

Volume influence of sessile drop on its macroscopic contact angle in weightlessness

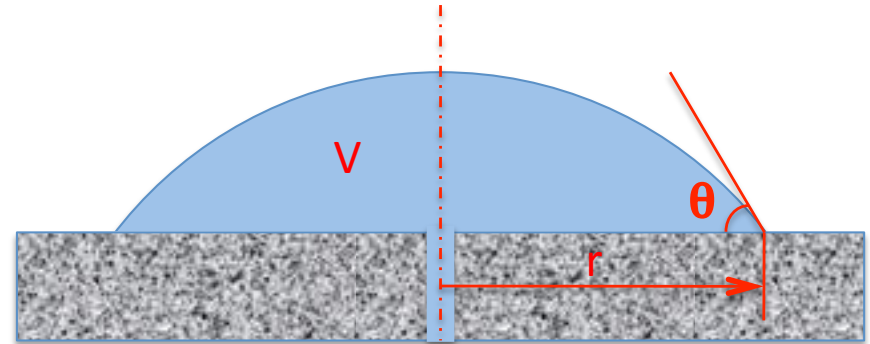
Marc Médale, David Brutin

Aix-Marseille Université – IUSTI UMR 7343 – Marseille, France

marc.medale@univ-amu.fr

Motivations, objectifs

- Création de **gouttes sessiles** en **apesanteur** ayant un **volume choisi** ;
- Répétition de la séquence : injection, étalement, évaporation, évacuation du liquide résiduel ;
- Problèmes récurrents de **prédiction** et de **reproductibilité** au cours de plusieurs séries d'expériences : Maser 14 (ESA), vols paraboliques (CNES), etc.
- **Proposer un modèle** qui contribue à comprendre le comportement, afin de **pré dimensionner** de **nouvelles expériences** en **apesanteur**.



Etat de l'art, bibliographie

- Plus de 100 ans que de grands physiciens apportent leur contribution à une meilleure compréhension des problèmes de mouillage d'un substrat par un liquide, **en gravité terrestre** :

– **P. S. Laplace (1804)** :
$$\frac{\partial^2 z}{\partial r^2} + \left(1 + \left(\frac{\partial z}{\partial r}\right)^2\right) \frac{\partial z}{r \partial r} - \left(2 + \frac{\rho g R_0^2}{\gamma_{lg}} z\right) \left(1 + \left(\frac{\partial z}{\partial r}\right)^2\right)^{\frac{3}{2}} = 0$$

Dérive l'équation

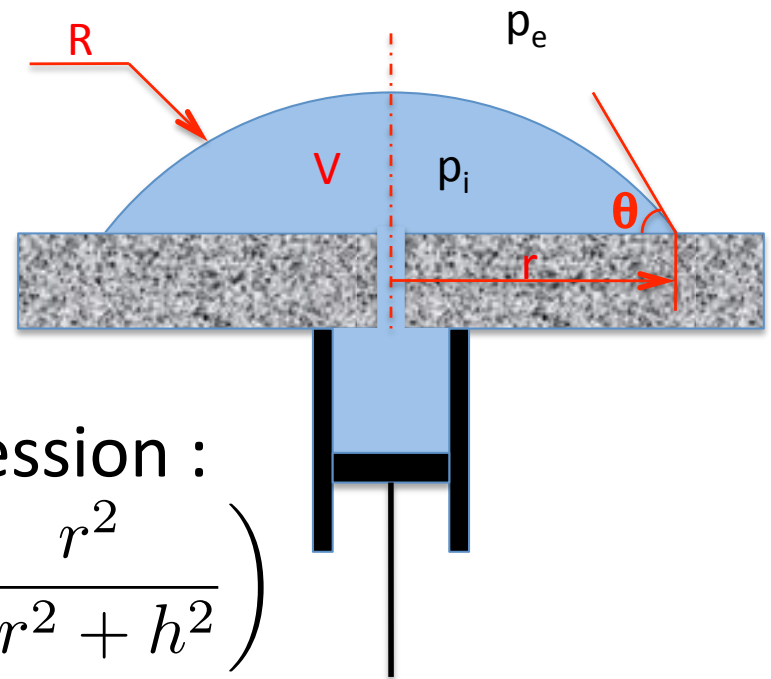
différentielle donnant la forme d'équilibre d'une goutte axisymétrique.

– **T. Young (1805)** :
$$\gamma_{sg} - \gamma_{sl} + \gamma_{lg} \cos \theta_e = 0$$

A l'équilibre, l'angle de contact relie l'énergie libre des interfaces (non modifiées par la ligne de contact).

- **F. Bashforth et J. C. Adams (1883)** : Ils ont résolu pour la première fois l'EDP de Laplace, par résolution numérique des développements en séries, et confirment la très bonne représentativité du modèle / expériences.
 - **P. G. de Gennes (1985)** : Apporte une vision unifiée entre physique statistique, chimie, mécanique des fluides, des comportements statiques ou dynamiques.
- Très peu de choses démontrées **en apesanteur** : quelles remises en question conceptuelles serait-il judicieux d'envisager ?

Modèle macroscopique proposé



- Equilibre statique en apesanteur :

$$p_i - p_e = 2 \sigma_{lg} \frac{\sin \theta}{r} = \frac{2 \sigma_{lg}}{R}$$

- Proposition d'un modèle pour la pression :

$$p_i - p_e = \frac{2 \sigma_{lg}}{\left(\frac{3V}{2\pi}\right)^{\frac{1}{3}}} - \left(\frac{\sigma_{sg} - \sigma_{ls}}{l}\right) \left(\frac{r^2}{2r^2 + h^2}\right)$$

- Angle macroscopique de contact :

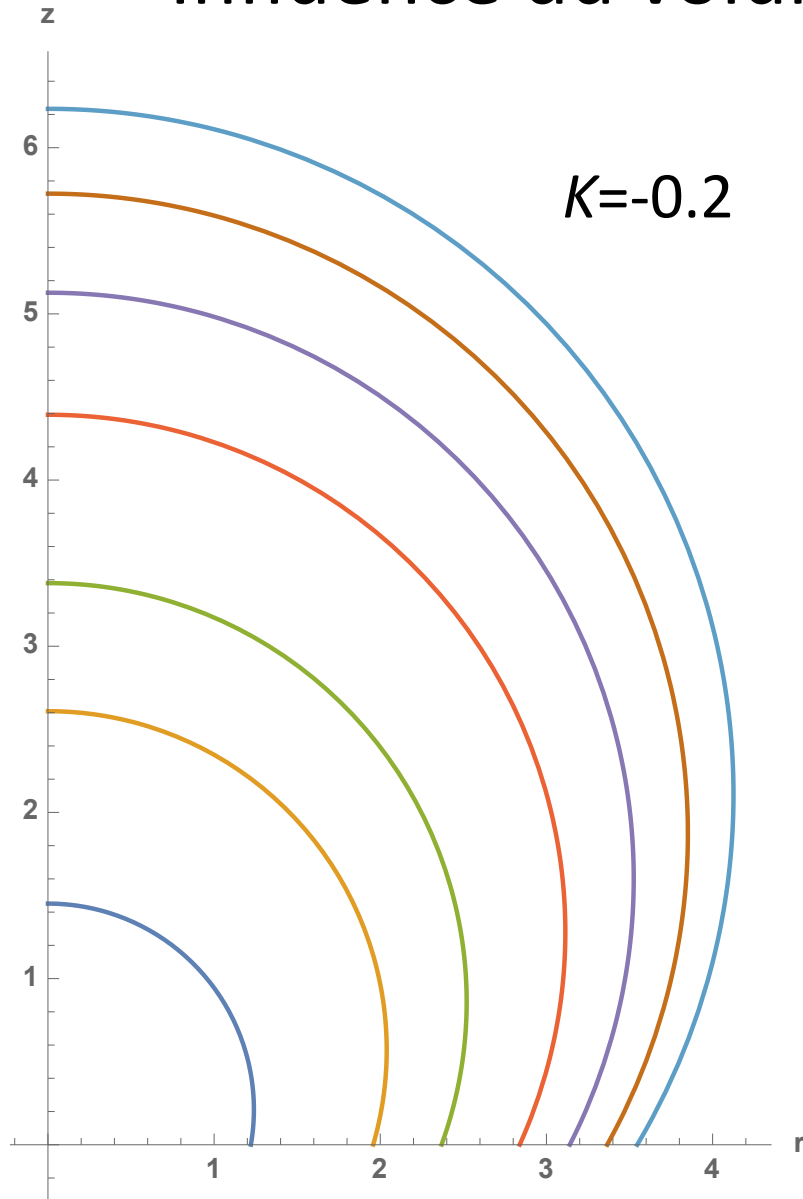
$$\left(\left(2 - 3 \cos \theta + \cos^3 \theta\right)^{\frac{1}{3}} - 2^{\frac{1}{3}}\right) \left(2 + \tan^2\left(\frac{\theta}{2}\right)\right) + \frac{1}{2l} \left(\frac{3V}{\pi}\right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{\sigma_{sg} - \sigma_{ls}}{\sigma_{lg}}\right) = 0$$

- Weightlessness wetting number :

$$W_{wet} = \frac{1}{2l} \left(\frac{3V}{\pi}\right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{\sigma_{sg} - \sigma_{ls}}{\sigma_{lg}}\right)$$

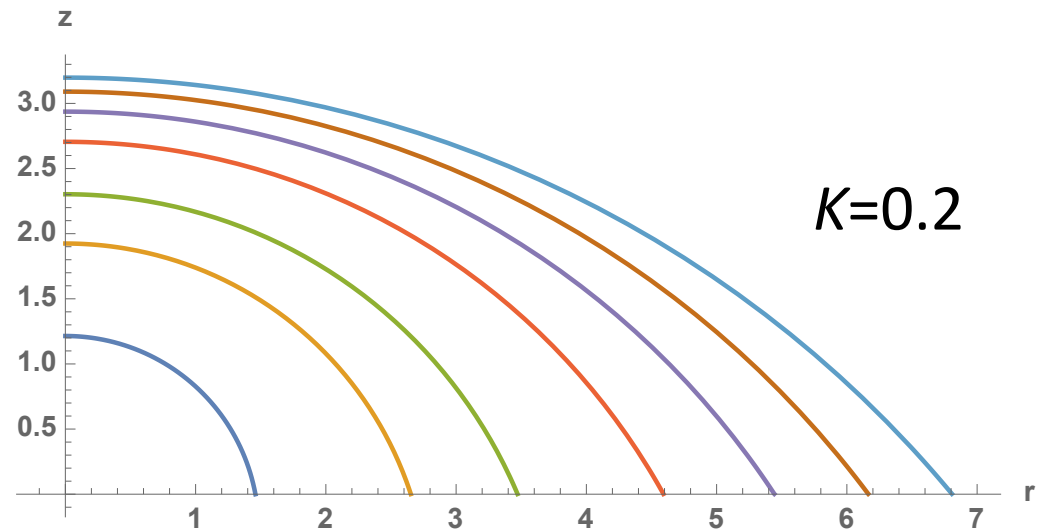
Principaux résultats obtenus (1/6)

- Influence du volume de la goutte sur sa forme



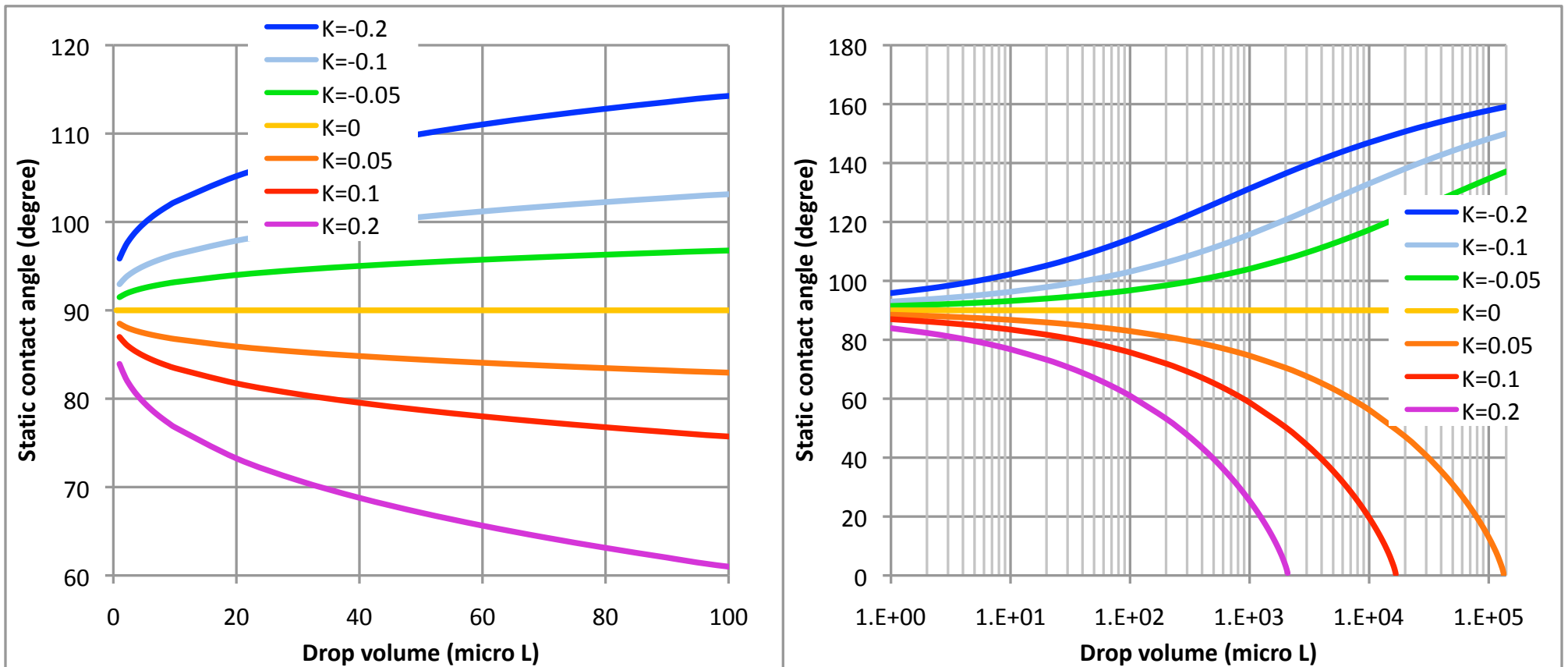
$$K = \frac{1}{2l} \left(\frac{3}{\pi} \right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{\sigma_{sg} - \sigma_{ls}}{\sigma_{lg}} \right)$$

$$V = 5, 25, 50, 100, 150, 200, 250 \mu\text{l}$$



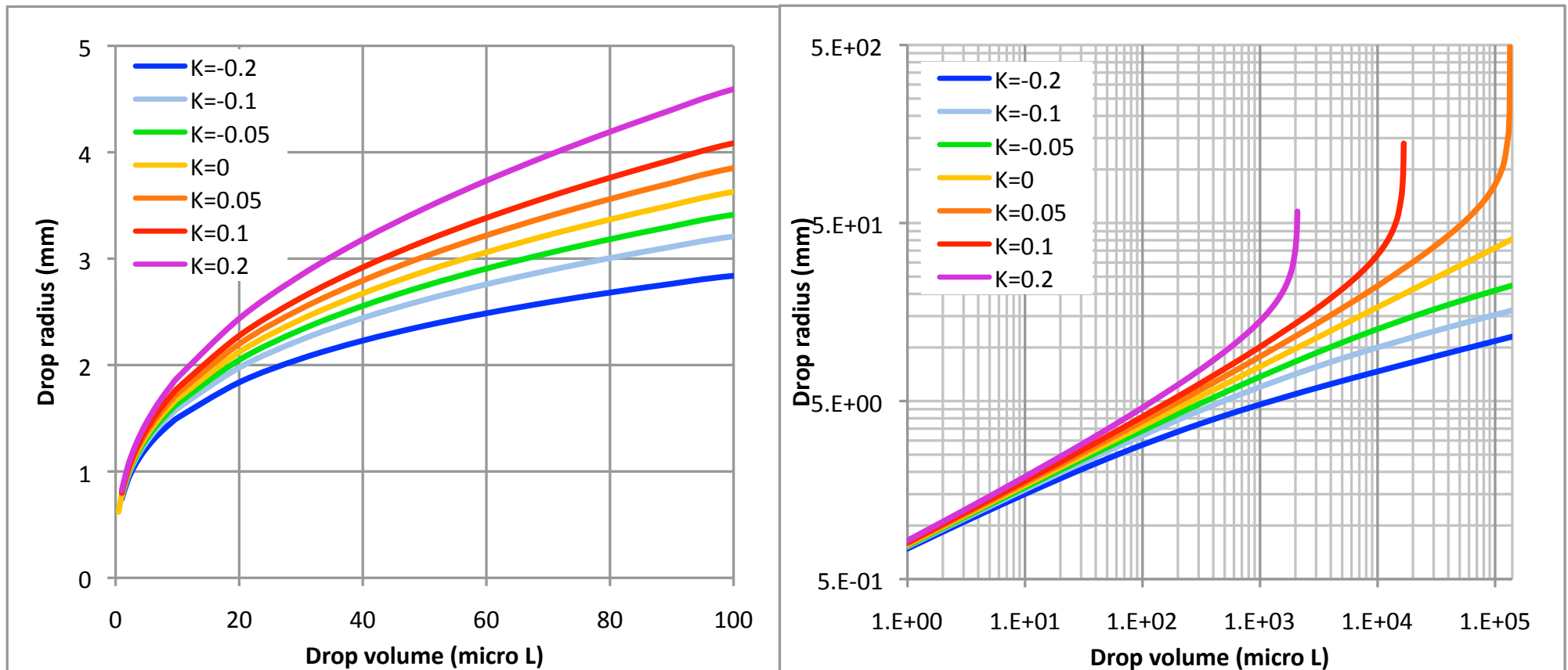
Principaux résultats obtenus (2/6)

- Influence du volume de la goutte sur θ



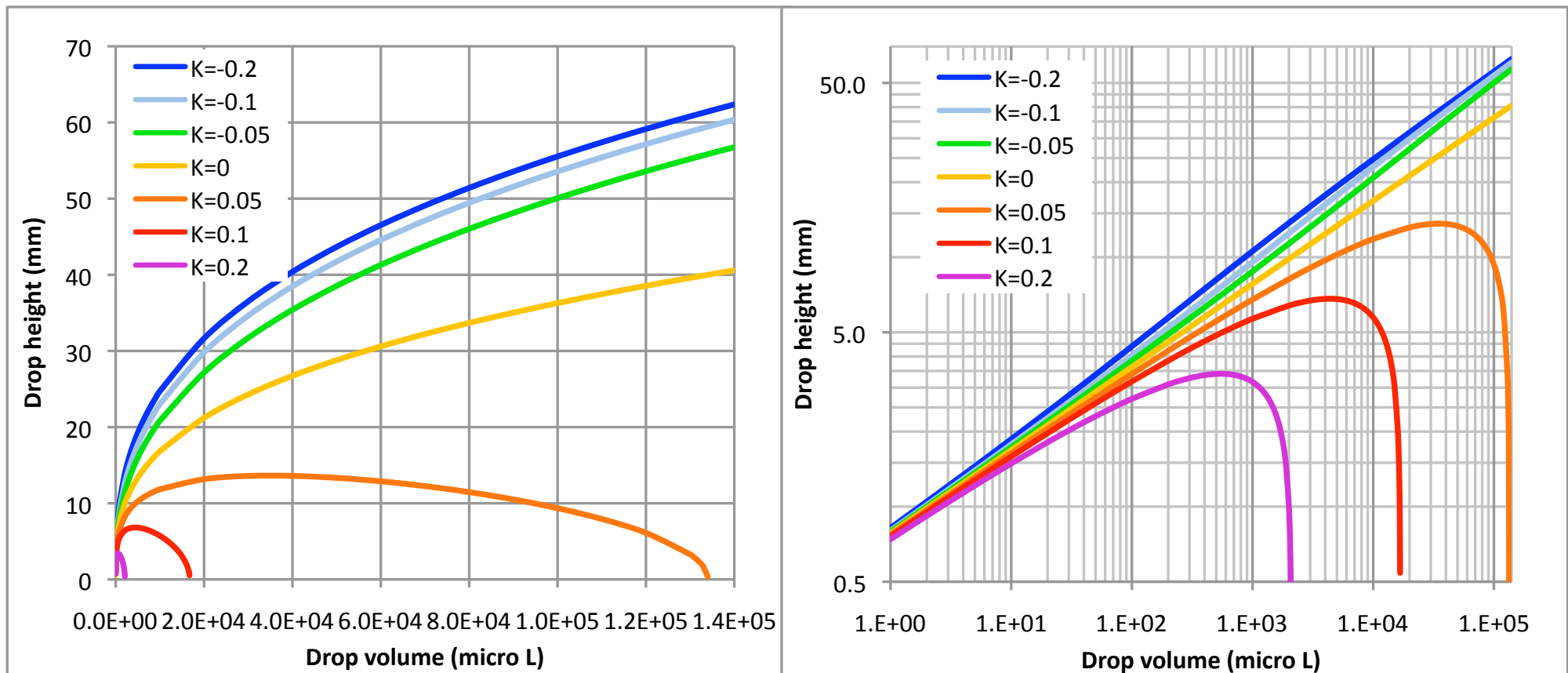
Principaux résultats obtenus (3/6)

- Influence du volume de la goutte sur r



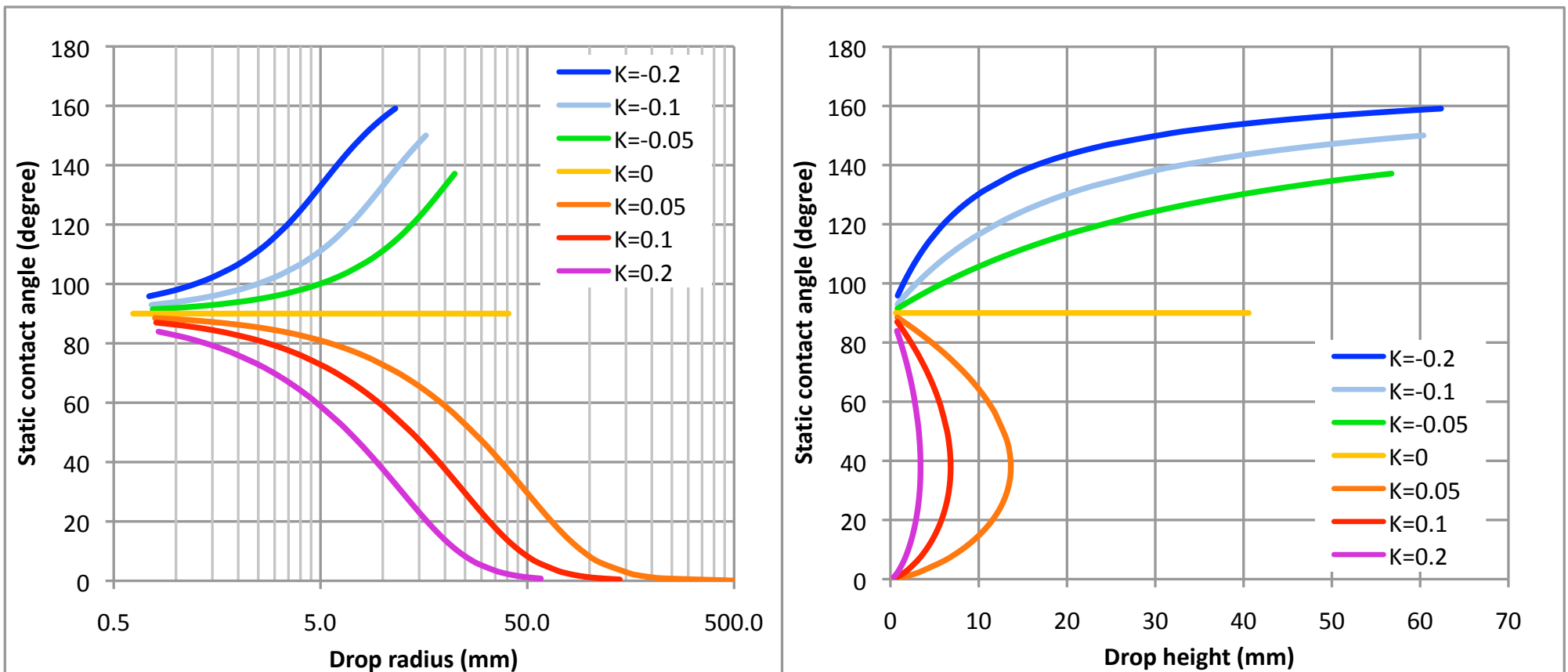
Principaux résultats obtenus (4/6)

- Influence du volume de la goutte sur h



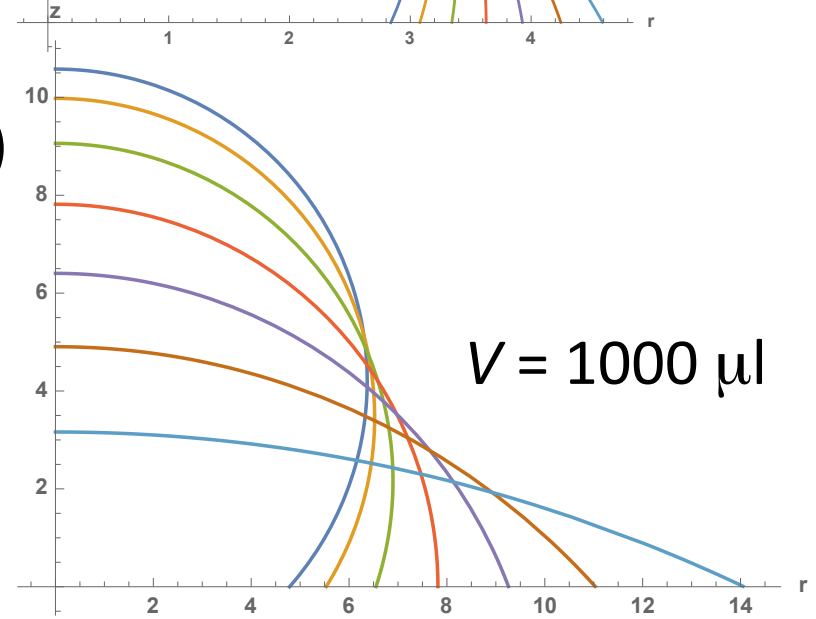
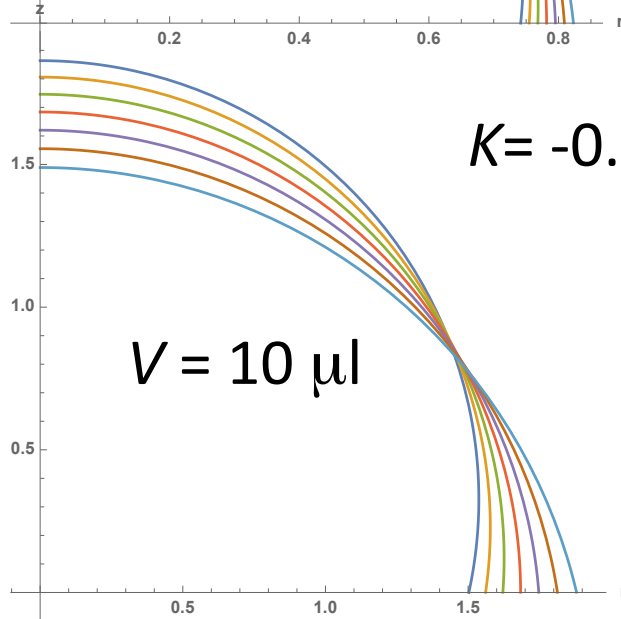
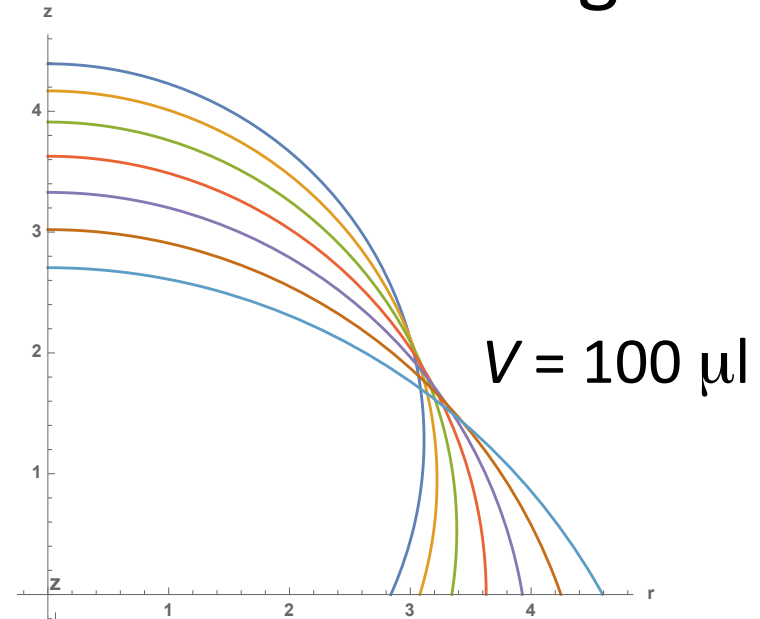
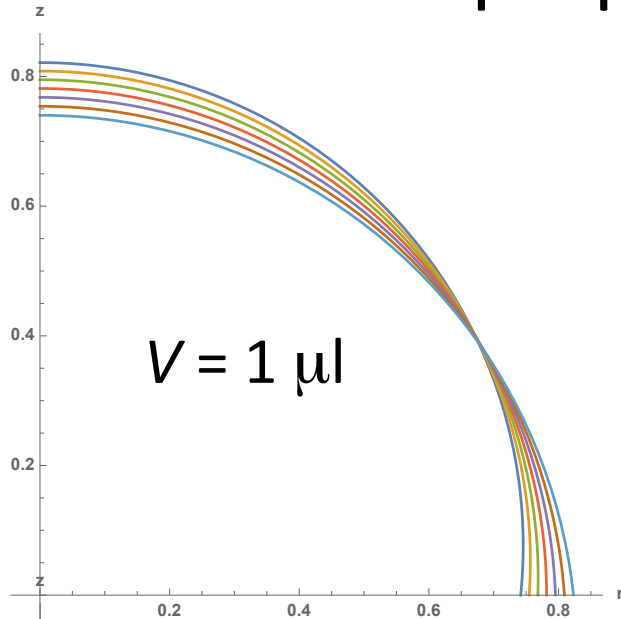
Principaux résultats obtenus (5/6)

- Influence du volume de la goutte sur θ



Principaux résultats obtenus (6/6)

- Influence des propriétés sur la forme de la goutte



$$K = -0.2 - 0.2 \left(\frac{2}{3}\right)$$

Conclusions

- Un **modèle macroscopique** est proposé pour contribuer à déterminer la forme de **gouttes sessiles en apesanteur** ;
- Il introduit une **dépendance** de l'**angle macroscopique de contact** au **volume de la goutte**, à propriétés données du système substrat-liquide-gaz ;
- Ceci conduit à l'existence d'un **volume limite**, au delà duquel la goutte sessile perd sa stabilité : elle devient un **film plat** (cas hydrophile) ou **sa surface de contact tend vers 0** (cas hydrophobe) ;
- La **pression d'injection** n'est pas un **paramètre de contrôle pertinent**, car elle décroît continuellement avec le volume de la goutte.