

Simulation numérique 3D de chute de goutte de pluie à vitesse terminale

Félix Henri, Mathieu Coquerelle, Pierre Lubin

GDR Transinter - Aussois 2019
felix.henri@u-bordeaux.fr

université
de **BORDEAUX**



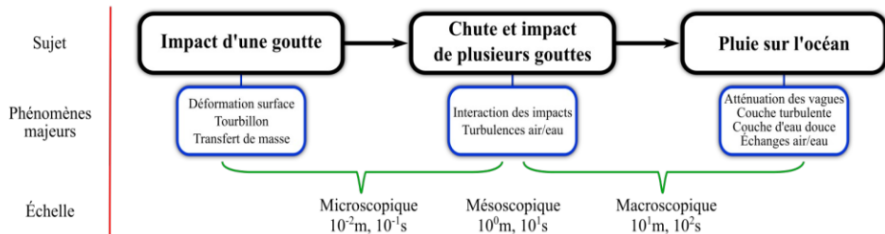
notus
Computational Fluid Dynamics

 **I2M** BORDEAUX
INSTITUT DE
MÉCANIQUE
ET D'INGÉNIERIE

Projet à long terme

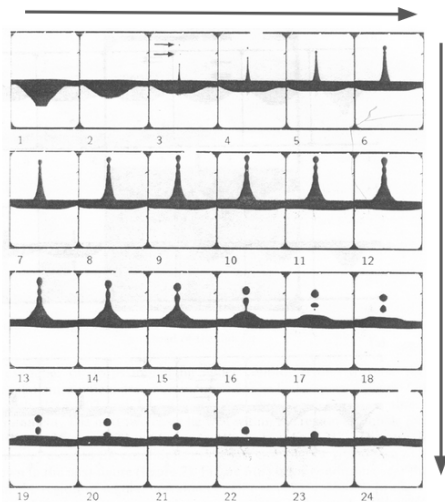


Projet à long terme



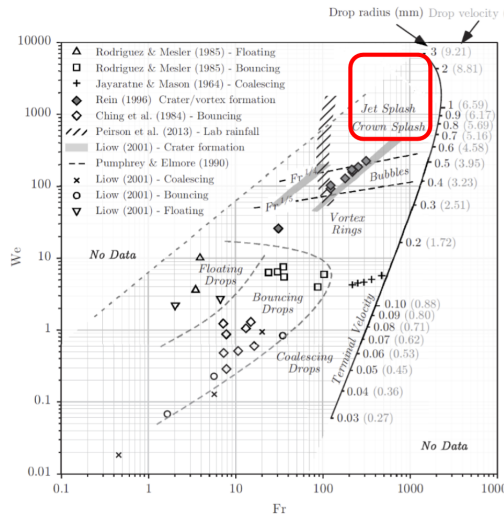
$$Fr = \frac{U}{\sqrt{gL}} = \frac{\text{Energie cinétique}}{\text{Energie potentielle gravitationnelle}} \quad We = \frac{\rho UL}{\mu} = \frac{\text{Forces d'inertie}}{\text{Tension superficielle}}$$

Impact de goutte



Impact de goutte - Liow 2001

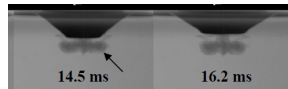
Cartes des phénomènes



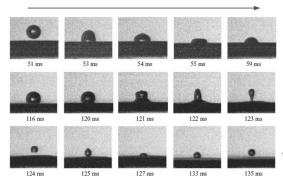
Carte des phénomènes - Veron 2014



Formation d'une canopée - Veron



Vortex après impact - Cole 2007



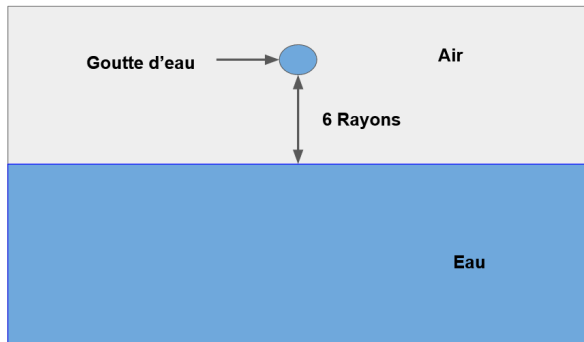
Coalescence en cascade - Liow 2001

Simulation d'impact de goutte



Résultat du stage de F.Desmons

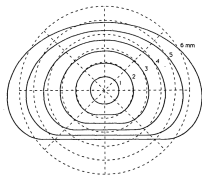
Comment initialiser la goutte avant l'impact ?



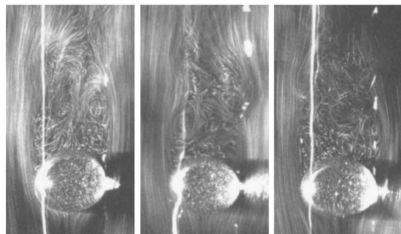
- Forme de la goutte
- Vitesse de la goutte
- Le champ de vitesse à l'intérieur et à l'extérieur de la goutte

Ce qu'on l'ont sait sur les gouttes à vitesse terminale

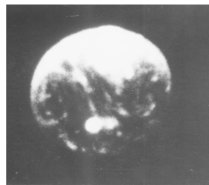
- Vitesse terminale de la goutte
- Présence de vortex dans la trainée
- Forme analytique de la goutte
- Existence des recirculations internes



*Modèle de Bread et Chuang - Beard
1987*



Trainée de la goutte - Saylor 2005



Recirculation interne - LeClair 1972



Code de calculs Open Source massivement parallèle résolu par volumes finis sur grille cartésienne pour des écoulements incompressibles

Navier-Stokes incompressible / Level-Set

$$\begin{cases} \rho \left(\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} \right) = \nabla p + \nabla \cdot (2\mu \mathbf{D}(\mathbf{u})) + \rho \mathbf{g} + \sigma \kappa_{\Gamma} \delta_{\Gamma} \mathbf{n} \cdot \\ \nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \\ \frac{\partial \phi}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla \phi = 0 \end{cases}$$

Modèle 1-fluide

$$\rho(\phi) = \rho_1 + (\rho_2 - \rho_1)H(\phi)$$

$$\mu(\phi) = \mu_1 + (\mu_2 - \mu_1)H(\phi)$$

Domaine modélisé

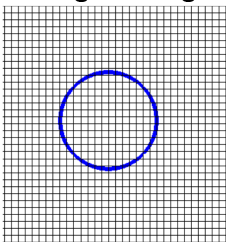
Paramètre de la goutte :

Goutte de 5mm de diamètre

Vitesse terminale 9.14 m.s^{-1} (1)

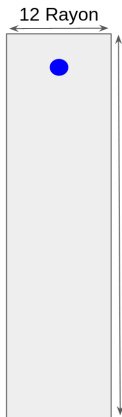
Hauteur de chute nécessaire 12m air (2)

Maillage de la goutte :



Minimum 14 cellules par diamètre

Domaine numérique total :



Total cellules :

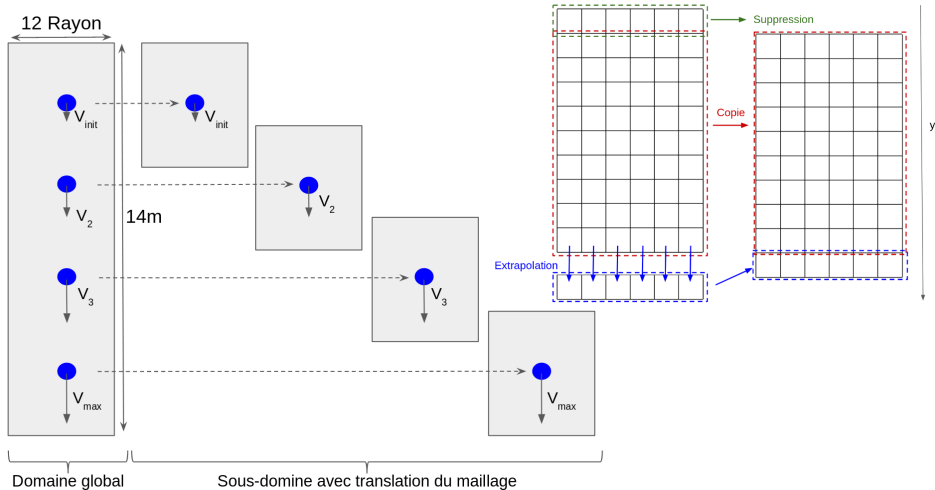
2D - 3 Millions

3D - 282 Millions

Comment réduire le domaine modélisé ?

1. M.Abdelouahabab R.Gatignolc - Study of falling water drop in stagnant air 2016
2. W.G. Uplinger - A new formula for raindrop terminal velocity 1981

Domaine réduit avec translation du maillage



Taille du domaine réduit : $12 \cdot \text{Rayon} \times 30 \cdot \text{Rayon}$ 2D \rightarrow 16 000 / 3D \rightarrow 1,3 Millions

Validation de la stabilité de la méthode sur un cas 2D

Goutte de 5mm de diamètre

Vitesse maximale atteinte : $4.8m.s^{-1}$

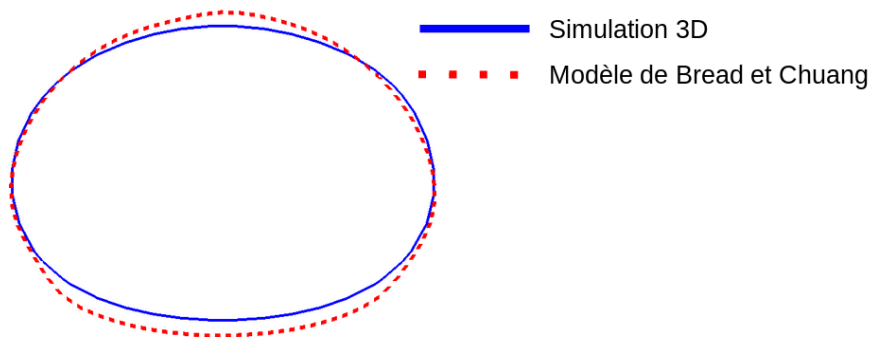
Reynolds = 1300

Validation de la méthode sur un cas 3D

Goutte de 5mm de diamètre

Vitesse maximale : $9,0 m.s^{-1}$ Vitesse théorique de $9.14 m.s^{-1}$

Reynolds = 2600



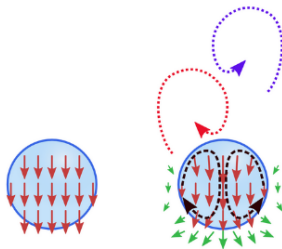
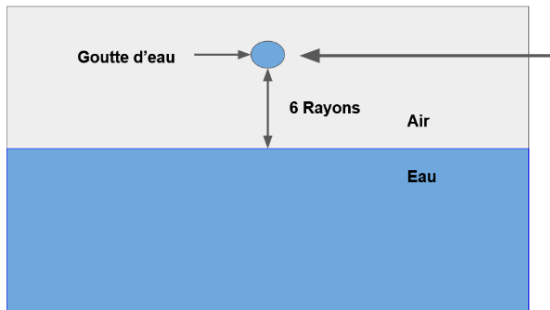
Validation de la méthode sur un cas 3D

Simulation 3D de chute de goutte / 3 Millions de mailles - 128 processeurs - 1 jour

Différence sur l'initialisation avant impact

Goutte de 5mm de diamètre

Initialisé avec la même forme / Vitesse terminale



Conclusion

- Réduit le domaine d'étude par 100 (en 3D)
- Validation d'une méthode de translation de maillage
- Simulation d'une goutte en chute libre à vitesse terminale

Perspectives

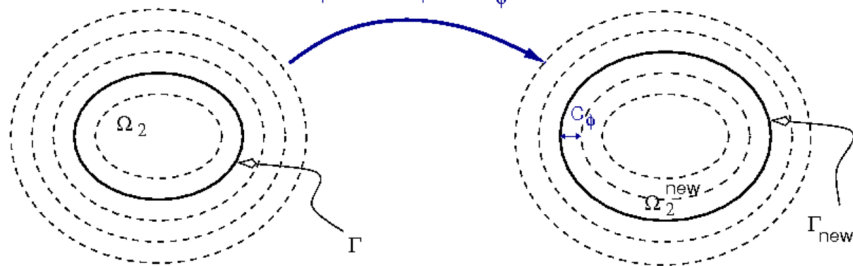
- Étude paramétrique en fonction du rayon de la goutte
- Comparaison avec un impact de goutte en 3D
- Modélisation du champ de vitesse interne et externe de la goutte

Algorithme de correction de masse pour Level-Set

$$\begin{aligned} S_{exact} - S(\Omega_2) &= \int_{\Omega_2^{new}} dx - \int_{\Omega_2} dx = \int_{\Gamma} (C_{\phi} \cdot x dx) \cdot x d\Gamma + O(C_{\phi}^2) \\ &= C_{\phi} \int_{\Gamma} d\Gamma + O(C_{\phi}^2) \end{aligned}$$

$$C_{\phi} = \frac{S_{exact} - S(\Omega_2)}{L_{\Gamma}}$$

$$\phi^{new} = \phi + C_{\phi}$$



Algorithme de correction de masse pour Level-Set

$$\begin{aligned} S_{exact} - S(\Omega_2) &= \int_{\Omega_2^{new}} dx - \int_{\Omega_2} dx \\ &= \int_{\Gamma} (C_{\phi} \cdot x dx) \cdot x d\Gamma + O(C_{\phi}^2) \\ &= C_{\phi} \int_{\Gamma} d\Gamma + O(C_{\phi}^2) \end{aligned}$$

$$C_{\phi} = \frac{S_{exact} - S(\Omega_2)}{L_{\Gamma}}$$

