

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

PHYSIQUE – CHIMIE

Série S

Durée de l'épreuve : 3 heures 30

Coefficient : 8

L'usage de la calculatrice électronique est autorisé

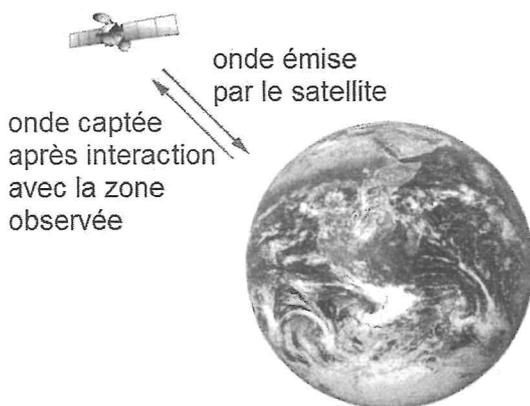
Ce sujet comporte 3 exercices présentés sur 11 pages numérotées de 1 à 11, y compris celle-ci.

L'annexe (page 11) est à rendre avec la copie.

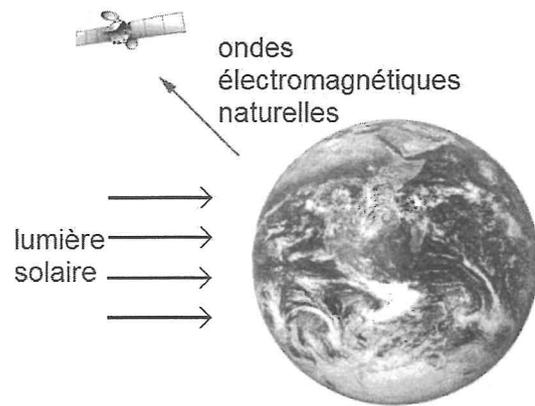
Exercice I : Satellites de télédétection passive (10 points)

La télédétection par satellite est l'ensemble des techniques qui permettent d'obtenir de l'information sur la surface de la Terre, l'atmosphère et les océans à des fins météorologique, océanographique, climatique, géographique, cartographique ou militaire. Le processus de la télédétection repose sur le recueil, l'enregistrement et l'analyse d'ondes électromagnétiques diffusées par la zone observée.

Si les ondes électromagnétiques mises en jeu dans le processus sont émises par un capteur (exemple : un radar) puis recueillies par ce même capteur après interaction avec la zone terrestre observée, on parle de **télédétection active**. Si le capteur (exemple : un radiomètre) recueille directement la lumière visible ou infrarouge émise ou diffusée par la zone terrestre observée, on qualifie les ondes analysées d'ondes électromagnétiques naturelles et on parle de **télédétection passive**.



Principe de la télédétection active



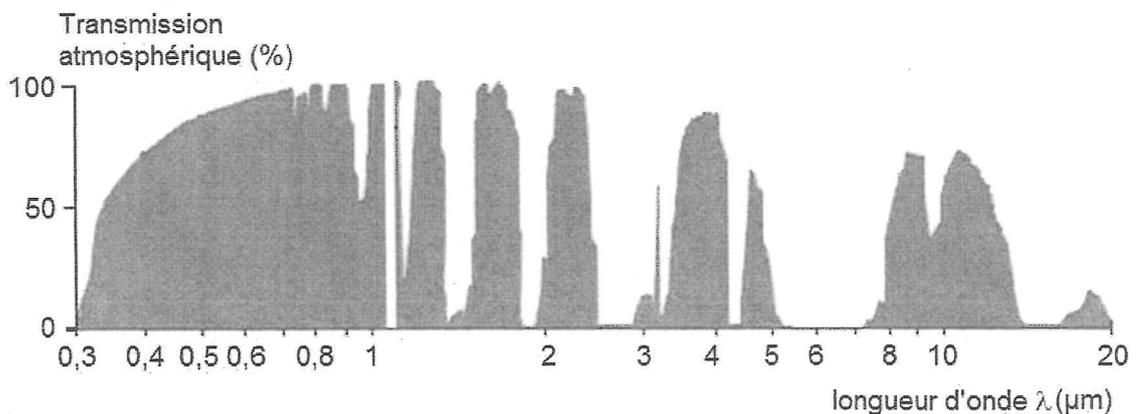
Principe de la télédétection passive

Cet exercice s'intéresse à deux familles de satellites de télédétection passive : SPOT (document 1) et Météosat (document 2). **Il comporte trois parties indépendantes.**

Des réponses argumentées et précises sont attendues ; elles pourront être illustrées par des schémas. La qualité de la rédaction, la rigueur des calculs ainsi que toute initiative prise pour résoudre les questions posées seront valorisées.

Données

- Rayon moyen de la Terre : $R_T = 6,38 \times 10^3$ km.
- Longueur d d'un arc de cercle de rayon R et d'angle α (exprimé en radian) : $d = \alpha R$.
- Courbe de transmission des radiations électromagnétiques par l'atmosphère terrestre en fonction de la longueur d'onde λ :

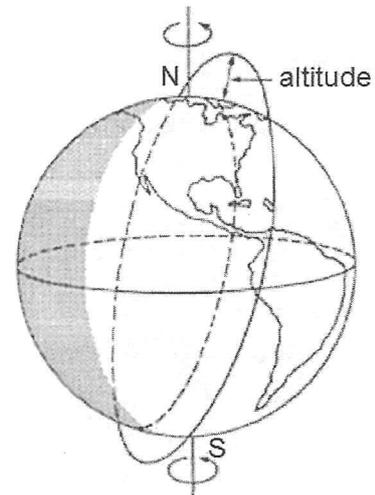


- Loi de Wien : $\lambda_{max} T = 2,90 \times 10^3 \mu\text{m.K}$
avec λ_{max} la longueur d'onde majoritairement émise dans le spectre d'émission d'un corps porté à une température T (exprimée en kelvin).
- Relation entre la température T (exprimée en kelvin) et la température θ exprimée en degré Celsius : $T = \theta + 273$

Document 1. La filière SPOT

SPOT (Satellite Pour l'Observation de la Terre) est un système d'imagerie optique spatiale à haute résolution. Ce programme s'insère dans la politique d'observation de la Terre du CNES (Centre National d'Études Spatiales). Depuis 1986, les satellites de la filière SPOT scrutent notre planète et fournissent des images d'une qualité remarquable, en décrivant une orbite dont les caractéristiques sont les suivantes :

- Elle est circulaire et se situe à l'altitude $h_s = 832 \text{ km}$.
- Elle est héliosynchrone, c'est-à-dire que l'angle entre le plan de l'orbite et la direction du Soleil est quasi-constant. Cela permet de réaliser des prises de vue à une latitude donnée avec un éclairage constant.
- Elle est quasi-polaire, inclinée de $98,7^\circ$ par rapport au plan de l'équateur et décrite avec une période de 101,4 min. La zone terrestre observée évolue à chaque révolution du satellite dont le cycle orbital est de 26 jours ; c'est-à-dire que tous les 26 jours le satellite observe à nouveau la même région terrestre.



Orbite quasi-polaire

D'après le site cnes.fr

Document 2. Le programme Météosat

En Europe, l'ESA (Agence Spatiale Européenne) a développé le programme Météosat dont le premier satellite a été lancé en 1977. Depuis cette date, sept satellites Météosat ont été lancés. Puis des satellites aux performances accrues (Météosat Second Generation) leur ont succédé : MSG-1 (ou Météosat-8) lancé en août 2002, puis MSG-2 (ou Météosat-9) lancé en décembre 2005.

Les satellites Météosat et MSG sont géostationnaires*. Ils ont pour mission d'effectuer des observations météorologiques depuis l'espace pour la prévision immédiate et l'évolution à long terme du climat. Ils ont l'avantage de fournir des images de vastes portions de la surface terrestre et de l'atmosphère, mais présentent l'inconvénient qu'un seul satellite géostationnaire ne suffit pas pour observer toute la Terre. Par ailleurs, les régions polaires leur sont hors de portée.

* Un satellite **géostationnaire** paraît immobile par rapport à un point de référence à la surface de la Terre. Pour respecter cette propriété, il se situe forcément dans le plan de l'équateur, son orbite est circulaire et son centre est le centre de la Terre. Sa période de révolution est donc égale à la période de rotation de la Terre sur elle-même.

D'après le site education.meteofrance.com

1. Mouvements des satellites SPOT et Météosat

Les mouvements sont étudiés dans le référentiel lié au centre de la Terre, appelé référentiel géocentrique. Ce référentiel est supposé galiléen.

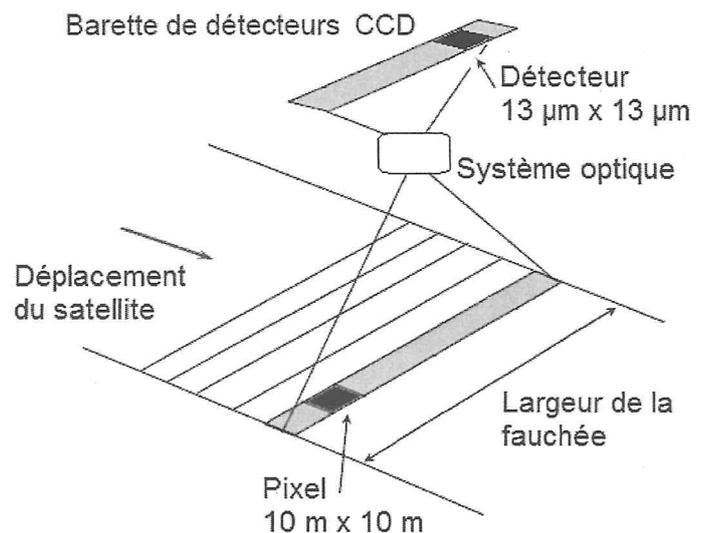
- 1.1. Énoncer la deuxième loi de Kepler (aussi nommée loi des aires) dans le cas général d'un satellite terrestre en mouvement elliptique. Illustrer cette loi par un schéma.
- 1.2. En utilisant la deuxième loi de Kepler, caractériser la nature des mouvements dans le cas particulier des satellites SPOT et Météosat.
- 1.3. Dans quel sens le satellite Météosat tourne-t-il autour de la Terre, par rapport au référentiel géocentrique ? On s'appuiera sur un dessin sur lequel figurera la Terre avec une indication explicite sur son sens de rotation.
- 1.4. Déterminer la valeur de la vitesse v du satellite SPOT par rapport au référentiel géocentrique.
- 1.5. Énoncer la troisième loi de Kepler dans le cas général d'un satellite terrestre en mouvement elliptique. On précisera la signification de chaque grandeur introduite.
- 1.6. En appliquant cette loi aux deux satellites étudiés, déduire la valeur de l'altitude h_M du satellite Météosat.

2. SPOT en mode panchromatique

Lorsque le satellite SPOT parcourt son orbite, il observe une large bande terrestre de plusieurs dizaines de kilomètres de large. Cette zone «couverte» est appelée la fauchée.

En mode panchromatique, les images réalisées par le satellite SPOT sont recueillies sur une barrette constituée de 6000 détecteurs CCD et numérisées en niveaux de gris.

Chaque détecteur est assimilable à un carré de $13 \mu\text{m}$ de côté recueillant l'information provenant d'une zone terrestre carrée de 10 m de côté, appelée pixel. On dit que la résolution spatiale est de 10 m .



- 2.1. Évaluer la largeur de la fauchée.
- 2.2. La fauchée correspondant à la $n^{\text{ème}}$ révolution de SPOT n'est pas identique à celle de la $(n-1)^{\text{ème}}$ révolution. Se situe-t-elle davantage à l'est ou à l'ouest sur la Terre ? Illustrer votre réponse par un schéma.
- 2.3. A chaque révolution du satellite, la zone terrestre observée n'est pas la même, du fait de la rotation de la Terre. De quel angle tourne la Terre entre deux révolutions du satellite ? En déduire de quelle distance se déplace la fauchée au niveau de l'Équateur entre deux révolutions du satellite.

- 2.4. Quelles sont les parties du globe les plus fréquemment « couvertes » par SPOT au cours d'un cycle orbital ?
- 2.5. Combien de révolutions doit effectuer SPOT pour réaliser une observation complète de la Terre ? Commenter cette valeur au regard du résultat de la question 2.3.
- 2.6. En mode panchromatique (numérisation en niveaux de gris), l'image est d'autant plus blanche que le flux lumineux capté est intense.

Deux images (images 1 et 2) d'une même zone de terrains agricoles, ont été obtenues par télédétection, respectivement dans le rouge (entre 610 et 680 nm de longueur d'onde) et dans le proche infrarouge (entre 790 et 890 nm).



Image 1

Télédétection dans le rouge



Image 2

Télédétection dans le proche infrarouge

Source : IGN France International

En utilisant le tableau suivant, donnant les réflectances* caractéristiques des trois grands types de surfaces naturelles, quelles informations peut-on extraire de l'analyse de ces deux images ? Montrer l'intérêt d'avoir ces deux images pour obtenir des informations sur la zone observée.

Valeurs caractéristiques des réflectances des trois grands types de surfaces naturelles en fonction de la gamme de longueur d'onde :

	Rouge (entre 610 et 680 nm)	Proche infrarouge (entre 790 et 890 nm)
Eau	4 à 6 %	0 à 2 %
Végétation	10 à 12 %	35 à 40 %
Sol nu	20 à 22 %	25 à 30 %

* La **réflectance** d'une surface est le rapport entre le flux lumineux réfléchi et le flux lumineux incident.

3. Les trois canaux de Météosat

Le radiomètre** des satellites Météosat comprend trois canaux de télédétection : le canal C dans le visible et le proche infrarouge, le canal E dans l'infrarouge moyen et le canal D dans l'infrarouge thermique.

*** Un radiomètre est un appareil de mesure de l'intensité du flux de rayonnement électromagnétique dans différents domaines de longueur d'onde.*

Canal	Gamme de longueurs d'onde en μm	Fonction principale
C	Entre 0,4 et 1,1	Permet l'observation visuelle de la surface de la Terre et des nuages.
E	Entre 5,7 et 7,1	Renseigne sur la teneur en humidité de l'atmosphère. La surface du sol n'est pas visible.
D	Entre 10,5 et 12,5	Renseigne sur la température des nuages et de la surface terrestre.

- 3.1. Pourquoi seule la télédétection sur les canaux C et D permet-elle d'obtenir des informations en provenance de la surface terrestre ?
- 3.2. Quelles sont les raisons qui ont guidé le choix de la gamme de longueurs d'onde du canal D, compte tenu de sa fonction principale ?
Des éléments quantitatifs sont attendus dans la réponse.

Exercice II : Synthèse de l'acétate d'éthyle (5 points)

L'acétate d'éthyle est un liquide utilisé comme solvant pour les vernis à ongles et certaines colles, en raison de sa faible nocivité et de sa volatilité importante. Il est aussi utilisé dans l'industrie agroalimentaire dans certains arômes fruités.

La synthèse de l'acétate d'éthyle est facilement réalisable au laboratoire. Un exemple de protocole expérimental est décrit ci-dessous :

Etape 1. Dans un ballon de 100 mL, introduire un mélange équimolaire de 0,10 mol d'acide acétique et 0,10 mol d'éthanol. Y ajouter 0,5 mL d'acide sulfurique concentré ($\text{H}_2\text{SO}_{4(l)}$) et quelques grains de pierre ponce. Porter le mélange à ébullition dans un dispositif de chauffage à reflux pendant 30 minutes.

Etape 2. Laisser refroidir le mélange réactionnel à l'air ambiant puis dans un bain d'eau froide. Verser le contenu du ballon dans une ampoule à décanter contenant environ 50 mL d'eau salée. Agiter prudemment quelques instants en dégazant régulièrement, puis éliminer la phase aqueuse.

Etape 3. Ajouter alors à la phase organique 60 mL d'une solution aqueuse d'hydrogencarbonate de sodium ($\text{Na}^+_{(aq)} + \text{HCO}^-_{3(aq)}$) de concentration molaire 1 mol.L^{-1} . Laisser dégazer et décanter puis éliminer la phase aqueuse. Recueillir la phase organique dans un bécher. Sécher cette phase avec du chlorure de calcium anhydre puis filtrer. Recueillir le filtrat dans un erlenmeyer propre et sec.

Une synthèse réalisée au laboratoire en suivant ce protocole a permis d'obtenir un volume de filtrat égal à 5,9 mL.

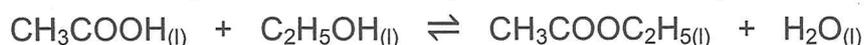
Données

Couple acide/base : $\text{H}_2\text{O}, \text{CO}_{2(aq)} / \text{HCO}^-_{3(aq)}$

	Acide acétique	Éthanol	Acétate d'éthyle
Masse molaire (g.mol^{-1})	60,0	46,1	88,1
Masse volumique (g.mL^{-1})	1,05	0,789	0,925
Température d'ébullition ($^{\circ}\text{C}$)	118	78,4	77,1
Température de fusion ($^{\circ}\text{C}$)	16,6	-117	-83,6
Solubilité dans l'eau	Très grande	Très grande	87 g.L^{-1} à 20°C
Solubilité dans l'eau salée	Très grande	Très grande	Presque nulle

1. Réaction de synthèse

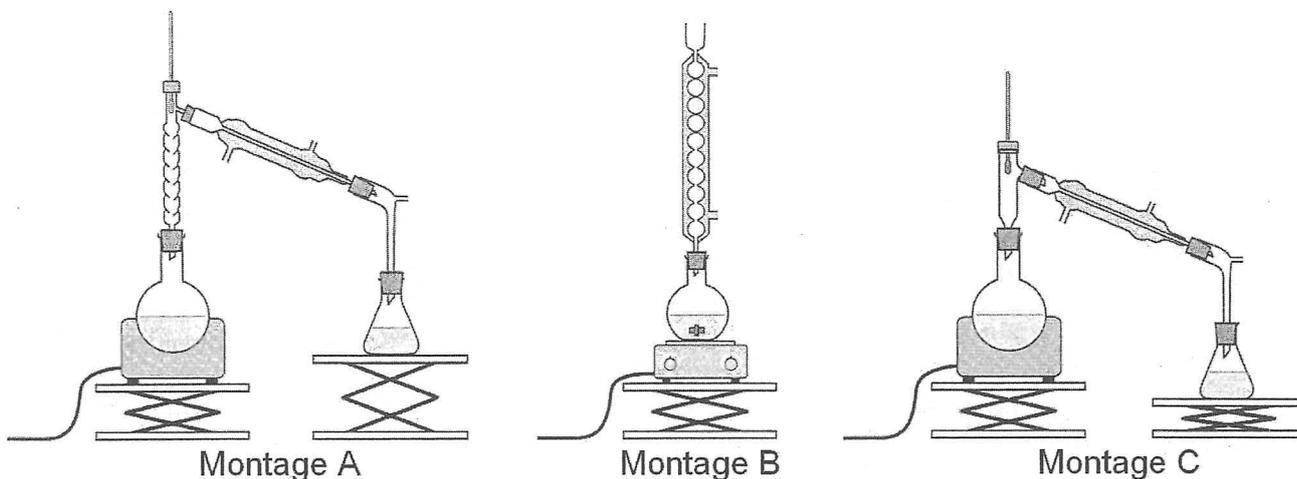
La synthèse de l'acétate d'éthyle est modélisée par la réaction d'équation :



- 1.1. Identifier, en justifiant votre réponse, les fonctions chimiques des molécules organiques intervenant dans la réaction de synthèse.
- 1.2. Quel est le nom de l'acétate d'éthyle en nomenclature officielle ?

2. Protocole expérimental

- 2.1. Parmi les montages suivants, justifier celui qu'il convient de choisir pour l'étape 1. Pourquoi les deux autres montages ne conviennent-ils pas ?



- 2.2. Proposer un titre pour nommer chacune des trois étapes du protocole.
- 2.3. Justifier, en argumentant avec une équation de réaction si cela est nécessaire, le choix dans ce protocole des conditions opératoires suivantes :
- ajout d'acide sulfurique concentré,
 - chauffage à reflux,
 - mélange avec de l'eau salée,
 - ajout d'une solution aqueuse d'hydrogénocarbonate de sodium.

3. Rendement

- 3.1. Déterminer la valeur du rendement de la synthèse en expliquant la méthode mise en œuvre.
- 3.2. Est-il exact de dire que ce rendement est égal à la proportion d'éthanol consommé au cours de la transformation ? Commenter.

4. Mécanisme réactionnel

Le mécanisme réactionnel modélisant la réaction de synthèse de l'acétate d'éthyle à partir de l'acide acétique et l'éthanol comporte cinq étapes représentées sur l'annexe située page 11. **(Annexe à rendre avec la copie).**

- 4.1. Quels groupes d'atomes correspondent respectivement aux lettres R et R' ?
- 4.2. Compléter les étapes 1 à 5 avec une ou plusieurs flèches courbes, si nécessaire. Que représentent ces flèches courbes ?
- 4.3. Donner la catégorie des réactions des étapes 2 et 4, dans le sens direct.
- 4.4. D'après le mécanisme proposé, quel est le rôle joué par H^+ dans la synthèse de l'acétate d'éthyle ? Commenter.

Exercice III : Eau potable ou non ? (5 points)

Le paranitrophénol (PNP) est un polluant organique qui se forme lors de la biodégradation de certains pesticides. Une exposition excessive à ce composé peut provoquer une méthémoglobinémie : c'est-à-dire une diminution de la capacité du sang à transporter le dioxygène dans les cellules. C'est la raison pour laquelle il faut surveiller sa présence dans les eaux de boisson.

La valeur maximale de la concentration en PNP d'une eau potable autorisée par la commission européenne est $0,1 \mu\text{g.L}^{-1}$. En revanche, le seuil fixé par l'agence américaine de protection environnemental EPA (United States Environmental Protection Agency) est $60 \mu\text{g.L}^{-1}$, tandis que la valeur tolérée par le conseil environnemental brésilien est $100 \mu\text{g.L}^{-1}$.

A l'occasion d'un stage dans un laboratoire d'analyse chimique aux USA, un groupe d'étudiants français met au point un protocole de dosage spectrophotométrique du PNP et le met en œuvre (document 1) pour étudier la potabilité d'une eau E destinée à la consommation sur le continent américain.

Résolution de problème

L'objectif de cet exercice est de répondre de manière argumentée à la question que se posent les étudiants ingénieurs : **l'eau analysée est-elle potable ?**

Pour construire et développer votre argumentation, vous mobiliserez vos connaissances et vous vous aiderez des deux documents fournis et des données, et vous répondrez au préalable aux deux questions suivantes :

- Dans les conditions expérimentales mises en œuvre par les étudiants, sous quelle forme se trouve le PNP dans les solutions ?
- Pourquoi est-il justifié de choisir une radiation visible plutôt qu'une radiation ultraviolette pour les mesures d'absorbance ?

La qualité de la rédaction, la structuration de l'argumentation, l'analyse critique des conditions expérimentales, la rigueur des calculs, ainsi que toute initiative prise pour mener à bien la résolution du problème seront valorisées.

Données : caractéristiques physiques et chimiques du paranitrophénol

- Formule brute : $\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_3$



- Aspect physique à $20 \text{ }^\circ\text{C}$: solide cristallin jaune pâle
- Température d'ébullition : $279 \text{ }^\circ\text{C}$
- Température de fusion : $116 \text{ }^\circ\text{C}$
- Le groupe hydroxyle $-\text{OH}$ du paranitrophénol présente un caractère acide :
 $pK_a (\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_3 / \text{C}_6\text{H}_4\text{NO}_3^-) = 7,2.$

Document 1. Extrait du carnet de laboratoire rédigé par les étudiants

On procède tout d'abord à une évaporation de l'eau E de manière à accroître fortement la concentration en PNP. La solution S ainsi obtenue est cent fois plus concentrée que la solution E.

À partir d'une solution aqueuse S_0 de paranitrophénol de concentration $C_0 = 100 \text{ mg.L}^{-1}$, on prépare cinq solutions filles S_i de volume $V = 100,0 \text{ mL}$ en prélevant un volume V_i de solution S_0 complété à $100,0 \text{ mL}$ par une solution tampon de $pH = 10,4$.

On règle le spectrophotomètre sur la longueur d'onde $\lambda = 400 \text{ nm}$. On « effectue le blanc » de telle manière que l'absorbance soit nulle avec la solution tampon de $pH = 10,4$.

On mesure l'absorbance des différentes solutions S_i préparées.

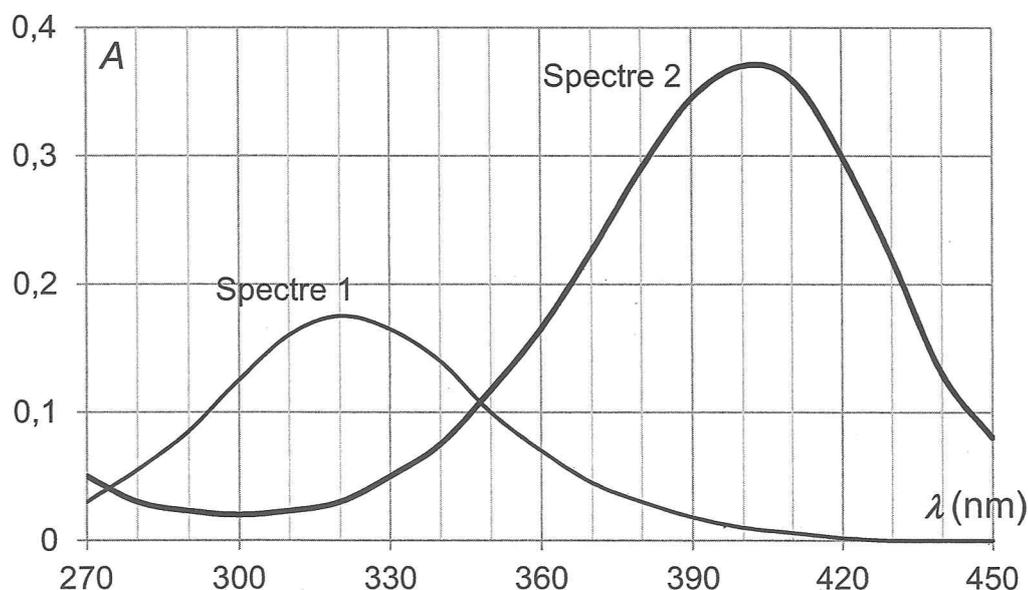
Les résultats des mesures sont regroupés dans le tableau suivant :

Solution	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5
V_i (mL)	1,0	2,0	3,0	5,0	7,5
A	0,128	0,255	0,386	0,637	0,955

On mélange $50,0 \text{ mL}$ de la solution S avec $50,0 \text{ mL}$ de solution tampon de $pH = 10,4$ puis on mesure l'absorbance de la solution S' ainsi obtenue.

On obtient une absorbance $A' = 0,570 \pm 0,010$.

Document 2. Spectres d'absorption de solutions aqueuses de PNP en milieu acide et en milieu basique

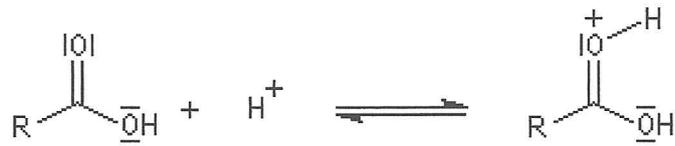


Spectre 1 : solution aqueuse de paranitrophénol de concentration molaire $2,0 \times 10^{-5} \text{ mol.L}^{-1}$ en milieu acide ($pH = 5$).

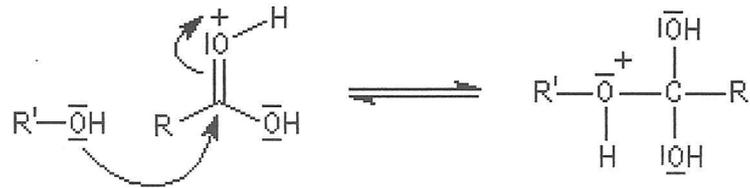
Spectre 2 : solution aqueuse de paranitrophénol de concentration molaire $2,0 \times 10^{-5} \text{ mol.L}^{-1}$ en milieu basique ($pH = 10$).

Annexe de l'exercice II à rendre avec la copie

Etape 1



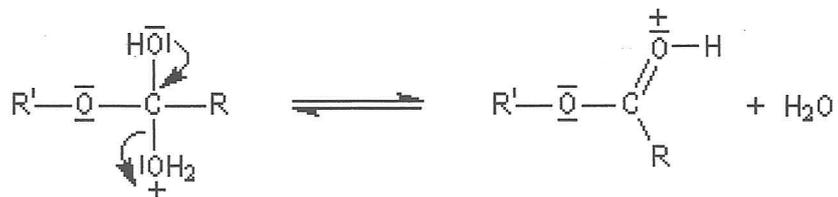
Etape 2



Etape 3



Etape 4



Etape 5

