



Concours national des Olympiades de Physique
Vendredi 25 janvier 2008

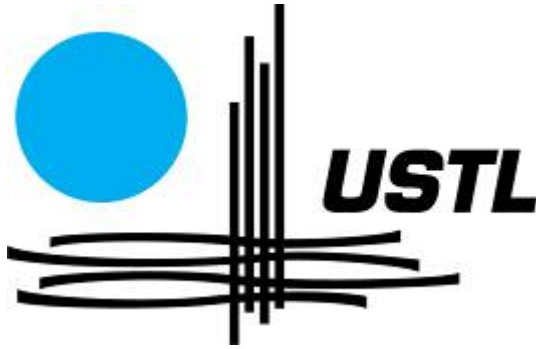
Au Palais de la Découverte

Corentin QUEVAL, Emeraude LEDOUX,
Julie LECLERC, Marine JOUGLEUX

Présentent



Nos partenaires



Université de Sciences et Technique de Lille I



Laboratoire Paul Painlevé, Lille I [U.M.R. CNRS 8524](#)



Centre de **M**athématiques **AP**pliquées
École Polytechnique.

SOMMAIRE

Introduction	4
Lecture du livre de Jean PERRIN	6
Le mouvement brownien	16
Historique	16
Nos expériences	18
Le mouvement brownien de Jean PERRIN	20
L'obtention d'une solution colloïdale	20
Etalonnage du microscope	23
La cuve pour mettre nos molécules en suspensions	23
Notre Première observation	24
Observation à la Webcam du mouvement Brownien	25
Exploitation des résultats	26
Le bleu du ciel	31
Principe théorique	31
Le bleu du ciel et Jean PERRIN	32
Les mesures de Camille	36
Conclusion	38
Remerciements	40
Bibliographie	41
Webographie	42
Les Olympiades et nous	44

Le mardi 16 janvier 2007 vers 14h, notre professeur de physique chimie, M. BURIDANT, nous présente la mole :

« C'est la quantité de matière d'un système contenant autant d'entités élémentaires qu'il y a d'atomes dans 0,012 kg de carbone 12 ».

« Le nombre d'entité par mole est égal à $6,02 \cdot 10^{23}$, c'est le nombre d'Avogadro ». Puis pour illustrer la taille de ce nombre il nous propose de calculer le temps nécessaire pour compter les entités contenues dans une mole. Rémi, un marquisien comme M. BURIDANT, calcule le temps nécessaire qu'il faudrait en comptant 1 000 000 entités par seconde soit $6,02 \cdot 10^{17}$ s. Il continue avec sa calculatrice :

$$\frac{6,02 \cdot 10^{17}}{3600} = 1,67 \cdot 10^{14} \text{ h}$$

$$\frac{1,67 \cdot 10^{14}}{24} = 6,69 \cdot 10^{12} \text{ j}$$

$$\text{Et finalement : } \frac{6,69 \cdot 10^{12}}{365,25} = 1,91 \cdot 10^{10} \text{ ans}$$

Soit plus de 19 milliard d'années, et l'univers n'existe que depuis moins de 15 milliard d'années !!! Ce n'est pas un grand nombre, mais un nombre GIGANTESQUE.

« Ce n'est pas possible Monsieur ! »

« Mais, si Rémi, c'est Jean Perrin qui les a comptées par une méthode indirecte ».

C'est vrai qu'après avoir déterminé (entre autres) le rayon de la Terre, le rayon de la Lune, la taille d'une molécule et la masse de la Terre, avec un double décimètre, on croit notre professeur qui nous invite à nous y intéresser de plus près.

Une première recherche Internet nous a appris que Jean Perrin était né à Lille (siège de notre Académie) d'une mère boulonnaise (lieu de notre lycée) d'origine du canton de Marquise (ville de notre camarade Rémi et de notre professeur). Nous avons également appris qu'il avait déterminé le nombre d'Avogadro en 1908, les Olympiades 2008 seront donc l'année du centenaire de ce travail, qui de plus est la finale nationale est prévue au Palais de la Découverte, lieu « magique » qu'il a créé en 1937. En poursuivant nos

investigations, nous avons découvert qu'il fut transféré au Panthéon le 17 novembre 1948, en même temps que Paul Langevin qui fut écarté de l'Académie des Sciences au profit d'Eugène Désiré Edouard BRANLY dont notre lycée porte le nom. Décidément nous avons beaucoup de raisons de nous intéresser à ses travaux.

Pendant que notre professeur était à Moscou pour le concours « Step into the future ». Mi-avril, nous nous sommes procurés chacun un exemplaire du livre de Jean Perrin « *les atomes* », par SMS nous l'en avons informé et offert un pour son anniversaire en lui demandant si il était d'accord pour nous encadrer. Sa réponse « *Ok, on se voit à la rentrée, bonnes vacances* ». Nous avons décidé d'en faire le sujet de notre TPE (thème savants d'hier et d'aujourd'hui) et de participer aux Olympiades de Physique France car nous avons fréquenté l'an dernier tous les mercredis le labo de notre lycée où nous avons apprécié l'ambiance de travail des trois groupes de notre lycée en 2006/2007.

Nous présenterons ici notre lecture du livre de Jean Perrin, puis notre tentative de refaire les mêmes expériences que lui et pour terminer, nous proposerons une redéfinition partielle du système international (SI).

Lecture du livre de Jean Perrin, « Les Atomes ».

Le livre comporte un avant-propos de Pierre-Gilles de Gennes, un autre grand scientifique également Prix Nobel de physique en 1991, dont nous parlent souvent nos professeurs. L'école primaire du village de l'un d'eux porte d'ailleurs son nom.

Le chapitre premier : la théorie atomique et la chimie.

Dans cette partie, Jean Perrin énumère un par un les faits expérimentaux en faveur de la théorie atomique.

Molécules

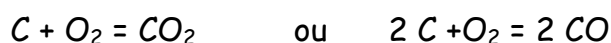
1. **La persistance des constituants** : en mélangeant intimement des substances chimiques, même très diluées pour certaines d'entre elles, on peut toujours les détecter, et les séparer, s'il n'y a pas eu de réaction lors du mélange.
2. **Il appelle « espèces chimiques » les molécules.** Les molécules peuvent être monoatomiques ou polyatomiques, les atomes sont alors les constituants de base indestructibles de ces molécules (l'atome rejette l'image des briques constituant un mur, car dans cette image on peut toujours casser les briques) Nous notons qu'il appelle molécules monoatomiques celles qui ne contiennent qu'une seule sorte d'atome, si nous notions cela dans un DS ce serait inexact, car une molécule qui contient des atomes de même nature est polyatomique, mais elle ne contient qu'un seul élément ex : O_2 , H_2 , N_2
3. **La diffusion révèle l'agitation moléculaire.** Il donne des exemples avec des liquides (éthanol, eau) et des gaz (H_2 , CO_2). Si on met en contact sans les mélanger Ces espèces chimiques, même avec beaucoup de précautions, au bout d'un certain temps on obtient un mélange homogène. Notre exemple sera celui d'une goutte de parfum que l'on dépose sur une paille. Au bout d'un temps assez long, toute la salle sera parfumée ; c'est la diffusion et l'agitation des molécules qui expliquent cela.
4. **L'agitation moléculaire explique la pression.** Cette idée de Jean Perrin remonte au 18^{ème} siècle. « On admit qu'alors les molécules sont grossièrement assimilables à des billes élastiques dont le volume total est très petit par rapport au volume qu'elles sillonnent, et qui sont en moyenne si éloignées les unes des autres que chacune se met en ligne droite sur la plus grande partie de son parcours, jusqu'à ce qu'un choc avec une autre molécule change brusquement sa direction. » Les chocs sur les parois du récipient sont responsables de la pression ou provoquent son extension. « *Agitation moléculaire et température varient donc toujours dans le même sens et apparaissent comme profondément reliées l'une à l'autre* »

Atomes

5. **Les corps simples.** Il rappelle que depuis Lavoisier (père de la chimie, par l'introduction de balances précises) on sait analyser les espèces chimiques en corps purs simples, on trouve toujours le même résultat (composition fixe), même si on

transforme les différents constituants en d'autres composés. Cela nous rappelle le TP *élément cuivre* que nous avons fait en seconde.

6. **La loi de discontinuité chimique**, la loi des proportions fixes. Même lorsqu'on met des réactifs dans des proportions continues, c'est-à-dire prenant toutes les valeurs possibles et imaginables dans leur rapport, les espèces chimiques réagissent dans des proportions fixes, discontinues. C'est ce que nous appelons aujourd'hui les proportions stœchiométriques. Il cite également l'existence de proportions multiples de Dalton, ce qui complique un peu l'affaire...



7. **L'hypothèse atomique de Dalton**. Elle date de 1808 soit juste un siècle avant les travaux de Jean Perrin. Dalton supposa que chacune des substances élémentaires dont se composent les divers corps est formée par une sorte déterminée de particules toutes rigoureusement identiques, particules qui traversent, sans se laisser jamais subdiviser, les diverses transformations chimiques ou physiques que nous savons provoquer, et qui, insécables par ces moyens d'actions, peuvent donc être appelées des atomes, dans le sens étymologique. Pour Dalton les atomes « briques élémentaires » expliquent les proportions simples dans les espèces chimiques, les molécules, et les rapports lors de la combinaison des molécules.

8. **Le problème du poids atomique relatifs**. On connaît les rapports des masses dans une molécule. Exemple pour l'eau $\frac{m_H}{m_O} = \frac{1}{8}$ (en fait $\frac{2}{16}$), pour le méthane $\frac{m_H}{m_C} = \frac{1}{3}$ (en fait $\frac{4}{12}$) donc si on en connaît quelques uns, on peut connaître tous les autres.

9. **Nombres proportionnels et formules chimiques**. Ce n'est en fait pas simple du tout, puisque si on prend les composés du oxygénés du carbone :

Le méthanol	CH ₂ OH
L'éthanol	CH ₃ CH ₂ OH
Le propanol	CH ₃ CH ₂ CH ₂ OH
L'acide éthanoïque	CH ₃ COOH

On aura à chaque fois des rapports qui sont différents, et dont l'analyse chimique ne permet pas de connaître le bon (les exemples choisis sont de nous)

10. **Les composés qui se ressemblent**. L'idée est d'utiliser les composés qui se ressemblent (les familles d'éléments) et en particulier d'utiliser les alcalins et les halogènes. Nous savons que ces éléments ne peuvent former qu'une seule liaison, les proportions sont donc simples, on s'intéresse à HCl, puis NaCl puis on trouve Na₂O et finalement on en déduit que la formule de l'eau H₂O et non HO. Bien joué !

11. **Les équivalents**. Les anti-atomistes du XIX^{ème} à qui il « paraissait plus dangereux qu'utile de mêler une hypothèse jugée invérifiable à l'exposé de lois certaines », ont arbitrairement choisit de donner les formules les plus simples, l'eau devient alors HO. Et pour rendre compte des expériences, ils inventent des tables de conversions : les équivalents. Cette équivalence existe toujours de nos jours, pour les engrais par

exemple, on parle d'équivalent K_2O . « Cette notation en équivalent, adoptée par les chimistes les plus influents et imposée en France, par les programmes à l'enseignement élémentaire, a gêné pendant plus de cinquante ans le développement de la chimie »

L'hypothèse d'Avogadro

12. Lois de dilatation et de combinaison des gaz. Depuis Boyle Mariotte (vers 1670) on sait que $P.V = \text{constante}$.

Ce que nous avons appris dans le dernier chapitre de physique de seconde $PV = nRT$, la loi des gaz parfaits, valable surtout pour des pressions pas trop importantes.

Où P est la pression d'un volume V de gaz, n la quantité de matière, R une constante et T la température absolue.

$PV = nRT$ or $n = \frac{m}{M}$ où m est la masse de gaz et M sa masse molaire.

On peut donc écrire que $PV = \frac{m}{M} RT$

Ou encore en permutant que $\frac{PM}{RT} = \frac{m}{V} = \rho$ la masse volumique du gaz.

Ce qui peut encore s'écrire sous la forme.

$$\rho = \frac{M}{RT} \cdot P$$

Ou encore $\rho = k \cdot P$

La masse volumique d'un gaz (donc sa densité) est proportionnelle à sa pression
Gay-Lussac a montré que pour une pression fixée, les gaz se dilatent de la même manière.

$$PV = nRT$$

$$\text{D'où } V = \frac{nRT}{P} = \frac{nR}{P} \cdot T \text{ soit finalement } V = k' \cdot T$$

Ce scientifique français remarque aussi que les gaz réagissent dans des proportions simples.

$$\text{Pour l'eau } \frac{m_O}{m_H} = \frac{16}{2} = 8$$

$$\text{Pour le sulfure d'hydrogène } \frac{m_S}{m_H} = \frac{32}{2} = 16$$

$$\text{Pour le méthane } \frac{m_C}{m_H} = \frac{12}{4} = 3$$

13. Hypothèse d'Avogadro. En 1811, le scientifique italien annonce :

« Dans l'état gazeux, des nombres égaux de molécules quelconques, enfermées dans des volumes égaux à la même température, y développent des pressions égales »

Donc, des volumes égaux de gaz différents, dans les mêmes conditions de pression et de température, contiennent le même nombre de molécules. Cette affirmation, sans fondement expérimental, est donc accueillie sous réserve par les chimistes.

14. **Coefficients atomiques.** Si Avogadro a raison des volumes, V , égaux de gaz différents contiennent des masses de gaz différentes mais le même nombre de molécules (proportionnel au volume V).

Si on s'intéresse aux composés hydrogénés, vu la règle des proportions simples de Gay-Lussac, les masses contenues dans les flacons sont toutes des multiples entiers de la masse m_H d'hydrogène contenue dans ce flacon. Sur des milliers d'expériences, raconte Jean Perrin, une seule exception existe.

On peut choisir la masse m_H d'hydrogène dans le flacon de la manière que l'on veut, la masse de gaz et son volume varieront aussi.

Et expérimentalement, dans des conditions définies de température (0°C) et de pression, il y a un même volume V voisin de 22 L pour lequel on a :

$m_H = 1\text{g}$ pour le chlorure d'hydrogène (HCl) le chloroforme (CHCl_3)

$m_H = 2\text{g}$ pour l'eau (H_2O) le dihydrogène H_2 , l'acétylène (C_2H_2)

$m_H = 3\text{g}$ pour l'ammoniac gaz (NH_3)

$m_H = 4\text{g}$ pour le méthane (CH_4) l'éthylène (C_2H_4)

etc ...

On peut faire la même chose avec les autres éléments, et de proche en proche, on peut faire la même chose et on obtient « des nombres proportionnels remarquables »

H = 1 O = 16 C = 12 Cl = 35,5

qui sont les rapports des poids **SI** Avogadro a raison. « On les appelle improprement poids atomiques, ... il convient de parler d'atome-gramme. »

15. **Loi de Dulong et Petit.** Le problème se pose avec les éléments qui ne donnent pas de composés gazeux ou qui ne réagissent pas avec des éléments dont on a déterminé le poids atomique. On utilise alors la loi de Dulong et Petit. Celle-ci qui n'est autre qu'une application de la calorimétrie que nous avons vu en option PCL (Physique Chimie de Laboratoire) en classe de seconde. Selon cette loi, pour élever de 1K, la température d'un atome-gramme d'un élément solide il faut 6 calories (soit $6 \times 4,185 = 25,11$ J).

La chaleur spécifique d'un solide est la quantité de chaleur nécessaire pour augmenter de 1K la température de 1g de solide dans le cas qui nous intéresse. Les tables nous donnent :

Pour l'aluminium	: 0,900 J.g ⁻¹ .K ⁻¹
Pour le fer	: 0,440 J.g ⁻¹ .K ⁻¹
Pour l'argent	: 0,235 J.g ⁻¹ .K ⁻¹

(Source : <http://elements.chimiques.free.fr/fr/proTable.php?champ=phyCha>)

En multipliant par les masses molaires connues aujourd'hui, on obtient la chaleur nécessaire pour élever de 1K un atome gramme, soit :

Pour l'aluminium	: 0,900 x 26,98 = 24,3 J
Pour le fer	: 0,440 x 55,85 = 24,5 J
Pour l'argent	: 0,235 x 107,86 = 25,3 J

Ces exemples sont choisis par nous au hasard.

La loi de Dulong et Petit prévoit que cette chaleur doit être $C \approx 3.R$ ou la constante des gaz parfait vaut : $R \approx 8,31 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$ soit $C = 3 \times 8,31 = 24,9$ J. finalement nous en sommes assez proche.

Jean Perrin précise que cette règle n'est valable que pour des températures « assez hautes » (guillemets car elle est valable dès 200°C pour le plomb et 800°C pour le carbone), il montre aussi comment cette méthode a permis de calculer le poids atomique de l'or.

16. **Retouches.** Les premières valeurs avaient été calculées à partir de 1g d'hydrogène, il a ensuite été décidé de le faire à partir de l'oxygène, celui-ci intervenant beaucoup plus souvent dans les dosages précis. On donc maintenant :

$$O = 16,0000 \text{ et } H = 1,0076 \text{ comme coefficient atomique.}$$

17. **Hypothèse de Prout- Règle de Mendeleïev.** William Prout, physicien anglais, remarque que les coefficients atomiques sont des multiples entiers de celui de l'hydrogène, et imagine que les atomes sont constitués d'une seule sorte de constituant universel les protoatomes « ... *Quelque chose doit pourtant subsister de cette hypothèse ...* » « ... *Une cause encore inconnue maintient donc la plupart des poids atomiques au voisinage de valeurs entières ...* » Jean Perrin évoque la radioactivité tout juste découverte « ... *cette cause peut se rattacher à la transmutation spontanée des éléments. ...* »

Il évoque ensuite la classification périodique de Mendeleïev, et son succès dans la prédiction des propriétés des éléments manquant à l'époque, le germanium et le gallium.

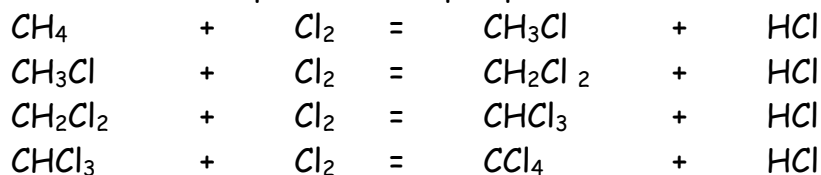
« *Aucune théorie jusqu'à ce jour n'a rendu compte de cette loi de périodicité* »

18. **Molécules-grammes et nombre d'Avogadro.** Une molécule-gramme est la masse d'un corps moléculaire qui dans l'état gazeux occupe 22,400 L dans les conditions normales de pression et de température. « *Dans l'hypothèse d'Avogadro toutes les molécules-grammes doivent être formées par un même nombre de molécules, ce nombre N est ce qu'on appelle constante d'Avogadro ou nombre d'Avogadro ... Trouver le nombre d'Avogadro serait trouver toutes les masses de molécules et des atomes* » Nous avons trouvé dans le compte rendu de Jean Perrin dans les « Annales de chimie et de physique, huitième série, tome XVIII de 1909 p.16 » (le livre les Atomes date de 1913) la phrase suivante : « *Ce nombre invariable est une constante universelle qu'il semble juste d'appeler constante d'Avogadro* ». Ce qui nous montre que c'est Jean Perrin qui a donné ce nom à cette constante.

19. **Formules moléculaires.** La formule moléculaire exprime le nombre d'atomes-grammes de chaque élément dans la molécule. On écrit H₂O et non HO

Structures moléculaires

20. **Substitution.** L'importance de la notation issue d'Avogadro (H₂O au lieu de HO) permet de mieux représenter les transformations chimiques et même de les prévoir. Par exemple lorsqu'on fait réagir du chlore avec du méthane en fonction du temps et de l'exposition à la lumière on a plusieurs étapes possibles :



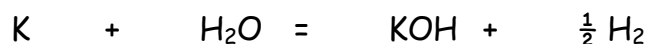
On ne peut pas se demander si à chaque étape un atome de chlore ne se substitue pas à un atome d'hydrogène sans changer la structure.

21. la chimie viendrait-elle au secours des atomes ? Si on ne connaît pas la formule du méthane (c'est là tout le problème), l'analyse montre tout de même que l'hydrogène est remplacé par quart, il est donc raisonnable de penser qu'il y en a quatre, comme c'est l'espèce chimique qui présente le plus faible rapport $\frac{m_C}{m_H} = \frac{12}{4} = 3$, on peut raisonnablement penser qu'il y a un seul atome de carbone. Comme il y a 4 atomes de carbone le rapport $\frac{m_{\text{atome de C}}}{m_{\text{atome de H}}} = 12$. D'autant qu'on obtient des résultats identiques avec le benzène C_6H_6 . D'autre part, le rapport des molécules-grammes du méthane par le benzène $\frac{M_{\text{méthane}}}{M_{\text{benzène}}} = \frac{16}{78}$ or c'est ce qu'on retrouve dans le rapport des densités $\frac{\mu_{\text{méthane}}}{\mu_{\text{benzène}}} = \frac{16}{78}$. Donc le nombre de molécules DOIT être le même. L'hypothèse d'Avogadro, en la généralisant, deviendrait alors une loi. Mais Jean Perrin recule devant cette confirmation chimique devant les chimistes réellement ignorants qui continuent d'écrire :

Pour rendre compte que l'eau perd la moitié de son hydrogène lorsqu'elle réagit avec le potassium :

$$K + 2HO = KOHO + H$$

Au lieu d'écrire :

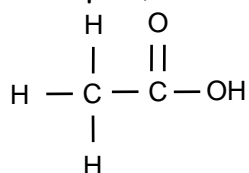


« ... il semble douteux que, à partir des faits actuellement connus, on puisse en formuler une qui en réalité ne suppose pas la connaissance préalable de ces coefficients atomiques et d'au moins quelques formules moléculaires fondamentales ... » Jean Perrin semble très fâché avec les chimistes !

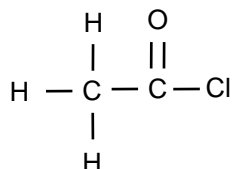
22. **Dislocation minimale des molécules réagissantes - Valence.** La valence serait le nombre de « crochets » de « mains » qu'un atome posséderait (anthropomorphisme utilisé dans l'ouvrage). Cela renforce la théorie atomique. Un atome monovalent (un crochet) pourrait remplacer un autre atome lui aussi monovalent, ce qui expliquerait les réactions de substitutions. Le chlore et l'hydrogène sont monovalents et explique les réactions de substitutions du le méthane. La molécule réagissante est peu déformée. Les atomes cessent de réagir dès que le nombre de crochets, de mains engagés dans des liaisons est épuisé. Plus de mains disponibles et c'est la fin de la réaction. Chaque atome réagit sans s'occuper des autres. Il existe des atomes polyvalents (avec plusieurs mains) sinon il ne pourrait exister que des molécules diatomiques. L'oxygène est bivalent (H_2O), l'azote trivalent (NH_3) le carbone tétravalent CH_4 , CCl_4 , CO_2 . mais il y a des exceptions qui compliquent un peu l'affaire CO (le monoxyde d'azote) NO le monoxyde d'azote «... Il va de soit que si de pareilles anomalie étaient fréquentes, la notion de valence, même fondée, perdrait beaucoup de son utilité. ... »

23. **Formule de constitution.** C'est en fait la formule développée, elle donne la façon dont les atomes sont liés les uns aux autres, elle permet de comprendre les réactions.

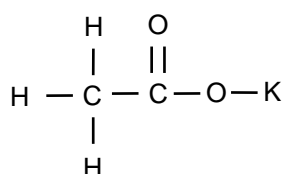
Par exemple : l'acide acétique (l'acide éthanoïque) s'écrit sous la forme :



Ce qui rend très bien compte de la substitution du groupe -OH par un atome de chlore.

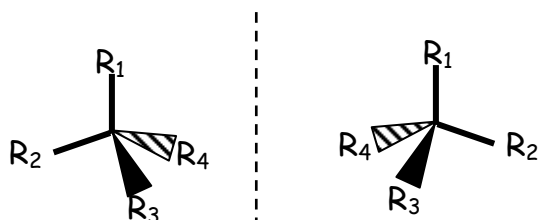


Ou la formation acétate de potassium



Les valences sont respectées. Le Beilstein (dictionnaire de chimie organique) laisse rêver Jean Perrin, devant la chimie organique qui en a tiré partie (en Allemagne), de plus elle rend compte de l'isomérisation.

24. **La stéréochimie.** Lorsqu'on utilise les formules développées, on peut s'intéresser à la représentation en 3D des différents atomes. Il cite, par exemple, les travaux de Pasteur sur les cristaux d'acide tartrique.



Rem : nous utilisons ici la représentation de Cram, vue en classe de seconde inconnue à l'époque de Jean Perrin. Donald J. [Cram est en effet un chimiste américain (1919-2001) co-lauréat du prix Nobel de chimie en 1987 avec Jean Marie Lehn (Français)].

Ces deux molécules se ressemblent beaucoup, mais elles ne sont pas superposables. L'une est l'image de l'autre dans un miroir, comme des gants gauche et droit. Ces molécules ont certaines propriétés différentes, par exemple la forme des cristaux étudiés par Louis Pasteur.

Les solutions

25. **Lois de Raoult 1884.** François-Marie Raoult (1830-1901) a montré que les corps moléculaires (qui ne forment pas d'ions en solution) ont une influence sur les températures d'ébullition et de congélation des solvants dans lesquels ils sont dissous ainsi que la pression de vapeur. Il a surtout montré que « ... pour chaque matière dissoute, l'influence est proportionnelle à la concentration ... » et à concentration égale dans un même solvant l'effet est le même. Si pour une même concentration massique l'effet est 3 fois plus grand pour une espèce B par rapport à une espèce A,

cela veut dire que le coefficient moléculaire de B est trois fois plus petit que celui de A. « par là s'accroît énormément notre pouvoir de coefficient moléculaire. Jean Perrin rappelle que cela n'est vrai que si les solutions ne sont pas trop concentrées.

26. **Analogie des gaz et des solutions. Pression osmotique.** L'osmose est un échange d'eau au niveau des membranes des cellules animales et végétales, elle est responsable de la pression dans les cellules. On reproduit la même chose en laboratoire à l'aide de membranes semi-perméables dont la fabrication est décrite dans le livre. La loi de Van't Hoff (prix Nobel de chimie en 1901) $\pi = RCT$ est bien l'analogie de la loi des gaz parfaits pour les solutions.

La loi des gaz parfaits nous dit que $PV = nRT$

Soit encore $P = \frac{nRT}{V} = \frac{n}{V} RT$ or $\frac{n}{V} = C$ la concentration

D'où $P = CRT$ en notant, π , la pression exercée en solution, la pression osmotique

On obtient $\pi = RTC$

Il note, que la pression osmotique permet de déterminer les masses moléculaires de nombreuses espèces chimiques.

27. **Les ions. Hypothèse d'Arrhenius.** Les solutions conductrices (celles qui conduisent le courant électrique) ne se comportent pas comme des solutions moléculaires. Le sel et le sucre par exemple, n'ont pas le même effet sur le point de congélation de l'eau, et ne suivent pas les lois de Raoult. Pour des solutions diluées (pas trop concentrées), le sel a un effet double de celui du sucre. Svante August Arrhenius (1859-1927) (prix Nobel de chimie en 1903) a émis l'hypothèse que le chlorure de sodium se dissocie en atome de Na et atome de Cl à l'état libre en solution. Ses détracteurs ont la partie facile « ...on sait très bien ... que le sodium mis au contact de l'eau, la décompose aussitôt en chassant de l'hydrogène ... » (on nous l'a montré en classe de seconde). Le jeune suédois répond que puisque la solution est conductrice alors lors de la dissociation dans l'eau on obtient des atomes chargés : des ions. Lors d'une électrolyse, « ... un double courant de matière en sens opposés accompagne le passage de l'électricité ... », globalement à la même vitesse (les ions positifs vers la borne négative et inversement).

28. **Degré de dissociations d'un électrolyte.** Si un électrolyte (molécules qui donnent des ions en solution) se dissocie partiellement par exemple aux $\frac{2}{3}$. Il y aura alors $2 \times \frac{2}{3}$ d'atome-gramme d'ions et $\frac{1}{3}$ d'atome-gramme de molécule non dissocié. Soit au total l'équivalent de $\frac{5}{3}$ d'atomes-grammes d'espèce chimique. La solution vérifiera alors la loi de Raoult comme si on avait $\frac{5}{3}$ molécules-grammes de dissoutes et suivant l'hypothèse d'Arrhenius la conductivité sera alors aux $\frac{2}{3}$ de sa valeur maximale.

« Or c'est précisément ce que vérifie l'expérience » se réjouit Jean Perrin.

29. **Première idée d'une charge élémentaire.** On a admis que les ions Cl sont porteurs d'une charge qui lui confère des propriétés spécifiques (par exemple donner un précipité blanc qui noircit à la lumière lors de sa réaction avec le nitrate d'argent), or le chlorure de potassium donne le même résultat, c'est donc qu'on a alors les mêmes ions. Or les solutions sont électriquement neutres, cela veut dire que les ions potassium et sodium ont la même charge et qu'elle est contraire à celle de l'ion chlore. De proche en proche, on peut penser que le groupe des monovalents (Na, K, Br, Cl, I) porte quand ils sont libres **une charge élémentaire** positive ou négative. De même le cuivre, le baryum aurait alors deux charges. On met alors en évidence la relation importante entre valence et charge. Une valence (une liaison) brisée correspond à l'apparition d'une charge. « ... Du ... coup la charge d'un ion doit être un multiple exact de cette charge élémentaire. ... »

30. **Charge charriée par un ion-gramme- Valence électrique.** Il explique que lors d'une électrolyse : « ... le passage d'une même quantité d'électricité décompose toujours le même nombre de molécules-grammes ... ». Si on multiplie par n la quantité d'électricité, l'électrolyse est multipliée par le même nombre n. En souvenir de l'anglais Mickael Faraday (1791-1867) qui comprit le premier cette proportionnalité on appelle Faraday la quantité d'électricité nécessaire à la décomposition d'une molécule-gramme de sel marin. Un faraday = 1 F = 96550 C. Donc lors d'une électrolyse de chlorure de sodium, il y a un faraday de charge positive charrié par les ions positifs Na^+ et un faraday de charge négative charrié par les ions négatifs Cl^- (le signe des ions est donné par l'opposé de la charge de l'électrode vers lequel il se dirige, précise Jean Perrin). Comme une molécule-gramme de chlorure de sodium est décomposée, alors chaque ion monovalent porte au signe près la même charge élémentaire $e = \frac{F}{N}$ Il n'est donc pas possible d'avoir des sous-multiples de cette charge élémentaire. Les ions polyvalents, quant à eux, portent un nombre entier de fois cette charge. Il note que cette charge est très considérable, si par curiosité, on applique la loi de Coulomb à de petites quantités d'ions (quelques milligrammes par exemples) on se rend très vite compte qu'il est physiquement impossible de séparer des ions pour isoler par exemple des ions positifs d'un coté et négatifs de l'autre.

Nous avons vu en option PCL, que lors de l'électrolyse de **solutions** de chlorure de sodium, ce sont les ions H^+ qui interviennent et non des Na^+ , mais le raisonnement de Jean Perrin, reste valable.

Limites supérieure de la grandeur moléculaire

31. **Divisibilité de la matière.** Les feuilles d'or, qu'on peut obtenir par battage, ont une épaisseur de l'ordre de $0,1 \mu\text{m}$, on ne va pas au delà car elles deviennent très difficiles à manipuler et se déchirent. Ceci montre que la taille des atomes d'or est bien inférieure à $0,1 \mu\text{m}$. Une solution de fluorescéine diluée 10^6 fois, avec un microscope spécial, permet d'encore observer une fluorescence verte homogène pour un volume de $1 \mu\text{m}^3$.

Donc le volume d'une molécule de fluorescéine est plus petite $\frac{1\mu\text{m}^3}{10^6} = \frac{(1.10^{-6})^3}{10^6} = \frac{1.10^{-18}}{10^6} = 1.10^{-24} \text{ m}^3$ et pèse donc (si on estime la masse volumique de la solution à celle de l'eau $\rho_{\text{eau}} = 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$) moins de $m = \rho.V = 10^3.10^{-24} = 10^{-21} \text{ kg}$. Or la masse moléculaire de la fluorescéine est 350 fois plus grande que celle d'hydrogène donc un atome d'hydrogène pèse au plus $\frac{10^{-21}}{350} = 2,8.10^{-24} \text{ kg}$ soit $2,8.10^{-21} \text{ g}$. Or par définition le nombre d'Avogadro correspond à environ 1g d'où une approximation du nombre d'Avogadro $N \approx \frac{1}{2,8.10^{-21}} = 3,5.10^{20}$.

Jean Perrin arrondi à 10^{21} , de toute façon il s'agit d'une estimation basse.

32. Lames minces. L'observation des bulles en se savonnant les mains permet l'observation de lames minces d'eau savonneuses (entre le pouce et l'index précise Jean Perrin). Elles sont irisées, et juste avant leur rupture, on peut voir des espaces noirs bien nets. Ce ne sont pas des trous mais des lames très fines. On a pu mesurer leur épaisseur, elle est de l'ordre de 1,2 nm. Lord Rayleigh (John William Strutt, baron Rayleigh, anglais 1842-1919, prix Nobel en 1904) a cherché, en 1890, quelle était la plus petite goutte d'huile qui mise sur un bassin empêche le camphre de réagir avec l'eau. Il en déduit que l'épaisseur est de l'ordre de 2 nm. Henri Devaux a fait une expérience similaire aux États-Unis en 1904. Il a dilué l'huile dans du benzène qui s'évapore instantanément au contact de l'eau et ne laisse que l'huile. Il a révélé la tache d'huile avec du talc, et trouvé une épaisseur de 1,1 nm.

Cela nous rappelle le TP Franklin fait en classe de seconde, où nous avons fait la même chose en diluant de l'huile dans du cyclohexane et utilisé du toner d'imprimante pour voir les taches d'huile. Nous avons trouvé 3,2 nm. Benjamin Franklin, non cité par Jean Perrin avait trouvé un résultat du même ordre de grandeur avec une cuillère d'huile sur une marre bien calme.

Pour conclure le chapitre : « ... Certes, quand on se rappelle, comme nous l'avons fait, tout ce que doit la chimie aux notions de molécules et d'atome, il est difficile de douter bien sérieusement de ces éléments de matière. ... » « ... la même curiosité ... qui nous a fait peser les astres ... nous entraîne vers l'infiniment petit Et nous donne le droit d'espérer que nous pourront connaître les atomes. »

Dans ce chapitre, Jean PERRIN, a mis en avant tous les arguments qui montrent que l'hypothèse atomique se tient, elle explique de nombreux phénomènes. Mais en ce début de XX^{ème} siècle les anti-atomistes sont nombreux.

« Si j'en étais le maître, j'effacerais le mot "atome" de la science, persuadé qu'il va plus loin que l'expérience; et jamais, en chimie, nous ne devons aller plus loin que l'expérience. » dira Jean-Baptiste Dumas, qui a été ministre de l'Education Nationale !

C'est l'expérience qui doit le monter, alors Jean PERRIN va compter les atomes, faute de les voir.

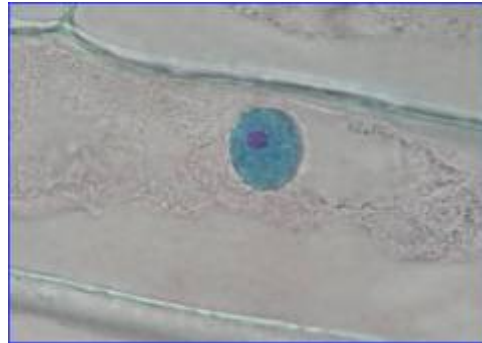
Le mouvement brownien

Historique

Le mouvement brownien a été découvert par un biologiste d'origine écossaise Robert BROWN, celui-ci a fait un certain nombre de découvertes qui lui auraient permis de devenir célèbre, notamment la présence du noyau cellulaire.



Robert BROWN
(1773-1858)



le noyau d'une cellule

Durant l'été 1827, il s'intéresse à la fécondation des plantes et observe différents pollens de végétaux avec son microscope.



Le microscope de Robert BROWN

C'est en observant le pollen d'une plante appelée *Clarkia pulchella* qu'il observe un mouvement des grains de pollen.



Clarkia pulchella

Nous rappelons que c'est un biologiste : il cherche donc une explication biologique à ce mouvement (présence de cils,...etc). Il fait des essais avec différents pollens d'espèces différentes (maïs, ray-grass ...) mais aussi avec des pollens provenant d'herbiers de collections plus que centenaires (à priori non vivants ... donc morts!), il continue ses investigations avec des morceaux de bois fossilisés. Il aboutit à la conclusion suivante : on observe le mouvement [brownien] si les particules sont suffisamment petites. Comme cela fonctionne avec des particules inertes, ce n'est pas de la SVT mais de la physique.

Ce qui fera dire à Sir D'Arcy Wentworth Thompson (1860-1948)



Dans: *On growth and form* (1917) « *The chief of those fundamental phenomena which the biologists have contributed or helped to contribute to the science of physics* »

Soit « *Le principal de ces phénomènes fondamentaux par lequel les biologistes ont contribué ou aidé à contribuer à la science physique* »

Les physiciens s'intéressent au phénomène, parmi eux Albert EINSTEIN qui dans son article du 11 mai 1905 « *Über die von der molekularkinetischen, Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen* » donne une équation qui explique ce mouvement qui permet de remonter au nombre d'Avogadro



Albert EINSTEIN en 1905.

Il termine son article par :

« *Möge es bald einen Forscher gelingen, die hier aufgeworfene, für die Theorie der Wärme wichtige Frage zu entscheiden* »

Soit « *Espérons qu'un chercheur [en l'occurrence, un expérimentateur] parviendra bientôt à régler cette question importante pour la théorie de la chaleur* »

Cet expérimentateur sera Jean Perrin.

Nos premières expériences.

Nous avons voulu observer le mouvement brownien des grains de pollen, mais voilà la *Clarkia pulchella* ne pousse pas dans notre région. Nous sommes allés consulter notre professeur de SVT, M. HERCOUET, qui co-encadre un autre groupe avec M. BURIDANT, pour savoir avec quelle plante on pouvait faire des observations. Il nous a parlé des chlorelles des algues unicellulaires. Nous avons insisté pour une observation de grains de pollen. Il nous a alors dit que la *Clarkia pulchella* est de la famille des Onagracées. C'était gentil, mais nous n'étions pas plus avancés, jusqu'à ce qu'il nous dise que le fuchsia était de la même famille.



Un fuchsia

Nous en avons presque tous dans nos jardins. Nous nous sommes donc lancés dans la récolte d'étamines de fuchsia. Pendant une semaine chaque jours nous sommes allés couper les précieuses étamines avant de les mettre à sécher. L'étape suivante a été de récolter le pollen qui s'y trouvait. Nous avons mis une après midi entière à récupérer un peu de pollen en prenant les étamines une par une avec un petit coup de pinceau.

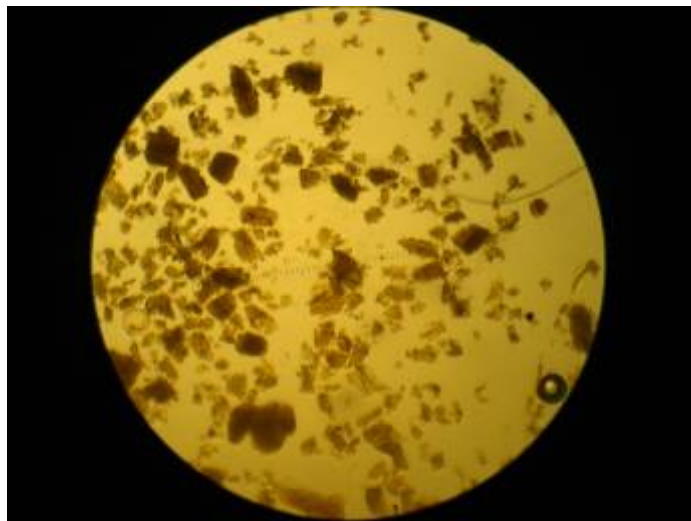


Récolte du pollen frais sur du fuchsia.



Grains de pollen de fuchsia au microscope

On observe bien un mouvement lent des grains comme l'avait décrit R. BROWN. Ces grains étant relativement gros, nous avons eu l'idée d'utiliser du safran qui normalement est le pollen d'une espèce voisine du crocus. Nous avons utilisé du safran de commerce.



Et bien pas de grains de pollen. « Mieux que bien **c'est mal**, théorème de **Ducrocq** » nous dit souvent M. BURIDANT, nous allons maintenant faire de la physique et suivre Jean PERRIN.

Le mouvement brownien de Jean PERRIN

Jean Perrin décide d'utiliser le mouvement Brownien pour déterminer le nombre d'AVOGADRO par la formule d'Einstein.

L'obtention d'une solution colloïdale.

C'est une suspension de petites particules dans un liquide. Jean Perrin parle de gomme-gutte, il s'agit d'une sorte de latex qui lorsqu'il est mis en présence d'eau donne de petites « particules » en suspension. Nous n'avons pas trouvé l'équivalent, nous avons choisi de travailler à la Jean PERRIN et non de travailler avec de petites sphères du commerce déjà toutes faites comme le suggère l'article du BUP d'octobre 2007 (que nous a fourni notre professeur, et d'ailleurs le labo de notre lycée y est également abonné) ou le compte rendu sur le site des Olympiades « Quand Einstein joue aux billes » (Lycée René Char. Avignon 2006).

Faute de gomme-gutte nous avons opté pour le mastic p. 146 « *Cette résine (qui ne donne pas de grains naturels), traitée par l'alcool donne une solution qui se transforme par addition d'eau en émulsion blanche comme du lait, où fourmillent des sphérules faites d'un verre incolore transparent* ».

Nous nous sommes procuré 1kg de mastic de vitrier dans une entreprise qui vend des vitres près de notre lycée. Retour au lycée, et la première déception le mastic actuel ne se dissout pas dans l'alcool. Le mastic 2007 n'est pas le même que celui de 1908 ! Nous avons donc essayé un autre solvant : l'acétone.



mastic et éthanol
pas de « solubilisation »

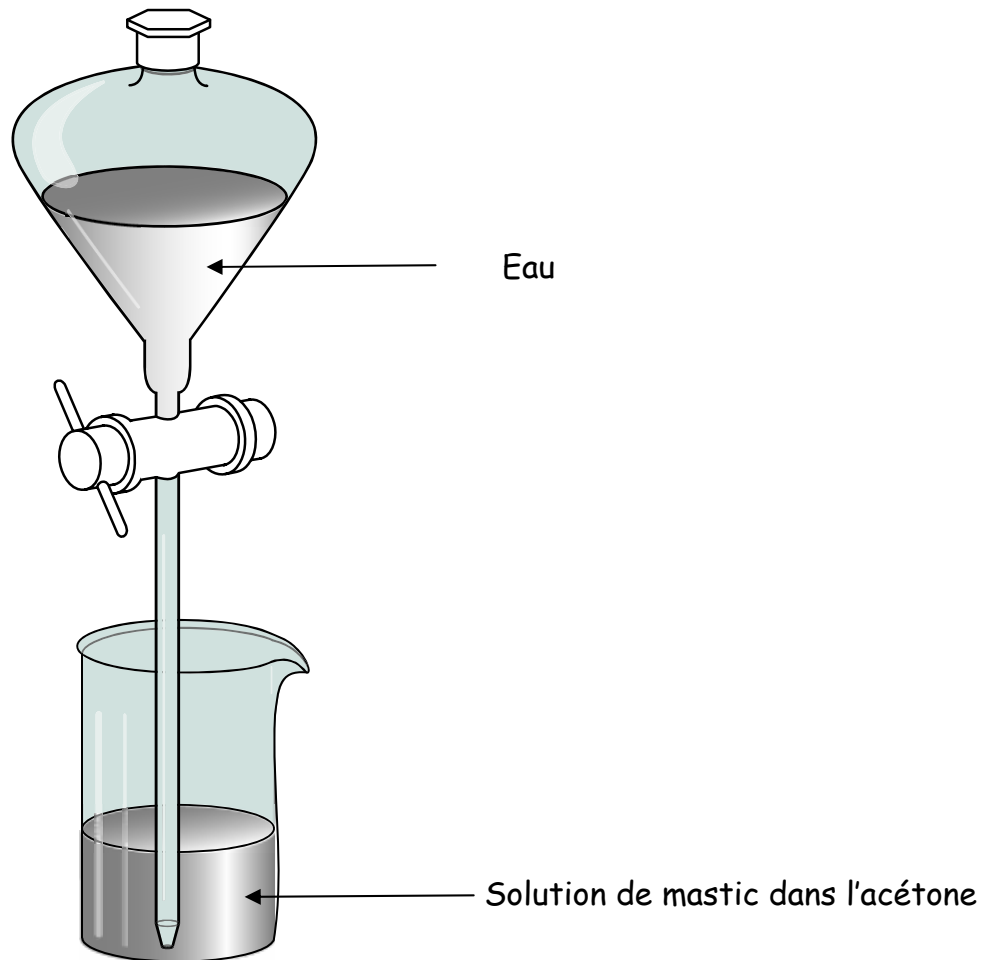


mastic et acétone
« solubilisation »

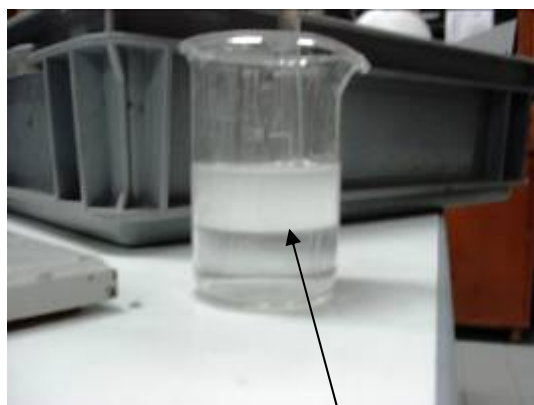
Nous ne rencontrons aucun problème pour la dissolution, mais lorsqu'on ajoute de l'eau on a bien un précipité, mais pas de sphérules incolores comme du verre. En fait, il nous a fallu 6 mois de patience pour trouver « **LA RECETTE** ». On peut parler de recette car notre méthode est très empirique, c'est l'analyse de nos échecs et débuts de résultats qui nous a donné LA solution à notre problème.

- Peser 2,5 g de mastic de vitrier (traditionnel)
- Mettre dans un bécher avec 100 mL d'acétone,

- Mettre sur agitation magnétique vigoureuse pendant au moins 30 minutes (de préférence sous une hotte, pour l'odeur de l'acétone.).
- Filtrer sur filtre papier Wattman N°3 (ou sur un tampon épais de laine de verre tassé), il faut être patient, c'est assez long ! (environs 20 minutes)
- Ajouter alors 200 mL d'eau distillée **gouttes à gouttes** (à raison d'une goutte par seconde grand maximum) **au fond du bécher** par l'intermédiaire d'un tube effilé (ou à défaut une pipette).



L'acétone ayant une densité supérieure à celle de l'eau, l'eau flottera sur celle-ci. La zone, où se forment les granules sphériques, est celle où les deux liquides se mélangent par diffusion. Il faut alors prélever dans cette zone d'une couleur caractéristique pour observer les précieux granules sphériques. Lorsqu'on a assez de solution on peut la centrifuger, avoir une solution plus concentrée en granules et surtout, pour pouvoir être sûrs que le liquide inter-granulaire est bien de l'eau distillée pure.



Zone de prélèvement

Détail de la fabrication à partir d'un litre d'acétone.

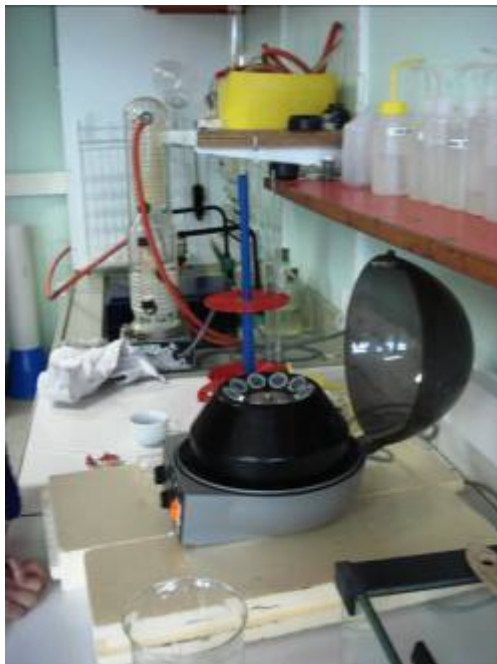
Pendant les vacances de Noël nous avons fabriqué une « quantité industrielle » de particules. Voici quelques étapes :



Mise en fabrication



les particules se sont formées pendant les vacances par une lente diffusion



Centrifugation à 5000 tr/min pendant 30 min



« la quantité industrielle » quelques milligrammes !!!

L'étalonnage du microscope.

Pour quantifier les mouvements, il faut pour cela pouvoir mesurer des distances. Nous avons emprunté un microscope (de compétition) à la SVT (ceux de la Physique sont plus destinés à comprendre comment cela fonctionne).

Pour étalonner le microscope c'est relativement simple. On utilise un oculaire micrométrique, c'est-à-dire portant 100 graduations qui peuvent être arbitraires, pour observer une lame graduée au $\frac{1}{100}$ de mm. On met les deux graduations l'une à côté de l'autre, puis on regarde « les coïncidences ».

Avec notre objectif le plus puissant cela donne :



Dans les 2 cas, nous avons 100 graduations de l'oculaire qui correspondent à 0,26 mm. Une graduation correspond donc à $\frac{0,26 \cdot 10^{-3}}{100} = 2,6 \cdot 10^{-6}$ m, soit 2,6 μm . Nous savons que nous commettons une erreur de chiffres significatifs, si nous disons que 100 graduations de l'oculaire correspondent à 260 μm (il faudrait dire $2,6 \cdot 10^2 \mu\text{m}$), ce sera un abus de langage.

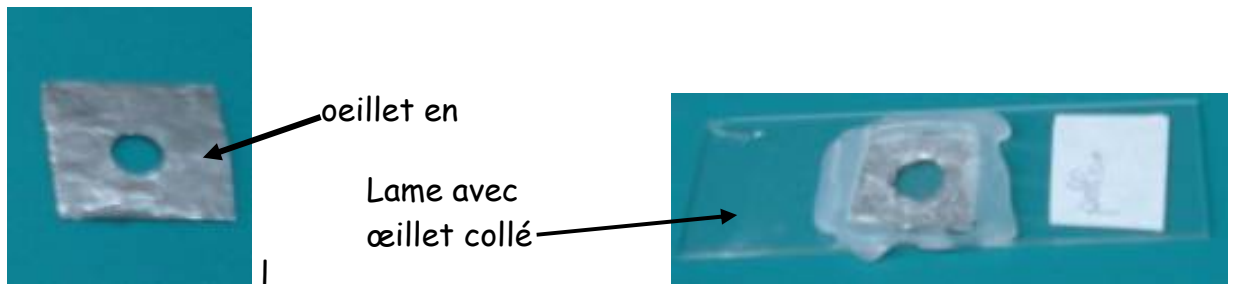
La cuve pour mettre nos particules en suspension

Il est évident que coincé entre lame et lamelle, il y a peu de chances d'observer un mouvement Brownien. Il nous a fallu trouver une cale d'épaisseur, entre les deux plaques de verre. Nous avons essayé beaucoup de solutions :

- Les morceaux de scotch, problème de superposition donc pas de surface plane
- La cire, en faisant un puits au milieu, pas très plat
- Les œillets de classeur suggérés par le BUP.(abandonnés car il absorbe la solution)
- ... etc.

Finalement nous avons décidé de coller ensemble 10 feuilles de papier d'aluminium à la super glue, d'en couper des carrés de 19 mm sur 19 mm (une lamelle fait 20/20), et d'y faire un trou à la perforatrice. Pour être sûres de la planéité, nous les avons mis entre

deux planches puis un grand coup de marteaux, violent mais efficace. Enfin nous avons collé nos œillets en aluminium sur des lames de verre à la super glue (collage sur la périphérie). Nous avons fait un puits pour mettre une goutte de solution avant d'y mettre une lamelle, qui sera collée au pistolet à colle, pour créer un milieu hermétique.



La première observation

Elle a eu lieu un mercredi 24 octobre, jour où tous les groupes ont eu des résultats (pourtant c'est le jour anniversaire du jeudi noir de 1929). Nous étions super contents pour ne pas dire émus. Six mois de galères expérimentales pour voir de petits grains s'agiter au microscope, chacun son tour venaient voir. Il était tard, plus de 17h, alors nous n'avons pas sorti la webcam, pour filmer mais simplement LA chambre claire du lycée. C'est un petit dispositif s'adaptant sur l'oculaire du microscope qui permet de voir à la fois dans le microscope et une feuille sur laquelle on peut tracer ce que l'on voit. Un travail à la Jean PERRIN, quelle joie !!!



Emeraude inaugurant la chambre claire

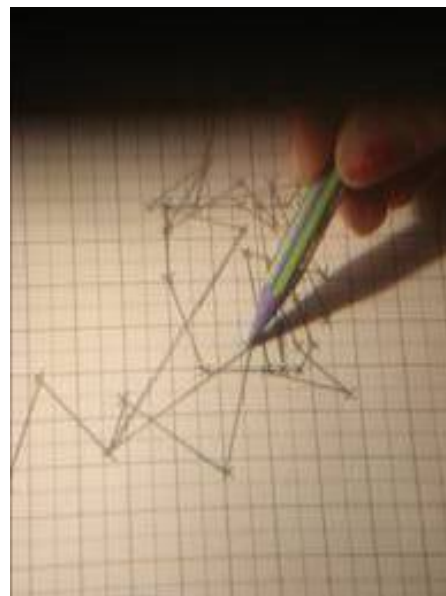
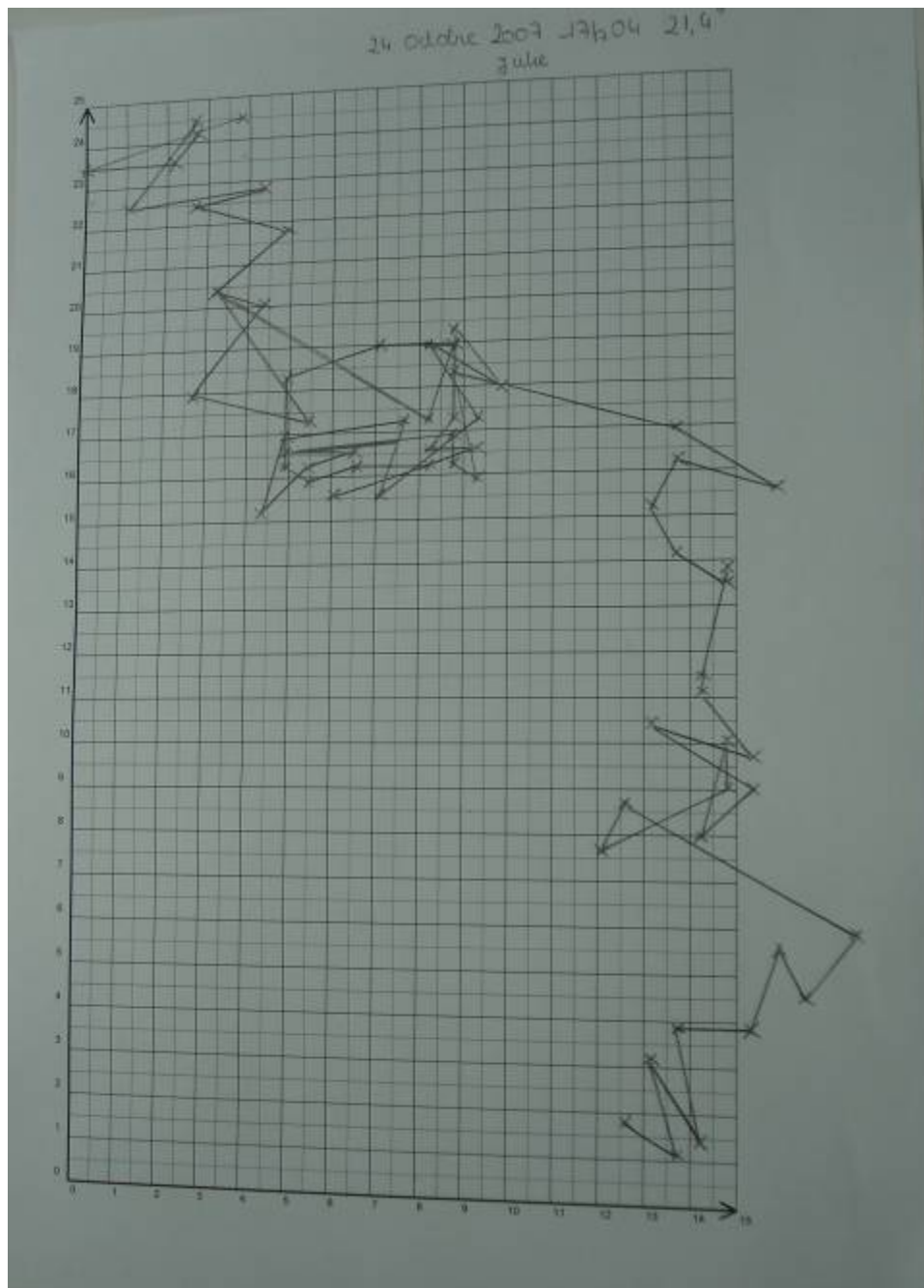


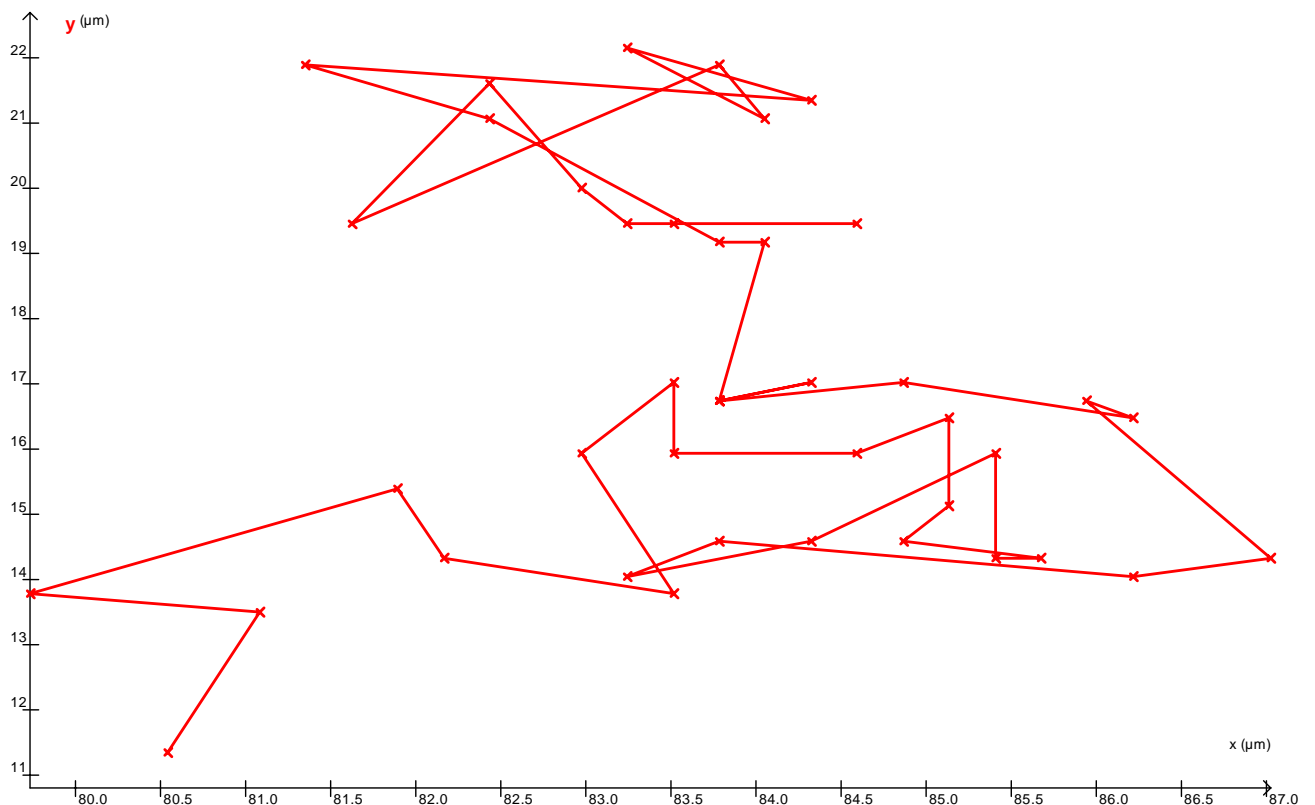
photo prise au travers de la chambre claire.



Le premier tracé de Julie

Les observations à la webcam

Nous avons ensuite adapté une webcam sur l'oculaire du microscope de la SVT (et cela n'a pas été aussi simple que cela), pour faire des acquisitions dans Génériss 5+. On choisit une acquisition lente : une image par seconde. Durée de l'acquisition 5 minutes, soit $5 \times 60 = 300$ images à exploiter. Pour ce faire il suffit de mettre l'origine du repère près de la particule qu'on veut suivre, on étalonne l'acquisition en mettant $360 \mu\text{m}$ pour 100 graduations. Au zoom fois 4, c'est là que le choix d'une origine près de la particule à étudier est important (pour la retrouver). Puis on lance l'acquisition, i clique, i clique ... l'acquisition se fait seule (enfin presque) quand la particule sort du champ on arrête l'acquisition. Génériss propose par défaut X, et Y en fonction du temps. Il suffit de cliquer pour avoir Y en fonction de X.



Exploitation des résultats.

Nous n'avons pas tout compris du travail de Jean PERRIN, c'est un travail statistique il est basé sur l'exploitation de l'équation d'EINSTEIN sur le mouvement Brownien (notons que cette équation a été démontrée de manière différente par Paul LANGEVIN, avec qui J. PERRIN sera transféré au Panthéon)

L'équation d'EINSTEIN décrit le mouvement quadratique moyen ! Les particules ont un mouvement aléatoire.

Pour donner une image prenons un exemple, sur un milieu à une dimension. On tire à pile ou face pour savoir si une personne doit faire + un pas en avant ou - un pas (c'est-à-dire reculer). Au bout d'un temps infini, la position prévisible est la position initiale. Si on observe le mouvement sur un temps très long, on n'aura aucun renseignement.

Maintenant on s'intéresse au mouvement quadratique moyen, c'est-à-dire la moyenne des carrés de chaque mouvement. Si on tire pile, la personne avance de + 1 pas $\langle x^2 \rangle = (+1)^2 = +1$, si on tire face, elle avance maintenant de -1 pas, $\langle x^2 \rangle = (-1)^2 = +1$, donc au bout de n tirages on peut dire que la personne a avancé de n pas. Si elle a parcouru une distance d, en la divisant par n on peut connaître la longueur d'un pas élémentaire, $p = \frac{d}{n}$

L'équation d'EINSTEIN est

$$\frac{\langle x^2 \rangle}{t} = \frac{RT}{N} \cdot \frac{1}{3 \cdot \pi \cdot a \cdot z}$$

Où :

- $\langle x^2 \rangle$ est le mouvement quadratique moyen, en m^2
- t , le temps
- R , la constante des gaz parfaits ($R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)
- T , la température absolue en degré kelvin
- a , le rayon d'une particule
- z la viscosité du milieu.
- et bien sur N le nombre d'Avogadro

Nous n'avons pas compris la démonstration d'EINSTEIN en allemand, mais notre professeur nous l'a expliqué et on ne fait que commencer à comprendre d'où elle vient.

Au lieu de travailler comme J. PERRIN avec cette relation, nous avons choisi de la transformer sur conseil d'Alain DUBOIS (Directeur du Laboratoire de Chimie Physique - Matière et Rayonnement Université Pierre et Marie Curie (Paris VI), UMR du CNRS 7614) en :

$$\langle x^2 \rangle = \frac{RT}{N} \cdot \frac{1}{3 \cdot \pi \cdot a \cdot z} \cdot t$$

Et ainsi cela devient plus simple parce que étudier un mouvement quadratique moyen, en fonction du temps c'est facile avec des moyens informatiques.

Si on trace $\langle x^2 \rangle = f(t)$, on doit avoir une droite passant par l'origine avec comme coefficient directeur : $\frac{RT}{N} \cdot \frac{1}{3 \cdot \pi \cdot a \cdot z}$. ce qui nous mène au nombre d'Avogadro.

Nous avons pu suivre une particule pendant une durée de 68 s à raison d'une image par seconde, c'est ce fichier que nous avons décidé d'exploiter (faute de temps, nous aurions souhaité multiplier les mesure). La température était de 22,4 °C

Une fois les mesures acquises, cela devient très simple :

- un copier-coller des valeurs de Génériss dans Excel.
- Remplacer les virgules par des points Edition... Remplacer « , » par « . »
- Voilà les valeurs dans Excel au format nombre (alignement à droite).

Nous sommes dans un plan, donc le mouvement quadratique moyen est $X^2 = x^2 + y^2$ (le carré de l'hypoténuse).

- Sur un intervalle de temps : On se met dans la cellule C2 et on tape :
 $= (A2 - A1)^2 + (B2 - B1)^2$, on tire vers le bas

- Sur deux intervalles de temps : On se met dans la cellule D3 et on tape : $= (B3-B1)^2 + (A3-A1)^2$, on tire vers le bas
- Sur trois intervalles de temps : On se met dans la cellule E4 et on tape : $= (B4-B1)^2 + (A4-A1)^2$, on tire vers le bas
- Etc ...

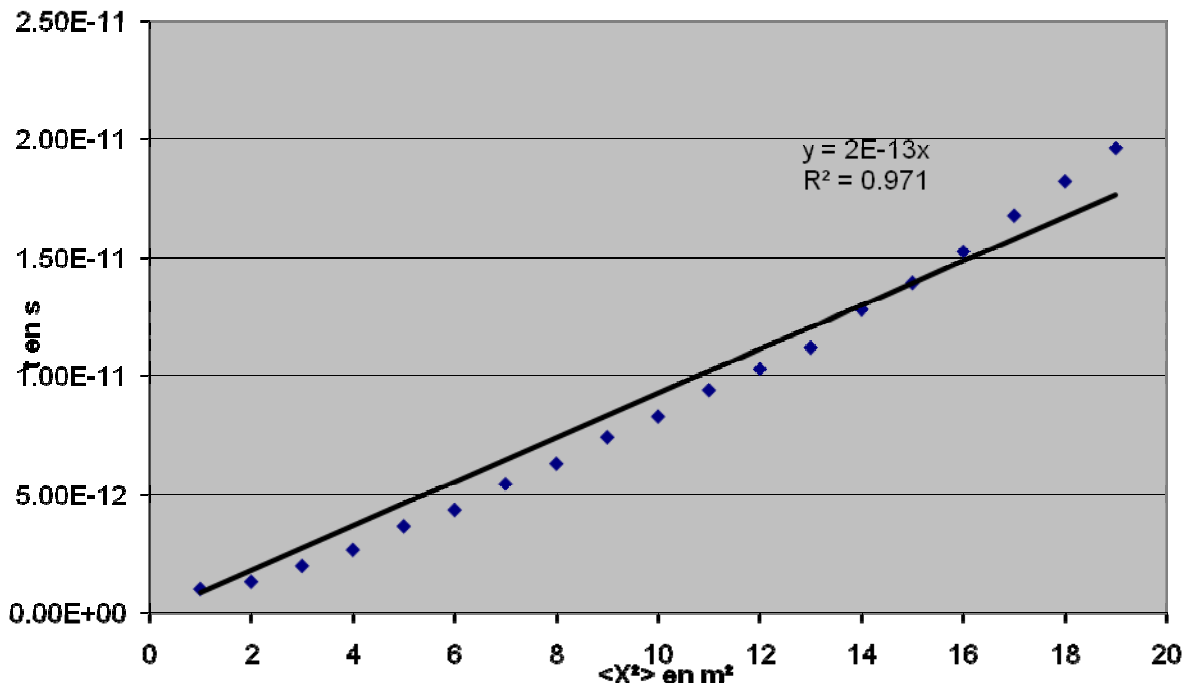
	A	B	C	D	E	F	G
1	ii	I	<X> 1tau	<X> 2tau	<X> 3tau	<X> 4tau	<X> 5tau
2	0.00007644	0.000012922					
3	0.00007696	0.000012532	$= (A3-A2)^2 + (B3-B2)^2$				
4	0.0000767	0.000013728	$= (A4-A3)^2 + (B4-B3)^2$	$= (B4-B2)^2 + (A4-A2)^2$			
5	0.00007722	0.000012714	$= (A5-A4)^2 + (B5-B4)^2$	$= (B5-B3)^2 + (A5-A3)^2$	$= (A5-A2)^2 + (B5-B2)^2$		
6	0.00007696	0.000014118	$= (A6-A5)^2 + (B6-B5)^2$	$= (B6-B4)^2 + (A6-A4)^2$	$= (A6-A3)^2 + (B6-B3)^2$	$= (A6-A2)^2 + (B6-B2)^2$	
7	0.00007748	0.000014118	$= (A7-A6)^2 + (B7-B6)^2$	$= (B7-B5)^2 + (A7-A5)^2$	$= (A7-A4)^2 + (B7-B4)^2$	$= (A7-A3)^2 + (B7-B3)^2$	$= (A7-A2)^2 + (B7-B2)^2$
8	0.00007774	0.000015106	$= (A8-A7)^2 + (B8-B7)^2$	$= (B8-B6)^2 + (A8-A6)^2$	$= (A8-A5)^2 + (B8-B5)^2$	$= (A8-A4)^2 + (B8-B4)^2$	$= (A8-A3)^2 + (B8-B3)^2$
9	0.000078	0.000014508	$= (A9-A8)^2 + (B9-B8)^2$	$= (B9-B7)^2 + (A9-A7)^2$	$= (A9-A6)^2 + (B9-B6)^2$	$= (A9-A5)^2 + (B9-B5)^2$	$= (A9-A4)^2 + (B9-B4)^2$
10	0.00007828	0.000015314	$= (A10-A9)^2 + (B10-B9)^2$	$= (B10-B8)^2 + (A10-A8)^2$	$= (A10-A7)^2 + (B10-B7)^2$	$= (A10-A6)^2 + (B10-B6)^2$	$= (A10-A5)^2 + (B10-B5)^2$
11	0.00007644	0.0000168	$= (A11-A10)^2 + (B11-B10)^2$	$= (B11-B9)^2 + (A11-A9)^2$	$= (A11-A8)^2 + (B11-B8)^2$	$= (A11-A7)^2 + (B11-B7)^2$	$= (A11-A6)^2 + (B11-B6)^2$
12	0.00007644	0.000016302	$= (A12-A11)^2 + (B12-B11)^2$	$= (B12-B10)^2 + (A12-A10)^2$	$= (A12-A9)^2 + (B12-B9)^2$	$= (A12-A8)^2 + (B12-B8)^2$	$= (A12-A7)^2 + (B12-B7)^2$
13	0.00007722	0.000017082	$= (A13-A12)^2 + (B13-B12)^2$	$= (B13-B11)^2 + (A13-A11)^2$	$= (A13-A10)^2 + (B13-B10)^2$	$= (A13-A9)^2 + (B13-B9)^2$	$= (A13-A8)^2 + (B13-B8)^2$
14	0.00007722	0.00001768	$= (A14-A13)^2 + (B14-B13)^2$	$= (B14-B12)^2 + (A14-A12)^2$	$= (A14-A11)^2 + (B14-B11)^2$	$= (A14-A10)^2 + (B14-B10)^2$	$= (A14-A9)^2 + (B14-B9)^2$
15	0.00007722	0.00001661	$= (A15-A14)^2 + (B15-B14)^2$	$= (B15-B13)^2 + (A15-A13)^2$	$= (A15-A12)^2 + (B15-B12)^2$	$= (A15-A11)^2 + (B15-B11)^2$	$= (A15-A10)^2 + (B15-B10)^2$
16	0.00007748	0.000017082	$= (A16-A15)^2 + (B16-B15)^2$	$= (B16-B14)^2 + (A16-A14)^2$	$= (A16-A13)^2 + (B16-B13)^2$	$= (A16-A12)^2 + (B16-B12)^2$	$= (A16-A11)^2 + (B16-B11)^2$
17	0.0000767	0.000017886	$= (A17-A16)^2 + (B17-B16)^2$	$= (B17-B15)^2 + (A17-A15)^2$	$= (A17-A14)^2 + (B17-B14)^2$	$= (A17-A13)^2 + (B17-B13)^2$	$= (A17-A12)^2 + (B17-B12)^2$
18	0.00007748	0.000017496	$= (A18-A17)^2 + (B18-B17)^2$	$= (B18-B16)^2 + (A18-A16)^2$	$= (A18-A15)^2 + (B18-B15)^2$	$= (A18-A14)^2 + (B18-B14)^2$	$= (A18-A13)^2 + (B18-B13)^2$
19	0.00007722	0.000018278	$= (A19-A18)^2 + (B19-B18)^2$	$= (B19-B17)^2 + (A19-A17)^2$	$= (A19-A16)^2 + (B19-B16)^2$	$= (A19-A15)^2 + (B19-B15)^2$	$= (A19-A14)^2 + (B19-B14)^2$
20	0.00007722	0.000018486	$= (A20-A19)^2 + (B20-B19)^2$	$= (B20-B18)^2 + (A20-A18)^2$	$= (A20-A17)^2 + (B20-B17)^2$	$= (A20-A16)^2 + (B20-B16)^2$	$= (A20-A15)^2 + (B20-B15)^2$
21	0.00007722	0.00001989	$= (A21-A20)^2 + (B21-B20)^2$	$= (B21-B19)^2 + (A21-A19)^2$	$= (A21-A18)^2 + (B21-B18)^2$	$= (A21-A17)^2 + (B21-B17)^2$	$= (A21-A16)^2 + (B21-B16)^2$
22	0.00007722	0.000019682	$= (A22-A21)^2 + (B22-B21)^2$	$= (B22-B20)^2 + (A22-A20)^2$	$= (A22-A19)^2 + (B22-B19)^2$	$= (A22-A18)^2 + (B22-B18)^2$	$= (A22-A17)^2 + (B22-B17)^2$
23	0.00007696	0.000020072	$= (A23-A22)^2 + (B23-B22)^2$	$= (B23-B21)^2 + (A23-A21)^2$	$= (A23-A20)^2 + (B23-B20)^2$	$= (A23-A19)^2 + (B23-B19)^2$	$= (A23-A18)^2 + (B23-B18)^2$
24	0.0000767	0.00002067	$= (A24-A23)^2 + (B24-B23)^2$	$= (B24-B22)^2 + (A24-A22)^2$	$= (A24-A21)^2 + (B24-B21)^2$	$= (A24-A20)^2 + (B24-B20)^2$	$= (A24-A19)^2 + (B24-B19)^2$
25	0.00007696	0.000021268	$= (A25-A24)^2 + (B25-B24)^2$	$= (B25-B23)^2 + (A25-A23)^2$	$= (A25-A22)^2 + (B25-B22)^2$	$= (A25-A21)^2 + (B25-B21)^2$	$= (A25-A20)^2 + (B25-B20)^2$
26	0.00007774	0.000020878	$= (A26-A25)^2 + (B26-B25)^2$	$= (B26-B24)^2 + (A26-A24)^2$	$= (A26-A23)^2 + (B26-B23)^2$	$= (A26-A22)^2 + (B26-B22)^2$	$= (A26-A21)^2 + (B26-B21)^2$
27	0.00007696	0.000021660	$= (A27-A26)^2 + (B27-B26)^2$	$= (B27-B25)^2 + (A27-A25)^2$	$= (A27-A24)^2 + (B27-B24)^2$	$= (A27-A23)^2 + (B27-B23)^2$	$= (A27-A22)^2 + (B27-B22)^2$
28	0.00007696	0.000021668	$= (A28-A27)^2 + (B28-B27)^2$	$= (B28-B26)^2 + (A28-A26)^2$	$= (A28-A25)^2 + (B28-B25)^2$	$= (A28-A24)^2 + (B28-B24)^2$	$= (A28-A23)^2 + (B28-B23)^2$
29	0.00007614	0.000022464	$= (A29-A28)^2 + (B29-B28)^2$	$= (B29-B27)^2 + (A29-A27)^2$	$= (A29-A26)^2 + (B29-B26)^2$	$= (A29-A25)^2 + (B29-B25)^2$	$= (A29-A24)^2 + (B29-B24)^2$
30	0.0000764	0.00002106	$= (A30-A29)^2 + (B30-B29)^2$	$= (B30-B28)^2 + (A30-A28)^2$	$= (A30-A27)^2 + (B30-B27)^2$	$= (A30-A26)^2 + (B30-B26)^2$	$= (A30-A25)^2 + (B30-B25)^2$
31	0.00007614	0.000021268	$= (A31-A30)^2 + (B31-B30)^2$	$= (B31-B29)^2 + (A31-A29)^2$	$= (A31-A28)^2 + (B31-B28)^2$	$= (A31-A27)^2 + (B31-B27)^2$	$= (A31-A26)^2 + (B31-B26)^2$
32	0.00007614	0.000021668	$= (A32-A31)^2 + (B32-B31)^2$	$= (B32-B30)^2 + (A32-A30)^2$	$= (A32-A29)^2 + (B32-B29)^2$	$= (A32-A28)^2 + (B32-B28)^2$	$= (A32-A27)^2 + (B32-B27)^2$

En bas de chaque colonne,

- On fait la moyenne
- On met le temps 1, 2, 3, 4

On trace un graphique classique en physique (nuage de point) puis on fait ajouter courbe de tendance ... linéaire ... option mettre l'équation sur le graphique ... afficher R^2 (plus ce nombre est près de 1, plus le modèle est bon).

$$\langle X^2 \rangle = f(t)$$



Ça ne ressemble pas trop à une droite, mais nous rappelons que c'est sur UNE acquisition. Nous n'avons à ce jour pas réussi à faire apparaître tous les points dans Excel. Les points représentés sont des moyennes sur 68 mesures (du moins pour le premier) puis 67 .. jusque 48. Le coefficient R^2 est de 0.9719, ce n'est pas mal, d'après M. BURIDANT.

D'après Excel, notre coefficient directeur k est de 2.10^{-13} ($m^2 \cdot s^{-1}$)

$$\text{Or } k = \frac{RT}{N} \cdot \frac{1}{3 \cdot \pi \cdot a \cdot z}$$

D'où

$$N = \frac{RT}{k} \cdot \frac{1}{3 \cdot \pi \cdot a \cdot z}$$

$$R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$T = 22,4 \text{ }^\circ\text{C} = 273 + 22,4 = 295,4 \text{ K}$$

$k = 2.10^{-13}$ (d'après Excel, nous regrettons de ne pas avoir plus de chiffres significatifs)

a est le rayon de la particule $0,5 \mu\text{m}$ (mesuré avec le micromètre)

z la viscosité de l'eau à $22,4 \text{ }^\circ\text{C}$: $9,48.10^{-3}$ (calculée grâce à <http://pravarini.free.fr/Viscosites.htm>)

$$\text{Soit } N = \frac{8,31 \times 295,4}{2.10^{-13}} \times \frac{1}{3 \times 3,14 \times 5.10^{-7} \times 9,48.10^{-3}} = 2,74.10^{23}$$

donc pour respecter la règle des chiffre significatifs

$$N = 3.10^{23}$$

Nous avons 50% d'erreur, mais comme dit M. BURIDANT

« Vous avez l'ordre de grandeur ! C'est super » c'est ce que nous pensions ! jusqu'à ce que le jury nous fasse remarquer que nous avons travaillé dans un plan. Et donc notre coefficient directeur était deux fois plus grand. Car si on considère que le mouvement est le même selon les deux axes, alors la diagonale de $\langle x^2 \rangle \langle y^2 \rangle$ vaut $2 \langle X^2 \rangle$! et donc nous trouvons.

$N = 6.10^{23}$ sur notre première mesure.

Le jury nous a fait très plaisir en nous annonçant cette bonne nouvelle !

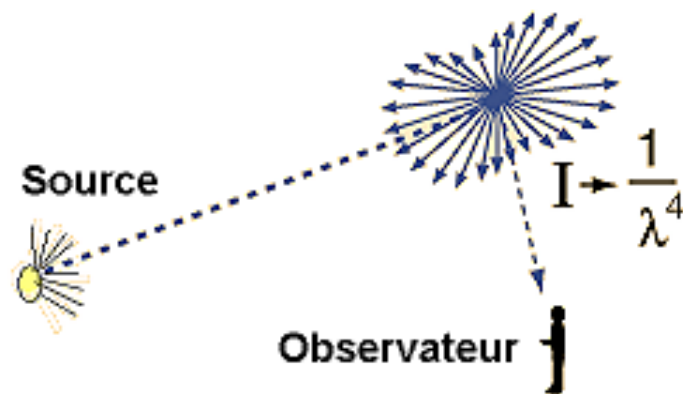
Depuis nous avons refait 125 séries de mesures (25 chacun).

En tenant compte des chiffres significatifs, on a 4.10^{23} avec un chiffre de mieux on aurait $4,4.10^{23}$, c'est quand même assez bien nous dit M.BURIDANT.

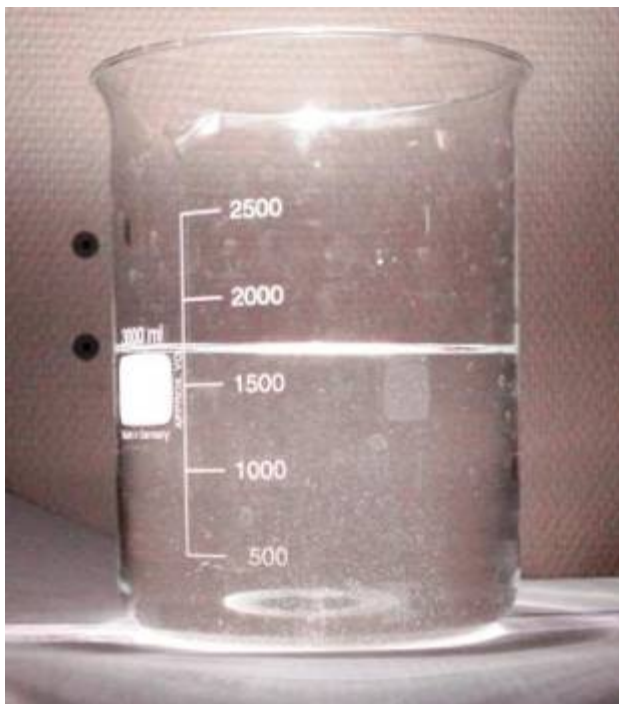
Le bleu du ciel

Principe théorique :

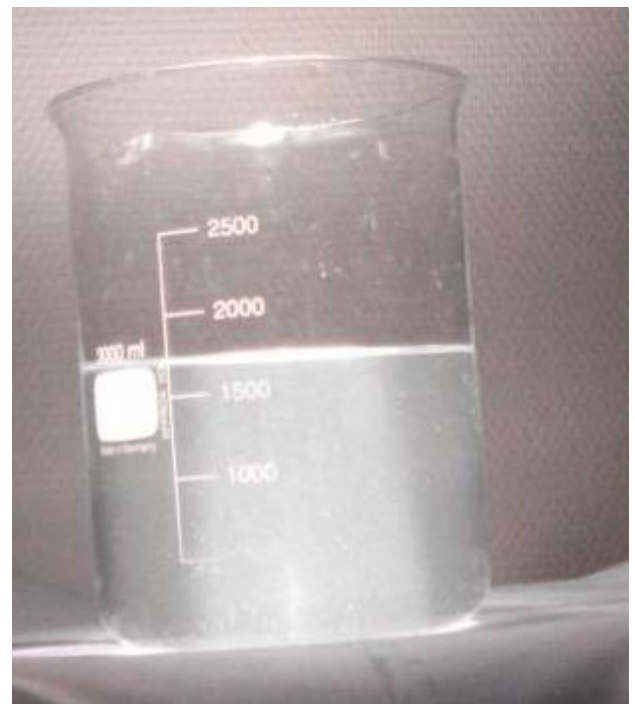
Sir John William Strutt Rayleigh (1842-1919) prix Nobel de physique en 1904, s'est intéressé à la question en 1868. Lorsqu'une source lumineuse traverse un milieu contenant des particules que ce soit de l'eau contenant du lait ou l'air contenant des molécules d'air, une partie de cette lumière est diffusée.



(Source internet)



Eau pure



Eau + lait

La solution de lait apparaît bleutée.

C'est cette diffusion de la lumière qui explique la couleur bleue du ciel mais également la couleur rouge du soleil le soir. Et aussi l'absence de ciel sur la lune faute d'atmosphère

Le bleu du ciel et Jean PERRIN

Dans le livre « *les atomes* » de Jean PERRIN, p 203, il donne la relation :

$$\frac{e}{E} = \pi^3 \omega^2 M \frac{P}{g} \frac{1 + \cos^2 \beta}{\cos \alpha} \frac{\mu^2 - 1}{d} \frac{1}{\lambda^4} \frac{1}{N}$$

Soit encore

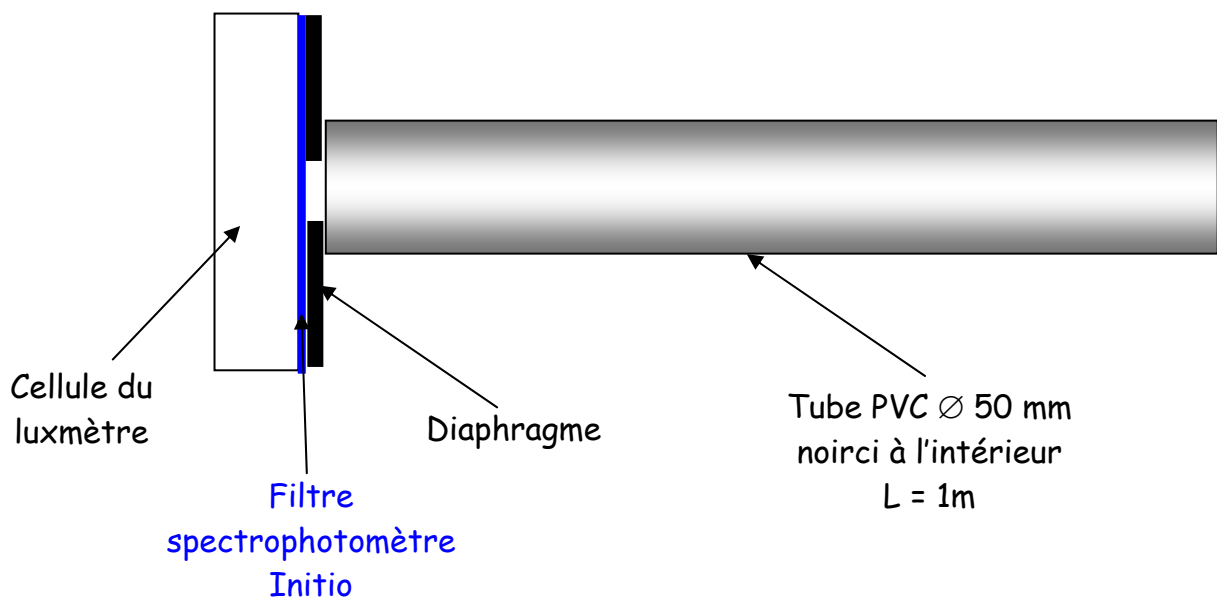
$$N = \pi^3 \omega^2 M \frac{P}{g} \frac{1 + \cos^2 \beta}{\cos \alpha} \frac{\mu^2 - 1}{d} \frac{1}{\lambda^4} \frac{E}{e}$$

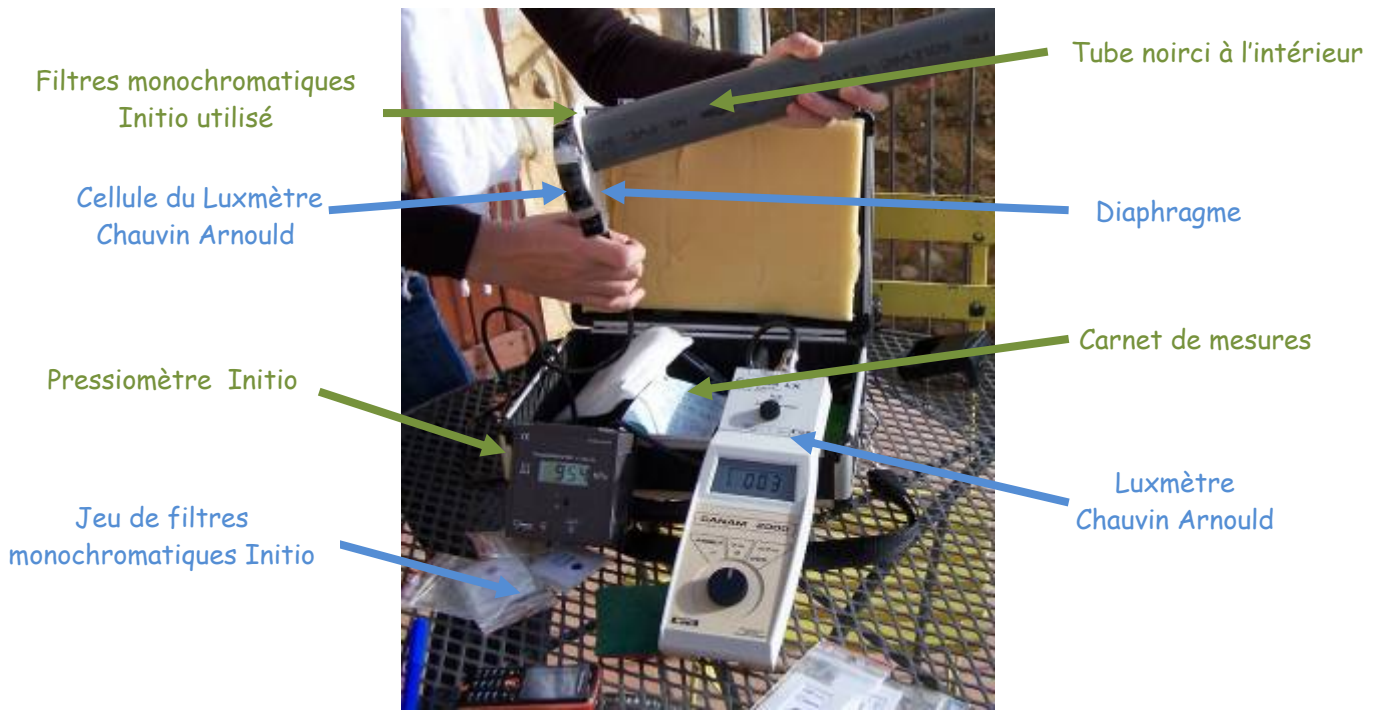
Où N est le nombre d'Avogadro

- ω est le demi-diamètre apparent du soleil
- M, la molécule gramme d'air 28,966 g soit $2,8966 \cdot 10^{-2}$ kg Source : <http://www.educnet.education.fr/obter/appliped/circula/theme/atmos22.htm>
- P la pression atmosphérique
- g est la valeur l'accélération de la pesanteur au lieu de mesure
- β est l'angle de la mesure par rapport au soleil (nous avons choisis 90° $\cos(90) = 0$)
- α est la distance zénithale du soleil (angle fait avec la verticale)
- $\frac{\mu^2 - 1}{d}$ est l'indice de réfraction de l'air
- λ est la longueur d'onde
- E l'éclairement mesuré en visant le soleil
- e l'éclairement suivant l'angle choisi

En fait, pour résumer, on peut dire que $N = K \frac{1}{\lambda^4} \frac{E}{e}$, aux constantes du lieu de mesures, il suffit de mesurer la lumière émise directement par le soleil E, et celle diffusée e, pour une longueur d'onde donnée λ .

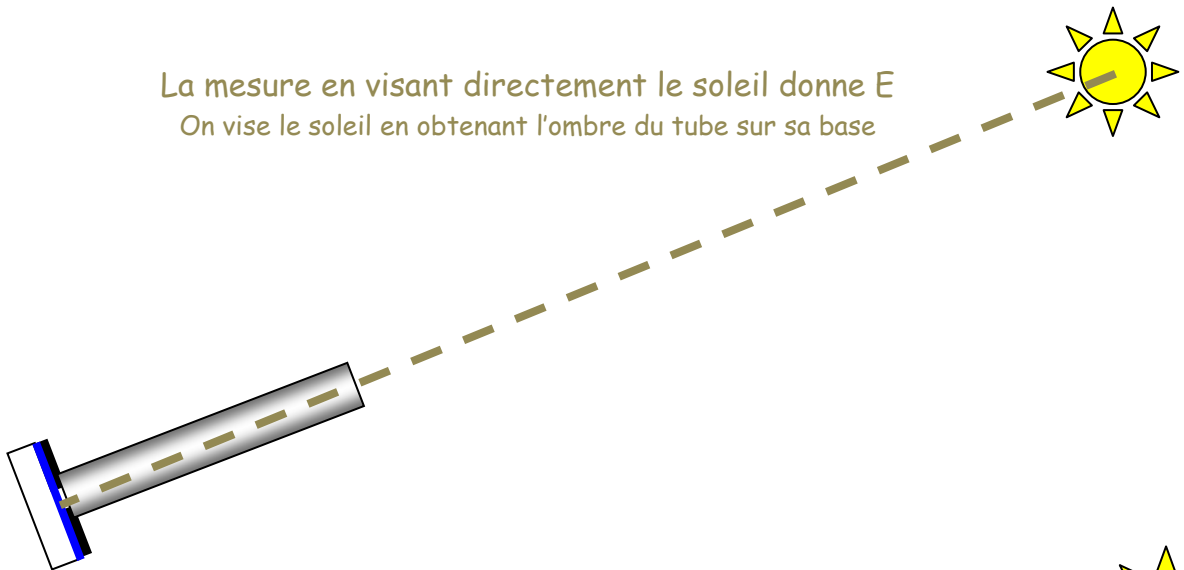
Notre matériel est constitué d'un luxmètre Chauvin-Arnould, de filtres pour colorimètre Initio (Jeulin), d'un diaphragme et d'un tube.



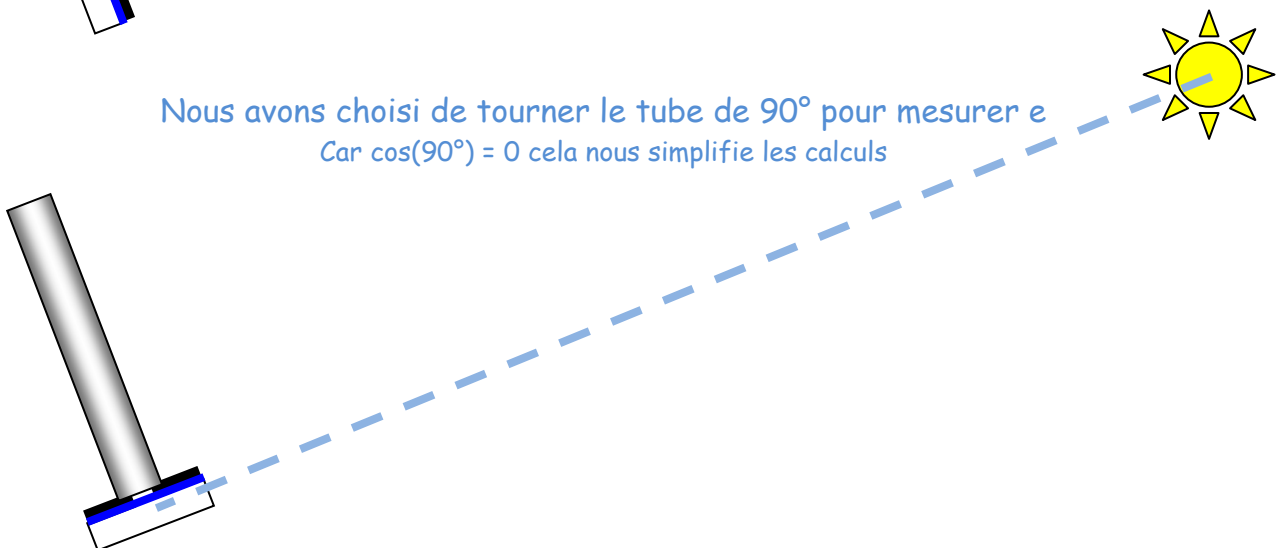


Muni de ce système, on vise le soleil pour faire une première mesure de E , puis à l'aide d'un rapporteur sur un axe, on tourne le système de 90° . C'est relativement simple.

La mesure en visant directement le soleil donne E
On vise le soleil en obtenant l'ombre du tube sur sa base



Nous avons choisi de tourner le tube de 90° pour mesurer e
Car $\cos(90^\circ) = 0$ cela nous simplifie les calculs





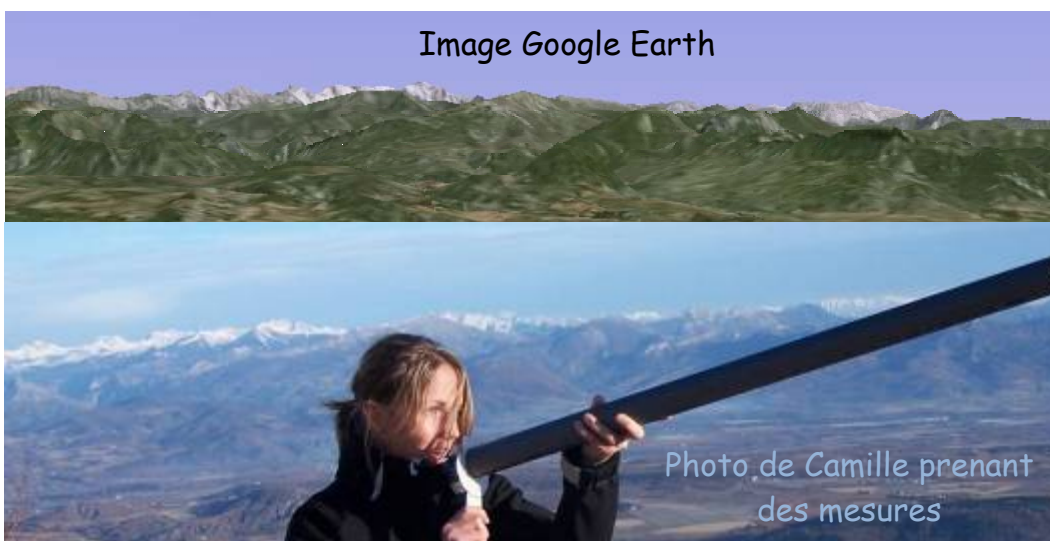
Corentin faisant des mesures près du lac d'Archard (Aout 2007)

Il ne faut qu'une chose, du beau temps, ce qui franchement n'a pas été le cas du mois d'août là où nous nous trouvons. Nous avons pu faire deux séries de mesures l'une à Chamrousse et l'autre au lac Achard. Les deux lieux étant situés à proximité de Grenoble (France). Nos mesures n'étaient pas formidables, le jury nous a conseillé de les revoir. Par chance, Camille, une élève du groupe « champ son d'eau », est allée passer une partie des vacances de Noël dans le sud. Elle nous a proposé mettre notre matériel dans ses valises et de nous faire des mesures. C'est une tradition au lycée, tous les groupes s'aident, M. BURIDANT y tient beaucoup. D'ailleurs chaque mercredi, lors de la pause café, chacun expose ses problèmes ou ses idées.

Lieu des vacances de Camille : « Le Poët » village situé entre Gap et Sisteron, sur le canal de la Durance qui alimente Marseille en eau douce. La montagne de Chabre dans le massif des Baronnies, c'est un lieu de réputation internationale pour faire du parapente et du deltaplane situé à 10 km du petit village « le Poët », pour nous un lieu idéal pour faire des mesures.

Les coordonnées exactes sont : latitude = $44^{\circ}18'03.60''$ N longitude = $5^{\circ}46'15.87''$ E

La concordance entre l'image obtenue dans Google Earth et la photo ne laisse aucun doute



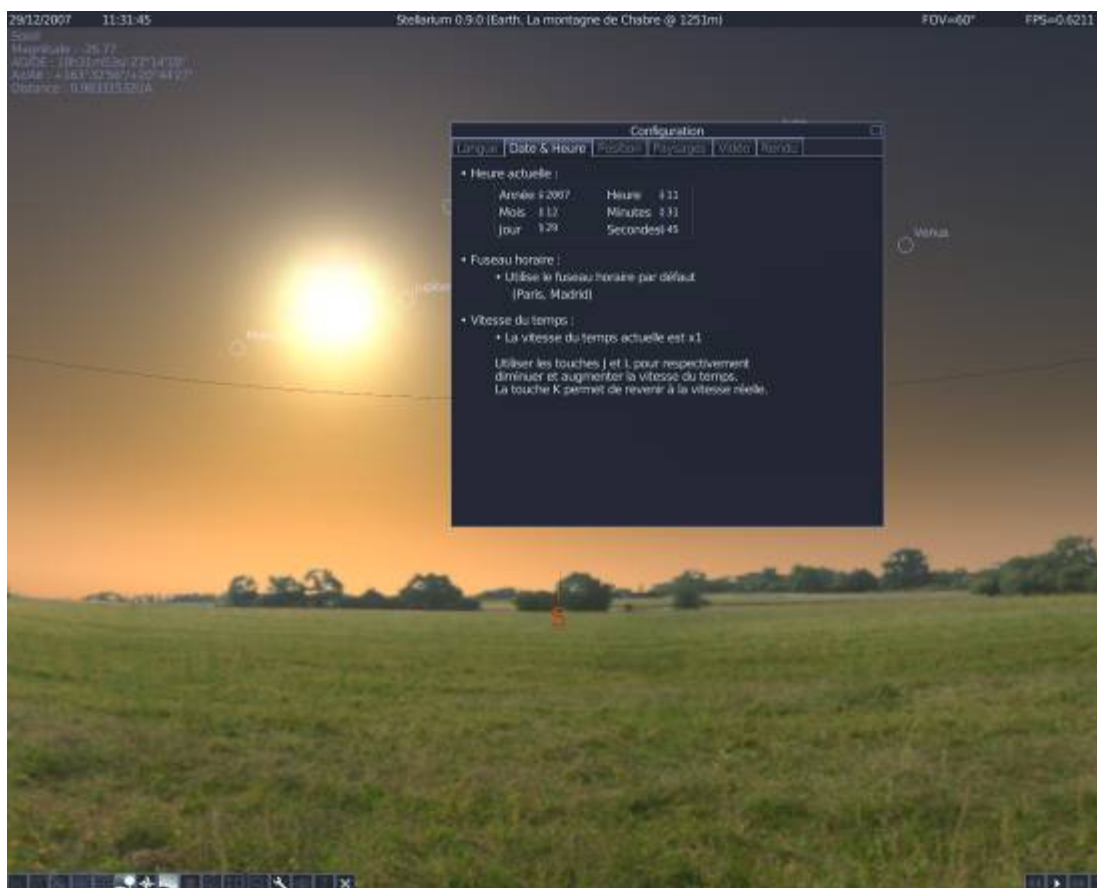
L'altitude au point de mesure est de 1251 m

Les autres paramètres :

- Pour la pression atmosphérique, nous l'avons mesurée avec un Pressiomètre Initio Jeulin (nous avons vérifié sa concordance avec celui de Météo France Boulogne sur mer).
- La hauteur zénithale du soleil, nous l'avons déterminé grâce au logiciel Stellarium 0.9.0, dans option on entre les coordonnées GPS des lieux, et l'heure, on clique sur l'astre considéré et on a sa hauteur par rapport à l'horizon, le complément à 90° nous donne la hauteur zénithale du soleil.

```
[init_location]
name                = La montagne de Chabre
latitude            = +44d18'03.60"
longitude           = +05d46'15.87"
altitude            = 1251
landscape_name      = hurricane
time_zone           = system_default
time_display_format = system_default
date_display_format = system_default
home_planet         = Earth
```

Paramétrages de Stellarium double clic sur config.ini
Puis on poursuit en réglant la date et l'heure



Mesure de la position du soleil en cliquant dessus !

- l'indice de réfraction de l'air nous l'avons calculé avec la relation de Bengt Edlén <http://emtoolbox.nist.gov/Wavelength/Edlen.asp>
- La valeur locale de g , nous l'avons trouvée sur le site du BRGM. La valeur de g est de $9,8036686 \text{ m.s}^{-2}$ à LARAGNE MONTEGLIN (05) distant de 4,39 km seulement! http://infoterrefiche.brgm.fr/Lib/DAT/newfiche/fiche_base_gravi.asp?id=2053&source=&type_eau=&codebss=
- Et le rayon apparent du soleil, nous l'avons trouvé sur le site de l'observatoire (vu dans les éphémérides) http://www.imcce.fr/imcce_fr.html , il est de: 16,265050 minutes d'angle soit : $4,73.10^{-3}$ rad.

Les mesures de Camille :

<ul style="list-style-type: none"> • Jour : samedi 29 décembre 2007 				
<ul style="list-style-type: none"> • Heure : 18h07 • Pression : 833 hPa • Altitude :1251 m • Lieu : La montagne de Chabre • LARAGNE MONTEGLIN (05) • 5°46'15.87" E • 44°18'03.60" N 				
	direct		90°	
filtre	Calibre	Valeur lue	Calibre	Valeur lue
440	2000	393	2000	214
490	2000	492	2000	212
550	2000	592	2000	345
680	2000	326	2000	228
<ul style="list-style-type: none"> • Jour : samedi 23/12 				
<ul style="list-style-type: none"> • Heure : 11h52 • Pression = 951 hPa • Lieu : Le Poët 				
	Direct		90°	
filtre	Calibre	Valeur lue	Calibre	Valeur lue
680	2000	110	2000	25
490	2000	171	2000	38
550	2000	335	2000	106

Nous avons mis toutes ces valeurs dans Excel :

angle soleil	alpha	P	lambda	E	e	N
16.9	73.1	83300	4.40E-07	393	214	2.29E+24
16.9	73.1	83300	4.90E-07	492	212	1.88E+24
16.9	73.1	83300	5.50E-07	592	345	8.77E+23
16.9	73.1	83300	6.80E-07	326	228	3.13E+23

27.5	62.5	77900	6.80E-07	110	25	1.43E+24
27.5	62.5	77900	4.90E-07	171	38	5.42E+24
27.5	62.5	77900	5.50E-07	335	106	2.40E+24

Ce qui nous donne une valeur moyenne de $2,09 \cdot 10^{+24}$

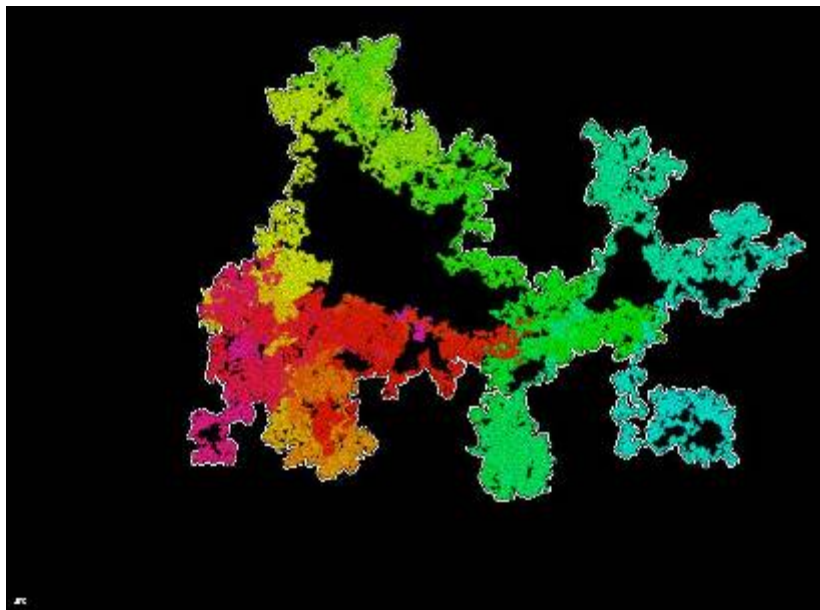
Nous regrettons de ne pas avoir fait plus de mesures. Nous espérons bientôt avoir le spectrophotomètre à fibre optique de Maud et Clara, pour essayer un autre système.

Conclusion

Nous avons repris la méthode de Jean PERRIN pour déterminer le nombre d'Avogadro par deux méthodes différentes.

- Le mouvement brownien. Lorsque nous avons commencé ce travail, ce mouvement erratique nous semblait être quelque chose de moyenâgeux, une antiquité de laboratoire. Lorsque nous avons tant de difficultés à obtenir les précieuses particules, nous avons constaté que de nombreux laboratoires s'intéressent encore au mouvement brownien.

« Tout simplement, parce que la marche aléatoire est un processus physique omniprésent. Cela concerne en particulier la physique de la matière condensée, mais aussi la propagation des incendies de forêt, ou encore l'étude des variations des cours de la bourse... » Nous dit Jean-Francois COLONNA de l'Ecole Polytechnique qui nous permet d'insérer l'une de ses simulations de mouvement brownien.



Un extrait d'un autre mail :

« Ringard ? Pourquoi ? C'est tout neuf et on n'a pas fini d'en faire le tour.

Alors dès qu'on regarde un phénomène aléatoire qui évolue dans le temps, ... on tombe sur ... le brownien. La trajectoire des fameux grains de pollen de Brown, les parasites qui font "scrouich" dans un téléphone portable, ce à quoi un ordinateur compare une image pour en distinguer les contours, le cours du dollar à la bourse de Paris ... ce sont ... des choses construites à partir du brownien. Ajoutez-y le fait que la bourse est brownienne, ... et vous devinerez facilement pourquoi plein de gens cuisinent le brownien à toutes les sauces. Dont certaines très indigestes. »

Nous avons surtout découvert que la technique de Jean PERRIN, demandent beaucoup de patience, énormément de soin pour obtenir les précieuses particules en mouvement et de faire de nombreuses fois l'expérience pour avoir une valeur correcte.

- Le bleu du ciel avec lequel nous obtenons $N_A = 2,09 \cdot 10^{24}$. Nous regrettons de ne pas avoir pu multiplier le nombre de mesures, pour avoir un résultat plus proche de la réalité. Nous envisageons de faire une mesure sur le toit de notre lycée, et une sur celui du Palais de la Découverte juste avant notre exposé si cela est possible ... et s'il fait beau.

Lorsque Jean PERRIN, l'a déterminé c'était pour prouver l'existence des atomes : *"L'hypothèse atomique a acquis récemment assez de consistance pour presque cesser d'apparaître comme une hypothèse : les atomes ne sont plus une fiction utile, nous pouvons dire que nous les voyons puisque nous pouvons les compter"* (Henri POINCARÉ). Aujourd'hui le nombre d'Avogadro est défini par convention, c'est le nombre d'atome contenu dans 12g de carbone pour faire court. Aujourd'hui il n'y a plus d'intérêt à mesurer ce nombre, on peut « voir » les atomes, les compter. La visite gagnée entre autre par la sœur de Corentin, au labo de nanoscience de Paris VI, le leur a montré.

Mais nous remarquons que la mole est définie par rapport au kilogramme, qui lui est une copie du kilogramme étalon du BIPM.

Et si le nombre d'Avogadro était fixé par exemple à $6 \cdot 10^{23}$ entités, le kilogramme pourrait devenir la masse de 1000 moles d'hydrogène 1.

Remerciements.

- ✚ M. Olivier BURIDANT, professeur SPCFA, lycée E. BRANLY, Boulogne sur mer.
- ✚ M. Patrick RYVES, professeur SPCFA, lycée E. BRANLY, Boulogne sur mer.
- ✚ M. Philippe LANCEL, professeur SPCFA, lycée E. BRANLY, Boulogne sur mer.
- ✚ M. Guillaume HERCOUET, professeur de SVT au lycée E. BRANLY, Boulogne sur mer.
- ✚ M Vincent LEDOUX professeur SPCFA, lycée E. BRANLY, Boulogne sur mer.
- ✚ Mme Sophie DEPERLEQUES, professeure de lettres modernes
- ✚ M. Guy BRIANÇON, Proviseur, lycée E. BRANLY, Boulogne sur mer.
- ✚ M. Jean-Marc PIWINSKI, proviseur adjoint, lycée E. BRANLY, Boulogne sur mer.
- ✚ M. Alexandre KORBAS, chef des travaux, lycée E. BRANLY, Boulogne sur mer.
- ✚ M. Alain DUVAL, professeur de lettres-anglais, animateur du club vidéo, lycée E. Branly, Boulogne sur mer.
- ✚ Melle Christèle FLAMAND, professeure de lettres modernes, animatrice du club vidéo, lycée E. BRANLY, Boulogne sur mer.
- ✚ Mme Bernadette COUTURIER, professeure enseignante documentaliste.
- ✚ M. Kamil FADEL, Directeur du département Physique du Palais de la Découverte.
- ✚ Mme Marie Christine GROSLIERE, prépa agrég USTL, Lille I.
- ✚ Mme Myriam FRADON, Maître de conférence, laboratoire Paul Painlevé, Equipe de Probabilités et Statistique, U.M.R. du CNRS 8524, USTL, Lille I.
- ✚ M. Yves PHILIPPE, Responsable Service Marchés, Société Jeulin SA
- ✚ Alain DUBOIS, Directeur du Laboratoire de Chimie Physique - Matière et Rayonnement Université Pierre et Marie Curie (Paris VI), UMR du CNRS 7614.
- ✚ Jean-Francois COLONNA, CMAP (Centre de Mathématiques APpliquées) Génie logiciel et visualisation scientifique, Ecole Polytechnique, Palaiseau
- ✚ Camille DUBART, TS₂ lycée E. BRANLY
- ✚ Marjorie, Lucie, Pauline, Laurie, Julien, Simon, Laura, Mélanie, Dorian, Damien, Luc, Perrine, Clémence, Gilles, Maxime, François, Guillaume, Marion, Claire, Olympiades 2005, 2006 et 2007.
- ✚ MM Philippe PENEL, Bruno HERMAND, et Mmes Betty HENGUELLE, Véronique PRUVOT, Alexandra HOLLANDER, Céline WILLIAM et Sylvie DELETOILLE, personnels de laboratoire (pour leur patience).
- ✚ A tous les personnels du lycée qui ont fait ce qu'ils pouvaient pour nous aider dans notre travail.
- ✚ Nos camarades de la première S₂ pour leur soutien.
- ✚ A nos parents pour le travail de relecture et leur patience.

Merci aussi à tous ceux qui nous ont aidés et que nous avons oubliés de citer.

Merci à tous ceux qui ont eu la patience de nous écouter.

BIBLIOGRAPHIE

1. Les Atomes, *J. PERRIN*, 1913, réédition 1991, Flammarion
2. Jean Perrin et les Atomes, *Fernand LOT*, 1963, Seghers
3. Über die von der molekularkinetischen, Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen, *A. EINSTEIN*, 1905, *Ann. Phy.*, 17, p 549-560
4. Sur les traces de Jean Perrin avec une webcam, *A.DEIBER ; V.STEINMETZ ; J.AFLALO et S.LAVAUX*, 2007, BUP Physique Chimie, p 1039.
5. Sur la théorie du mouvement Brownien, *P. Langevin*, 1908, page 530-531
6. Agitation Moléculaire et Mouvement Brownien, note de J. Perrin, 1908
7. Einstein, Perrin, and the reality of atoms: 1905 revisited, *R. Newburgh; J. Peidle; and W. Rueckner*, *Am. J. Phys.* **74** 6 , June 2006
8. Le Bleu du Ciel et la Constante d'Avogadro, MM Edmond Bauer et Marcel Moulin
9. Histoire des Sciences, Ministère de la jeunesse de l'éducation et de la recherche, E. Barbin, 2003
10. Notices sur les travaux de M J. Perrin et Historique de J. Perrin, *Edouard Privat*, 1923
11. Article du journal « LE MONDE » sur la Biographie d'Einstein, *Michel Alberganti, Michel Alberganti et Stéphane Foucart* , 8juin 2005
12. Travaux pratiques de physique chimie, de la seconde à la terminale ; *O. BURIDANT, F. DUCROCQ, G. GOMEZ, M. MARGARIT, A. MARGARIT ; J.L. MAURIN, G. NAGLIK, F. PLET, P. RYVES*; Edition Bordas, 2003

Si vous voulez consulter ces ouvrages, vous pouvez aller sur le site de notre groupe qui est : <http://olympiades.avogadro.free.fr/docs/textes/historiques/> . Ce site regroupe une grande partie des textes dont nous nous sommes servis.

Webographie

Voici tous les liens qui nous ont servis dans notre dossier et dans nos recherches pour pouvoir mener notre sujet à bien. Ces liens sont classés par appartenance à un même site.

<http://sciweb.nybg.org/science2/pdfs/dws/Brownian.pdf>

Texte original de *Robert Brown*

<http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k349481>

Ce lien nous montre les « *Annales de chimie et de physique. 1909.* » par *M Jean Perrin*

http://www.matpack.de/Info/Thermodynamics/Brownian_Motion.html

"The chief of those fundamental phenomena which the biologists have contributed or helped to contribute to the science of physics" 1917 *D'Arcy Thompson*

<http://www.ens-lyon.fr/asso/groupe-seminaires/seminaires/voirsem.php?id=cvillani>:

Ce texte nous raconte l'histoire du mouvement Brownien depuis sa création.

http://www.cndp.fr/Themadoc/einstein/Modelisation_prof.htm

Il nous permet une approche du mouvement Brownien, avec un niveau de 1ere S.

<http://pagesperso-orange.fr/pgj/position-planetes.htm> :

Grâce à ce lien l'ont peu avoir l'éphéméride du Soleil, de la Lune et des Planètes

<http://www.imcce.fr/imcce.php?lang=fr>:

Site de « *l'Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Ephémérides* »

[http://usr-](http://usr-lazio.artov.rm.cnr.it/darwin2007/presentazioni/Modulo15_file/frame.htm#slide0088.htm)

[lazio.artov.rm.cnr.it/darwin2007/presentazioni/Modulo15_file/frame.htm#slide0088.htm](http://usr-lazio.artov.rm.cnr.it/darwin2007/presentazioni/Modulo15_file/frame.htm#slide0088.htm):

Nous donne l'occasion d'accéder à un site en Italien nous expliquant le mouvement Fractal et Brownien.

http://www.academie-sciences.fr/membres/in_memoriam/Perrin/Perrin_oeuvre.htm: Nous montre les différents travaux de Jean Perrin.

<http://visualiseur.bnf.fr/CadresFenetre?O=NUMM-3091&M=tdm> Comptes rendus des séances de l'académie des Sciences

Travaux publiés dans les Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences

[L'agitation moléculaire et le mouvement brownien](#)

Note de J. Perrin. C.R. T.146 (1908) 967-970

[La loi de Stokes et le mouvement brownien](#)

Note de J. Perrin. C.R. T.147 (1908) 475-476

[L'origine du mouvement brownien](#)

Note de J. Perrin. C.R. T.147 (1908) 530-532

Grandeur des molécules et charge de l'électron

Note de J. Perrin. C.R. T.147 (1908) 594-596

Mouvement brownien et constantes moléculaires

Note de J. Perrin et Dabrowski. C.R. T.149 (1909) 477-478

Le mouvement brownien de rotation

Note de J. Perrin. C.R. T.149 (1909) 549-551

Les déterminations des grandeurs moléculaires

Note de J. Perrin. C.R. T.152 (1911) 1165-1168

Les grandeurs moléculaires (nouvelles mesures)

Note de J. Perrin. C.R. T.152 (1911) 1380-1382

L'agitation moléculaire dans les fluides visqueux

Note de J. Perrin et N. Bjerrum. C.R. T.152 (1911) 1569-1571

<http://www.culturediff.org/atome42.htm>

Ce qui valut à Henri Poincaré (1854-1912), longtemps hostile à la thèse atomique pourtant, la réflexion suivante : *"L'hypothèse atomique a acquis récemment assez de consistance pour presque cesser d'apparaître comme une hypothèse : les atomes ne sont plus une fiction utile, nous pouvons dire que nous les voyons puisque nous pouvons les compter"*.

<http://pravarini.free.fr/Viscosites.htm>

Calcul de la viscosité de l'eau en fonction de la température.

<http://www.lactamme.polytechnique.fr/>

Site d'une machine virtuelle à explorer l'Espace-temps, du Centre de Mathématiques APpliquées de l'Ecole Polytechnique

<http://www.univ-lille1.fr/math/>

Site de du laboratoire Paul Painlevé de Lille I

<http://infoterre.brgm.fr/eSIG/index.jsp>

Le site du BRGM permettant de retrouver les valeurs locales de g

<http://www.stellarium.org>

Site permettant de télécharger le logiciel Stellarium, pour déterminer l'altitude zénithale du soleil

Les Olympiades et Corentin

J'ai commencé les Olympiades de Physique, pour plusieurs raisons très différentes. Ma sœur faisait partie des Olympiades de physique, et me racontait souvent ce qui pouvait se passer le mercredi après midi : les parties de rigolades avec les enseignants, tout comme les « mauvais jours » où son sujet (« Savez vous planter des clous ? ») n'avancait pas comme elle et son équipe le souhaitaient. Ainsi donc j'ai pu voir ma sœur et son groupe avancer jusqu'au concours qui se déroulait à Paris (elles remportèrent un troisième prix) mais aussi cet esprit d'équipe qui se liait au sein du groupe et avec les professeurs. Ce qui m'a le plus impressionné en observant ma sœur, c'est qu'à travers son sujet, elle a appris des choses que jamais elle n'aurait pu apprendre par l'intermédiaire de ses cours.

Enfin et surtout, j'ai choisi d'entrer dans les Olympiades de Physique, et en particulier avec ce sujet : « La mesure du nombre d'Avogadro » parce que j'ai trouvé intéressant la notion de la constante d'Avogadro. Cette notion m'a captivé dès la première fois où mon professeur de physique, nous l'a expliqué. Mais étant en seconde il n'a pu tout nous expliquer, mais j'étais très intrigué surtout par un de ses exemples : il nous faudrait ainsi « « « 15 milliards d'année pour compter le nombre totale de molécule dans une mole de molécule à raison de mille molécules par seconde » » ».

De plus en plus intéressé, j'ai demandé à M Buridant si l'exploitation de ce sujet n'était pas possible en OdP. Sa réponse fut « OUI », et une semaine après, nous découvriions que le contexte de l'année où nous exploitons ce sujet : celle du centenaire.

La « Galère » commençait alors. Notre plus grand problème, contrairement à ce que l'on peut penser, est que notre sujet est bien connu de tous. Mais, nous avons un avantage énorme : nous pouvons nous aider d'Internet pour comprendre certains passages délicats. La théorie d'Einstein sur le mouvement brownien, comprendre la démarche expérimentale de Jean PERRIN et son intérêt. Les astuces expérimentales elles il a fallu les trouver.

Après la compréhension globale du sujet, venait l'étape de la décomposition du sujet et de la mise en œuvre des différentes opérations qui nous permettraient d'arriver à nos buts. Enfin mon groupe et moi sommes arrivés aujourd'hui à l'étape difficile : celle du stress et de la révision de l'ensemble du projet pour sa présentation.



Corentin QUEVAL
Première S2

Les Olympiades et Emeraude « Ce que j'ai pensé des Olympiades »

L'année dernière, avec Julie on avait voulu suivre les TP de chimie du lycée sur le thème des cosmétiques pour les Olympiades de chimie de secondes (officiellement « Opération Chimie en seconde »). J'ai trouvé cela très intéressant. Ça a vraiment élargi mes compétences au niveau pratique, moi qui suis plutôt maladroite... Un jour, M. Buridant nous a parlé des Olympiades de Physique. Franchement, je n'étais pas trop tentée au début parce que les calculs très compliqués, ce n'est pas ma passion ! Puis il nous a expliqué que ce serait plein de TP et de bonnes expériences alors j'ai vite changé d'avis ! En plus, j'ai eu une super prof de sciences physiques en seconde qui nous faisait vraiment apprécier ses cours ! Et puis voir des élèves qui s'amuse comme ça avec les professeurs de physiques du lycée, ça donne vraiment envie ! C'est d'ailleurs ici que j'ai fait la connaissance de Laurie et Corentin.

Pour l'idée Avogadro, tout s'est fait lors d'un cours pendant lequel M. Buridant faisait une démonstration gigantesque à ses élèves, dont Laurie et Corentin qui ont tout de suite accroché sur le sujet pour les Olympiades. Ils cherchaient des élèves pour faire le projet avec eux, et avec Julie nous nous sommes proposées.

Pendant la réalisation du projet, on a connu plusieurs galères qui m'ont parfois donné l'envie de tout lâcher, comme quand on a dû traduire le texte d'Einstein qui n'est ni de l'allemand de l'est ni de l'ouest (ça doit être une sorte de vieil allemand..) où encore pour obtenir des grains de mastics de mêmes formes (qui ne se diluaient pas avec de l'éthanol comme l'écrit Perrin dans son livre mais avec de l'acétone ; et ça on l'a pas trouvé tout de suite !). Pour obtenir le fameux mouvement brownien, c'est encore une autre histoire : il ya une semaine encore c'était limite. Mais nous sommes parvenus à bout de toutes ces galères et avons tenu le coup, nous voilà donc en train de vous rendre un dossier. Quand on arrive comme ça à bout des difficultés, on se sent vraiment très bien, il ya l'espoir qui revient, c'est vraiment une excellente sensation !

Le 12 décembre, nous avons donc participé aux Olympiades régionales. Personnellement, je partais très pessimiste. Avec toutes les manipulations que nous avons dû faire, nous n'avons pu voir l'oral que le matin même. Ces quelques répétitions n'était donc que peu fructueuses...Je pense que c'est ce qui m'a fait réaliser que ce n'était pas gagné. Nous avons mangé avec les autres groupes et les membres du jury à la cantine du lycée, puis nous sommes montés à notre salle. Le jury a suivi quelques minutes plus tard. Nous avons donc commencé notre présentation. Là, je me suis rendue compte qu'il fallait assurer quoi qu'il arrive, car certain d'entre nous restaient pétrifiés et ne donnaient pas d'explications comme voulu...Finalement, le jury a posé certaines questions auxquelles nous avons répondu. Notre rapporteur qui avait lu notre dossier nous a finalement fait remarqué que nous avons fait une erreur de calcul, ce qui modifiait le résultat final. Le vrai résultat était 6.10^{23} !! J'étais remplie de joie ! Nous avons vraiment suivi les pas de Perrin et avons le même résultat ! C'était fantastique ! Vers 18h, nous attendions tous les résultats, je ne

pensais pas être sélectionnée. Quand ils ont annoncé le dernier groupe non sélectionné, j'ai vu tous les autres joyeux. Ce n'est que 20 min plus tard que j'ai compris...

Nous avons depuis travaillé un peu plus notre sujet et Camille a fait des mesures à la montagne. J'espère que la finale à Paris se passera bien et sera instructive.

Personnellement, ce que j'ai le plus adoré, c'était la découverte du labo et de ses membres : un vrai laboratoire pour nous, simples élèves ! À l'entrée, on se sent déjà l'âme d'un scientifique ! En plus, on a acquis des connaissances sans avoir la corvée d'apprendre et sans s'en apercevoir. On peut découvrir différents instruments c'est vraiment génial ! Peu d'élèves peuvent avoir cette chance c'est vraiment ce que je me dis.

On a donc passé énormément de notre temps libre au labo, en particulier les mercredis après midi (hé oui au lieu de sortir nous on a préféré rester !) mais c'était vraiment sympa, on a découvert les petits secrets du lycée comme la passion des profs pour le café (jamais sans). C'est une ambiance d'entraide générale, par exemple quand quelqu'un perdait quelque chose tout le monde s'y mettait. Ça nous fait de nouveaux amis et une vision vraiment moins coincée sur les profs (ça peut toujours épater ; un prof qui vous fait signe dans les couloirs).

Les olympiades ont vraiment prononcé mon goût pour les sciences physiques et ont agrandi mes connaissances dans ce domaine. Ça fait plaisir d'étudier quelque chose que le professeur n'expliquera pas vraiment en classe parce que ça ne fait pas partie du programme... Pour la spécialité de l'année prochaine, je pensais prendre SVT mais maintenant j'envisage très sérieusement de prendre physique-chimie. En revanche, je suis maintenant certaine de vouloir faire un métier scientifique de recherche. En plus, « participation aux Olympiades de Physique » ça enrichit le CV.



Emeraude Ledoux

1ère S 2

16ans

Les Olympiades et Julie

Un TPE facultatif, pour le plaisir

Tout d'abord, j'ai connu les Olympiades de physique (OdP) lorsque je venais le mercredi après midi pour l'opération chimie en 2^{nde}. C'est aussi ici qu'Emeraude et moi avons connu Laurie et Corentin, tout le monde parlaient des ODP alors cela nous a donné envie d'y participer.

J'ai participé aux « Olympiades de Chimie de 2^{nde} », car je voulais savoir comment étaient fabriqués les cosmétiques et en créer, car après tout, je suis une fille et je suis curieuse alors tout m'intéresse surtout les cosmétiques. L'idée du sujet nous est venue grâce à M.BURIDANT (alias Mister BUBU). C'est un professeur de physique du lycée qui nous a beaucoup aidés tout au long de notre démarche expérimentale. Lors de l'un de ses cours, il faisait une démonstration sur nombre d'AVOGADRO, c'est alors que Laurie et Corentin ont été intrigués et qu'ils nous ont proposé de participer aux OdP

Lorsque nous avons réussi des expériences, après plusieurs échecs décourageants, c'était comme un pas vers la victoire : cela m'a motivée pour continuer et m'a donné beaucoup d'assurance, de confiance en moi. Le travail en équipe est très important pour garder le moral car quand une personne craque, il y a toujours quelqu'un d'autre pour la soutenir et nous nous répartissons le travail. En participant à ces OdP, nous avons découvert le lycée sous un autre angle, nous avons pu visiter le laboratoire des professeurs, sans oublier « coin cafétéria » dans lequel nous avons passé énormément de temps à discuter pour les projets, chacun expliquant ses problèmes du moment pour avoir l'avis général.

L'ambiance du mercredi après midi est très agréable, en effet nous avons fait la connaissance de plusieurs professeurs avec un humour que je n'aurais jamais soupçonné (hé oui ils arrivent à nous faire rire de temps en temps !!) et d'élèves avec lesquels nous avons sympathisés. C'est un peu comme une grande famille où la solidarité est au rendez-vous. Grâce à tout cela, j'ai maintenant une meilleure image du lycée, je ne le vois plus comme l'établissement dans lequel je viens tout les matins dans les nuages pour étudier, mais c'est un endroit dans lequel je passe de bons moments.

Sur le plan humain, cela m'a apporté de l'assurance, de la confiance, et l'envie de réussir tous mes projets.

Sur le plan scientifique les ODP m'apportent des connaissances que je n'aurais jamais acquises toute seule, des choses que je n'aurai jamais crues comprendre un jour. Je pense que cela me servira, même si honnêtement, ça n'a aucun rapport avec le travail que j'aimerais faire, je suis plus chimiste.

Comme je suis en section STL et le reste de mon groupe en S, je pensais sérieusement ne pas avoir le niveau pour pouvoir faire ce sujet, alors qu'en fait nous

sommes tous dans les mêmes galères. Je suis « dispensée » de TPE car il n'y en a pas en STL, mais je trouve que cette démarche est très enrichissante.

C'est vrai que les OdP sont avantageuses car je me suis améliorée sur la manière de manipuler, je suis plus vigilante (mais toujours un peu maladroite). La physique m'a aidée à améliorer mon sens de la rigueur expérimentale très importante en STL. Lorsque je me suis levée ce jour (le 12 décembre), je n'avais déjà pas beaucoup dormi la nuit, je me suis préparée, mais je tournais un peu en rond de peur d'oublier quelque chose. Je suis arrivée au lycée en prenant le bus comme tous les matins, je suis montée au troisième étage avec Émeraude, quand tout à coup une bouffée de stress m'a envahie. Nous avons préparé la salle avec beaucoup de soin et nous nous sommes soutenus mutuellement. Je dois dire qu'une journée comme celle-ci ne s'oublie pas, nous avons mangé tous ensemble avec le sourire aux lèvres pour cacher le stress, nous sommes remontés, nous avons répété et nous nous sommes retrouvés face au jury. Et oui la matinée est passée si vite ... Lorsque nous étions face à eux, nous avons dévoilé notre sujet, mais je crois que j'étais la plus stressée d'entre nous. À la fin de la prestation le jury nous a donné des conseils précieux et nous a dit « vous avez dit que vous avez trouvé $3 \cdot 10^{23}$ alors qu'en réalité vous vous êtes trompés dans le calcul, vous avez oublié de multiplier le calcul par 2 » ce qui veut dire que l'on a trouvé le vrai résultat, le résultat de Jean Perrin qui est $6 \cdot 10^{23}$. A ce moment précis je me suis sentie très bien car après tout ce n'est pas tout le jour que l'on vous dévoile que vous avez réussi à trouver le résultat qu'un grand physicien a défini.



Julie LECLERC
1^{ère} STL1
17 ans

Les Olympiades et Marine

« Sur les pas de Jean Perrin »

J'ai pris connaissance des Olympiades de physique lors de mon entrée au lycée E. BRANLY. C'est mon professeur de physique, M. Buridant, qui nous a expliqué comment se déroule ce genre de concours. J'avoue que l'idée ne m'a pas immédiatement emballée. Mais plusieurs fois au cours de l'année, j'ai remarqué que mon professeur se promenait avec certains élèves (qui eux sont des participants aux Olympiades) et ce qui m'a tout de suite sauté aux yeux c'est cette complicité qui les liait. J'entendais beaucoup parler de ces fameuses Olympiades et des avantages qu'elles procurent aux différents participants.

En effet, cela permet de mieux connaître le lycée, le laboratoire, le matériel qu'il contient, mais nous permet également de prendre conscience des relations entre professeurs et participants qui sont beaucoup plus " cool " dans ces moments-là qu'en cours. On apprend d'avantage en groupe restreint qu'en classe entière. L'occupation du laboratoire et de son utilisation nous sont très bénéfiques. Elles nous permettent d'être plus autonomes et d'acquérir plus facilement des connaissances plus précises au niveau de notre projet.

Plus l'année avançait, plus j'avais envie d'y participer. C'est pour cette raison que je m'y suis inscrite. L'ambiance des mercredis après midi est assez bonne. Tout le monde s'entraide, l'atmosphère y est très détendue, mais elle reste néanmoins studieuse.

Avec le recul, cette expérience s'avère très bénéfique : j'accrois mes connaissances dans un domaine en particulier la physique chimie, mais je me perfectionne aussi en anglais et en allemand car les textes d'Einstein que nous utilisons sont quelquefois écrits en allemand de l'Ouest alors qu'au lycée, nous étudions essentiellement l'allemand de l'Est.

Ensuite sur le plan humain, cela nous apporte la connaissance de l'entraide et la notion de travail de groupe. Les Olympiades de physiques nous aident à gérer notre stress, à être plus optimiste et à se sentir plus à l'aise à l'oral. C'est un très bon entraînement pour le bac de français et l'oral des TPE.

Ce travail comporte bien sûr des déceptions mais aussi des joies qui nous sont apportées lors des expériences que nous avons réalisées. Notre sujet nous a été proposé par M Buridant, lors de son cours sur la mole et l'introduction du nombre d'AVOGADRO « hé bien vous n'avez qu'à les compter, Jean PERIIN l'a bien fait ». Plusieurs fois, nous avons failli abandonner à la suite de multiples expériences ratées auxquelles nous avons été confrontés. Le découragement a été plusieurs fois présent à cause du manque de ressources qui nous empêchait de poursuivre dans l'évolution de notre projet. Beaucoup de désespoir avant le " YES " final. Enfin, les olympiades sont une source de fierté et d'immense satisfaction. Fierté d'avoir réussi son projet, au niveau des expériences qui fonctionnent (enfin !!!!! 6 mois pour avoir l'honneur de pouvoir regarder le mouvement Brownien comme Monsieur Perrin l'avait fait 100 ans avant nous).

Après notre travail acharné, arrive enfin la récompense :

12 décembre 2007 : date inoubliable ...

Ce n'est pas un jour comme les autres, notre qualification pour la finale des Olympiades de Physique.

Mercredi matin, à mon arrivée au lycée, le stress n'était pas au rendez-vous. J'étais confiante, pour ne pas dire limite sereine. La veille, je l'ai passé à réviser. Je voyais donc aucune raison de m'inquiéter. À la rencontre de mes camarades, je pouvais palper leur stress. En temps que groupe : nous devons nous serrer les coudes. Chacun se rassurait mutuellement. L'atmosphère était très tendue, nous ne savions pas comment s'y prendre, pour l'installation de notre salle (308 :P) pour la présentation . .

Tout était confus. Plus nous avançons dans la matinée, plus je subissais le stress du groupe. De légères tensions apparaissent, Mais très vite l'esprit de groupe reprend le dessus. La matinée est passée à une vitesse ... phénoménale ! Le midi, place au repas. Une ambiance bien détendue ... mais très vite nous sommes rattrapés par le temps. L'instant tant attendu depuis quelques semaines, est enfin arrivé . Il est 13.30, le jury arrive dans notre salle. On ne peut plus reculer, il faut donc surmonter toutes nos peurs et foncer têtes baissées. Une fois les mains du jury serrées ... je n'avais plus aucune crainte. Moi qui suis une grande stressée habituellement ... j'avoue je me suis presque épatée. L'entretien s'est bien déroulé dans son ensemble. 14h15, tout est fini. Les dés sont jetés comme on dit ! L'attente des résultats fut plus que longue. Cela m'a paru une éternité !! Tout au long de l'après midi, j'ai cherché " du réconfort " auprès des autres groupes représentant notre lycée. Pour me détendre (oui ... parce que la, j'étais plus que stressée) j'ai assisté aux oraux des autres participants . L'annonce des résultats s'est faite vers 18.15, les discours étaient interminables. Quand le président du jury annonça le nom des 3 groupes " recalés ", mon coeur battait la chamade. La peur d'entendre " le premier (second ou dernier) groupe est : " Jean Perrin ". Mais finalement NON. Et là, tu dis " nous avons réussi !!!!! " . Pas de mots pour expliquer ma joie, mon soulagement. Par respect pour les groupes perdants, je n'ai pas énormément montré mon émotion. Les larmes n'étaient pas là, mais presque. Notre groupe est qualifié pour la finale ... je n'y croyais pas . En repartant du lycée ... je souriais à tous les passants, ils ne comprenaient sûrement pas, et devaient me prendre pour une folle mais moi je savais que c'était la satisfaction ! Je suis donc rentrée chez moi ... mes parents m'ont félicité naturellement ... mais ce qui m'a surprise, c'est l'intention des gens. En effet tout le monde a pris le soin de me demander quels étaient les résultats, si nous étions pris. Les Olympiades sont l'affaire de tous, pas seulement la notre. C'est toute une équipe !

Bien sûr après une telle nouvelle, notre envie de réussir à Paris ne cesse de grandir ! Nous poursuivons nos efforts pour être au top pour la finale. En prêtant attention aux remarques du jury, nous essayons de faire mieux, de corriger tous nos défauts. Merci au rapporteur, qui nous a conseillés.



Marine JOUGLEUX

1^{ère} S2

16 ans