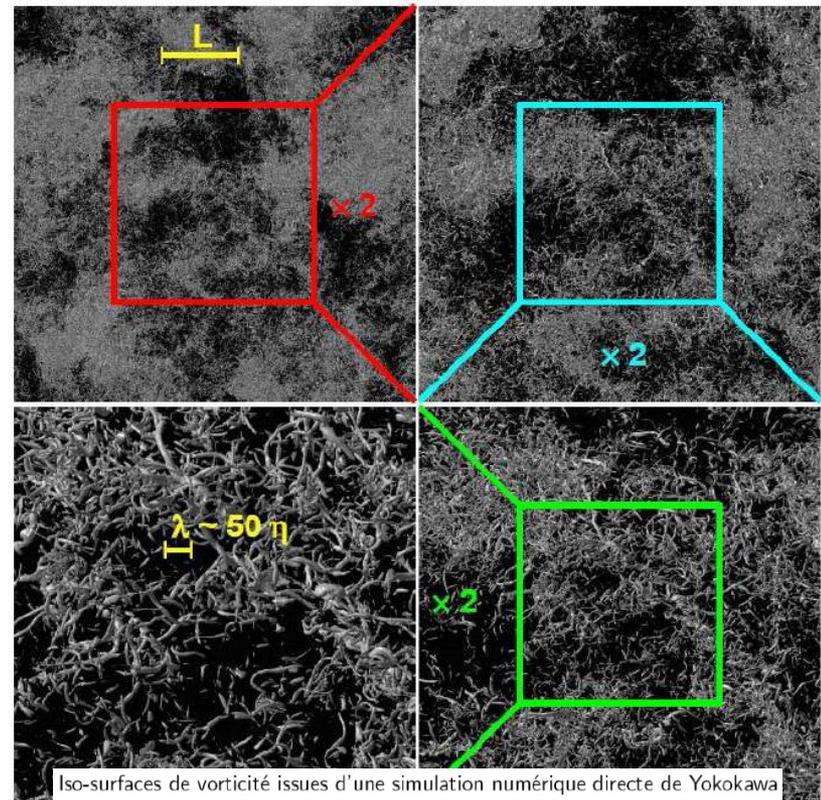
Ecoulements caractérisés par un grand nombre de Reynolds  $Re$

⇒ Une très large gamme d'échelles spatiales et temporelles

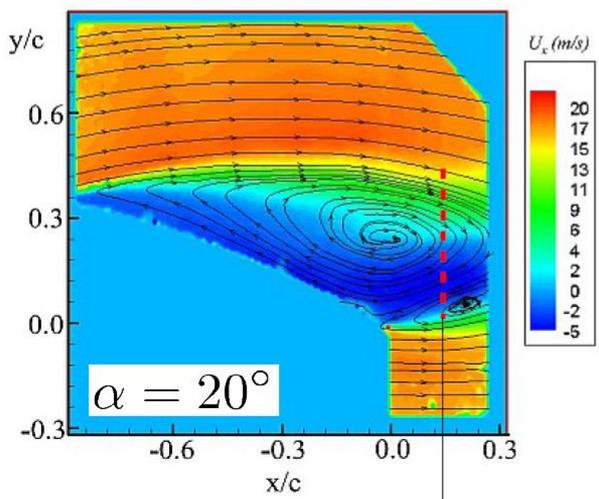
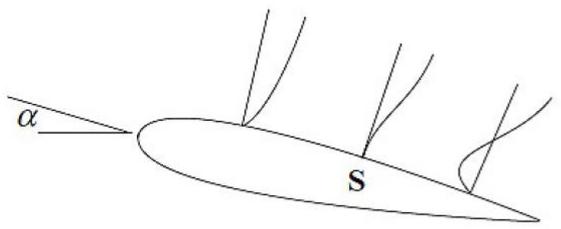


$$\left(\frac{\Delta}{\eta}\right)^3 \sim Re^{9/4}$$

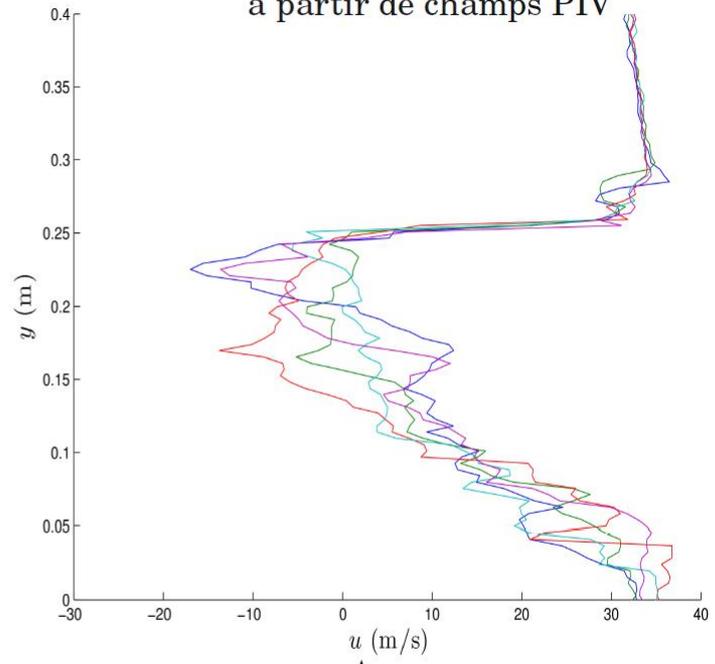
(ex :  $Re = 10^4 \Rightarrow 10^9$  dof)



Iso-surfaces de vorticité issues d'une simulation numérique directe de Yokokawa et al. (2002) sur le Earth simulateur ( $\sim 40$  TéraFLOPS) avec un maillage d'environ  $9 \times 10^9$  cellules.



Profils de vitesse mesurés  
à partir de champs PIV



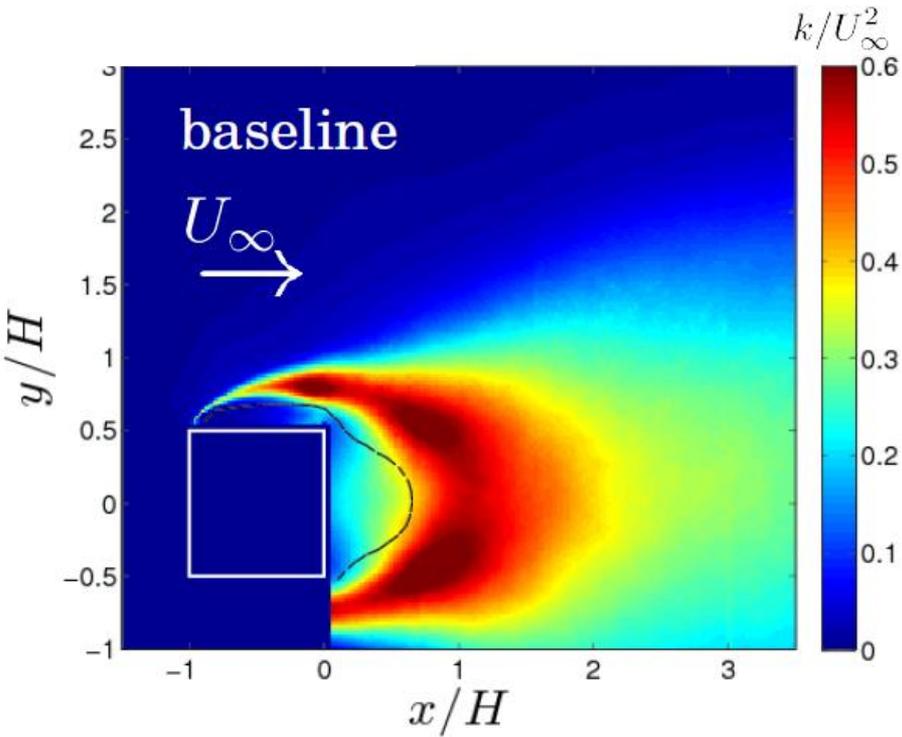
17

Décomposition de Reynolds (approche probabiliste) :

$$f = F + f'$$

moyenne

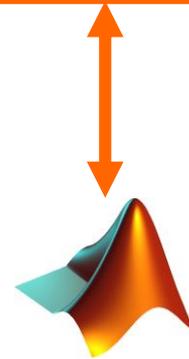
fluctuation



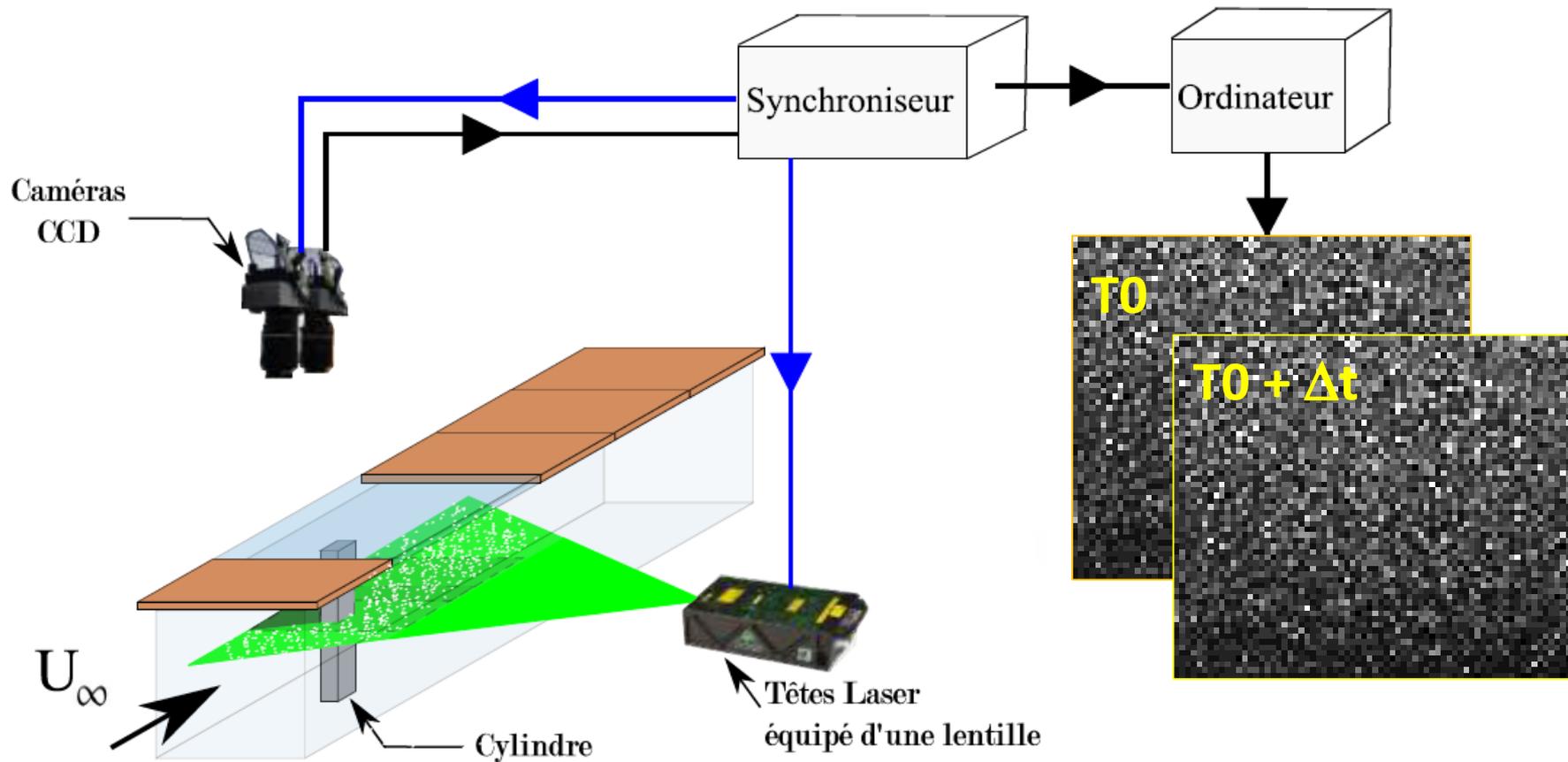
ETAPE 1 : l'acquisition d'images

ETAPE 2 : inter-corrélation d'images

ETAPE 3 : analyse d'images

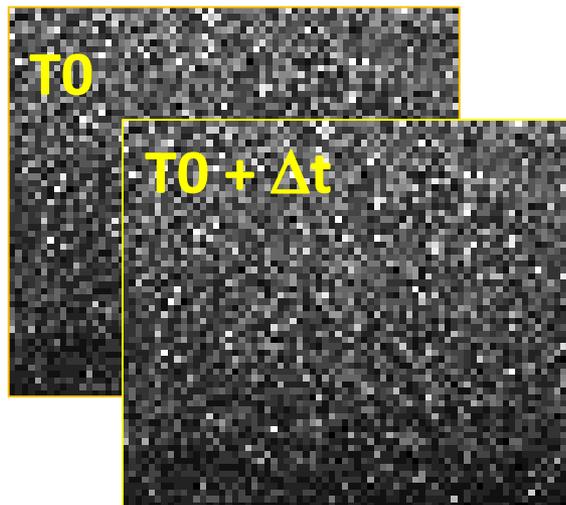


## ETAPE 1 : l'acquisition d'images



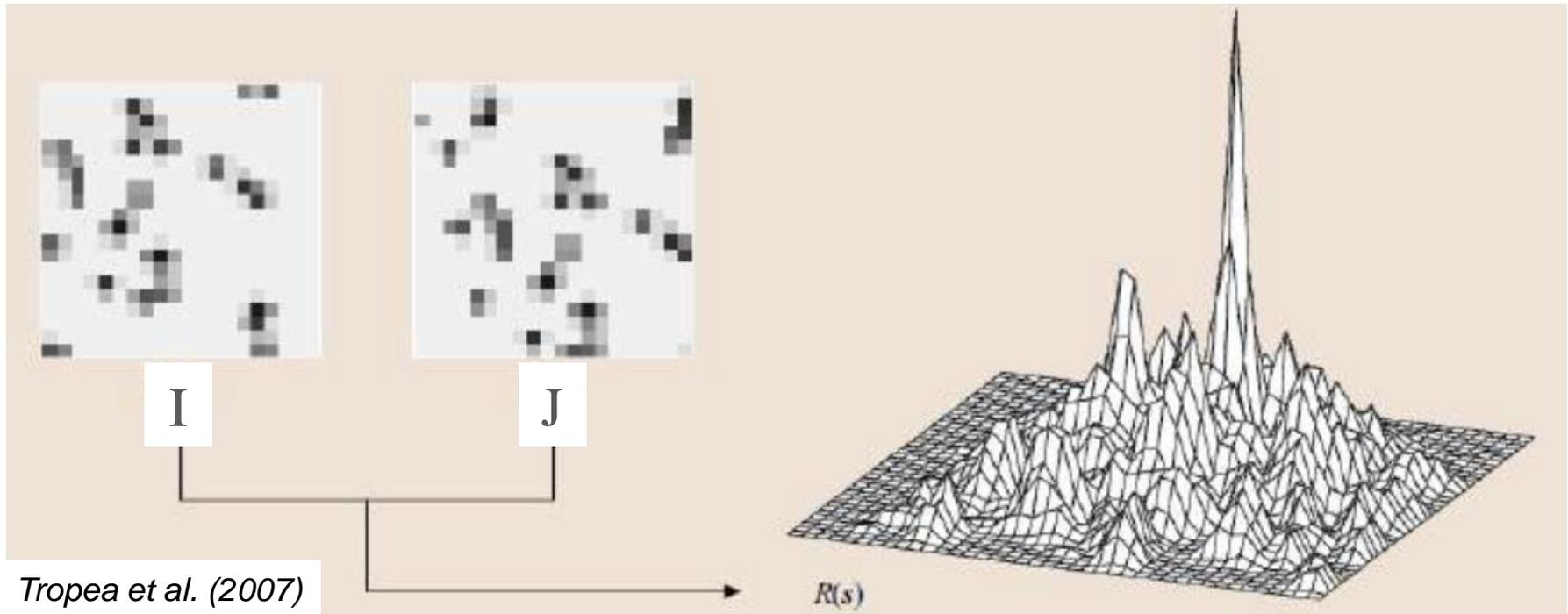
## Vélocimétrie par Images de Particules

## ETAPE 1 : l'acquisition d'images



Objectif : déterminer la vitesse locale (déplacement des traceurs)

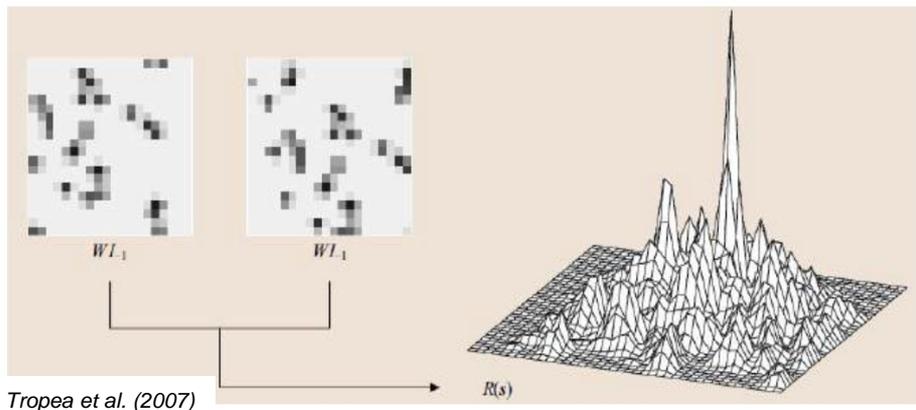
## ETAPE 2 : inter-corrélation d'images



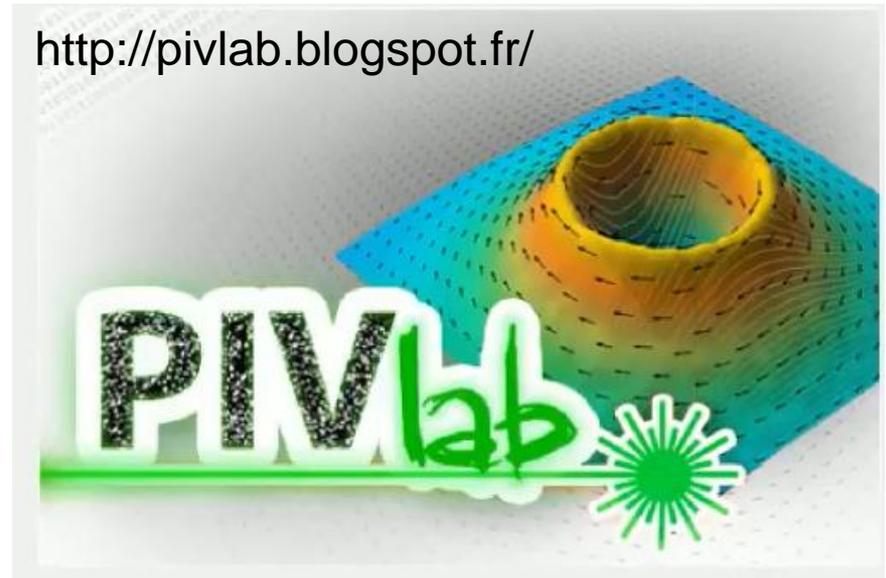
$$R_{IJ} = \frac{\sum \sum [I(i, j) - \bar{I}][J(i, j) - \bar{J}]}{\sigma_I \sigma_J}$$

1 vecteur  
vitesse / fenêtre

## ETAPE 2 : inter-corrélation d'images

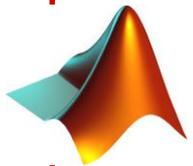


<http://pivlab.blogspot.fr/>

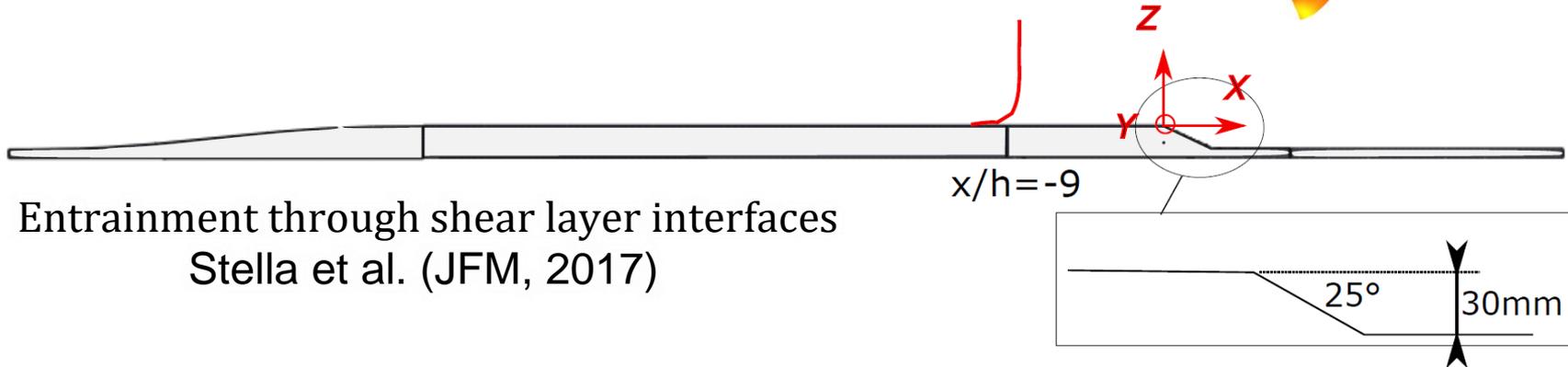
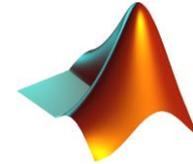


$$R_{IJ} = \frac{\sum \sum [I(i, j) - \bar{I}] [J(i, j) - \bar{J}]}{\sigma_I \sigma_J}$$

**xcorr2**  
ou  
**FFT**

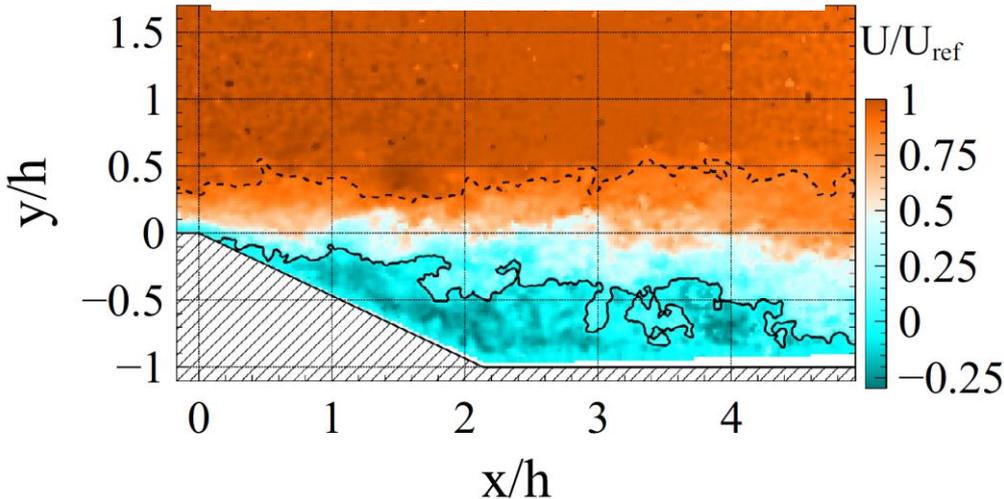


## ETAPE 3 : analyse d'images

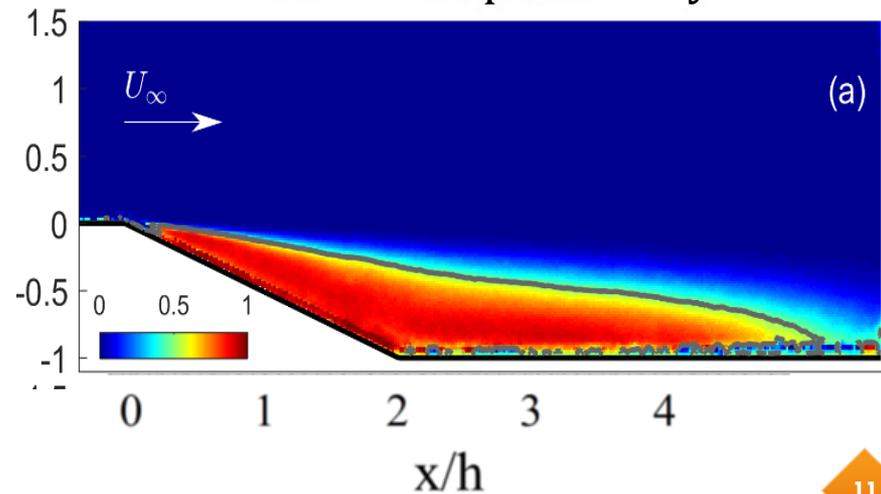


Entrainment through shear layer interfaces  
Stella et al. (JFM, 2017)

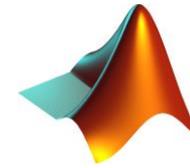
Instantaneous velocity field



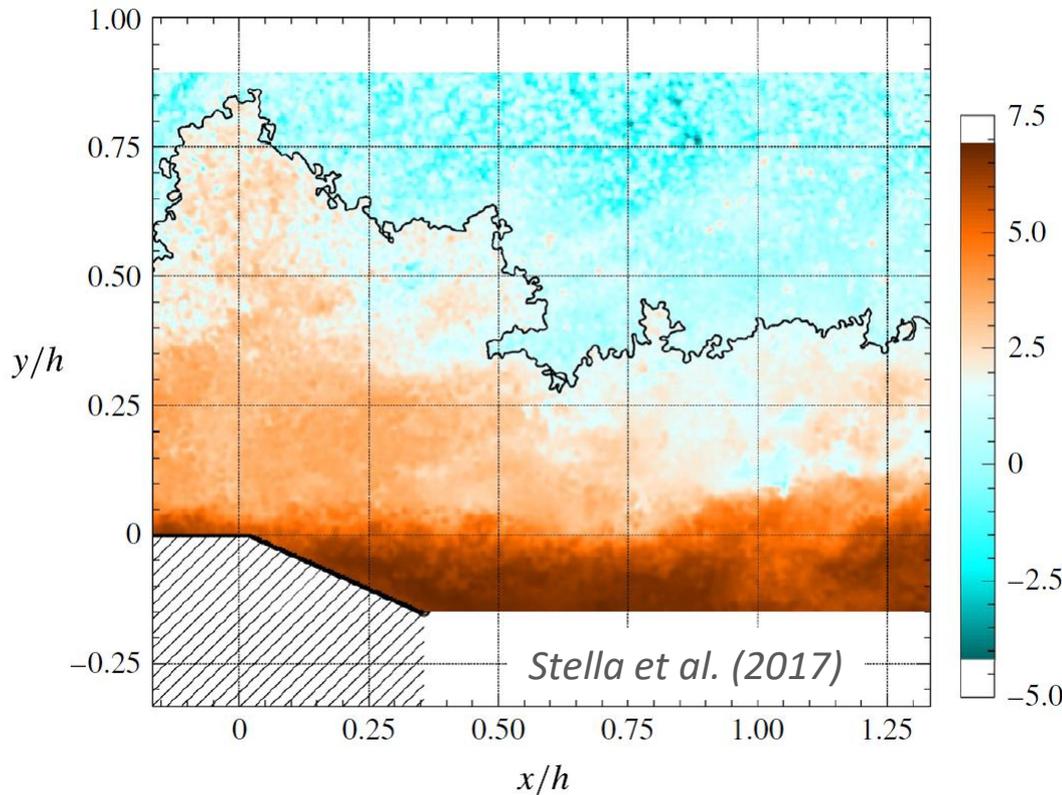
Backflow probability



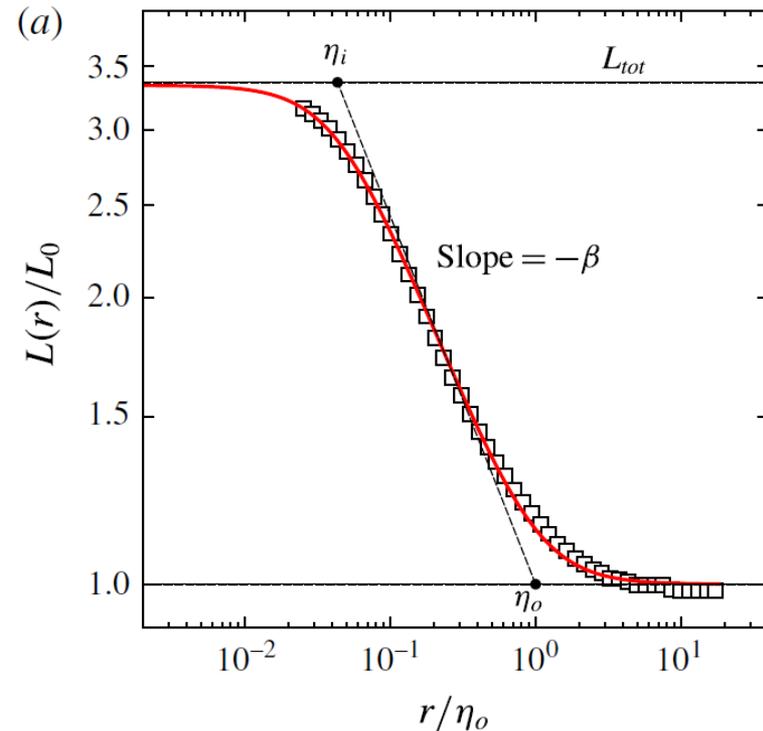
## ETAPE 3 : analyse d'images



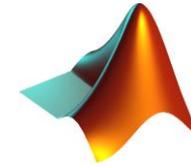
### Détection d'interfaces turbulentes



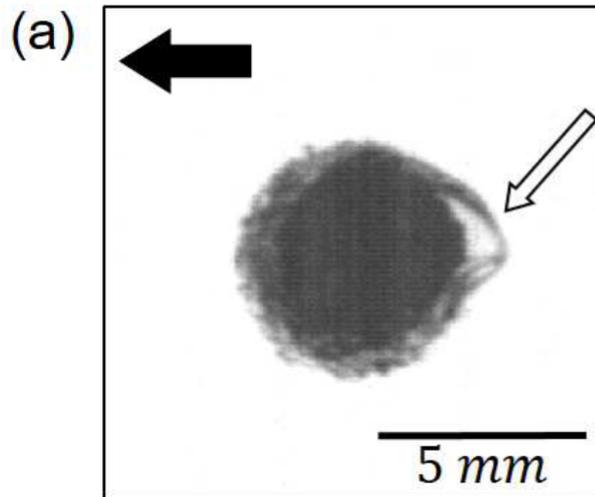
### Analyse fractale



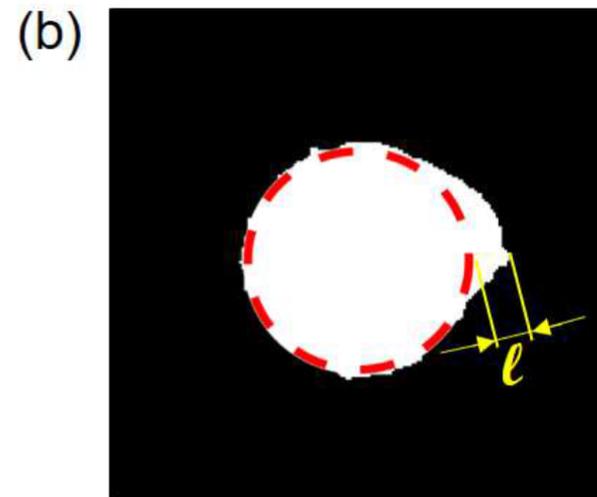
## ETAPE 3 : analyse d'images



### Détection d'interfaces induites par la turbulence



*Castagna et al. (2018)*



Quelles sont nos limites actuelles ?

**Approche probabiliste** = **grand nombre d'échantillons**  
(ex : 2000 paires d'images/Re dans Stella et al. (2017))

**Approche paramétrique** = **grand nombre de configurations**  
(ex : 24 conditions différentes dans Castagna et al. (2018))

**Dynamique spatio-temporelle** = **haute résolution OU haute cadence**  
(ex : 11 MP à 12 bits = 32 Mo / paire images = 125 Go / Re dans  
Stella et al. (2017))  
(ex : 4 MP @ 1kHz = 2 s dans Castagna et al. (2018))

**50 MP = 600 Go**

**Approche probabiliste = grand nombre d'échantillons**

(ex : 2000 paires d'images/Re dans Stella et al. (2017))

**Approche paramétrique = grand nombre de configurations**

(ex : 24 conditions différentes dans Castagna et al. (2018))

**Dynamique spatio-temporelle = haute résolution OU haute cadence**

(ex : 11 MP à 12 bits = 32 Mo / paire images = 125 Go / Re dans  
Stella et al. (2017))

(ex : 4 MP @ 1kHz = 2 s dans Castagna et al. (2018))

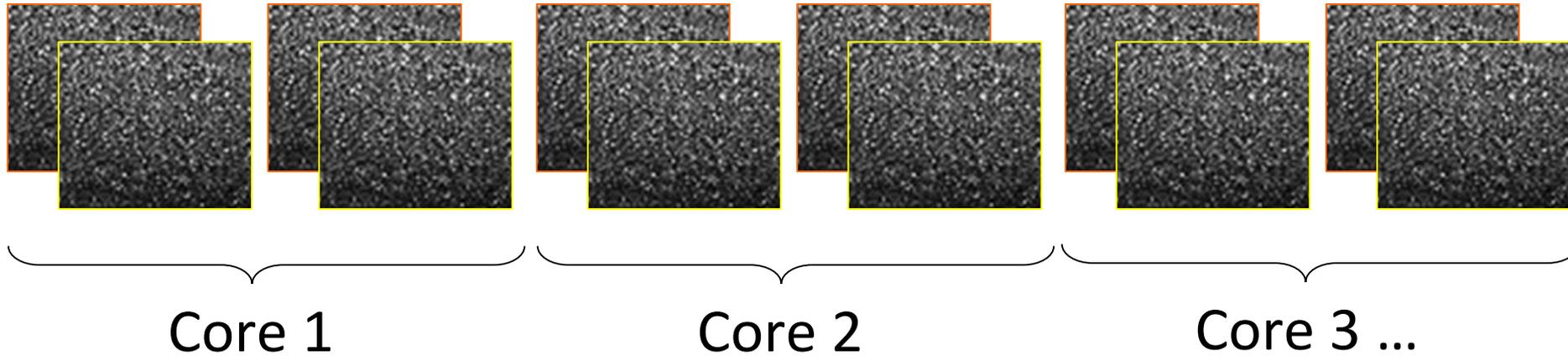
**Particle Tracking Velocimetry = 1 vecteur / particule**

**BDD = plusieurs To = frein à ETAPE 2 et ETAPE 3**

**MAIS**

**UNE GRANDE PARTIE DES OPERATIONS LOURDES  
PEUVENT ETRE TRAITÉES DE MANIÈRE INDEPENDANTE**

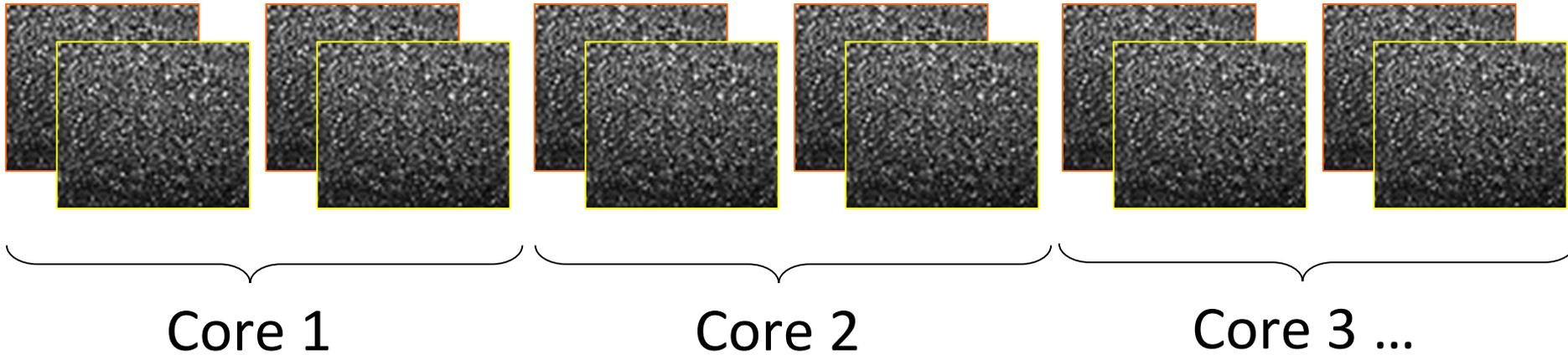
## Calcul parallèle local



### Obstacles potentiels :

- Outils de parallélisation
- Efficacité vs autres codes
- Capacités limitées

## Calcul distribué sur cluster (CASCIMODOT)



### Obstacles potentiels :

- Portabilité du code (contraintes, licences ...)
- Transfert des données
- Stockage des données

## CONCRETEMENT POUR NOUS

**MISE EN PLACE DES OUTILS ET TESTS = 2018**