

# Épreuve de Physique-Chimie - 4 Novembre

Durée : 4h

- L'usage de la calculatrice est interdit.
- Un résultat d'application numérique **ne doit pas** contenir d'opérations ou de fonctions (fraction, racine, logarithme, etc.) et **sera compté comme faux** s'il en contient.
- Les expressions littérales seront encadrées, et les applications numériques soulignées. **Une application numérique sans unité sera considérée fautive.**
- Si vous constatez ce qui vous semble être une erreur d'énoncé, indiquez le sur votre copie. Vérifiez tout de même que l'erreur ne provient pas de vous (homogénéité, ordre de grandeur, etc.).

## 1 Optique de l'appareil photo (extrait du concours CCINP 2021 filière MP)

### 1.1 Objet et image

On modélise un appareil photo (figure 1) par l'association d'une lentille mince ( $L$ ) de focale  $f' = \overline{OF'}$  appelée "objectif", d'un capteur ( $C$ ) sur lequel on souhaite récupérer l'image et d'un diaphragme ( $D$ ) placé devant la lentille.

La distance  $d$  entre la lentille ( $L$ ) et le capteur ( $C$ ) est réglable, grâce à un mécanisme lié à l'objectif ; elle est comprise entre  $d_{\min}$  et  $d_{\max}$ .

À l'aide de cet appareil, on souhaite former sur le capteur l'image d'un arbre de hauteur  $h$  situé à une distance  $L$  devant l'objectif.

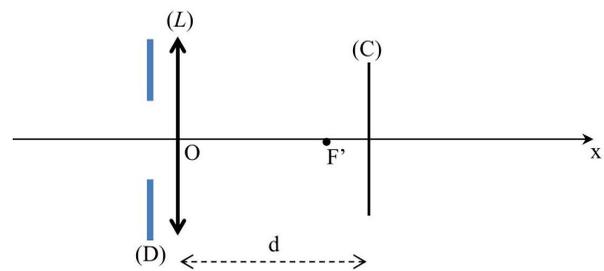


FIGURE 1 – Modélisation d'un appareil photo

1. La lentille mince est utilisée dans les "conditions de Gauss". Préciser en quoi elles consistent.

Les conditions de Gauss consistent à travailler avec des lentilles éclairées par des rayons paraxiaux, c'est à dire peu inclinés et voisin de l'axe optique. Ces conditions permettent d'obtenir les propriétés de stigmatisme et d'aplanétisme nécessaire à la modélisation des lentilles minces (l'obtention des formules de conjugaison en dépend par exemple).

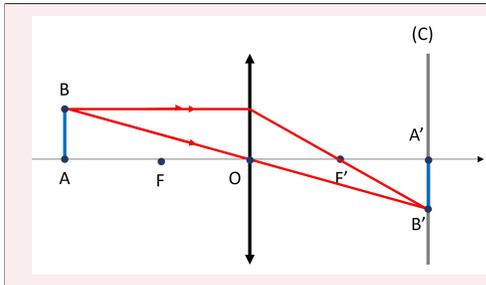
/1 paraxiaux (= peu incliné + voisin)  
/1 stigmatisme et aplanétisme approché

2. Quelle partie de l'appareil permet d'assurer que ces conditions sont remplies ?

Le diaphragme permet de limiter la lumière rentrante dans une zone proche de l'axe optique. *La question devrait être au pluriel ("quelles parties") car la taille du capteur et sa distance à la lentille joue aussi un rôle pour ne considérer que les rayons peu inclinés. De plus la taille d'un pixel influe sur l'appréciation de stigmatisme et d'aplanétisme approchée !*

/1 Le diaphragme.  
+1 Remarque pertinente sur le fait que le diaphragme n'est pas la seule partie à prendre en compte.

3. Faire un schéma soigné de la situation en notant  $AB$  l'objet et  $A'B'$  son image sur le capteur ( $A$  est sur l'axe et  $AB$  appartient à un plan orthogonal à l'axe). Positionner les foyers principaux et tracer au moins deux rayons lumineux issus de  $B$  pour justifier la position de l'image  $A'B'$ .



- /1 Deux rayons minimum et position correcte de A'B' sur le capteur.
- /1 F et F' présents sur le schéma (faux si les points focaux F et F' sont notés comme les distances focales f et f').

4. Exprimer la taille  $\overline{A'B'}$  de l'image de l'arbre sur le capteur en fonction de  $h$ ,  $f'$  et  $L$ . Calculer cette taille avec  $f' = 50 \text{ mm}$ ,  $h = 5 \text{ m}$  et  $L = 20 \text{ m}$ .

On utilise  $\frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{FO}}{\overline{FA}}$  sachant que  $\overline{FO} = f'$ ,  $\overline{AB} = h$  et  $\overline{FA} = -(L - f') \simeq L$  :

$$\overline{A'B'} \simeq -\frac{hf'}{L}$$

A.N.  $\overline{A'B'} = -13 \text{ mm}$  (- 12,5 mm avec 3cs)

- /1 Expression juste en valeur absolue (avec ou sans approximation).
- /1 signe (image inversée) ou remarque sur une erreur d'énoncé qui appelle  $\overline{A'B'}$  la taille,
- /1 A.N.

Rappel : l'objet AB et l'image A'B' donnée par la lentille mince de centre O et de foyers principaux F (objet) et F' (image) dans les conditions de Gauss sont liés par les relations :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'}} \quad ; \quad \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} \quad ; \quad \overline{F'A'} \cdot \overline{FA} = -(\overline{OF'})^2 \quad ; \quad \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{F'A'}}{\overline{FO}} = \frac{\overline{FO}}{\overline{FA}}$$

5. Quelle est la valeur de  $d$  lorsque l'objet est à l'infini ?

Pour  $OA \rightarrow \infty$ ,  $d = \overline{OA'} \rightarrow f'$  d'après la formule de conjugaison de Descartes.

- /1  $d = f'$
- /1 justification par la formule de conjugaison.

6. Montrer qu'il existe une distance limite notée  $L_{\min}$  en dessous de laquelle il ne sera pas possible d'obtenir une image sur le capteur, alors que ce serait toujours possible pour des valeurs supérieures à  $L_{\min}$ .

Lorsque l'objet s'approche de la lentille,  $-\overline{OA}$  diminue donc  $+1/\overline{OA}$  diminue.  $+1/\overline{OA'}$  ( $= 1/f' + 1/\overline{OA}$  d'après la formule de conjugaison) diminue soit  $\overline{OA'}$  augmente : l'image s'éloigne de la lentille quand l'objet s'en approche. Or le capteur ne peut pas être plus éloigné de la lentille que la valeur  $d_{\max}$ , il existe donc une distance limite comme l'indique l'énoncé. Au contraire si l'objet s'éloigne d'après la question précédente l'image se rapproche du plan focal image. Si  $d_{\min} \leq f'$  alors pour un objet situé au delà de la distance  $L_{\min}$ , l'image sera située à une distance  $d$  vérifiant  $f' \leq d \leq d_{\max}$

- /1 Formule de conjugaison utilisé conjointement aux variations.
- /1 Utilisation de la question précédente et encadrement de  $d$ .
- +1 Remarque sur le fait que l'énoncé ne parle pas de la résolution du capteur qui permettrait d'avoir une borne minimale dépendant réellement de la netteté de l'image et non pas d'une condition de stigmatisme!!!

7. Exprimer  $L_{\min}$  en fonction de  $f'$  et  $d_{\max}$ .

Pour chercher la distance lentille-objet minimale il faut supposer que l'écran est éloigné au maximum de la lentille. On a alors  $\overline{OA'} = d_{\max}$  et, grâce à la formule de conjugaison,  $L_{\min} = -\overline{OA_{\min}} = \frac{d_{\max}f'}{d_{\max} - f'}$ .

- /1 Expression avec le bon signe.

8. Calculer  $L_{\min}$  pour  $f' = 50 \text{ mm}$  et  $d_{\max} = 55 \text{ mm}$ .

A.N.  $L_{\min} = 0,55 \text{ m}$

- /1 AN

## 1.2 Influence de la focale

On souhaite obtenir une image de l'arbre sur le capteur plus grande sans changer de place (donc en gardant la même valeur pour  $L$ ). On change donc l'objectif et on le remplace par un objectif de focale  $f'_1 = 100$  mm. La distance  $d$  est toujours réglable mais les valeurs  $d_{\min}$  et  $d_{\max}$  sont différentes des valeurs calculées précédemment.

9. Quelle sera la taille de l'image de l'arbre sur le capteur ?

En reprenant le raisonnement et formule de la question 4, doubler la distance focale rendra l'image de l'arbre sur le capteur deux fois plus grande (25 mm). /1 25 mm

10. Si on suppose que le capteur a pour dimensions : 24 mm × 36 mm, sera-t-il possible de voir l'arbre en entier sur la photo obtenue ?

Oui en mode portrait, 25mm < 36 mm. /1 Mode portrait.

11. L'objectif utilisé est appelé "téléobjectif" ou "objectif de longue focale". Sur un site internet dédié à la photographie, on peut lire que ce genre d'objectif "rapproche les objets". Commenter cette phrase en indiquant la part de vérité ou d'inexactitude qu'elle contient. Un raisonnement et un calcul numérique sont attendus (en utilisant une approximation justifiée).

Pour une taille de capteur identique, augmenter  $f'$  permet d'augmenter la taille de l'image. Le même phénomène est obtenu lorsque l'on se rapproche de l'objet (on ne se rapproche en rien de l'objet en changeant la focale). À titre de comparaison, doubler la focale dans ce cas à le même effet que diviser par deux la distance à l'objet d'après la formule Q4 : un 50 mm à 10 m de distance équivaux à un 100 mm à 20 m de distance. /1 Se rapprocher d'un objet ou augmenter la focale à le même effet. /1 Calcul sur exemple.

On souhaite maintenant réaliser un téléobjectif en utilisant deux lentilles : une lentille ( $L_1$ ) convergente et une lentille ( $L_2$ ) divergente, séparées par une distance  $e$ . La distance  $L$  entre ( $L_1$ ) et l'arbre n'a pas changé.

La lentille ( $L_1$ ), de focale  $f'_1$ , donne de l'arbre AB une image intermédiaire  $A_1 B_1$  qui joue le rôle d'objet pour la lentille ( $L_2$ ), de focale  $f'_2$ , qui en donne une image finale  $A'B'$ .

12. Exprimer la distance  $\overline{O_2 A_1}$  en fonction de  $f'_1$  et  $e$  (en utilisant une approximation justifiée).

$\overline{O_1 A_1} = f'_1 \left(1 + \frac{f'_1}{L - f'_1}\right) \simeq f'_1$  car  $f'_1 \ll L$ . Or  $\overline{O_2 A_1} = \overline{O_2 O_1} + \overline{O_1 A_1}$  soit /1 Approximation, /1 formule.  
 $\overline{O_2 A_1} \simeq -e + f'_1$ .

13. L'image  $A'B'$  doit être réelle. En déduire que la distance  $e$  entre les centres des deux lentilles doit être située dans une plage de valeurs bien précise. Exprimer cette condition sur  $e$  sous la forme d'une double inégalité sur  $e$ ,  $f'_1$  et  $f'_2$  (en utilisant une approximation justifiée).

Si l'image à travers la lentille divergente est réelle, l'objet ne peut pas être réel (formule de conjugaison ou constat empirique) :  $\overline{O_2 A_1}$  doit être positif. On a donc  $e < f'_1$ . Pour trouver la deuxième borne il faut utiliser la formule de conjugaison :  $1/\overline{O_2 A'} = 1/f'_2 + 1/\overline{O_2 A_1} > 0$  on obtient en remplaçant  $\overline{O_2 A_1}$  par son expression  $e > f'_1 + f'_2$ . /1 Borne supérieure, /1 borne inférieure.

14. Vérifier que cette condition est réalisée avec  $f'_1 = 10$  cm,  $f'_2 = -5$  cm et  $e = 8$  cm.

5 cm < 8 cm < 10 cm la condition est réalisée. /1 A.N.

Avec les valeurs numériques de la question 14 :

15. Calculer la distance  $d$ .

$$\overline{O_2A_1} = -8 + 10 = 2 \text{ cm et } \overline{O_2A'} = \frac{-5 \times 2}{2 - 5} = 3 \text{ cm avec 1cs. } d = \overline{O_2A'} = 11 \text{ cm} \quad /1 \text{ AN } \overline{O_2A'}$$

16. Calculer la taille de l'image  $\overline{A'B'}$  de l'arbre sur le capteur.

Avec les formules de grandissement :  $\frac{\overline{A_1B_1}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{O_1A_1}}{\overline{O_1A}}$  et  $\frac{\overline{A'B'}}{\overline{A_1B_1}} = \frac{\overline{O_2A'}}{\overline{O_2A_1}}$  /1 Formules de grandissement,  
 /1 expression,  
 /1 A.N.  
 soit :  $\overline{A'B'} = \overline{AB} \times \frac{\overline{O_1A_1}}{\overline{O_1A}} \times \frac{\overline{O_2A'}}{\overline{O_2A_1}}$   

$$\overline{A'B'} = -\frac{hf_1'f_2'}{L(f_1' - e + f_2')}$$
  
 A.N.  $\overline{A'B'} = -\frac{5 \times 0,10 \times -0,05}{20 \times (0,10 - 0,08 - 0,05)} \Rightarrow \overline{A'B'} = -0,04 \text{ m} = -4 \text{ cm}$

17. Indiquer si ce téléobjectif est équivalent à l'objectif des questions 9 et 10.

L'image est de taille supérieure à celle produite par une seule lentille convergente (quasiment le double pour la même lentille convergente et le même encombrement!). /1 Image agrandie.

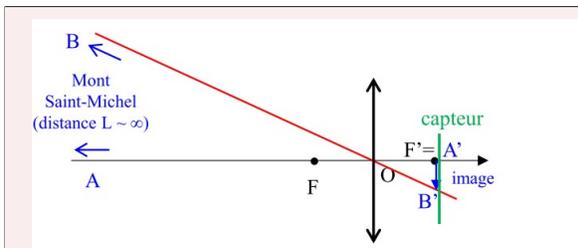
### 1.3 Exploitation d'une photo



<b>Document 2 - Informations relatives à la prise de vue (Photo Mont Saint-Michel)</b>		
Sensibilité : 100 ISO		
Vitesse : 1/250 s		
Ouverture : f/7,1		
Focale : 18 mm		
<b>Document 3 - Image satellite de la baie du Mont Saint-Michel</b>		
A : Bec d'Andaine	B : lieu de la prise de vue	C : Mont Saint-Michel

La photo ci-dessus a été prise avec un appareil photo numérique de type "Canon G10" (capteur de taille  $5,7 \times 7,6 \text{ mm}$ ). Les informations relatives à la photo sont consignées dans le document 2. Il s'agit d'une photo prise dans la baie du Mont Saint-Michel (au point B sur la carte satellite du document 3). La distance BC vaut 1,46 km.

18. À partir de la photo obtenue et des documents 2 et 3, déterminer la hauteur du Mont Saint-Michel (flèche comprise) en indiquant les hypothèses posées, la modélisation du problème (par exemple par un schéma légendé) et les calculs effectués.



- /1 Taille image sur le capteur,
- /1 modélisation avec capteur sur le plan focal et MSM à l'infini,
- /1 AN pour la hauteur du MSM.

Le Mont Saint-Michel occupe environ 1/3 de la photo (35% à la règle) soit une image sur le capteur de taille  $0,35 \times 5,7 = 2,0$  mm. En supposant que l'image est située dans le plan focal image ainsi que le capteur (objet à l'infini) et en appliquant le théorème de Thalès, la taille du mont vaut la distance au mont (1,46 km) multiplié par le rapport entre la taille de l'image (2,0 mm) et la distance focale (18mm), soit  $1,610^2$  m (hauteur réelle de 157 m).

## 1.4 Comment expliquer les propriétés des lentilles ?

Les propriétés optiques des lentilles viennent de leur forme géométrique.

Pour en proposer une explication, on considère une lentille plan-convexe (figure 2) constituée d'un verre d'indice  $n$ . L'indice de l'air ambiant est égal à 1.

La partie sphérique de la lentille est une portion de sphère de centre C et de rayon  $R = CB$ . L'épaisseur de la lentille au centre est  $e = OS$ .

On considère un rayon incident parallèle à l'axe optique, à une distance  $h$  de celui-ci. Ce rayon pénètre dans la lentille en A et est réfracté en B. On note  $i$  et  $r$  les angles incident et réfracté, comptés par rapport à la normale (CB). Le rayon émergent de la lentille coupe l'axe optique en  $F'$ . On note K le projeté orthogonal de B sur l'axe optique.

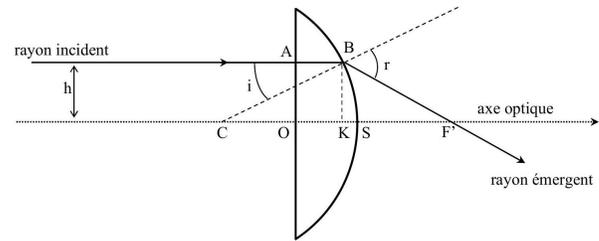


FIGURE 2 – Lentille plan-convexe

19. Écrire la loi de la réfraction en B.

$$n \sin(i) = \sin(r)$$

/1  $n \sin(i) = \sin(r)$

20. Montrer que la distance  $OF'$  peut se mettre sous la forme :  $OF' = e - R[1 - \cos(i)] + \frac{R \sin(i)}{\tan(r - i)}$

On a :  $OF' = OS + SF' = OS + CF' - CS = OS + CK + KF' - CS$  Or :  
 $OS = e; CS = R; CK = R \cos(i)$  et  $KF' = \frac{BK}{\tan(\widehat{BF'K})}$ . Comme  $\widehat{BF'K} = r - i$   
 et  $BK = R \sin(i)$  on a finalement :  $OF' = e + R \cos(i) + \frac{R \sin(i)}{\tan(i-r)} - R$  soit :  
 $OF' = e - R(1 - \cos(i)) + \frac{R \sin(i)}{\tan(i-r)}$

- /1 Décomposition de  $OF'$ .
- /1 CS et CK en fonction de R et  $i$ .
- /1  $\widehat{BF'K} = r - i$  visible sur un schéma.
- /0 Formule.

21. La lentille constitue-t-elle un système rigoureusement stigmatique ?

On voit que les rayons lumineux venant d'un point à l'infini sur l'axe optique et dont l'image est censée être le foyer image, croisent l'axe optique après la lentille en un point qui dépend de l'angle  $i$ , donc de la distance  $h$  à l'axe optique du rayon incident. La lentille n'est donc pas un système rigoureusement stigmatique.

/1 Dépendance de  $i$  donc non stigmatique.

22. Si on considère une lentille mince ( $e$  faible devant  $R$ ) et des rayons paraxiaux, peut-on dire que le système est approximativement stigmatique ? Justifier.

Si on se limite aux rayons paraxiaux (ce qui correspond à  $i \ll 1$  et donc  $r \ll 1$ ), on a :  $\sin(i) \simeq i$ ,  $\cos(i) \simeq 1$  et  $\tan(r - i) \simeq r - i \simeq (n - 1)i$  d'après la loi de la réfraction. Ainsi :  $OF' \simeq e - R \frac{i^2}{2} + \frac{Ri}{(n-1)i} \simeq e + \frac{R}{n-1}$  au 1<sup>er</sup> ordre en  $i$ . Si par ailleurs  $e \ll R$  :  $OF' \simeq \frac{R}{n-1}$   $OF'$  est maintenant indépendant de  $i$  et donc de  $h$ , la lentille est approximativement stigmatique.

/1 Approximation aux angles faibles.  
/1  $h$  indépendant de  $i$ .

23. Dans le cas de la lentille mince, donner une expression approchée de la distance  $OF'$ .

$$OF' \simeq \frac{R}{n-1}$$

/1 Expression

On suppose que cette lentille possède les propriétés des lentilles minces utilisées dans les conditions de Gauss, que  $F'$  est son foyer principal image et  $O$  est son centre optique. On considère le rayon qui coïncide avec l'axe et qui n'est donc pas dévié par la lentille.

24. Exprimer le chemin optique ( $OSF'$ ) en fonction de  $e$ ,  $n$  et  $r$ .

Coquille d'énoncé, il s'agit de  $R$  et non de  $r$ . On a :  $(OSF') = (OS) + (SF') = ne + SF' = ne + (f' - e) \Rightarrow (OSF') = (n - 1)e + \frac{R}{n-1}$

/1 Expression

25. Quelle relation existe-t-il entre le chemin optique ( $ABF'$ ) et le chemin optique ( $OSF'$ ) ?

Les chemins optiques sont égaux.

/1 Les chemins optiques sont égaux.

## 2 Transducteur

Dans le cas d'une onde acoustique ultrasonore, il est possible d'émettre une onde focalisée dans un corps humain via un dispositif électronique qui introduit un retard temporel sur le signal envoyé à chaque transducteur (figure 3). C'est une technique employée en échographie.

Soit  $\Delta t_i$  le retard correspondant au transducteur  $T_i$  de position  $x_i$  par rapport à l'axe  $Oz$ . On choisit les décalages temporels  $\Delta t_i$  de manière à focaliser le faisceau ultrasonore en un point précis,  $F$  sur la figure 5, situé à une distance  $f$  du transducteur.

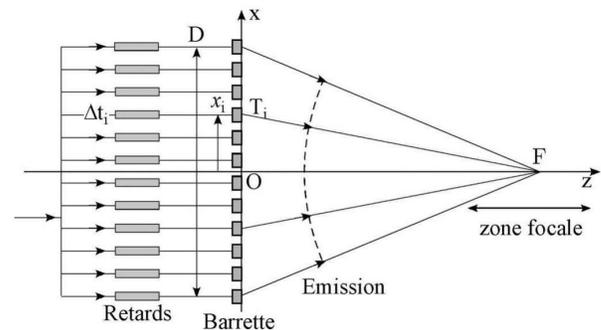


FIGURE 3 – Schéma d'une barrette de transducteurs et circuits de retard associés

26. Donner, en fonction de  $x_i$ ,  $f$  et  $c$  et à une constante additive près, l'expression des  $\Delta t_i$  tels que les ondes émises par les  $N$  transducteurs de la barrette soient constructives au point  $F$ .

Il faut que le signal reçu en  $F$  et émit par le transducteur de position  $x_i$  soit en phase avec le signal émit en  $O$  et reçu en  $F$  : il faut compenser la différence des durées de propagation en avançant l'émission du signal  $T_i$  (retard négatif)

/1 Différence des durées de propagation.  
/1 Signe.

$$\Delta t_i = - \frac{\sqrt{x_i^2 + f^2} - f}{c}$$

27. L'écho émis par un obstacle placé en  $F$  revient vers l'ensemble des transducteurs. Fonctionnant maintenant en récepteurs, ils délivrent chacun un signal. Quel retard temporel faut-il mettre sur le signal du transducteur  $T_i$  pour que leur addition donne un signal maximal ?

Il faut retarder les signaux plus au centre qu'aux extrémités en compensant toujours la durée de propagation. On a donc  $\Delta t_i = \frac{\sqrt{x_m^2 + f^2} - f}{c} - \frac{\sqrt{x_i^2 + f^2} - f}{c}$  avec  $x_m$  la position du transducteur le plus éloigné.

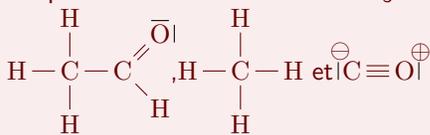
/1 Expression.

### 3 Décomposition de l'éthanal

On étudie la décomposition de l'éthanal  $\text{CH}_3\text{CHO}$  en  $\text{CH}_4$  et  $\text{CO}$ . Tous les composés sont gazeux. On place  $n_0$  moles d'éthanal seul dans une enceinte fermée, indéformable, de volume  $V$  à la température  $T$ . À l'instant initial, la pression dans l'enceinte est notée  $p_0$ .

28. Écrire l'équation de réaction. Représenter la structure de Lewis des molécules mentionnées dans l'énoncé sachant que l'éthanal présente une double liaison  $\text{C}=\text{O}$  et que la forme prédominante du monoxyde de carbone ne présente pas de lacune électronique.

L'équation de la réaction est :  $\text{CH}_3\text{CHO}_{(g)} = \text{CH}_4_{(g)} + \text{CO}_{(g)}$



/1 équation

/1 respect de l'octet (ou présence d'une lacune)

/1 respect du nombre d'électrons de valence.

29. L'éthanal est miscible dans l'eau alors que le monoxyde de carbone et le méthane le sont peu (entre 20 et 30 mg/L à température ambiante). Justifier. On commentera particulièrement l'électronégativité des éléments présent dans le monoxyde de carbone et la position des charges partielles.

L'éthanal est polaire alors que le méthane ne l'est pas. Le monoxyde de carbone présente la particularité de ne pas respecter l'électronégativité dans sa représentation de Lewis, signe qu'il est moins polaire qu'une double liaison  $\text{CO}$  classique. En réalité la molécule est considérée comme étant apolaire.

/1 polaire/apolaire

/1 particularité du monoxyde de carbone.

30. Exprimer le nombre d'oxydation de chaque atome de carbone dans chaque molécule. Distinguer l'atome de carbone qui a été oxydé de celui qui a été réduit.

Pour l'éthanal, le carbone relié à l'oxygène est 1 l'autre est -3. Il faudrait faire une moyenne pour avoir le nombre d'oxydation du carbone dans la molécule : -1. Pour le Méthane -4 et pour le monoxyde de carbone +2.

/1 Nombre d'oxydation C Méthane et monoxyde de carbone

/1 no(C) de chaque carbone dans le méthanal

### 4 Liaisons entre molécules

31. Justifier que les composés hydrogénés des éléments d'une colonne ont des températures d'ébullition plus basse que celles des composés hydrogénés de la colonne suivante.

En passant d'une colonne à une autre la géométrie diffère et rend la moléculaire plus polaire, des liaisons de VdW Keesom peuvent s'établir avec plus grande force. La polarisabilité augmente aussi renforçant les deux autres interactions de VdW.

/1 polarité

/1 polarisabilité

32. Justifier que, pour des composés hydrogénés d'une même colonne, la température d'ébullition augmente en fonction du numéro de ligne (ligne 2 exclue).

La polarisabilité augmente en descendant dans une colonne renforçant les interactions Debye et London.

/1 polarisabilité

33. Interpréter l'anomalie apparente observée par l'eau et l'ammoniac.

Les liaisons hydrogène peuvent se former pour l'ammoniac et l'eau contrairement au méthane qui ne dispose pas de doublet non liant et d'hydrogène disponible (différence d'électronégativité faible entre C et H)

/1 Liaison H.

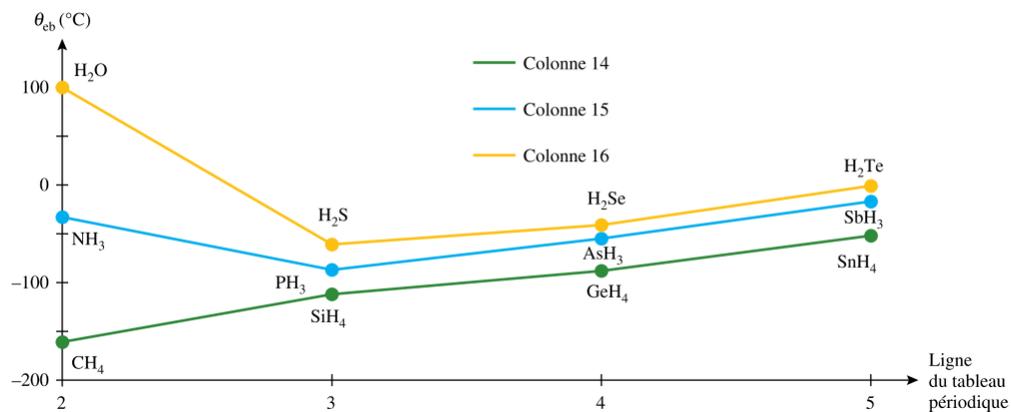


FIGURE 4 – Évolution des températures d'ébullition sous une pression de 1 bar, des composés hydrogénés des éléments des colonnes 14, 15 et 16.