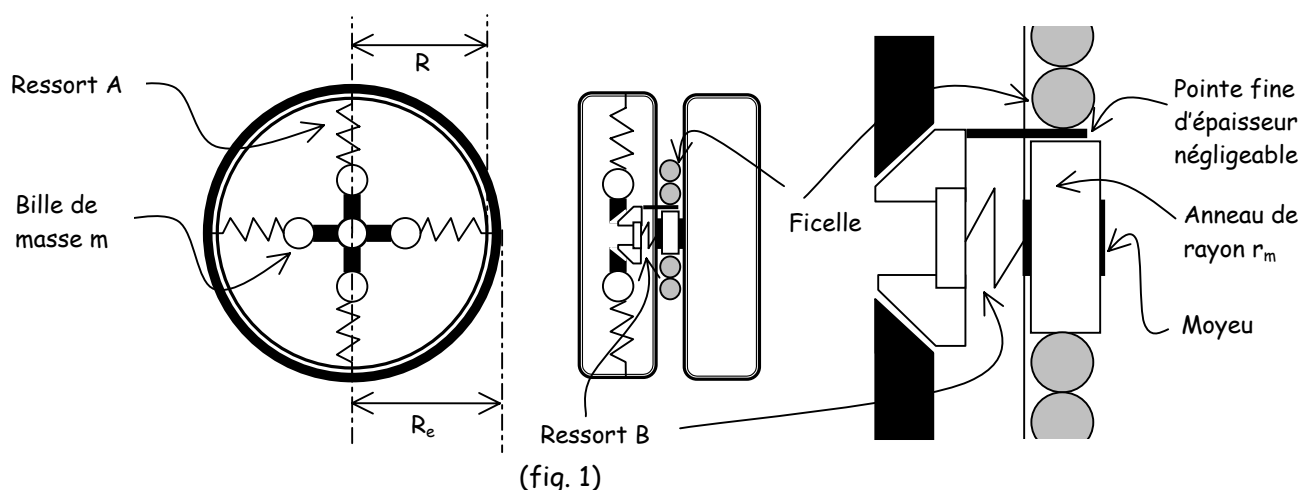


PHYSIQUE

Partie A : Mécanique du yo-yo à débrayage.

Ce problème propose l'étude d'un yo-yo moderne muni d'un système d'embrayage centrifuge qui permet la roue libre.

Le yo-yo utilisé dans ce problème est représenté schématiquement sur la figure 1.



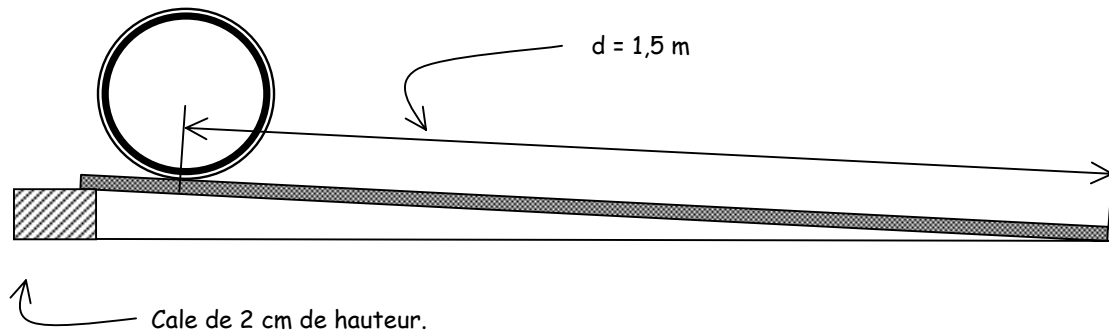
La ficelle est placée sur l'anneau parfaitement ajusté sur le moyeu central du yo-yo. Pour que la ficelle s'enroule autour de l'anneau, une petite pointe cylindrique rétractable est sortie lorsque le yo-yo ne tourne pas suffisamment rapidement. Le dispositif permettant la roue libre est constitué de quatre ressorts identiques (ressorts A de la fig. 1). Quand la vitesse de rotation du yo-yo a atteint une valeur limite, les ressorts A sont comprimés, et la pointe, sous l'effet du ressort B se rétracte dans le corps du yo-yo. L'anneau sur lequel la ficelle s'enroule est alors libre de tourner autour du moyeu sans contrainte : le yo-yo est en roue libre.

On utilisera les grandeurs mécaniques et les notations suivantes :

Masse totale du yo-yo	$M = 51,3 \text{ g}$
Masse d'une bille	$m = 2,3 \text{ g}$
Distance à l'axe de rotation des billes au repos	$r_0 = 12 \text{ mm}$
Rayon intérieur du yo-yo	$R = 24 \text{ mm}$
Rayon extérieur du yo-yo	$R_e = 28 \text{ mm}$
Constante de rappel d'un ressort A	$k = 444 \text{ Nm}^{-1}$
Longueur à vide d'un ressort A	$l_0 = 10 \text{ mm}$
Moment d'inertie du yo-yo par rapport à l'axe de rotation	J
Accélération de la pesanteur	$g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$
Diamètre de la ficelle de masse négligeable	$\varepsilon = 1 \text{ mm}$
Rayon de l'anneau	$r_m = 4 \text{ mm}$
Longueur totale de la ficelle	$l = 1 \text{ m}$
Vitesse angulaire du yo-yo	$\dot{\varphi}$

A -I Mesure du moment d'inertie

Pour mesurer le moment d'inertie J par rapport à l'axe de rotation, on fait rouler le yo-yo sans glisser sur un plan incliné (fig. 2). Il roule sur une longueur $d = 1,5$ m et la durée de parcours est $t = 5,1$ s. Le yo-yo est abandonné sans vitesse initiale.

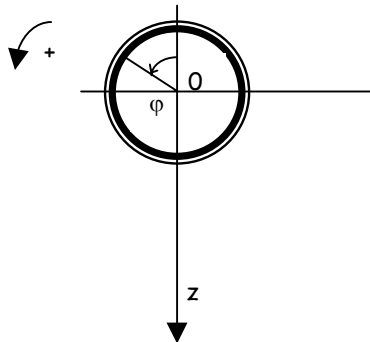


(fig. 2)

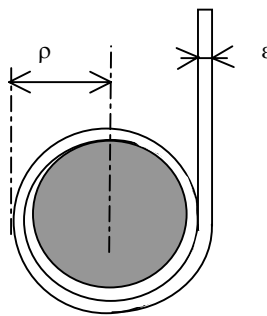
- 1 - L'énergie mécanique du yo-yo se conserve-t-elle ? Pourquoi ?
- 2 - A partir d'un bilan d'énergie, établir l'équation horaire du mouvement du yo-yo, et en déduire l'expression du moment d'inertie. Application numérique. On négligera les frottements fluides.

A - II La chute verticale du yo-yo.

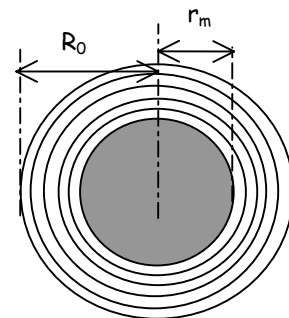
Le yo-yo est cette fois-ci uniquement soumis à son propre poids. On néglige en particulier le frottement fluide du yo-yo dans l'air. La ficelle est totalement enroulée autour de l'anneau et chaque tour de ficelle vient se superposer aux précédents uniquement dans le plan vertical comme le montre la figure 1. Le yo-yo est abandonné sans vitesse initiale. L'axe vertical est orienté positivement vers le bas. Le yo-yo se déroule dans le sens trigonométrique (fig. 3). On constate au cours de cette expérience que la mise en roue libre n'a pas lieu.



(fig. 3)



(fig. 4)



(fig. 5)

- 1 - Le yo-yo "académique".
Pour le yo-yo "académique", on considère le diamètre de la ficelle nul. Le yo-yo est lâché sans vitesse initiale de la côte $z = 0$. Déterminer sa vitesse $\dot{z}$ en fonction de z .

- 2 - Le yo-yo réel.

En revanche, pour le yo-yo réel, on ne néglige plus le diamètre de la ficelle. On note ε ce diamètre.

a - Déterminer l'évolution du rayon, noté ρ (fig. 4), due aux surépaisseurs de ficelle en fonction de R_0 , ε et φ . R_0 correspond au rayon de l'anneau entouré de la totalité de la ficelle (fig. 5).

b - En déduire la relation $z(\varphi)$. On introduira avantageusement les coordonnées polaires (ρ, φ) . Enfin, montrer que φ en fonction de z s'écrit :

$$\varphi = \frac{2\pi R_0}{\varepsilon} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{\varepsilon z}{\pi R_0^2}} \right)$$

On ne gardera que les termes d'ordre 1 en ε/R_0 .

c - Montrer que dans le cas du yo-yo réel sa vitesse $\dot{z}$ en fonction de z s'exprime par la relation suivante :

$$\dot{z} = \sqrt{\frac{2Mgz}{\frac{J}{R_0^2 - \frac{\varepsilon z}{\pi}} + M}}$$

d - On rappelle que la longueur totale de la ficelle est l . A partir des résultats établis en II - 2 - a et II - 2 - b, établir une relation entre le rayon de anneau r_m , R_0 , ε et l . En déduire que $\dot{z}(z)$ s'écrit :

$$\dot{z} = \sqrt{\frac{2Mgz}{\frac{J}{r_m^2 - \frac{\varepsilon(z-l)}{\pi}} + M}}$$

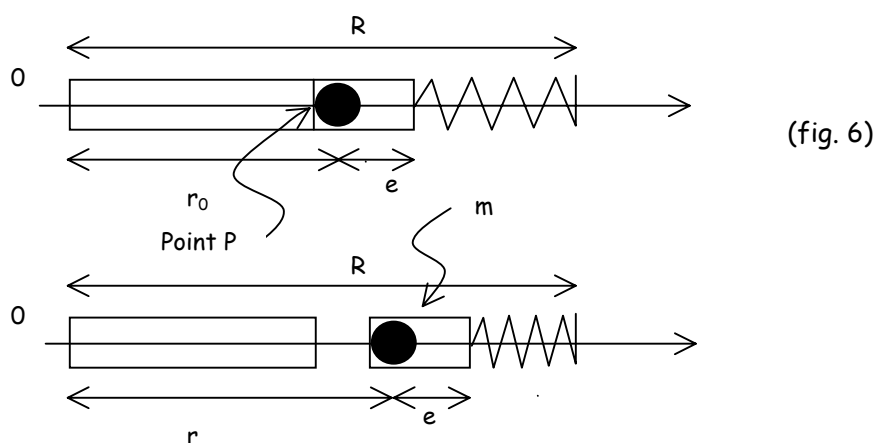
e - Représenter sur un même graphe $\dot{z}(z)$ pour le yo-yo "académique" et le yo-yo réel. Commenter les courbes obtenues. On fera de même avec la vitesse angulaire : $\dot{\varphi}(z)$.

f - Calculer le temps de chute pour le yo-yo "académique". Application numérique. Le temps de chute du yo-yo réel ne peut être calculé que numériquement. On obtient, $\Delta t = 0,56$ s. Expérimentalement, les temps de chutes ont été mesurés à 1,5 s pour le yo-yo "académique", à l'aide d'une ficelle extrêmement fine, et à 0,72 s pour le yo-yo réel. Comparer ces valeurs aux résultats théoriques. Conclusion.

A - III Etude énergétique du dispositif de mise en roue libre.

Dans cette étude, le yo-yo est uniquement en rotation.

Le dispositif permettant la roue libre, lorsque une vitesse angulaire suffisante est atteinte, peut être modélisé, pour une bille, par le dispositif suivant :



On assimile chaque bille à un objet ponctuel de masse m placée à la distance r de l'axe de rotation (fig. 6). Chaque bille est placée dans un carénage en matière plastique, de masse négligeable, qui écarte d'une distance $e = 6 \text{ mm}$ la bille du point d'attache du ressort. Cette distance est constante.

1 - Déterminer, dans un référentiel lié au yo-yo, l'énergie potentielle du yo-yo en fonction de r , $\dot{\varphi}$, k , R , e et l_0 . On négligera l'énergie potentielle de pesanteur.

2 - Représenter avec soin le graphe $E_p(r)$ pour différentes valeurs de $\dot{\varphi}$. On pourra prendre $\dot{\varphi} = \{0, 200, 300, 400, 500\} \text{ rad.s}^{-1}$.

3 - Pour quelle valeur limite de la vitesse angulaire de rotation du yo-yo $\dot{\varphi}_1$ le contact au niveau du point P est-il rompu ? Application numérique.

4 - Enfin, pour permettre à la pointe cylindrique "anti roue libre" de se rétracter dans le corps du yo-yo, le centre de masse de la bille doit être décalé de 5 mm. Evaluer à partir de quelle vitesse angulaire notée $\dot{\varphi}_{RL}$ le yo-yo est en roue libre. Expérimentalement, cette vitesse est mesurée à 470 rad.s^{-1} . Conclusion.

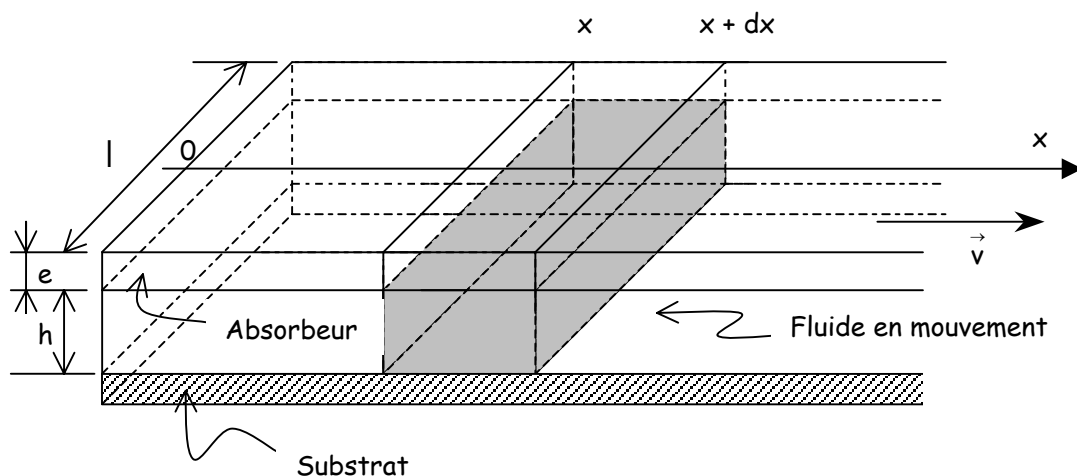
Fin de la partie A.

Partie B : Etude d'un capteur solaire.

On étudie un capteur solaire constitué de la façon suivante (fig. 7) :

- un absorbeur homogène, fixe, d'épaisseur e , de longueur L et de largeur l , destiné à capter le rayonnement solaire qu'il reçoit uniformément sur toute sa surface, et dont il absorbe une puissance $P_s(x, t)$ par unité de surface à l'instant t .

- un fluide "caloporteur" s'écoule à la vitesse $\vec{v}$ uniforme et constante, orientée parallèlement à la longueur de l'absorbeur ; la section de la veine fluide est rectangulaire de largeur l et de hauteur h . L'écoulement fluide est contenu entre l'absorbeur fixe dans le référentiel d'étude, sur sa face supérieure et un substrat isolant, sur sa face inférieure.



(fig. 7)

Le problème est unidirectionnel suivant la direction Ox. L'axe Ox est orienté selon la longueur de l'absorbeur et dans le sens de la vitesse $\vec{v}$ de l'écoulement (fig. 7).

On appellera $T_a(x,t)$, la température locale de l'absorbeur à l'abscisse x et à l'instant t , et $T(x,t)$ le champ de température du fluide. La température de l'air extérieur au contact de l'absorbeur, supposée constante, est notée T_0 . Le fluide entre dans le capteur à la température $T_e(t)$ à l'abscisse $x = 0$.

Les échanges thermiques concernant les différentes parties du capteur sont limités aux quantités de chaleurs échangées par convection, et peuvent se modéliser par des quantités de chaleur échangées, par unité de surface et de temps :

- d'une part, à l'interface air - absorbeur : $\alpha_0(T_a(x,t) - T_0)$ dans le sens absorbeur $\rightarrow$ air,

- d'autre part, à l'interface fluide - absorbeur : $\alpha_f(T_a(x,t) - T(x,t))$ dans le sens absorbeur $\rightarrow$ fluide.

On négligera les pertes thermiques entre le fluide et le substrat isolant.

Le fluide a une capacité thermique massique C et une masse volumique μ , uniformes et constantes dans l'écoulement. L'absorbeur a une masse totale M_a et une capacité thermique massique C_a , uniforme et constante.

B - 1 Effectuer un bilan d'énergie pour l'absorbeur, et en déduire une équation différentielle reliant $T_a(x,t)$, $T(x,t)$ et $P_s(t)$.

B - 2 On cherche à établir un bilan d'énergie pour le fluide.

On définit la surface de contrôle S_c comme l'enveloppe du fluide compris entre x et $x + dx$.

En raisonnant sur un système fermé que l'on prendra soin de définir précisément, établir une équation aux dérivées partielles reliant les fonctions $T_a(x,t)$ et $T(x,t)$.

B - 3 On néglige la capacité thermique de l'absorbeur. Quelle est la conséquence physique de cette approximation ? Cette approximation sera conservée dans la suite du problème.

Déduire des deux équations précédentes l'équation aux dérivées partielles à laquelle obéit le champ $T(x, t)$.

B - 4 Le régime de fonctionnement est maintenant stationnaire.

Intégrer l'équation différentielle en $T(x)$.

On posera : $T^* = T_0 + \frac{P_s}{\alpha_0}$ et $\frac{L}{\eta} = \mu.h.C.v. \frac{(\alpha_0 + \alpha_f)}{\alpha_0 \alpha_f}$ soit encore : $\eta = A.B$ avec $A = \frac{\alpha_f}{\alpha_0 + \alpha_f}$.

Donner une interprétation physique de la température T^* et vérifier que le paramètre η est sans dimension physique.

B - 5 Exprimer la température $T(L)$ du fluide à la sortie du capteur. Déterminer le signe de la différence $(T_e - T^*)$.

Indiquer comment optimiser la valeur de $T(L)$ en considérant les expressions des rapports A et B définis ci-dessus. Dégager les conclusions physiques de vos résultats en ce qui concerne l'importance relative des deux échanges thermiques considérés.

B - 6 Déterminer la puissance totale P fournie par le capteur correspondant à la puissance reçue par le fluide lors de la traversée du capteur.

B - 7 Application numérique :

Le fluide utilisé est de l'eau ; son débit volumique est de 20 litres par heure. La surface irradiée du capteur est $L = 2 \text{ m}^2$. Le flux solaire est $P_s = 640 \text{ W.m}^{-2}$. On prendra $A = 1$; $T_o = 283 \text{ K}$; $T_e = 293 \text{ K}$; $\mu.C = 4,18.10^6 \text{ J.m}^{-3}$; $\alpha_0 = 4 \text{ W.m}^{-2}.K^{-1}$.

Calculer numériquement T^* , η , P et $T(L)$.

Fin de la partie B.

CHIMIE

Partie C : A propos des halogènes.

On propose dans cette partie une étude de quelques aspects de la chimie des halogènes.

C - I L'élément.

- 1 - Citer les éléments appartenant à la famille des halogènes.
- 2 - Quelle est la place dans la classification périodique de la famille des halogènes ?
- 3 - Donner la configuration électronique à l'état fondamental de quatre halogènes, en précisant le nom des principes et règles qui vous ont permis de les obtenir.
- 4 - Déterminer les rayons ioniques $r(I^-)$, $r(Br^-)$, $r(Cl^-)$, $r(F^-)$.
- 5 - Comparer aux valeurs expérimentales $r_{exp}(I^-) = 216 \text{ pm}$ et $r_{exp}(Br^-) = 195 \text{ pm}$.

Conclusion ?

- 6 - Qu'est-ce que la polarisabilité ? De quoi dépend-elle ? Classer les anions des halogènes par polarisabilité croissante.

- 7 - Commenter l'évolution de l'énergie d'ionisation au sein des halogènes ?

	F	Cl	Br	I
Energie d'ionisation (eV)	17,4	13,0	11,8	10,5

C - II Les molécules diatomiques.

- 1 - Quel est l'état physique à $T = 25^\circ\text{C}$ et à la pression de 1 bar du difluor, du dichlore, du dibrome et du diiode. Expliquer ces différences d'état physique.

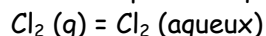
- 2 - Le diiode cristallise suivant un système orthorhombique à faces centrées. Les paramètres de maille sont : $a = 725 \text{ pm}$, $b = 977 \text{ pm}$, et $c = 478 \text{ pm}$. On considérera la molécule de diiode ponctuelle.

a - Quelle est la nature du cristal de diiode ?

b - Combien de molécules de diiode contient la maille orthorhombique conventionnelle du diiode.

c - Quelle est la densité du diiode solide ?

- 3 - Le dichlore est un gaz peu soluble dans l'eau. Pour évaluer sa solubilité, on fait barboter du dichlore gazeux sous la pression $p(\text{Cl}_2) = 1 \text{ bar}$ dans un volume $V_1 = 100 \text{ mL}$ d'eau pure, suffisamment longtemps pour que l'équilibre entre les phases aqueuse et gazeuse soit considéré comme atteint :



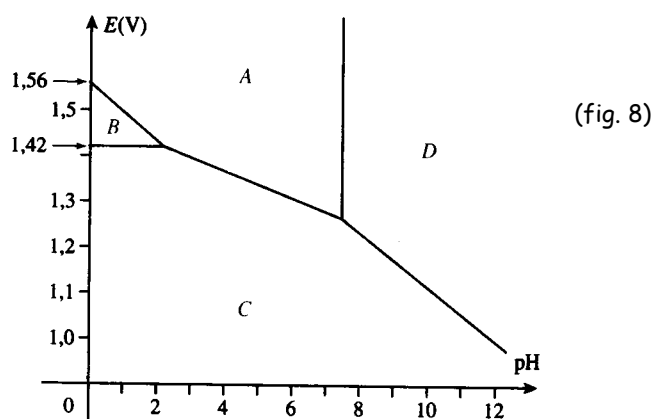
a - L'utilisation du dichlore gazeux est-elle autorisée en laboratoire ? Justifier.

b - Exprimer l'enthalpie libre standard de la réaction en fonction des potentiels chimiques standard des deux constituants, et donner l'enthalpie libre standard de réaction. Application numérique.

c - En déduire la constante d'équilibre K_1^0 de cette réaction à 25°C .

- 4 - On donne le diagramme potentiel-pH de l'élément chlore à 25°C (fig. 8) avec une concentration de travail égal à $0,10 \text{ mol.L}^{-1}$. La convention choisie est l'égalité des concentrations

en atomes de chlore à la frontière. Les espèces considérées sont Cl_2 aqueux, l'acide hypochloreux HClO , l'ion hypochlorite ClO^- , et l'ion chlorure Cl^- . La pression des gaz est prise égale à 1 bar.



- a - Identifier chacun des domaines A, B, C et D en précisant le nombre d'oxydation de l'élément chlore.
 - b - Que pensez-vous de la stabilité du dichlore en solution ?
 - c - L'eau de Javel est un mélange équimolaire de chlorure de sodium, et d'hypochlorite de sodium. Pourquoi est-il déconseillé d'acidifier une solution d'eau de Javel ? Justifier à l'aide du diagramme potentiel-pH.
- 5 -
 - a - On donne, à 25 °C, $E^0(\text{I}_2(\text{sol})/\text{I}^-(\text{aq})) = 0,536 \text{ V}$ et $E^0(\text{I}_2(\text{aq})/\text{I}^-(\text{aq})) = 0,621 \text{ V}$, calculer la constante de solubilité de : $\text{I}_2(\text{solide}) = \text{I}_2(\text{aqueux})$.
 - b - En déduire la solubilité du diode. Que pensez-vous de cette solubilité ?
 - c - Quelle précaution particulière prend-t-on au laboratoire pour préparer une solution de diode à $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$?

C - III Comparaison des propriétés des composés halogénés.

Les dérivés halogénés sont une classe de composés organiques dont les applications sont nombreuses et diverses dans les domaines industriel, agricole, médical et domestique.

- 1 - Comparer la longueur des liaisons C-X (où X = F, Cl, Br, I) dans les molécules de $\text{CH}_3\text{-X}$.

	$\text{CH}_3\text{-F}$	$\text{CH}_3\text{-Cl}$	$\text{CH}_3\text{-Br}$	$\text{CH}_3\text{-I}$
Longueur de la liaison (pm)	138,5	178,4	192,9	213,9

- 2 - Définir le moment dipolaire. Comparer et interpréter l'évolution des moments dipolaires des liaisons C-X (où X = F, Cl, Br, I).

	C-F	C-Cl	C-Br	C-I
μ (Debye)	1,92	2,05	2,01	1,87

- 3 - Expliquer les différences de température d'ébullition entre les halogénoalcane et l'alcane associé.

	CH_4	$\text{CH}_3\text{-F}$	$\text{CH}_3\text{-Cl}$	$\text{CH}_3\text{-Br}$	$\text{CH}_3\text{-I}$
T_{eb} sous P^0 (en °C)	- 161,7	- 78,4	- 24,2	3,2	42,4

C - IV Réactivité des composés halogénés.

On réalise deux séries d'expériences :

- Expérience (a) : On place 10 mL d'une solution d'iodure de sodium (NaI) dans l'acétone (solution à 15%) dans deux tubes à essai. On ajoute 10 gouttes de 1-bromobutane dans un tube, et dans l'autre tube 10 gouttes de 2-bromobutane. Dans le premier tube, du bromure de sodium précipite au bout de 3 minutes alors qu'il faut plus de trente minutes pour le second tube.
- Expérience (b) : On reprend le même mode opératoire en utilisant une solution de nitrate d'argent dans l'éthanol à la place de l'iodure de sodium. Les composés halogénés sont maintenant

le 2-bromobutane et le 2-méthyl-2-bromopropane. Dans le tube contenant le 2-bromobutane, le bromure d'argent se forme au bout de 15 secondes alors qu'il ne faut que quelques secondes dans le tube contenant le 2-méthyl-2-bromopropane.

1 - A propos de l'expérience (a).

a - Ecrire les équations bilans des deux réactions de l'expérience (a). De quel(s) type(s) de mécanisme(s) peut-il s'agir ?

b - Quel est le nucléophile dans l'expérience (a) ? Quel est le nucléofuge ?

c - Que pensez-vous de la force du nucléophile ?

d - Quelle est la nature du solvant dans l'expérience (a).

e - Les résultats précédents précisent-ils le type de mécanisme ? La réponse devra être justifiée. Donner le mécanisme de la réaction la plus rapide.

f - Proposer un classement de la réactivité des halogénures fondé sur le résultat de la question précédente.

2 - A propos de l'expérience (b).

a - Dans l'expérience (b), quel est le nucléophile ? Que pensez-vous de sa force ?

b - Donner la nature du solvant ?

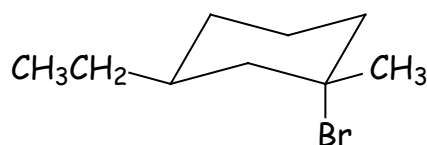
c - Préciser l'utilité du nitrate d'argent ?

d - Les résultats précédents précisent-ils le type de réaction ? La réponse devra être justifiée. Vous donnerez un classement de la réactivité suivant la classe de l'halogénure.

e - Donner le mécanisme de la réaction la plus rapide.

C - V Caractéristiques stéréochimiques.

Soit le composé I suivant :



1 - Nommer ce composé. Préciser la configuration absolue du (ou des) carbone(s) asymétrique(s).

2 - On fait réagir I avec le méthanol. On obtient alors un mélange équimolaire de deux composés J₁ et J₂, de formule brute : C₁₁H₂₂O.

a - Représenter ces composés.

b - Discuter du pouvoir rotatoire du mélange.

3 - On fait cette fois réagir I avec de la soude. Plusieurs réactions sont en compétition. Elles conduisent aux produits K et L de formule respective : C₉H₁₆ et C₉H₁₈O. Discuter des réactions en jeu et des produits obtenus.

4 - M est le produit obtenu en substituant à I le groupement éthyle par le groupement tertiobutyle. N est l'isomère de M où le brome et le groupement tertiobutyle sont en position syn.

a - Représenter N et M.

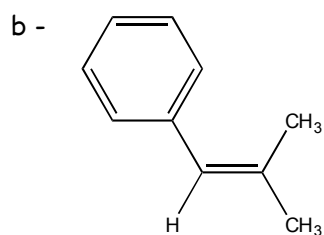
b - Expliquer pourquoi M réagit environ 500 fois plus vite avec l'ion tertiobutylate (CH₃)₃CO⁻ que l'isomère N pour une réaction de type E₂.

C - VI Préparations des composés halogénés à partir des alcènes.

Les alcènes permettent de produire des composés halogénés et des composés dihalogénés vicinaux.

1 - Indiquer les composés formés lors de l'addition de HBr, en milieu polaire, sur les alcènes suivants, on discutera de la régiosélectivité :

a - propène.



- 2 - a - L'addition de dibrome sur le (Z)-but-2-ène conduit à un produit dédoublable en deux énantiomères. Représenter ces deux énantiomères en projection de Newman.
b - Quelle conclusion peut-on en tirer quant au mécanisme ?

Données :

- Numéro atomique : $Z(\text{F}) = 9$; $Z(\text{Cl}) = 17$; $Z(\text{Br}) = 35$; $Z(\text{I}) = 53$.
- Modèle de Slater :

Groupe de l'électron étudié	CONFIGURATION DES AUTRES ELECTRONS						
	Niveaux	Niveaux	Autres électrons de niveau n				Niveaux supérieurs
	n-2, n-3,...	n-1	1s	s et p	d	f	
1s			0.30				0
s et p	1.00	0.85		0.35	0	0	0
d	1.00	1.00		1.00	0.35	0	0
f	1.00	1.00		1.00	1.00	0.35	0

n : nombre quantique principal	1	2	3	4	5
n* : nombre quantique principal apparent	1	2	3	3,7	4,0

- Potentiel chimique à 25 °C : $\mu^0(\text{Cl}_2(\text{aq})) = 5,7 \text{ kJ.mol}^{-1}$; $\mu^0(\text{Cl}_2(\text{g})) = 0,0 \text{ kJ.mol}^{-1}$.
- Rayon covalent : $R_c(\text{F}) = 71 \text{ pm}$; $R_c(\text{Cl}) = 99 \text{ pm}$;
 $R_c(\text{Br}) = 114 \text{ pm}$; $R_c(\text{I}) = 133 \text{ pm}$.
- Rayon de Bohr : $a_0 = 53 \text{ pm}$.
- Constante d'Avogadro : $N = 6,022.10^{23} \text{ mol}^{-1}$.
- Constante de Faraday : $F = 96485 \text{ C.mol}^{-1}$.
- Masse molaire atomique de l'iode : $M(\text{I}) = 126,9 \text{ g.mol}^{-1}$.
- Constante des gaz parfait : $R = 8,314 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

Fin de la partie C

Fin du sujet.