

Projet Tutoré en Laboratoire 2007-08

La Dynamique et les symétries d'une assemblée de bulles

Encadrants : Mr Maissa Phillippe, Mr Mathis Christian.

Etudiants : Laurenti Yvan, Michelis François, Hounsa Amos.

Sommaire

1/ L'expérience

- la phyllotaxie
- idée de l'expérience

2/ Caractéristiques de l'expérience

- schéma du montage
- fonction de l'appareillage
- caractéristiques de l'appareillage

3/ Méthodologie-Résultats

- méthodologie des mesures
- mesure des motifs (Influence des embouts, du débit)
- mesure de la taille des bulles
- mesures des angles
- sortie des bulles (cercles)

4/ Conclusion

5/ Lexique

1/ L'expérience

On appelle phyllotaxie l'ordre dans lequel sont implantées les feuilles ou les rameaux sur la tige d'une plante, la disposition des éléments d'un fruit, d'une fleur, etc.

Une expérience de physique de Douady et Couder menée en 1996 tend à reproduire différents modèles phyllotactiques de manière mécanique ou numérique cela afin de mieux comprendre leur fonctionnement.

Phyllotaxie Opposée :



Un exemple que l'on peut retrouver dans la nature est la menthe.

Pour cela ils se sont appuyés sur le postulat de Hofmeister : « l'encombrement spatial et la dynamique de croissance du méristème* et de mise en place des primordia* sont une condition suffisante pour l'organisation des primordia selon des spirales régulières ».

En essayant de ne pas déroger à ce postulat, ils ont imaginé tout d'abord un dispositif plutôt mécanique : des gouttelettes de ferro-fluide sont disposées à intervalles réguliers sur un plateau circulaire horizontal, au sein d'un champ magnétique orienté verticalement. Ces gouttelettes se comportent alors comme des petits aimants, se repoussant les unes les autres, avec une intensité qui varie uniquement en fonction de la distance qui les sépare. Grâce à cela ils montrèrent qu'il était possible de reproduire tous les exemples de modèles que l'on trouve dans la nature :

-Lorsque les feuilles, le long de la tige, sont sur un plan, on appelle cela une phyllotaxie *alterne distique*.

-Quand ces feuilles, le long de la tige, sont disposées tout autour de la tige, on appelle cela une phyllotaxie *alterne spiralée*.

-La disposition est dite *opposée*. Quand ces feuilles, le long de la tige, sont sur un plan, on appelle cela une phyllotaxie *opposée*.

-Quand ces feuilles, le long de la tige, sont disposées de façon perpendiculaire d'un nœud à l'autre, on appelle cela une phyllotaxie *opposée décussée*.

En observant la formation de la plante et en suivant son évolution au cours du temps on peut observer que les feuilles se disposent dans la majorité des cas en suivant la suite de Fibonacci (Suite 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55... dont un terme s'obtient en additionnant les deux termes précédents.), ainsi il sera possible d'observer des bras linéaires ou spiralés.

En fait, l'amateur éclairé pourrait trouver des motifs avec un nombre de bras qui ne correspond à aucun terme de la suite de Fibonacci, une modélisation peut se faire en choisissant d'autres premiers termes d'une suite construite de façon similaire (Farey).

Phyllotaxie opposée décussée



Un exemple dans la nature assez simple sont les orties, ou encore le basilic

Même si du fait de la physique il ne nous est pas possible d'observer des plantes qui ont un nombre de parastiches* infini, on remarque néanmoins que le rapport entre deux termes consécutifs de la suite :

$$U_{n+1} / U_n \text{ tend vers le nombre d'or, lorsque } n \text{ tend vers l'infini.}$$

Ce nombre d'or intervient dans la spirale logarithmique et dans la recherche de l'angle de divergence, dont nous avons fait quelques mesure au début des manipulations.

On distingue trois grands modes phyllotactiques, en fonction des agencements observés :

Spiralé, défini par la présence d'une seule feuille par nœud



Opposé, où deux feuilles se font face sur un même nœud

Verticillé, caractérisé par l'insertion de trois ou plus feuilles sur un même nœud (laurier rose)



Basilic

Copyright Dr Richard Martzloff-Encyclopédie médicale Vulgaris



2/ L'expérience

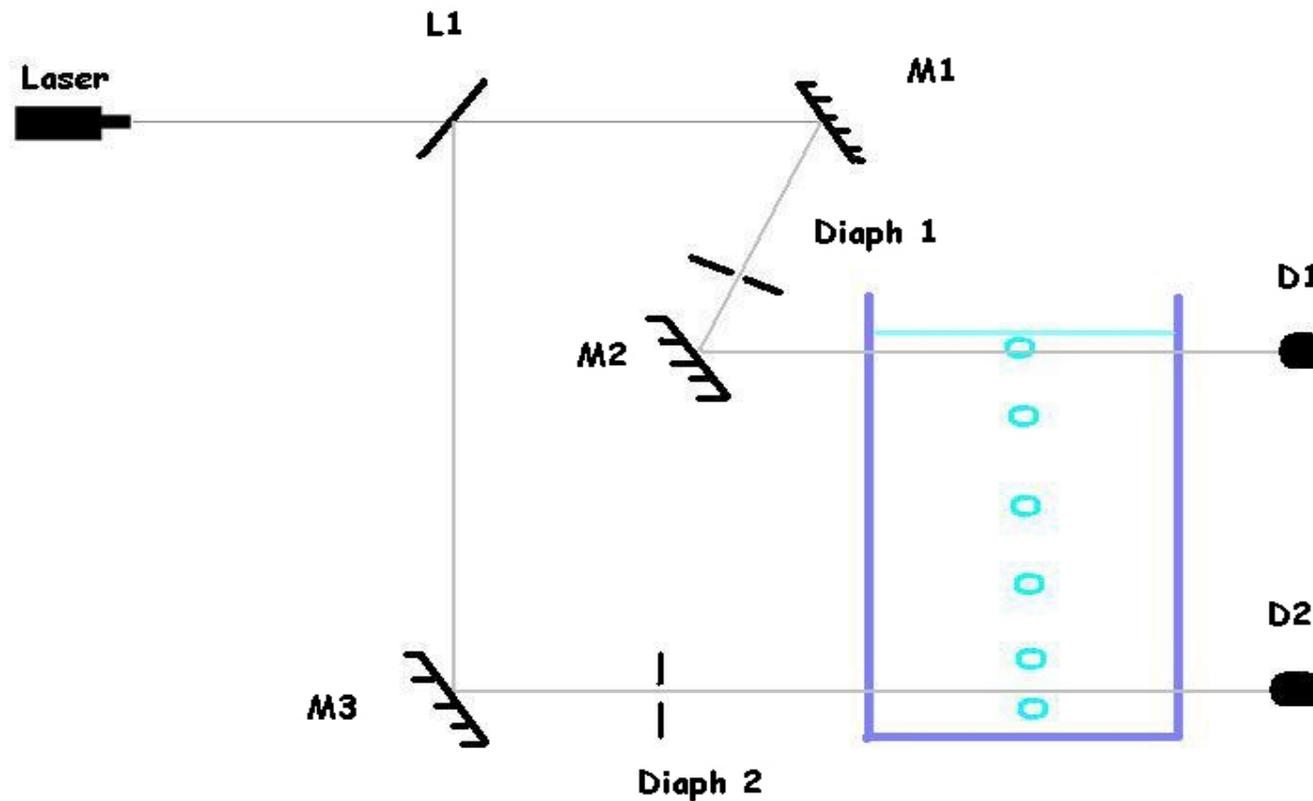
L'idée de cette expérience est venue à nos tutorants après une discussion avec M. Pierre Coulet sur la possibilité de l'existence d'un mécanisme phyllotactique résidant dans la chute de gouttes d'eau depuis un « tuyau de robinet ». Des circonstances particulières et quelque peu fortuites ont fait le reste.

L'appareillage consiste en un dispositif permettant la production régulière de bulles dans un liquide, en un système de prise et d'analyse d'images et en un dispositif optique apportant des informations sur le débit de bulles.

Un flux d'azote à pression constante réglable jusqu'à 0.06 atm est régulé par une vanne aiguille et mesuré par un débitmètre à bille. Le liquide est de l'huile de silicone de viscosité 75 placée dans un vase de volume supérieur à 2L. le gaz passe par un capillaire et une petite chambre (1 à 2 cm³) de tranquillisation avant de sortir par un orifice millimétrique calibré (0.4 ; 0.8 ; 1.0 ; 1.2 ; 1.4 ; 1.6 ; 2 ; 2.5 ; 3.0). Cet orifice d'émission est placé au centre de la cuve.

Une originalité de cette expérience est que les motifs obtenus par Douady et Couder en forçant le système se mettent en place spontanément à la surface du liquide.

Schéma de l'expérience:

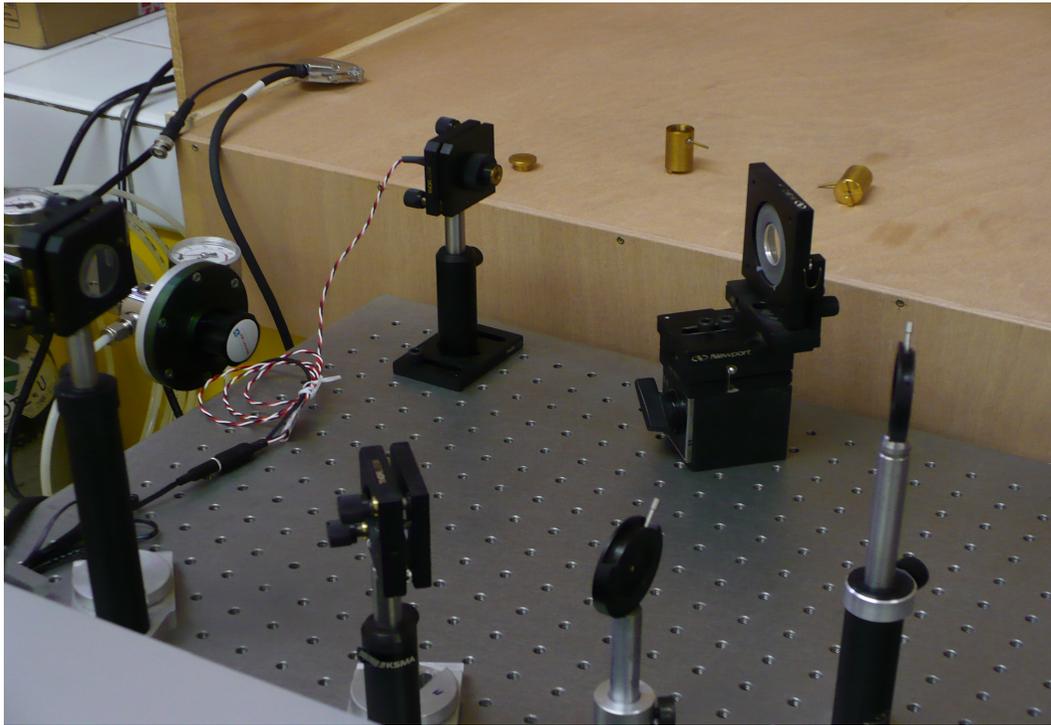


L1 : lame semi transparente, qui permet de diviser notre faisceau laser en 2 faisceaux

M1, M2, M3 : miroirs

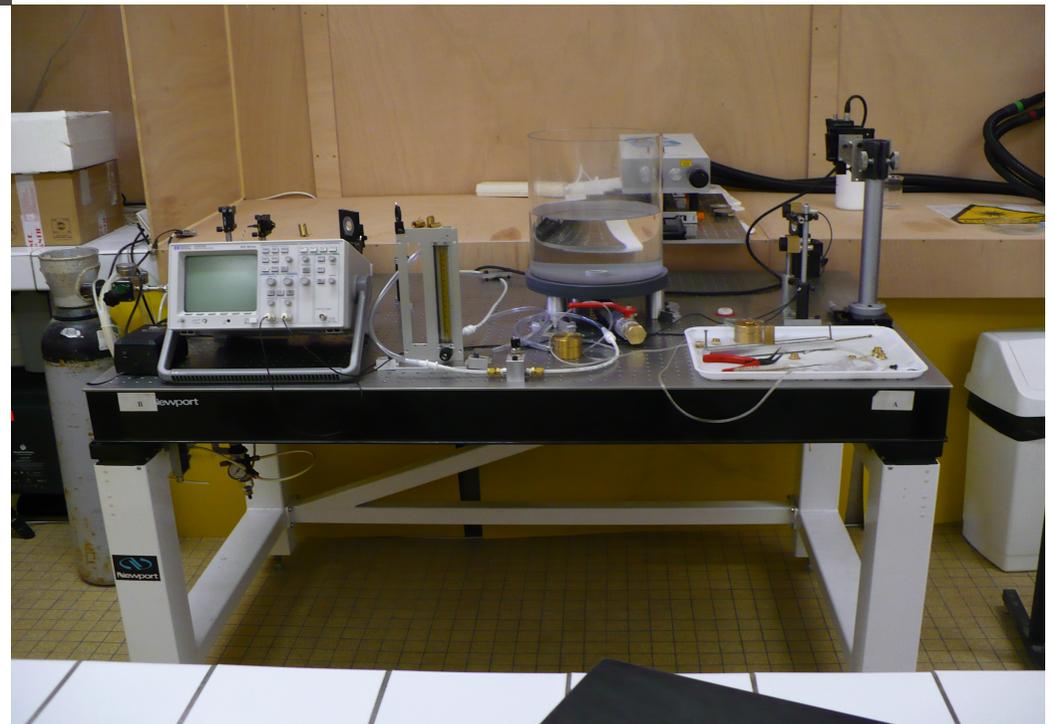
Diaphragmes 1 et 2

Et 2 détecteurs reliés à l'oscilloscope D1 et D2



Ci-dessus le montage optique
du schéma précédent

Ci-dessous la table d'expérimentation



Le montage optique est constitué d'un laser semi-conducteur, d'une lame semi transparente, de trois miroirs, et de deux détecteurs (photocellules) reliés à un oscilloscope numérique.

Afin de garder une trace des motifs observés et de les analyser, nous avons également utilisé une caméra rapide (300images /sec)

Le faisceau lumineux traverse notre lentille semi transparente, une partie du faisceau se réfléchit sur deux miroirs pour traverser diamétralement la cuve en hauteur juste sous la surface ; il ressort et tombe sur D1.

L'autre partie du faisceau va directement se réfléchir sur le miroir 3 puis traverse la cuve juste au dessus de l'orifice d'émission à travers lequel passe le gaz et tombe sur D2.

Les détecteurs étant reliés à un oscilloscope numérique, ceci nous a permis d'effectuer plusieurs séries de mesures (p.e : distance entre 2 bulles, hauteur des bulles, etc.)

Caractéristiques de l'appareillage :

Le débitmètre : c'est un débitmètre à bille qui nous donne le débit en mm, que nous pouvons exploiter avec la courbe d'étalonnage correspondante qui nous fait remonter au débit en L/h

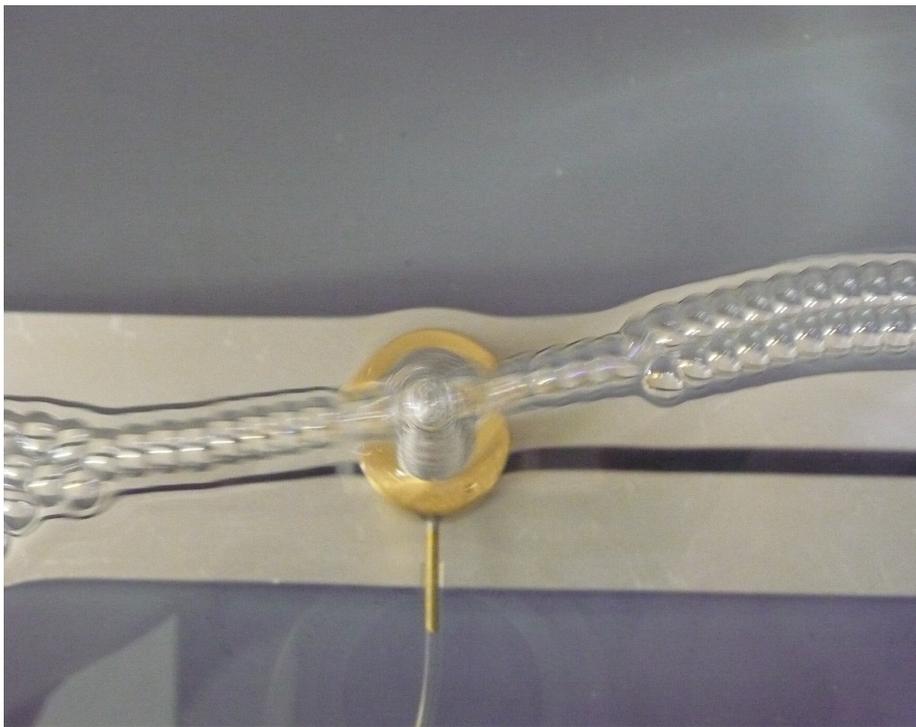
La cuve : on a disposé de 2 cuves, de tailles différentes (diamètre 13 cm et 35cm). Pour que les bulles perdurent suffisamment longtemps à la surface de l'huile , il est nécessaire de modifier l'atmosphère au dessus de l'huile avec de l'alcool dénaturé, badigeonné sur les parois de la cuve, alcool qui modifie, en s'évaporant, l'équilibre des tensions superficielles.

L'huile de silicone : c'est une huile translucide, d'utilisation commode puisque parfaitement miscible avec une autre huile de silicone de viscosité différente et dont les propriétés perdurent dans le temps.

L'oscilloscope numérique: nous permet de suivre l'évolution de la période entre deux bulles.

3/ Methodologie – Resultats experimentaux

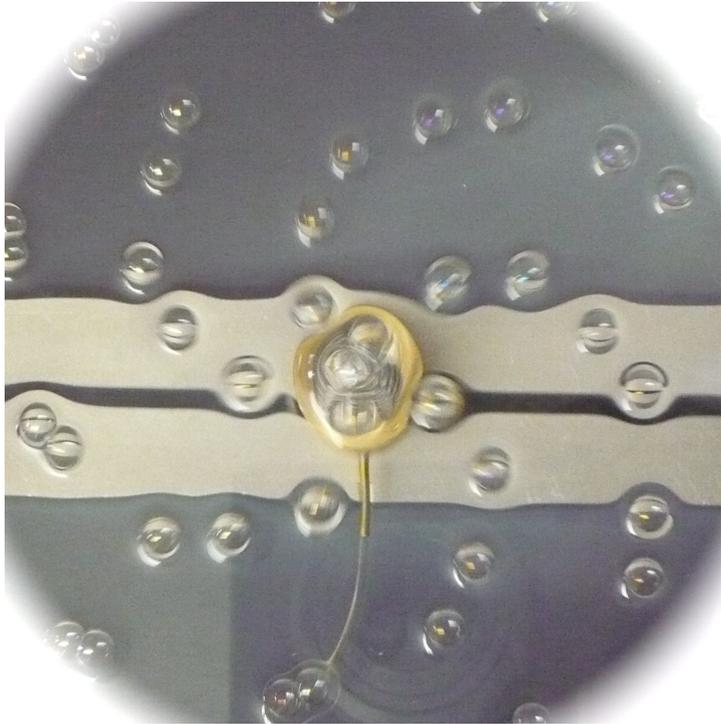
Dans un premier temps nous nous sommes intéressé aux motifs et à leur évolution en fonction du débit pour différents embouts,
Lorsque l'on augmente le débit, on note l'apparition de différents motifs:



2 bras fixes



2 bras spiralés



5 bras spiralés



12 bras fixes

Observation des motifs

Nous avons pu observer lors de ces manipulations que pour tous les orifices, la séquence d'apparition reste constante lors d'une émission périodique d'azote dans le temps. en augmentant le débit on observe successivement 2 bras fixes, 2 bras spiralés, 7 bras spiralés, 7 bras fixes, 7 bras spiralés (sens de rotation opposé), 5 bras spiralés, 5 bras fixes, 5 bras spiralés tournant dans un autre sens, puis 3 bras fixes.

Le plus grand nombre de bras se manifestant toujours avant les motifs de 3 bras.

Les motifs à 3 bras sont les plus difficiles à observer parce que le système est très proche de la bifurcation du doublement de période.

Nous avons noté lors de nos expériences que plus le diamètre de l'orifice est large, plus les motifs comportent de bras:

$d = 0,4\text{mm}$ 2/3 bras uniquement

$d = 0,8\text{mm}$ 2/3/5 bras

$d = 1,6\text{mm}$ 2/3/5/7 bras

En analysant l'apparition des motifs, on remarque que l'angle de divergence décroît avec le débit, et chaque motif succédant à un autre a un angle de divergence (angle d'apparition entre deux bulles successives) inférieur.

Ainsi le premier motif, que l'on voit apparaître est toujours les 2 bras fixes, ce qui correspond à notre angle de divergence maximal 180° .

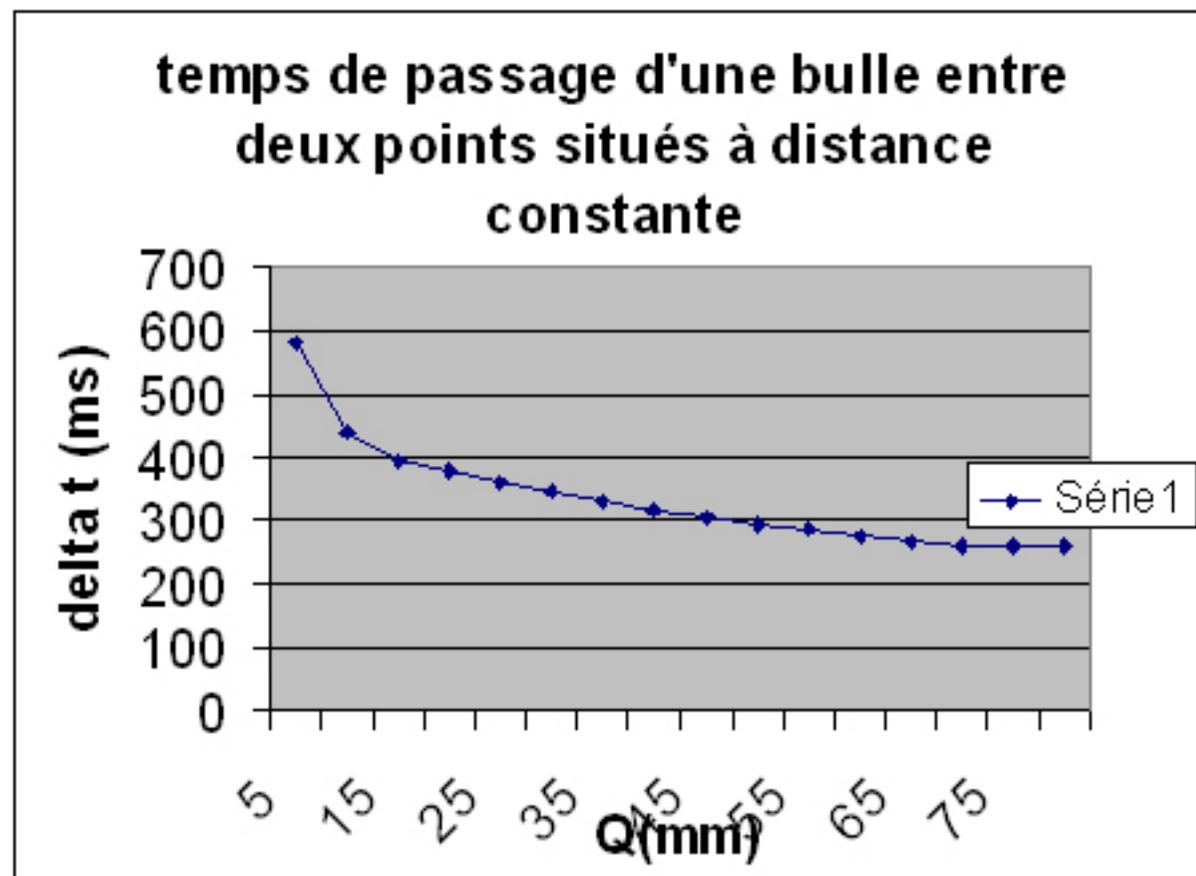
Le dernier, quant à lui est toujours les 3 bras fixes, dont l'angle de divergence est minimal et égal à 120° .

Mesures temporelles

Le temps de passage d'une bulle entre deux faisceaux du laser ne varie pas linéairement en fonction du débit. En effet il décroît logarithmiquement avant que l'on atteigne le régime de doublement de période.

Dans ce régime on peut observer avec la caméra placée latéralement que deux bulles se rapprochent et montent par paire. Nous pouvons mesurer avec l'oscilloscope la période d'émission des bulles, leur temps de passage devant le faisceau à l'émission et sous la surface; leur temps de montée (leur vitesse moyenne).

Mesure du temps de passage d'une bulle entre les deux faisceaux (fixes)



Angle de sortie des bulles

A l'aide de la caméra, nous enregistrons des séquences vidéos de motifs stables (un motif est stable lorsque, pendant la durée d'enregistrement les bulles ne sont pas détruites, et lorsque la direction d'émission ne change pas de sens).

Un simple logiciel de traitement d'images permet d'extraire toutes les « photos » de la vidéo.

Après il ne reste plus qu'à repérer image par image le sortie d'une nouvelle bulle et de pointer sa direction de sortie. Le mouvement de la bulle étant rectiligne, sa direction de déplacement ne va pas changer.

Nous pouvons ensuite comparer sa direction de sortie avec celle de la bulle qui va suivre.

L'expérience nous montre que l'écart angulaire de sortie entre 2 bulles successives reste remarquablement constant bulle après bulle.

Nous reportons les directions de sortie des différentes bulles sur un cercle trigonométrique et les directions de sortie apparaissent.

Celles-ci se superposent et l'on obtient les différents bras.

4/ Conclusion

Nous avons trouvé ce projet très instructif. Non seulement l'objet du travail est attractif mais encore nous avons pu mieux comprendre le mode de fonctionnement d'un laboratoire, ses contraintes, ses spécificités...

Nous tenons à remercier particulièrement M.MATHIS et M.MAISSA pour leur présence et leur disponibilité et pour l'aide qu'ils nous auront apporté tout au long de ce projet, ainsi que Mme DOYA notre coordinatrice qui s'est occupé de nous fournir une palette assez large dans le choix des stages cela afin de satisfaire chacun.

5/ Lexique

Parastiches: On parle de parastiches pour désigner les motifs spiralés qui apparaissent par le rapprochement spatial de feuilles non directement successives. Le nombre de parastiches (dextres et senestres) est utilisé pour caractériser les différents motifs phyllotaxiques. Ce sont les bras que l'on observe, en focalisant on peut voir les spirales dans un sens ou dans l'autre (dextre = droite, senestre = gauche).

Méristème: Le méristème est un tissu biologique constitué de cellules indifférenciées (ou peu différenciées) formant une zone de croissance où ont lieu les divisions cellulaires.

Primordium: Element botanique non différencié pouvant donner naissance à une fleur, feuille, tige, etc...