

DÉVELOPPEMENT DE MÉTHODES DE RÉSOLUTION INNOVANTES POUR LES SIMULATIONS CFD EN SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Journées scientifiques en hommage à Jean-Claude Latché

Fabien Duval - 10/06/2026

LES PREMIERS ÉCHANGES

► Mon premier contact avec Jean-Claude (stage M2 1999)

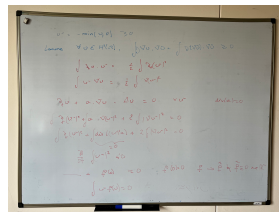
- Un chef de labo chaleureux
- Un bronzage de Corse (probablement, sinon des courts de tennis ?)
- Une Zen attitude : les Stan-Smith sur le bureau ...

► Mes premières discussions scientifiques (thèse 1999-2002)

- Un chef de labo toujours intéressé pour discuter modèles & schémas
- Le tableau blanc comme support incontournable !
- Une clarté de l'exposé et un certain sens de l'humour ...

► Et ensuite ... (recrutement 2004)

- Toujours de grandes qualités humaines et scientifiques, animé d'un besoin de partager/échanger
- Un sens de l'humour qui se confirme ...



UNE STRATÉGIE ET UN FIL CONDUCTEUR

► Design d'un outil CFD à usage "industriel"

→ Pouvoir résoudre le(s) système(s) algébrique(s) correspondant(s) ... de manière efficace ?

(i) Systèmes linéaires de taille "modeste", solveurs dédiés performants (cg, bicgstab, ...)

(ii) Flexibilité accrue (aspects multi-physiques)

→ Schémas en temps à pas fractionnaires (y compris pour le couple vitesse-pressure)

→ Préserver une certaine stabilité ... indépendamment du pas d'espace/temps ?

(i) Principe du maximum discret

(ii) Identité d'énergie au niveau discret

(iii) Condition inf-sup stable discrète

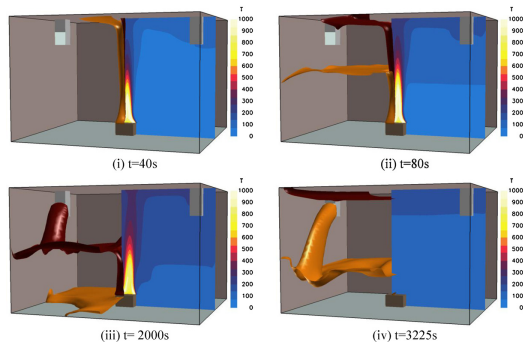
→ Grilles à mailles décalées et construction d'un opérateur discret vérifiant les identités (i)-(ii)

→ Maintenir une certaine précision ... à tout Mach ?

DE L'INCOMPRESSIBLE OU FAIBLEMENT COMPRESSIBLE ...

► Sûreté incendie : un problème multi-physique

- Positivité de y_k , T
- Bilan d'énergie cinétique au niveau discret (stabilité)
- Positivité de k et ε (EDPs avec second membre L^1)
- Positivité et convergence pour le modèle radiatif P_1



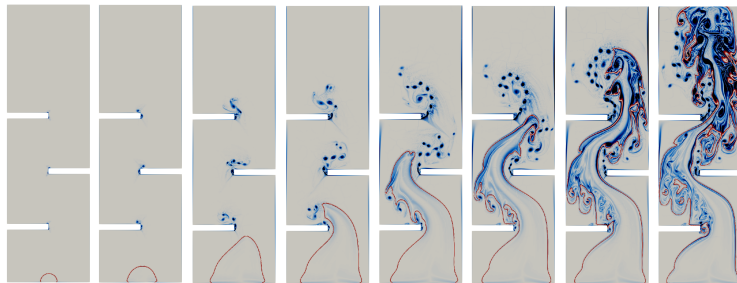
simulation Reynolds-Averaged Navier-Stokes d'un incendie dans un local ventilé de 120 m^3 (isothermes $100\text{-}150^\circ$ et champ de température)

- Boyer, F. *et al.*, *Stability of a Crank-Nicolson pressure correction scheme based on staggered discretizations*, International Journal for Numerical Methods in Fluids, 2014
- Gallouët, T., *et al.*, *Convergence of a finite volume scheme for the convection-diffusion equation with L^1 data*, Mathematics of Computation, 2012
- Gallouët, T., *et al.*, *Analysis of a fractional-step scheme for the P_1 radiative diffusion model*, Computational and Applied Mathematics, 2016

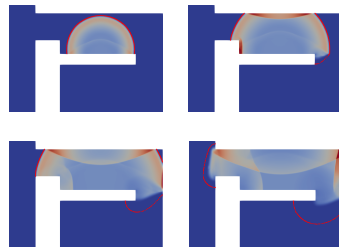
VERS LE COMPRESSIBLE SUBSONIQUE ET LA DÉTONATION ...

► Risque hydrogène : des performances "tout Mach"

- Positivité de ρ , e , p et y_k
- Bilan d'énergie cinétique / totale au niveau discret (stabilité, qualité des prévisions LES / consistance en présence de choc)



simulation des grandes échelles de l'accélération d'une flamme de prémélange (front de flamme & vorticité)



évolution de la surpression engendrée par une détonation

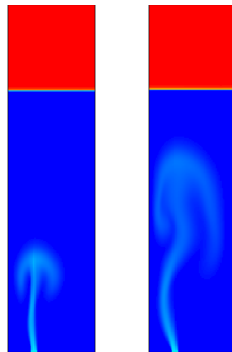
Herbin, R., *et al.*, Consistent segregated staggered schemes with explicit steps for the isentropic and full Euler equations, M2AN, 2018

Gastaldo, L., *et al.*, A MUSCL-type segregated-explicit staggered scheme for the Euler equations, Computers & Fluids, 2018

JUSQU'AUX ÉCOULEMENTS DIPHASIQUES ...

► Accidents graves & systèmes passifs : de nombreuses applications

- Algorithme de correction de pression pour un modèle d'écoulement diphasique
- Positivité de ρ , p et y_k
- Préservation de la discontinuité de contact (interface)
- Performances tout Mach



simulation du comportement dynamique à basse fréquence d'une colonne à bulles (fraction volumique gaz)

Gastaldo, L., et al., *An unconditionally stable finite element-finite volume pressure correction scheme for the drift-flux model*, M2AN, 2010

Kheriji, W. et al., *Pressure correction staggered schemes for barotropic one-phase and two-phase flows*, Computers & Fluids, 2013

SO FAR SO GOOD . . .

► Bien d'autres applications (tout ce dont je n'ai pas parlé . . .)

- ➡ Algorithme de correction de pression pour un modèle d'écoulement viscoélastique
- ➡ Schéma de transport anti-diffusif à la THINC (VOF, . . .)
- ➡ Schéma consistant et positif pour l'approche DQMOM
- ➡ Proposition de schémas pour le couplage neutronique / thermohydraulique à l'échelle canal
- ➡ . . .

► Mais aussi . . . quelques problèmes où on se risque sur le bizarre (il y en a aussi)

- ➡ Vers un schéma énergétiquement neutre pour les approches VOF-CSF
- ➡ Réflexions autour de la simulation des grandes échelles en maillage non-structuré
- ➡ . . .

