BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2016

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

Durée de l'épreuve : 3 heures 30
Coefficient : 6

L'usage de la calculatrice est autorisé

Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré

Le sujet comporte trois exercices présentés sur 10 pages numérotées de 1/10 à 10/10, y compris celle-ci.

Le candidat doit traiter les trois exercices qui sont indépendants les uns des autres.

Obligatoire

EXERCICE I. À PROPOS DE L'ACIDE FUMARIQUE (10 points)

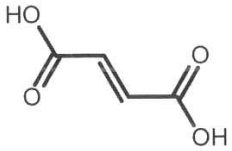
L'acide fumarique est un composé synthétisé normalement par la peau lorsque celle-ci est exposée au Soleil. Lorsque ce processus est déficient, l'être humain développe une maladie de la peau : le psoriasis.

Le psoriasis touche près de 5 % de la population, il n'existe malheureusement aucun traitement pharmaceutique réellement efficace. Cependant, l'acide fumarique et certains de ses dérivés ont été utilisés avec un succès mesurable, en Europe du Nord et aux États-Unis, depuis plus de 30 ans, pour calmer les démangeaisons, la desquamation et l'inconfort caractéristiques du psoriasis. Des gélules contenant de l'acide fumarique peuvent être ingérées quotidiennement.

L'objectif de cet exercice est d'étudier quelques caractéristiques physico-chimiques de l'acide fumarique et d'effectuer un contrôle qualité des gélules vendues pour le traitement nutritionnel du psoriasis.

1. Caractéristiques physiques de l'acide fumarique

L'acide fumarique a pour formule topologique :



L'acide fumarique a un stéréoisomère, l'acide maléique. Les propriétés de ces deux stéréoisomères sont données dans le tableau ci-dessous :

	Acide maléique	**Acide fumarique**
Nom officiel	Acide(Z)-but-2-ène-1,4-dioïque	Acide(E)-but-2-ène-1,4-dioïque
Aspect	Solide blanc	Solide blanc
Utilisations	Synthèse de polyesters Présent dans certains détergents	Traitement du psoriasis Additif alimentaire en tant qu'acidifiant
Masse molaire ($g.mol^{-1}$)	116	116
Solubilité avec l'eau à 25 °C (La solubilité est la masse maximale d'un composé que l'on peut dissoudre par litre de solvant)	Très grande : 780 $g.L^{-1}$	Très faible : 6,3 $g.L^{-1}$
Température de fusion	131 °C	287 °C
Masse volumique	1,59 $g.cm^{-3}$	1,63 $g.cm^{-3}$
Pictogramme de sécurité	**Irritant**	**Irritant**
p*Ka*	pKa_1 (AH_2 / AH^-) = 1,83 pKa_2 (AH^- / A^{2-}) = 6,59	pKa_1 (AH_2 / AH^-) = 3 pKa_2 (AH^- / A^{2-}) = 4,4

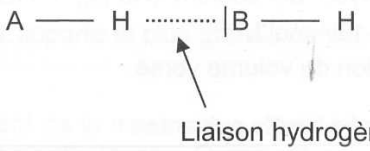
1.1. Représenter les formules topologiques de l'acide fumarique et de l'acide maléique en faisant apparaître ce qui les distingue.

1.2. Ces deux stéréoisomères sont-ils des énantiomères ou des diastéréoisomères ? Justifier votre réponse.

1.3. Peut-on différencier expérimentalement les deux stéréoisomères dans un laboratoire de lycée ? Justifier et décrire une expérience possible.

1.4. Les différences de propriétés physiques et chimiques entre l'acide fumarique et l'acide maléique peuvent s'interpréter, au niveau microscopique, à l'aide des liaisons hydrogène. Une liaison hydrogène se forme lorsqu'un atome d'hydrogène H est lié à un atome A, très électronégatif, et interagit avec un atome B, également très électronégatif et porteur d'un ou plusieurs doublets d'électrons non liants.

Pour que ces liaisons puissent s'établir, les atomes doivent être proches.
On les représente par un trait pointillé comme ci-dessous.



On donne l'électronégativité de quelques atomes : H : 2,2 ; C : 2,6 ; O : 3,4.
On considère qu'une liaison est polarisée dès lors que la différence d'électronégativité entre les deux atomes est supérieure à 0,5.

1.4.1. Expliquer, à l'aide de schémas, pourquoi l'acide fumarique ne donne que des liaisons hydrogène intermoléculaires, alors que l'acide maléique peut donner des liaisons hydrogène intermoléculaires et intramoléculaires.

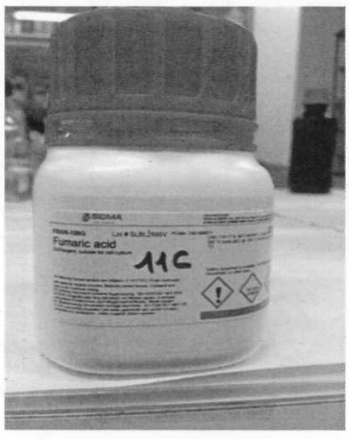
1.4.2. En déduire pourquoi les températures de fusion des deux acides sont différentes.

1.5. Indiquer, en le justifiant, si l'eau est un solvant polaire ou apolaire.

1.6. Sachant que l'acide maléique est polaire tandis que l'acide fumarique est apolaire, proposer une explication à la différence de solubilité dans l'eau de ces deux stéréoisomères.

2. Propriétés chimiques de l'acide fumarique

Pour étudier les propriétés acides de l'acide fumarique en solution aqueuse, on dissout 500 mg d'acide fumarique du laboratoire dans de l'eau distillée pour obtenir une solution de volume 100,0 mL. La mesure du pH de la solution donne pH = 2,4.



2.1. Décrire précisément le protocole pour réaliser cette solution.

2.2. Rappeler la définition d'un acide au sens de Brönsted.

2.3. L'acide fumarique possède des propriétés acido-basiques en solution aqueuse. Expliquer pourquoi cette molécule est qualifiée de diacide.

2.4. Calculer la concentration molaire C_A apportée de l'acide fumarique dans la solution préparée.

2.5. Un diacide fort de concentration molaire C a un pH = - log (2.C). L'acide fumarique est-il un diacide fort ?

2.6. Durant la digestion, le pH de l'estomac est voisin de 2. En déduire sous quelle forme se trouve l'acide fumarique dans l'estomac.

3. Contrôle qualité d'un traitement nutritionnel à base d'acide fumarique



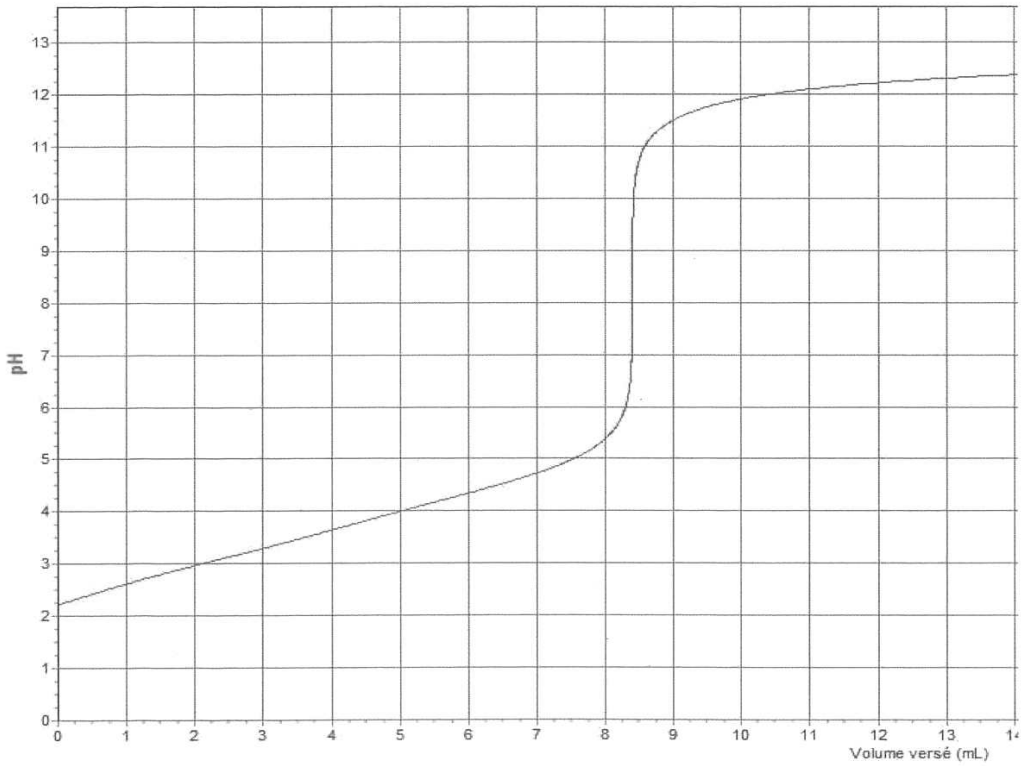
On se propose de vérifier l'indication portée sur l'étiquette d'un traitement du psoriasis, à l'aide d'un titrage acido-basique, selon le protocole suivant :

- À l'aide d'un mortier, réduire en poudre le contenu d'une gélule.
- Dissoudre la poudre obtenue dans de l'eau distillée de manière à obtenir un volume V = 100,0 mL de solution.
- Effectuer une prise d'essai de volume V_A = 10,0 mL de la solution.
- Titrer par une solution d'hydroxyde de sodium ($Na^+_{(aq)}$ + $HO^-_{(aq)}$) de concentration molaire $C_B = 1{,}0 \times 10^{-1}$ mol.L^{-1}.
- Suivre l'évolution du pH en fonction du volume versé.

L'équation de la réaction, support du titrage, est la suivante :

$$AH_2(aq) + 2\,HO^-(aq) \rightarrow A^{2-}(aq) + 2\,H_2O(l)$$

La courbe d'évolution du pH en fonction du volume de solution versé est donnée ci-dessous.



3.1. Avec quelle verrerie doit-on effectuer le prélèvement de la solution titrée ?

3.2. Schématiser et légender le dispositif expérimental réalisé.

3.3. Déterminer, en explicitant votre démarche, la valeur expérimentale m_{exp} de la masse d'acide fumarique contenu dans une gélule.

L'incertitude relative $\left(\frac{U(m_{exp})}{m_{exp}}\right)$ dans les conditions de l'expérience, est donnée par la relation :

$$\left(\frac{U(m_{exp})}{m_{exp}}\right)^2 = \left(\frac{U(V_A)}{V_A}\right)^2 + \left(\frac{U(V_E)}{V_E}\right)^2 + \left(\frac{U(C_B)}{C_B}\right)^2$$

Incertitude sur un volume mesuré à la burette graduée : $\pm$ 0,1 mL

Incertitude sur un volume mesuré à la pipette jaugée : $\pm$ 0,1 mL

Incertitude sur un volume mesuré à la pipette graduée : $\pm$ 0,2 mL

Incertitude sur la concentration de la solution d'hydroxyde de sodium : $\pm 0{,}3 \times 10^{-2}$ mol.L^{-1}

3.4. Quelle source d'erreur apporte la plus grande contribution à l'incertitude associée au résultat expérimental ?

3.5. Donner un encadrement de la masse m_{exp} d'acide fumarique contenu dans une gélule dans le cas d'un prélèvement à la pipette jaugée. Commenter.

3.6. Parmi les trois indicateurs colorés suivants, lequel est le plus approprié pour effectuer le titrage de l'acide fumarique ? Justifier la réponse.

Indicateur coloré	Teinte acide	Zone de virage	Teinte basique
Hélianthine	Rouge	3,1 - 4,4	Jaune
Rouge de crésol	Jaune	7,2 - 8,8	Rouge
Jaune d'alizarine R	Jaune	10,1 - 12,1	Violet

EXERCICE II. DÉTECTION ET HABITABILITÉ D'UNE EXOPLANÈTE (5 points)

Une nouvelle exoplanète a été détectée, le 15 septembre 2005, par une équipe européenne d'astronomes. La planète HD 189733b de la constellation du petit renard a pu être détectée et étudiée simultanément par la combinaison de deux méthodes : vitesse radiale et occultation. Elle est une des rares exoplanètes dont les chercheurs ont, à ce jour, pu déterminer à la fois la masse exacte et le rayon et conclure qu'il s'agit d'un « gros Jupiter chaud ». De ce fait, et compte tenu de la proximité (environ 60 années-lumière de la Terre), l'exoplanète HD 189733b offre à la communauté scientifique de riches horizons d'études complémentaires. *(http://www.insu.cnrs.fr)*

Cet exercice aborde certains aspects du principe de détection de cette exoplanète et envisage sa possible habitabilité.

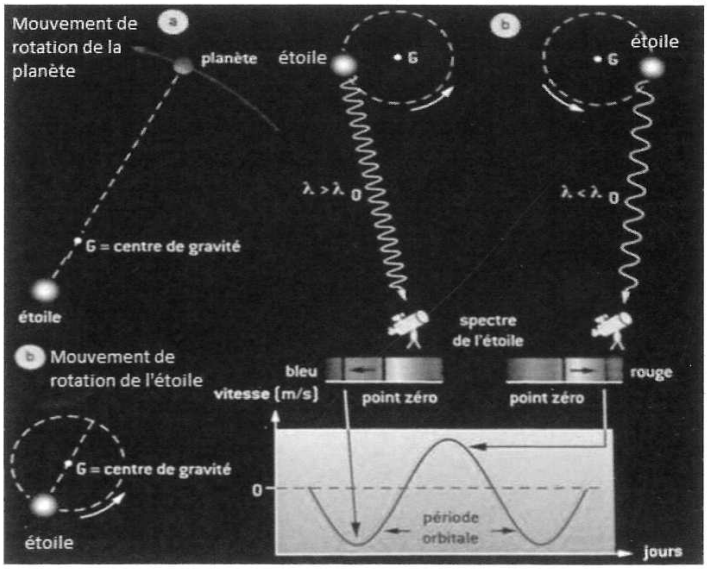
1. Illustration du principe de détection par vélocimétrie

Une exoplanète est une planète qui tourne autour d'une étoile autre que le Soleil. L'ensemble des deux est appelé système {étoile-planète}. Ces systèmes peuvent être repérés par la méthode de vélocimétrie basée sur l'effet Doppler. Son principe s'appuie sur l'étude de la trajectoire de l'étoile autour d'un point G appelé centre de gravité du système {étoile-planète}. Les documents ci-dessous présentent des informations que nous sommes en mesure d'exploiter à partir de la méthode vélocimétrique et exposent les résultats de mesures effectuées pour le système HD 189733.

Document 1 : Principe de la méthode de vélocimétrie

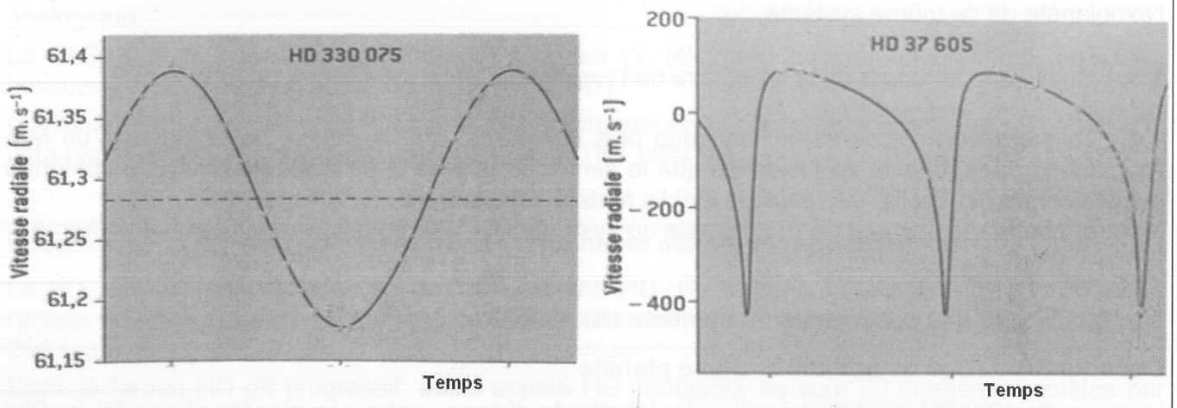
Dans un système {étoile-planète}, la planète et l'étoile sont en mouvement de rotation autour du centre de gravité G du système. On enregistre les spectres de raies de l'étoile sur des cycles de plusieurs nuits, ce qui permet de mettre en évidence des oscillations périodiques de la longueur d'onde des raies observées. Ces oscillations peuvent être reliées, grâce à l'effet Doppler, au mouvement de rotation de l'étoile autour du centre de gravité du système. **La vitesse radiale de l'étoile (vitesse suivant l'axe d'observation Terre-étoile)** peut alors être déterminée par cette étude. Elle est composée d'une vitesse moyenne (vitesse du système par rapport à l'observateur terrestre) à laquelle s'ajoute une perturbation qui varie périodiquement. La période de la perturbation donne la période du mouvement de l'étoile qui est aussi la période du mouvement de la planète.

D'après http://culturesiencesphysique.ens-lyon.fr



La méthode des vitesses radiales utilisée permet de distinguer assez facilement les orbites circulaires des orbites elliptiques. Les planètes en orbite circulaire correspondent à des étoiles dont les variations de vitesse radiale sont régulières et symétriques en forme de sinusoïde (graphe de gauche). Lorsque la trajectoire est une ellipse allongée, il apparait des « pics » dans la courbe de vitesses (graphe de droite).

D'après *F. Casoli & T. Encrenaz*, Planètes extrasolaires, 2005

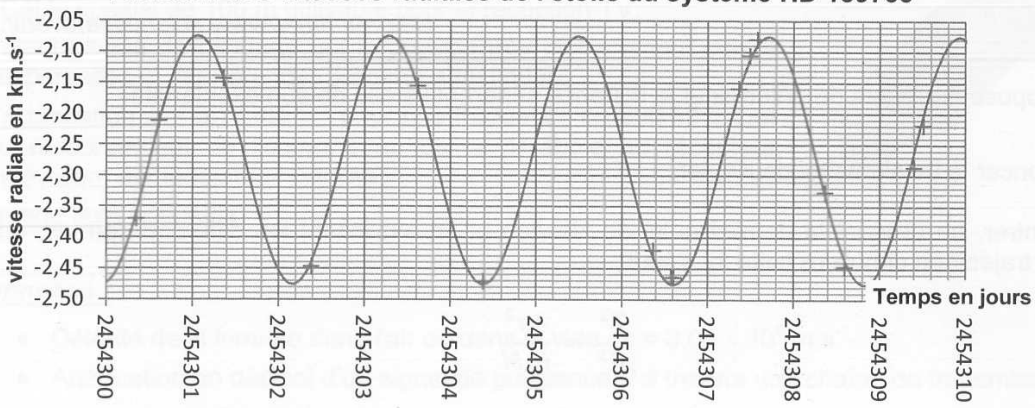


Document 2 : Système {étoile-exoplanète} HD 189733

Le graphe ci-dessous représente une modélisation des variations de la vitesse radiale de l'étoile du système HD 189733 autour de sa vitesse moyenne obtenue à partir de mesures réalisées à l'observatoire de Haute Provence par une équipe de chercheurs en juillet 2008.

L'étoile du système HD 189733 est une étoile dont les caractéristiques sont assez proches de celle du Soleil : les températures de surface sont voisines, la masse de l'étoile est $M = 0{,}82 \times M_0$ où M_0 est la masse du Soleil ($M_0 = 1{,}989 \times 10^{30}$ kg).

Variation des vitesses radiales de l'étoile du système HD 189733



1.1. Le décalage spectral est lié au mouvement de rotation de l'étoile autour du centre de gravité G. On rappelle que le décalage spectral $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_{mesurée}$, où λ est une longueur d'onde de référence et $\lambda_{mesurée}$ sa valeur perçue depuis la Terre, permet de déterminer la vitesse v de déplacement du système par la relation :

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c}$$

c : célérité de la lumière dans le vide
λ : longueur d'onde de la raie de référence ($\lambda = 656{,}2$ nm)

Quelles mesures, réalisées par l'observatoire de Haute Provence, ont permis de tracer la courbe du document 2 ? Expliquer la démarche des chercheurs.

1.2. Pour détecter la présence d'une planète extrasolaire, on repère une certaine périodicité dans la variation de vitesse radiale : ceci permet d'affirmer qu'il existe bien un système exoplanétaire. Déterminer la période de révolution de l'étoile du système HD 189733 ainsi que celle de l'exoplanète de ce même système.

1.3. Quelle est la nature de la trajectoire de l'exoplanète autour du centre de gravité G ?

1.4. La masse de l'étoile étant beaucoup plus importante que la masse de la planète, on fera l'hypothèse dans la suite de l'exercice que le centre de gravité G du système peut être confondu avec le centre de l'étoile, les résultats établis restant valables.
Montrer que le mouvement de l'exoplanète du système HD 189733 est nécessairement uniforme.

2. Habitabilité de l'exoplanète du système HD 189733

Document 3 : Zone d'habitabilité d'une planète

La zone d'habitabilité se définit par une fourchette de distance entre une planète et son étoile. Elle correspond à une zone dans laquelle la quantité d'énergie reçue par la planète permet à l'eau d'exister sous forme liquide. Dans notre système solaire, c'est le cas de la Terre située à 1 U.A. qui reçoit environ 1000 Watts par mètre carré d'énergie rayonnée par le Soleil. Si l'on s'approche du Soleil et que l'on dépasse Vénus située à 0,723 U.A., la quantité d'énergie reçue est trop importante et l'eau se vaporise. Si on s'en éloigne et que l'on dépasse Mars située à 1,52 U.A., alors l'eau n'existe plus que sous forme de glace. Or, seule l'eau liquide permet à la vie d'exister sous la forme que nous lui connaissons.

La taille et la position de la zone d'habitabilité dépend naturellement de la puissance de l'étoile qui émet le rayonnement lumineux. Si l'étoile est petite, la zone d'habitabilité sera beaucoup plus proche d'elle que s'il s'agit d'une étoile géante.

Donnée : 1 U.A. = $1{,}50 \times 10^8$ km

D'après http://www.sciencesetavenir.fr

On se propose à présent de déterminer la distance séparant l'étoile de son exoplanète.

2.1. Énoncer la troisième loi de Kepler.

2.2. Montrer, en utilisant la deuxième loi de Newton et en explicitant les différents termes, que pour une trajectoire circulaire cette loi s'écrit :

$$\frac{T^2}{R^3} = \frac{4\pi^2}{G.M}$$

2.3. En déduire la distance moyenne entre la planète et l'étoile ($G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ N.m^2.kg^{-2}).

2.4. La planète du système HD 189733 appartient-elle à la zone d'habitabilité ?

EXERCICE III. LA TÉLÉVISION NUMÉRIQUE : ÉMISSION, TRANSMISSION ET RÉCEPTION (5 points)

Ces dernières années, l'évolution des technologies a permis des progrès dans les systèmes de transmission de l'information. En 2005, la télévision numérique terrestre (TNT) apparaît et s'étend progressivement à tout le territoire. En 2011, la France abandonne totalement la télévision analogique.

La TNT a permis le développement de chaînes de télévision supplémentaires qui, en 2016, basculent entièrement en haute définition (TNT HD).

Certains téléviseurs disponibles actuellement commencent à préparer la prochaine étape avec la ultra haute définition et l'arrivée, d'ici 2025, de la TNT ultra HD.

Document 1 : La haute définition HD et l'ultra haute définition (ultra HD)

La HD, actuellement diffusée sur la TNT est une HD dite entrelacée, au format HD 1080i/25 : l'image est constituée de 1080 lignes de 1920 pixels chacune, et le flux vidéo […] est équivalent à 25 images par seconde. La TNT classique a une résolution de 480 lignes de 720 pixels chacune.

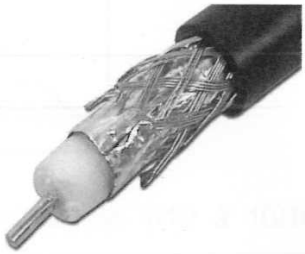
Dans le format HD dit progressif, aussi appelé HD 1080p/50, ce sont 50 images complètes par seconde qui sont transmises dans le flux vidéo. C'est ce format qui est utilisé sur les disques Blu-Ray par exemple. Selon les experts, ce format permet d'obtenir une meilleure qualité perçue de la vidéo, notamment pour les scènes rapides et le sport. La HD 1080p/50 pourrait devenir la norme à terme. En effet, certains estiment que la HD entrelacée 1080i/25 n'est qu'un format de transition en attendant la migration complète de la chaîne de production (captation, archivage, etc…) et de diffusion vers la HD 1080p/50. Toutefois, sa diffusion nécessite plus de débit. […]

D'après : CSA Rapport sur l'avenir de la plateforme TNT, Janvier 2013

Document 2 : Extrait d'une notice de câble coaxial pour relier une antenne à une télévision

Câble d'antenne TV 17VATC classe A :

- Câble coaxial de 100 m utilisable pour la réception TV.
- Haut niveau de blindage qui le protège très efficacement contre les parasites et interférences électromagnétiques.
- Atténuation α = 0,17 dB.m^{-1} pour une fréquence de 800 MHz lors du raccordement de l'antenne ou de la parabole au récepteur (télévision, démodulateur satellite).



(image libre wikipédia)

Données :

- Célérité de la lumière dans l'air ou dans le vide : $c = 3{,}00 \times 10^8$ m.s^{-1}
- Atténuation en décibel d'un signal de puissance P à travers une chaîne de transmission :

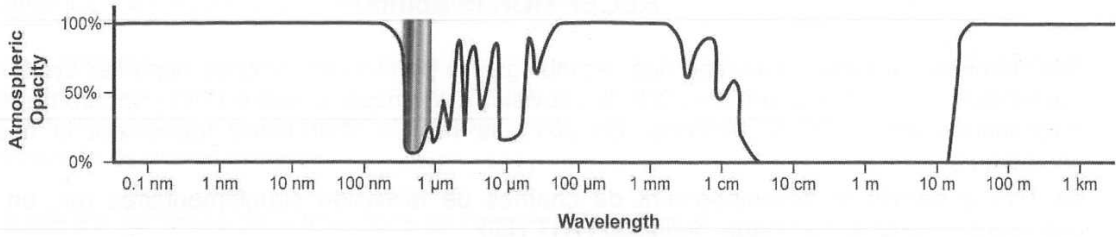
$$A_{dB} = 10 \times \log\left(\frac{P_{entrée}}{P_{sortie}}\right)$$

- Coefficient d'atténuation (en dB.m^{-1}) pour une fibre optique de longueur L :

$$\alpha = \frac{A_{dB}}{L}$$

- Octet : 1 octet = 8 bits

- Absorption des fréquences par l'atmosphère terrestre *(Image de la NASA)*



*Wavelength = Longueur d'onde ; *Atmospheric opacity = Opacité atmosphérique

1. Propagation des ondes radio

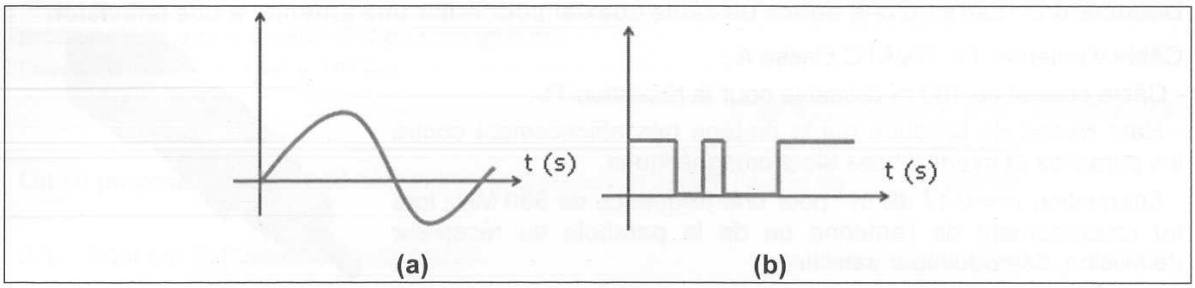
1.1. On considère la transmission d'une information par un signal de fréquence 800 MHz.
Justifier le choix de cette fréquence.

1.2. On constate que la réception reste possible même si l'émetteur relais n'est pas visible pour un observateur situé au niveau de l'antenne réceptrice.
Expliquer comment cela est possible et justifier en faisant intervenir les dimensions des ouvertures des maisons.

1.3. Les chaînes de télévision émises par une antenne relais sont reçues en quasi-simultané par tous les récepteurs situés à moins de 50 km de cette antenne.
Vérifier cette affirmation en explicitant le raisonnement suivi.

2. Atténuation du signal

2.1. Attribuer chacun des deux schémas (a) et (b) ci-dessous à un signal analogique et à un signal numérique. Justifier.



2.2. On considère qu'au-dessus d'une puissance de 20 nW (nanowatt) reçue par le téléviseur, l'image affichée peut être considérée comme satisfaisante. L'antenne est reliée au téléviseur par un câble coaxial 17VATC de classe A.
Déterminer à quelle distance maximale de l'antenne d'une maison, un téléviseur peut-il se trouver si l'antenne reçoit un signal de puissance de 100 nW à 800 MHz ?

3. Débit et transmission d'une chaîne HD

L'affichage d'une couleur, pour un pixel d'un écran, fait intervenir les trois couleurs primaires : codage RVB (Rouge, Vert, Bleu). On suppose que ce codage utilise 3 octets pour chacun des pixels. Par exemple, le codage d'un pixel rouge est (255, 0, 0).

3.1. Donner, en le justifiant, le codage d'un pixel noir et celui d'un pixel blanc.

3.2. Déterminer le débit nécessaire pour transmettre les images d'une chaîne de télévision haute définition HD 1080p/50 en bits par seconde puis en Gigabits par seconde.

3.3. Préciser quelle technique permet d'envoyer trois chaînes HD sur un canal de 24 $Mbit.s^{-1}$ alors que ceci ne semble pas suffire pour une seule chaîne.