

# OLYMPIADES DE LA PHYSIQUE 2005

A. LYCEE LOUIS  
PERGAUD

Mise en évidence par des méthodes optiques  
de quelques constituants du miel ainsi que  
de quelques-une de ses propriétés.



**Les élèves :**

MARCHAL Rémi  
MERCIER Etienne

**Notre professeur :**

Mme Guillosseau-Babin

# **SOMMAIRE**

## **Introduction.**

### **I. Etude microscopique du miel.**

### **II. Spectroscopie appliquée au miel.**

#### A. Mise en évidence de l'absorption du miel dans le domaine visible

- 1) Utilisation d'un réseau
- 2) Utilisation d'un spectroscopie à prisme
- 3) Utilisation d'un spectrophotomètre

#### B. Mise en évidence de l'absorption du miel dans l'infrarouge à l'aide d'un spectromètre

### **III. Polarisation rotatoire.**

#### A. Mise en évidence des sucres dans le miel

1. La lumière
2. Principe de la polarisation

#### B. Application de la polarisation aux miels

1. Rotation d'un sucre
2. Loi de Biot
3. Vérification de la loi de Biot à l'aide du polariseur de Laurent

### **IV. Fluorescence du miel**

## **Conclusion : constitution moyenne du miel.**

## **Annexe**

## **Bibliographie et remerciements**

## Introduction

Problématique :

« Comment peut-on mettre en évidence les principaux constituants du miel ainsi que quelques unes de ses propriétés à l'aide de méthodes optiques ? »

Le miel a toujours été une source de fascination pour l'Homme. De nombreuses traces de ce produit se retrouvent dans les livres saints, dans la mythologie,...

Egalement source de mystères et de fascination, nous avons tenté d'en apprendre plus sur ce produit agroalimentaire largement commercialisé.

Selon un article publié dans le journal le Monde le 29/10/1997, l'étude menée par deux entreprises a révélé l'existence de miel « non-naturels » (contenant des additifs), sur le marché européen : plus de 20% des miels provenant de grandes surfaces étaient concernés.

Dans le cadre des Olympiades de Physique, nous nous sommes intéressées aux méthodes optiques pouvant montrer la composition et certaines propriétés des miels, afin si possible de mettre en évidence la « falsification » de ceux-ci.

Il s'est avéré que tester l'authenticité d'un miel supposait des méthodes plutôt chimiques que physique. Nous avons donc poursuivi notre recherche sur des techniques optiques permettant l'analyse des composants du miel.

### **Le miel**

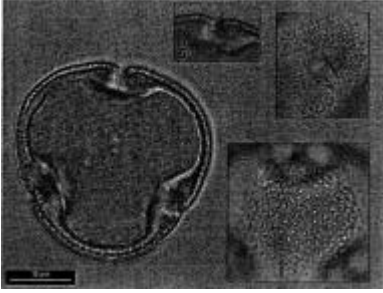
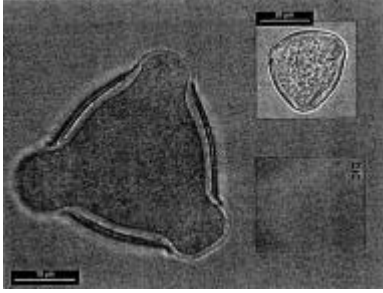

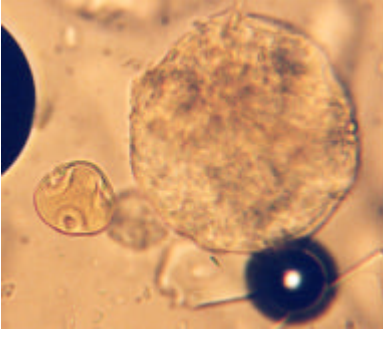




Article publié le 29 Octobre 1997

Par GUILLAUME CROUZET

Source : Le Monde

Taille de l'article : 500 mots

**Extrait :** A lire la dernière enquête de la répression des fraudes, on peut légitimement se demander quelle mouche a piqué certains apiculteurs. Selon ce rapport, sur cinquante échantillons de miel récemment prélevés chez les producteurs ou les grossistes, pas moins de onze étaient non conformes à la loi. L'arnaque la plus classique consiste à faire passer un miel étranger acheté à bas prix comme étant une production de nos butineuses hexagonales.

	tilleul	acacia	châtaigner
origine	Franche-Comté	Franche-Comté	Le Var
appellation du miel	miel	miel	miel
caractéristiques (aspects extérieur)	Jaune clair à jaune foncé - Cristallisation variable	Liquide - Très lente cristallisation - Très claire	Brun clair à foncé – Gros cristaux
pollens (observés)	peu	peu	beaucoup
Pollens caractéristiques			
Pollens observés (photos)	 		 

## II. Etude spectroscopique

### A. Mise en évidence de l'absorption du miel dans le domaine visible

#### 1. Utilisation d'un réseau

##### But de l'expérience :

Reproduire simplement un spectroscope à réseau et montrer l'absorption du miel dans le domaine visible.

##### Matériel :

- Réseau
- Solution de miel
- Rétroprojecteur
- Fente

##### Protocole :

Après avoir réduit avec une fente le faisceau lumineux issu du rétroprojecteur, on place un réseau sur celui-ci. On obtient ainsi le spectre de la lumière blanche. On place alors une cuve en verre contenant notre solution de miel entre la fente et le réseau.

**Note :** parallèlement à la cuve contenant le miel, on place une cuve vide identique à celle-ci.

##### Observation :

Le spectre avec la cuve de miel présente une forte atténuation dans le bleu-violet ; tandis que la cuve en verre placée parallèlement à la cuve contenant le miel ne produit aucune atténuation du spectre de la lumière blanche.

##### Interprétation :

- La cuve n'est pas responsable de l'absorption du miel dans le bleu.
- Cette atténuation, ressemblant à une bande d'absorption, on peut conjecturer le fait que « le miel absorbe dans le bleu ».  
En effet, en classe de seconde, nous avons appris que toute substance colorée laisse passer les radiations lumineuses dont elle est constituée et absorbe les autres.

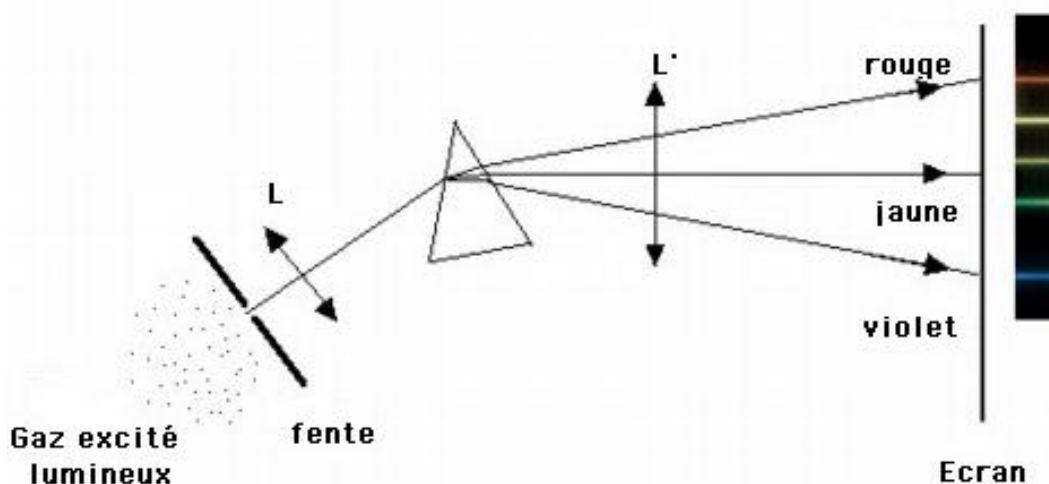
#### 2. Utilisation d'un spectroscope à prisme

##### But de l'expérience :

On cherche à confirmer les résultats obtenus lors de l'expérience précédente.

Protocole :

On réalise le spectre d'émission d'une lampe à vapeur de mercure grâce au spectroscopie à prisme : les raies d'émissions sont de couleurs jaunes, rouges, violet et vertes. On intercale ensuite la solution de miel sur le trajet de la lumière avant que celle-ci soit dispersée par le prisme.



Si on analyse la lumière émise par une lampe à vapeur de mercure à l'aide d'un spectroscopie, on constate que le spectre de la lumière émise est constitué de raies fines intenses de couleur se détachant sur fond noir. Le spectre obtenu est donc discontinu. Il caractérise un élément chimique particulier.

Observation :

Le jaune reste, le violet disparaît et le rouge s'atténue.

Bilan de l'expérience :

Les résultats obtenus précédemment confirment ce que l'on supposait : il y a bien absorption du miel dans le bleu-violet.

**Remarque :**

Nous nous sommes demandés si cette absorption était due à la présence du sucre dans le miel. Nous avons donc appliqué les 2 protocoles ci-dessus sur une solution aqueuse de glucose et une solution aqueuse de fructose. Ceci était bien sûr maladroit puisque ces solutions sont incolores !

### 3. utilisation d'un spectrophotomètre

But de l'expérience

L'utilisation d'un spectrophotomètre va nous permettre d'affiner et de confirmer nos observations faites à l'œil nu.

Notre spectrophotomètre permet de faire des mesures de  $\lambda = 330 \text{ nm}$  à  $1000 \text{ nm}$ .

Protocole – Utilisation du spectrophotomètre :

Pour faire les mesures d'absorbance du miel sur tout le spectre compris entre  $330$  et  $1000\text{nm}$ , on étalonne l'appareil grâce à de l'eau distillée (solution de référence). On réalise le blanc.

**Remarque :**

Lorsque des radiations lumineuses entrent en contact avec de la matière, elles peuvent aussi bien être absorbées que transmises et réfléchies.

Selon le principe de la conservation d'énergie, l'intensité des radiations incidentes  $I_0$  est notée :

$$I_0 = I_a + I_t + I_r$$

avec  $I_0$  : intensité des radiations incidentes.

$I_a$  : l'intensité des radiations absorbées.

$I_t$  : l'intensité des radiations transmises.

$I_r$  : l'intensité des radiations réfléchies.

Mesure et exploitation :

Dans les deux cas, nos deux miels présentent un pic d'absorbance dans le proche UV et dans le bleu (ce que l'on avait déjà constaté avec un réseau). Le miel est donc un corps fluorescent. On constate également que plus  $\lambda$  augmente, plus  $A$  diminue. Ceci est tout à fait normal puisque le miel étant jaune orangé il laisse passer les radiations de sa couleur sans les absorber.

L'absorbance :

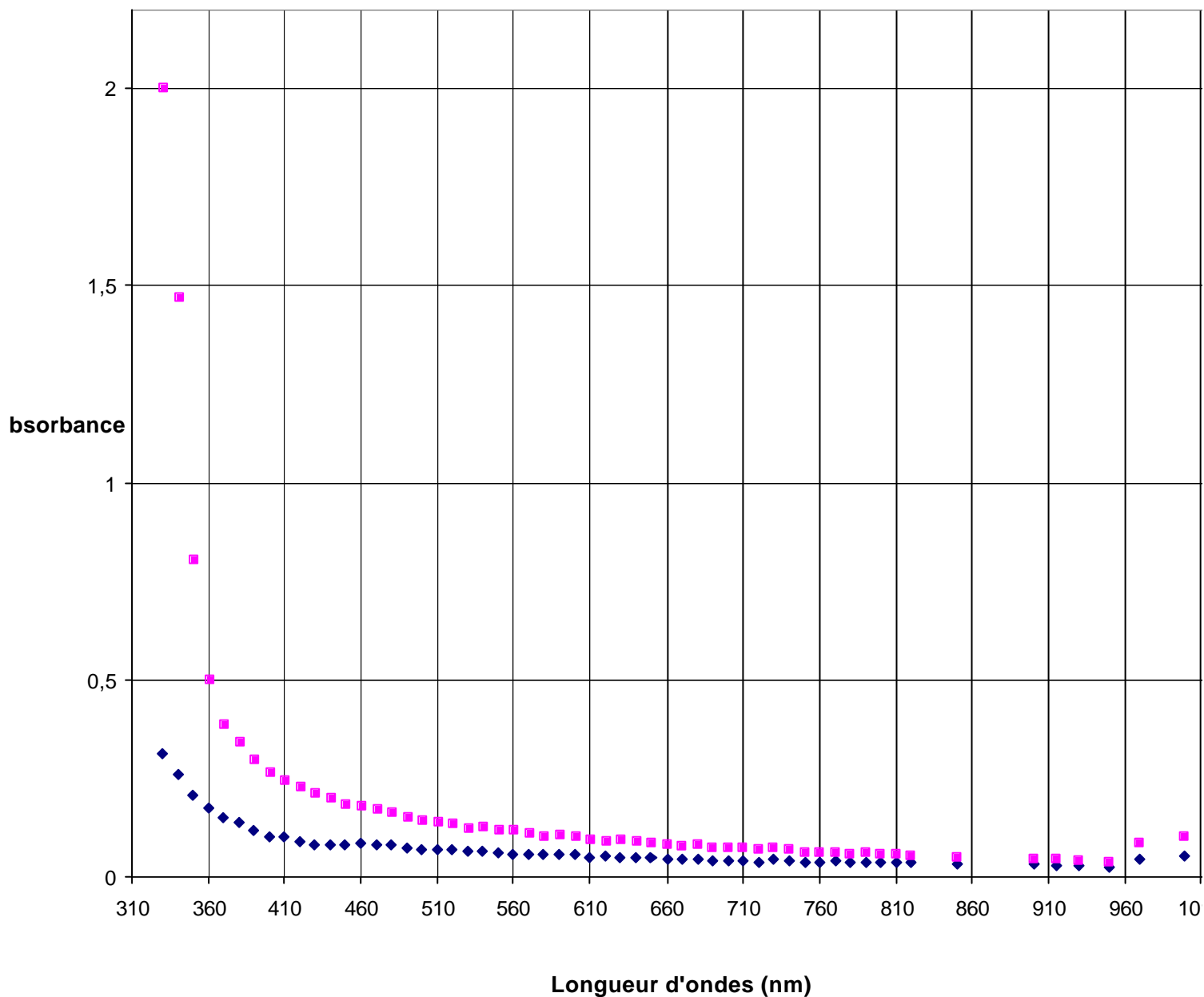
L'absorbance, notée  $A$ , est définie comme étant le logarithme décimal de l'inverse de la transmittance  $T$ , selon les équations :

$$A = \log (1/T)$$

ou

$$A = \log (I_0/I_t) \text{ (car } T = I_t/I_0)$$

## Courbes d'absorbance des miels d'acacia et de tilleul



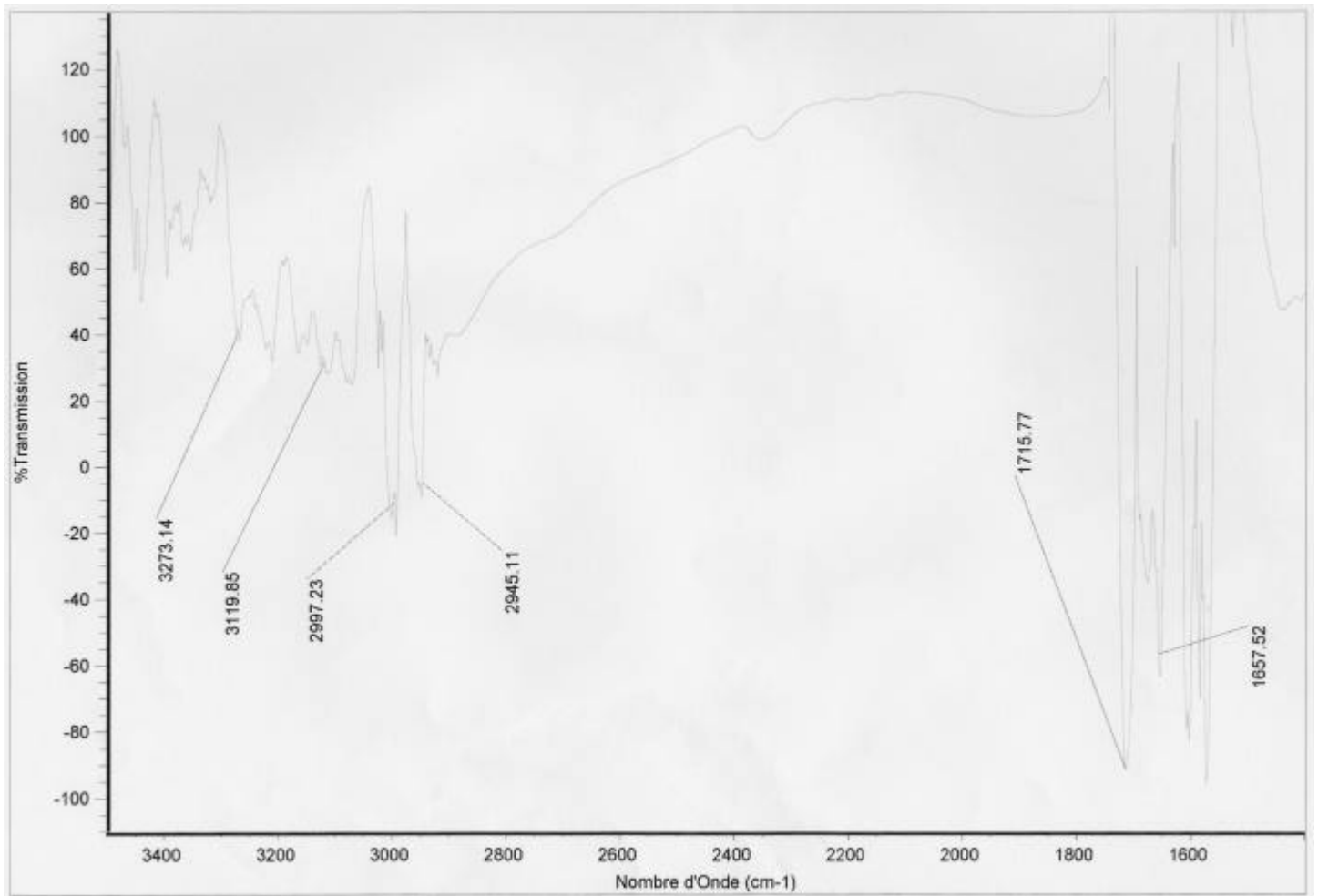
### B. Mise en évidence de l'absorption du miel dans le domaine infrarouge

A la faculté de chimie de Besançon, nous avons réalisé les spectres infrarouges du glucose, du fructose et d'un miel.

Protocole :

1<sup>er</sup> essai : Utilisation de l'eau comme solvant.





*Spectre infrarouge du miel en utilisant l'eau comme solvant*

Observation :

Le spectre n'est absolument pas exploitable car les molécules d'eau absorbent trop.

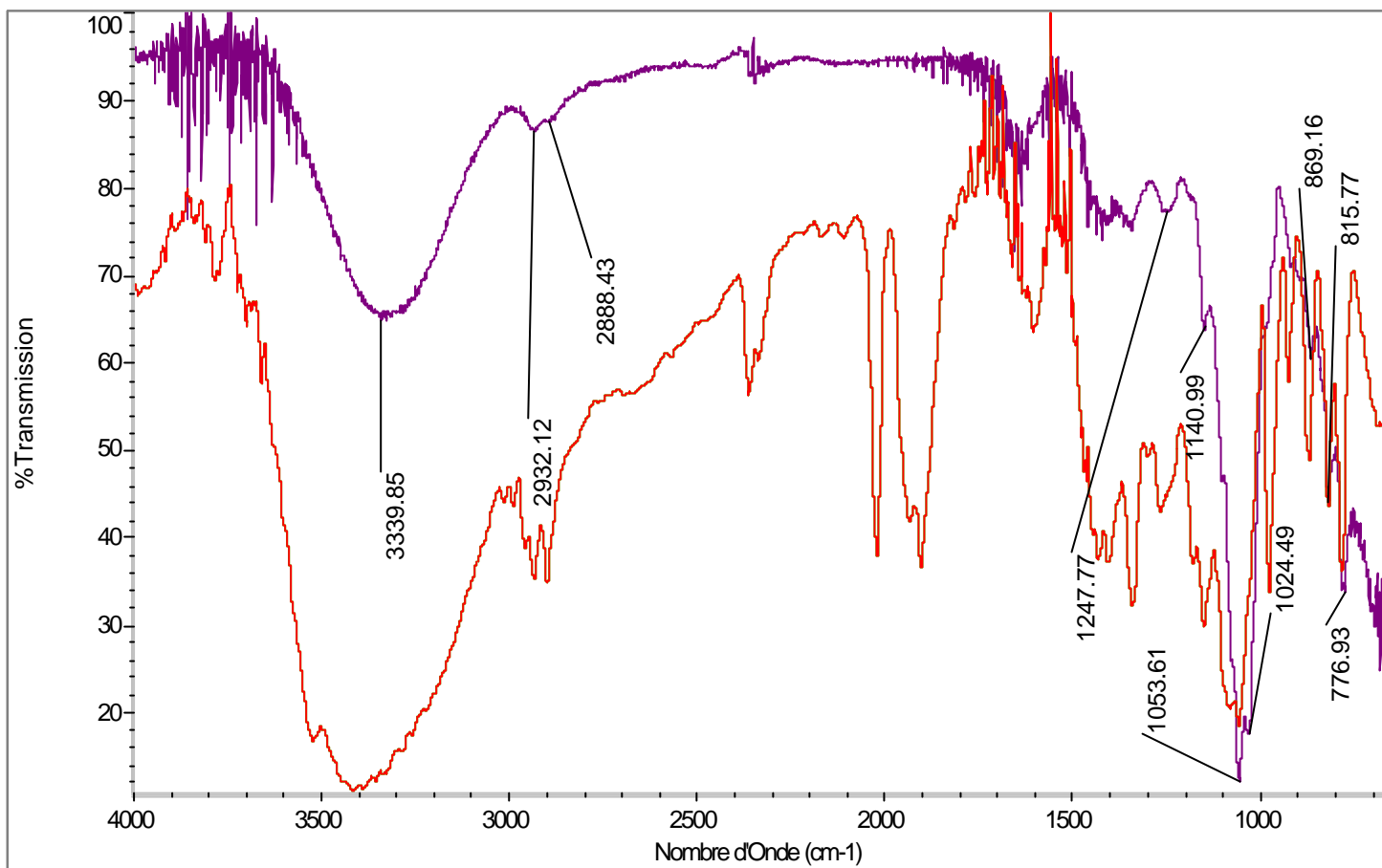
2<sup>ème</sup> essai : Utilisation du dichlorométhane comme solvant. Le problème, c'est que le miel n'est pas soluble dans le dichlorométhane.

3<sup>ème</sup> essai : Utilisation de pastilles solides pour le fructose et pour le glucose (mélange de glucose et de fructose avec du bromure de potassium (KBr)).

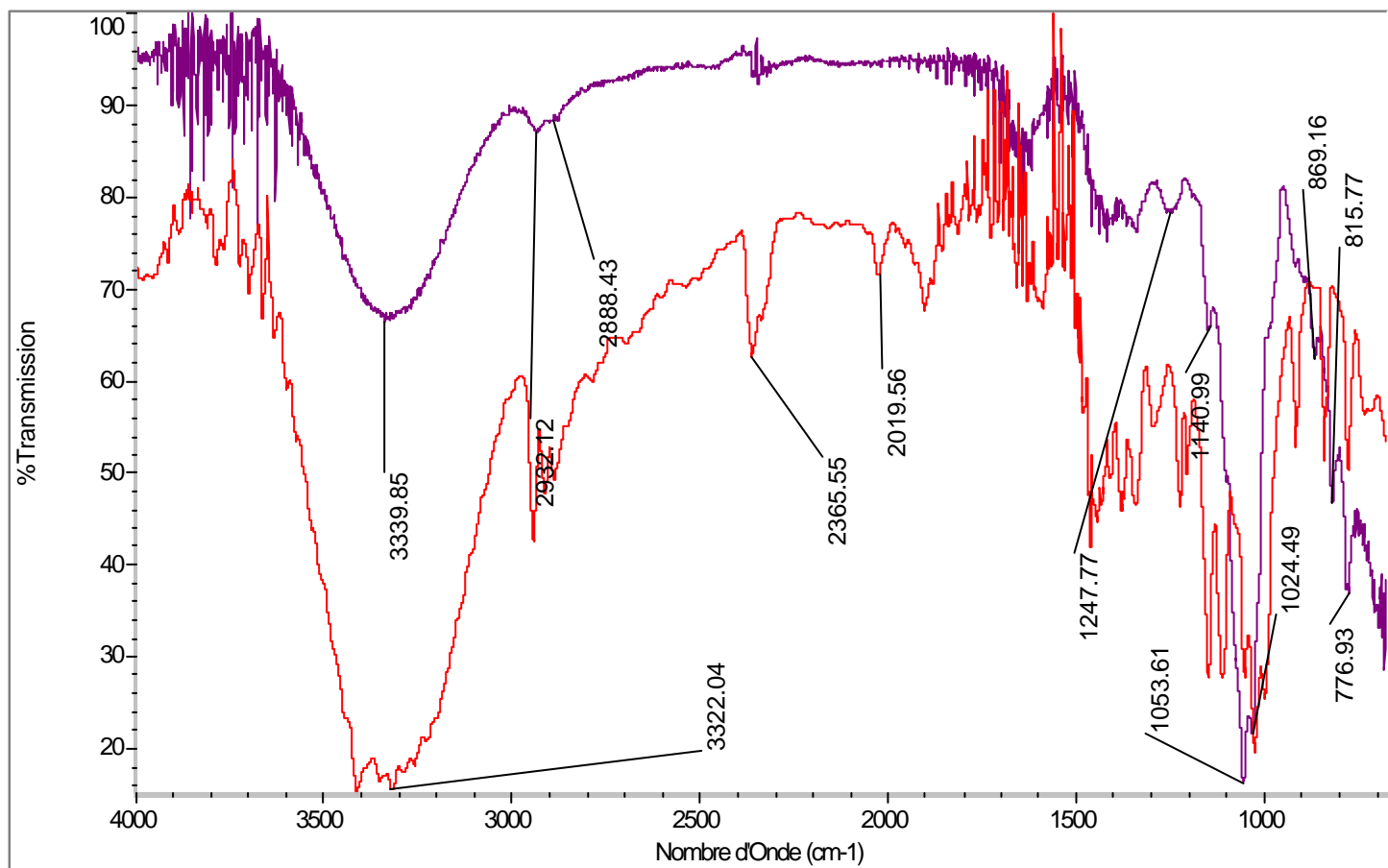
Utilisation de la réflexion pour le miel car on ne peut pas en faire une pastille puisqu'il est visqueux.

Observation (3<sup>ème</sup> essai) :

Voici les spectres sur lesquels est représentée la transmission du glucose, fructose et du miel en fonction du nombre d'onde  $\mu$  (en cm<sup>-1</sup>).



*Spectre infrarouge du fructose (courbe rouge) et du miel (courbe violette)*



*Spectre infrarouge du glucose (courbe rouge) et du miel (courbe violette)*

On reconnaît d'après des tables des bandes de transmittance pour les fonctions suivantes :

➤ Fonction hydroxyle -OH

$\mu = 3500 \text{ cm}^{-1}$  ; pour le fructose, le glucose et le miel.

➤ Fonction aldéhyde  $\text{R}-\text{C} \begin{array}{l} \text{=O} \\ \text{-H} \end{array}$

$\mu = 2500\text{-}3000 \text{ cm}^{-1}$  ; pour le glucose et le miel.

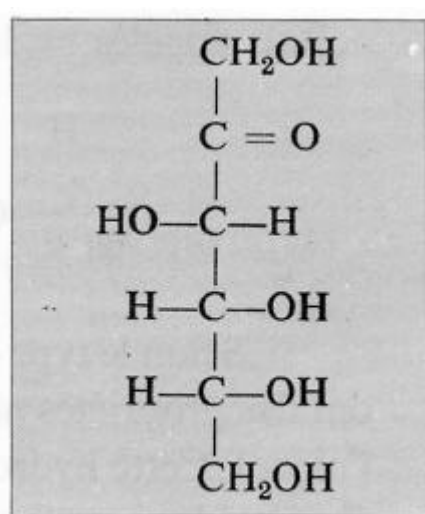
➤ Fonction cétone  $\begin{array}{l} \text{R}_1 \\ \text{R}_2 \end{array} \text{C}-\text{O}$

$\mu = 1600\text{-}1800 \text{ cm}^{-1}$  ; pour le fructose et le miel.

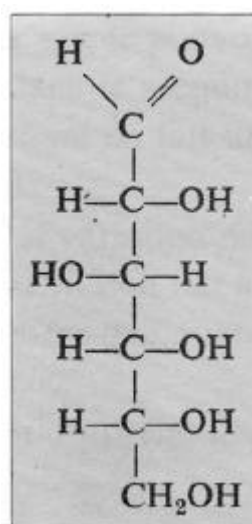
Conclusion :

On peut dire que le miel contient des sucres tels que le glucose et le fructose.

### Structure du fructose et du glucose en représentation de Fischer



D-fructose



glucose

### III. Polarisation rotatoire

#### A. Mise en évidence des sucres dans le miel

Les expériences de spectroscopie infrarouge nous ont permis de conjecturer qu'il y avait présence de sucres dans le miel. Nous allons maintenant tenter de voir quels effets peuvent avoir ces sucres sur la lumière visible, et ainsi essayer de déterminer leur nature.

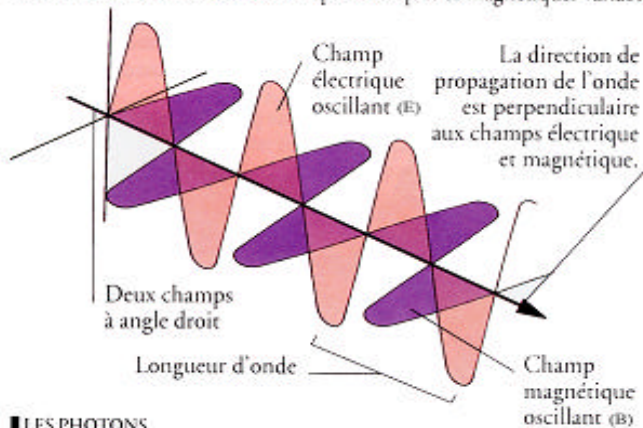
##### 1. La lumière

Le caractère ondulatoire de la lumière a été énoncé pour la première fois par C.Huygens (1678). Il a été ensuite largement développé par A.Fresnel (1802) et relié plus tard à l'électromagnétisme par J.C Maxwell (1876).

#### LE RAYONNEMENT COMME PARTICULES ET COMME ONDES

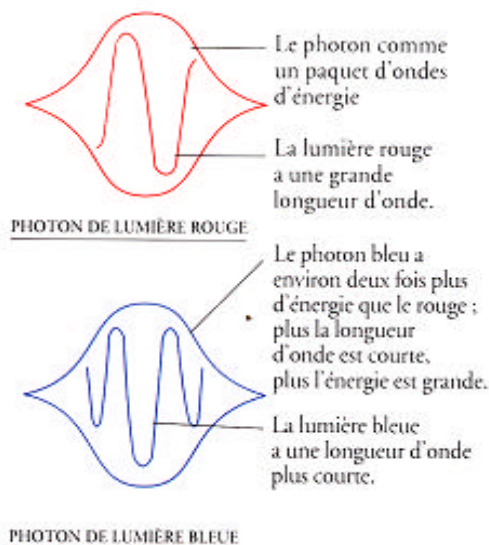
##### LES CHAMPS OSCILLANTS

Tout rayonnement électromagnétique se comporte comme une onde, avec les mêmes phénomènes de diffraction et d'interférences. On le considère comme une combinaison de champs électriques et magnétiques variables.



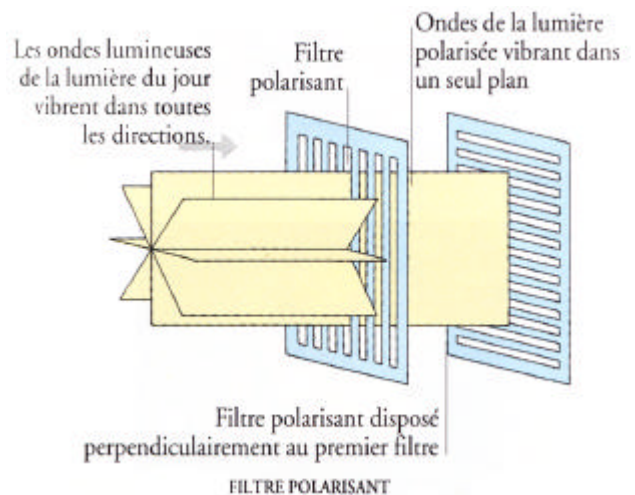
##### LES PHOTONS

Tout rayonnement électromagnétique a aussi le comportement typique des particules. Par exemple, son énergie se présente en paquets individuels appelés photons.



La lumière visible, mince portion du spectre électromagnétique s'étendant de 400nm à 800nm, est faite d'ondes électromagnétiques qui vibrent de façon transversale.

Un filtre polarisant est capable de ne laisser passer que les ondes qui vibrent dans un certain plan, dans une même direction.



## 2. Principe de la polarisation

### Onde polarisée rectilignement

Après être passée dans un filtre polarisant, la lumière est polarisée : les ondes polarisées rectilignement sont telles que les vecteurs E et B gardent une direction déterminée au cours de la propagation. Le plan défini par les vecteurs E et k (direction de propagation) est appelé le plan de polarisation.

Il est très difficile de produire une lumière parfaitement polarisée ou parfaitement non polarisée !

### Polarisation par dichroïsme

Le dichroïsme est l'absorption sélective par certains matériaux d'une direction de polarisation de l'onde lumineuse qui la traverse.

### Feuilles polarisantes

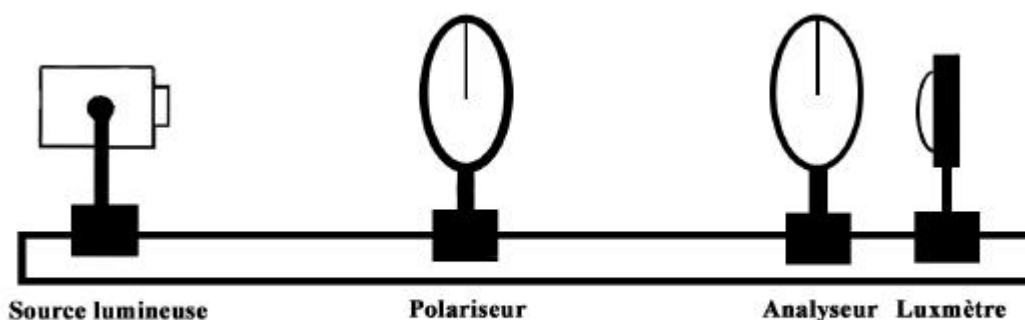
Egalement appelées feuilles polaroid, ces feuilles en matière plastique sont enduites de matériaux organiques à longues molécules (molécules étirées et orientées sous un champ magnétique) qui forment une grille organique qui se comporte comme une grille métallique. Ces polariseurs sont conçus pour toutes les longueurs d'ondes. Les feuilles polarisantes ont été inventées par E.H Land en 1938.

### Protocole expérimental : établissement de la loi de Malus ( $I = I_0 \cos^2 \alpha$ ) :

#### But de l'expérience :

Nous avons ici tenté de vérifier la loi de Malus, c'est-à-dire de constater la relation entre l'intensité lumineuse initiale  $I_0$  (à l'entrée du polariseur) et l'intensité lumineuse finale  $I$  (à la sortie de l'analyseur).

#### Dispositif :



### Théorie :

Lorsqu'on croise le polariseur et l'analyseur (c'est-à-dire en prenant un angle de  $90^\circ$ ), on réalise l'extinction de la lumière, car  $\cos(p/2) = 0$ . On peut alors déterminer la valeur de l'intensité de la lumière parasite, grâce au luxmètre, qu'il faudra soustraire aux résultats.

Lorsqu'on place en parallèle le polariseur et l'analyseur, on peut mesurer la valeur maximale de l'intensité lumineuse finale, car  $\cos 0 = 1$ .

### Protocole :

On utilise le dispositif (cf. page précédente). On réalise les mesures d'intensité lumineuse à la sortie de l'analyseur pour des angles  $a$  quelconques.

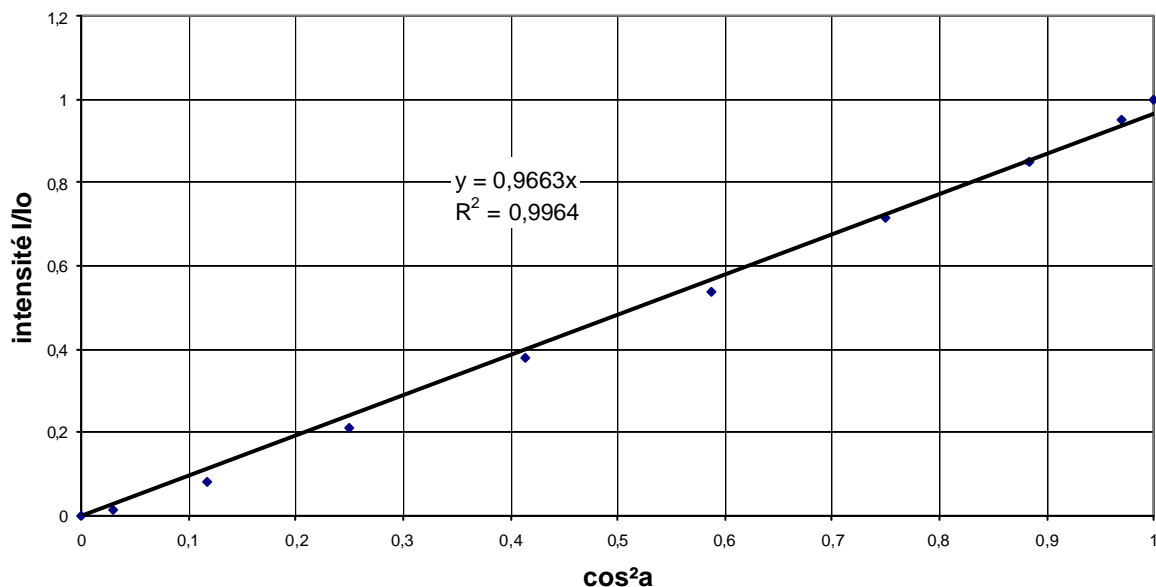
### Exploitation :

On divise la valeur de cette intensité par la valeur maximale de l'intensité finale de manière à tracer  $I/I_0 = f(\cos^2 a)$ .

### Mesures et résultats :

Intensité (lux)	angles ( $^\circ$ )	angles (en radian)	cos (angle)	cos <sup>2</sup>
825	0	0	1	1
784	10	0,174532925	0,98480775	0,96984631
703	20	0,34906585	0,93969262	0,88302222
590	30	0,523598776	0,8660254	0,75
444	40	0,698131701	0,76604444	0,58682409
311	50	0,872664626	0,64278761	0,41317591
173	60	1,047197551	0,5	0,25
67	70	1,221730476	0,34202014	0,11697778
11	80	1,396263402	0,17364818	0,03015369
0	90	1,570796327	6,1257E-17	3,7525E-33

**Loi de Malus**  
**(Intensité = intensité initiale\*cos<sup>2</sup>a)**



Bilan de l'expérience : la loi de Malus est bien vérifiée.

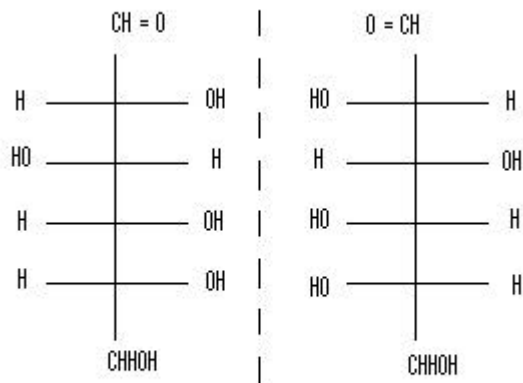
## B. Application de la polarisation aux miels

### 1. Rotation d'un sucre

Il existe dans la nature deux types de substances actives faisant varier le plan de polarisation : les substances dextrogyres ( $[\alpha] > 0$ ), qui font tourner ce plan vers la droite (pour un observateur recevant la lumière), et les substances lévogyres ( $[\alpha] < 0$ ), qui le font tourner vers la gauche.

L'origine de ce phénomène se trouve dans la répartition spatiale des molécules : il existe des entités moléculaires superposables à leur image, possédant un centre voire même un plan de symétrie, et d'autres qui ne le sont pas. Lorsque deux molécules ont une même composition chimique mais que l'une est l'image de l'autre dans un miroir plan, il y a phénomène de chiralité. On différencie alors les deux énantiomères, soit les deux dispositions spatiales de l'objet, également appelés *inverses optiques* en raison de leurs pouvoirs rotatoires opposés. Deux oses énantiomères ont au moins un carbone asymétrique C\*.

Représentation de Fischer :



Un sucre a la configuration dextrogyre (D) si, dans sa représentation de Fischer, le groupe OH lié au carbone asymétrique est à droite, et lévogyre (L) s'il est à gauche.

### 2. Loi de Biot :

Il existe de nombreuses applications à la polarimétrie. Dans le cas du miel, on s'intéresse à déterminer la nature des différents sucres qu'il contient ainsi que leur concentration. Le principe du dosage de la solution de miel se base sur la mesure de l'angle de rotation  $\alpha$  du

plan de polarisation. Celui-ci varie en fonction de la concentration  $c$  d'une espèce chimique et du pouvoir rotatoire spécifique au sucre  $[\alpha]$  ainsi que de l'épaisseur  $l$  de la substance traversée. D'après la loi de Biot l'angle de rotation  $\alpha$  final correspond à l'addition des pouvoirs rotatoires de chaque sucre multipliés par leurs concentrations :

$$\alpha = ([\alpha_1] \cdot l \cdot c_1 + [\alpha_2] \cdot l \cdot c_2 + \dots) \cdot l$$

En mesurant cet angle grâce entre autre au polarimètre de Laurent, on peut arriver à déterminer la composition de la solution étudiée.

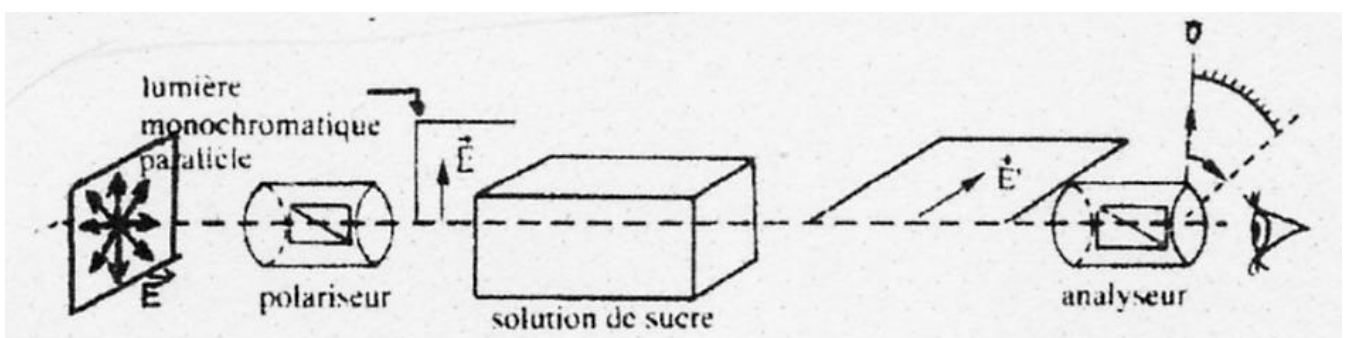
### 3. Vérification de la loi de Biot avec le polarimètre de Laurent

#### But de l'expérience :

Vérifier l'effet de chaque paramètre de la loi de Biot, à savoir la concentration  $c$  de l'espèce chimique étudiée, le pouvoir rotatoire spécifique au sucre  $[\alpha]$  ainsi que de l'épaisseur  $l$  de la substance traversée, dans la rotation  $\alpha$  finale.

#### Dispositif expérimental :

Pour cette expérience, on a reconstitué le polarimètre de Laurent, qui se différencie du polarimètre précédent par l'ajout d'une lame demi-onde à l'avant de l'analyseur. Celle-ci va faire varier le plan de polarisation d'environ 3 degrés, ce qui aura pour conséquence de faire apparaître deux plages de couleurs différentes sur l'image. On se place alors à l'équipénombre, zone à laquelle les deux plages auront la même teinte (en lumière blanche, on obtient une tache de couleur lie-de-vin), avec une solution étalon d'eau. On intercale alors entre le polariseur et l'analyseur la solution de sucre à étudier.



#### Note :

Il y a également égalité des teintes lorsque l'intensité lumineuse est quasi-maximale, mais l'œil est beaucoup plus apte à distinguer les variations de teinte à faible intensité. De même, différencier la pénombre totale de la semi-pénombre est difficile, d'où l'utilisation de la lame demi-onde.



Protocole : On va tour à tour faire varier les trois facteurs : concentration, nature et épaisseur de la substance traversée, et tenter de constater les variations du plan de polarisation.

#### Manipulation 1 :

On observe tout d'abord au polarimètre de Laurent une solution de fructose concentrée à  $20\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ . On constate qu'il y a rotation vers la gauche du plan de polarisation : le fructose est lévogyre. On réalise l'équipénombre à partir de cette solution, puis on la remplace par une solution de fructose concentrée à  $40\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ . On constate que cette solution «rallume» l'image en faisant pivoter davantage vers la droite (double de l'angle de départ).

#### Conclusion :

L'angle de rotation finale du plan de polarisation est bien proportionnel à la concentration.

#### Manipulation 2 :

On observe au polarimètre de Laurent une solution de glucose concentrée à  $40\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ . On constate comme précédemment qu'il y a rotation vers la droite du plan de polarisation. Le glucose est dextrogyre. On réalise l'équipénombre à partir de cette solution, puis on la remplace par une solution de fructose concentrée à  $40\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ . On constate que cette solution «rallume» fortement l'image en faisant pivoter le plan de polarisation vers la gauche : le fructose est lévogyre.

#### Conclusion :

Le pouvoir rotatoire spécifique au sucre  $[\alpha]$  est bien un facteur qui influence sur la rotation finale du plan de polarisation.

#### Manipulation 3 :

On observe au polarimètre de Laurent une solution de fructose concentrée à  $40\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$  dans une cuve placée dans le sens de la largeur. On constate qu'il y a rotation vers la droite du plan de polarisation. On réalise l'équipénombre à partir de cette solution, puis on pivote la cuve de manière à la mettre dans le sens de la longueur. On constate que cette solution «rallume» l'image en faisant pivoter davantage vers la droite.

#### Conclusion :

L'angle de rotation finale du plan de polarisation est proportionnel à l'épaisseur de la substance traversée.

#### Note : résultats expérimentaux :

	$[\alpha]$	l (dm)	c (g/ml)	a expérimental (°)	a réel (°)	% d'erreur
fructose	-92,2°	0,74	0,2	-13	-13,6	4,41
fructose	- 92,2°	0,74	0,4	-25	-27	7,41
fructose	- 92,2°	0,24	0,4	-7,5	-8	6,25
glucose	+ 52,5°	0,74	0,4	14	15	6,67

Bilan : La loi de Malus est bien vérifiée.

### **Protocole expérimental : réalisation de l'expérience précédente avec du miel :**

#### Protocole :

On place maintenant une cuve contenant du miel entre le polariseur et l'analyseur.

#### Observation :

On constate que le miel fait tourner le plan de polarisation vers la gauche d'un angle de  $-17^\circ$ .

#### Interprétation :

On a vu grâce à la spectroscopie infra rouge que le miel contenait du glucose et du fructose, sucres dont les pouvoirs rotatoires sont opposés. Or d'après la loi de Biot, les pouvoirs rotatoires de ces sucres s'additionnent. Du fait que le fructose possède un pouvoir rotatoire spécifique  $[\alpha]$  supérieur à celui du glucose, on peut conjecturer que le miel contient en plus grande proportion du fructose que du glucose.

### **Protocole expérimental : conséquences de la chaleur sur le miel :**

#### But de l'expérience :

On tente de déterminer quels seraient les effets de la chauffe du miel sur sa capacité à faire tourner le plan de polarisation.

#### Protocole :

En conservant toujours le même dispositif (cf. expérience précédente), on va placer entre le polariseur et l'analyseur un miel monté successivement à différentes températures.

#### Observation :

On constate que l'angle de rotation finale du plan de polarisation diminue plus la température du miel s'élève. Après avoir fait chauffer le miel, on fait redescendre sa température : la rotation finale ne réaugmente pas.

#### Valeurs observées :

température du miel (ordre chronologique)	ambiante	40°C	51°C	9,5°C	réfrigérateur
a final (°)	-17	-11	-7	-8	-10

#### Conclusion :

Le miel perd son pouvoir rotatoire lorsqu'on le chauffe.

#### Interprétation :

Les sucres contenus dans le miel sont à l'origine de la rotation du plan de polarisation. A partir de 40°C, les sucres se dégradent en HMF (hydroxyméthylfurfural), qui n'a pas de pouvoir rotatoire.

### III. Polarisation rotatoire

#### A. Mise en évidence des sucres dans le miel

Les expériences de spectroscopie infrarouge nous ont permis de conjecturer qu'il y avait présence de sucres dans le miel. Nous allons maintenant tenter de voir quels effets peuvent avoir ces sucres sur la lumière visible, et ainsi essayer de déterminer leur nature.

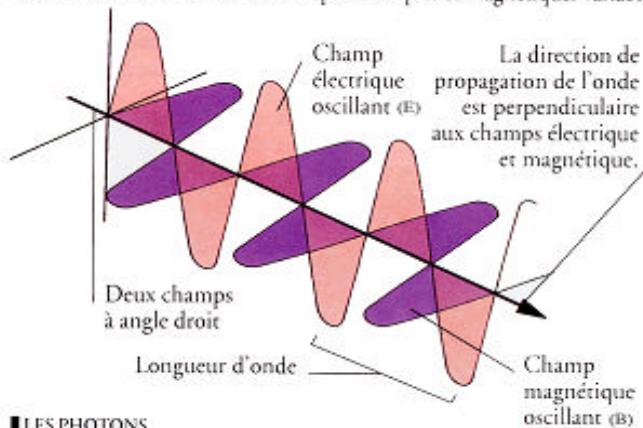
#### 1. La lumière

Le caractère ondulatoire de la lumière a été énoncé pour la première fois par C.Huygens (1678). Il a été ensuite largement développé par A.Fresnel (1802) et relié plus tard à l'électromagnétisme par J.C Maxwell (1876).

#### LE RAYONNEMENT COMME PARTICULES ET COMME ONDES

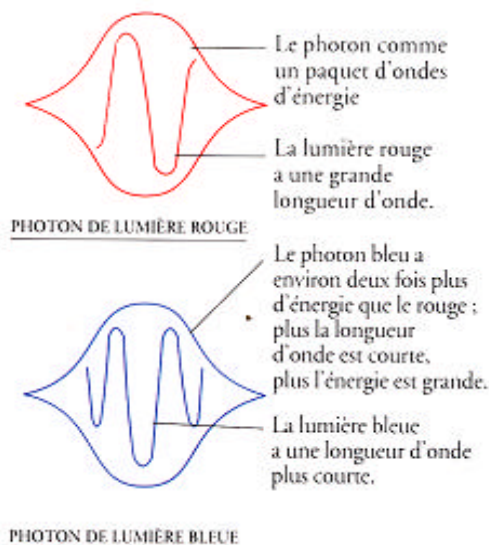
##### LES CHAMPS OSCILLANTS

Tout rayonnement électromagnétique se comporte comme une onde, avec les mêmes phénomènes de diffraction et d'interférences. On le considère comme une combinaison de champs électriques et magnétiques variables.



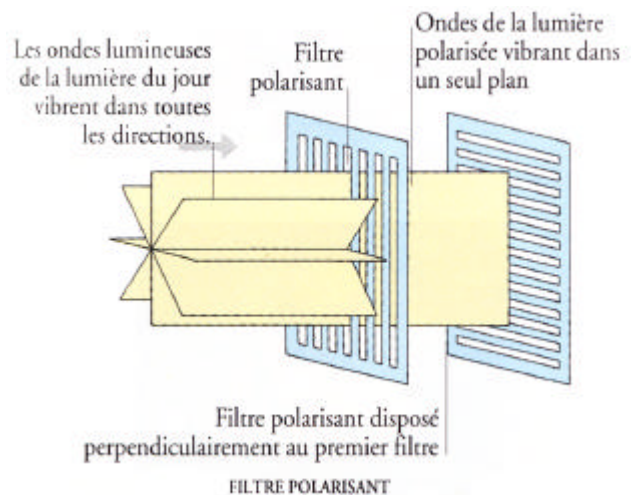
##### LES PHOTONS

Tout rayonnement électromagnétique a aussi le comportement typique des particules. Par exemple, son énergie se présente en paquets individuels appelés photons.



La lumière visible, mince portion du spectre électromagnétique s'étendant de 400nm à 800nm, est faite d'ondes électromagnétiques qui vibrent de façon transversale.

Un filtre polarisant est capable de ne laisser passer que les ondes qui vibrent dans un certain plan, dans une même direction.



## 2. Principe de la polarisation

### Onde polarisée rectilignement

Après être passée dans un filtre polarisant, la lumière est polarisée : les ondes polarisées rectilignement sont telles que les vecteurs E et B gardent une direction déterminée au cours de la propagation. Le plan défini par les vecteurs E et k (direction de propagation) est appelé le plan de polarisation.

Il est très difficile de produire une lumière parfaitement polarisée ou parfaitement non polarisée !

### Polarisation par dichroïsme

Le dichroïsme est l'absorption sélective par certains matériaux d'une direction de polarisation de l'onde lumineuse qui la traverse.

### Feuilles polarisantes

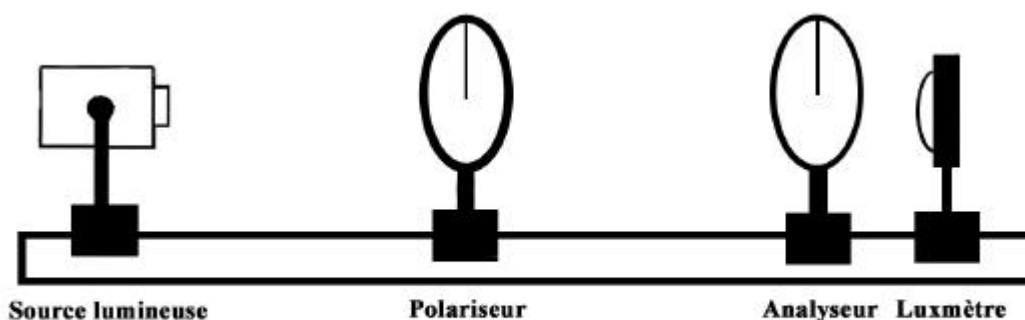
Egalement appelées feuilles polaroid, ces feuilles en matière plastique sont enduites de matériaux organiques à longues molécules (molécules étirées et orientées sous un champ magnétique) qui forment une grille organique qui se comporte comme une grille métallique. Ces polariseurs sont conçus pour toutes les longueurs d'ondes. Les feuilles polarisantes ont été inventées par E.H Land en 1938.

### Protocole expérimental : établissement de la loi de Malus ( $I = I_0 \cos^2 \alpha$ ) :

#### But de l'expérience :

Nous avons ici tenté de vérifier la loi de Malus, c'est-à-dire de constater la relation entre l'intensité lumineuse initiale  $I_0$  (à l'entrée du polariseur) et l'intensité lumineuse finale  $I$  (à la sortie de l'analyseur).

#### Dispositif :



### Théorie :

Lorsqu'on croise le polariseur et l'analyseur (c'est-à-dire en prenant un angle de  $90^\circ$ ), on réalise l'extinction de la lumière, car  $\cos(p/2) = 0$ . On peut alors déterminer la valeur de l'intensité de la lumière parasite, grâce au luxmètre, qu'il faudra soustraire aux résultats.

Lorsqu'on place en parallèle le polariseur et l'analyseur, on peut mesurer la valeur maximale de l'intensité lumineuse finale, car  $\cos 0 = 1$ .

### Protocole :

On utilise le dispositif (cf. page précédente). On réalise les mesures d'intensité lumineuse à la sortie de l'analyseur pour des angles  $a$  quelconques.

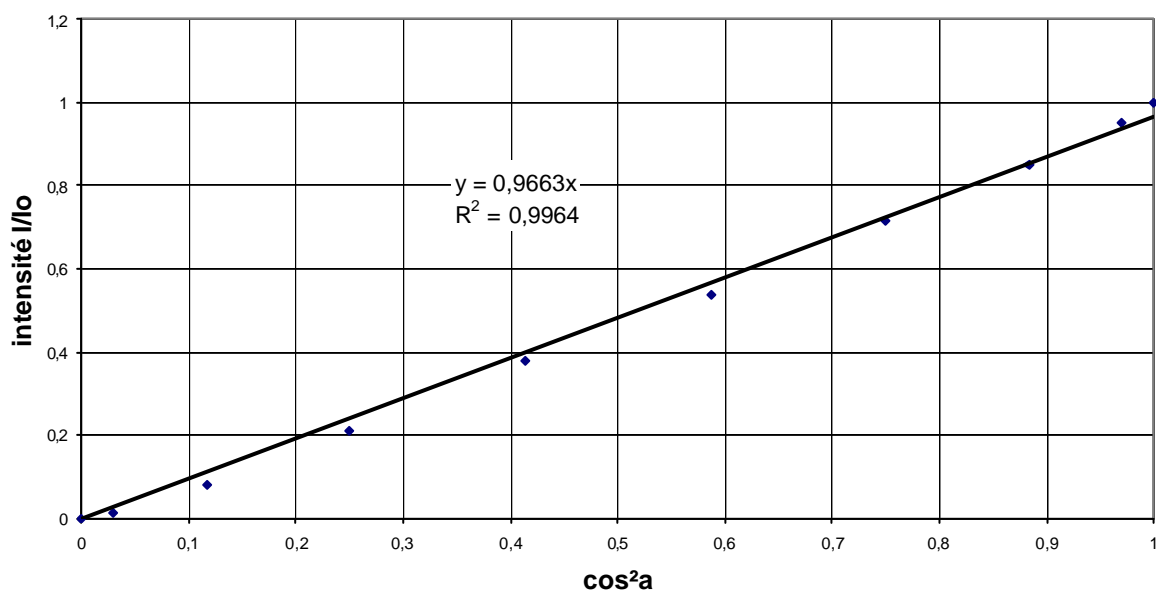
### Exploitation :

On divise la valeur de cette intensité par la valeur maximale de l'intensité finale de manière à tracer  $I/I_0 = f(\cos^2 a)$ .

### Mesures et résultats :

Intensité (lux)	angles ( $^\circ$ )	angles (en radian)	cos (angle)	cos <sup>2</sup>
825	0	0	1	1
784	10	0,174532925	0,98480775	0,96984631
703	20	0,34906585	0,93969262	0,88302222
590	30	0,523598776	0,8660254	0,75
444	40	0,698131701	0,76604444	0,58682409
311	50	0,872664626	0,64278761	0,41317591
173	60	1,047197551	0,5	0,25
67	70	1,221730476	0,34202014	0,11697778
11	80	1,396263402	0,17364818	0,03015369
0	90	1,570796327	6,1257E-17	3,7525E-33

**Loi de Malus**  
**(Intensité = intensité initiale\*cos<sup>2</sup>a)**



Bilan de l'expérience : la loi de Malus est bien vérifiée.

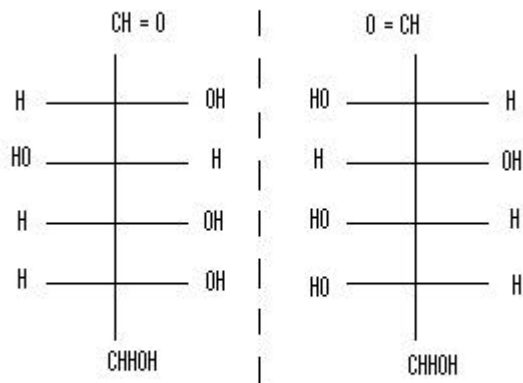
## B. Application de la polarisation aux miels

### 1. Rotation d'un sucre

Il existe dans la nature deux types de substances actives faisant varier le plan de polarisation : les substances dextrogyres ( $[\alpha] > 0$ ), qui font tourner ce plan vers la droite (pour un observateur recevant la lumière), et les substances lévogyres ( $[\alpha] < 0$ ), qui le font tourner vers la gauche.

L'origine de ce phénomène se trouve dans la répartition spatiale des molécules : il existe des entités moléculaires superposables à leur image, possédant un centre voire même un plan de symétrie, et d'autres qui ne le sont pas. Lorsque deux molécules ont une même composition chimique mais que l'une est l'image de l'autre dans un miroir plan, il y a phénomène de chiralité. On différencie alors les deux énantiomères, soit les deux dispositions spatiales de l'objet, également appelés *inverses optiques* en raison de leurs pouvoirs rotatoires opposés. Deux oses énantiomères ont au moins un carbone asymétrique C\*.

Représentation de Fischer :



Un sucre a la configuration dextrogyre (D) si, dans sa représentation de Fischer, le groupe OH lié au carbone asymétrique est à droite, et lévogyre (L) s'il est à gauche.

### 2. Loi de Biot :

Il existe de nombreuses applications à la polarimétrie. Dans le cas du miel, on s'intéresse à déterminer la nature des différents sucres qu'il contient ainsi que leur concentration. Le principe du dosage de la solution de miel se base sur la mesure de l'angle de rotation  $\alpha$  du

plan de polarisation. Celui-ci varie en fonction de la concentration  $c$  d'une espèce chimique et du pouvoir rotatoire spécifique au sucre  $[\alpha]$  ainsi que de l'épaisseur  $l$  de la substance traversée. D'après la loi de Biot l'angle de rotation  $\alpha$  final correspond à l'addition des pouvoirs rotatoires de chaque sucre multipliés par leurs concentrations :

$$\alpha = ([\alpha_1] \cdot l \cdot c_1 + [\alpha_2] \cdot l \cdot c_2 + \dots) \cdot l$$

En mesurant cet angle grâce entre autre au polarimètre de Laurent, on peut arriver à déterminer la composition de la solution étudiée.

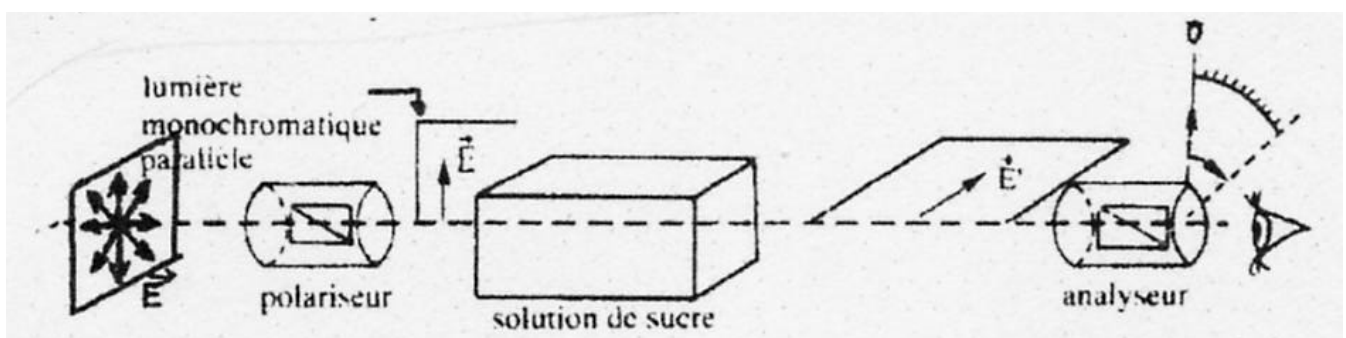
### 3. Vérification de la loi de Biot avec le polarimètre de Laurent

#### But de l'expérience :

Vérifier l'effet de chaque paramètre de la loi de Biot, à savoir la concentration  $c$  de l'espèce chimique étudiée, le pouvoir rotatoire spécifique au sucre  $[\alpha]$  ainsi que de l'épaisseur  $l$  de la substance traversée, dans la rotation  $\alpha$  finale.

#### Dispositif expérimental :

Pour cette expérience, on a reconstitué le polarimètre de Laurent, qui se différencie du polarimètre précédent par l'ajout d'une lame demi-onde à l'avant de l'analyseur. Celle-ci va faire varier le plan de polarisation d'environ 3 degrés, ce qui aura pour conséquence de faire apparaître deux plages de couleurs différentes sur l'image. On se place alors à l'équipénombre, zone à laquelle les deux plages auront la même teinte (en lumière blanche, on obtient une tache de couleur lie-de-vin), avec une solution étalon d'eau. On intercale alors entre le polariseur et l'analyseur la solution de sucre à étudier.



#### Note :

Il y a également égalité des teintes lorsque l'intensité lumineuse est quasi-maximale, mais l'œil est beaucoup plus apte à distinguer les variations de teinte à faible intensité. De même, différencier la pénombre totale de la semi-pénombre est difficile, d'où l'utilisation de la lame demi-onde.

Protocole : On va tour à tour faire varier les trois facteurs : concentration, nature et épaisseur de la substance traversée, et tenter de constater les variations du plan de polarisation.

#### Manipulation 1 :

On observe tout d'abord au polarimètre de Laurent une solution de fructose concentrée à  $20\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ . On constate qu'il y a rotation vers la gauche du plan de polarisation : le fructose est lévogyre. On réalise l'équipénombre à partir de cette solution, puis on la remplace par une solution de fructose concentrée à  $40\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ . On constate que cette solution «rallume» l'image en faisant pivoter davantage vers la droite (double de l'angle de départ).

#### Conclusion :

L'angle de rotation finale du plan de polarisation est bien proportionnel à la concentration.

#### Manipulation 2 :

On observe au polarimètre de Laurent une solution de glucose concentrée à  $40\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ . On constate comme précédemment qu'il y a rotation vers la droite du plan de polarisation. Le glucose est dextrogyre. On réalise l'équipénombre à partir de cette solution, puis on la remplace par une solution de fructose concentrée à  $40\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ . On constate que cette solution «rallume» fortement l'image en faisant pivoter le plan de polarisation vers la gauche : le fructose est lévogyre.

#### Conclusion :

Le pouvoir rotatoire spécifique au sucre  $[\alpha]$  est bien un facteur qui influence sur la rotation finale du plan de polarisation.

#### Manipulation 3 :

On observe au polarimètre de Laurent une solution de fructose concentrée à  $40\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$  dans une cuve placée dans le sens de la largeur. On constate qu'il y a rotation vers la droite du plan de polarisation. On réalise l'équipénombre à partir de cette solution, puis on pivote la cuve de manière à la mettre dans le sens de la longueur. On constate que cette solution «rallume» l'image en faisant pivoter davantage vers la droite.

#### Conclusion :

L'angle de rotation finale du plan de polarisation est proportionnel à l'épaisseur de la substance traversée.

#### Note : résultats expérimentaux :

	$[\alpha]$	l (dm)	c (g/ml)	a expérimental (°)	a réel (°)	% d'erreur
fructose	-92,2°	0,74	0,2	-13	-13,6	4,41
fructose	- 92,2°	0,74	0,4	-25	-27	7,41
fructose	- 92,2°	0,24	0,4	-7,5	-8	6,25
glucose	+ 52,5°	0,74	0,4	14	15	6,67

Bilan : La loi de Malus est bien vérifiée.



### **Protocole expérimental : réalisation de l'expérience précédente avec du miel :**

#### Protocole :

On place maintenant une cuve contenant du miel entre le polariseur et l'analyseur.

#### Observation :

On constate que le miel fait tourner le plan de polarisation vers la gauche d'un angle de  $-17^\circ$ .

#### Interprétation :

On a vu grâce à la spectroscopie infra rouge que le miel contenait du glucose et du fructose, sucres dont les pouvoirs rotatoires sont opposés. Or d'après la loi de Biot, les pouvoirs rotatoires de ces sucres s'additionnent. Du fait que le fructose possède un pouvoir rotatoire spécifique  $[\alpha]$  supérieur à celui du glucose, on peut conjecturer que le miel contient en plus grande proportion du fructose que du glucose.

### **Protocole expérimental : conséquences de la chaleur sur le miel :**

#### But de l'expérience :

On tente de déterminer quels seraient les effets de la chauffe du miel sur sa capacité à faire tourner le plan de polarisation.

#### Protocole :

En conservant toujours le même dispositif (cf. expérience précédente), on va placer entre le polariseur et l'analyseur un miel monté successivement à différentes températures.

#### Observation :

On constate que l'angle de rotation finale du plan de polarisation diminue plus la température du miel s'élève. Après avoir fait chauffer le miel, on fait redescendre sa température : la rotation finale ne réaugmente pas.

#### Valeurs observées :

température du miel (ordre chronologique)	ambiante	40°C	51°C	9,5°C	réfrigérateur
a final (°)	-17	-11	-7	-8	-10

#### Conclusion :

Le miel perd son pouvoir rotatoire lorsqu'on le chauffe.

#### Interprétation :

Les sucres contenus dans le miel sont à l'origine de la rotation du plan de polarisation. A partir de 40°C, les sucres se dégradent en HMF (hydroxyméthylfurfural), qui n'a pas de pouvoir rotatoire.

#### **IV. Conclusion : constitution moyenne du miel**

**Le miel est un produit alimentaire complexe. Grâce à trois méthodes optiques : la microscopie, la spectroscopie et la polarisation rotatoire, nous avons pu mettre en évidence certains de ses constituants ainsi que quelques-une de ses propriétés.**

**A l'aide de la microscopie, nous avons pu montrer que le miel contient des pollens. Ces pollens lui confèrent la propriété de fluorescence que nous avons mise en évidence dans l'étude spectroscopique du miel.**

**Grâce à la spectroscopie infrarouge nous avons pu montrer que les constituants du miel étaient des sucres possédant les fonctions cétones et aldéhydes. Enfin, la polarisation rotatoire a permis de vérifier leur nature : le miel est donc constitué de glucose et de fructose.**

**Quant à la question de l'authenticité ou de la falsification des miels, nous avons appris que les laboratoires utilisaient plutôt des méthodes chimiques (RMN, chromatographie en couche gazeuse).**

**Pour terminer, des recherches annexes nous ont appris que des questions sur la présence étrange de Deutérium dans le miel étaient sans réponse.**

**Suite à une conférence d'astronomie, organisée par l'association d'astronomie de Franche-Comté, le 14/01/05, sur le thème : « exobiologie et évolution de la Terre », présentée par Mr Jean-Paul PARISOT, professeur et chercheur à l'université de Bordeaux 1, il semblerait que nous ayons la réponse (astro)physique !!**

## ANNEXE

longueur d'onde	A (absorbance du miel d'acacia)	A (absorbance du miel de tilleul)
300	0,065	0,135
310	0,154	0,303
320	0,231	0,552
330	0,314	2
340	0,261	1,47
350	0,208	0,803
360	0,174	0,501
370	0,151	0,386
380	0,138	0,339
390	0,116	0,296
400	0,102	0,262
410	0,1	0,245
420	0,089	0,226
430	0,083	0,211
440	0,08	0,2
450	0,083	0,183
460	0,086	0,18
470	0,083	0,172
480	0,081	0,161
490	0,075	0,151
500	0,069	0,141
510	0,069	0,136
520	0,069	0,134
530	0,064	0,123
540	0,063	0,124
550	0,06	0,117
560	0,056	0,117
570	0,058	0,111
580	0,055	0,102
590	0,057	0,104
600	0,056	0,103
610	0,05	0,094
620	0,051	0,09
630	0,05	0,093
640	0,05	0,089
650	0,05	0,087
660	0,046	0,08
670	0,044	0,077
680	0,046	0,083
690	0,041	0,072
700	0,042	0,074
710	0,041	0,073
720	0,038	0,068
730	0,043	0,072
740	0,042	0,069
750	0,036	0,062
760	0,036	0,062

770	0,039	0,06
780	0,035	0,058
790	0,038	0,061
800	0,036	0,056
810	0,036	0,056
820	0,035	0,053
830		
840		
850	0,033	0,05
860		
870		
880		
890		
900	0,033	0,043
910		
915	0,03	0,043
920		
930	0,028	0,041
940		
950	0,025	0,036
960		
970	0,046	0,084
980		
990		
999	0,053	0,1

## **BIBLIOGRAPHIE**

### **Sites Internet :**

<http://www.sciences-en-ligne.com/momo/chronomath/anx3/miroirpara.html>  
<http://serge.bertorello.free.fr/>  
<http://www.sciences.univ-nantes.fr/physique/perso/blanquet/synophys/synodex.htm>  
<http://www.inra.fr/Internet/Produits/PA/an2002/num223/bertran/db223.htm>  
<http://nte-serveur.univ-lyon1.fr/>  
<http://www.epfl.ch/>  
<http://www.ulb.ac.be/rech/inventaire/projets/3/PR2733.html>  
<http://www.inra.fr/Internet/Produits/PA/an2002/num223/bertran/db223.htm>  
<http://rsfx.ifrance.com/rsfx/miel.htm>  
[http://www.beekeeping.com/articles/fr/chimie\\_miel.htm](http://www.beekeeping.com/articles/fr/chimie_miel.htm)  
<http://www.beekeeping.com/spmf/falsification.htm>  
<http://www.microscopies.com/index2.htm>  
<http://r0.unctad.org/infocomm/francais/sucre/qualite.htm>  
<http://www.atago.net/French/k-basic.html>  
[http://www.univ-reims.fr/Externes/AVH/Meurens\\_5e.pdf](http://www.univ-reims.fr/Externes/AVH/Meurens_5e.pdf)  
<http://membres.lycos.fr/debruxelles/polarimetrie.htm>

### **Ouvrages :**

- Encarta 2002 (sur CD-ROM).

- Universalis 9 (sur CD-ROM).
- Encyclopédie Alpha (papier).
- Le quid 2002.
- Dictionnaire « visuel des sciences pour tous ».
- « Cours de chimie organique » de Paul Arnaud. 15<sup>ème</sup> édition-Dunod-1990
- « Optique - Géométrie, ondulatoire et polarisation » de J.Ph.Pérez
- « La spectroscopie proche infrarouge et ses applications analytiques » de Dominique Bertrand

## **REMERCIEMENTS**

Nous remercions :

L'entreprise **France MIEL** pour nous avoir si bien reçus, pour avoir répondu à nos questions et pour nous avoir fourni de nombreux documents,...

**L'Université des Sciences de Besançon** pour nous avoir accueillis, prêté le matériel, pour nous avoir permis la réalisation de spectres infrarouges et pour nous avoir conseillés et aidés.

Tout particulièrement Mme Obert, Mme Sacépé et Mme Guillosseau-Babin, ainsi que tous nos professeurs de physique sans qui ce travail n'aurait pas été possible.

Et tous ceux non cités qui nous ont donné un peu de leur temps.