BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2015

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 12 pages numérotées de 1/12 à 12/12, y compris celle-ci.

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

La page d'annexe 12
EST À RENDRE AGRAFÉE À LA COPIE même si elle n'a pas été complétée.

EXERCICE I. LA VITAMINE C (9 points)

La vitamine C est une espèce chimique hydrosoluble, dotée de propriétés antioxydantes. L'organisme humain la puise dans les aliments tels que les fruits et légumes. Une carence prolongée provoque des pathologies qui conduisent le médecin à prescrire un complément sous forme de comprimés.

Dans cet exercice, on étudie la molécule de vitamine C dans une première partie, puis on vérifie l'indication apposée sur l'emballage d'une boîte de comprimés de vitamine C dans le cadre d'un contrôle.

Extrait de l'emballage de la boîte de comprimés de vitamine C

La vitamine C est commercialisée sous forme de comprimés à croquer.
Composition d'un comprimé de « Vitamine C UPSA® » :

- Acide ascorbique : 250 mg
- Ascorbate de sodium : 285 mg
- Excipients : sucres, arômes artificiels

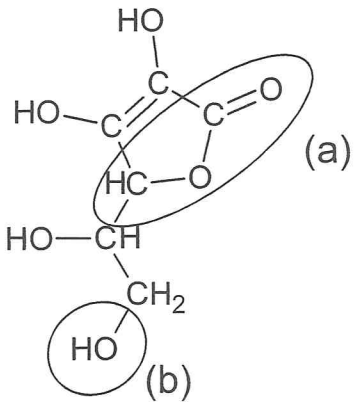
Données :

- l'acide ascorbique, de formule brute $C_6H_8O_6$ sera noté HA et sa base conjuguée A^- ;
- pK_A $(HA/A^-) = 4,1$ à 37 °C ;
- masse molaire de l'acide ascorbique M = 176,1 $g.mol^{-1}$;
- masse molaire de l'ascorbate de sodium M = 198,1 $g.mol^{-1}$;
- conductivités molaires ioniques à 25° C :

  $\lambda(Na^+) = 5,01$ $mS.m^2.mol^{-1}$; $\lambda(HO^-) = 19,9$ $mS.m^2.mol^{-1}$; $\lambda(A^-) = 3,42$ $mS.m^2.mol^{-1}$;
- pH de l'estomac environ égal à 1,5 ;
- pH de la salive compris entre 5,5 et 6,1.

1. Étude de la molécule de l'acide ascorbique

La molécule d'acide ascorbique est représentée ci-dessous :



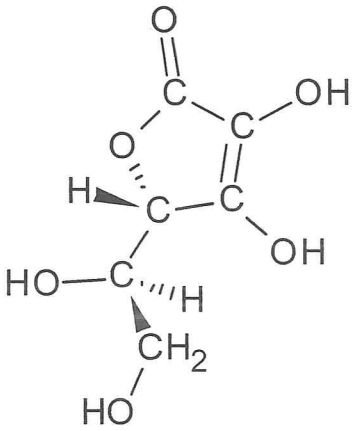
1.1. Nommer les familles associées aux groupes caractéristiques (a) et (b) entourés sur la représentation de la molécule d'acide ascorbique.

1.2. La molécule d'acide ascorbique possède des stéréoisomères.

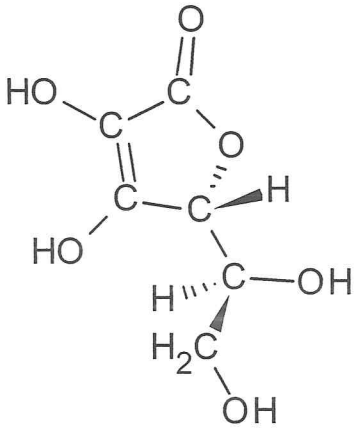
1.2.1. Recopier la formule de la molécule puis repérer le ou les atomes de carbone asymétriques par un astérisque en justifiant votre choix.

1.2.2. Trois stéréoisomères de la molécule d'acide ascorbique sont représentés ci-dessous.

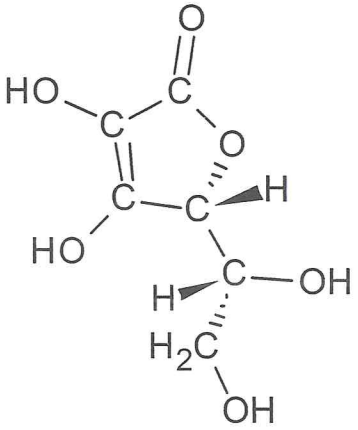
Reconnaître si ces représentations sont identiques, énantiomères ou diastéréoisomères.



représentation 1

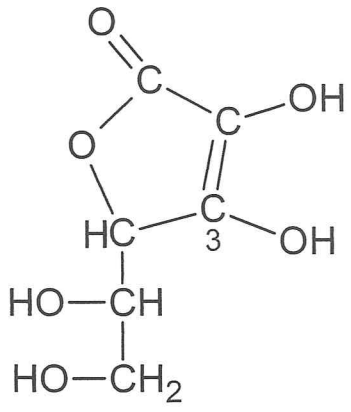


représentation 2



représentation 3

1.3. Les propriétés acido-basiques de cette molécule sont dues à l'hydrogène porté par l'oxygène du groupe caractéristique associé à l'atome de carbone en position 3.



Représenter l'ion ascorbate, base conjuguée de l'acide ascorbique.

1.4. Sous quelle forme la substance active ingérée lors de la prise du comprimé de vitamine C se trouve-t-elle sur la langue ? Dans l'estomac ? Justifier par une méthode de votre choix.

2. Vérification de la masse d'acide ascorbique dans un comprimé

On souhaite vérifier l'indication portée sur la boîte concernant la masse d'acide ascorbique présente dans un comprimé, à l'aide d'un titrage acidobasique suivi par conductimétrie.

Une solution aqueuse S_A de volume V = 200,0 mL est préparée à partir d'un comprimé entier.

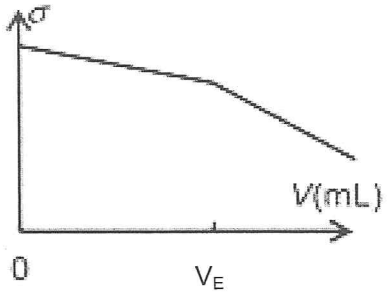
On prélève un volume V_A = (20,0 ± 0,1) mL de la solution aqueuse S_A que l'on titre par une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium ($Na^+_{(aq)}$ + $HO^-_{(aq)}$).

2.1. Rédiger le protocole de préparation de la solution aqueuse S_A.

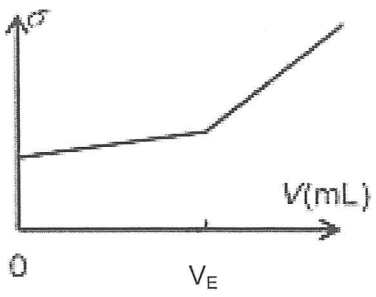
2.2. Écrire l'équation de la réaction support du titrage.

2.3. Au laboratoire, on dispose d'une solution aqueuse étalonnée d'hydroxyde de sodium de concentration molaire C_B = 0,100 mol.L^{-1}. On souhaite obtenir un volume V_E à l'équivalence proche de 10 mL. La solution aqueuse d'hydroxyde de sodium disponible au laboratoire convient-elle ? Si non, que peut-on faire pour obtenir l'ordre de grandeur du volume à l'équivalence souhaité ?

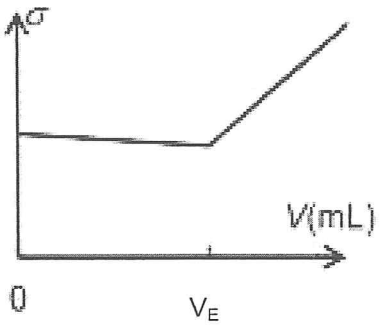
2.4. Parmi les quatre graphiques suivants, lequel représente l'allure de l'évolution de la conductivité σ du mélange en fonction du volume V de solution d'hydroxyde de sodium versé lors de ce titrage ? Justifier.



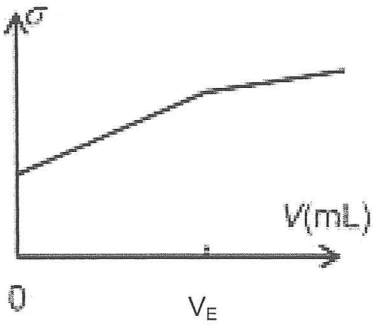
Représentation 1



Représentation 2



Représentation 3



Représentation 4

2.5. Avec une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium ($Na^+_{(aq)}$ + $HO^-_{(aq)}$) de concentration molaire C_B = (1,50 ± 0,02) ×10^{-2} mol.L^{-1}, le volume versé à l'équivalence vaut (9,1 ± 0,2) mL. On en déduit que la masse expérimentale d'acide ascorbique du comprimé est égale à 245 mg.

2.5.1. Déterminer l'incertitude relative $\frac{U(m_{exp})}{m_{exp}}$ dont on admet que, dans les conditions de l'expérience, la valeur est donnée par la relation :

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

2.5.2. Le résultat expérimental est-il en accord avec la mention portée sur la boîte de comprimés de vitamine C ? Interpréter l'écart éventuellement obtenu.

3. Vérification de la masse d'ion ascorbate dans un comprimé

3.1. Pour vérifier par titrage la masse d'ascorbate de sodium contenue dans un comprimé, que faut-il choisir comme réactif titrant ?

A- une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium ($Na^+_{(aq)} + HO^-_{(aq)}$) ;

B- une solution aqueuse d'acide chlorhydrique ($H_3O^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$) ;

C- une solution aqueuse de chlorure de sodium ($Na^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$).

Choisir la ou les propositions exactes en justifiant votre choix.

3.2. La masse d'ascorbate de sodium trouvée après titrage correspond à celle indiquée sur l'emballage. L'étiquette précise également que la masse totale des deux espèces conjuguées est équivalente à 500 mg d'acide ascorbique. Vérifier cette information par un calcul.

3.3. Quel intérêt présente cette formulation du comprimé de vitamine C par rapport à un comprimé qui contiendrait uniquement 500 mg d'acide ascorbique ?

EXERCICE II. TRANSFERT THERMIQUE LORS DU CHAUFFAGE D'UNE PISCINE (6 points)

Parmi les divers équipements publics ou privés, les piscines sont souvent considérées comme énergivores. Pourtant, de nombreuses solutions techniques permettent d'optimiser la consommation d'énergie d'une piscine en agissant sur sa forme, son orientation et sur la source de production d'énergie nécessaire à son chauffage. Les pompes à chaleur sont des dispositifs désormais préconisés pour le chauffage de ces bassins d'eau.

L'objectif de cet exercice est de répondre à la question suivante : en quoi l'utilisation d'une pompe à chaleur contribue-t-elle à apporter une solution au défi énergétique ?

La pompe à chaleur

La pompe à chaleur (PAC) est un équipement de chauffage thermodynamique à énergie renouvelable. La PAC transfère de l'énergie depuis une source renouvelable, appelée source froide, telle que l'air extérieur, l'eau (d'une nappe souterraine ou de la mer), ou la terre vers un autre milieu (un bâtiment, un logement, un bassin d'eau, etc.).

Pour exploiter ces différents gisements d'énergie renouvelable, une source d'énergie, généralement électrique, est toutefois nécessaire : aussi les PAC consomment-elles de l'électricité.

Le coefficient de performance η de la PAC est plus ou moins élevé selon la technologie, la source renouvelable ou l'usage de la PAC. Plus le coefficient de performance est élevé, plus la quantité d'énergie électrique nécessaire pour faire fonctionner la pompe est faible par rapport à la quantité d'énergie renouvelable prélevée au milieu.

Le coefficient de performance η d'une pompe à chaleur traduit donc la performance énergétique de celle-ci. Il est défini par le rapport de l'énergie utile fournie par la PAC sur l'énergie électrique requise pour son fonctionnement. La valeur de ce coefficient η est généralement comprise entre 2,5 et 5. Elle dépend de la conception et du type de PAC, mais aussi de la température extérieure de la source froide.

d'après : wwww.ademe.fr

Schéma énergétique de la pompe à chaleur air / eau

La pompe à chaleur air / eau est une machine thermique ditherme qui fonctionne entre une source de température variable au cours du temps et une source de température quasi constante, tout en recevant de l'énergie électrique. La PAC fonctionne comme une machine cyclique. Au terme d'un cycle, la variation d'énergie interne ΔU du système {fluide frigorigène} contenu dans la PAC est nulle.

Des transferts énergétiques Q_f, Q_c et W_e sont mis en jeu au cours d'un cycle de la PAC, avec :

- Q_f énergie transférée de l'air extérieur (source froide dans ce dispositif) au fluide de la PAC ; cette énergie est renouvelable et gratuite ;

- Q_c énergie transférée par le fluide de la PAC à l'eau du bassin de la piscine ;

- W_e énergie électrique consommée par la PAC et transférée intégralement au fluide de la PAC sous une autre forme.

Les grandeurs Q_f, Q_c et W_e sont positives.

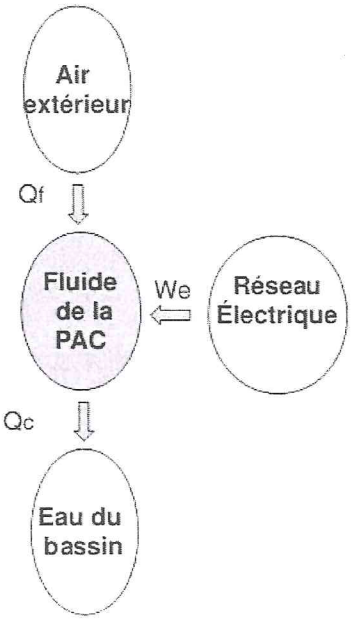


Figure 1. Schéma énergétique de la pompe à chaleur d'une piscine

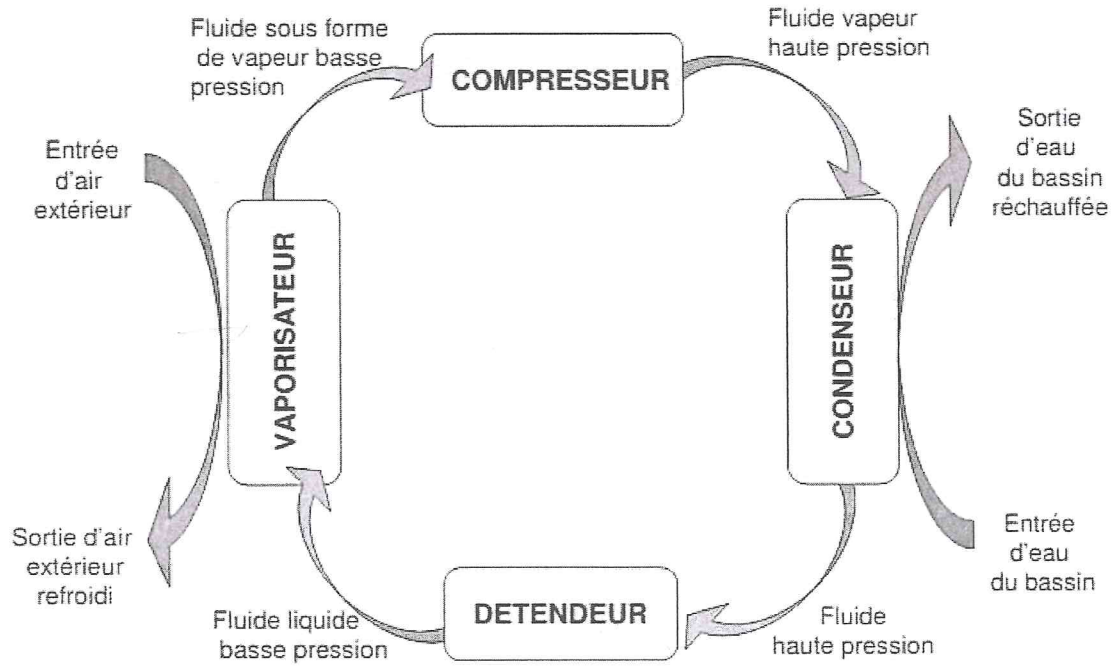


Figure 2. Cycle du fluide frigorigène dans la PAC

Données :

- système étudié : le fluide frigorigène de la PAC ;
- capacité thermique massique de l'eau liquide : $c_{eau} = 4{,}18\ kJ.kg^{-1}.K^{-1}$;
- masse volumique de l'eau liquide : $\rho_{eau} = 1000\ kg.m^{-3}$ dans les conditions de l'étude.

1. Fonctionnement global de la pompe à chaleur

1.1. Parmi les transferts d'énergie Q_c, Q_f et W_e, indiquer ceux qui correspondent à une énergie reçue par le fluide de la PAC et ceux qui correspondent à de l'énergie cédée par le fluide de la PAC.

1.2. Montrer que pour un cycle du fluide, on a l'égalité $Q_c = Q_f + W_e$.

2. Étude du fluide frigorigène

Le fluide frigorigène est un mélange choisi pour ses propriétés thermiques. Il circule dans des tuyaux à l'intérieur de la PAC et n'est donc jamais en contact direct avec l'air extérieur.

2.1. Nommer le changement d'état que subit le fluide frigorigène contenu dans la PAC lors de son passage dans le vaporisateur. Lors de ce changement d'état, le fluide frigorigène a-t-il reçu ou cédé de l'énergie ?

2.2. Quels sont le ou les modes de transfert d'énergie entre l'air extérieur et le fluide frigorigène ?

3. Chauffage de l'eau du bassin d'une piscine

Après remplissage d'une piscine de volume $V = 560\ m^3$ avec une eau initialement prise à une température de 17°C, on souhaite augmenter la température de l'eau de piscine jusqu'à 28°C. On considérera que le transfert thermique depuis la PAC sert intégralement à chauffer l'eau de la piscine sans déperdition.

3.1. Calculer la variation d'énergie interne de l'eau du bassin $\Delta U_{\{eau\}}$ quand la température de l'eau a atteint 28°C. En déduire la valeur de Q_c, énergie transférée par le fluide de la PAC à l'eau du bassin de la piscine.

3.2. On a mesuré l'énergie électrique W_e consommée (et facturée) pendant ce transfert et trouvé une valeur égale à $W_e = 8{,}0 \times 10^9$ J. Déterminer la valeur de Q_f, l'énergie transférée par l'air extérieur.

3.3. Exprimer, puis calculer le coefficient de performance η de la PAC.

4. Enjeux énergétiques

4.1. Montrer qu'avec une PAC de coefficient de performance $\eta = 3{,}0$, on réalise 67 % d'économie sur sa facture en énergie électrique par rapport à un chauffage direct utilisant, par exemple, une résistance électrique.

4.2. En conclusion, répondre en quelques lignes à la question suivante : en quoi l'utilisation de pompes à chaleur apporte-t-elle une réponse à des problématiques énergétiques contemporaines ?

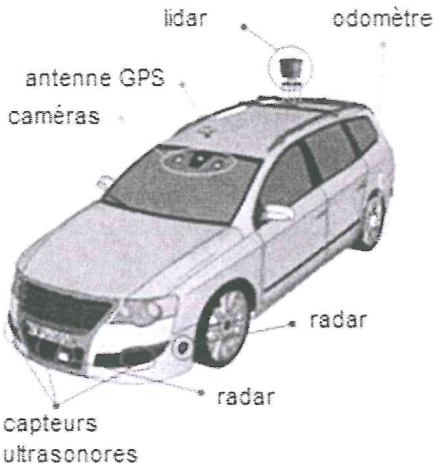
EXERCICE III. LES ONDES AU SERVICE DE LA VOITURE DU FUTUR (5 points)

« Sans les mains ! C'est de cette manière que vous pourrez, peut-être très bientôt, conduire votre prochaine voiture... ». Cette phrase évoque ici la voiture autonome dont la commercialisation sera lancée aux alentours de 2020.

Cette voiture « se conduira seule », car elle aura une perception globale de son environnement grâce à la contribution de plusieurs capteurs : télémètre laser à balayage (LIDAR*), caméra, capteurs à infrarouge, radars, capteurs laser, capteurs à ultrasons, antenne GPS …

*LIDAR = Light Detection And Ranging

Un odomètre mesure la distance parcourue par la voiture.



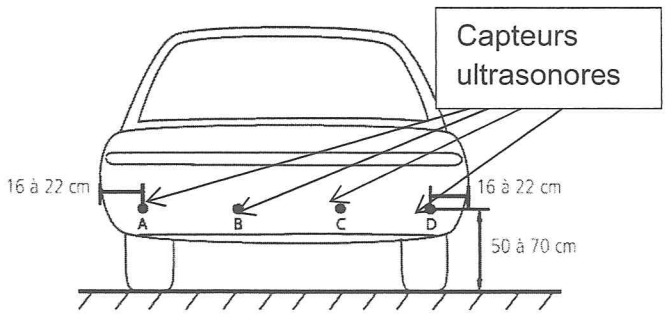
L'objectif de cet exercice est d'étudier quelques capteurs présents dans une voiture autonome.

Principe de fonctionnement des capteurs

Les radars, capteurs ultrasonores et lasers sont tous constitués d'un émetteur qui génère une onde pouvant se réfléchir sur un obstacle et d'un capteur qui détecte l'onde réfléchie. Le capteur permet de mesurer la durée entre l'émission et la réception de l'onde après réflexion sur l'obstacle.

Le radar utilise des ondes radio. Le sonar utilise des ultrasons tandis que le laser d'un LIDAR émet des impulsions allant de l'ultra-violet à l'infrarouge.

Extrait d'une notice de « radar de recul » (aide au stationnement)



- En marche arrière le « radar de recul » se met en fonction automatiquement.
- L'afficheur indique la distance de l'obstacle détecté pour des valeurs comprises entre 0,3 m et 2 m.
- L'afficheur dispose d'un buzzer intégré qui émet un signal sonore dont la fréquence évolue en fonction de la distance à l'obstacle.

Extrait d'un document d'un constructeur automobile : système autonome de régulation de vitesse ACC.

Le système ACC traite les informations d'un capteur radar afin d'adapter la vitesse de la voiture en fonction des véhicules qui la précèdent. Les caractéristiques du capteur radar d'un système ACC sont données ci-dessous.

Fonctionnalité	Détermine la distance, la vitesse et la direction d'objets mobiles roulant devant le véhicule
Fréquence d'émission	76 - 77 GHz
Portée minimale - portée maximale	1 m - 120 m
Activation du capteur	vitesse > 20 $km.h^{-1}$

Données :

- célérité du son dans l'air à 20°C : $v = 343\ m.s^{-1}$;

- célérité de la lumière dans le vide ou dans l'air : $c = 3,0 \times 10^{8}\ m.s^{-1}$.

1. Propriétés de quelques capteurs présents dans la voiture autonome

1.1. Compléter le tableau de **l'annexe à rendre avec la copie** en précisant pour chaque capteur le type d'ondes utilisées.

1.2. À l'aide du tableau ci-dessous, déterminer le nom de la bande d'ondes radio utilisées par le capteur radar de l'ACC. Justifier votre réponse à l'aide d'un calcul.

Nom de bande d'ondes radio	Longueurs d'onde dans le vide
HF	10 m - 100 m
L	15 cm - 30 cm
W	2,7 mm - 4,0 mm

1.3. La vitesse relative (différence de vitesse) entre la voiture équipée du système ACC et un objet peut être calculée par le biais de l'effet Doppler. Recopier en les complétant les deux phrases suivantes :

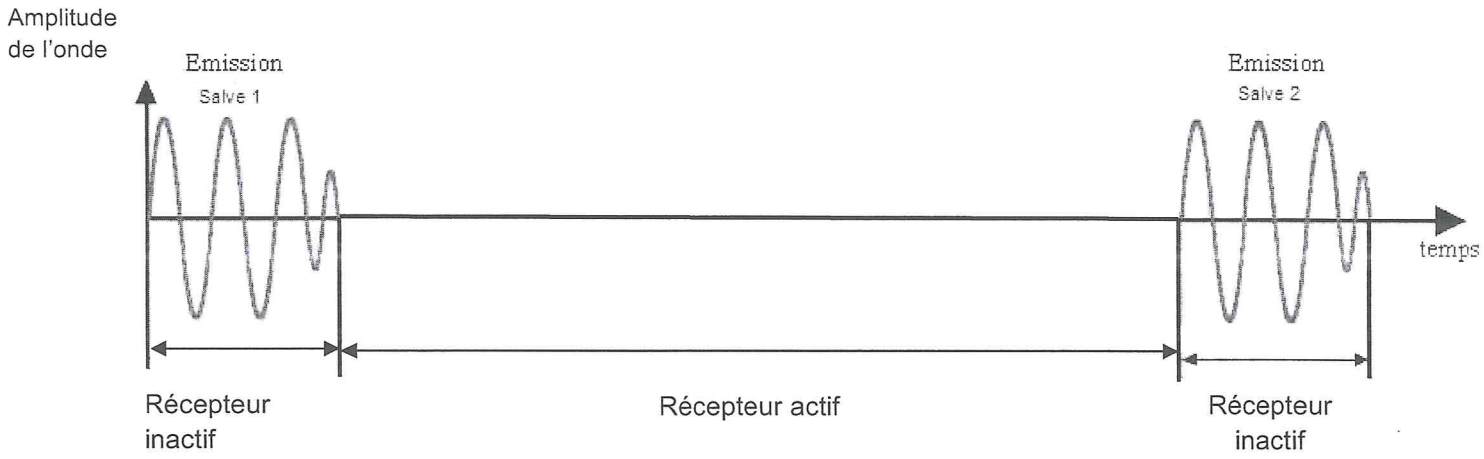
Si l'objet se rapproche de l'émetteur, la fréquence de l'onde réfléchie .....

Si l'objet s'éloigne de l'émetteur, la fréquence de l'onde réfléchie .....

2. Plage de détection d'un obstacle pour le « radar de recul »

Ce « radar de recul » est composé de quatre capteurs ultrasonores identiques. Chacun de ces capteurs a une portée minimale d_{min} = 0,30 m d'après la notice. Cela signifie qu'un obstacle situé à une distance du capteur inférieure à d_{min} ne sera pas détecté.

Le capteur est constitué d'un matériau piézo-électrique utilisé à la fois pour fonctionner en mode émetteur ou en mode récepteur. Il ne peut fonctionner correctement en récepteur que lorsqu'il a fini de fonctionner en émetteur. Pour cette raison, le capteur génère des salves ultrasonores de durée Δt_1 = 1,7 ms avec une périodicité Δt_2 = 12 ms.
La figure ci-dessous illustre ce fonctionnement.



2.1. Légender la figure de **l'annexe à rendre avec la copie** en indiquant les durées Δt_1 et Δt_2.

2.2. Faire un schéma représentant un capteur détectant un obstacle et y faire apparaître sa portée minimale d_{min} et sa portée maximale d_{max} en précisant leurs valeurs.

2.3. Vérifier que pour la distance d_{min} entre le capteur et l'obstacle, la durée entre l'émission et la réception est égale à Δt_1.

2.4. Si la durée que met l'onde émise pour revenir au capteur est inférieure à Δt_1, pourquoi le capteur ne peut-il pas détecter l'obstacle de manière satisfaisante ? Justifier la réponse.

2.5. Quelle caractéristique du signal de l'émission doit-on alors modifier pour que le capteur puisse détecter un obstacle situé à une distance inférieure à d_{min} ? Justifier votre réponse.

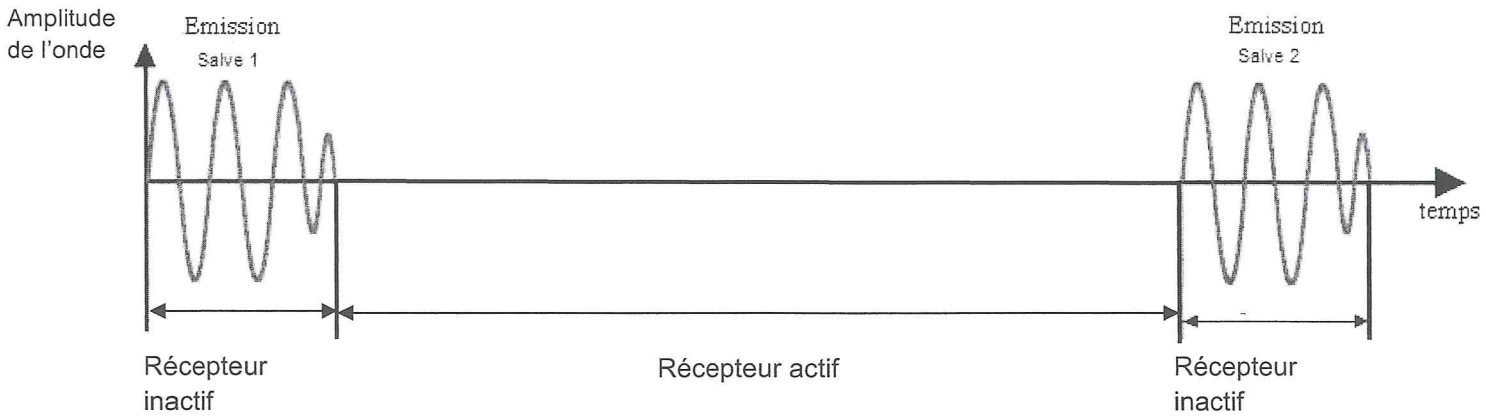
2.6. Montrer que la valeur de la portée maximale de ce capteur est liée essentiellement à une des caractéristiques du signal émis.

3. Les radars, les capteurs ultrasonores et les capteurs lasers permettent avec des similitudes dans leur principe de fonctionnement de détecter un obstacle. Pourquoi ne pas utiliser alors un seul de ces trois types de capteurs dans un projet de voiture autonome ?
On rédigera une réponse argumentée en s'appuyant sur des informations tirées des différents documents utilisés, y compris le tableau de l'annexe.

ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

Exercice III

Tableau à compléter

Capteur	Type d'onde utilisée par le capteur : mécanique / électromagnétique	Points forts	Points faibles
Radar	.....	Longue portée, robustesse face aux conditions météorologiques, bonne performance de détection.	Pollution électromagnétique, coût relativement élevé, encombrement, interférences électromagnétiques.
Capteurs à ultrasons	.....	Réalisation simple, coût abordable, traitement simple des données.	Précision de détection sujette à la température, sensibilité aux conditions météorologiques.
Capteur laser (LIDAR)	.....	Longue portée, grande précision, bonne résolution, coût accessible.	Dérèglements fréquents, grande sensibilité aux conditions météorologiques, interférences.

Fonctionnement de l'émetteur du radar de recul