

# MSc. Energie Solaire

Modélisation, Simulations et Calculs Hautes Performances pour  
l'Énergie Solaire

---

# COORDINATEUR DU PROJET

---

Marc Daumas, professeur des Universités

- + Laboratoire ELIAUS – Perpignan
- + Laboratoire PROMES (à partir du 1<sup>er</sup> janvier 2011)  
Suite à la fusion entre ELIAUS et PROMES
- + Recherche en informatique
  - × Calcul hautes performances
  - × Validation formelle des calculs
- + [marc.daumas@univ-perp.fr](mailto:marc.daumas@univ-perp.fr)
- + <http://eliaus.univ-perp.fr/~daumas>

# LABORATOIRES PARTICIPANTS

---

## ✘ PROMES

- + Equipe VED – Adrien Toutant
- + Participation du CEA (Stéphane Dellacherie)

## ✘ LIPN

- + Equipe OCAD – Jean-Christophe Dubacq

## ✘ LIG

- + Equipe MOAIS – Vincent Danjean

## ✘ Discussions en cours (CEA, CETHIL...)

# PRÉSENTATION RAPIDE DES LABORATOIRES

# PROMES (UPR CNRS 8521)

---

- ✘ Procédés, Matériaux, Energie Solaire
- ✘ Le laboratoire des Sciences Pour l'Ingénieur des Pyrénées Orientales (130 personnes après fusion)
  - + Perpignan (convention avec l'U. Perpignan)
  - + Odeillo (fours solaires)
  - + Targasonne (centrale solaire – projet Pégase)
- ✘ Thématique fédératrice forte : l'énergie solaire

# LES GRANDS EQUIPEMENTS DE PROMES



# LIPN (UMR CNRS 7030)

---

- ✗ Paris Nord (Paris 13)
- ✗ Domaines d'expertise
  - + Algorithmique
  - + Logique
  - + Langage naturel
  - + Apprentissage artificiel
- ✗ Quatre équipes : A<sup>3</sup>, LCR, OCAD et RCLN

# LIG (UMR CNRS 5217)

---

- ✘ Refonte en 2007 (plus de 500 personnes)  
CNRS, INRIA, Grenoble INP,  
U. Joseph Fourier, U. Pierre Mendés-France
- ✘ Quatre grands thèmes scientifiques
  - + Infrastructures informatiques
  - + Logiciel
  - + Interaction
  - + Traitement des connaissances

# GRANDES ARTICULATIONS DU PROJET

# OBJECTIFS DU PROJET

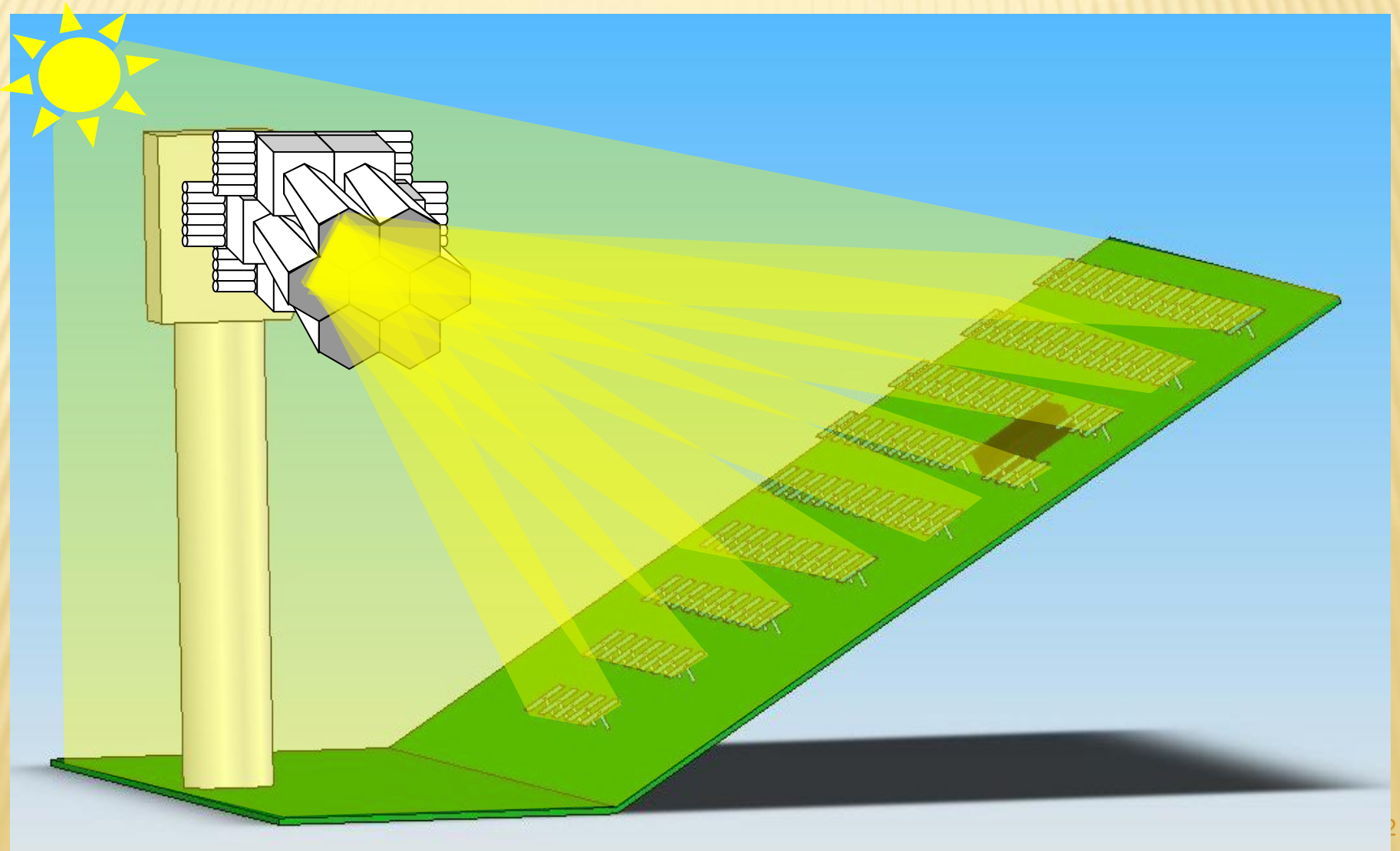
---

- ✘ Calcul hautes performances
  - + Pour les simulations numériques
  - + Pour le développement de l'énergie solaire
- ✘ Collaborations entre
  - + Les mathématiques
  - + L'informatique
  - + La physique

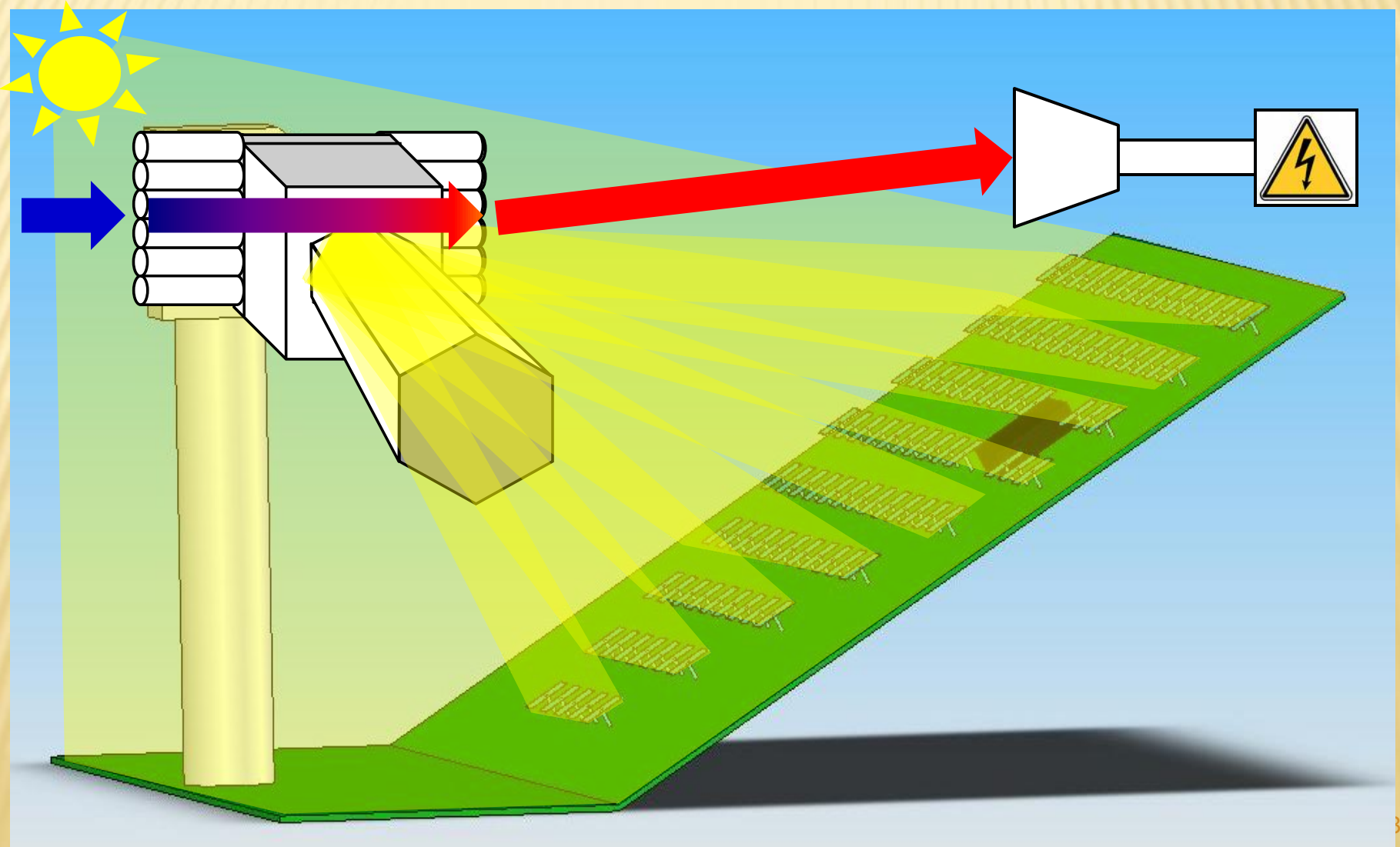
Etude physique

# GRANDES ARTICULATIONS DU PROJET

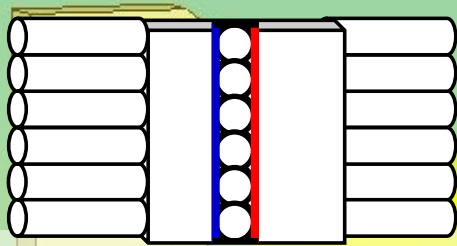
# PROBLÉMATIQUE DES CENTRALES SOLAIRES



# PROBLÉMATIQUE DES CENTRALES SOLAIRES



# PROBLÉMATIQUE DES CENTRALES SOLAIRES

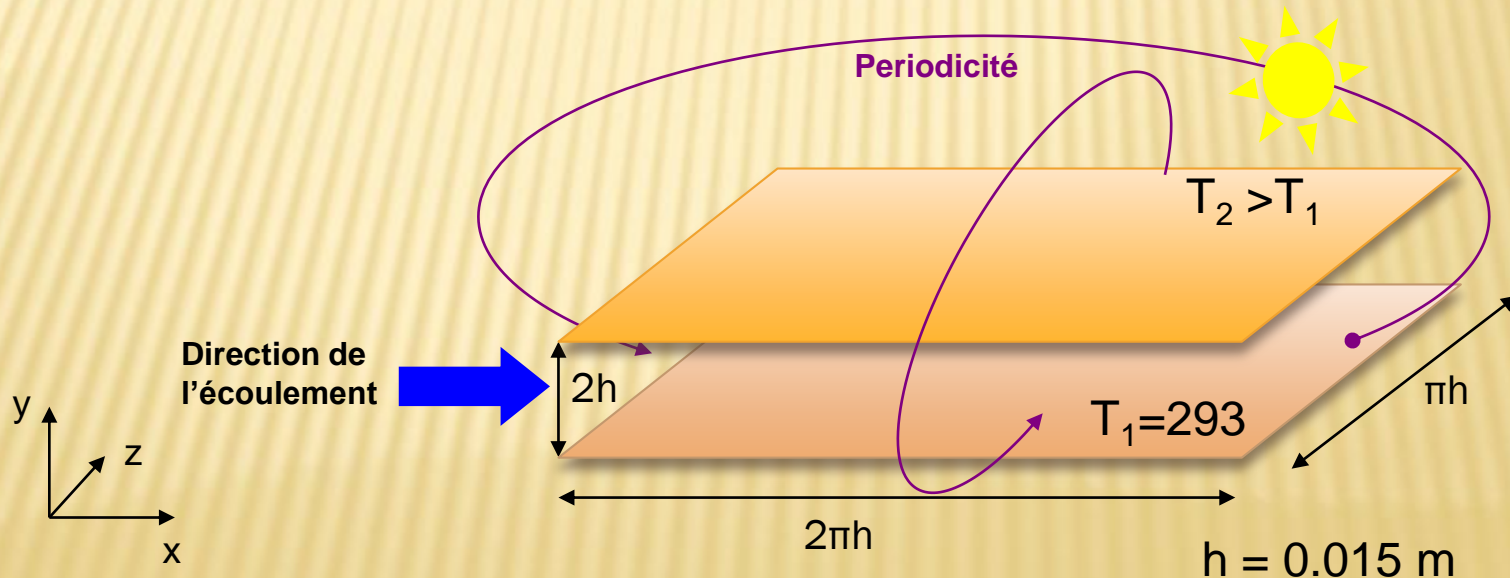


**Ecoulement turbulent soumis  
à de forts gradients thermiques et  
à des transferts radiatifs**

**Besoin de comprendre et de modéliser les  
phénomènes physiques afin d'améliorer les  
transferts thermiques**

# CHOIX D'UNE GÉOMÉTRIE ACADÉMIQUE

- ✘ Comparer avec la littérature
- ✘ Diminuer le temps de calcul
- ✘ Eviter des erreurs dues à la géométrie



# SIMULATIONS ET VALIDATIONS

		→	
		Intensité de la turbulence	
↘		$Re_\tau$	
$T_2/T_1$		180	395
Gradient thermique ↓	1	Kim (1987)	Moser (1999) Kawamura (1999, 2000)
	1.01	Debusschere (2004) Nicoud (1998)	
	2	Nicoud (1998)	
	5		Problématique des récepteurs solaires



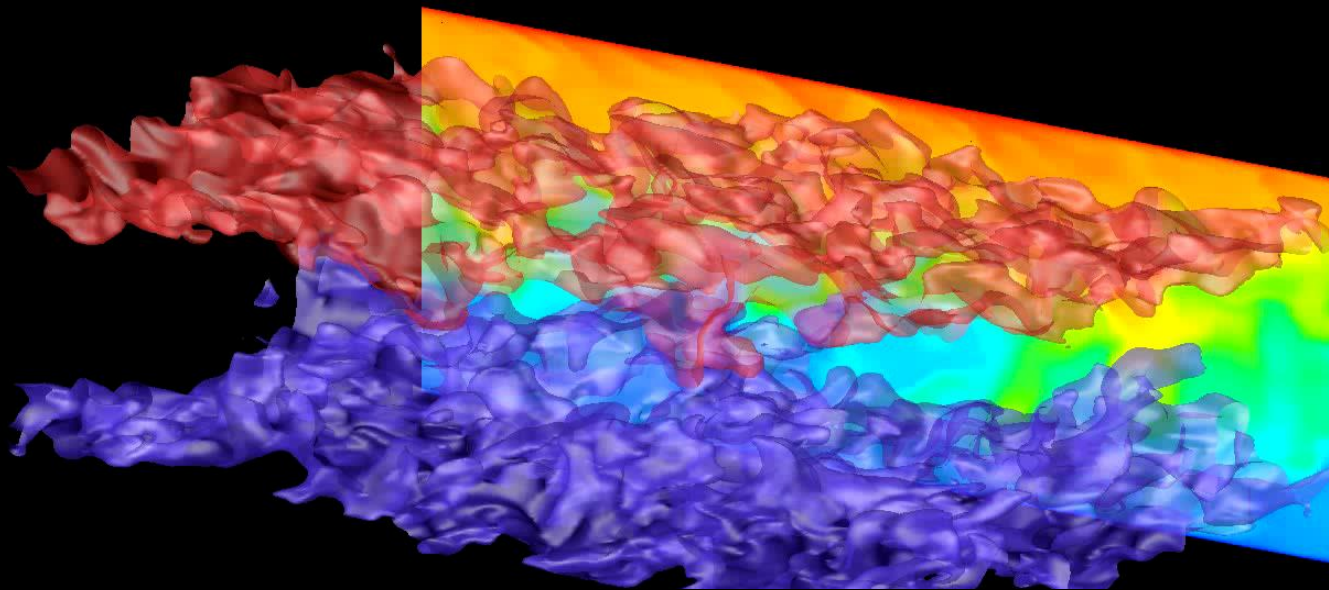
Validations des simulations avec la DNS (données de la littérature)



Premiers résultats de calculs obtenus à PROMES

# VERS UNE DNS ( $RE_T = 395$ ET $T_2/T_1 = 2$ )

Surface rouge : isotherme 500K  
Surface bleue : isotherme 400K



TEMPERATURE\_ELEM

550

500

450

400

350

300

Durée physique **6 ms**

Maillage de presque 9 millions de points

Temps de calcul **40 heures** sur 256 processeurs

Etude informatique

# GRANDES ARTICULATIONS DU PROJET

# SIMULATION PAR AUTOMATES CELLULAIRES

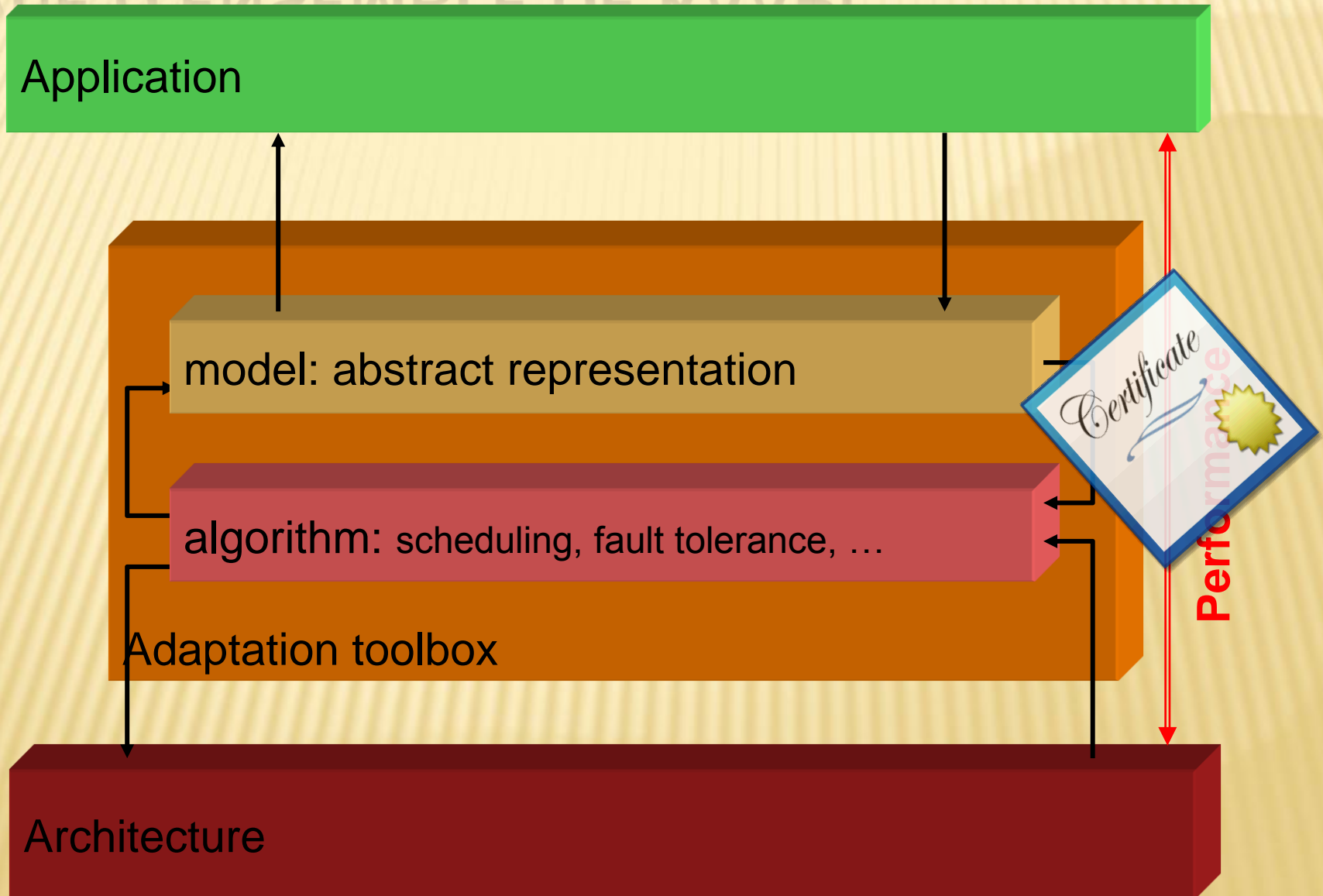
- ✗ Besoin de formes variées d'adaptabilités
  - + Système et environnements
  - + Applications et algorithmes
- ✗ Write once, run anywhere
  - + Virtualisation de l'architecture
    - ✗ Réseau / mémoire partagée
    - ✗ Processeurs...
- ✗ Avec des performances (garanties)
  - + Algorithmes d'ordonnancement (avec garanties)

# L'APPROCHE DE KAAPI

---

- ✘ Intervention au niveau du middleware
- ✘ Write once, run anywhere
  - + API de haut niveau
  - + Virtualisation de l'architecture
- ✘ Avec des performances (garanties)
  - + Représentation abstraite des applications
  - + Algorithme d'ordonnancement extérieur

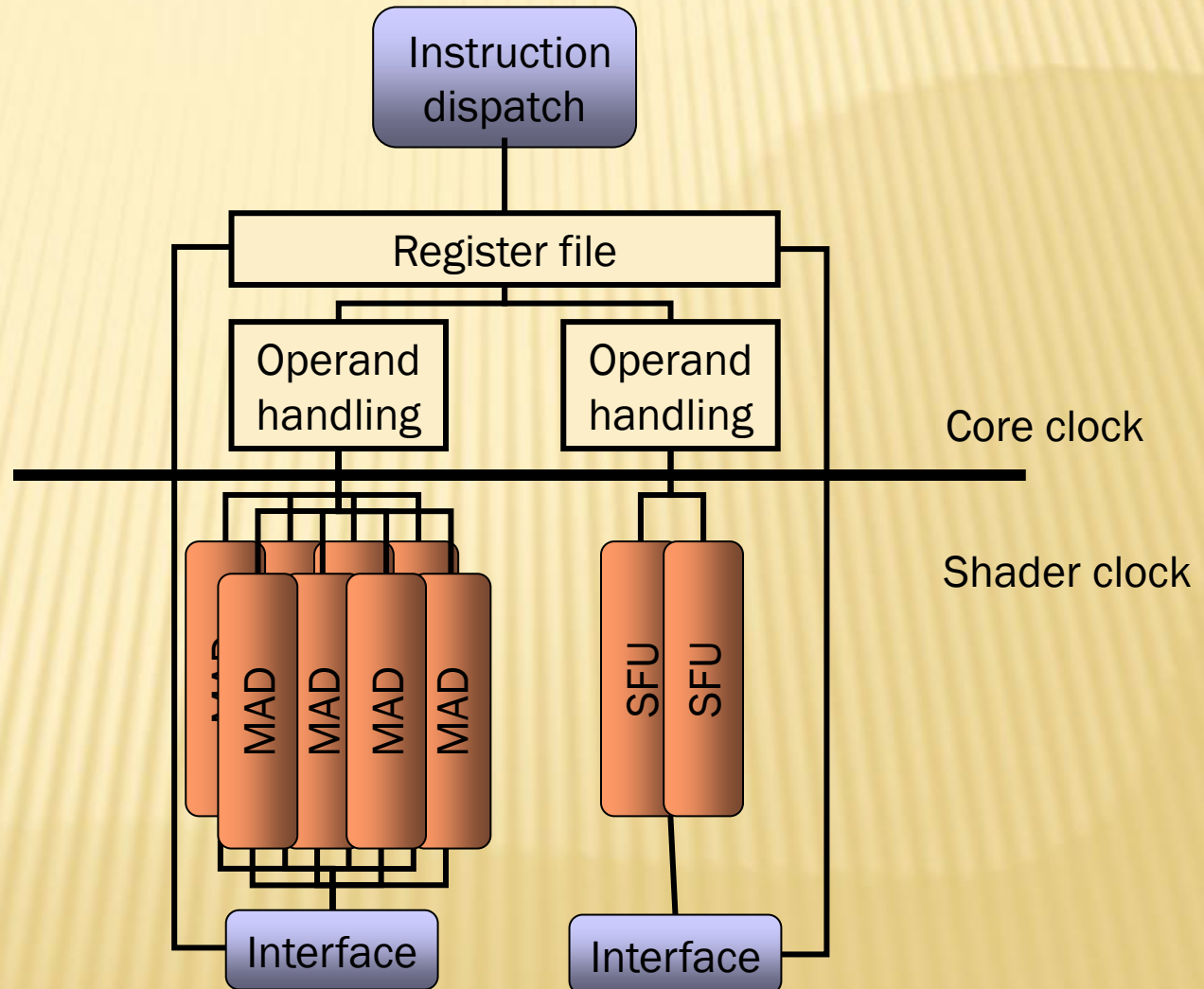
# VUE D'ENSEMBLE DE KAAPi



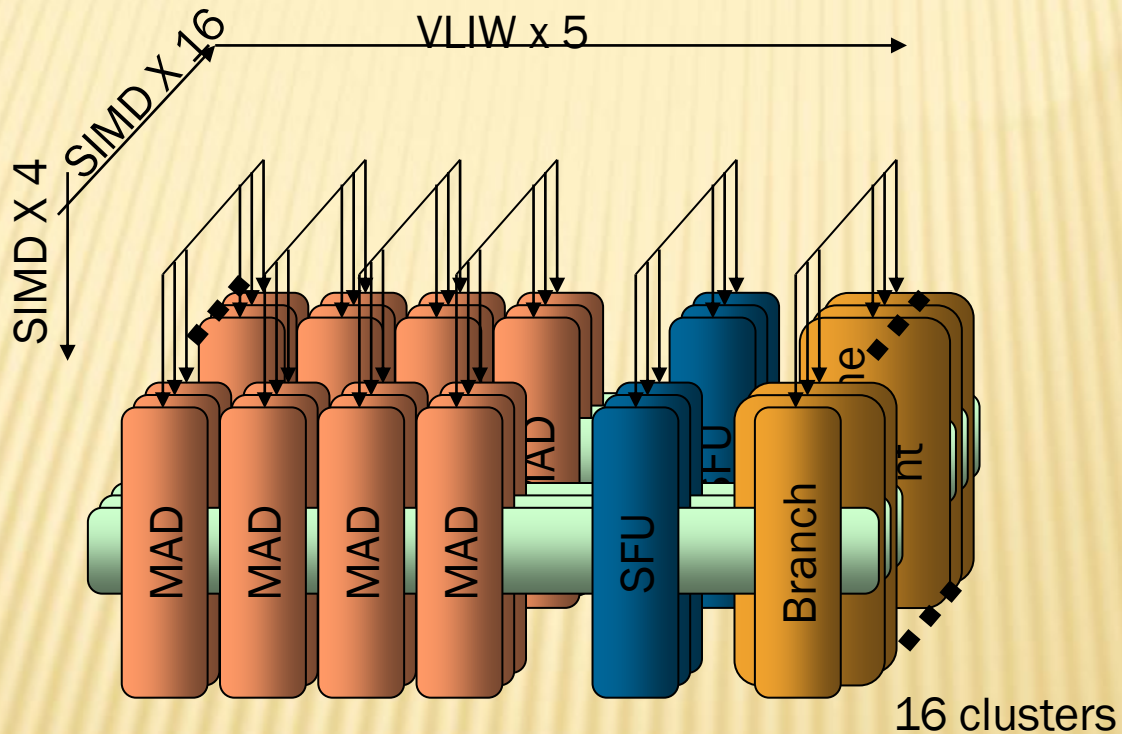
# API DE HAUT NIVEAU DE KAAPI

- × C++
- × Athapascan [APACHE 1996]
  - + Related to Jade [Rinard 1993]
  - + Language data flow de haut niveau
    - × Une instruction est prête quand toutes ses opérandes sont disponibles
  - + API de haut niveau : 2 constructions clé
    - × Objet partagé : espace d'adressage global
    - × Création de processus (fork)

# UNITÉ SIMD DU NVIDIA G80



# CLUSTER ATI R600



Verrous scientifiques et technologiques

# GRANDES ARTICULATIONS DU PROJET

# ÉTUDES ET CHOIX MÉTHODOLOGIQUES : SIMULATION DES TRANSFERTS CONVECTIFS

- ✗ À partir des équations de Boltzmann
- ✗ Proposer un système cinétique continu
  - Paramètre  $\varepsilon$  – temps de collision
- ✗ Discrétiser
- ✗ Obtenir et analyser une méthode LBM prenant en compte
  - + Turbulence
  - + Forts gradients de température
  - + Sources radiatives

# ÉTUDES ET CHOIX MÉTHODOLOGIQUES : SIMULATION DES TRANSFERTS RADIATIFS

- ✘ Raie par raie à hautes températures
- ✘ Méthode de Monte-Carlo
- ✘ Base HITRAN/HITEMP
- ✘ Couplage avec les transferts convectifs au niveau de
  - + Température thermodynamique
  - + Source thermique associée au rayonnement

# IMPLANTATION HIÉRARCHIQUE HÉTÉROGÈNE

- ✘ Espace-temps de l'automate cellulaire distribué sur 4 niveaux
  - + N1 – clusters de la grille
  - + N2 – nœuds de calcul des clusters
  - + N3 – éléments de calcul de chaque nœud
    - ✘ Processeurs
    - ✘ Accélérateurs matériels (GPU...)
  - + N4
    - ✘ Cœurs des processeurs
    - ✘ Unités logiques des accélérateurs matériels

# TÂCHES DU SIMULATEUR D'AUTOMATE

- ✘ Evolution dynamique du pavage
  - + Equilibrage des charges
  - + Résistance aux pannes
  - + Ajout d'éléments de calcul
- ✘ Equilibrage de charge dynamique entre
  - + L'automate cellulaire (pavage hiérarchique)
  - + Les autres calculs (transferts radiatifs)

# CONCLUSION

---

- ✘ Comprendre finement
  - + Les écoulements turbulents
  - + Le couplage avec les transferts de chaleur
  - + La simulation d'automates avec vol de travail
- ✘ Travaux et publications
  - + Mathématiques (étude amont de LBM)
  - + Informatique (grille, automates et GPU)
  - + Physique (turbulence, convection, radiations)

# PROCHAINE ETAPE

---

Groupe de travail pour mettre en place  
un projet ANR sur la programmation 2010

Demande de soutien de l'action  
« Interface Recherche en Grilles – Grilles de production »