

# DS

## TSI2

### Physique

#### 4h

### 15 décembre 2023

*Ce sujet est en quatre parties indépendantes de poids globalement équivalent dans le barème.*

**I. Etude d'une installation nucléaire REP (CCS MP 2016)**

**II. Conditionnement d'air d'une voiture (E3A MP 2017)**

**III. Contrôle de l'alcoolémie (E3A MP 2017)**

**IV. Etude d'une paire de jumelle (CAPES 2010)**

***Recommandations importantes***

*La plus grande attention sera apportée au soin, à la présentation et à la qualité de la rédaction.*

*Les résultats doivent être mis en valeur et exclusivement exprimés avec les notations de l'énoncé.*

*Si on introduit des notations personnelles, elles doivent toujours être soigneusement définies.*

*Un résultat non justifié ne sera, au mieux, que partiellement pris en compte.*

*Même si une valeur numérique est demandée, vous devez avant tout donner l'expression littérale.*

*Le calcul de la valeur numérique n'est jamais que la toute dernière étape.*

*Les résultats numériques doivent être accompagnés de leur unité.*

*Les parties peuvent être traités dans un ordre quelconque, mais respectez la numérotation des questions.*

*Lisez l'énoncé en entier avant*

***(Calculatrice autorisée)***

# Partie I Etude d'une installation nucléaire REP

La France compte 19 centrales nucléaires en exploitation, dans lesquelles tous les réacteurs (58 au total) sont des réacteurs à eau pressurisée. Actuellement, ces installations produisent près de 80% de l'électricité produite en France. Chaque centrale est soumise à un référentiel de normes de sûreté et de sécurité évoluant en fonction des enseignements des incidents passés nationaux ou internationaux. Le but de ce problème est d'étudier quelques aspects liés au fonctionnement d'une centrale nucléaire REP, ainsi que plusieurs dispositions prises en matière de sûreté nucléaire : contrôle des rejets de la centrale et surveillance sismique d'un site nucléaire.

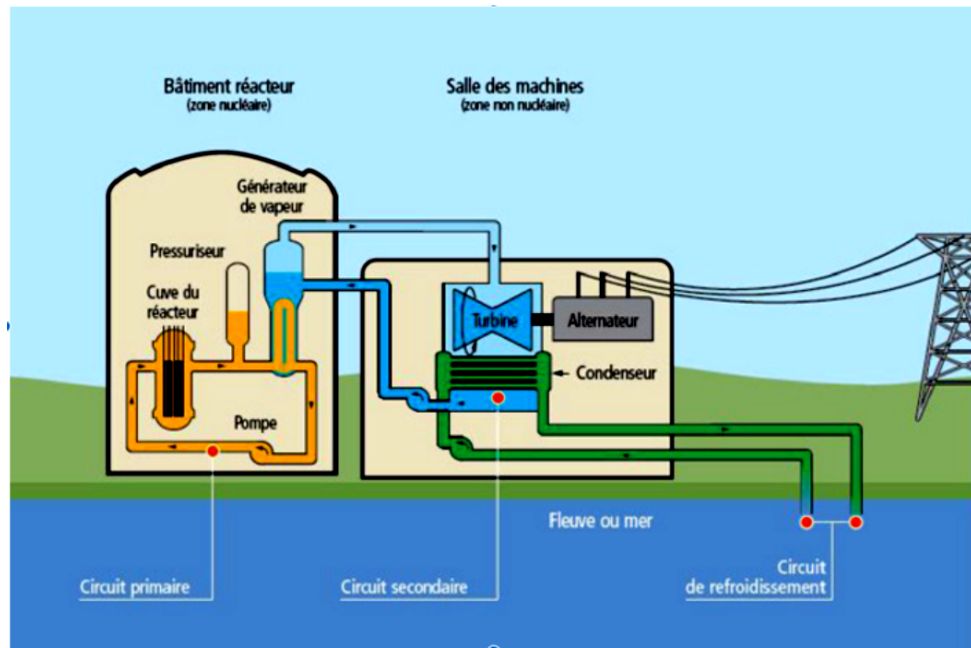


Fig. 8.5 – Schéma global d'une centrale nucléaire

## Circuit secondaire et enrichissement de l'uranium

Une centrale nucléaire est un site industriel destiné à la production d'électricité, qui utilise comme chaudière un réacteur nucléaire pour produire de la chaleur. Une centrale nucléaire REP (Réacteur à Eau Pressurisée) est constituée de deux grandes zones (voir figure 8.5) :

- Une zone non nucléaire (salle des machines). Dans cette partie, semblable à celle utilisée dans les centrales thermiques classiques, s'écoule de l'eau dans un circuit secondaire. Cette eau est évaporée dans le Générateur de Vapeur (GV) par absorption de la chaleur produite dans la zone nucléaire, puis elle entraîne une turbine (T) couplée à un alternateur produisant de l'électricité, ensuite elle est condensée au contact d'un refroidisseur (rivière ou mer ou atmosphère via une tour aéroréfrigérante) et enfin, elle est comprimée avant d'être renvoyée vers le générateur de vapeur ;
- Une zone nucléaire (dans le bâtiment réacteur), où ont lieu les réactions nucléaires de fission, qui produisent de l'énergie thermique et chauffent ainsi l'eau sous pression circulant dans le circuit primaire. Le transfert d'énergie thermique entre le circuit primaire et le circuit secondaire se fait dans le générateur de vapeur, où la surface d'échange entre les deux fluides peut atteindre près de  $5000 \text{ m}^2$  (réseau de tubulures).

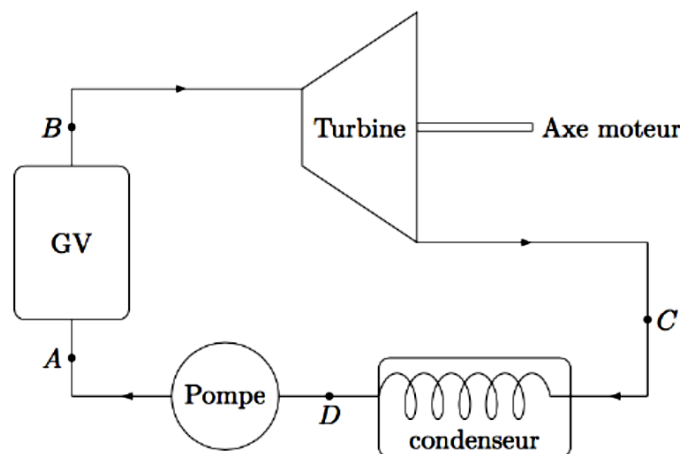
**Description du circuit secondaire de la centrale** Considérons une centrale nucléaire REP produisant une puissance électrique  $\mathcal{P}_e = 900 \text{ MW}$ . Le fluide circulant dans le circuit secondaire est de l'eau, dont l'écoulement est supposé stationnaire. Le cycle thermodynamique décrit par l'eau est un cycle ditherme moteur. L'eau liquide sera supposée incompressible et de capacité thermique massique isobare supposée constante. Le tableau en fin d'énoncé donne les diverses données thermodynamiques relatives à l'équilibre liquide-vapeur de l'eau.

Dans une première approche simplifiée, on considère le moteur ditherme de CARNOT fonctionnant de manière réversible entre deux sources de température  $T_{\text{ch}}$  et  $T_{\text{fr}}$  ( $T_{\text{fr}} < T_{\text{ch}}$ ).

1. Donner, en la redémontrant, l'expression du rendement de CARNOT associé à ce cycle.
2. Donner la valeur numérique de ce rendement en prenant  $T_{\text{ch}} = 543 \text{ K}$  et  $T_{\text{fr}} = 303 \text{ K}$ , les deux températures extrême de l'eau dans le circuit secondaire.
3. Sachant qu'un réacteur REP fournit à l'eau du circuit secondaire, via le générateur de vapeur, une puissance thermique  $\mathcal{P}_t = 2785 \text{ MW}$ , que vaut le rendement thermodynamique réel de l'installation ? On supposera que la puissance mécanique transmise à la turbine est intégralement convertie en puissance électrique. Commenter.

L'eau du circuit secondaire subit les transformations suivantes (représentées dans la figure 8.6)

- de A à B : dans le générateur de vapeur, échauffement isobare du liquide à la pression  $P_2 = 55 \text{ bar}$  jusqu'à un état de liquide saturant (état noté A'), puis vaporisation totale isobare jusqu'à un état de vapeur saturante sèche (état B) ;
- de B à C : détente adiabatique réversible dans la turbine, de la pression  $P_2$  à la pression  $P_1 = 43 \text{ mbar}$  ;
- en C, le fluide est diphasé ;
- de C à D : liquéfaction totale isobare dans le condenseur, jusqu'à un état de liquide saturant ;
- de D à A : compression adiabatique réversible, dans la pompe d'alimentation, de la pression  $P_1$  à la pression  $P_2$ , du liquide saturant sortant du condenseur. On négligera le travail consommé par cette pompe devant les autres énergies mises en jeu.



**Fig. 8.6** – Cycle de RANKINE

4. Représenter dans le diagramme de CLAPEYRON ( $P, v$ ), l'allure de la courbe de saturation de l'eau, ainsi que les isothermes  $T_B$ ,  $T_D$  et  $T_{\text{critique}}$ , cette dernière température étant celle du point critique de l'eau. Préciser les domaines du liquide, de la vapeur, de la vapeur saturante. Représenter sur ce même diagramme l'allure du cycle décrit par l'eau du circuit secondaire. Indiquer le sens de parcours du cycle et placer les points  $A$ ,  $A'$ ,  $B$ ,  $C$  et  $D$ .
5. D'après l'extrait de table thermodynamique donné en fin d'énoncé, quelles sont les valeurs des températures, des enthalpies massiques et des entropies massiques aux points  $A'$ ,  $B$  et  $D$ ? On pourra donner les valeurs sous forme de tableau.
6. Dans le document réponse figure le diagramme enthalpique ( $P, h$ ) de l'eau. Placer, avec soin et à l'échelle, les points  $A'$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$  du cycle. On explicitera la méthode.
7. Dans toute la suite, on négligera les variations d'énergie cinétique et potentielle dans les bilans énergétiques. Exprimer alors, sans démonstration, le premier principe de la thermodynamique pour un fluide en écoulement stationnaire recevant de manière algébrique le travail massique utile  $w_u$  et le transfert thermique massique  $q$ .
8. Exprimer le travail massique  $w_{BC}$  reçu par l'eau dans la turbine. Donner sa valeur numérique, en s'aidant du diagramme enthalpique.
9. Exprimer le transfert thermique massique  $q_{AA'}$  reçu par l'eau liquide quand elle passe de manière isobare de la température  $T_A$  à la température  $T_{A'}$  dans le générateur de vapeur. Donner sa valeur numérique : on considèrera  $T_A \simeq T_D$ .
10. Exprimer le transfert thermique massique  $q_{A'B}$  reçu par l'eau quand elle se vaporise complètement dans le générateur de vapeur. Donner sa valeur numérique.
11. Calculer alors le rendement de RANKINE de l'installation. Comparer au rendement de CARNOT et commenter. Comparer au rendement réel et commenter.
12. Dans quel état se trouve l'eau à la fin de la détente de la turbine? Donner le titre massique en vapeur à l'aide du diagramme enthalpique. En quoi est-ce un inconvénient pour les parties mobiles de la turbine?

Le cycle réel est plus compliqué que celui étudié précédemment (voir figure 8.7). En effet, d'une part, la détente est étagée : elle se fait d'abord dans une turbine « haute pression » puis dans une turbine « basse pression ». D'autre part, entre les deux turbines, l'eau passe dans un « surchauffeur ». Les transformations sont maintenant modélisées par :

- de  $A$  à  $B$  : dans le générateur de vapeur, échauffement isobare du liquide à la pression  $P_2 = 55$  bar jusqu'à un état de liquide saturant (état noté  $A'$ ), puis vaporisation totale isobare jusqu'à un état de vapeur saturante sèche (état  $B$ ) ;
- de  $B$  à  $C'$  : détente adiabatique réversible dans la turbine « haute pression », de la pression  $P_2$  à la pression  $P_3 = 10$  bar ;
- de  $C'$  à  $B'$  : échauffement isobare à la pression  $P_3$ , dans le surchauffeur, jusqu'à un état de vapeur saturante sèche (point  $B'$ ) ;
- de  $B'$  à  $C''$  : détente adiabatique réversible dans la turbine « basse pression », de la pression  $P_3$  à la pression  $P_1 = 43$  mbar ;
- de  $C''$  à  $D$  : liquéfaction totale isobare dans le condenseur, jusqu'à un état de liquide saturant ;
- de  $D$  à  $A$  : compression adiabatique réversible, dans la pompe d'alimentation, de la pression  $P_1$  à la pression  $P_2$ , du liquide saturant sortant du condenseur. On négligera le travail consommé par cette pompe devant les autres énergies mises en jeu.

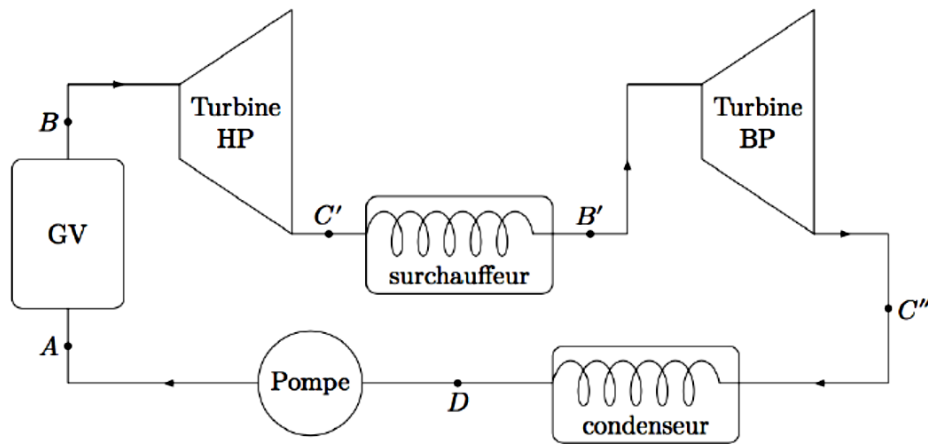


Fig. 8.7 – Cycle de RANKINE avec une détente étagée

13. Placer les nouveaux points C', B', C'' sur le diagramme enthalpique du document réponse.
14. Comparer les titres massiques en vapeur des points C' et C'' au titre massique en vapeur du point C. Quel est l'intérêt de la surchauffe ?
15. A l'aide du diagramme enthalpique, déterminer le nouveau rendement du cycle. Commenter.

**Données :**

Capacité thermique massique de l'eau :  $c = 4,18 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

$\theta$ (°C)	$P_{\text{sat}}$ (bar)	Liquide saturant			Vapeur saturante sèche		
		$v_l$ ( $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ )	$h_l$ ( $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	$s_l$ ( $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )	$v_v$ ( $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ )	$h_v$ ( $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	$s_v$ ( $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )
30	0,043	1,0047	125,22	0,4348	32,892	2555,92	8,4530
180	10	1,1276	763,18	2,1395	0,119404	2777,84	6,5854
270	55	1,3053	1190,10	2,9853	0,03505	2788,46	5,9226

Tab. 8.1 – Extrait de table thermodynamique relatif à l'équilibre liquide-vapeur de l'eau

## Partie II

# Conditionnement d'air d'une voiture

Pour le confort et la sécurité des passagers (la respiration des passagers changerait la composition de « l'air » qui deviendrait moins riche en dioxygène, ce qui favorise l'endormissement du conducteur), on doit renouveler l'air de la voiture et empêcher aussi tout refroidissement ou réchauffement par rapport à une situation normale dans laquelle l'intérieur du véhicule reste à une température consigne uniforme et constante égale à  $T_C = 293\text{ K}$ .

On assimile l'automobile (représentée schématiquement ci-dessous) à un parallélépipède creux de hauteur  $H = 1,5\text{ m}$ , de largeur  $\ell = 1,75\text{ m}$  et de longueur  $L = 4,0\text{ m}$ , réalisée en partie avec un matériau (1) hybride d'épaisseur  $e_1 = 10\text{ cm}$ , de conductivité thermique  $\lambda_1 = 0,10\text{ SI}$  et en partie en verre d'épaisseur  $e_2 = 2,0\text{ mm}$  et de conductivité thermique  $\lambda_2 = 1,2\text{ SI}$ .

On peut simplifier le modèle en supposant que les vitres occupent une hauteur  $d = 0,50\text{ m}$  des parois verticales. Le toit, le sol et les parties basses des parois verticales sont constitués du matériau (1). On néglige les effets de bord et/ou la conduction par les coins.

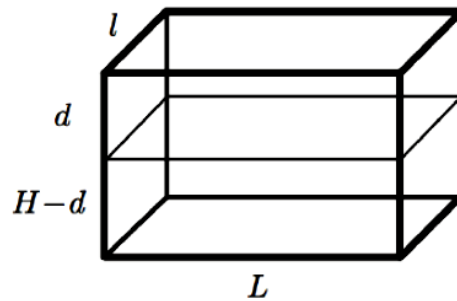


Fig. 7.13 – Modèle schématique d'une voiture

14. Rappeler la loi de FOURIER en définissant les grandeurs utilisées. Par analyse dimensionnelle, préciser quelle est l'unité de la conductivité thermique  $\lambda_i$ .

On considère un morceau de paroi de surface  $s$ , d'épaisseur  $e$  et de conductivité thermique  $\lambda$ . La température est supposée ne dépendre que de la variable position sur la normale à cette paroi notée  $Oz$ .

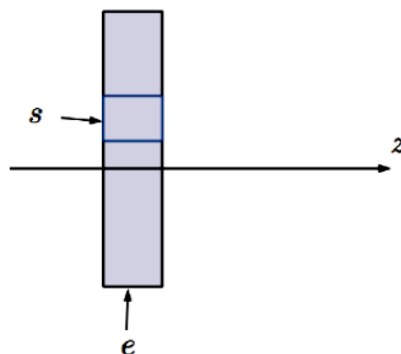


Fig. 7.14 – Modèle d'une paroi de voiture

15. Établir, en régime permanent, le lien entre la différence des températures de part et d'autre de la paroi  $\Delta T = T_{\text{ext}} - T_{\text{int}}$  et le flux thermique (ou puissance thermique)  $\Phi$  qui traverse, de l'extérieur vers l'intérieur, une surface  $s$  de paroi d'un matériau de conductivité thermique  $\lambda$ . En déduire la résistance thermique de cet élément de paroi en fonction de  $s$ ,  $e$  et  $\lambda$ .

16. A quelle situation physique correspond une association en série de résistances thermiques ? A quelle situation physique correspond une association en parallèle de résistances thermiques ?
17. Donner l'expression des résistances thermiques des parties suivantes du véhicule en fonction des données nécessaires :
  - (a)  $R_1$  résistance thermique du toit (le sol de la voiture possède la même résistance thermique),
  - (b)  $R_2$  résistance thermique des parties latérales en matériau (1) (de hauteur  $H - d$ ),
  - (c)  $R_3$  résistance thermique de toutes les vitres (partie latérale de hauteur  $d$ ).
18. Faire un schéma électrique équivalent de la voiture et en déduire sa résistance thermique totale  $R_v$ .
19. Calculer la valeur numérique de  $R_v$  et celle de  $R_3$  (partie vitrée). Comparer la puissance thermique totale perdue par la voiture et celle traversant les vitres. Commenter.
20. En réalité, le rapport entre l'écart de température  $\Delta T = T_{\text{ext}} - T_{\text{int}}$  et le flux thermique total  $\Phi$  entrant dans la voiture par les parois est différent du résultat précédent. De quel autre phénomène de transfert fallait-il vraisemblablement tenir compte ? Exprimer, pour le plafond, la résistance qui doit être rajoutée à  $R_1$  en appelant  $h$  le coefficient de la loi de NEWTON entre le matériau (1) et l'air. Commenter. Faire le nouveau schéma électrique équivalent.

Par la suite, on prendra  $G = \frac{1}{R_v} = 150 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1}$  pour le rapport  $\frac{\Phi}{\Delta T}$ . On suppose que :

- l'appareil de conditionnement de l'air de la voiture permet de refroidir l'habitacle en été, de le réchauffer en hiver et de renouveler l'air en même temps,
  - la pression est toujours la même à l'extérieur et à l'intérieur et est égale à la pression standard  $p = p^\circ = 1,0 \times 10^5 \text{ Pa}$ ,
  - et l'habitacle est maintenu à la température de consigne  $T_C = 293 \text{ K}$ .
21. Chacun des  $n$  passagers dégage une puissance thermique  $p = 75 \text{ W}$ . Exprimer la puissance  $P_1$  fournie par le conditionneur en fonction de  $n$ ,  $p$ ,  $G$  et  $\Delta T = T_{\text{ext}} - T_{\text{int}}$ .
  22. Calculer les deux valeurs de  $P_1$  pour  $n = 4$  passagers, en été  $T_{\text{ext}} = 303 \text{ K}$  ou en hiver  $T_{\text{ext}} = 263 \text{ K}$ . Commenter le signe. Pour quelle température extérieure n'y aurait-il pas besoin de conditionnement ? L'ordre de grandeur vous paraît-il vraisemblable ?

---

### Régime transitoire

---

Lorsque les passagers montent dans le véhicule, la température intérieure est égale à la température extérieure  $T_{\text{ext}} = 263^\circ \text{C}$  (hiver). Dès leur installation dans le véhicule, les passagers règlent le conditionneur au maximum, ce dernier fournit alors une puissance  $P_{1,\text{max}}$  dont on se propose de déterminer la valeur pour que la température de consigne  $T_C$  soit atteinte en  $\Delta t = 2,0 \text{ min}$ .

On rappelle que les passagers fournissent une puissance  $p = 75 \text{ W}$  par personne et que la conductance thermique de l'ensemble de la voiture vaut  $G = \frac{1}{R_v} = 150 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1}$ .

L'atmosphère intérieure au véhicule est caractérisée par une capacité thermique totale  $C$ . On se place dans le cadre de l'approximation des régimes quasi-stationnaires (ARQS).

23. Montrer que la température de l'air du véhicule vérifie l'équation différentielle suivante :

$$\frac{dT}{dt} + \frac{T}{\tau} = \frac{T_\infty}{\tau}$$

en explicitant les expressions de  $\tau$  et  $T_\infty$  en fonction de  $R_v$ ,  $C$ ,  $n$ ,  $p$ ,  $T_{\text{ext}}$  et  $P_{1,\text{max}}$ .

24. Proposer un schéma électrique équivalent.
25. Représenter l'allure de l'évolution au cours du temps de la température de l'habitacle.
26. Résoudre l'équation de la question 23 et déterminer l'expression littérale de  $P_{1,\text{max}}$  en fonction de  $R_v$ ,  $\tau$ ,  $n$ ,  $p$ ,  $T_{\text{ext}}$ ,  $T_C$  et  $\Delta t$  pour que la température de consigne soit atteinte en une durée  $\Delta t$ .

27. Évaluer l'ordre de grandeur de la quantité de matière ( $q$  en mol) de l'air contenu dans la voiture en supposant que l'air occupe 50 % du volume intérieur. L'air est considéré comme un gaz parfait de masse molaire  $M = 29 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  et caractérisé par des capacités thermiques molaires isobares  $C_p$  et isochore  $C_v$  dont le rapport vaut  $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = 1,4$ . On fera l'application numérique à la température  $T_C = 293 \text{ K}$ .
28. Rappeler le lien entre énergie interne et enthalpie d'une mole de gaz parfait. En déduire la valeur de  $C_p - C_v$  et l'expression de  $C_p$  en fonction de  $R$  et  $\gamma$ .
29. Evaluer la valeur numérique de la capacité  $C$  des  $q$  moles d'air puis celle de  $P_{1,\text{max}}$ . Commenter.
30. Déterminer, sans calculs excessifs et en réutilisant les résultats des questions précédentes, la puissance  $P_{1,\text{min}} < 0$  que devrait avoir un climatiseur pour que  $T$  atteigne  $T_C$  en  $\Delta t = 2,0 \text{ min}$  également en été ( $T_{\text{ext}} = 303 \text{ K}$ ) avec  $n = 4$  passagers.
31. Quelles critiques pourriez-vous faire à ce modèle simpliste et quelles améliorations du modèle proposeriez-vous ?



## Partie III Contrôle de l'alcoolémie

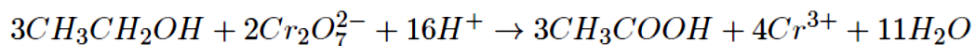
Les accidents de la route constituent la première cause de mortalité et de handicap des 18-25 ans. Pour un quart de ces accidents, une alcoolémie excessive en est l'origine. 21 pays européens ont déjà adopté une alcoolémie légale inférieure à  $0,5 \text{ g.L}^{-1}$  soit pour leurs conducteurs novices soit pour tous. Cette mesure a par exemple permis en Allemagne de réduire de 17 % la mortalité routière des 18-21 ans dès la première année de mise en place de cette mesure.

En France, le taux d'alcool maximal autorisé est de  $0,5 \text{ g.L}^{-1}$  voire de  $0,2 \text{ g.L}^{-1}$  pour les permis probatoires à savoir pendant trois ans pour les jeunes conducteurs, les conducteurs ayant perdu 12 points ou ayant eu une annulation de leur permis. La durée est ramenée à deux ans lorsque le permis a été obtenu dans le cadre de la conduite accompagnée. On peut noter que ce seuil de  $0,2 \text{ g.L}^{-1}$  est dépassé dès le premier verre...

Se sont développés sur internet des tests permettant de calculer son degré d'alcoolémie comme par exemple sur [www.acces-soiree.fr](http://www.acces-soiree.fr).

### DOCUMENT 3 : Principe d'un éthylotest

Certains éthylotests sont constitués d'une embouchure stérilisée, d'un tube de verre rempli de dichromate de potassium solide  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  (oxydant coloré) acidifié et d'un ballon en plastique d'un litre. Lorsqu'une personne a consommé de l'alcool, de l'éthanol passe de son sang dans l'air de ses poumons. Si elle souffle dans un éthylotest, l'éthanol  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$  contenu dans son haleine sera oxydé en acide acétique  $\text{CH}_3\text{COOH}$  par les ions dichromate  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ , de couleur orange, qui se transformeront alors en ions chrome(III)  $\text{Cr}^{3+}$ , de couleur verte, selon la réaction d'oxydoréduction suivante :



Si la personne a consommé plus d'alcool que ce que la législation autorise, des ions chrome(III) se formeront le long du tube de verre et la couleur verte atteindra le trait qui délimite la valeur à ne pas dépasser.

L'éthylotest électronique mesure le taux d'alcool contenu dans l'haleine humaine et affiche l'alcoolémie en  $\text{g.L}^{-1}$ .

Le dichromate de potassium est fortement toxique, corrosif et cancérigène. Il est aussi dangereux pour l'environnement.

La fiabilité de certains modèles reste néanmoins médiocre.

On donne :

élément	H	C	O	Cr
numéro atomique $Z$	1	6	8	24
masse atomique $M$ ( $\text{g.mol}^{-1}$ )	1,0	12	16	52

Table 1: Numéros et masses atomiques de quelques éléments.

ainsi que les potentiels standard suivants :

couple	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}/\text{Cr}^{3+}$	$\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$
potentiel standard $E^0$ (V)	1,33	0,77

Table 2: Quelques potentiels standard de couples rédox.

## G. Titrage de l'éthanol dans le vin : degré alcoolique

### DOCUMENT 4 : Principe, protocole et résultats

#### A Principe :

Le degré alcoolique d'un vin est le pourcentage volumique d'alcool mesuré à 20° C.

Pour déterminer le degré alcoolique d'un vin, il faut d'abord isoler l'alcool des autres composés du vin (acides, matières minérales, sucres, ...) en réalisant une distillation. Cette méthode de séparation ne permet pas d'obtenir de l'éthanol pur mais un mélange eau-éthanol. La solution aqueuse d'éthanol obtenue est ensuite ajustée avec de l'eau distillée. On complètera à 100 mL pour simplifier les calculs.

L'alcool est ensuite totalement oxydé en acide éthanoïque (ou acétique) par un excès de dichromate de potassium. L'oxydant excédentaire est alors titré par une solution de sel de Mohr de formule  $[FeSO_4, (NH_4)_2 SO_4]$ .

#### B Protocole et résultats :

On prélève  $V_0 = 10,0$  mL de vin auxquels on ajoute environ 50 mL d'eau. On distille ce mélange et on recueille un volume de 42 mL de distillat. On admettra que le distillat contient tout l'éthanol du vin. On complète à 100 mL avec de l'eau distillée pour obtenir la solution  $S_1$ .

Dans un erlenmeyer, on mélange un volume  $V_0 = 10,0$  mL de la solution  $S_1$  obtenue, un volume  $V_1 = 20,0$  mL d'une solution de dichromate de potassium de concentration  $C_1 = 0,100$  mol.L<sup>-1</sup> et environ 10 mL d'acide sulfurique concentré. On bouche l'erlenmeyer et on laisse réagir pendant environ 30 min. On obtient alors une solution  $S_2$  verdâtre.

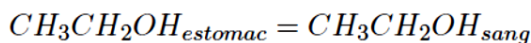
On titre les ions dichromates en excès avec une solution de sel de Mohr de concentration  $C_2 = 0,500$  mol.L<sup>-1</sup> en ions  $Fe^{2+}$ . On repère le volume équivalent à l'aide d'un indicateur de fin de réaction et on note une valeur  $V_2 = 7,6$  mL.

On donne la valeur de la masse volumique de l'éthanol pur  $\rho = 0,78$  g.mL<sup>-1</sup>.

- G.1. Donner la configuration électronique du chrome Cr et de l'oxygène O.
- G.2. En fait, la configuration électronique du chrome est  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1 3d^5$ . Proposer une explication en utilisant la règle de remplissage de Hund.
- G.3. Compléter le modèle de Lewis proposé dans le document-réponse pour l'ion dichromate  $Cr_2O_7^{2-}$ .
- G.4. Indiquer le matériel utilisé pour compléter à 100 mL lors de l'obtention de la solution  $S_1$ . Détailler le protocole en indiquant l'origine des incertitudes sur les volumes lors de cette étape.
- G.5. Ecrire l'équation-bilan du titrage de l'excès de dichromate. Calculer sa constante d'équilibre. On prendra  $\frac{RT \ln 10}{\mathcal{F}} = 0,060$  où  $\mathcal{F}$  désigne le faraday.
- G.6. Justifier l'ajout d'acide sulfurique concentré.
- G.7. Déterminer la quantité de matière de dichromate titré par la solution de sel de Mohr.
- G.8. En déduire la quantité de matière en éthanol présent dans le volume  $V_0$  de la solution  $S_1$ .
- G.9. En déduire le degré alcoolique du vin analysé.

## H. Cinétique de l'absorption de l'alcool à travers la paroi stomacale

Sachant qu'on estime à 20 % la quantité d'alcool passant dans le sang au niveau de l'estomac, il est important de s'intéresser à la vitesse d'absorption de l'alcool au niveau de la paroi stomacale. On peut la modéliser par la réaction



On analyse l'assimilation d'un verre d'apéritif en admettant que le volume  $V$  du milieu réactionnel est celui du verre et qu'il reste constant au cours de l'assimilation de l'alcool. On mesure la concentration en alcool dans l'estomac pour suivre la cinétique de l'équilibre précédent.

H.1. Calculer la concentration molaire volumique initiale en alcool sachant que l'apéritif a un degré d'alcool de 35°.

H.2. Les mesures expérimentales sont les suivantes :

$t$ (min)	0,0	2,0	4,0	8,0	12	16	20
$C$ (mol.L <sup>-1</sup> )	5,9	4,2	3,0	1,5	0,76	0,39	0,20

Table 3: Concentration molaire volumique en alcool en fonction du temps.

Montrer que la réaction est d'ordre 1. On précisera et justifiera la méthode employée.

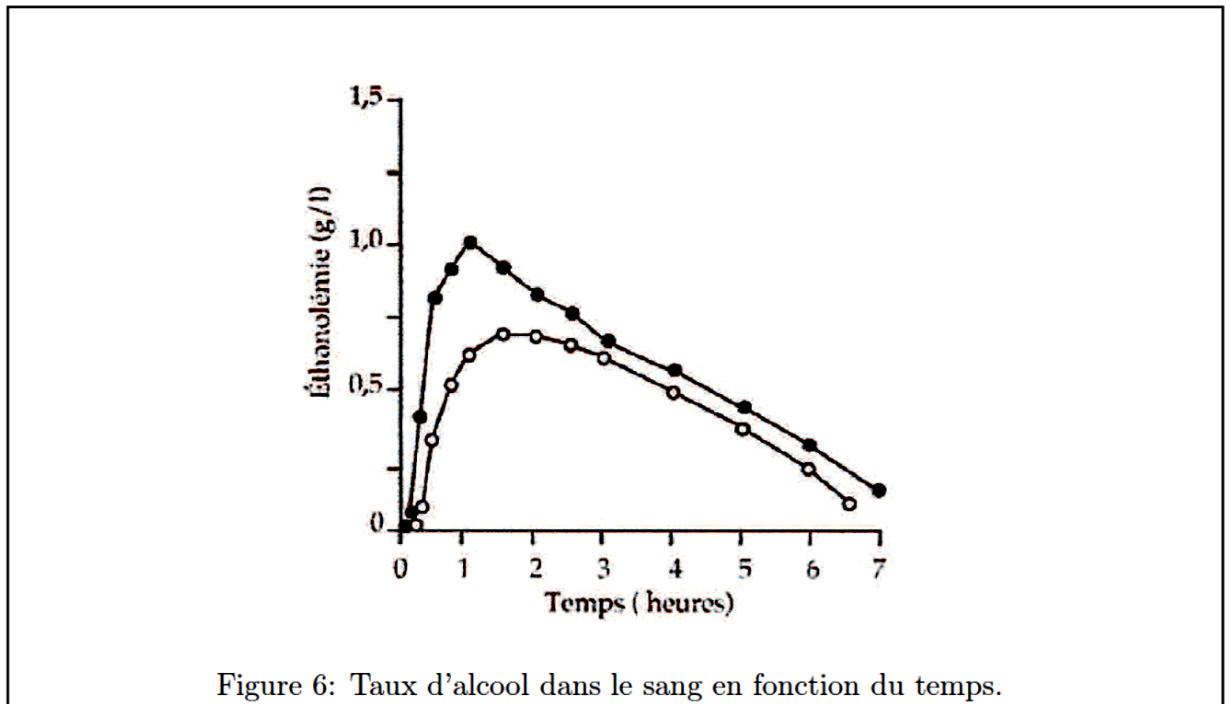
H.3. Estimer la constante de vitesse.

H.4. Définir le temps de demi-réaction puis le déterminer en détaillant la méthode employée.

Le taux d'alcool dans le sang varie sous l'action conjointe de deux phénomènes : l'absorption stomacale étudiée précédemment et son oxydation. Par conséquent, il faut tenir compte de ces deux aspects pour déterminer le temps à attendre après l'ingestion d'alcool avant de prendre le volant.

**DOCUMENT 5 : Evolution du taux d'alcool dans le sang**

*L'évolution du taux d'alcool dans le sang suit l'allure suivante pour un homme ayant consommé 0,80 g d'alcool par kilogramme de poids corporel à jeun (points noirs) ou après le petit déjeuner (points blancs) :*



- H.5. Un homme de 51 kg boit un verre de 15 cL d'apéritif à 35° à jeun. Estimer l'instant  $t_m$  pour lequel l'alcoolémie de cet homme passe par un maximum ainsi que son alcoolémie maximale.
- H.6. Au bout de combien de temps cet homme aura-t-il le droit de conduire ?

# Partie IV Etude d'une paire de jumelle

L'examen de la notice d'une paire de jumelles nous permet d'obtenir les informations rassemblées dans le tableau 1, dont certaines seront explicitées plus loin si nécessaire.

Grossissement	$\times 7$	Diamètre objectif	50 mm
Angle de visée	$7,3^\circ$	Champ de vision	127 m à 1 000 m
Distance minimale de mise au point	10,6 m	Pupille de sortie	7,14 mm
Dégagement oculaire	12 mm	Longueur	185 mm

TABLEAU 1 – Extraits de données constructeur relatives à la paire de jumelles

Démontée (voir figure 1a), la paire de jumelles se trouve être constituée d'éléments optiques assez simples : des lentilles convergentes et divergentes ainsi que des prismes dans la zone masquée.

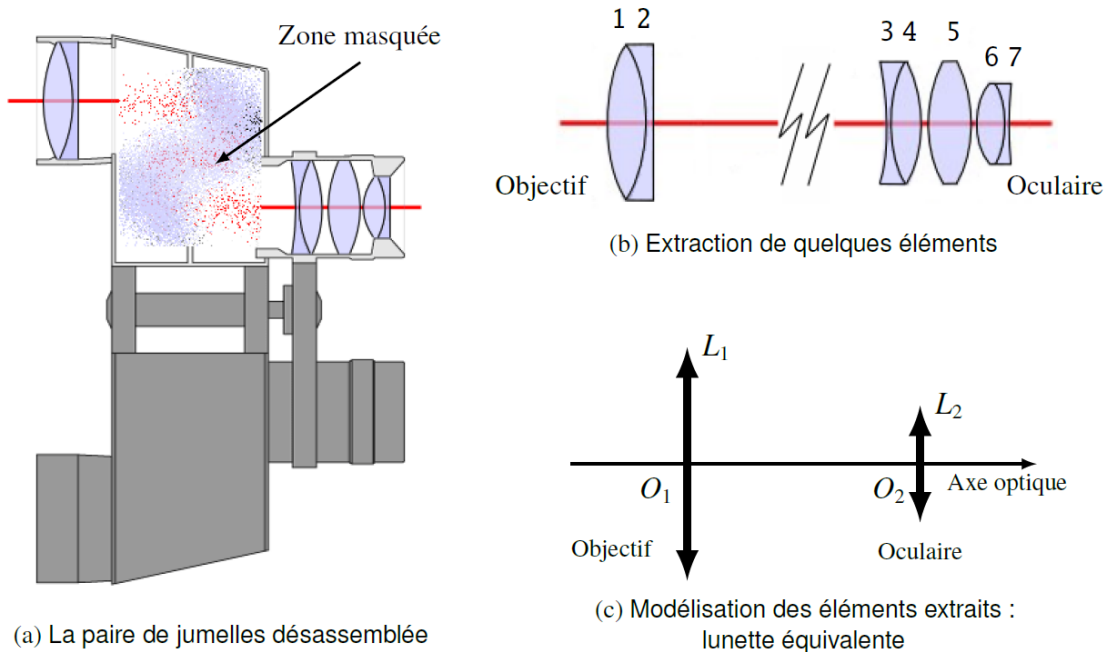


FIGURE 1 – La paire de jumelles et sa modélisation

On s'intéresse, en premier lieu, aux groupes de lentilles (extraites de l'ensemble sur la figure 1b) que nous modéliserons, en entrée et en sortie, par des lentilles minces convergentes. La modélisation est présentée en figure 1c. On note  $f'_1$  et  $O_1$  (respectivement  $f'_2$  et  $O_2$ ) la distance focale image et le centre de l'objectif (respectivement de l'oculaire).

Notre but est de déduire des données constructeur figurant dans le tableau 1, les ordres de grandeur des caractéristiques optiques de ce système.

Dans tout le problème, on suppose que  $f'_2 = u$  et  $f'_1 = 7f'_2 = 7u$  où  $u$  est une longueur de référence à déterminer, et que le diamètre de l'objectif est le double de celui de l'oculaire.

Différents modèles seront proposés et permettront de déterminer trois valeurs différentes de  $u$ .

### **A.I Les éléments du modèle**

**A.I.1** Qu'est-ce qu'une *lentille mince* ? Identifier, par leur numéro, les lentilles minces divergentes visibles sur la figure 1b. Définir l'objectif et l'oculaire.

**A.I.2** Proposer une méthode de détermination rapide du caractère convergent ou divergent d'une lentille ne portant aucune indication. La justifier à l'aide d'une représentation graphique.

**A.I.3** Ces lentilles sont utilisées dans les conditions de l'approximation de Gauss. Quelles sont ces conditions ? Quelles conséquences en découlent si elles sont respectées ?

**A.I.4** Au sujet de la composition des optiques de la paire de jumelles, la notice précise que « *le baryum est la qualité de verre donnant la meilleure réfraction. Grâce à lui, les déformations périphériques et chromatiques de l'image sont limitées* ». Comment appelle-t-on les aberrations responsables des *déformations périphériques* ? À quoi sont dues les aberrations chromatiques ?

**A.I.5** L'objectif et l'oculaire sont réalisés par association de plusieurs lentilles (voir figure 1b). Pour quelle raison ?

### **A.II Encombrement de la lunette équivalente**

**A.II.1** La lunette équivalente est réglée de manière à constituer un système afocal. Préciser ce que cela signifie. Quel avantage présente ce réglage pour un être humain ?

**A.II.2** On appelle *longueur* ou *encombrement* de la lunette équivalente la grandeur  $L_1 = \overline{O_1O_2}$  entre les centres optiques des deux lentilles. En déduire  $L_1$  en fonction de  $f'_1$  et  $f'_2$ . Pour quelle valeur  $u_1$  de  $u$  y a-t-il accord avec les données constructeur ?

**A.II.3** Représenter sur une feuille de papier millimétré, à l'échelle 1, la lunette équivalente afocale en plaçant l'objectif à gauche de l'oculaire ; on prendra, pour simplifier la construction,  $u = 1$  cm. Tous les foyers doivent être positionnés et visibles, les orientations précisées. Dessiner le trajet d'un rayon lumineux arrivant sur l'objectif et incliné d'un angle orienté  $\alpha$  par rapport à l'axe optique. On notera  $\alpha'$  l'angle orienté, par rapport à l'axe optique, du rayon correspondant émergent de l'oculaire.

**A.II.4** Établir, à l'aide de cette représentation, l'expression algébrique du grossissement, noté  $G$ , en fonction de  $f'_1$  et  $f'_2$ . Évaluer numériquement  $G$  et commenter son signe.

### **A.III Le cercle oculaire**

Le *cercle oculaire* délimite une surface particulière située dans un plan transverse de l'espace image. Il s'agit de l'image par l'oculaire de la monture de l'objectif. La lunette équivalente est réglée de manière à constituer un système afocal.

**A.III.1** Pourquoi a-t-on intérêt à placer son œil au niveau du cercle oculaire ?

**A.III.2** On note  $C$  la position du cercle oculaire sur l'axe optique. Déterminer littéralement, en fonction de  $f'_1$  et  $f'_2$ , la grandeur  $\overline{O_2C}$ .

**A.III.3** Le constructeur appelle *dégagement oculaire* ou *relief de l'œil* (RO), « la distance entre l'œil et la première lentille » (voir figure 2a).

En déduire la valeur  $u_2$  de  $u$  (différente de  $u_1$ ) que cette approche permet d'obtenir. Pourquoi certains observateurs doivent-ils replier l'ocillon (voir figure 2b) ?

**A.III.4** On note  $D$  le diamètre de l'objectif et  $d$  celui du cercle oculaire. Déterminer  $d$ , d'abord littéralement en fonction de  $f'_1$ ,  $f'_2$  et  $D$ , puis numériquement à l'aide des données du tableau 1.

**A.III.5** Le constructeur précise que « le diamètre du cercle oculaire peut être obtenu en divisant le diamètre de l'objectif par le grossissement ». En déduire la valeur constructeur correspondante et vérifier sa compatibilité avec le calcul précédent.

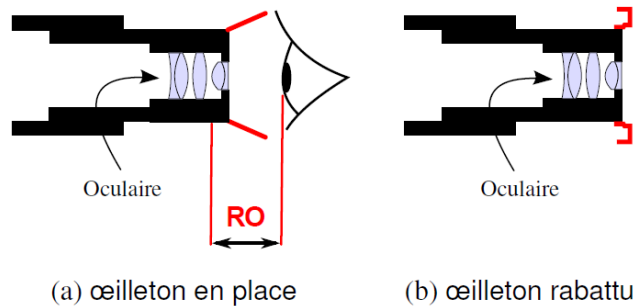
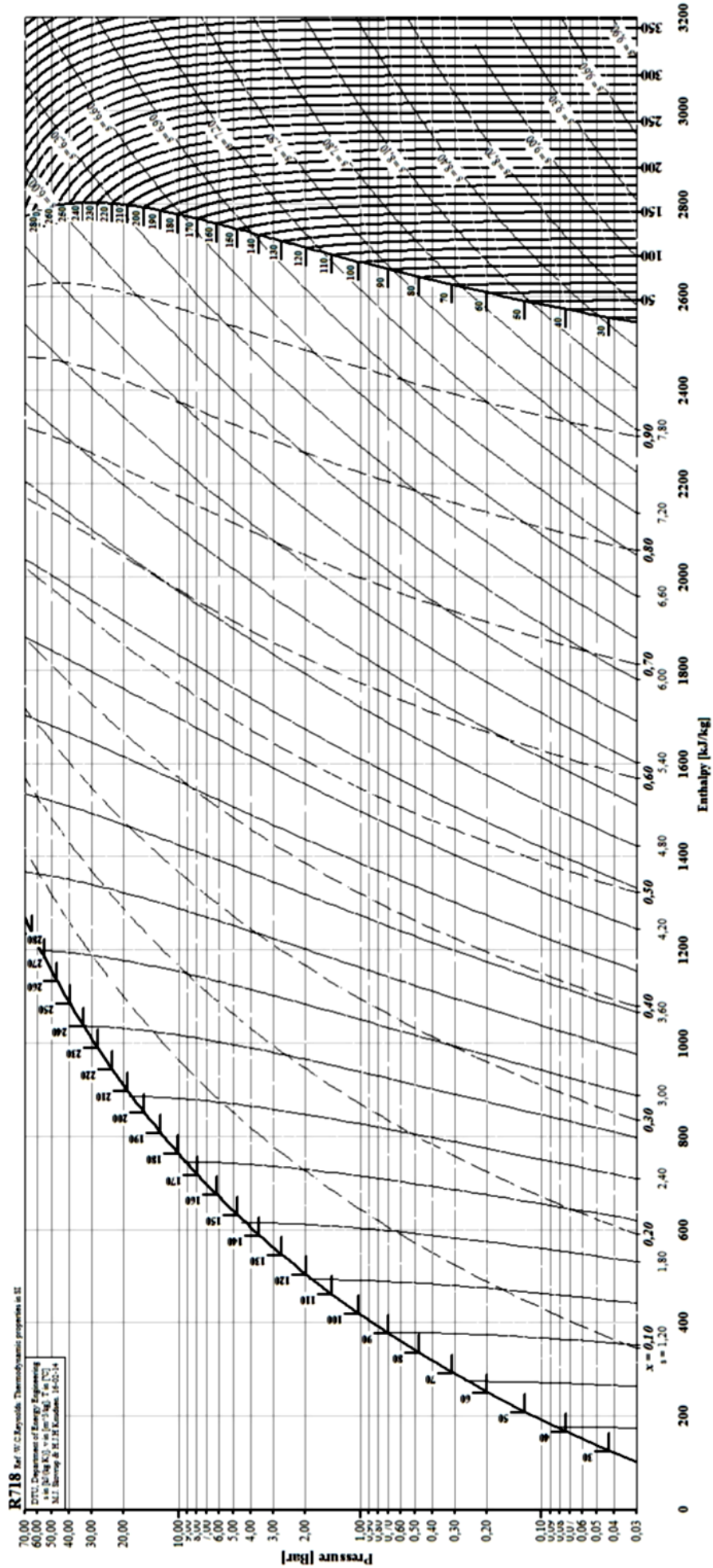


FIGURE 2 – Utilisation d'un ocillon

**A.III.6** Si elle existe, préciser quelle caractéristique de l'œil humain pourrait intervenir dans les choix effectués par le constructeur pour fixer la taille du cercle oculaire. S'agit-il d'une paire de jumelles destinée à être utilisée par grande ou faible luminosité ? Justifier.

# Document réponse

Les températures sont exprimées en °C

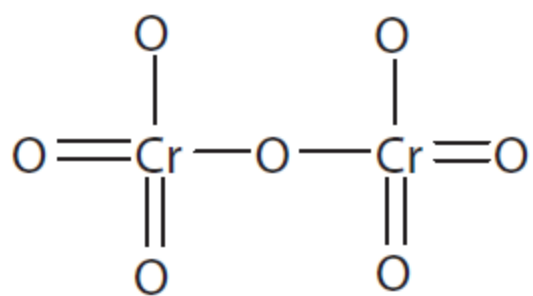




## Partie III

---

Question G3



## Extraits des rapports de jury du DS3

### Partie I Etude d'une centrale nucléaire REP : CCS MP 2016

#### Analyse globale des résultats

Grâce à l'absence de question bloquante et à sa structuration en plusieurs parties indépendantes, ce sujet a permis à de nombreux candidats de balayer une forte proportion des thèmes cités ci-dessus, en faisant preuve pour certains d'une très bonne assimilation du programme de physique-chimie de MPSI/MP. Après s'être approprié la problématique propre à chaque partie, ils apportent des réponses claires en adaptant leurs connaissances à un cadre concret. À contrario, les candidats qui, par inattention ou par manque de rigueur, commettent des erreurs sur des aspects scientifiquement rudimentaires, ceux qui fournissent des réponses si mal rédigées qu'elles en deviennent ambiguës ou qui négligent les commentaires des résultats, voient leur notation sérieusement dégradée. Rappelons aussi que les copies presque illisibles ou dans lesquelles quelques mots importants sont étouffés dans des arguties absconses n'incitent guère les correcteurs à l'indulgence. Enfin, il est à signaler que le sujet portait majoritairement sur des questions de physique. Cependant, la partie chimie a été fortement discriminante, car de nombreux candidats n'y ont récolté que très peu de points.

#### Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux futurs candidats

I.A – La question I.A.2c a été assez bien réussie, témoignant de l'aisance des candidats à lire des graphiques complexes. L'exploitation quantitative jusqu'aux conclusions finales demande évidemment la maîtrise des outils usuels de la thermodynamique : les candidats qui confondent énergie interne et enthalpie ou ne maîtrisent pas le sens de la notation  $\Delta$  se trouvent logiquement en difficulté. Au delà de ces aspects formels, rappelons que la thermodynamique est une discipline ancrée dans le réel. Le jury a donc accordé une grande importance aux commentaires des résultats numériques : comparaison argumentée des rendements, plus ou moins forte corrosion associée à la présence d'eau liquide, irréversibilité de certaines transformations

### Partie II Conditionnement d'air d'une voiture et Partie III Contrôle de l'alcoolémie : E3A MP 2017

#### COMMENTAIRE GENERAL SUR L'ÉPREUVE

L'épreuve qui étudie certains aspects de la sécurité routière fait appel à de nombreuses parties des programmes de sciences physiques MPSI et MP : mécanique, thermodynamique, circuits électriques et chimie. Aucune des parties n'a été traitée par personne et même aucune question n'est restée sans réponse exacte sur l'ensemble des copies. On a trouvé de bonnes copies qui montrent que certains candidats maîtrisent le cours et savent l'utiliser pour établir leurs résultats. Conformément aux programmes en vigueur le candidat devait confronter ses résultats à des éléments documentaires ou à des données de la vie quotidienne. Dans l'ensemble les candidats utilisent avec efficacité les documents. Ils semblent moins à l'aise dans l'exploitation d'ordres de grandeur du monde quotidien. Dans l'ensemble il y a un manque de rigueur de la part des étudiants : absence d'unité pour les résultats numériques, résultats non homogènes, mauvaise orientation de certains vecteurs forces, absence de démonstration en réponse aux questions qui demandent d'« établir » quelque chose, résultats contradictoires dans des questions successives sans retour en arrière pour corriger, signes faux pour les échanges thermiques et « bricolage » d'une ligne à l'autre pour obtenir le bon résultat. Certaines parties du cours semblent vraiment mal maîtrisées par des candidats qui répondent tout de même aux questions donc de manière fautive. Leur stratégie est donc à revoir. Enfin on déplore la présence dans certaines copies de fautes d'orthographe ou de grammaire et d'une rédaction confuse.

#### ANALYSE PAR PARTIE

##### DEUXIÈME PARTIE :

##### Thermodynamique Partie II-E :

Cette cinquième partie traitait un problème de transferts thermiques entre l'habitacle d'une voiture et l'extérieur. La loi de Fourier n'est pas toujours connue. La notion de résistance thermique est souvent mal maîtrisée, très rarement établie ce qui conduit à d'étranges expressions où la résistance est d'autant plus grande que le matériau est plus conducteur. Très peu définissent correctement ce qu'est un montage série ou

un montage parallèle. Le schéma électrique équivalent est donc incorrect à cause de cela. Les bilans énergétiques conduisent à des erreurs de signe et on sait rarement à quel système ils sont appliqués.

#### **Partie II-F :**

Cette cinquième partie étudiait le régime transitoire de modification de température dans l'habitacle. Elle a rarement été traitée, peut-être délaissée par le désir des candidats d'aborder la chimie. Les candidats qui l'ont traitée s'en sont bien sortis car la modélisation électrique était simple et la résolution de l'équation différentielle classique.

#### **TROISIEME PARTIE :**

##### **Chimie Partie III-G :**

Cette sixième partie faisait appel à des notions de première année tant théoriques qu'expérimentales. En général les élèves savent obtenir la structure électronique mais peu ont donné une formule de Lewis exacte. Rares sont ceux qui connaissent le vocabulaire du matériel de laboratoire ou son utilisation. Le protocole n'a quasiment jamais été indiqué et les causes d'incertitudes encore moins. On voit des réactions bilan redox qui contiennent encore des électrons. Peu ont su calculer la constante d'équilibre à partir des potentiels standard. Les calculs de quantité de matière pour les dosages posent beaucoup de problème à certains candidats. Au lieu de traduire directement le bilan à l'équivalence, ils passent par l'intermédiaire d'un tableau d'avancement et ne savent plus ensuite quoi en faire. On a du mal à comprendre comment des élèves qui réalisent des dosages en travaux pratiques depuis plusieurs années ne savent pas obtenir directement la concentration déterminée expérimentalement.

##### **Partie III-H :**

Cette partie a été traitée plutôt mieux que les autres. L'exploitation des données est assez bien conduite. La constante de vitesse est souvent affectée d'une unité fautive.

#### **Partie IV Etude d'une paire de jumelles : CAPES 2010**

##### **Présentation du sujet**

Le sujet était constitué de trois parties indépendantes comportant elles-mêmes de nombreuses sous parties ou questions indépendantes. À travers le thème des « Chasseurs d'éclairs », divers domaines de la physique étaient abordés à des degrés variables : de manière approfondie l'optique géométrique, l'électronique et l'électromagnétisme, et dans une moindre mesure la mécanique du point et la thermodynamique. Certaines questions relevaient de notions très proches d'une situation de cours, d'autres requéraient des savoir-faire développés en séances de travaux pratiques et les dernières enfin, plus rares, nécessitaient des compétences transversales. Les questions nécessitant une technicité mathématique notable étaient volontairement en nombre limité. L'épreuve a permis de bien classer les candidats comme en témoigne la distribution des notes obtenues.

##### **Remarques particulières**

###### **Partie A.**

Il s'agit incontestablement de la partie la mieux traitée. Les premières définitions posent peu de difficultés et les diverses aberrations sont connues du plus grand nombre. La détermination rapide de la nature d'une lentille inconnue, nécessitant d'utiliser des compétences expérimentales, est en revanche moins convaincante. Les quelques questions portant sur le calcul de l'encombrement de la lunette équivalente sont bien traitées. L'algébrisation des grandeurs n'est pas souvent précisée contrairement à la consigne donnée par l'énoncé. L'essentiel des notions relatives au cercle oculaire est connu bien que le lien soit rarement fait avec le diamètre de la pupille de l'œil, dilatée ou non. Lorsqu'elle suit, la conclusion relative à la luminosité ambiante est souvent erronée, du fait de la méconnaissance de l'ordre de grandeur de ce paramètre physiologique. Difficile également d'obtenir une réponse de bon sens concernant le rôle de l'œillet.

# Correction DS 3

## I. Etude d'une installation nucléaire REP

1. La démonstration du rendement de CARNOT est à connaître par cœur. On part des deux principes de la thermodynamique écrits pour un cycle :

$$\begin{cases} \Delta U_{\text{cycle}} = 0 = W + Q_c + Q_f \\ \Delta S_{\text{cycle}} = 0 = S_e + S_c = \frac{Q_c}{T_c} + \frac{Q_f}{T_f} + S_c \end{cases}$$

Le cycle de CARNOT a la particularité d'être réversible et  $S_c = 0$ . Par définition, le rendement pour un moteur est  $\eta = \frac{-W}{Q_c}$ . Le premier principe permet d'écrire  $\eta = 1 + \frac{Q_f}{Q_c}$  et le second principe

permet d'écrire que  $\frac{Q_c}{T_c} = -\frac{Q_f}{T_f}$  d'où  $\frac{Q_f}{Q_c} = -\frac{T_f}{T_c}$  et donc :

$$\eta_{\text{Carnot}} = 1 - \frac{T_f}{T_c}$$

2. L'application numérique est

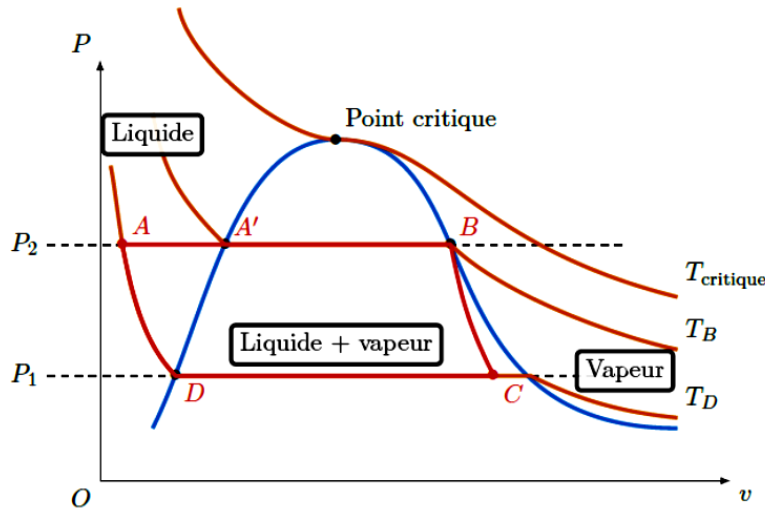
$$\eta_{\text{Carnot}} \simeq 0,442$$

3. L'énoncé nous dit que la puissance électrique de la centrale est de  $P_e = 900 \text{ MW}$ , on en déduit :  $\eta_{\text{réel}} = \frac{P_e}{P_i} \simeq 0,323$  Ce rendement est inférieur à celui du cycle idéal de CARNOT. La perte est de l'ordre de

$$\frac{\Delta\eta}{\eta_{\text{Carnot}}} \simeq 27 \%$$

ce qui est conséquent. Le modèle choisi n'est donc pas adapté.

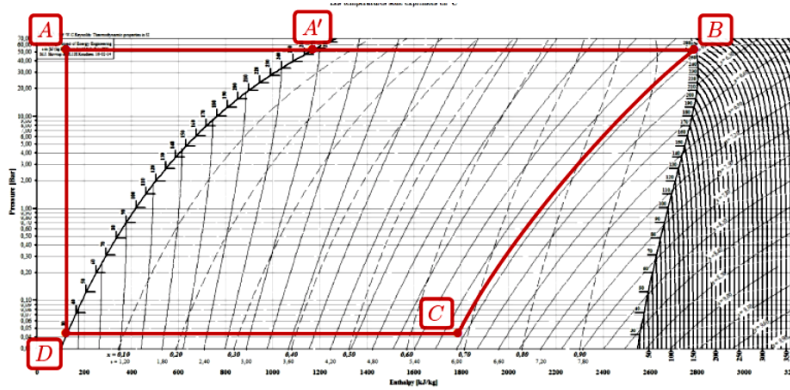
- 4.



5. Les unités proposées par l'énoncé sont fausses, voir le cartouche du diagramme. Le tableau demandé est le suivant :

Points	Températures (°C)	Enthalpie massique (kJ · kg <sup>-1</sup> )	Entropie massique (kJ · K <sup>-1</sup> · kg <sup>-1</sup> )
A'	270	1190	2,98
B	270	2788	5,92
D	30	125,2	0,435

6. A' est à l'intersection entre la ligne isobare à 55 bar et la courbe d'ébullition, B est à l'intersection entre la ligne isobare à 55 bar et la courbe de rosée, C est à l'intersection entre la ligne iso-entropie à 5,92 kJ · K<sup>-1</sup> · kg<sup>-1</sup> (car la transformation B → C est adiabatique et réversible) et la ligne isobare à 0,043 bar, D est à l'intersection de la ligne isobare à 0,043 bar et de la courbe d'ébullition, A est à l'intersection de la ligne isobare à 55 bar et de la verticale de D car la compression d'un liquide est à travail massique nul et adiabatique, soit  $h_D - h_A = 0$ .



7. Le premier principe de la thermodynamique en système ouvert s'écrit de manière générale :  $D_m [e_c + e_p + h]_e^s = \mathcal{P}_i + \mathcal{P}_{th}$  mais on peut également l'écrire :  $[e_c + e_p + h]_e^s = w_i + q_{th}$  et en négligeant les énergies cinétiques et potentielles massiques, il reste :

$$[h]_e^s = w_i + q_{th}$$

8. La transformation est dite adiabatique donc  $q_{th} = 0$  et il reste :

$$h_C - h_B = w_{BC} = 1795 - 2788 = -993 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

9. De A à A' la transformation se fait dans le GV qui ne comporte aucune pièce mobile et  $w_{AA'} = 0$  d'où

$$h_{A'} - h_A = h_{A'} - h_D = q_{AA'} = 1190 - 125 = 1065 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

10. De la même façon :

$$h_B - h_{A'} = q_{A'B} = 2788 - 1190 = 1598 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

11. Par définition :  $\eta_{\text{Rankine}} = \frac{\text{but}}{\text{coût}} = \frac{-w_{BC}}{q_{AA'} + q_{A'B}} = \frac{993}{1065 + 1598} = 0,37$  dont on tire

$$\eta = 0,37$$

Cette valeur est supérieure au rendement réel, le cycle réel n'est donc pas un cycle de RANKINE.

12. L'eau est dans un état d'équilibre liquide + vapeur.

On peut donner son titre massique de deux façons : par lecture directe

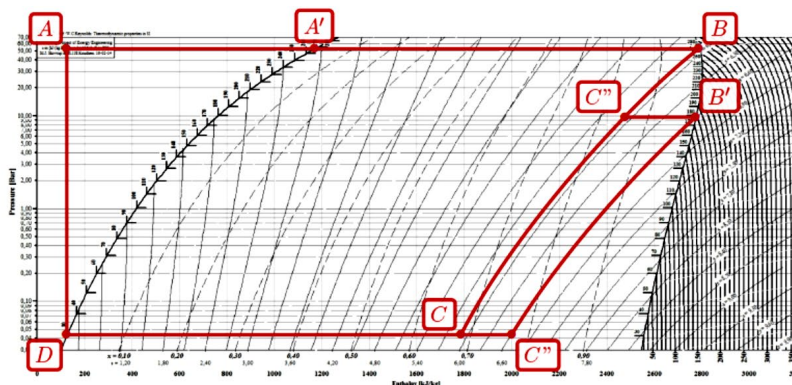
$$x_C = 0,67$$

ou en utilisant le théorème des moments :  $x_C = \frac{h_C - h_L}{h_V - h_L} = \frac{1750 - 125}{2556 - 125} = 0,67$ . La première méthode est bien sûr plus rapide...

La présence d'eau liquide a de nombreux inconvénients pour une turbine à gaz :

- risques de corrosion,
- vibrations engendrées par le choc de gouttes d'eau.

13.



14. Les titres massiques en vapeur s'obtiennent grâce au théorème des moments appliqués avec l'enthalpie massique ou plus rapidement par lecture graphique :

$$x_{C'} \simeq 0,85 \text{ et } x_{C''} \simeq 0,77$$

Tous deux sont supérieurs à  $x_C$  ce qui permet de mieux protéger les parties mobiles de la turbine.

15. Le nouveau rendement se calcule avec  $w = w_{BC'} + w_{B'C''}$  et  $q = q_{AB} + q_{C'B'}$ . On en déduit :

$$\eta_{R, \text{étagé}} = \frac{h_{C'} - h_{B'} + h_{C''} - h_{B'}}{h_B - h_A + h_{B'} - h_{C'}} \simeq 0,38$$

Le rendement est moindre mais le risque pour les turbines également.

## II. Conditionnement d'air d'une voiture

1. La loi de FOURIER à une dimension s'écrit ici  $\vec{j} = -\lambda_i \frac{\partial T}{\partial x} \vec{u}_x$  avec  $\lambda_i$  qui s'exprime en

$$\boxed{\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}$$

2. En régime permanent, et pour une géométrie unidimensionnelle cartésienne, le bilan enthalpique sur toute tranche mésoscopique d'épaisseur  $dz$  s'écrit  $dH = 0 = \delta Q(z) + \delta Q(z + dz)$ . Par ailleurs,  $\delta Q(z) = \iint_{S(z)} \vec{j} \cdot d\vec{S} dt = j(z) S dt$  et de même, en conservant l'orientation conventionnelle thermodynamique :  $\delta Q(z + dz) = \iint_{S(z+dz)} \vec{j} \cdot d\vec{S} dt = -j(z + dz) S dt$ . On en déduit avec la loi de FOURIER,  $\frac{d^2 T}{dz^2} = 0$  d'où  $T(z) = Az + B$  et avec les conditions aux limites, il vient  $T(z) = \frac{T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}}{e} z + T_{\text{ext}}$ . On en déduit que  $\Phi(z) = \iint_{S(z)} \vec{j} \cdot d\vec{S} dt = -\lambda \frac{dT}{dz} s = \lambda \frac{T_{\text{ext}} - T_{\text{int}}}{e} s$ . On peut alors ré-écrire cette relation sous la forme  $\Delta T = \frac{e}{\lambda s} \Phi$  pour faire apparaître la résistance thermique de la paroi :

$$\boxed{R_{\text{th}} = \frac{e}{\lambda s}}$$

3. L'association en série de résistances thermiques correspond à une succession de parois traversées de même surface  $s$  par le même flux.

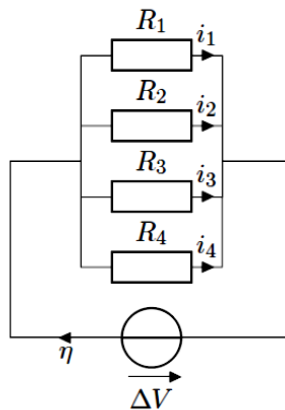
L'association en parallèle de résistances thermiques correspond à une succession de paroi soumises au même  $\Delta T$ .

4. (a)  $R_1 = \frac{e_1}{\lambda_1 \ell L}$ ,

(b) Les parties latérales sont soumises au même  $\Delta T$  aussi  $R_2 = \left( 2 \frac{\lambda_1 (H-d)L}{e_1} + 2 \frac{\lambda_1 (H-d)\ell}{e_1} \right)^{-1} = \frac{e_1}{\lambda_1 (H-d) 2(L+\ell)}$ ,

(c) De même  $R_3 = \frac{e_1}{\lambda_2 d(L+\ell)}$ .

5. La prise en compte du plancher rajoute une résistance  $R_4 = R_1$  et on a alors le circuit équivalent :



Les résistances sont en parallèle et on en déduit que la résistance thermique totale est

$$\boxed{R_v = \left( \frac{2}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)^{-1}}$$

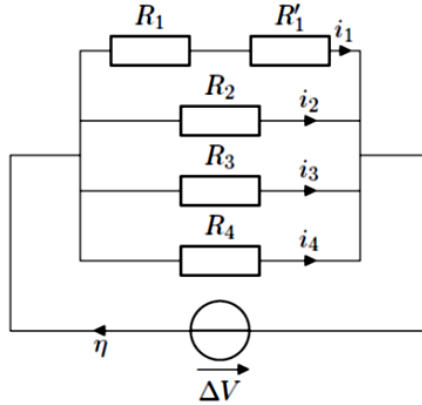
6. On a donc  $R_v = 2,9 \times 10^{-4} \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$  et celle de  $R_3 = 2,9 \times 10^{-4} \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ . On en déduit que la

puissance thermique totale est presque exclusivement perdue par les vitres.

7. Le phénomène négligé est le phénomène de conducto-convection qui a lieu à chaque interface solide-fluide, soit ici la totalité des parois.

Avec la loi de NEWTON  $\phi_{cc} = hS(T_{\text{ext}} - T_p)$ , on en déduit une nouvelle expression de résistance thermique  $R'_1 = \frac{1}{hL\ell}$  qu'il faut ajouter en série à  $R_1$  pour le seul plafond.

Le nouveau schéma électrique est le suivant (en ne modifiant que  $R_1$ ) :



8. La puissance thermique produite dans l'habitable est libérée dans le milieu extérieur en régime permanent. Ainsi

$$np + P_1 + G\Delta T = 0$$

9. En été :  $P_1 = -1800 \text{ W} < 0$ , l'énergie thermique est effectivement cédée au milieu extérieur, En hiver :  $P_1 = 4200 \text{ W} > 0$ , l'énergie thermique est effectivement reçue par le système {air de l'habitable}.

Le conditionnement est inutile si  $P_1 = 0$  et on en déduit  $\Delta T = -\frac{np}{G}$ , soit

$$T_{\text{ext}} = T_{\text{int}} - \frac{np}{G} \simeq 291 \text{ K}$$

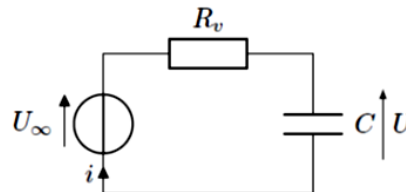
L'ordre de grandeur paraît vraisemblable même si un peu bas.

10. Le premier principe en système fermé appliqué au système {air dans l'habitable}, pour une transformation isobare, s'écrit  $dH = C \frac{\partial T}{\partial t} dt = \delta Q = (np + P_{1,\text{max}} + G(T_{\text{ext}} - T)) dt$ . On peut ré-écrire cette équation sous la forme :

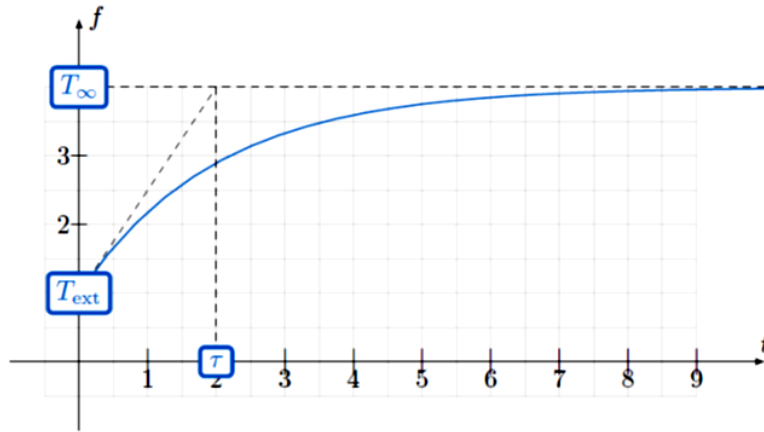
$$\frac{dT}{dt} + \frac{G}{C}T = \frac{np + P_{1,\text{max}} + GT_{\text{ext}}}{C}$$

On retrouve bien la forme demandée avec  $\tau = \frac{C}{G} = CR_v$  et  $T_\infty = T_{\text{ext}} + (np + P_{1,\text{max}}) R_v$ .

11. L'équation différentielle obtenue est analogue à  $\frac{dU}{dt} + \frac{U}{CR_v} = \frac{U_\infty}{CR_v}$  soit encore  $C \frac{dU}{dt} + \frac{U}{R_v} = \frac{U_\infty}{R_v}$ . On retrouve l'équation différentielle du circuit suivant :



12. Le tracé demandé est tracé ci-dessous :



13. L'équation de la question 10 est une équation différentielle du premier ordre à coefficients constants, dont la solution est  $T(t) = T_\infty + Ae^{-\frac{t}{\tau}}$ . La condition initiale est  $T(t=0) = T_{\text{ext}}$  d'où

$$T(t) = T_\infty + (T_{\text{ext}} - T_\infty)e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Pour que la température de consigne soit atteinte en une durée  $\Delta t$ , il faut  $T(t = \Delta t) = T_c = T_\infty + (T_{\text{ext}} - T_\infty)e^{-\frac{\Delta t}{\tau}}$ . Il reste à isoler  $T_\infty$ , soit  $T_\infty = \frac{T_c - T_{\text{ext}}e^{-\frac{\Delta t}{\tau}}}{1 - e^{-\frac{\Delta t}{\tau}}}$ . On en déduit :  $T_{\text{ext}} + (np + P_{1,\text{max}})R_v = \frac{T_c - T_{\text{ext}}e^{-\frac{\Delta t}{\tau}}}{1 - e^{-\frac{\Delta t}{\tau}}}$  soit enfin :

$$P_{1,\text{max}} = \frac{\frac{T_c - T_{\text{ext}}e^{-\frac{\Delta t}{\tau}}}{1 - e^{-\frac{\Delta t}{\tau}}} - R_v np - T_{\text{ext}}}{R_v}$$

14. Le volume de gaz parfait est  $V = 0,5HL\ell$  qui contient à pression atmosphérique et à température  $T_c$  :

$$q = \frac{0,5p^\circ HL\ell}{RT_c} \simeq 216 \text{ mol}$$

15. Par définition  $H = U + pV = U + 1 \times RT$ , soit  $\Delta H = \Delta U + 1 \times R\Delta T$ . Avec les lois de JOULE, il vient  $C_p\Delta T = C_v\Delta T + 1 \times R\Delta T$ , soit  $C_p = C_v + 1 \times R$ .  
 $C_p - C_v = R$  et avec  $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ , on en déduit

$$C_p = \frac{\gamma R}{\gamma - 1}$$

16. On a donc ici  $C = q \frac{\gamma R}{\gamma - 1} \simeq 6,3 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$  d'où  $\tau \simeq R_v C = 40 \text{ s}$  et enfin

$$P_{1,\text{max}} \simeq 4,5 \times 10^3 \text{ W}$$

Ce résultat est tout à fait cohérent avec celui calculé pour une durée de chauffage infinie de  $4,2 \times 10^3 \text{ W}$ .

17. Les mêmes causes donnant les mêmes conséquences, les équations sont les mêmes et l'application numérique donne

$$P_{1,\text{min}} \simeq -1,9 \times 10^3 \text{ W}$$

18. L'utilisation des résistances thermiques n'est rigoureusement valable qu'en régime permanent, l'inertie thermique des solides (verres, parois, ...) n'est pas prise en compte, le phénomène conducto-convectif n'est pris en compte que sur une paroi alors qu'il est présent partout.



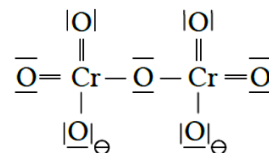
### III. Contrôle de l'alcoolémie

#### G. Titrage de l'éthanol

G.1. Il vient  $[Cr]=[Kr]4s^23d^4$  et  $[O]=1s^22s^22p^4$

G.2. Si une couche d est à moitié remplie, les électrons ont des spins orientés dans le même sens et occupent toutes les valeurs possibles de  $m_l$ , ce qui abaisse le niveau d'énergie de cette couche d en dessous de la couche s, d'où la configuration  $[Kr]3d^54s^1$  observée.

G.3. La structure de Lewis de l'ion dichromate est donnée ci-contre :



G.4. Une pipette jaugée de 10 mL est utilisée pour l'échantillon de vin

qui est versé un ballon à distiller. L'ajout d'environ 50 mL d'eau se fait à la pissette. Le distillat est récupéré dans une fiole jaugée de 100 mL puis le volume est ajusté à la pissette à 100 mL. Les erreurs de lecture sont plus importantes que les incertitudes liées à la verrerie.

G.5. On combine deux demi équations redox,  $2Cr^{3+}+7H_2O=Cr_2O_7^{2-}+6e^-+14H^+$  et  $Fe^{2+}=Fe^{3+}+2e^-$  soit  $Cr_2O_7^{2-}+6Fe^{2+}+14H^+=2Cr^{3+}+6Fe^{3+}+7H_2O$ . La constante de réaction est donnée par  $\Delta_r G^\circ = -nFe^\circ = -RT \ln(K^\circ)$  où  $e^\circ = \Delta E^\circ > 0$  est la fem standard de la pile, soit  $\log K^\circ = \frac{6\Delta E^\circ}{0,06}$  donc  $K^\circ = 10^{56}$ , réaction totale.

G.6. La réaction consomme énormément d'ion  $H^+$  d'où l'ajout d'acide sulfurique concentré.

G.7. A l'équivalence, on a  $\frac{n_{Cr_2O_7^{2-}}}{1} = \frac{n_{Fe^{2+}}}{6} = \frac{C_2 V_2}{6}$  soit  $n_{Cr_2O_7^{2-}} = 6,310^{-4} mol$

G.8. Initialement, il y avait  $2 \cdot 10^{-3} mol$  d'ion dichromate, donc  $1,37 \cdot 10^{-3} mol = n_1$  ont réagi avec l'éthanol (EtOH). A l'équivalence  $\frac{n_1}{3} = \frac{n_{EtOH}}{2}$ , soit  $2,05 \cdot 10^{-3} mol$  dans l'erlenmeyer et donc  $n_{EtOH} = 2,05 \cdot 10^{-2} mol$  dans le volume  $V_0$ .

G.9. La concentration de l'alcool dans le vin est donc de  $2,05 mol.L^{-1}$ . La masse molaire de l'éthanol est de  $46 g.mol^{-1}$ , sa masse volumique  $0,78 g.mL^{-1}$ , son volume molaire  $59 mL.mol^{-1}$  donc son volume de  $0,121 L$  dans un 1 litre d'eau, soit un degré alcoolique de  $12,1^\circ$ .

#### H. Cinétique

H.1. Un degré de  $35^\circ$  correspond à une concentration de  $\frac{0,35}{59 \cdot 10^{-3}} = 5,9 mol.L^{-1}$ .

H.2. Il suffit de tracer à la calculatrice  $\ln(C)$  en fonction du temps pour obtenir une droite de pente  $-k$  puisque  $\ln(C) = -kt + \ln(C_0)$  pour une réaction d'ordre 1 où  $\frac{dC}{dt} = -kC$ .

H.3. La pente obtenue donne  $k = 0,17 mn^{-1}$

H.4. Le temps de demi réaction correspond au moment où  $C(t_{1/2}) = \frac{C_0}{2}$  soit  $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}$ .

H.5. Cet homme de 51 kg ingère  $5,9 \times 0,15 = 0,89 mol$  d'éthanol soit 41g, correspondant à 0,80 g d'alcool par kg de poids corporel, donc à la courbe de la figure 6 (comme par hasard...). Comme il est à jeun, son alcoolémie est maximale  $1,5 h = t_m$  après l'ingestion.

H.6. Vu le poids de ce gringalet, plus de 6h.

## IV Etude d'une paire de jumelles

### A.I Les éléments du modèle

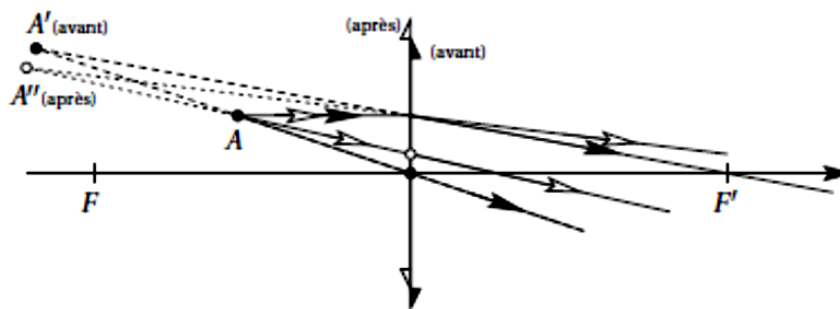
A.I.1 Une lentille est dite mince lorsque son épaisseur est faible devant les rayons de courbure des dioptries sphériques qui la composent ainsi que devant la différence entre ces rayons.

On distingue trois lentilles divergentes, numérotées 2, 3 et 7.

L'objectif est la lentille équivalente située du côté des objets. L'oculaire est celle située du côté de l'œil.

A.I.2 Regarder l'image d'un objet placé très près d'une lentille (entre le centre optique et le foyer objet). Déplacer la lentille dans un sens. Si l'image se déplace dans le même sens, la lentille est divergente, sinon convergente.

Ici, la lentille convergente (représentation en traits pleins avant, creux après) a été légèrement déplacée vers le haut. L'image ( $A'$  pleine avant,  $A''$  creuse après) est descendue légèrement.



A.I.3 Les conditions de l'approximation de Gauss nécessitent des rayons peu inclinés par rapport à l'axe optique et proches de celui-ci.

Lorsqu'elles sont satisfaites, il y a aplanétisme et stigmatisme approché.

A.I.4 Les déformations périphériques sont des aberrations géométriques.

Les aberrations chromatiques sont dues à la variation de l'indice du milieu traversé en fonction de la longueur d'onde (la loi de Cauchy,  $n(\lambda) = A + B/\lambda^2$ ).

A.I.5 Ces associations sont principalement destinées à corriger les aberrations chromatiques (par association de lentilles en crown et en flint). En second lieu, les aberrations géométriques peuvent être corrigées.

(Le fait que l'oculaire soit constitué de plusieurs lentilles permet à l'observateur de corriger certains défauts de son œil.)

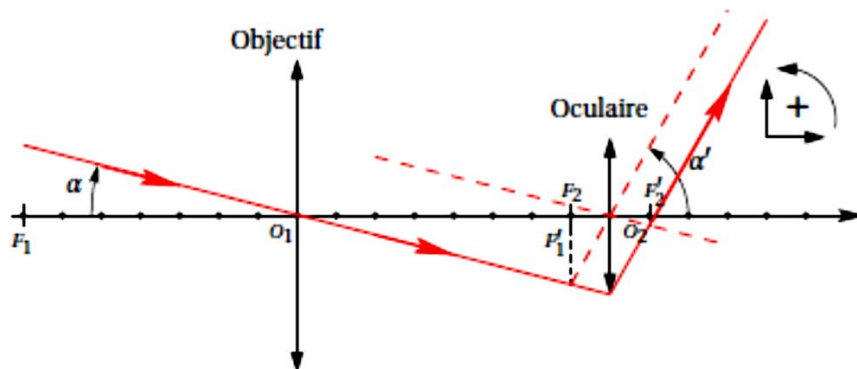
### A.II Encombrement de la lunette équivalente

A.II.1 La lunette est afocale signifie littéralement que le dispositif équivalent n'a pas de foyer. Les rayons issus d'un point situé à l'infini sur l'axe optique ressortent parallèlement à cet axe et ne le coupent pas à distance finie.

Lorsque la lunette est réglée de manière afocale, l'image formée étant à l'infini, un observateur n'a pas à accommoder pour l'observer, ce qui est moins fatigant.

A.II.2 Par la décomposition de Chasles,  $L_1 = \overline{O_1O_2} = \overline{O_1F'_1} + \overline{F'_1F_2} + \overline{F_2O_2}$ . Le dispositif étant afocal,  $F'_1 = F_2$ , donc  $L_1 = f'_1 + f'_2$ . Numériquement  $L_1 = 185 \text{ mm} = 8u_1$ , soit  $u_1 = 23,1 \text{ mm}$ .

A.II.3 Un objet à l'infini donne une image intermédiaire dans le plan focal commun du dispositif.



**A.II.4** On exprime les tangentes des deux angles à l'aide de la dimension transversale de l'image intermédiaire, notée  $\overline{A_1B_1}$ . En respectant les algébrisations, on a  $\tan \alpha = \overline{A_1B_1} / f_1'$  et  $\tan \alpha' = -\overline{A_1B_1} / f_2$ ; du fait des conditions de Gauss,  $\overline{A_1B_1} \approx \alpha f_1' \approx -\alpha' f_2$ , soit  $G = \alpha' / \alpha = -f_1' / f_2$ . L'application numérique donne  $G = -7$ . L'image est donc renversée ( $G < 0$ ).

### A.III Le cercle oculaire

**A.III.1** C'est au niveau du cercle oculaire que se concentre le maximum de lumière. On y place donc son œil pour profiter d'une luminosité maximale.

**A.III.2** L'objet pour l'oculaire se trouve à la distance  $\overline{O_2O_1} = -(f_1' + f_2)$  et l'on obtient littéralement,  $\overline{O_2C} = f_2'(1 + f_2'/f_1')$ .

**A.III.3** On lit dans les données  $\overline{O_2C} = 12 \text{ mm}$ , ce qui nous donne  $u_2 = 11 \text{ mm}$ . Replier l'oculaire permet aux porteurs de lunettes de se placer au mieux pour l'observation.

**A.III.4** L'objet est de taille  $D$  et l'image de taille  $d$ . À l'aide du grandissement du dispositif,  $|\gamma| = d/D = |\overline{O_2C} / \overline{O_2O_1}|$ , soit  $d = D f_2' / f_1'$ . On trouve alors  $d = 7 \text{ mm}$ .

**A.III.5** L'information donnée par le constructeur conduit au même résultat,  $50/7 = 7 \text{ mm}$ .

**A.III.6** Il faut que toute la lumière entre dans l'œil de l'observateur. Le diamètre du cercle oculaire ne peut donc dépasser celui d'une pupille dilatée.

Selon la luminosité, le diamètre de la pupille varie entre 3 et 7 mm. Cette paire de jumelles est donc destinée à une observation sous faible luminosité (pupille très dilatée).