

**DS 7\* (4 heures)**  
***Optique, Chimie***

**La calculatrice est autorisée**

La plus grande importance sera apportée au soin de la copie ainsi qu'à la clarté des raisonnements. Toute réponse, même qualitative, se doit d'être justifiée. Les affirmations, même justes, mais non justifiées ne seront pas prises en compte. Les résultats doivent être **encadrés**.

En cas de non respect de ces consignes, un malus sera attribué à la copie comme indiqué dans les tableaux suivants qui stipulent les critères et les effets sur la note le cas échéant :

Critère	Indicateur
Lisibilité de l'écriture	L'écriture ne ralentit pas la lecture.
Respect de la langue	La copie ne comporte pas de fautes d'orthographe ni de grammaire.
Clarté de l'expression	La pensée du candidat est compréhensible à la première lecture.
Propreté de la copie	La copie comporte peu de ratures, réalisées avec soin et les parties qui ne doivent pas être prises en compte par le correcteur sont clairement et proprement barrées.
Identification des questions et pagination	Les différentes parties du sujet sont bien identifiées et les réponses sont numérotées avec le numéro de la question. La pagination est correctement effectuée.
Mise en évidence des résultats	Les résultats littéraux et numériques sont clairement mis en évidence.

Nombre de critères non respectés	Palier de Malus	Effet sur la note
0	0	aucun
1–2	1	–3.3%
3–4	2	–6.7%
5–6	3	–10%

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.

L'essentiel des données et formules utiles se trouve dans un formulaire en fin d'énoncé.

## Exercice 1 : Quelques aspects de la chimie du nickel

Des données numériques et une annexe à rendre avec la copie se trouvent en fin d'énoncé.

### I – L'élément nickel

L'élément nickel, de symbole Ni, a pour numéro atomique  $Z = 28$  et pour masse molaire  $M_{\text{Ni}} = 58,7 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ . Le nickel appartient à la famille des métaux.

- Q.1** Rappeler quelques propriétés macroscopiques des métaux. Où ces éléments se placent-ils dans la classification périodique ? Relier ces propriétés macroscopiques aux caractéristiques de la liaison métallique, en particulier son ordre de grandeur énergétique et sa non directionnalité.

### II – Étude cristallographique

Le métal nickel cristallise dans le système cubique à faces centrées, noté CFC.

- Q.2** Représenter une maille de ce cristal en faisant figurer les centres atomiques. Combien y a-t-il d'atomes par maille ? Quelle est la coordinence ?
- Q.3** Préciser avec soin la condition de tangence des atomes dans la maille. En déduire la relation entre le paramètre de maille  $a$  et le rayon atomique  $R_{\text{Ni}}$ .

Le paramètre de maille, noté  $a$ , est déterminé grâce à la technique appelée diffraction de rayons X par le réseau cristallin. On considère deux rayons parallèles issus d'une même source monochromatique de longueur d'onde  $\lambda$ . Ils se réfléchissent sur deux plans atomiques successifs, en faisant un angle  $\theta$  avec ces plans. Le premier rayon se réfléchit sur le plan supérieur, le second rayon se réfléchit sur le plan suivant. On réalise une observation à l'infini (voir figure ci-dessous) et on observe effectivement une figure d'interférence.

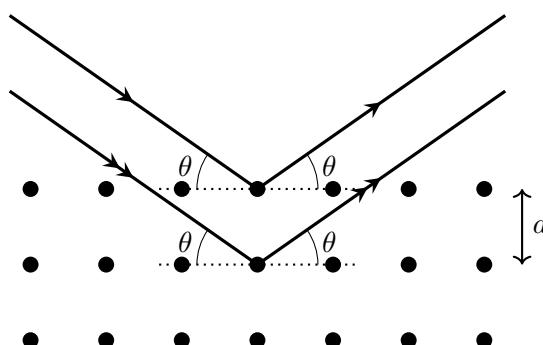


FIGURE 1 – Trajet de deux rayons qui interfèrent à l'infini

Les résultats obtenus pour des interférences dans le domaine optique sont valables pour cette expérience. On note  $s_1$  et  $s_2$  les amplitudes des ondes scalaires associées à chaque rayon. Pour un point  $M$  quelconque de l'espace dans la zone d'interférences, on pose :

$$s_1(M, t) = s_0 \cos(\omega_1 t - \varphi_1(M)) \text{ et } s_2(M, t) = s_0 \cos(\omega_2 t - \varphi_2(M))$$

- Q.4** Proposer, en s'appuyant sur un schéma clair, un montage d'optique géométrique simple permettant d'observer une figure d'interférences à l'infini sur un écran. On précisera en particulier le type de lentille(s) éventuellement utilisée(s) et on justifiera les positions relatives de chaque élément.

- Q.5** Comment s'appelle l'appareil utilisé en travaux pratiques d'optique qui sert à mesurer des angles ?

- Q.6** Justifier que les deux rayons émergents sont associés à des ondes cohérentes, et que dans ce cas  $\omega_1 = \omega_2 = \omega$ .

**Q.7** Évaluer la différence de marche  $\delta$  entre les deux rayons renvoyés dans la direction symétrique  $\theta$ . Faire clairement apparaître  $\delta$  sur un schéma reproduisant la FIGURE 1. En déduire l'expression de  $\Delta\varphi(M) = \varphi_2(M) - \varphi_1(M)$  en fonction de  $a$ , de  $\theta$  et de la longueur d'onde  $\lambda$  de la source incidente.

**Q.8** Établir l'expression de l'intensité lumineuse  $I(\theta)$  résultant de l'interférence des deux rayons.

**Q.9** En déduire les valeurs de l'angle  $\theta$  pour lesquelles on observe une intensité maximale.

Compte tenu de l'ordre de grandeur du paramètre de maille  $a$ , on utilise des rayons X de longueur d'onde  $\lambda = 0,171$  nm. Ces rayons X sont obtenus par accélération d'électrons.

**Q.10** Déterminer l'énergie  $E_X$  de ces photons X et l'exprimer en électron-volt.

**Q.11** On observe un premier maximum d'intensité dans la direction  $\theta_1 = 14,0^\circ$ . Calculer le paramètre de maille  $a$ .

**Q.12** Déduire de ces mesures le rayon atomique  $R_{\text{Ni}}$  et la compacité du nickel.

La masse volumique mesurée pour le nickel vaut :  $\rho = 8,90 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ .

**Q.13** Retrouver la valeur du paramètre de maille  $a$  et le comparer à la valeur obtenue par mesure optique.

### III – Accumulateur cadmium-nickel

On représente la chaîne électrochimique de façon simplifiée par :



L'électrolyte utilisé est une solution concentrée de potasse  $\text{K}(\text{OH})$  de pH très proche de 14. Les espèces chimiques contenant les éléments Ni et Cd sont à l'état solide.

#### III.A Généralités

**Q.14** Déterminer les nombres d'oxydation des éléments Ni et Cd dans les 4 espèces considérées :  $\text{Cd}_{(s)}$ ,  $\text{Cd}(\text{OH})_{2(s)}$ ,  $\text{Ni}(\text{OH})_{2(s)}$  et  $\text{Ni}_2\text{O}_{3(s)}$ .

Les domaines d'existence et de prédominance associés au nickel et à l'eau sont représentées sur le diagramme E-pH de la FIGURE A en annexe. On donne, pour l'élément Ni, les équations des frontières entre les différents domaines. Les potentiels sont exprimés en volt.

$$\left\{ \begin{array}{l} (1) : E_{(1)} = -0,30 \\ (2) : E_{(2)} = 0,12 - 0,06\text{pH} \\ (3) : E_{(3)} = 1,86 - 0,18\text{pH} \\ (4) : E_{(4)} = 1,02 - 0,06\text{pH} \end{array} \right.$$

Les données sont indiquées à  $25^\circ\text{C}$  et pour une concentration d'espèces dissoutes  $c_0 = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

**Q.15** Compléter le diagramme fourni en annexe en tracant le diagramme E-pH du cadmium. On prendra en compte les espèces  $\text{Cd}_{(s)}$ ,  $\text{Cd}_{(\text{aq})}^{2+}$  et  $\text{Cd}(\text{OH})_{2(s)}$ .

#### III.B Étude de la décharge

**Q.16** Identifier l'anode et la cathode lors de la décharge de l'accumulateur. Écrire la demi-équation électro-nique observée à chaque électrode. En déduire l'équation de la réaction en milieu fortement basique lorsque l'accumulateur débite.

**Q.17** Déterminer les potentiels rédox  $E_+$  et  $E_-$  de chaque pôle, et en déduire la différence de potentiel  $E_{\text{NiCd}}$  prévue par la thermodynamique aux bornes de la pile à courant nul.

**Q.18** Déduire de  $E_{\text{NiCd}}$  la valeur de l'enthalpie libre standard  $\Delta_r G^\circ$  pour la réaction de décharge de l'accumulateur.

**Q.19** Calculer, à partir des données thermodynamique fournie, l'enthalpie standard de réaction  $\Delta_r H^\circ$ . En déduire l'entropie standard de réaction  $\Delta_r S^\circ$ . On se placera à 25 °C et on considérera que l'enthalpie standard de la réaction et l'entropie standard de réaction sont indépendantes de la température.

**Q.20** En déduire la variation de la tension  $E_{\text{NiCd}}$  avec la température.

L'accumulateur Cd–Ni est réputé pour délivrer une tension indépendante de la concentration en potasse K(OH) et pour sa stabilité face aux variations de température ambiante.

**Q.21** Les calculs précédents confirment-ils ou non ces propriétés ?

### III.C Étude de la recharge

On souhaite maintenant recharger l'accumulateur.

**Q.22** Comment brancher un générateur externe pour recharger l'accumulateur ? On précisera clairement le signe des bornes du générateur sur un schéma.

**Q.23** Écrire l'équation de la réaction réalisée pendant la charge.

**Q.24** Quelle est la tension minimale  $U_{\min}$ , prévue par des considérations thermodynamiques, nécessaire pour que le générateur puisse recharger l'accumulateur ?

**Q.25** Quels phénomènes pourraient causer une augmentation significative de cette valeur ? On argumentera de façon rigoureuse et éventuellement à l'aide de courbes intensité potentiel.

## Exercice 2 : Mesure de la biréfringence d'un ruban adhésif

Conditionné sous forme de rouleau, un ruban adhésif (généralement désigné par le terme "Scotch®") est constitué de deux couches solidaires l'une de l'autre : une couche *molle* sur la face interne (celle qui colle) et une couche *dure* sur la face externe du rouleau (qui paraît néanmoins souple car très fine). L'épaisseur de l'ensemble est de l'ordre de quelques dizaines de micromètres. On propose d'étudier dans ce problème quelques expériences mettant en jeu les propriétés –adhésives ou autres –des rubans adhésifs.

Ce problème est accompagné d'un document en fin de sujet qui regroupe certaines données numériques et descriptifs d'expérience.

L'air est assimilé au vide et on note  $c$  la célérité de la lumière dans le vide.

### I – Préambule : Mesure d'une différence d'indice optique à l'aide d'un interféromètre de Mach-Zehnder

On dispose de deux lames transparentes à faces parallèles, de même épaisseur  $e$  (connue avec précision) et d'indices optiques différents :

- une lame *de référence* ( $\mathcal{L}_0$ ), d'indice optique  $n_0$  connu ;
- une lame *d'essai* ( $\mathcal{L}_e$ ), d'indice optique  $n_e = n_0 + \Delta n$  (avec  $\Delta n > 0$ ).

Afin de mesurer  $\Delta n$ , on place chacune de ces lames dans un des bras d'un interféromètre de Mach-Zehnder (FIGURE 2). De façon simple, l'interféromètre de Mach-Zehnder est constituée de deux lames semi-réfléchissantes et de deux miroirs plans (tous ces éléments sont parallèles entre eux). La lame semi-réfléchissante placée en entrée du dispositif est appelée lame séparatrice ; elle permet de diviser le faisceau incident en deux faisceaux secondaires orthogonaux entre eux et de même intensité. Les deux miroirs plans (un dans chaque bras de l'interféromètre) permettent d'orienter les faisceaux secondaires vers la sortie du

dispositif. La lame semi-réfléchissante placée en sortie du dispositif, rigoureusement identique à la lame séparatrice, est appelée lame combinatrice car elle permet de superposer les deux faisceaux secondaires en direction de l'écran (ou d'un photodétecteur).

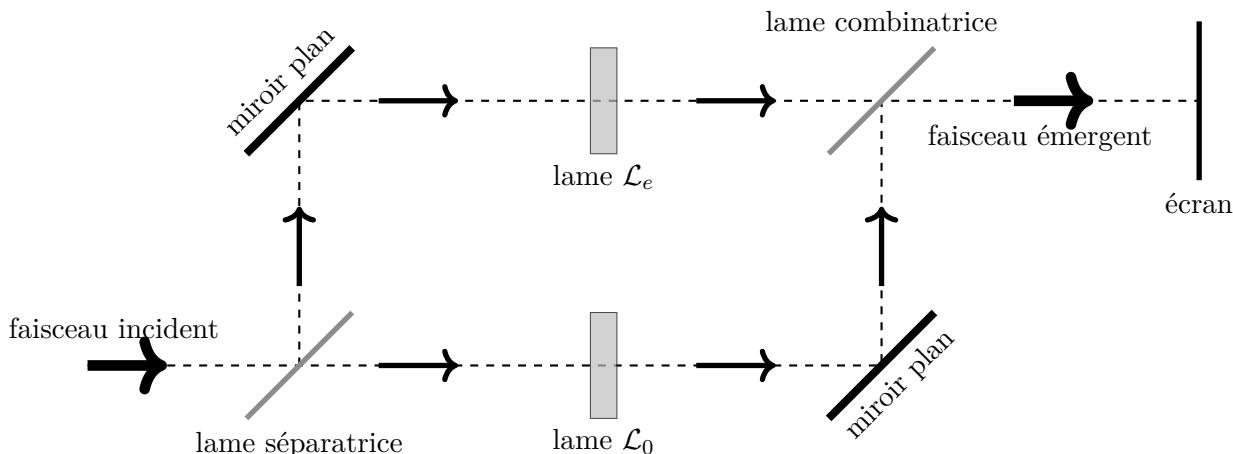


FIGURE 2 – Schéma de principe de l'interféromètre de Mach-Zehnder et placement des lames étudiées.

- Q.1** L'interféromètre de Mach-Zehnder est un interféromètre à division d'amplitude. Citer le nom d'un autre interféromètre de ce type et dater approximativement son invention.
- Q.2** Pourquoi n'est-il pas nécessaire d'accorder une lame compensatrice à la lame séparatrice dans ce dispositif ?
- Q.3** Le faisceau incident est un faisceau de lumière parallèle. On suppose que les lames  $\mathcal{L}_0$  et  $\mathcal{L}_e$  sont orientées de façon à être éclairées sous incidence normale. Déterminer la différence de marche  $\delta$  entre les deux faisceaux en sortie de l'interféromètre.
- Q.4** Dans le cas où le faisceau incident est monochromatique de longueur d'onde  $\lambda$ , exprimer l'intensité lumineuse  $I$  obtenue sur l'écran en sortie du dispositif (on se placera dans le cadre du modèle scalaire de la lumière et on notera  $I_0$  l'intensité lumineuse obtenue sur l'écran en masquant l'un des deux miroirs). Décrire brièvement ce que l'on observe sur l'écran.
- Q.5** Pour quelle(s) longueur(s) d'onde, l'intensité  $I$  est-elle maximale ?
- Q.6** Proposer un protocole de mesure de  $\Delta n$  à l'aide de ce dispositif (et de tout le matériel classique d'un laboratoire d'optique). Toute piste de réflexion sera prise en compte dans la notation.

## II – Propagation d'une onde polarisée à travers un morceau de Scotch®

Le Scotch® est un milieu biréfringent, c'est-à-dire que son indice de réfraction n'est pas unique : il dépend de la direction de polarisation de l'onde lumineuse qui le traverse. Pour la suite, on considère un morceau de Scotch® assimilé à une lame plane à faces parallèles, orthogonales à l'axe  $Oz$ , d'épaisseur  $e$  et placé dans l'air. On envoie sur cette lame une onde lumineuse plane, progressive (selon  $+Oz$ ), monochromatique, polarisée rectilignement, et on admet que :

- pour une polarisation rectiligne selon  $Ox$ , l'onde se propage à la vitesse  $v_0 = \frac{c}{n_0}$  dans la lame, sans changer de direction de polarisation ;
- pour une polarisation rectiligne selon  $Oy$ , l'onde se propage à la vitesse  $v_e = \frac{c}{n_e}$  dans la lame, avec  $n_e = n_0 + \Delta n$  (avec  $\Delta n > 0$ ), sans changer de direction de polarisation.

Les axes  $Ox$  et  $Oy$  sont appelés lignes neutres de la lame. L'origine de l'axe  $Oz$  est choisie au niveau de la face d'entrée de la lame. On néglige tout phénomène de réflexion partielle au niveau des faces de la lame.

- Q.7** En notation complexe, le champ électrique associé à l'onde incidente (dans le domaine  $z < 0$ ) s'écrit  $\vec{E}(M, t) = \vec{E}_0 e^{j(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{O}M)}$ , où  $\omega$  est la pulsation de l'onde et  $\vec{E}_0$  un vecteur constant.
- Exprimer le vecteur d'onde  $\vec{k}$  correspondant à la situation étudiée.
  - Justifier que les vecteurs  $\vec{k}$  et  $\vec{E}_0$  sont nécessairement orthogonaux entre eux.
- Q.8** On suppose dans cette question que l'onde incidente est polarisée rectilignement selon  $Ox$ . Expliciter, en notation complexe, le champ électrique associé à l'onde au niveau de la face de sortie de la lame (en  $z = e$ ), puis en un point quelconque du domaine  $z > e$ .
- Q.9** L'onde incidente est désormais polarisée rectilignement selon la première bissectrice des axes  $Ox$  et  $Oy$  :  $\vec{E}_0 = \frac{E_0}{\sqrt{2}} (\vec{u}_x + \vec{u}_y)$  (avec  $E_0 = \|\vec{E}_0\|$ ).
- En admettant que la biréfringence du Scotch® est un phénomène linéaire, donner en notation complexe l'expression du champ électrique obtenu dans le domaine  $z > e$ .
  - Après avoir traversé la lame, l'onde est-elle toujours polarisée rectilignement ?
  - Montrer que, si  $\Delta n e = p\lambda$  avec  $p$  un entier et  $\lambda$  la longueur d'onde de l'onde dans le vide, l'onde émergente est polarisée rectilignement dans la même direction que l'onde incidente.

### III – Analyse d'une expérience

Au cours de l'année scolaire 2011/2012, un groupe de quatre élèves d'une classe de terminale a réalisé une expérience de mesure de la biréfringence d'un ruban adhésif. Le principe de cette mesure est décrit dans le document annexe (situé à l'intérieur du document réponse).

- Q.10** Présentation du dispositif.
- Comment peut-on s'assurer expérimentalement qu'un polariseur et un analyseur sont croisés (*i.e.* orientés selon des directions orthogonales entre elles) ?
  - Comment procéder pour orienter les lignes neutres du ruban adhésif à  $45^\circ$  par rapport aux axes du polariseur et de l'analyseur ?
- Q.11** Étalonnage du spectrogoniomètre.
- En admettant que le réseau est éclairé sous incidence normale tout au long de l'expérience et que les relevés effectués correspondent au spectre d'ordre 1, déterminer le pas  $a$  du réseau utilisé.
  - En pratique, quelles sont les principales sources d'incertitude sur la valeur de  $a$  ainsi obtenue ?
- Q.12** Mesure de la biréfringence du Scotch®
- D'après l'étude réalisée dans la partie **II**, à quoi correspondent les *raies d'absorption* observées ?
  - "En observant les spectres de la lumière après l'analyseur pour une ou deux épaisseurs de Scotch®, on remarque que les spectres sont continus. On observe à partir de trois épaisseurs une première raie d'absorption." En déduire une estimation de la valeur maximale de  $\Delta n$  sachant que l'épaisseur d'une couche du ruban adhésif utilisé est  $e = 28,0 \mu\text{m}$ .
  - À partir des différents résultats présentés dans le document et de ceux établis précédemment, proposer une autre valeur expérimentale de  $\Delta n$  pour le ruban adhésif étudié. Comparer à celle obtenue par les auteurs du document et commenter.
- Q.13** Le dispositif {polariseur – ruban adhésif – analyseur} est en fait analogue à l'interféromètre de Mach-Zehnder étudié dans la partie **I**.
- À quoi correspondent les deux bras de l'interféromètre ? Quel élément permet ici de réaliser la division d'amplitude ?
  - Justifier la partie *en italique* dans l'affirmation suivante : "La plaque de verre est orientée de sorte que les lignes neutres du Scotch® soient orientées de  $45^\circ$  par rapport aux axes du polariseur et de l'analyseur (*car c'est dans cette position que les contrastes sont les plus importants*)".

## Document : Une expérience de mesure de la biréfringence du Scotch®

### Présentation du dispositif

Afin d'observer le phénomène de biréfringence du Scotch®, nous avons réalisé une boîte dans laquelle nous avons glissé deux polariseurs croisés de part et d'autre d'une plaque de verre circulaire pouvant pivoter autour d'un axe horizontal. Sur cette plaque de verre est collé du Scotch® avec différentes épaisseurs (voir photo ci-dessous). L'ensemble est éclairé par un faisceau parallèle de lumière blanche.

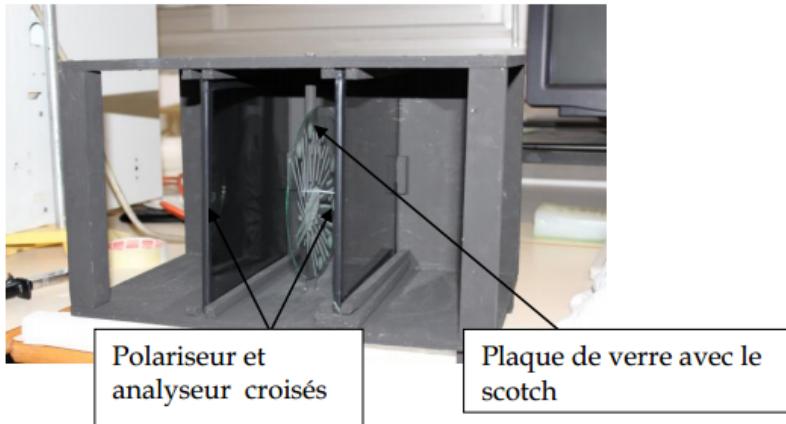


FIGURE 3 – Notre boîte (la lumière entre par la gauche et sort par la droite).

Nous avons commencé par analyser spectralement la lumière à la sortie de l'analyseur et ce pour une, deux, trois, ..., épaisseurs de Scotch®. Pour chaque épaisseur, la plaque de verre est orientée de sorte que les lignes neutres du Scotch® soient orientées de 45degree par rapport aux axes du polariseur et de l'analyseur (car c'est dans cette position que les contrastes sont les plus importants). Puis nous avons mesuré la différence d'indice entre les deux lignes neutres du Scotch®.

### Observations des spectres

Pour faire cette étude, nous avons utilisé un spectrogoniomètre. La lumière entre dans le collimateur et se dirige vers la plate-forme sur laquelle on place un réseau (ou un prisme) qui décompose la lumière. Le spectre de cette lumière peut ensuite être observé à l'aide d'une lunette. Avec un tel appareil, on peut, en pointant la lunette sur une raie d'émission ou d'absorption, relever la position de cette dernière.

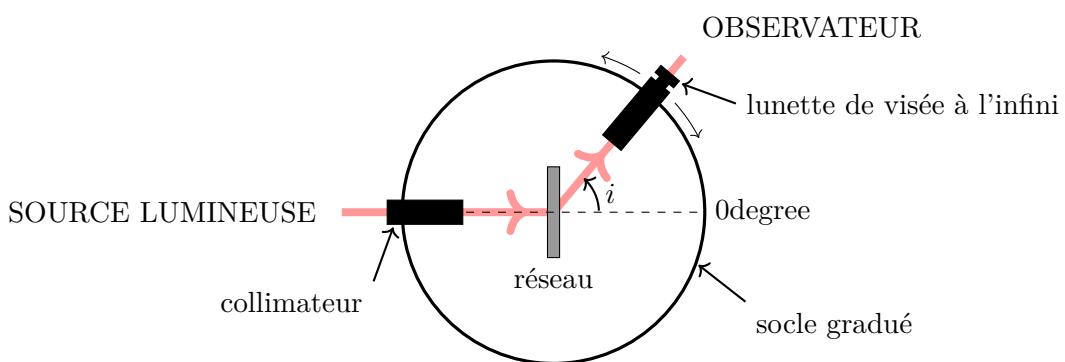


FIGURE 4 – Schéma du spectrogoniomètre (vue de dessus).

En observant les spectres de la lumière après l'analyseur pour une ou deux épaisseurs de Scotch®, on remarque que les spectres sont continus. On observe à partir de trois épaisseurs une première raie d'absorption. Nous avons alors décidé de porter le nombre d'épaisseurs de Scotch® à dix afin d'observer plusieurs raies d'absorption.

Document : Une expérience de mesure de la biréfringence du Scotch® (suite)

**Étalonnage du spectrogoniomètre**

Nous avons tout d'abord mesuré avec la graduation du socle les positions des raies d'émission d'une lampe à vapeur de zinc et d'une lampe à vapeur de mercure. Nous avons ensuite calculé le sinus des angles trouvés à l'aide du goniomètre pour chaque raie d'émission et y avons associé les longueurs d'onde correspondantes grâce aux tables de valeurs.

Source	Valeur de l'angle sur le goniomètre (en °)	Sinus de cet angle	Longueur d'onde de la raie d'émission (en nm)
Lampe à vapeur de zinc	16, 33	0, 281	468, 0
	16, 48	0, 284	472, 0
	16, 78	0, 289	480, 0
	22, 37	0, 380	637, 0
Lampe à vapeur de mercure	15, 23	0, 263	435, 8
	19, 12	0, 328	546, 1
	20, 23	0, 346	576, 6
	20, 28	0, 347	579, 1

À l'aide d'un logiciel de traitement des données, nous avons tracé la courbe d'étalonnage du sinus des angles en fonction des longueurs d'onde correspondantes. Cette courbe est une droite.

**Mesure de la biréfringence du Scotch®**

Nous avons ensuite repris l'analyse spectrale de la lumière sortant de l'analyseur après avoir traversé dix épaisseurs de Scotch®. Nous avons ainsi pu mesurer les valeurs des angles pour les raies d'absorption et avons calculé leur sinus. Grâce à la courbe d'étalonnage nous avons alors déterminé les longueurs d'onde correspondant à ces raies.

Valeur de l'angle sur le goniomètre (en °)	Sinus de cet angle	Longueur d'onde correspondante (en nm)
15, 13	0, 261	433, 4
17, 25	0, 297	494, 9
20, 03	0, 343	573, 2
24, 03	0, 407	680, 0

Grâce à ces mesures nous avons la possibilité désormais de déterminer la différence des indices dans le Scotch®. À l'aide de notre simulation informatique utilisant un logiciel de géométrie dynamique et pour les longueurs d'onde ci-dessus, nous avons recherché la différence d'indice entre l'indice  $n_0$  et l'indice  $n_e$  pour laquelle il y a absorption de la radiation par le système {polariseur-Scotch®-analyseur}. Nous avons considéré l'indice  $n_0$  comme égal à 1, et nous avons joué sur la valeur de l'indice  $n_e$  jusqu'à obtenir l'extinction de la lumière. Voilà les valeurs obtenues :

Longueur d'onde (en nm)	Indice $n_e$
433, 4	1, 0175
494, 9	1, 0146
573, 2	1, 01253
680, 0	1, 01118

Nous avons finalement fait la moyenne de toutes ces valeurs, et nous obtenons  $\Delta n = n_e - n_0 = 0, 0139$ .

## Données

### Constantes fondamentales

Constante de Planck	$h = 6,62 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
Vitesse de la lumière dans le vide	$c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
Constante d'Avogadro	$\mathcal{N}_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Constante des gaz parfaits	$R = 8,32 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$
Charge de l'électron	$e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$
Masse de l'électron	$m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$
Électron-volt	$1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$
Constante de Faraday	$\mathcal{F} = 9,65 \times 10^4 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$

### PotentIELS standard redox

Élément Ni	$\text{Ni}^{2+}/\text{Ni} : E_a^\circ = -0,24 \text{ V}$	$\text{Ni}_2\text{O}_3/\text{Ni}^{2+} : E_b^\circ = 1,43 \text{ V}$
Élément Cd	$\text{Cd}^{2+}/\text{Cd} : E_c^\circ = -0,40 \text{ V}$	
Couples de l'eau	$\text{H}^+/\text{H}_2 : E_d^\circ = 0,0 \text{ V}$	$\text{O}_2/\text{H}_2\text{O} : E_e^\circ = 1,23 \text{ V}$

### Constantes de réaction

Produit de solubilité de $\text{Ni}(\text{OH})_{2(\text{s})}$	$pK_{s1} = 16$
Produit de solubilité de $\text{Cd}(\text{OH})_{2(\text{s})}$	$pK_{s2} = 14$
Produit ionique de l'eau	$pK_e = 14$

### Valeurs thermodynamiques

Espèce	$\text{H}_2\text{O}_{(\ell)}$	$\text{Cd}(\text{OH})_{2(\text{s})}$	$\text{Ni}(\text{OH})_{2(\text{s})}$	$\text{Ni}_2\text{O}_{3(\text{s})}$
$\Delta_f H^\circ \text{ (kJ} \cdot \text{mol}^{-1}\text{)}$	-285,8	-560,7	-529,7	-489,0

• • • FIN • • •



**Annexe du DS 7\***  
(À détacher et à rendre avec la copie)

Q.15 de l'Exercice 1

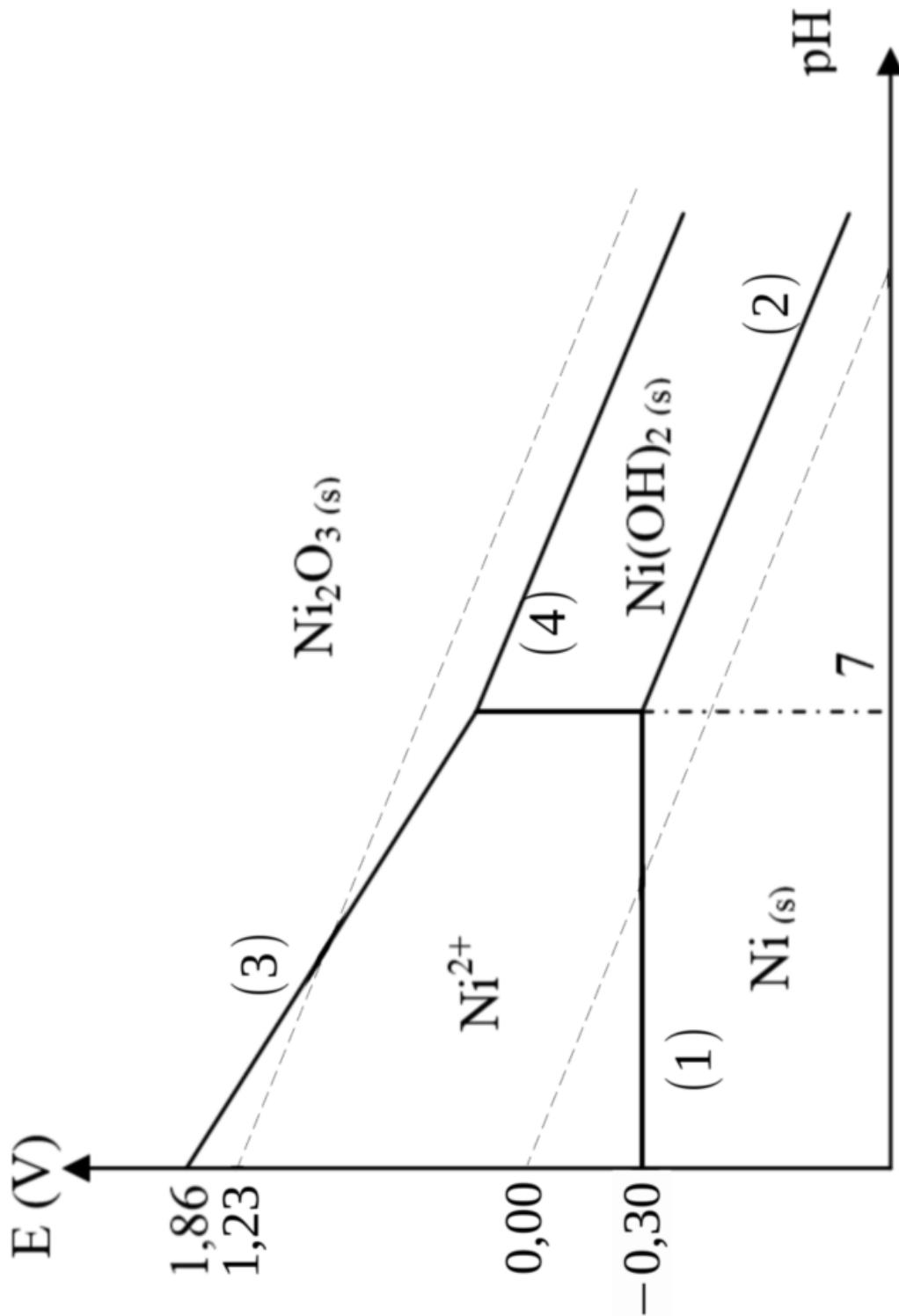


FIGURE A – Diagrammes potentiel-pH du nickel et de l'eau, à compléter avec celui du cadmium