

L'expérience de FRANKLIN

I. Les objectifs généraux

Découvrir une expérience fondatrice dans l'histoire des sciences : l'expérience de Benjamin Franklin (physicien et homme d'état américain, 1706-1790, inventeur entre autre du paratonnerre).

La réalisation de cette expérience, fondatrice historiquement dans le débat scientifique sur l'existence des atomes et des molécules, doit permettre aux élèves d'obtenir une évaluation de la taille d'une molécule.

De plus les conditions historiques de l'expérience doivent permettre de montrer que l'émergence d'un nouveau concept n'est pas forcément liée à la création de technologies nouvelles mais à la construction intellectuelle d'un nouveau cadre pour interpréter un phénomène observé.

II. Le cadre interdisciplinaire

Nous nous trouvons dans cette activité confrontés aux principes de ce projet qui étaient la mise au point d'une méthode de travail pour faire dialoguer les disciplines.

L'expérience de Franklin est proposée par la physique. Le cycle commence donc par la réalisation de la fameuse expérience, puis les autres disciplines interviennent pour enrichir le débat et améliorer la mesure.

La réponse de la SVT est : *l'observation de l'infiniment petit* avec en particulier l'utilisation du microscope optique.

Pour les mathématiques, après le travail sur les ordres de grandeur du cycle précédent, l'infiniment petit ne rajoutait rien. Les énormes différences d'échelle étudiées dans le système solaire associées à la notation scientifique des nombres avaient permis de faire plus ou moins le tour du problème. Qu'est ce qui était problématique d'un point de vue mathématique dans l'expérience de Franklin :

l'évaluation la plus précise possible de l'aire de la tâche d'huile...

III. La durée et l'organisation

Trois semaines de trois heures partagées entre les trois matières.

Suivies d'une semaine consacrée à l'évaluation des trois premières séquences.

IV. Références utiles

1) Expérience réalisée en roman-photos :

www.ac-grenoble.fr/phychim/propos/tp/franklin/deplusenpluspetit.html

2) Un mini dessin animé où l'on voit Franklin jeter l'huile sur le lac près de Londres.

<http://olical.free.fr/expfrank.swf>

3) Puissances de 10 : <http://www.powersof10.com/>

V. Descriptif des séances

A. Physique

Objectifs spécifiques

Mesurer la taille d'objets de plus en plus petits jusqu'à déterminer la taille d'une molécule.

Enoncé élève

Expérience de Franklin

Vous disposez de :

- Balle de tennis de table
- sable calibré
- Huile d'olive
- Acétone
- Pipette
- Cristallisoir
- Papier millimétré
- Talc
- Balle de tennis de table.

Voici quelques données :

Huile :

Densité : 0,891

Insoluble dans l'eau

Composée à 83% d'acide oléique C₁₈H₃₄O₂.

Le professeur dispose de :

- Pipette
- Fiole jaugée 100 mL
- Appareil photo numérique

Acétone :

Liquide incolore.

Densité : 0,891

Totalement miscible avec l'eau

Solvant de composés organiques

1) Mesure de la taille d'une balle de tennis de table

- a. Évaluer la taille de la balle.
- b. Quel instrument utilisez-vous ?
- c. Comparer votre valeur à la moyenne de la classe.
- b. Comment améliorer cette mesure ?

2) Mesure de la taille d'un grain de sable

- a. Pourquoi utilise-t-on du sable autour des piscines lors de la construction ?
- b. Évaluer le volume du sable dont vous disposer à l'aide de l'éprouvette graduée.
- c. Étaler le sable sur un papier millimétré sous forme de couche mono-granulaire et sous forme d'un rectangle. Quelle est la longueur L et la largeur l ?
- d. Calculer la surface du rectangle.
- e. Déterminer la taille d'un grain de sable.
- f. Comparer votre valeur à la moyenne de la classe.
- g. Comment améliorer cette mesure ?

3) Expérience de Franklin : mesure de la taille d'une molécule

3-1 Préparation de la solution d'huile dans l'acétone. (Réalisée par le professeur)

- a. Prélever 0,2 ml d'huile à l'aide d'une pipette jaugée.
- b. Mettre l'huile dans une fiole jaugée de 100 mL
- c. Compléter la fiole avec de l'acétone.

On réalise ainsi une dilution de l'huile dans l'acétone, cette solution sera nommée A. On dit que l'on a réalisé une dilution au 1/500^{ème} ($0,2/100=1/500$)

- d. Faire les schémas de cette dilution.

3-2 Expérience préliminaire

- a. Étaler, en soufflant, une fine couche de talc à la surface de l'eau contenue dans un cristallisoir rempli à ras.
- b. Laisser tomber une seule goutte d'acétone pure à la surface de l'eau.
- c. Décrivez ce que vous constatez.
- d. Comment interpréter ce phénomène étrange.

3-3 Volume d'une goutte de la solution d'huile

- Mettre de la solution A dans la burette.
- Ouvrir le robinet de la burette de façon à laisser couler la solution goutte à goutte.
- Compter le nombre de gouttes contenues dans 1mL. Nombre =.....

3-4 Expérience de la tache d'huile

- Sans retoucher le robinet de la burette, laisser tomber une seule goutte de la solution sur la surface de l'eau avec la couche de talc.
- Écarter la burette et prendre une photo numérique de la surface de l'eau, faire apparaître sur la photo une règle graduée pour avoir une échelle de mesure.
- Que constatez-vous concernant la tache ?
- Comment prouver que la tache est due seulement à l'huile et non à l'acétone ?
- Imprimer la photographie.

3-5 Exploitation des résultats

- Calculer le volume d'une goutte de solution A.
- Quel est le volume V d'huile contenue dans une goutte de la solution A ?
- Quelle est la surface S de la tache d'huile que vous avez photographiée ?
- La molécule d'acide oléique a deux parties distinctes : Une "tête" et une "queue". La tête est la partie hydrophile La queue est la partie hydrophobe. Les molécules ont donc tendance à rester la tête dans l'eau tandis que la chaîne hydrophobe reste en l'air. On admettra que la tâche d'huile est mono moléculaire. Peut-on en déduire la longueur d'une molécule d'huile ? justifier, schéma.
- Évaluer la longueur d'une molécule.
- Comparer à la valeur moyenne de la classe.

Eléments pour les enseignants

L'objectif est de familiariser les élèves avec la mesure et la critique des résultats obtenus.

1) Taille d'une balle de tennis de table.

- Monter que l'on peut faire une mesure directe.
- Voir ce que l'on veut dire par taille : rayon, diamètre, volume.....
- Monter que plusieurs mesures du même objet donnent des résultats différents.
- Notion d'erreur.

2) Taille d'un grain de sable.

- Le sable utilisé est constitué de grains de diamètre compris entre 0.9 mm et 1.1 mm
- Utilisation du sable autour des piscines : car le sable est incompressible.
- Montrer que l'on peut faire une mesure indirecte d'une longueur.
- En étalant le sable sur le papier millimétré, on voit que l'application dans la manipulation intervient beaucoup sur le résultat final.
- Voir que le volume du sable se conserve. ($V=L.l.h$ donc $h=V/(L.l)$)

Cette expérience est une très bonne entrée en la matière pour aborder l'expérience de Franklin pour laquelle on admet la couche mono-moléculaire.

3) Expérience de Franklin.

- C'est la synthèse des deux expériences précédentes.
- Certains gestes sont propres à la chimie : dilution, ...
- Le soin apporté à la manipulation a une très grande importance sur le résultat final.
- On pense trouver un résultat de l'ordre du nanomètre (10^{-9} m).

B. Mathématiques

Objectifs spécifiques

- Evaluer le plus précisément possible une aire.
- Etudier la validité et le champ d'application d'une formule.
- Avoir une vision plus historique des Mathématiques.
- Prouver l'exactitude et la permanence de certains résultats.

Enoncé élève

Arpentage



Pour réaliser l'expérience de Franklin, vous avez été obligé d'évaluer l'aire d'une surface d'une forme assez biscornue.

Comment vous y êtes-vous pris ?

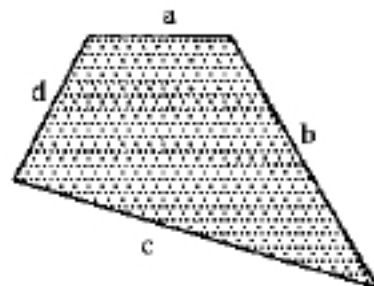
Mesurer des surfaces, ARPENTER, est en réalité une très vieille idée.

Déjà aux temps des Pharaons, le Nil avait des crues très importantes qui détruisaient les limites des champs. D'où l'idée d'« arpenter » pour réaliser des plans et reconstituer les champs.

I. Une méthode égyptienne

Dans un papyrus de l'ancienne Égypte, on a trouvé une méthode utilisée par les géomètres de l'époque pour calculer l'aire d'un champ ayant la formule d'un quadrilatère quelconque :

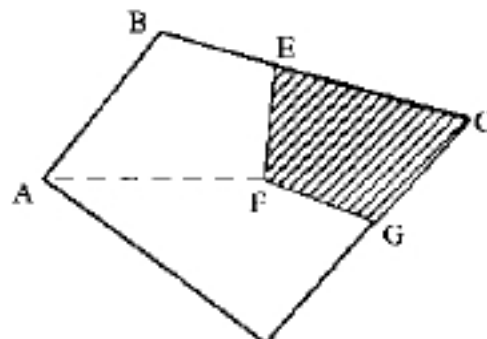
“Calculer les moyennes arithmétiques des longueurs des côtés opposés puis faire le produit de ces deux moyennes”.



* Traduire ce calcul avec les lettres a, b, c et d.

* Voici le plan d'un champ ABCD dont la partie hachurée comporte un bosquet, le reste étant un jardin cultivable. Voici des longueurs en mètres :

$$\begin{array}{lll} AB = 40 ; & BE = 28 ; & EF = 19 ; \\ FG = 25 ; & GD = 32 ; & AD = 55 ; \\ EC = 35 ; & CG = 30 ; & AF = 47. \end{array}$$



Utilisez la formule égyptienne pour évaluer, de deux façons (addition d'aires ou différence d'aires) l'aire de la partie cultivable.

Alors, qu'en pensez-vous ?

* Et pourtant, assurez-vous que ça marche pour un rectangle ? pour un carré ...

II. Une méthode Grecque

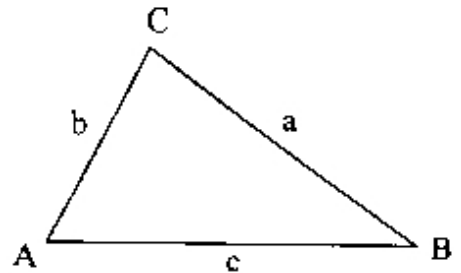
Voici une formule attribuée à Héron d'Alexandrie (Ier siècle av J.C.) mais qui était déjà connue d'Archimède en 282 av J.C.

On pose : $BC = a$; $CA = b$ et $AB = c$

$2p$ est le périmètre : $2p = a + b + c$.

L'aire du triangle est donné par :

$$S = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)} .$$



Nous n'avons pas la moindre idée de comment elle fut découverte.

Expérimentons la sur quelques triangles :

Les mesures sont données en centimètres.
Pour chaque triangle : dessinez le, puis mesurez sur votre dessin les 3 hauteurs h_a , h_b , h_c issues respectivement de A, B, C (à 1 mm près).

Calculez le périmètre puis appliquez la formule d'Héron pour obtenir l'aire.

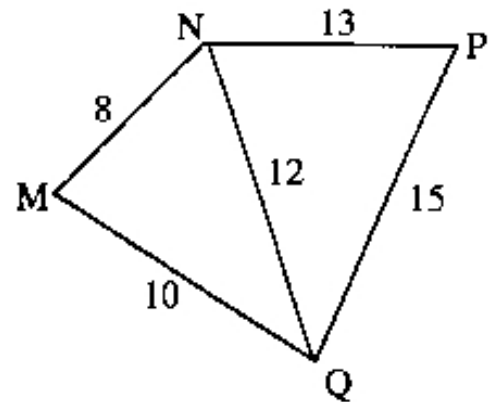
	a	b	c
T1	10	12	18
T2	10	10	10
T3	12	17	11
T4	6	8	10
T5	12	9	22

Grâce à la formule habituelle que vous connaissez : aire du triangle = base × hauteur/2, comparez les résultats.

Que pensez-vous du triangle T4 ? et T5 ?

III. Héron vs papyrus

Appliquez les deux méthodes que vous venez d'étudier au quadrilatère MNPQ. Les mesures sont en centimètres. Que pensez-vous des résultats ?



Eléments pour les enseignants

L'énoncé élève comporte trois parties qui peuvent être étudiées au cours de la même séance de 3 heures. Ce qui fut le cas au cours de cette séquence.

L'exploitation finale autour de la dernière question de la troisième partie :

Que pensez-vous des résultats ?

qui devait conduire à un débat scientifique fut un peu écourtée.

Il serait préférable de les utiliser dans des séances séparées, mais il faut prévoir au moins :

- ✓ 1 heure 30 pour la seconde partie (la méthode grecque)
- ✓ 1 heure entière pour la troisième partie.

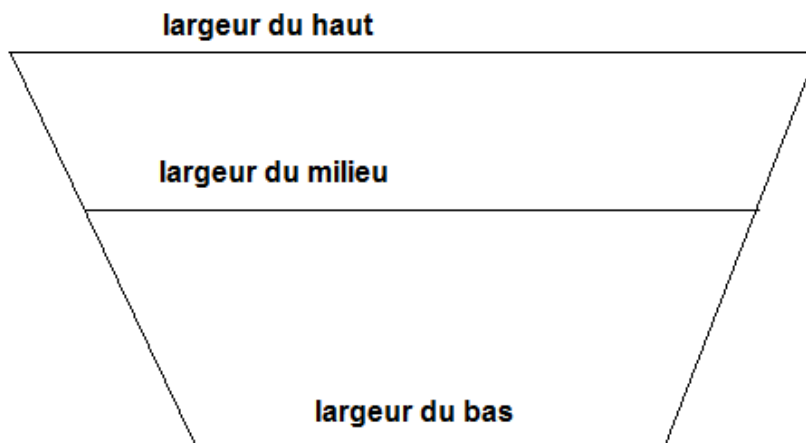
maths maths maths

Variantes possibles

L'histoire des Mathématiques regorge de formules du type de celles de Héron et de problèmes ouverts liés à l'ARPENTAGE et au partage des terres.

Le problème Babylonien

En Mésopotamie les champs ont la forme de **trapèze**.



17 est la largeur du haut

7 est la largeur du bas

Trouvez la ligne de partage équitable parallèle aux bases qui est la largeur du milieu.

La formule de Brahmagupta

L'aire d'un **quadrilatère convexe inscriptible dans un cercle** est donné par :

$$\sqrt{(p - a)(p - b)(p - c)(p - d)}$$

où **p** est le demi-périmètre, **a**, **b**, **c** et **d** les longueurs des 4 côtés.

C. SVT

Objectifs spécifiques

- Maîtriser l'outil microscope optique
- Estimer la taille d'un objet observé au microscope optique
- Connaître le principe du fonctionnement du microscope polarisant.

Éléments pour les enseignants

Séance s'organisant sur 3 heures consécutives. L'idéal aurait été de travailler en demi-groupe (15 élèves)

Les élèves travaillent en binôme, mais produisent un compte rendu personnel

Textes ou énoncés élèves

L'observation de l'infiniment petit en SVT

La compréhension des mécanismes qui régissent le fonctionnement des êtres vivants ou la formation des roches passe souvent par une phase d'observation du vivant ou du minéral à l'échelle microscopique. D'ailleurs, depuis l'invention du premier microscope optique en 1690 par les Hollandais Leeuwenhoek et Zacharias Jansen, les SVT ont évolué au rythme de l'évolution de ces techniques d'observation.

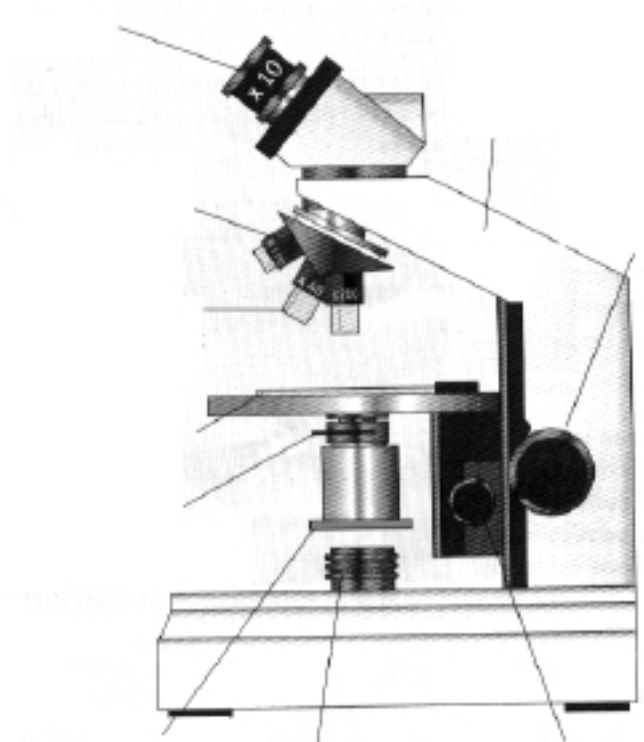
Notre objectif sera ici d'aborder les principales méthodes d'observation du petit en SVT

I. Principe et manipulation du microscope optique

Les différentes parties du microscope

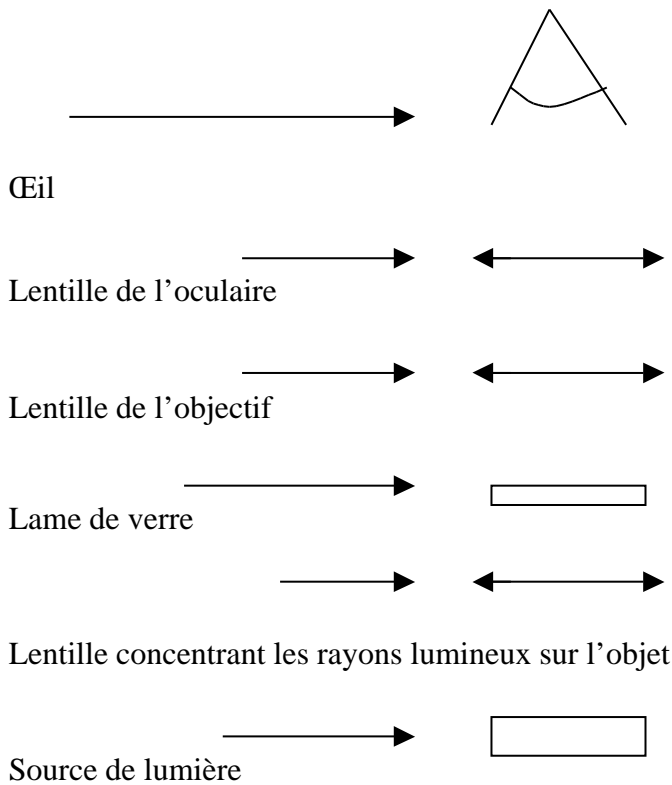
- **Manipuler librement le microscope et légènder le schéma suivant.**

- 1- oculaire
- 2- tourelle revolver porte objectif
- 3- objectifs de grossissements différents
- 4- platine porte objet
- 5- diaphragme (règle l'intensité lumineuse)
- 6- filtre bleu amovible (règle la diffusion de la lumière)
- 7- lampe
- 8- vis micrométrique (mise au point fine)
- 9- vis macrométrique (mise au point grossière)
- 10- potence



Le trajet de la lumière dans un microscope

- **Placer le microscope, potence devant soi.**
- **Mettre en place l'objectif de plus faible grossissement**
- **Disposer un morceau de papier blanc sur la platine**
- **Allumer l'éclairage**
- **Manipuler le diaphragme de façon à modifier l'intensité lumineuse**
- **Laisser le diaphragme ouvert**
- **Enlever le morceau de papier et le remplacer par un calque, puis un papier noir et enfin une lame de verre**
- **Représenter sur le schéma ci dessous le trajet de la lumière avec une lame de verre**



L'inversion de l'image observée

- **Dessiner deux taches de couleurs différentes sur une feuille de papier à petits carreaux comme sur le schéma ci dessous**
- **Placer le morceau de papier sur la platine et mettre au point sur les taches de couleur avec le plus fort grossissement**
- **Dessiner l'image observée**

Objet réel	Objet observé

Les critères de réussite d'un réglage microscopique

- **Placer la préparation microscopique fournie sur la platine**
- **Faire une mise au point permettant d'observer les objets de la préparation en listant les étapes successives de votre mise au point**
- **Comparer votre mise au point avec celle de votre voisin**
- **Déterminer les critères de réussite du réglage du microscope.**

Etapes du réglage	Comparaison avec votre voisin	Critères de réussite

correction

Les critères de réussite d'une préparation microscopique

- **Réaliser une préparation microscopique en suivant les consignes suivantes :**
 - **Prélever de l'épiderme d'oignon**
 - **placer l'échantillon à observer dans une goutte de rouge neutre (colorant) sur une lame de verre**
 - **placer une lamelle verticalement sur la lame de façon à ce que le bord de la lamelle touche un côté de la goutte d'eau**
 - **laisser tomber la lamelle sur la lame**
 - **appuyer légèrement sur la lamelle et éponger l'eau sortie de sous la lamelle**
- **Appeler le professeur pour vérifier votre préparation**
- **Placer la préparation sur la platine et faire une mise au point**
- **Appeler le professeur pour vérifier votre mise au point**
- **Comparer votre préparation avec celle de votre voisin**
- **Etablir les critères de réussite d'une préparation microscopique**
- **Réaliser un dessin d'observation de votre préparation**

Critères de réussite d'une préparation microscopique	

Utilisation du bistouri optique

- **Reconstituer le volume de l'objet observé sur la préparation précédente en utilisant la vis micrométrique pour explorer visuellement l'épaisseur de l'objet observé**

Evaluation de la taille d'un objet observé au microscope

- **Déterminer les différents agrandissements du microscope en utilisant la formule :**

$$\text{Agrandissement} = \text{grossissement oculaire} \times \text{grossissement objectif}$$
- **Déterminer la taille d'une cellule d'épiderme d'oignon à partir de votre préparation**
- **Déterminer le diamètre des champs d'observation des différents objectifs du microscope à l'aide d'un cm² de papier millimétré positionné sur la platine**
- **Préciser la taille en mm, μm et nm d'un élément occupant la moitié du champ d'observation.**
- **Déterminer plus précisément la taille d'une cellule d'oignon**
- **Noter l'échelle de votre dessin d'observation**

Oculaire			
Objectif			
Agrandissement			
Taille cellule			
Diamètre du champ d'observation			
Taille d'un élément occupant la moitié du champ d'observation			
Taille cellule			

II. L'utilisation de la microscopie en sciences de la Terre

Pour comprendre l'histoire d'une roche, il est souvent utile de déterminer les minéraux qui la composent, et ces minéraux ne sont pas toujours visibles à l'œil nu. On utilise alors un microscope polarisant pour observer et identifier ces minéraux.

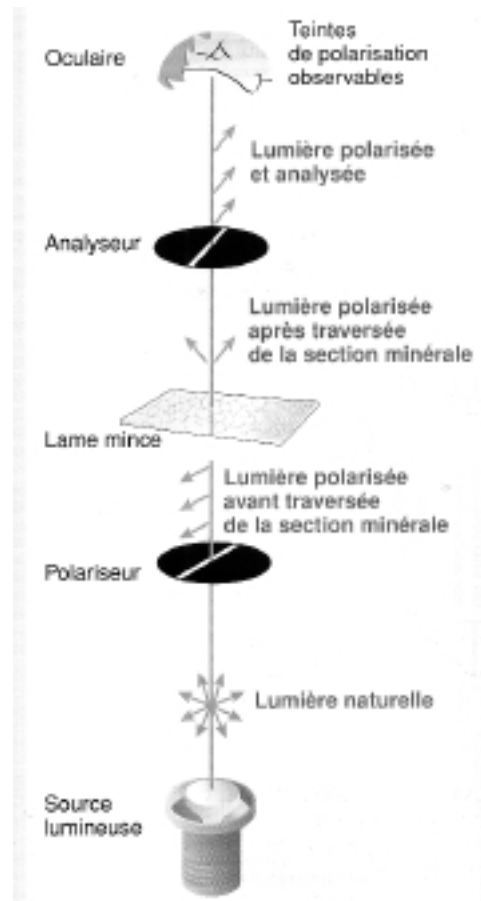
Le principe du microscope polarisant

La lumière peut être considérée comme un ensemble d'ondes qui vibrent chacune dans un plan.

Certains matériaux, dits polarisants, ont la propriété de ne se laisser traverser que par les ondes lumineuses vibrant dans un plan précis, le plan de polarisation. Le polariseur joue donc le rôle de filtre. À la sortie du polariseur, la lumière n'est composée que d'ondes vibrant dans le même plan (voir schéma ci contre).

Sur les microscopes, on place 2 polariseurs : un sous la porte-lame, l'autre dans l'oculaire (ce dernier est appelé analyseur).

- **Allumer le microscope et choisir l'objectif x4**
- **Placer une lame de roche sur la platine et observer**
- **Schématiser votre observation**
- **Placer un polariseur sous la platine et observer la roche**
- **Schématiser votre observation**
- **Placer un polariseur dans l'oculaire**
- **Faire tourner l'oculaire tout en observant à travers celui-ci**
- **Schématiser votre observation**
- **Faire la même observation après avoir enlevé la lame mince de roche et noter votre observation**



Les minéraux d'une roche "dévient" les ondes de la lumière différemment suivant les ondes. Si l'on introduit une lame mince de roche entre le polariseur et l'analyseur, les minéraux prennent alors une teinte colorée parfois très vive, ce qui facilite leur identification et la détermination de leur forme.

III. Les différents microscopes pour différentes observations

- **Comparer dans un tableau les principes des microscopes optiques et électroniques à l'aide des documents et des photos ci-dessous**

Document 1 : limite de résolution des microscopes

Encyclopédia universalis

Document 2 : les différents microscopes électroniques

Bordas SVT édition 2004 p 176

Document 3 : des images de microscopie de levure

Bordas SVT édition 2004 p 177

VI. Bilan

Production d'élève (en physique)

Calcul du volume V d'huile contenue dans une goutte de solution A.

Volume d'huile dans la goutte:
 - 100 ml = 0,2 ml d'huile
 - 1 goutte vaut 0,025 ml
 donc $0,025 \times 0,2 = 5 \cdot 10^{-5}$ ml

Le volume d'huile contenu dans une goutte de solution A est de $5 \cdot 10^{-5}$ ml ($= 5 \cdot 10^{-5}$ cm³)

Calcul de la surface de la tache.

Forme circulaire

$$S = \pi R^2$$

$$= \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2$$

$$= \pi \frac{D^2}{4}$$

$$= \pi \times \frac{12^2}{4} = 113,10 \text{ cm}^2$$

La surface de la tache est de 113,10 cm²

Évaluation de la longueur d'une molécule.

Volume = h (épaisseur) \times S (surface)
 $h = \frac{V}{S}$
 $h = \frac{5 \cdot 10^{-5}}{113,10}$
 $h = 4,42 \cdot 10^{-7}$
 La molécule mesure environ $4,42 \cdot 10^{-7}$ cm

Fin

Que pensez-vous de votre résultat?

Evaluation (en SVT)

L'utilisation du microscope optique (14 points)

Matériel :

- Feuilles d'élodée
- Microscope
- Lame et lamelles
- Pincettes et scalpel
- Papier millimétré collé sur une lame de verre

Questions	Points
1- Réaliser une préparation microscopique de feuille d'élodée, et la montrer à l'examineur.	2
2- Réaliser une mise au point sur une cellule chlorophyllienne de votre préparation et montrer à l'examineur	2
3- Réaliser un dessin d'observation de cette cellule et des cellules qui l'entourent, puis appeler l'examineur pour qu'il vérifie la fidélité de votre dessin.	6
4- Estimer l'échelle de votre dessin en vous aidant du papier millimétré collé sur une lame de verre, en expliquant votre démarche.	4