

# Effondrement d'un gel colloïdal

C. Allain, B. Guerrier et L. Talini

Laboratoire FAST – Bât. 502 – Campus Universitaire – 91405 Orsay Cedex

**Résumé :** Nous étudions les gels formés à partir de suspensions colloïdales de carbonate de calcium. Dans la gamme de concentration étudiée, les gels formés ont une contrainte seuil très faible et sédimentent sous l'effet de leur propre poids. La sédimentation de ces gels est caractérisée par l'apparition d' "éruptions" à l'interface entre le gel et le surnageant (eau exempte de particules). Ces éruptions sont la conséquence de la formation de fractures au sein du gel qui fournissent des chemins préférentiels de remontée du solvant. Nous présentons des résultats sur la formation de ces fractures en fonction de la géométrie de la cellule de sédimentation.

**Mots-clé :** Gel colloïdal, sédimentation, fractures.

## 1. Introduction

En présence d'interactions attractives entre particules, les suspensions colloïdales peuvent former un gel. Dans le cas où c'est la diffusion qui limite l'agrégation des particules, ce gel a une structure fractale et peut se former même lorsque la fraction volumique en particule de la suspension est très faible. Le gel ainsi créé est un milieu ténu, avec une contrainte seuil, et peut s'effondrer sous l'effet de son propre poids. Cet effondrement se caractérise en particulier par un régime dans lequel l'interface se déplace plus rapidement et qui coïncide avec l'apparition d' « éruptions » à l'interface gel/solvant, comme il a été observé dans des systèmes différents [1]. Ces éruptions résultent de la formation dans le volume du gel de fractures, qui fournissent des chemins préférentiels de remontée au solvant et permettent ainsi au gel de sédimer plus rapidement [2].

Nous avons étudié la formation de fractures dans un gel formé par agrégation irréversible de particules colloïdales sous l'effet des forces de van der Waals. La fraction volumique en particules et leur masse volumique sont telles que le gel sédimente sous l'effet de son propre poids. La chronologie et la répartition spatiale des éruptions ont été étudiées en fonction de la géométrie de la cellule de sédimentation.

## 2. Système expérimental

Les suspensions colloïdales sont constituées de particules sphériques de carbonate de calcium  $\text{CaCO}_3$ , de rayon 35nm et de masse volumique  $2,70\text{g/cm}^3$  (type Socal 31, société Solvay), dispersées dans de l'eau filtrée et osmosée (qualité Milli-ro). La fraction volumique en particules est de 0,7%. Après ajout de la poudre l'échantillon est d'abord passé pendant 45min dans un broyeur

(Hamilton Beach) puis agité par barreau magnétique pendant plusieurs semaines. Ce protocole permet d'atteindre une dispersion plus fine des particules et un état initial défini, reproductible.

Les propriétés des suspensions de carbonate de calcium sont en effet rendues complexes par la solubilité partielle des particules dans l'eau ainsi que par la dépendance des conditions d'interaction interparticulaire avec le pH et la force ionique du milieu. Dans le cadre de la présente étude, les conditions expérimentales ont été ajustées de telles sortes que les particules s'agrègent sous l'effet des forces de van der Waals en l'absence de charges électrostatiques portées par les particules.

Le montage réalisé comporte deux caméras CCD, l'une positionnée au dessus de l'échantillon permettant l'observation de l'interface entre le gel et le surnageant, l'autre horizontalement permettant de mesurer le déplacement de cette interface et d'observer ses déformations. La cellule de sédimentation est éclairée latéralement par un pavé de LED PHLOX assurant une bonne homogénéité de l'intensité, à mieux que 90%. Les cellules de sédimentation utilisées sont en plexiglas et ont une section horizontale rectangulaire. Les dimensions intérieures utilisées sont les suivantes : hauteur : 80mm, largeur : 6, 12 ou 24mm, longueur : 30, 60, 120mm. Entre chaque expérience les cellules sont soigneusement nettoyées et passées aux ultrasons afin d'avoir un état de surface des parois le plus reproductible possible.

## 3. Résultats expérimentaux

### 3.1 Description qualitative

Nous présentons l'évolution observée sur un exemple correspondant à une cellule de largeur 12mm et de longueur 60mm. La figure 1 montre les vues de face et de dessus prise à différents instants

de la sédimentation du gel. L'interface gel/surnageant commence par sédimenter lentement (fig. 1a) puis au-delà d'un certain temps ( $t=1100s$  dans cet exemple) des éruptions se produisent à la surface du gel comme le montrent les figures 1b et 1c. Des fractures verticales se forment dans le gel et constituent des chemins préférentiels de remontée du solvant. Les particules arrachées à la paroi des fractures lors de cette remontée forment de véritables panaches. Ces éruptions conduisent à des cratères à l'interface gel surnageant visibles aussi bien sur les vues de face que de dessus.

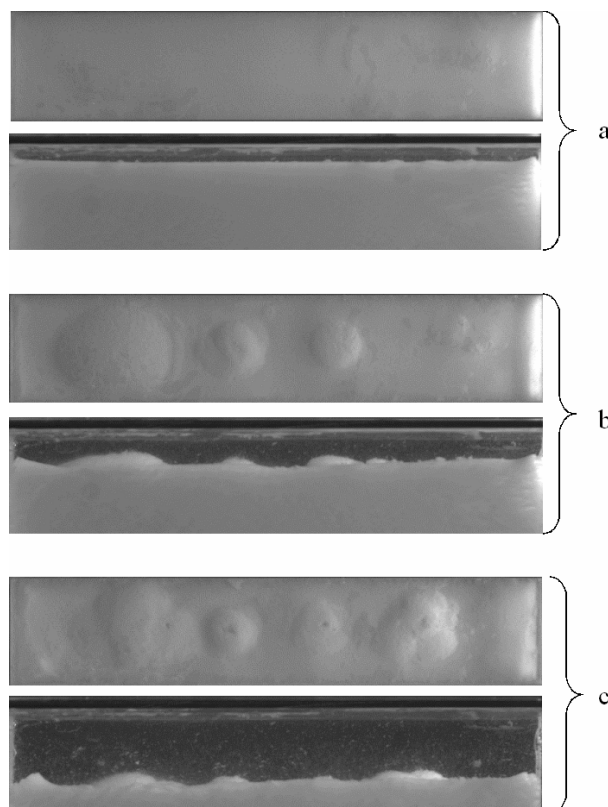


Figure 1 : Vues de dessus (en haut) et de face (en bas) de l'interface gel surnageant prises à différents temps après le début de la sédimentation : (a)  $t = 1000s$ , avant la formation de la première fracture ; (b)  $t = 1430s$  après les premières éruptions, l'interface est fortement modifiée par les éruptions et la vitesse de sédimentation est plus élevée ; (c)  $t = 2000s$ , les cratères formés par les éruption sont clairement visibles, ils resteront peu différents même au-delà de la fin du régime rapide.

### 3.2 Temps d'apparition et répartition des fractures

Comme le montrent les vues de dessus de la figure 1-b- et 1-c-, les éruptions se produisent à peu près toutes le long du grand axe de la section horizontale rectangulaire dans le cas considéré. Elles sont séparées d'une distance à peu près constante. Il est par ailleurs important de noter que les films permettent d'observer que certains cratères s'éteignent alors qu'un autre ou plusieurs autres très

proches rentrent en activité (cf. comparaison entre le cratère le plus à droite sur les vues -b- et -c- de la figure 1). Il est difficile de savoir s'il s'agit d'un déplacement de la fracture dans le gel (le gel est un matériau susceptible de "cicatriser" permettant la fermeture d'une fracture) ou d'une ramification secondaire de la fracture à l'intérieur du gel.

Dans un diagramme espace - temps (figure 2) nous avons reporté pour l'exemple considéré les temps d'apparition des éruptions. Cinq groupes principaux apparaissent qui correspondent aux cinq cratères observés plus tardivement. La première éruption apparaît vers 1100s ce qui correspond au début du passage du régime lent au régime rapide. La dernière se forme vers 2300s. Ultérieurement les éruptions deviennent moins "actives" (l'écoulement à travers les fractures se ralentit), la hauteur du gel diminue plus lentement jusqu'à ne plus dépendre de la présence des éruptions. Les déformations de l'interface qu'elles créent restent cependant visibles jusqu'au tassement complet du gel.

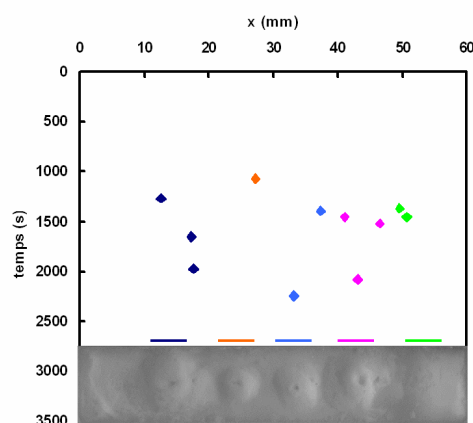


Figure 2 : Chronologie et répartition spatiale des éruptions.

### 3.3 Influence des dimensions de la cellule.

Pour toutes les cellules de largeur 12mm les éruptions se situent à  $\pm 2mm$  près le long du grand axe de la section horizontale.

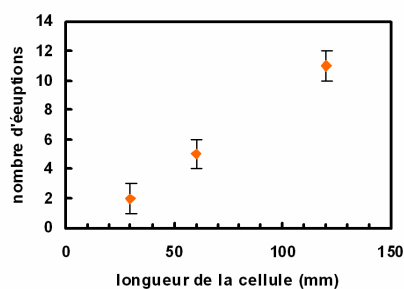


Figure 3 : Variation du nombre d'éruptions observées en fonction de la longueur de la cellule (largeur 12mm).

Le nombre d'éruptions principales présente une augmentation quasi proportionnelle en fonction de la longueur de la cellule comme le montre la figure 3. Les barres d'erreur sur cette figure correspondent à l'intervalle entre le plus petit et le plus grand nombre d'éruptions trouvé pour les différentes expériences réalisées dans les mêmes conditions. Remarquons que l'écart avec une loi de proportionnalité peut se comprendre par le fait que les éruptions ne se forment jamais très près des extrémités de la cellule (cf. figure 1). La distance moyenne entre les éruptions est trouvée d'environ 12mm c'est-à-dire de l'ordre de la largeur de la cellule.

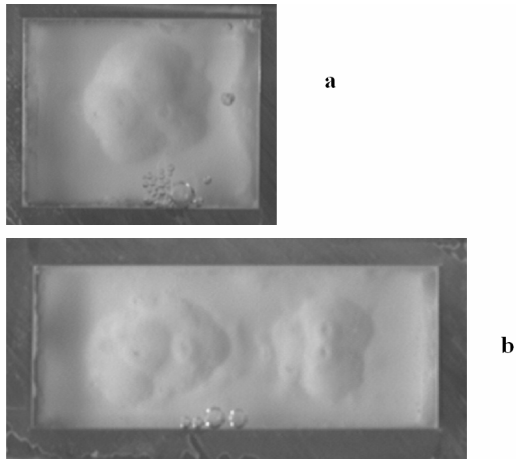


Figure 4 : Vues de dessus des éruptions apparues lors de la sédimentation du gel dans des cellules de largeur 24mm et de longueur 30mm (a) et 60mm (b).

Des premiers résultats obtenus dans des cellules de largeur différente montrent que la répartition des fractures est alors modifiée. Les éruptions ne sont plus réparties le long du grand axe comme le montre la figure 4. L'étude systématique de la répartition des éruptions en fonction du rapport d'aspect de la cellule est en cours.

#### 4. Conclusion et perspectives

Les résultats obtenus mettent en évidence le rôle important de la géométrie de la cellule dans la formation des fractures pendant la sédimentation du gel. En complément aux expériences dans des cellules de géométrie différente, l'influence de la rugosité de la paroi des cellules sera étudiée afin de caractériser le rôle de la friction gel/paroi dans la formation des fractures.

[1] Poon, W.C.K. Phase separation, aggregation and gelation in colloid-polymer mixtures and related systems : Dynamic aspects of colloids and interfaces. *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, 3, 593 (1998).

[2] Derec, C. Senis, D. Talini, L. et Allain, C. Rapid settling of a colloidal gel. *Phys. Rev. E*, 67, 062401 (2003).

