

# Transport et Intégration temporelle dans MésoNH: nouveaux schémas

Florian Visentin, Jean-Pierre Pinty,  
Juan Escobar,  
Christine Lac, Tomislav Maric\* (now at UW)  
and financial support ANR SOLSTICE

# Historique des schémas dans MésoNH

Dès l'origine du modèle, les schémas numériques de transport et d'intégration sont des schémas **CENTRES** (espace et temps) :

- Discrétisation des flux advectifs avec schéma linéaire du 2nd ordre (opérateurs de Shuman)
- Intégration type « Leap-Frog »

Avantages: Simplicité (transport) et 2nd ordre (intég. temporelle)

Inconvénients: Ajout d'un terme de « diffusion numérique 4th ordre » pour filtrer des oscillations haute-fréquences (transport) et filtre d'Asselin-Robert (intégration): REGLAGES de COEFFICIENTS !!! dissipation excessive, faible pas de temps

Extension nécessaire: Schémas FCT puis MPDATA (itératif) pour le transport « défini positif » des champs scalaires

→ Lafore et al., Ann. Geoph., 1998

# Quelles alternatives pour MésoNH ?

Semi-Lagrangien: Quelques résultats précis en 2005 pour le transport des champs scalaires mais implantation délicate (relief, parallélisation difficile si Courant $>1$ , couplage avec schéma eulérien pour le momentum ?)

- Schémas eulériens d'ordre élevé: Famille de schémas compacts de Lele (1992) qui nécessite la résolution système N diagonal donc peu adaptés au massivement parallèle

**→ Une solution**: Se tourner vers les schémas décentrés « upstream », non-linéaires, 2 pas de temps (schémas type Godunov ou TVD, def $>0$  et monotones)

# Premières innovations dans MésoNH

En 2006, introduction d'un schéma **PPM** (transport de champs scalaires) et d'un schéma du **4th ordre** (transport du momentum)  
→ masdev 4.7.x

Schéma **4th ordre**: Extension 2nd → 4th du schéma centré

Schéma **Piecewise Parabolic Method** (Woodward and Collela, 1984)

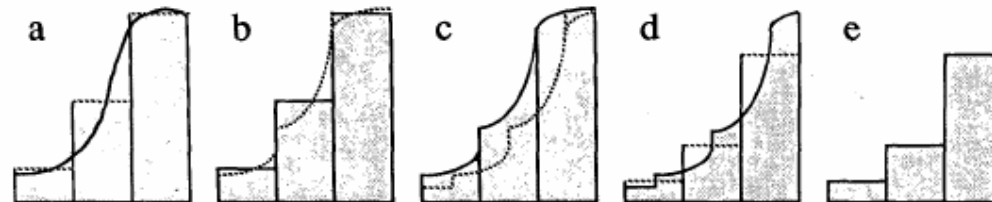


FIG. 5. Schematic illustration of the piecewise parabolic advection procedure. (a) From the initial distribution (solid curve), zone averages (dotted lines) are computed analytically. (This step is performed only at the beginning of the computations.) (b) Using the zone averages (solid lines), a parabola (dotted) is constructed within each zone. (c) The piecewise parabolic distribution is shown before (solid) and after (dotted) advection toward the right at a Courant number of approximately 0.5. (d) After advection, each parabola is integrated analytically to determine the new zone average (dotted). (e) The new zone averages are shown at the end of the time step (the beginning of the next time step). Adapted from van Leer (1977).

Avantages du PPM: Schéma précis, défini positif, monotone, stable pour Courant < 0.999...

Inconvénient mineur: Intég. « upstream » Forward in Time ( $O(\Delta t)$ )

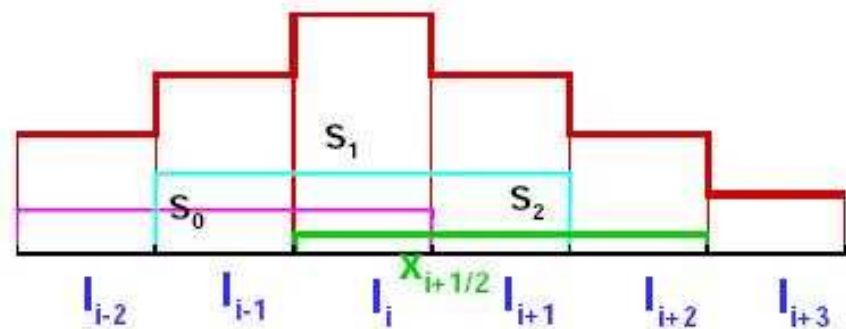
# Développements en cours dans MésoNH

En 2009, adoption définitive des schémas PPM (FiT) et CEN4TH (LF)  
→ masdev 4.8.2B mais configuration hybride (FiT+LF) non totalement satisfaisante. En 2010, poursuite du projet d'amélioration des schémas de MésoNH avec pour objectifs:

- Intégration « upstream » FiT pour scalaires ET momentum (nouveau)
- Extension FiT → Runge-Kutta 3rd ordre (RK3)

Introduction de schémas type WENO: Weighted Essentially Non Oscillating (Liu, Osher, Chan, 1994) pour le transport monotone du momentum → WENO1, 3 et WENO5

WENO5: 3 stencils pour estimer les flux advectifs →



# Développements en cours dans MésoNH

Codage d'un schéma d'intégration temporel type RK3

Wicker et Skamarock (2002)

$$y_i^\bullet = y_i^n - \frac{\Delta t}{3\Delta x} (\mathbf{F}_{i+1/2}^n - \mathbf{F}_{i-1/2}^n)$$

$$y_i^{\bullet\bullet} = y_i^\bullet - \frac{\Delta t}{2\Delta x} (\mathbf{F}_{i+1/2}^\bullet - \mathbf{F}_{i-1/2}^\bullet)$$

$$y_i^{n+1} = y_i^{\bullet\bullet} - \frac{\Delta t}{\Delta x} (\mathbf{F}_{i+1/2}^{\bullet\bullet} - \mathbf{F}_{i-1/2}^{\bullet\bullet})$$

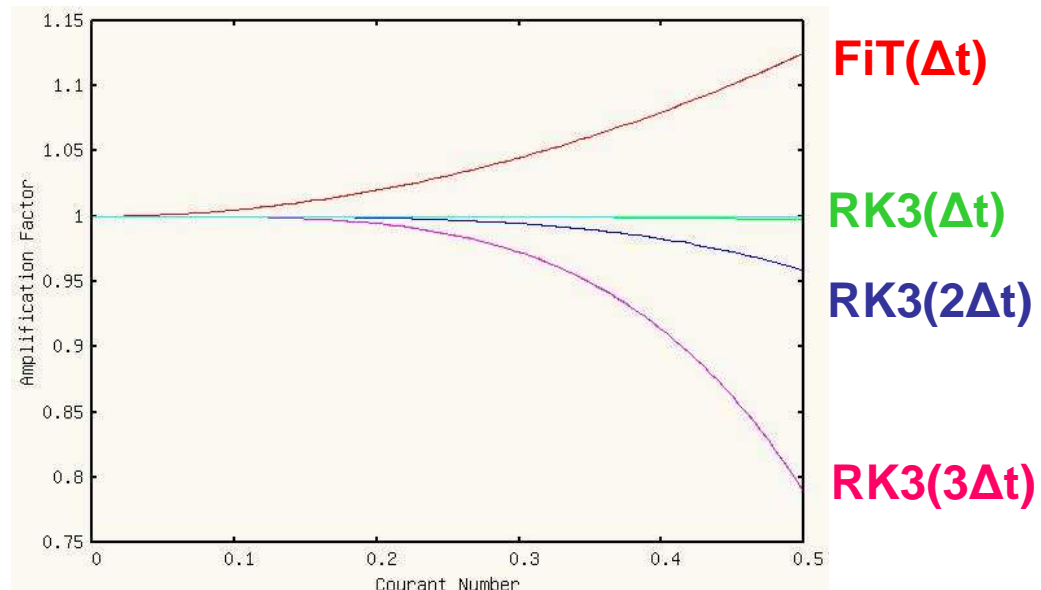
TVD-Low Storage

$$y_i^\bullet = y_i^n - \frac{\Delta t}{\Delta x} (\mathbf{F}_{i+1/2}^n - \mathbf{F}_{i-1/2}^n)$$

$$y_i^{\bullet\bullet} = \frac{3}{4} y_i^\bullet + \frac{1}{4} \left[ y_i^\bullet - \frac{\Delta t}{\Delta x} (\mathbf{F}_{i+1/2}^\bullet - \mathbf{F}_{i-1/2}^\bullet) \right]$$

$$y_i^{n+1} = \frac{1}{3} y_i^n + \frac{2}{3} \left[ y_i^{\bullet\bullet} - \frac{\Delta t}{\Delta x} (\mathbf{F}_{i+1/2}^{\bullet\bullet} - \mathbf{F}_{i-1/2}^{\bullet\bullet}) \right]$$

**RK3:**  
**Courant < 1.73**  
**FiT:**  
**Théor. Instable**  
**(cf. D.Durran)**

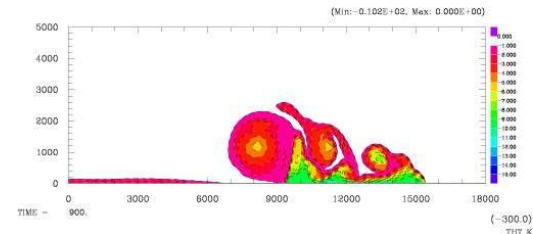
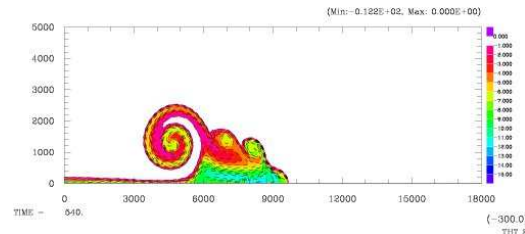


# Résultats: schéma PPM+WENO

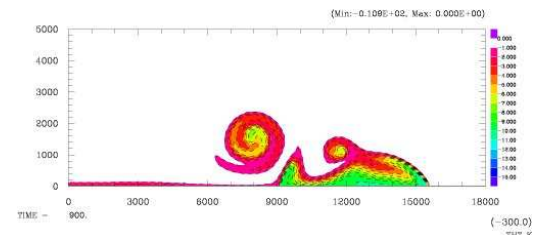
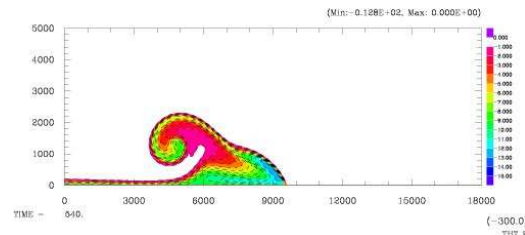
## cas test de la bulle froide (50m, 0.5 s)

pert. -16.2K, atm. isentrope, open, terme diffusif  $20\Delta(u,w,\Theta)$ ,  $Pr=1$

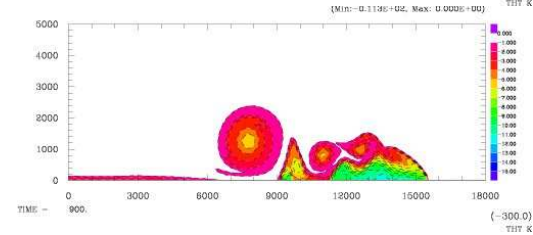
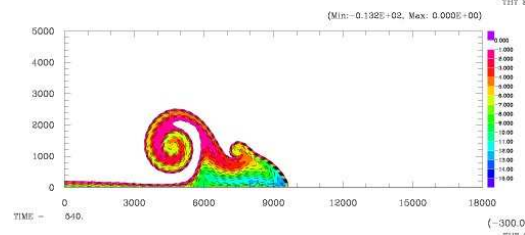
SIMP3



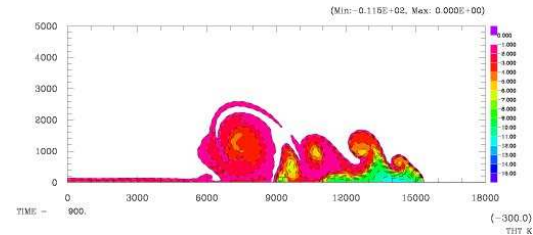
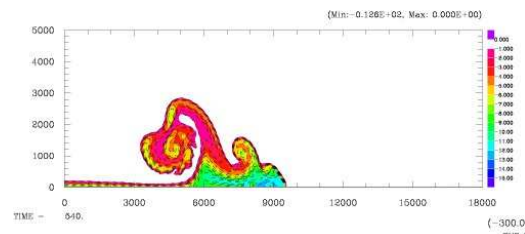
WENO1



WENO3



WENO5

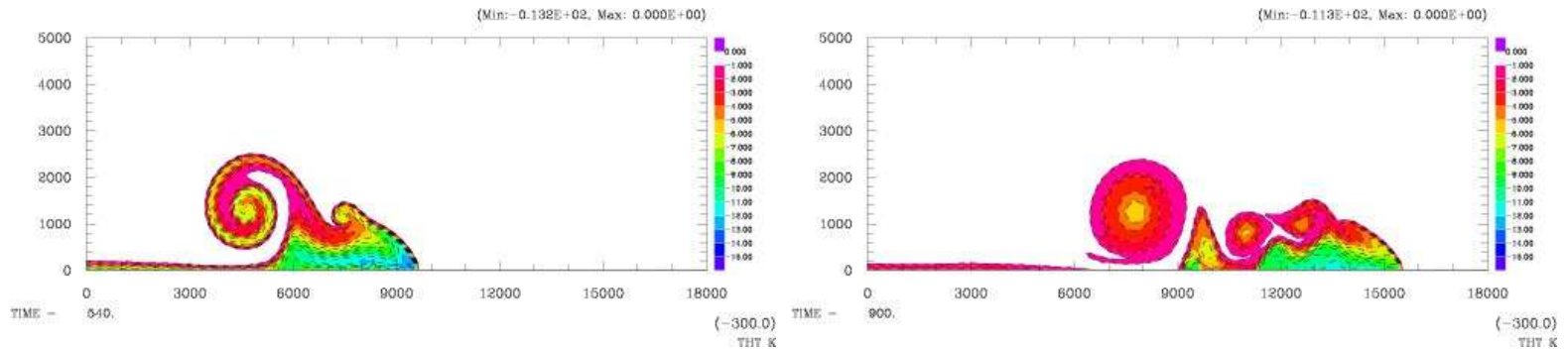


# Résultats: schéma PPM+WENO3

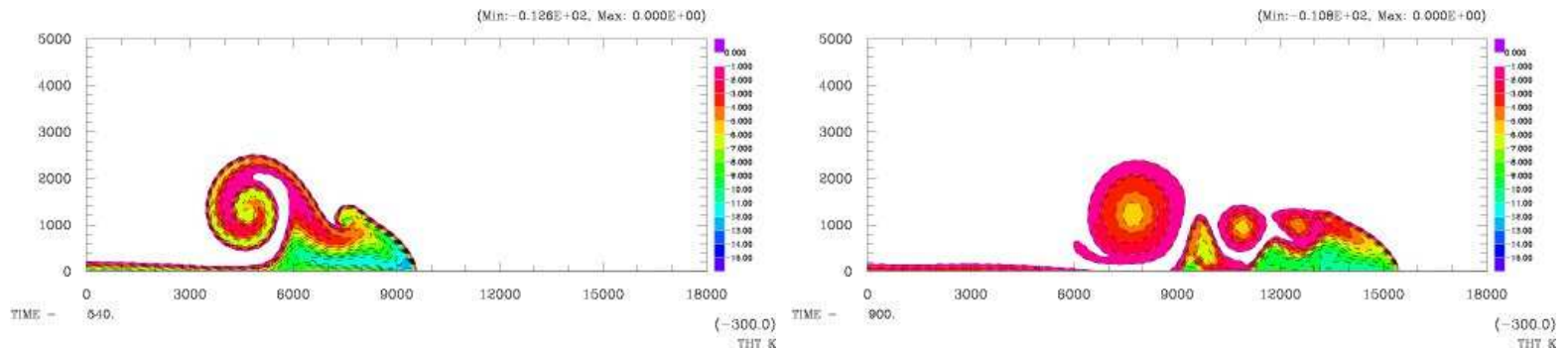
## cas test de la bulle froide (50m, 0.5 s)

pert. -16.2K, atm. Isentrope, open, terme diffusif  $20\Delta(u,w,\Theta)$ , Pr=1

**FiT**



**RK3**



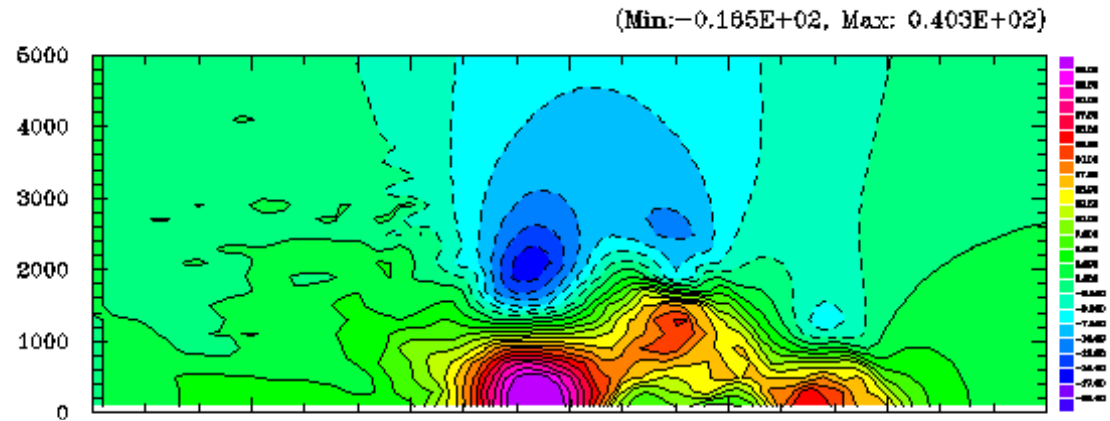
Remarque: La solution RK3 (0.5 s) est équivalente à la solution FiT (0.2 s)



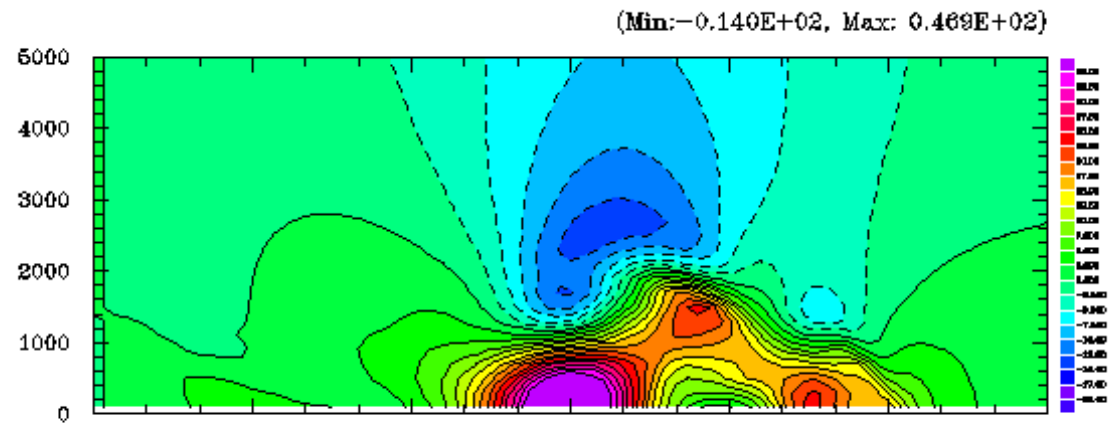
$\Delta t=2$  s,  $\Delta x=200$  m CYCL

U

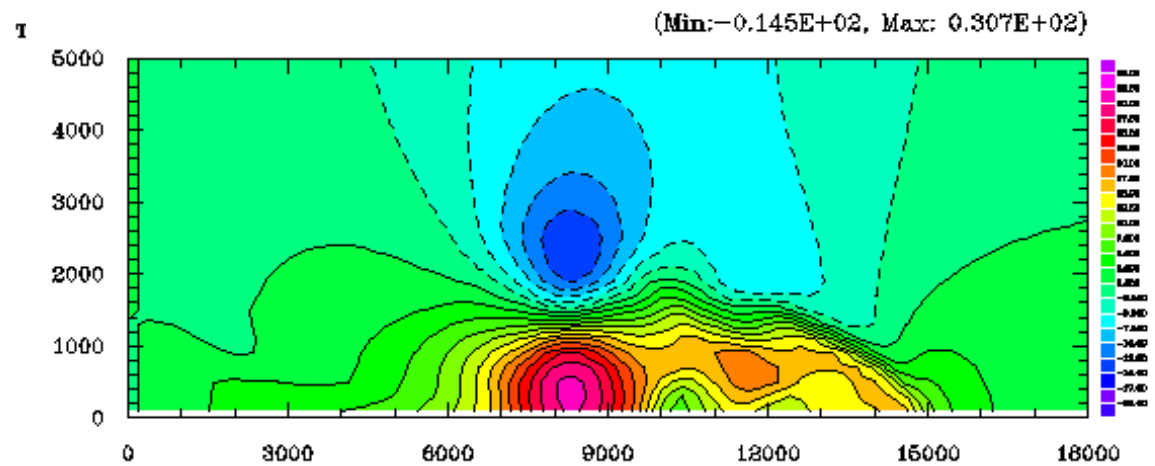
CEN4TH - LF



UPS3RD - FIT



WENO3 - FIT



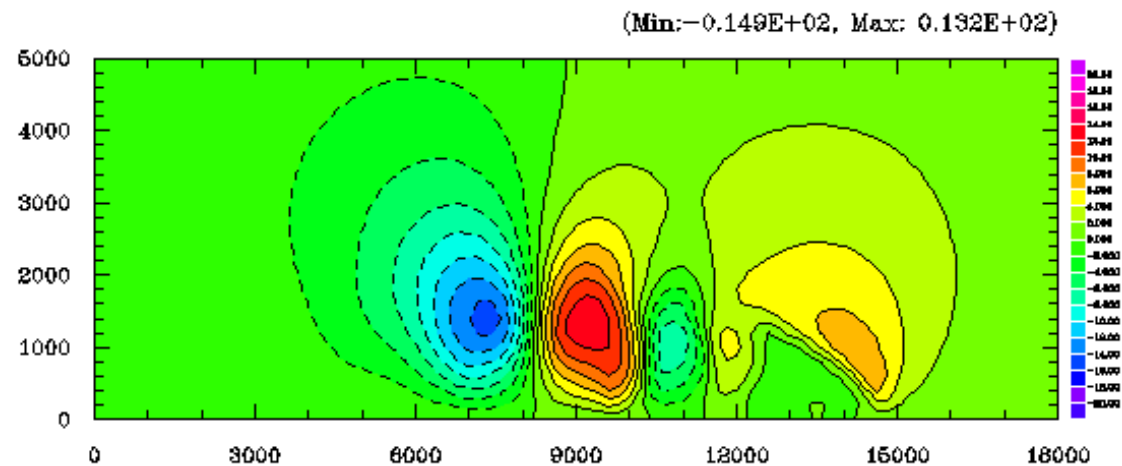
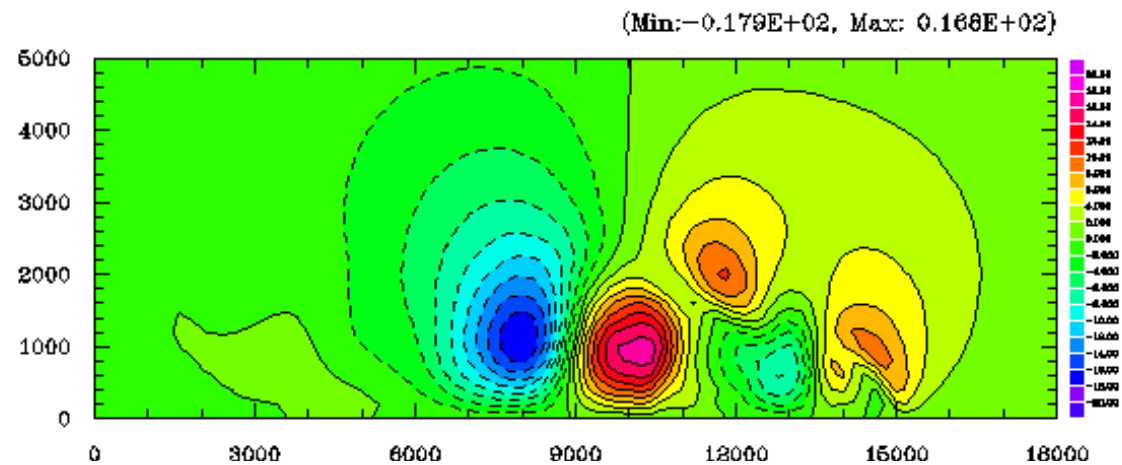
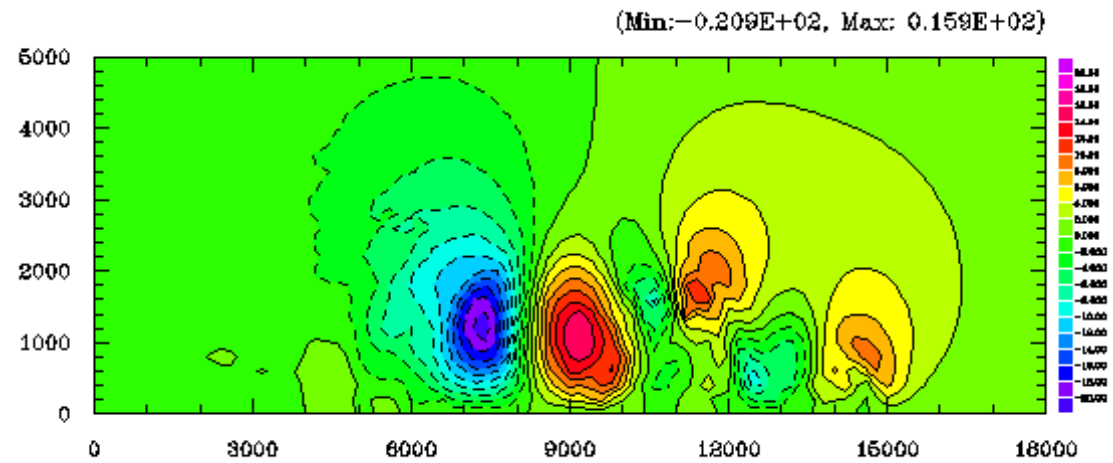
$\Delta t=2$  s,  $\Delta x=200$  m CYCL

W

CEN4TH - LF

UPS3RD - FIT

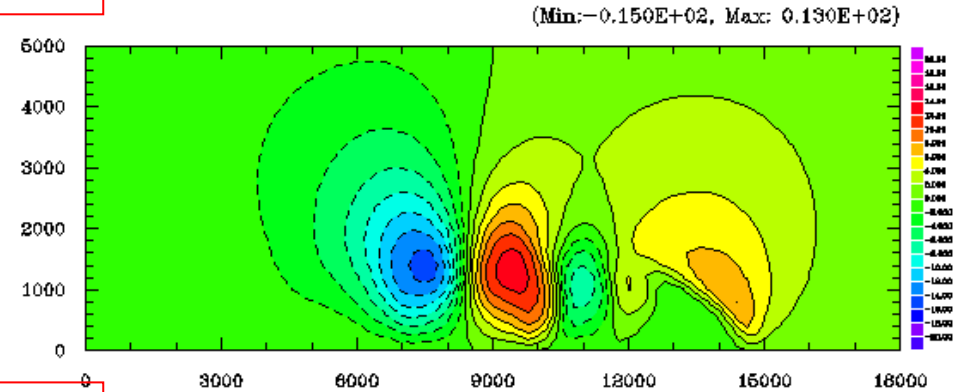
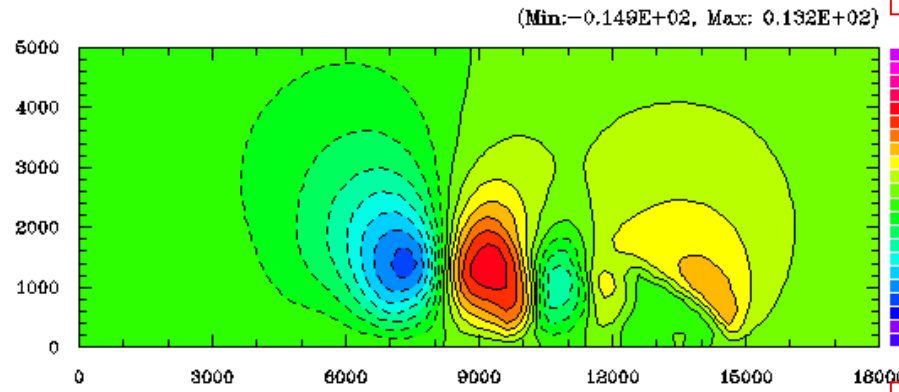
WENO3 - FIT



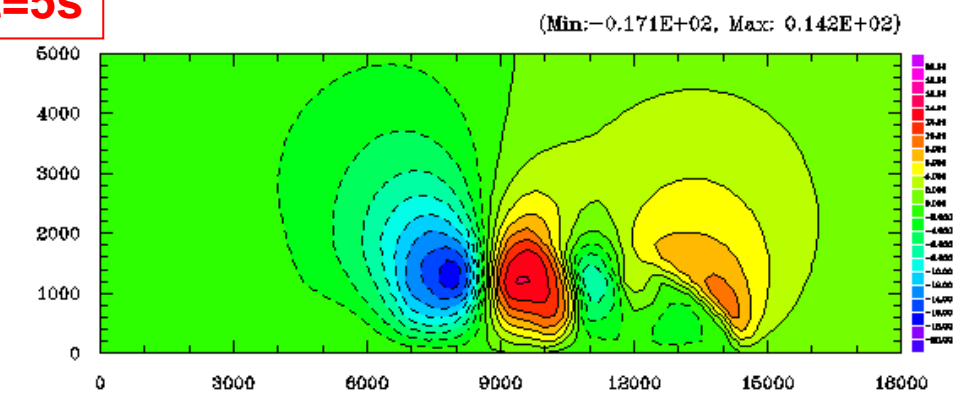
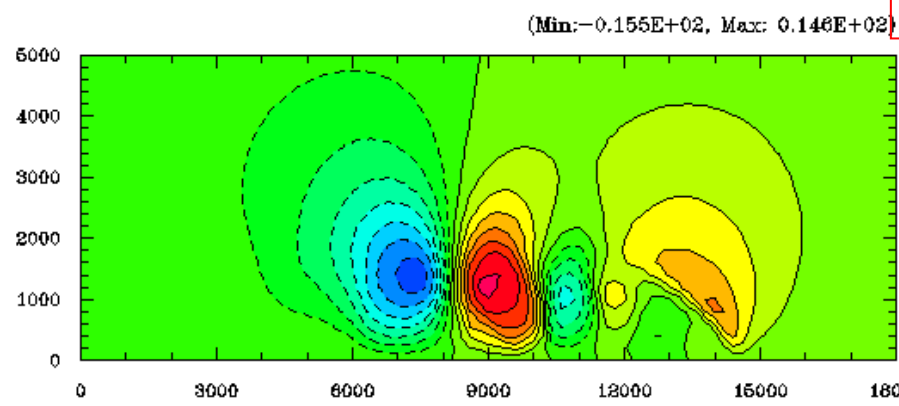
# WENO3 - FIT

$\Delta t=2s$

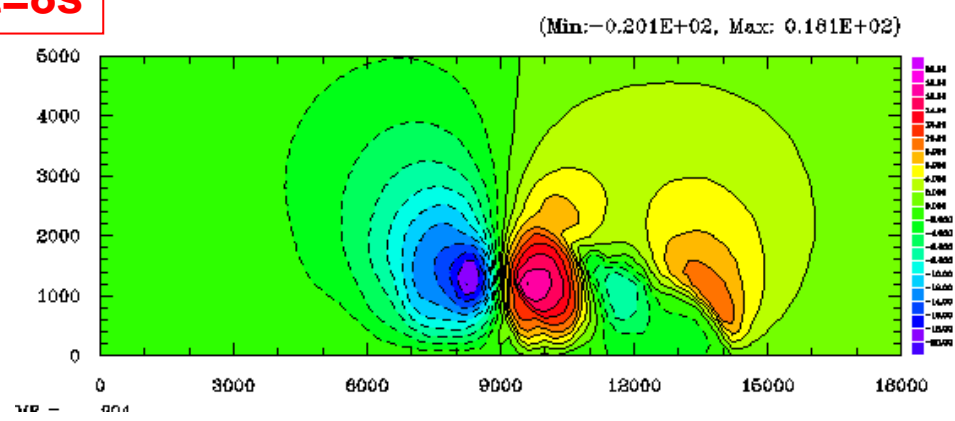
# WENO3 - RK3



$\Delta t=5s$



$\Delta t=8s$



**W**

wp - 004

# Récapitulatif des simulations à 200 m

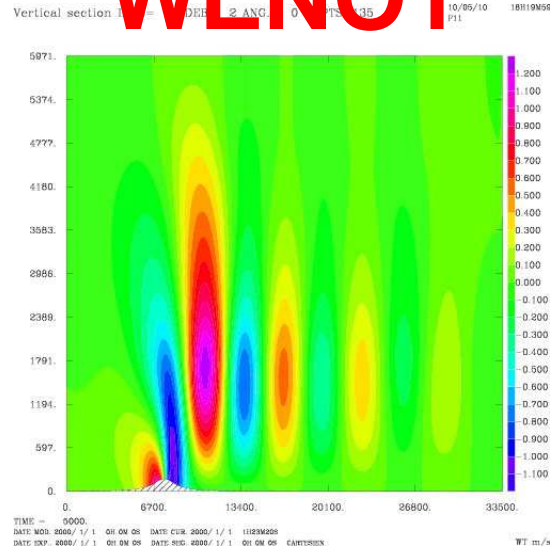
Schémas	$\Delta t$	CFLmax	Total CPU	Advection	Pression
LF/CEN4TH	2s	0.4	102s	44%	39%
FIT/UP3	2s	0.4	97s	45%	38%
FIT/WENO3	2s	0.4	128s	50%	35%
FIT/WENO3	5s	1	43s	49%	37%
RK3/WENO3	8s	1.37	77s	51%	43%

# Résultats: schéma PPM+WENO

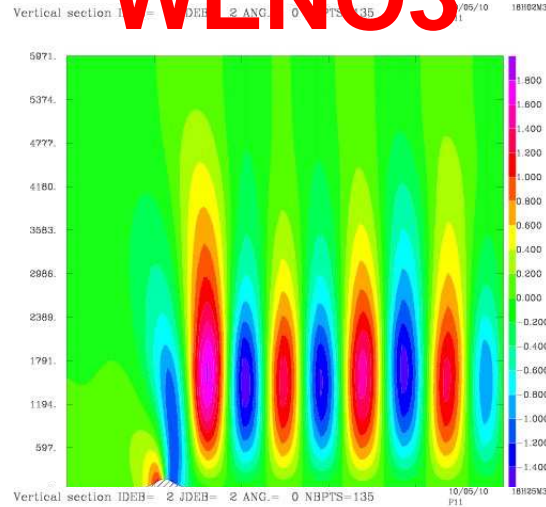
## cas test des ondes NH piégées

Set-up T. Maric, no turbulence,  $\Delta t=5$  s

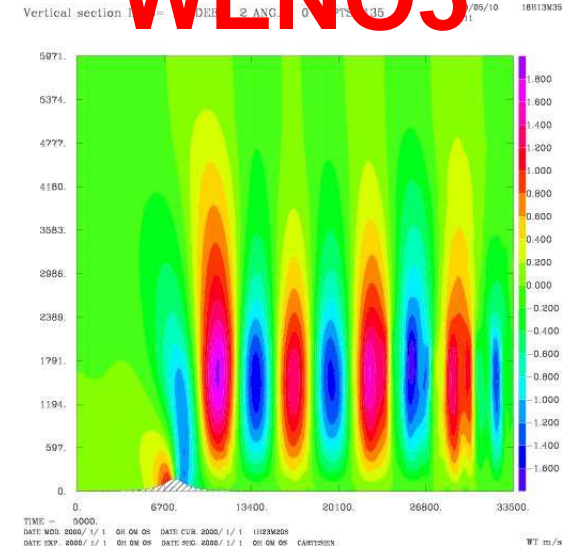
### WENO1



### WENO3



### WENO5



**CEN4TH →**  
**Asselin=0.2**  
**T4diff=50 s**

# Conclusion

- Acquis:
  - codage et tests WENO3, 3D, ≠ CLL et //
  - intégration FiT ( $2x\Delta t$ ), sans diff. explicite
  - documentation
- A acquérir rapidement:
  - vérifier WENO5, CLL=OPEN, // (HALO3 ?)
  - tester RK3, plusieurs options
- Objectif à atteindre:
  - version MésoNH avec physique complète basée sur un noyau PPM+WENO+RK3