

# PSE : Terrasses calcaires

## Méthodes et protocole

### Matériel :

Pour le montage :

- o Profilé en U en aluminium de longueur 1m
- o Planche en bois
- o 2 profilés aluminium 5x5 mm de longueur 1m
- o 2 pieds (construits à partir de tiges de profilés aluminium par exemple).
- o 1 caméra (images en noir et blanc)
- o Accroche pour caméra
- o Cales en bois de différentes tailles
- o 6 pinces
- o 2 serre-joints
- o Un élévateur
- o Un grand tissu noir
- o 1 cristalliseur de 1.5L
- o Une plaque chauffante
- o Une pompe
- o 3 tuyaux de 5mm de diamètre intérieur
- o Règle
- o 2 barres de led
- o Balance
- o Eprouvette 500 ml
- o Bécher 500 ml
- o chronomètre
- o Niveau à bulle

Pour la préparation d'une solution sursaturée en  $\text{KNO}_3$  :

- o 2 cristalliseurs 1.5L
- o 2 plaques chauffantes magnétiques
- o 2 barreaux aimantés
- o  $\text{KNO}_3$
- o Bouilloire
- o 2 couvercles
- o Thermomètre

Montage : voir la partie de la vidéo correspondante

## Protocoles :

Préparation de la solution sursaturée en  $\text{KNO}_3$  : (pour un cristalliseur)

- o Remplir environ 1/3 du cristalliseur avec du salpêtre sec.
- o Compléter avec de l'eau bouillante.
- o Mettre sous agitation et faire chauffer sur une plaque chauffante agitatrice jusqu'à  $90^\circ\text{C}$ .
- o Veiller à ce qu'il reste toujours un peu de salpêtre solide au fond du cristalliseur. Dans le cas contraire en rajouter.
- o Veiller à ce que le mélange soit toujours sous agitation.
- o Laisser chauffer à  $90^\circ\text{C}$  pendant 1h.
- o Laisser refroidir jusqu'à  $60^\circ\text{C}$ .
- o Vérifier qu'au cours du refroidissement il apparaît des cristallites à la surface.

Réglage du débit :

- o Mesurer la hauteur au dessus du haut de la pente permettant d'avoir le débit souhaité. (vases communicants).
- o Faire une marque à la hauteur correspondante sur tout support jugé adéquat.
- o Avec une éprouvette graduée de 500 ml, verser 500 ml d'eau dans un bécher.
- o Régler le front de l'eau dans le bécher à la hauteur du trait.
- o Amorcer l'écoulement en même temps que le lancement du chronomètre.
- o Faire couler l'eau jusqu'à ce qu'il ne reste qu'un fond d'eau dans le bécher.
- o Peser l'eau restante.
- o Calculer le débit correspondant
- o Ajuster la hauteur du trait en fonction du résultat obtenu.

Écoulement de la solution :

- o Sur l'élévateur, mettre une plaque chauffante et un cristalliseur préalablement préparé comme décrit précédemment.
- o Régler la hauteur de la surface de l'eau par rapport au haut de la pente de manière à avoir le débit souhaité.
- o Lancer la caméra (réglée pour prendre 10 images par seconde).
- o Mettre une extrémité d'un tuyau dans la solution et l'autre en haut de la pente.
- o Approcher l'extrémité du tuyau d'entrée de la pompe au contact de l'extrémité du tuyau dans la pente. Le liquide s'écoule.
- o Ajuster le niveau de l'eau pendant toute la durée de l'écoulement.

## Limites et pistes d'amélioration :

- o Le débit est très variable au cours des expériences : le salpêtre cristallise dans les tuyaux et peut les boucher, il faut parfois redémarrer le siphon. Il faudrait trouver un système d'approvisionnement constant en eau sursaturée en salpêtre en maintenant des pompes et des tuyaux à haute température.
- o La reproductibilité des expériences n'a pas été réellement testée en raison de la durée des expériences.
- o Il faudrait trouver une méthode afin de mesurer plus précisément le profil de salpêtre, par nappe laser par exemple. Les mesures de longueur d'onde seraient plus précises et la dynamique de formation des terrasses pourrait être mieux connue.
- o La durée finie des PSE ne nous a pas permis d'effectuer plus d'expériences. Par conséquent, d'autres essais avec des pentes différentes pourrait renforcer notre modèle, d'autres essais avec des largeurs permettraient d'obtenir une largeur critique moins grossière, une compréhension plus précise du débit pourrait aussi être déterminée.

## Traitement des Images :

L'objectif du traitement des images est de récupérer les longueurs d'onde d'intérêt sur chacune de nos images afin d'étudier l'apparition et l'évolution dans le temps des terrasses de salpêtre.

Nous avons mis au point un traitement des images avec *Matlab*. Le code *Code\_dossier\_complet.m* s'applique à un dossier contenant toutes les images successives correspondant à l'écoulement d'un cristalliseur. Chaque image est ensuite traitée par la fonction *Traitimages.m*. Nous utilisons aussi la fonction *echelle.m* pour fixer les axes.

Avant de traiter les images, il est nécessaire de fixer une échelle spatiale. Pour cela, nous avons repéré sur *ImageJ* le nombre de pixel correspondant à la largeur connue de l'écoulement. Ces valeurs sont demandées dans le code *Code\_dossier\_complet.m* pour effectuer les conversions nécessaires. La fonction *echelle.m* renvoie ainsi la fréquence et la période spatiales, les axes en unités de longueur et en fréquentiel.

Il est également nécessaire de rentrer la valeur du débit mesurée expérimentalement. Connaissant l'intervalle de temps entre chaque image, il est possible d'obtenir nos résultats en fonction du volume de solution versée.

Nous ne traitons pas l'intégralité de chaque image. Au lancement du code, nous utilisons la fonction *imcrop* sur la dernière image (celle contenant les terrasses) pour cibler une zone d'intérêt. La zone étudiée sera ensuite la même sur toutes les images en utilisant de nouveau la fonction *imcrop* comprenant en argument la position et la taille de cette zone d'étude.

La fonction *Traitimages.m* est ensuite appliquée à chaque image du dossier. Elle effectue la transformée de Fourier en 1D de chaque ligne (dans le sens de l'écoulement) de l'image. La moyenne est ôtée. Seule la moitié de la matrice est conservée (la partie positive de la transformée de Fourier). A partir de longueurs d'onde extrêmes que nous fixons dans le code *Code\_dossier\_complet.m* nous ciblons notre étude à seulement une partie de la transformée de Fourier en affectant des valeurs nulles au reste de la matrice. Enfin, nous effectuons la somme de ses transformées 1D dans *sum\_vect* pour moyenner les résultats sur toute la largeur de l'écoulement.

Ces résultats sont conservés dans une unique matrice dans *Code\_dossier\_complet.m*. La fonction *mesh* nous permet alors d'afficher en 3D ces transformées de Fourier en fonction des longueurs d'onde et du volume de solution versé. L'apparition et l'évolution des pics nous permettent de déterminer quelles sont les longueurs d'onde intéressantes.

Afin de vérifier la cohérence de ces résultats, nous affichons également la dernière image avec les échelles spatiales nous permettant de constater manuellement l'ordre de grandeur des longueurs d'onde recherchées.

Nous sauvegardons également ces résultats afin de pouvoir les exploiter et de progresser dans notre compréhension du phénomène.

## Notes importantes :

- o Des images détaillées du montage apparaissent dans la vidéo.
- o Les codes Matlab sont disponibles en annexe.

## Bibliographie :

- KERR R.C. and TURNER J.S, "Crystallization and Gravitationally Controlled Ponding During the Formation of Mound Springs, Terraces, and "Black Smoker" Flanges". In: Journal of Physical Research, vol 101, NO.B11, pages 25,125-25,137, November 10, 1996
- HAMMER O. & Al, "Travertine Terracing: Patterning and Mechanisms. In: Tufas and Speleothems: Unravelling the Microbial and Physical Controls". In: Geological Society London Special Publications, 336(1): 345-355, January 2010;
- HAMMER O. & Al, "The Dynamics of Travertine Dams". In: Earth and Planetary Science Letters, 256, pp. 258-263, 3 February 2007;
- MEAKIN P. and JAMTVEIT B, "Geological Pattern Formation by growth and dissolution in aqueous systems". In: Proceedings of the Royal Society, 466, pp. 659-694, 26 November 2009;
- GOLDENFELD N, CHAN P.Y, and VEYSEY J, "Dynamics of Precipitation Pattern Formation at Geothermal Hot Springs", Physical Review Letter, 96, 254501, 30 June 2006;
- ZAIHUA L. SVENSSON U. DREYBRODT W. DAOXIAN Y. and BUHMANN D, "Hydrodynamic Control of Inorganic Calcite Precipitation in Huanglong Ravine, China: Field Measurements and Theoretical Prediction of Deposition Rates". In: Geochimica et Cosmochimica Acta, Vol. 59, No. 15, pp. 3087-3097, 1995;
- AL-DROUBI A. GRONDIN J-L, FRITZ B, TARDY Y, "Calcul des équilibres dans le système  $\text{CaCO}_3 - \text{H}_2\text{O} - \text{CO}_2$ . Rappel des conditions de dissolution et de précipitation de la calcite". In: Sciences Géologiques. Bulletin, tome 31, n°4, 1978. Sédimentologie et géochimie de la surface. pp. 195-202;
- NICOD J, "Pamukkale (Hiérapolis) : un site de travertins hydrothermaux exceptionnel de Turquie". In: Karstologia : revue de karstologie et de spéléologie physique, n°39, 1er semestre 2002. Fantôme de roche (Belgique) et Relations glacier-karst (Jura méridional) pp. 51-54;
- <http://www.msc.univ-paris-diderot.fr/~phyexp/pmwiki.php>, "marche calcaire".

## Crédits photographiques :

- <https://www.getyourguide.fr/>
- <https://www.serreponconvallees.com/>
- <http://quilaztli.over-blog.com/>
- [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)
- [www.blog.kemetcare.fr](http://www.blog.kemetcare.fr)
- [www.fronius.com](http://www.fronius.com)
- <https://www.hydrokit.com/>
- <http://www2.chm.ulaval.ca/>
- [www.amazon.fr](http://www.amazon.fr)
- <https://eurogeologists.eu/european-geologist-journal-43-ozgur-hydrogeological-modelling-of-geothermal-waters-in-pamukkale-western-anatolia-turkey/>

## Contacts :

Myriam Gaïda : [myriam.gaida@espci.fr](mailto:myriam.gaida@espci.fr)

Nicolas Kuszla : [nicolas.kuszla@espci.fr](mailto:nicolas.kuszla@espci.fr)

Amélie Pérot : [amelie.perot@espci.fr](mailto:amelie.perot@espci.fr)