



**MINISTÈRE
DE L'ÉDUCATION
NATIONALE,
DE L'ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Concours externe BAC + 3 du CAPLP

Cafep-Caplp

Section Mathématiques-Physique Chimie

- 1) Exemple de sujet pour la première épreuve d'admissibilité
- 2) Extrait de l'arrêté du 17 avril 2025

Les épreuves du concours externe du Caplp et Cafep-Caplp BAC+ 3 sont déterminées dans [l'arrêté du 17 avril 2025 fixant les sections et modalités d'organisation du concours externe du certificat d'aptitude au professorat de lycée professionnel](#), publié au Journal Officiel du 19 avril 2025, qui fixe les modalités d'organisation du concours et décrit le schéma des épreuves.

CAPLP BAC + 3
Sujet 0 / Seconde épreuve d'admissibilité

Le sujet est structuré en trois parties :

- **la partie 1, sur 10 points, est à traiter par tous les candidats ;**
- **la partie 2, sur 10 points, est à traiter uniquement par les candidats ayant choisi la discipline majeure mathématiques à l'inscription.** Aucun point ne sera attribué sur cette partie aux candidats relevant de la discipline majeure physique-chimie ;
- **la partie 3, sur 10 points, est à traiter uniquement par les candidats ayant choisi la discipline majeure physique-chimie à l'inscription.** Aucun point ne sera attribué sur cette partie aux candidats relevant de la discipline majeure mathématiques.

Le sujet comporte des documents réponses dans une **annexe à rendre avec la copie**, qu'ils soient complétés ou non.

Les questions intitulées « Question ouverte » nécessitent de l'initiative. Le candidat est invité à consigner ses pistes de recherche et à y consacrer un temps suffisant. La qualité de la démarche choisie et son explicitation seront évaluées tout autant que le résultat final.

PARTIE 1
(à traiter par tous les candidats)

Recherche de l’empreinte ADN d’un suspect

La reine des preuves en criminologie est désormais l’empreinte ADN laissée sur un lieu, un objet, une personne en lien avec un crime. L’ADN, ou acide désoxyribonucléique, est une molécule polymère dont la brique élémentaire est un nucléotide constitué d’un sucre, d’une base azotée et d’un groupement phosphate assurant la liaison entre les différents monomères.

Données :

Masse molaire de l’hydrogène :	$M(\text{H}) = 1,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
Masse molaire du carbone :	$M(\text{C}) = 12,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
Masse molaire de l’azote :	$M(\text{N}) = 14,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
Masse molaire moyenne d’un nucléotide :	$\bar{M}_{\text{nucléotide}} = 330 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
Charge élémentaire :	$e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$
Nombre d’Avogadro :	$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Accélération de la pesanteur :	$g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
Unité de comptage « paire de bases » :	1 pb (correspond à une paire de nucléotides)

Une des quatre bases azotées de l’ADN est l’adénine dont on fournit la formule topologique sur la figure 1.

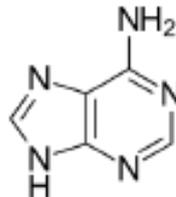


Figure 1 – Formule topologique de l’adénine.

1. Écrire la formule brute associée à la molécule d’adénine.
2. Calculer la masse molaire $M_{\text{adénine}}$ de l’adénine.

L’ADN présent dans une cellule humaine comporte 3,3 milliards de paires de nucléotides.

3. Déterminer la masse molaire M_{ADN} de cet ADN humain.

La PCR – de l’anglais *polymerase chain reaction* – est une technique d’amplification qui permet de « photocopier » l’ADN dans une éprouvette. Des parties de la molécule d’ADN sont sélectionnées par ce qu’on appelle des « amorces » qui ciblent la zone à copier. Cette technique très sensible nécessite un minimum de 10^{-22} mol d’ADN.

4. Estimer la masse minimale m_{\min} d'ADN à prélever pour une analyse fiable en criminologie.

L'électrophorèse est une technique utilisée pour analyser les fragments d'ADN copiés. Elle permet de séparer des molécules en fonction de leur taille en leur appliquant un champ électrique. Elle nécessite cependant la maîtrise de la charge électrique des fragments étudiés.

Chaque nucléotide d'ADN comporte des fonctions sensibles au pH. Les sites sensibles au pH d'un motif d'adénosine phosphatée sont indiqués sur la figure 2 ; les couples correspondants sont notés ainsi : AH_2^+/AH de $pK_{a1} = 3,5$ et AH/A^- de $pK_{a2} = 6,2$.

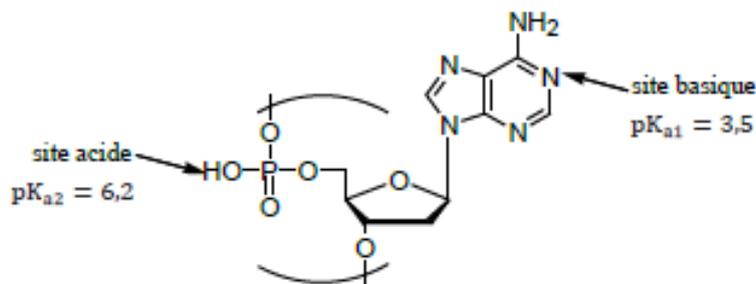


Figure 2 – Sites acide ou basique d'un motif d'adénosine phosphatée de l'ADN noté « AH ».

5. Illustrer le caractère basique du site azoté du motif de la figure 2 par l'écriture d'une équation de réaction acido-basique adaptée.

6. Dresser le diagramme de prédominance du nucléotide AH en fonction du pH.

Pour l'électrophorèse, on utilise une solution tampon « tris borate EDTA » de $pH = 8,3$.

7. Citer les propriétés d'une solution tampon et expliquer le choix de cette valeur de pH.

Dans les conditions d'électrophorèse, l'ADN étudié est chargé négativement, avec une charge négative par nucléotide. Le fragment d'ADN analysé a donc une charge $q = -Ne$ où N est le nombre de nucléotides qu'il comporte.

Dans l'électrophorèse sur gel, dont un exemple de dispositif est présenté sur la figure 3, deux armatures (ou électrodes) sont placées de part et d'autre de la couche de gel contenue dans une cuve horizontale. Dans cette couche sont formés des petits puits où sont déposés ensuite les fragments d'ADN à analyser et le mélange de réactifs.

Le schéma d'un dispositif d'électrophorèse est fourni sur la figure A1 du document réponse 1 de l'annexe à rendre avec la copie. Entre les armatures A (négative) et B (positive), séparées d'une distance $\ell = 80$ mm, règne un champ électrostatique uniforme $\vec{E} = -E \vec{u}_x$ où \vec{u}_x est le vecteur unitaire de l'axe x de la figure A1 et $E = 1,9$ $kV \cdot m^{-1}$.

Un fragment d'ADN est initialement positionné entre les deux armatures en un point noté O , origine du repère situé à proximité de l'une des armatures. Ce fragment est modélisé par un point matériel M de charge $q < 0$ et de masse m . Le référentiel d'étude est celui de la cuve ; il est supposé galiléen.



Figure 3 – Dispositif pour électrophorèse sur gel. Source : Wladimir Bulgar, <https://ndla.no/image/53118>.

8. Montrer que la valeur du poids d'un fragment d'ADN peut être considérée comme négligeable devant la valeur de la force électrique qu'il subit.

On néglige pour le moment toutes les forces qui s'exercent sur le fragment d'ADN, hormis la force électrique supposée prépondérante.

9. Représenter, sans souci d'échelle, la force électrique \vec{F} appliquée au fragment d'ADN, ainsi que le vecteur accélération \vec{a} de celui-ci et la position du point O sur la **figure A1** de l'annexe à rendre avec la copie. Justifier.
10. Après avoir établi l'expression du vecteur accélération du fragment d'ADN, obtenir la loi horaire $x(t)$ de la distance parcourue depuis le dépôt au niveau du point O en fonction de m , q , E et du temps t sachant que le fragment est initialement immobile.
11. Discuter, compte tenu de ce modèle, la possibilité de discriminer des fragments d'ADN de tailles différentes dans des conditions où la force électrique serait prépondérante devant toutes les autres forces.

En raison de la présence du gel d'agarose, on tient désormais compte d'une force de frottement \vec{f} sur chaque fragment d'ADN du mélange. On la modélise par une loi de type $\vec{f} = -k\vec{v}$ où $\vec{v} = v\vec{u}_x$ est le vecteur vitesse du fragment d'ADN étudié et k est une constante positive caractéristique du milieu et de ce fragment.

12. Décrire le mouvement prévisible pour un fragment d'ADN dans la cuve remplie du gel d'agarose sans se préoccuper de son extension finie. Une justification exploitant les lois de forces, mais sans calcul, est attendue.
13. Montrer que la valeur v de la vitesse d'un fragment d'ADN vérifie une équation différentielle de la forme :

$$\frac{dv}{dt} + \frac{v}{\tau} = \frac{\mu E}{\tau}$$

où μ et τ sont deux constantes positives dont on précisera les expressions en fonction des grandeurs utiles parmi m , q , E et k .

14. Expliciter la solution $v(t)$ de l'équation différentielle précédente.
15. Représenter l'évolution de la vitesse v en fonction du temps t . Proposer une interprétation physique de la grandeur τ .

La grandeur μ , appelée mobilité (absolue), permet de caractériser la vitesse limite de migration v_ℓ du fragment d'ADN selon la valeur du champ électrique appliqué. Cette grandeur est fortement influencée par la concentration en agarose du gel. La **figure 4** (page suivante) représente le graphe donnant l'évolution de la mobilité en fonction de la taille de l'ADN.

16. Indiquer, en justifiant, la concentration en gel d'agarose (en %) parmi celles proposées sur la **figure 4** permettant des vitesses limites de migration v_ℓ les plus différenciées pour des fragments d'ADN de tailles comprises entre 300 pb et 1000 pb.

17. « Question ouverte » : en utilisant la **figure 4**, estimer la durée d'électrophorèse pour une migration de 5,0 cm d'un fragment d'ADN de taille 500 pb dans un gel d'agarose à 2 % au cours d'une électrophorèse sous un champ électrique de valeur $E = 1,9 \text{ kV} \cdot \text{m}^{-1}$.

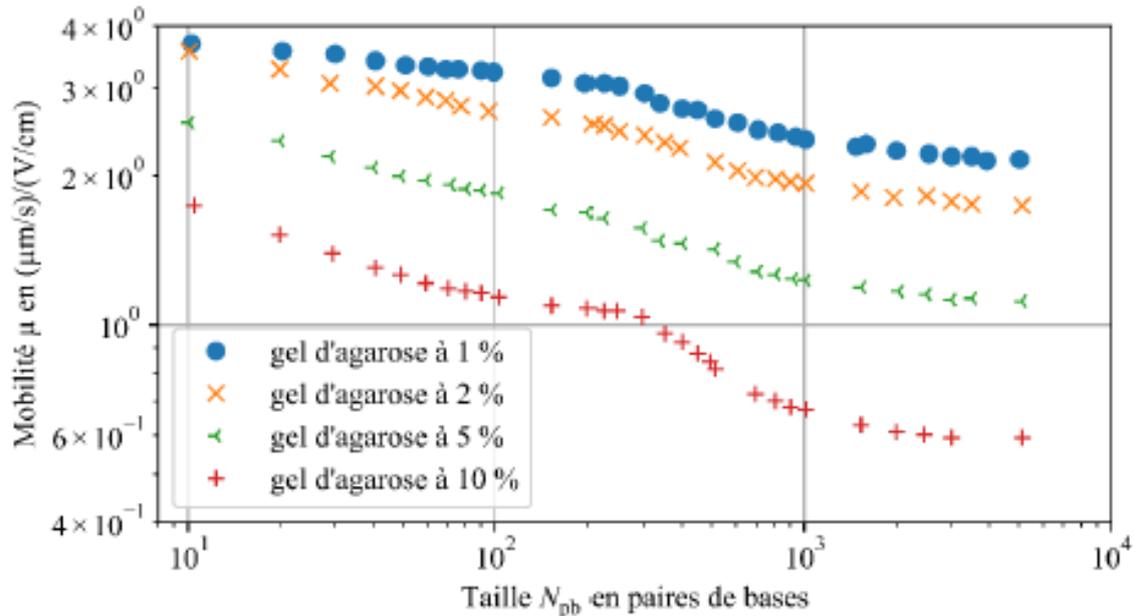


Figure 4 – Évolution de la mobilité μ en fonction de la taille de l'ADN pour différentes concentrations du gel d'agarose. *Source : d'après C. Heller, Electrophoresis, 2001, 22, 629-643.*

Les amplicons D1S80 sont des fragments d'ADN du chromosome 1 de l'être humain obtenus après sélection et amplification PCR. Ils sont constitués d'une séquence de taille 32 pb à une extrémité, 113 pb à l'autre extrémité et, entre ces deux séquences, se trouve répété q fois un motif de taille 16 pb (figure 5). Ces amplicons participent à la définition de l'empreinte ADN de chaque individu car ils sont polymorphes : la valeur de q est variable d'un individu à un autre et, pour un même individu, plusieurs valeurs de q sont possibles.



Figure 5 – Schématisation d'un amplicon D1S80 de répétition q .

La **figure 6** (page suivante) présente le résultat d'une électrophorèse sur gel d'agarose visant analyser des amplicons D1S80 pour plusieurs individus. On admet que, pour la concentration en gel d'agarose et les tailles de fragments utilisés, la distance d de migration d'un fragment comportant N_{pb} paires de bases pendant une durée donnée est modélisable par une loi de type $d = a \ln N_{\text{pb}} + b$ où a et b sont deux constantes.

18. « Question ouverte » : déterminer les valeurs de q associées aux amplicons D1S80 du puits 3 de la **figure 6** qui participent à la caractérisation génétique de l'individu correspondant.

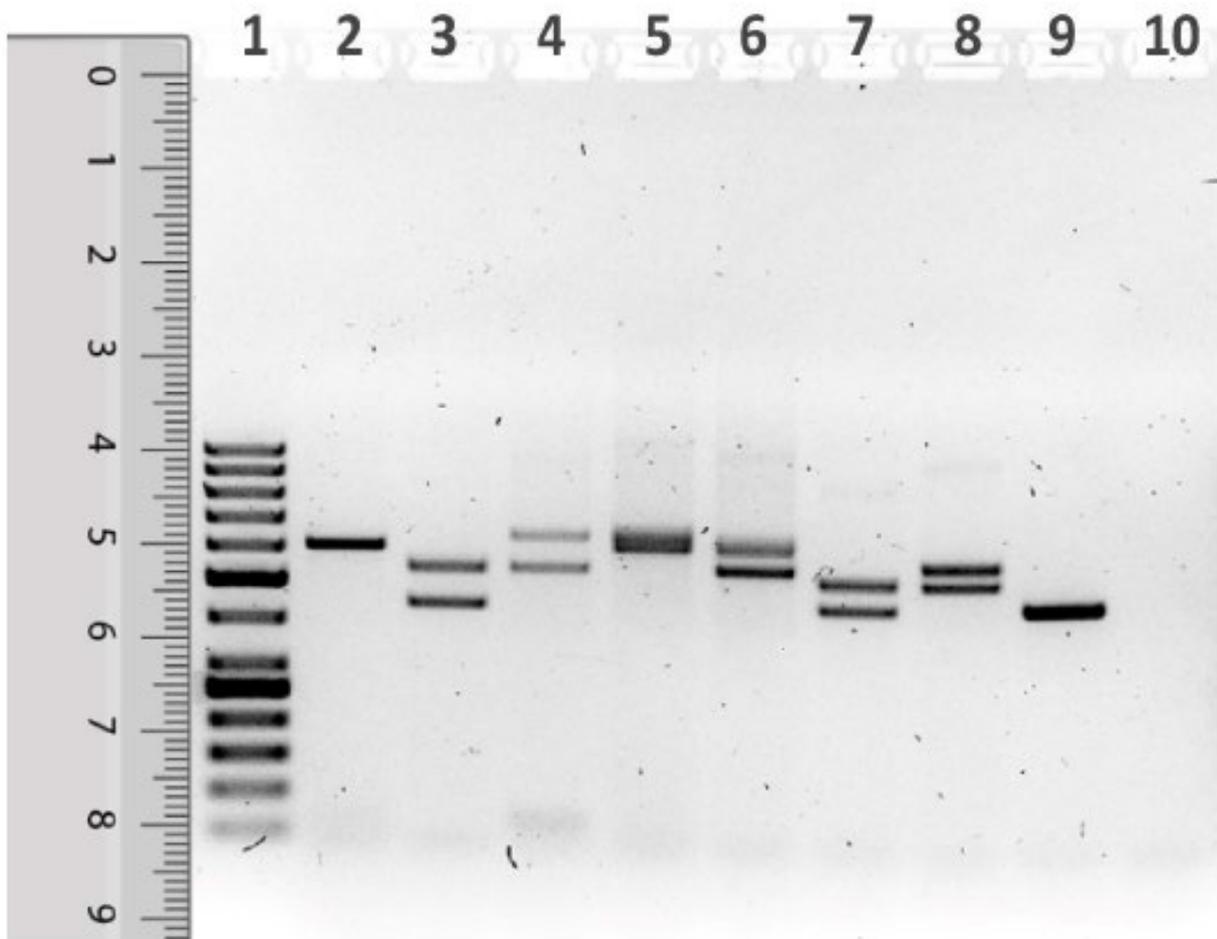


Figure 6 – Photographie d'un gel d'agarose après électrophorèse d'amplicons D1S80. L'origine de la règle est placée au niveau de la position des puits remplis initialement comme suit :

- puits 1 = solution mélange de fragments d'ADN de tailles connues (50 pb, 100 pb, 150 pb, 200 pb, 250 pb, 300 pb, 400 pb, 500 pb, 600 pb, 700 pb, 800 pb, 900 pb et 1000 pb) ;
- puits 2 à 9 = solutions d'amplicons D1S80 pour huit individus différents (un par puits) ;
- puits 10 = solution sans fragments d'ADN (témoin de contrôle).

Source : d'après M. Siebers et al. Application of DNA Fingerprinting using the D1S80 Locus in Lab Classes. Journal of Visualized Experiments. 2021, 173 (e62305).

PARTIE 2

(à traiter uniquement par les candidats ayant choisi
la discipline majeure mathématiques à l'inscription)

Observation de traces de sang

La morphologie d'une trace de sang renseigne sur le mécanisme qui en est à l'origine. Les types de traces identifiées, leur localisation, etc. permettent, parfois, d'établir un enchaînement, voire une chronologie de faits. L'observation fine des traces laissées nécessite l'aide d'une loupe.

Données :

Constante de Planck :	$h = 6,62 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
Célérité de la lumière dans le vide :	$c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
Conversion entre électronvolt et joule :	$1,0 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$
Volume molaire d'un gaz dans les CNTP :	$V_m = 22,4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$
Masse molaire du sodium :	$M(\text{Na}) = 23,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Le laboratoire possède une micro-loupe dont on fournit les caractéristiques sur la figure 7.



Micro-loupe de précision PEAK grossissement 15x :

Grossissement : 15x

Champ de vision : 20 mm

Échelle : 0,1 sur 14 mm

Ergonomique : non

Hauteur : 33 mm

Irisations ou colorisation sur les bords de l'image supprimées
grâce à l'optique achromatique

Figure 7 – Descriptif de la micro-loupe du laboratoire. *Source : www.manutan.fr.*

On modélise la micro-loupe par une lentille mince L de distance focale image $f' > 0$ et de centre optique O . Une personne emmétrype l'utilise pour observer un objet AB situé dans un plan perpendiculaire à l'axe optique de cette lentille. L'ensemble est placé dans l'air dont on assimile l'indice de réfraction à l'unité. On note d_m la distance entre l'œil et son *punctum proximum*, c'est-à-dire la distance minimale de vision nette. Pour l'œil normal de cet observateur, $d_m = 25 \text{ cm}$.

1. Sur la figure A2 du document réponse 2 de l'annexe à rendre avec la copie, préciser la position du foyer objet F pour que l'œil normal puisse observer AB sans accommoder, puis placer le foyer image F' .
2. Sur la figure A2 de l'annexe à rendre avec la copie, tracer la marche de deux rayons lumineux issus du point B .

L'angle par rapport à l'axe optique sous lequel l'observation se fait à travers la lentille L est noté θ' . On se place dans l'approximation des petits angles.

- Exprimer l'angle θ' en fonction de la taille AB de l'objet et de la distance focale f' .

Le grossissement G de la micro-loupe correspond au rapport entre l'angle θ' sous lequel on voit l'image d'un objet à travers elle et l'angle θ d'observation du même objet, sans micro-loupe, placé au *ponctum proximum*.

- Montrer que le grossissement de la micro-loupe s'écrit :

$$G = \frac{d_m}{f'}$$

- En déduire la valeur de la distance focale f' de la micro-loupe.
- Estimer la distance OE entre le centre optique O de la lentille L et l'œil E collé à la micro-loupe.

L'indication du constructeur « Champ de vision : 20 mm » correspond au diamètre de la lentille L. Sous une luminosité moyenne, le diamètre de la pupille de l'œil vaut $d = 5$ mm.

On fournit sur la figure 8 des photographies avec deux traces d'impact de sang.

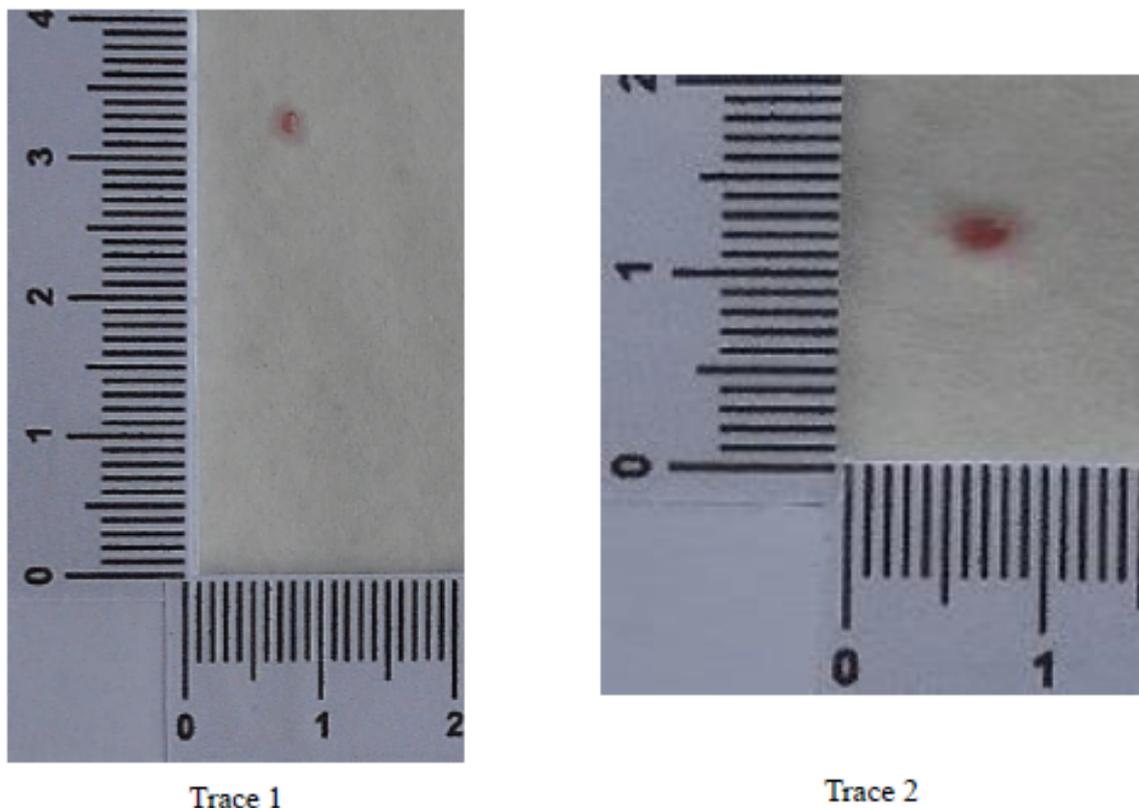


Figure 8 – Traces d'impact de sang. Les graduations principales des échelles sont en centimètres.

- Déterminer si les traces de la figure 8 sont toutes deux visibles en entier avec la micro-loupe.
- Estimer la taille ℓ_{\min} du plus petit détail observable sur ces traces de sang avec la micro-loupe.

La morphoanalyse des traces de sang consiste à mesurer l'étalement du sang lors de son impact avec une surface plane, formant alors globalement une ellipse plus allongée dans la direction de la source, de grand axe appelé L et de petit axe appelé W . Victor Balthazard a démontré en 1939 que le ratio entre ces deux paramètres correspond au sinus de l'angle d'impact α (angle par rapport à la surface plane). Les deux traces de la figure 8 ont été trouvées sur le sol.

9. Obtenir la valeur de l'angle d'impact pour chacune des deux traces de la figure 8.

Des photographies d'ensemble permettent de positionner ces deux traces relativement l'une à l'autre comme indiqué sur la reproduction schématique en vue de dessus présentée sur la figure 9. Les analystes de la police scientifique utilisent un modèle de trajectoires rectilignes en provenance d'un point commun appelé « point de convergence ». Ce point est supposé se trouver dans une zone à gauche des deux traces indiquées sur la figure 9.

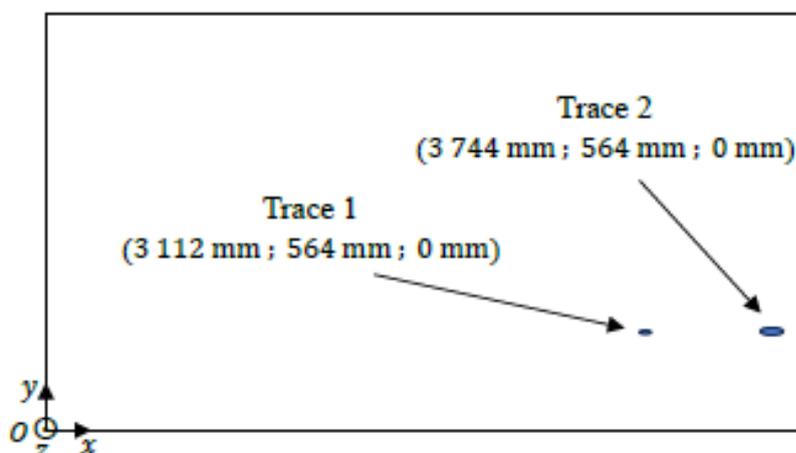


Figure 9 – Vue de dessus schématique des deux traces trouvées avec les coordonnées de leurs centres. L'orientation relative des traces est respectée, mais pas leurs tailles.

10. Déterminer les trois coordonnées du point de convergence des traces positionnées sur le schéma de la figure 9 dans le repère $(Oxyz)$.

11. Critiquer le modèle utilisé par les analystes pour la détermination du point de convergence.

Aucune trace visible de sang ne se trouve à l'aplomb du point d'origine présumé, mais la zone peut avoir été « nettoyée ». Cependant, même lorsque la scène de crime a été lavée, il est possible de vaporiser un révélateur chimique, contenant du luminol et un oxydant, afin de faire apparaître des zones luminescentes là où de faibles traces de sang subsistent. Ce produit ne détruit pas l'ADN contenu dans les traces, ce qui permet une éventuelle future analyse de celui-ci.

La formule topologique du luminol (ou 5-amino-2,3-dihydrophthalazine-1,4-dione) est donnée figure 10 ; sa formule brute est $C_8H_7N_3O_2$ et sa masse molaire vaut $177 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$. Il réagit avec des oxydants en émettant une lumière bleutée caractéristique de sa chimiluminescence : les ions aminophthalates produits par l'oxydation se trouvent en effet sous un état excité et leur retour à l'état fondamental s'accompagne de l'émission de photons de longueur d'onde $\lambda = 425 \text{ nm}$, ce qui correspond à une couleur indigo.

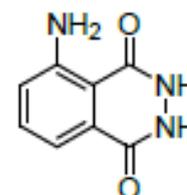


Figure 10 – Formule topologique du luminol.

12. Calculer, en électronvolts, l'énergie E_{photon} d'un photon de chimiluminescence du luminol.

Un oxydant du révélateur chimique au luminol utilisé par les techniciens de la police scientifique est l'eau oxygénée, de formule H_2O_2 . Il s'agit d'un oxydant bon marché, mais qui présente des problèmes de stabilité dans le temps. Il est donc impératif de vérifier régulièrement sa concentration.

Un prélèvement d'un volume $V_p = 10,0$ mL de solution d'eau oxygénée est dosé par une solution de permanganate de potassium ($\text{K}^+(\text{aq}) + \text{MnO}_4^-(\text{aq})$), acidifiée et de concentration en quantité de matière $C_T = 0,50 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Les couples oxydant/réducteur mis en jeu sont $\text{MnO}_4^-(\text{aq}) / \text{Mn}^{2+}(\text{aq})$ et $\text{O}_2(\text{aq}) / \text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$.

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

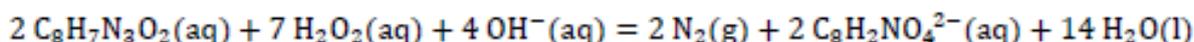
14. Rappeler la définition de l'équivalence d'un titrage.

Le volume de solution de permanganate de potassium acidifiée versé à l'équivalence est $V_{\text{éq}} = 7,0$ mL.

L'eau oxygénée utilisée est annoncée comme étant une « eau oxygénée 10 volumes » : cela signifie que, en raison de la réaction de dismutation d'équation $2 \text{H}_2\text{O}_2(\text{aq}) = \text{O}_2(\text{g}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$, un volume de 1 L de cette eau oxygénée peut libérer un volume de 10 L de dioxygène dans les conditions dites normales de température et de pression (CNTP).

15. Vérifier si le titre en volume de l'eau oxygénée titrée est compatible avec la valeur annoncée.

L'équation de la réaction totale entre le luminol et l'eau oxygénée est la suivante :

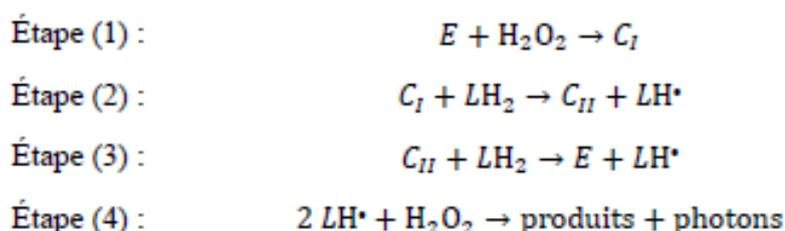


On mélange 200 mL d'une solution basique S_1 , préparée par dissolution dans l'eau de 4,0 g de soude (Na^+ , HO^-) et 0,20 g de luminol, avec 200 mL de solution S_2 d'eau oxygénée à $0,98 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

16. Dresser le tableau d'avancement complet de la transformation chimique à partir de l'équation de la réaction précédente. On fera apparaître les valeurs des quantités de matière initiales, celles pour un avancement x quelconque et celles pour l'avancement final x_{max} .

À une température de 20°C , la réaction précédente peut prendre jusqu'à plusieurs mois. La présence d'espèces telle l'hématine, qui se trouve dans les résidus de sang, la facilite et permet l'observation d'une chimiluminescence sur une échelle de temps pouvant être inférieure à la minute.

On modélise à l'échelle microscopique la transformation par le mécanisme réactionnel suivant :



Il s'agit d'un mécanisme simplifié où E représente l'hématine, LH_2 le luminol, LH^\bullet une espèce appelée radical et C_I et C_{II} sont deux composés non détaillés. On admet que l'intensité lumineuse produite dépend uniquement de l'évolution de la concentration du composé C_{II} .

17. Identifier, en justifiant, les intermédiaires réactionnels et le catalyseur dans ce mécanisme.

Sous des conditions expérimentales adaptées, notamment par un bon choix de pH et de quantité en catalyseur, la lumière bleutée est émise en moins de 500 ms et est observée pendant environ une minute avec une diminution progressive. Une prise de vue photographique est possible avec un long temps de pose.

18. Proposer une explication à la variation de l'intensité lumineuse observée.

La problématique d'un « faux positif » est toujours envisageable lors de tests faisant intervenir des matières d'origine biologique. L'oxydation du luminol par l'eau oxygénée révèle en effet la présence d'autres éléments d'origine humaine que ceux issus du sang.

Un nettoyage à l'eau de Javel, principalement composée d'ions hypochlorites ClO^- , conduit également à la manifestation du phénomène de chimiluminescence du luminol, sans même un ajout du réactif eau oxygénée.

19. Interpréter la possibilité d'une réaction du luminol avec les ions hypochlorites de l'eau de Javel et conclure.

PARTIE 3

(à traiter uniquement par les candidats ayant choisi la discipline majeure physique-chimie à l'inscription)

Deux méthodes pour estimer la temporalité de faits

La mesure de grandeurs physiques *a posteriori* peut parfois permettre de situer les événements sur une échelle temporelle. Ces éléments matériels sont croisés avec les témoignages, pour se faire une meilleure idée du déroulement des faits. C'est notamment le cas pour les mesures d'alcoolémie ou de température de corps.

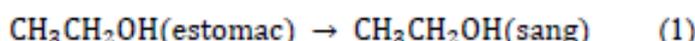
Données :

Masse molaire de l'éthanol :	$M_{\text{éthanol}} = 46,1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
Masse volumique de l'éthanol :	$\rho = 780 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$
Capacité thermique massique du corps humain :	$c_{\text{corps}} = 3,5 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$
Surface du corps de l'employé :	$S = 1,7 \text{ m}^2$
Conductivité thermique de la combinaison :	$\lambda_{\text{comb}} = 0,041 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$
Constante de Stefan :	$\sigma = 5,7 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$

Lors d'un accident de la circulation, l'alcoolémie des conducteurs est systématiquement mesurée. Le délai entre la mesure et l'accident peut être problématique, sauf si l'on dispose d'un modèle robuste de la cinétique de décomposition de l'alcool ingéré dans l'organisme.

Cette décomposition peut être modélisée selon un mécanisme en deux étapes :

- étape de passage de l'alcool dans le sang à travers la paroi de l'estomac :



La réaction (1) est d'ordre 1 avec la constante de vitesse $k_1 = 0,050 \text{ min}^{-1}$;

- étape d'oxydation enzymatique de l'alcool dans le sang dont la réaction (2) associée est d'ordre 0 avec la constante de vitesse $k_2 = 5,1 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$.

1. Écrire la loi de vitesse de la réaction (1).

La concentration en éthanol dans l'estomac est notée $C_1(t)$ et vaut C_0 à la date $t = 0$ d'ingestion.

2. Établir et résoudre l'équation différentielle portant sur la concentration $C_1(t)$.

On note $C_2(t)$ la concentration en éthanol dans le sang et les autres fluides corporels qui interviennent dans le mécanisme réactionnel à l'instant t .

Un calcul non demandé permet de montrer qu'en raison de la réaction (2), cette concentration (tant qu'elle est positive) suit la loi :

$$C_2(t) = \frac{V_1}{V_2} C_0 (1 - e^{-k_1 t}) - k_2 t.$$

Dans cette loi interviennent le volume V_1 de liquide dans l'estomac et le volume V_2 du sang et des autres fluides corporels qui interviennent dans le milieu réactionnel. On estime que $V_2 = 49$ L pour une personne de 70 kg.

3. Justifier la présence du rapport $\frac{V_1}{V_2}$ dans cette expression.

L'évolution de l'alcoolémie dépend principalement de la quantité initiale d'alcool ingérée, mais est fortement impactée par les variations interindividuelles liées au sexe, au poids et à l'âge. Une étude statistique a été réalisée sur un échantillon de dix individus ayant absorbé à jeun des quantités équivalentes d'alcool, à savoir 0,8 gramme par unité de masse corporelle. Elle permet de représenter le graphique de la figure 11 où sont matérialisés les résultats à chaque date par la moyenne (disque) et les valeurs extrêmes (extrémités de barre verticale). Une série de données complémentaires pour des individus non à jeun (croix) est également reportée pour comparaison, ainsi que la courbe d'évolution prévue par le modèle précédent.

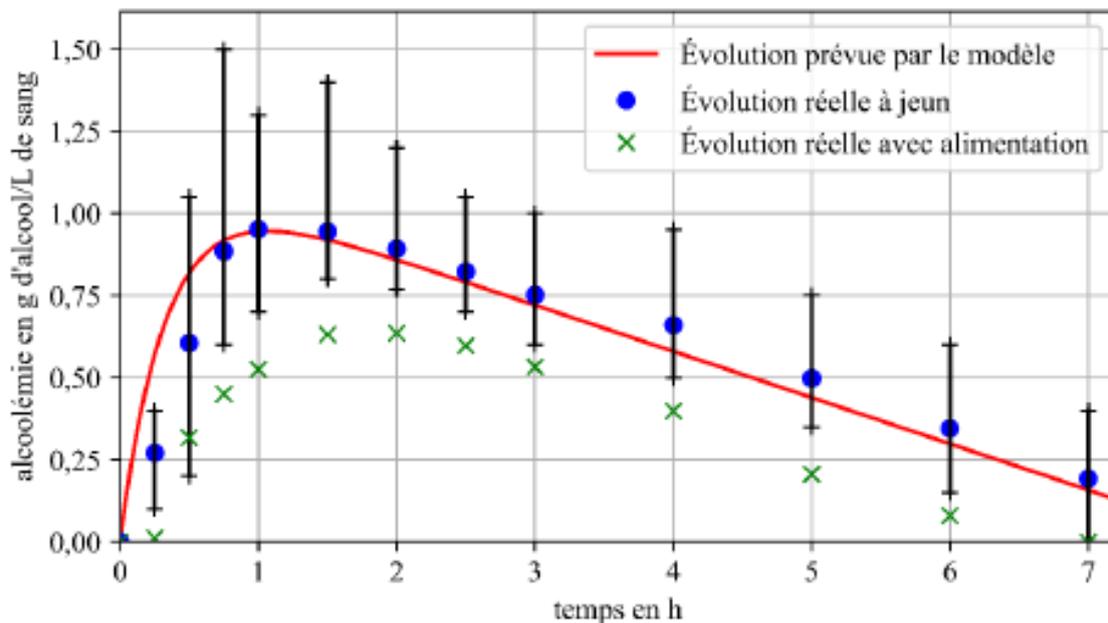


Figure 11 – Courbe d'évolution de l'alcoolémie : comparaison du modèle proposé avec les résultats de l'étude statistique sur dix sujets. *Source : données d'après A. W. Jones et K.A. Jönsson. Food-induced lowering of blood-ethanol profiles and increased rate of elimination immediately after a meal. Journal of forensic sciences. 1994, 39 (4), 1084-93.*

4. Commenter la pertinence du modèle utilisé.

La déclaration du conducteur d'un véhicule lors d'un contrôle après un accident est la suivante : « À 12 h 05, avec les copains au bar, j'ai bu très rapidement, coup-sur-coup, deux petits whiskys, le ventre vide. Je pèse 70 kg. ». Le volume de whisky servi dans un bar est de 4 cL par verre, avec un degré d'alcool à 45°. Le degré d'alcool correspond au pourcentage en volume d'éthanol dans une boisson alcoolisée à 20 °C.

5. Calculer la concentration initiale C_0 d'alcool en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ dans l'estomac compte tenu de la déclaration du conducteur.

Une personne est autorisée à conduire uniquement pour une teneur en alcool dans le sang inférieure à $0,5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$.

6. « Question ouverte » : prévoir si l'alcoolémie du conducteur déduite de ses dires l'autorise à prendre son véhicule au moment où celle-ci est maximale.

L'accident a eu lieu à 13 h 15 et le prélèvement sanguin n'a pu avoir lieu qu'à 14 h 30. L'analyse quantitative de l'éthanol présent dans l'échantillon de sang est réalisée par la méthode de Cordebar, la plus ancienne méthode officielle de détermination chimique de l'alcoolémie.

Le protocole suivi est donné ci-après :

- a) Distillation de l'éthanol :

Un volume $V_0 = 10,0 \text{ mL}$ de sang prélevé sur oxalate est dissout dans 60 mL de solvant approprié (acide picrique à 1,5 %). Cette solution subit une distillation simple : on récupère un volume avoisinant 20 à 30 mL de distillat qui contient la totalité de l'alcool initial, recueilli dans une fiole jaugée de volume $V_{\text{fiole}} = 50,0 \text{ mL}$, complétée ensuite avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.

- b) Oxydation de l'éthanol :

Dans un erlenmeyer de 250 mL , on introduit un volume $V_p = 5,00 \text{ mL}$ du distillat prélevé dans la fiole jaugée et $10,0 \text{ mL}$ de solution nitrochromique – qui est un mélange d'acide nitrique (H^+ , NO_3^-) et de dichromate de potassium (2K^+ , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) – dont la concentration est $C = 1,36 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. On laisse la réaction se dérouler pendant cinq minutes.

- c) Iodométrie :

On ajoute de l'iodure de potassium (K^+ , I^-) en excès pour réduire l'excès de dichromate introduit ($1,0 \text{ g}$ de solide, puis 100 mL d'eau distillée). L'agitation se fait pendant cinq minutes.

- d) Titrage du diiode formé :

On dose le diiode formé par une solution de thiosulfate de sodium (2Na^+ , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$) de concentration $C_T = 5,00 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. On note $V_{\text{éq}1} = 16,0 \text{ mL}$ le volume équivalent.

- e) Expérience témoin :

On recommence exactement le même protocole en remplaçant le distillat par de l'eau distillée. On note $V_{\text{éq}2} = 16,3 \text{ mL}$ le volume équivalent obtenu.

Cette expérience fait intervenir les couples oxydant/réducteur suivants : $\text{CH}_3\text{COOH}/\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$, $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}/\text{Cr}^{3+}$, I_2/I^- et $\text{S}_4\text{O}_6^{2-}/\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$.

7. Écrire les équations de réaction d'oxydoréduction correspondant aux étapes b), c) et d) du protocole.
8. En utilisant l'équivalence du titrage, déterminer la quantité de matière de diiode formé à l'étape c) pour le prélèvement, notée $n_{\text{I}_2, \text{prél}}$. Déterminer également cette quantité de matière pour l'expérience témoin, notée $n_{\text{I}_2, \text{témoin}}$.
9. En déduire l'alcoolémie (en grammes d'éthanol par litre de sang) à l'heure du prélèvement.
10. Conclure à propos de l'infraction du conducteur à l'heure de l'accident.

Un autre processus peut aussi être utilisé pour dater des événements : le refroidissement du corps humain après la mort. Le processus biologique de régulation thermique, appelé thermorégulation et qui permet de maintenir une température moyenne de 37,2 °C dans le corps, s'interrompt lorsque survient le décès. La température de corps peut être considérée comme l'un des meilleurs indicateurs du délai post mortem pendant les 24 premières heures après la mort, puisque la température interne se modifie transitoirement jusqu'à atteindre la température ambiante.

Les facteurs influençant cette évolution sont si nombreux (température extérieure, hypothermie ou hyperthermie préalable au décès, rapport poids/surface, taille, milieu ambiant, etc.) que l'emploi d'un moyen graphique regroupant une partie de ces paramètres est préconisée. Les nomogrammes de Henssge, tel celui présenté sur la figure 12 à partir de sa proposition originale, permettent de déterminer l'intervalle post mortem probable à partir de la température interne mesurée, de la température ambiante et de la masse de l'individu.

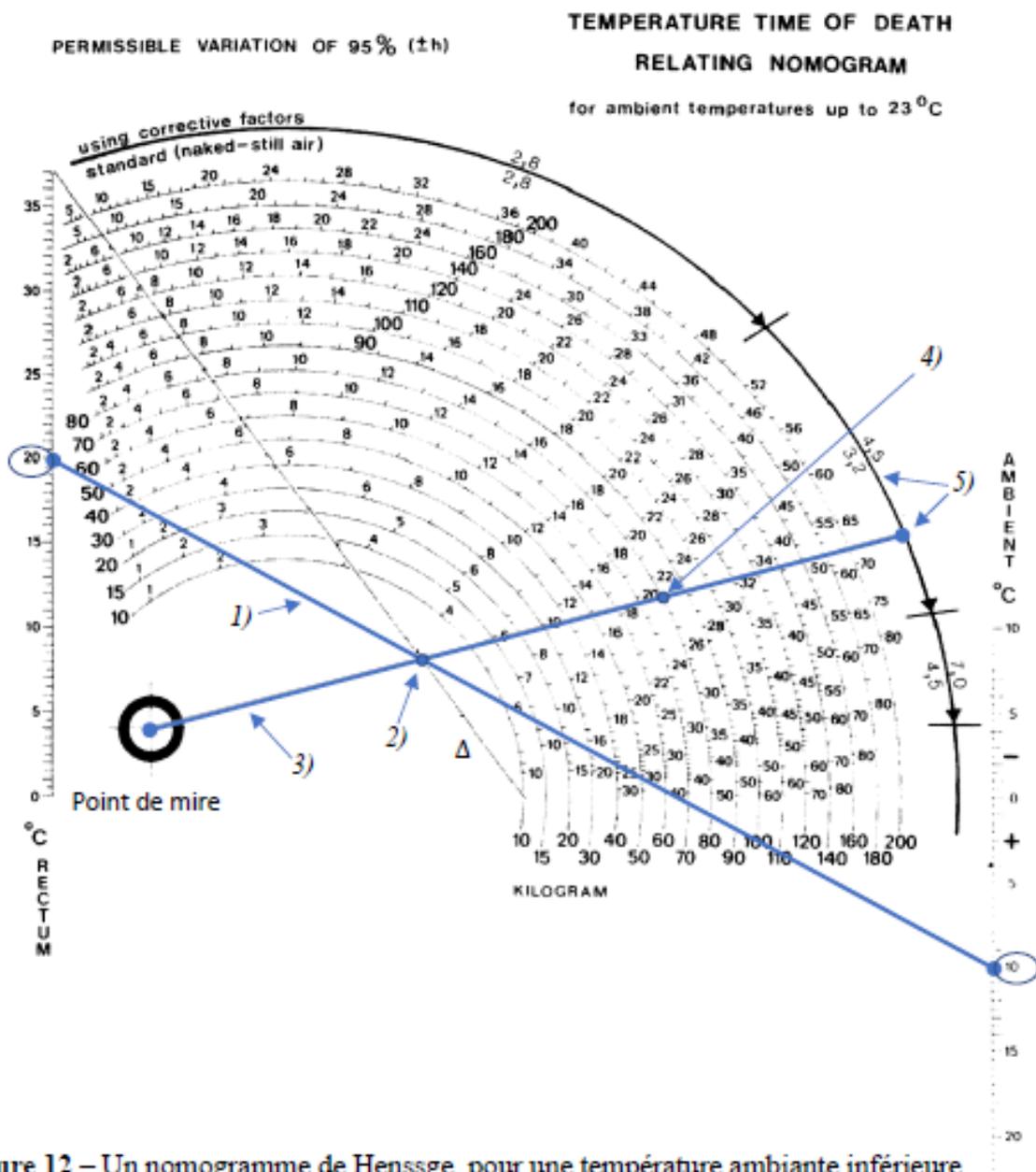


Figure 12 – Un nomogramme de Henssge, pour une température ambiante inférieure à 23 °C avec un exemple de construction reporté. Source : d'après Wikimedia Commons.

L'utilisation des nomogrammes de Henssge se fait selon les étapes suivantes, reportées avec la même numérotation sur la figure 12 pour exemple :

- 1) On trace la droite reliant la température rectale et la température ambiante.
- 2) On détermine le point d'intersection de cette droite avec la droite diagonale Δ déjà tracée.
- 3) On ajoute la droite de lecture reliant le point de mire et le point d'intersection précédent.
- 4) On lit à l'intersection avec l'arc de la masse correspondante la durée post mortem en heures.
- 5) On lit sur l'arc extérieur la valeur permettant de connaître l'intervalle de confiance à 95 %.

La présence d'éléments de contexte modificateurs tels des vêtements, le vent, l'immersion est à prendre en compte en appliquant un facteur de correction C_f (coefficient multiplicatif) à la durée post mortem.

L'exemple de construction de la figure 12 correspond aux données suivantes : température rectale de 20 °C, température ambiante de 10 °C et masse du corps de 80 kg. On obtient un intervalle post mortem de $23,0 \pm 3,2$ h pour un corps nu resté dans un air calme ($C_f = 1,0$) ; elle passe à $27,6 \pm 4,5$ h dans un contexte où le corps est couvert par deux couches de vêtements (application du coefficient multiplicatif $C_f = 1,2$ à la durée, la largeur de plage étant ajustée par lecture de la valeur extérieure sur le dernier arc du nomogramme).

On s'intéresse pour la suite à la situation particulière suivante : un employé d'aquarium a été retrouvé mort en combinaison de plongée à l'ouverture à 7 h 30 dans le bassin des poissons exotiques maintenu à 24 °C et brassé vingt-quatre heures sur vingt-quatre. La victime pèse 80 kg et, à sa sortie du bassin à 8 h 15, sa température rectale est mesurée à 30 °C.

Le médecin légiste juge que le décès a eu lieu dans l'eau du bassin et que le facteur de correction à utiliser avec le nomogramme de Henssge est $C_f = 0,50$.

11. Expliquer qualitativement quel peut être le rôle des éléments de contexte sur ce choix d'un facteur de correction notablement inférieur à l'unité.
12. En utilisant le nomogramme de Henssge adapté aux températures ambiantes supérieures à 23 °C fourni sur la figure A3 du document réponse 3 de l'annexe à rendre avec la copie, proposer une estimation de l'heure du décès de l'employé.

On souhaite mener, pour cette situation, une étude théorique complémentaire à l'approche de la question précédente où le nomogramme de Henssge a été utilisé. Cette étude est intégralement menée dans l'approximation des régimes quasi-stationnaires (ARQS) pour les évolutions thermiques.

Le corps de l'employé, de masse $m = 80$ kg, est modélisé par un système à deux compartiments constitué des parties suivantes :

- un noyau central (partie interne du corps, de forme quelconque) : sa température, supposée uniforme, évolue au cours du temps t à partir du décès et est notée $T_{\text{int}}(t)$. L'instant initial $t = 0$ correspond à la date du décès pour laquelle $T_{\text{int}}(0) = 37,2$ °C ;
- une enveloppe périphérique (peau et tissu sous-cutané) : elle entoure le noyau central. Sa température évolue spatialement de $T_{\text{int}}(t)$ (au contact du noyau central) à $T_{\text{cpc}}(t)$ (au contact entre la peau et la combinaison). Cette enveloppe possède une résistance thermique notée $R_{\text{env}} = 3,0 \times 10^{-2} \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$.

L'employé est revêtu d'une combinaison de plongée en néoprène de type humide (combinaison non étanche) d'épaisseur $e = 2,0$ mm et de résistance thermique de conduction R_{comb} . La surface interne de la combinaison est à la température $T_{\text{cpc}}(t)$ et sa surface externe est à la température $T_{\text{surf}}(t)$.

La température de l'eau du bassin, considérée uniforme et constante, est $T_{\text{eau}} = 24$ °C.

Le transfert thermique convectif entre la surface externe de la combinaison et l'eau du bassin est modélisé par la loi phénoménologique de Newton donnant le flux convectif sortant :

$$\Phi_{\text{conv}}(t) = hS(T_{\text{surf}}(t) - T_{\text{eau}})$$

où S est la surface de contact de la combinaison avec l'eau (identifiée à la surface du corps de l'employé) et $h = 10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ est le coefficient pariétal caractérisant le transfert thermique convectif combinaison-eau. La résistance thermique associée à ce transfert est notée R_{conv} .

Les transferts thermiques par rayonnement au niveau de la surface externe de la combinaison sont modélisés par le flux radiatif sortant :

$$\Phi_{\text{rad}}(t) = \sigma S(T_{\text{surf}}^4(t) - T_{\text{eau}}^4)$$

où σ est la constante de Stefan.

13. Rappeler la définition de la notion de résistance thermique. Expliquer cette notion à l'aide d'une analogie avec l'électrocinétique.
14. Proposer, justifications à l'appui, des expressions simples pour les résistances thermiques de convection R_{conv} et de conduction R_{comb} en fonction des paramètres pertinents parmi e , S , h et la conductivité thermique de la combinaison λ_{comb} .

On pose $T_{\text{surf}}(t) = T_{\text{eau}}(1 + \varepsilon(t))$.

15. Expliquer pourquoi il est raisonnable de considérer que $\varepsilon(t) \ll 1$.
16. En déduire que le flux radiatif $\Phi_{\text{rad}}(t)$ est modélisable par une résistance thermique d'expression

$$R_{\text{rad}} = \frac{1}{4\sigma S T_{\text{eau}}^3}.$$

17. Représenter un schéma en termes de résistances thermiques, analogue à un schéma électrique, permettant de déterminer l'expression de la résistance thermique totale R_{tot} relative au transfert thermique entre le noyau central du corps de l'employé et l'eau du bassin. On fera apparaître les températures et les résistances thermiques remarquables.
18. Déterminer, à la date du décès de l'employé dans l'eau, l'expression puis la valeur du flux thermique $\Phi(0)$ produit par le noyau central de son corps. Déterminer également l'expression et la valeur de la température $T_{\text{surf}}(0)$ à la surface externe de sa combinaison.
19. « Question ouverte » : obtenir à l'aide des éléments de modélisation précédents une nouvelle estimation de l'heure du décès de l'employé pour la situation déjà abordée à la question 12. Commenter.

ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

Document réponse 1 (partie 1, question 9)

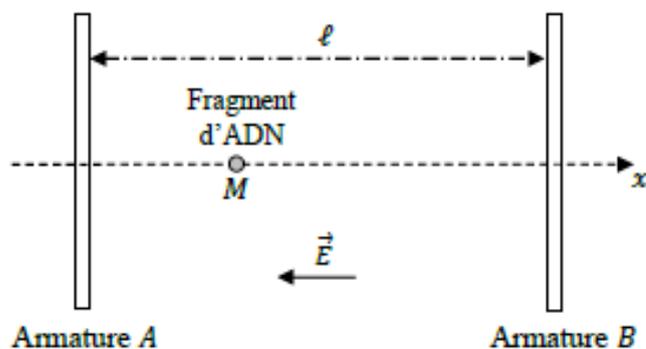


Figure A1 – Schéma du dispositif de migration de l'ADN (en vue de dessus).

Document réponse 2 (partie 2, questions 1 et 2)

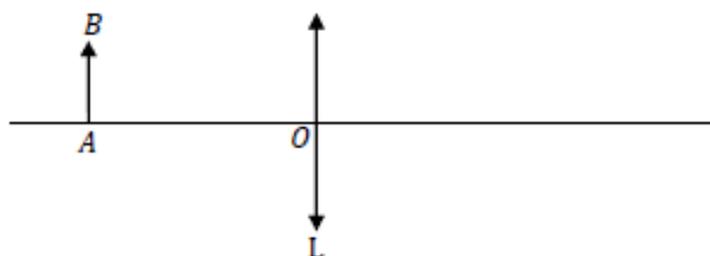


Figure A2 – Schéma de l'observation à travers la micro-loupe modélisée par la lentille L.

Document réponse 3 (partie 3, question 12)

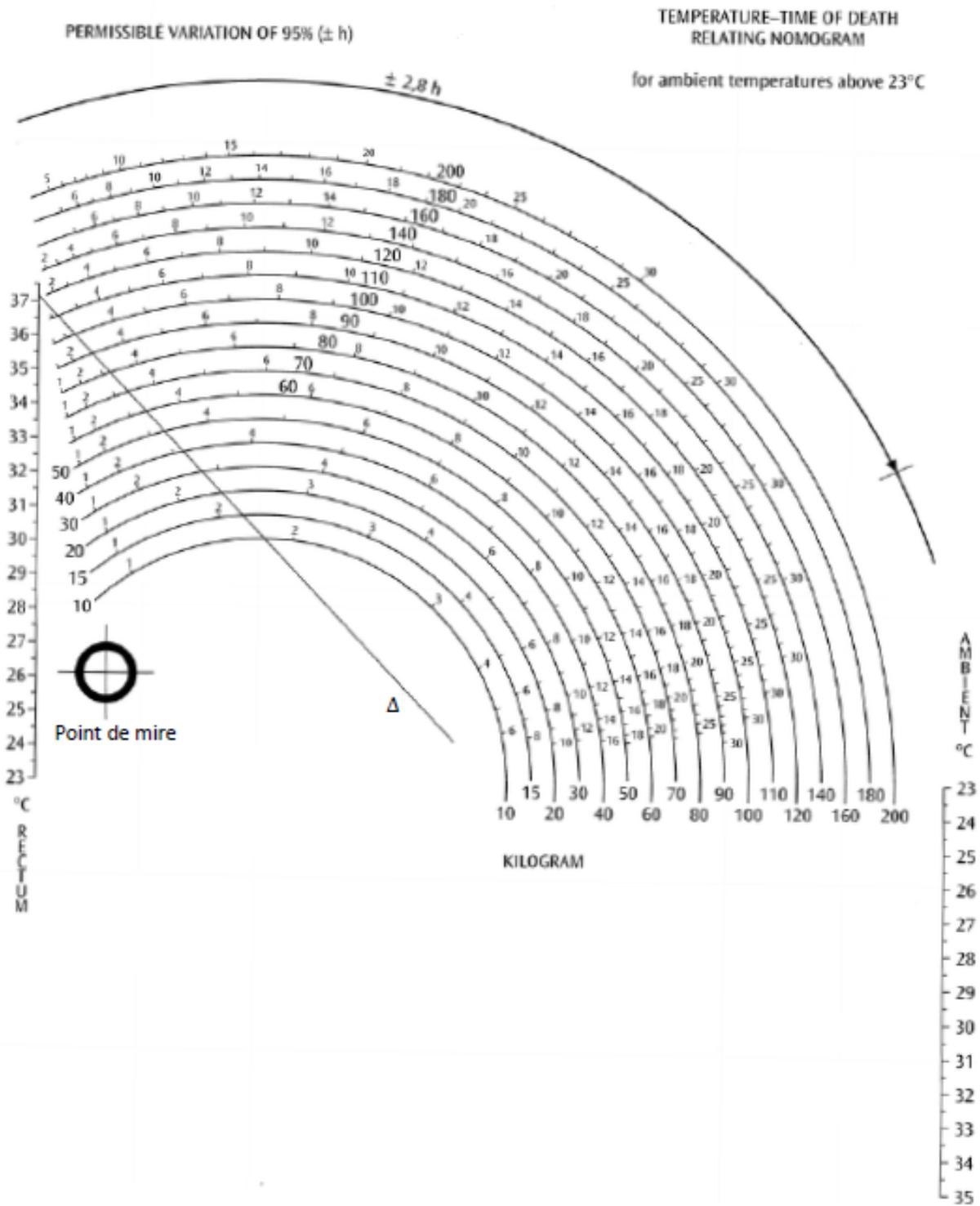


Figure A3 – Nomogramme de Henssge adapté aux températures ambiantes supérieures à 23 °C.

CAPLP BAC + 3

Réglementation de la seconde épreuve d'admissibilité

Extrait de l'annexe de l'arrêté du 17 avril 2025 fixant les modalités d'organisation du concours externe du certificat d'aptitude au professorat de lycée professionnel, publié au Journal Officiel du 19 avril 2025

SECTION MATHÉMATIQUES-PHYSIQUE CHIMIE

Le candidat choisit au moment de l'inscription la discipline - mathématiques ou physique- chimie - qui fait l'objet de l'évaluation la plus approfondie. Cette discipline est qualifiée de majeure, l'autre étant qualifiée de mineure.

A. - Epreuves d'admissibilité

Chaque épreuve d'admissibilité se compose de plusieurs exercices ou problèmes. Chacune des épreuves d'admissibilité se compose de deux parties d'égale importance : une partie commune à tous les candidats et une partie spécifique dépendant de la discipline majeure/mineure choisie.

2° Seconde épreuve d'admissibilité - Epreuve disciplinaire de physique-chimie.

L'épreuve vise à évaluer les connaissances et les compétences de physique-chimie, dont la capacité à mettre en œuvre une démarche scientifique. La physique et la chimie y sont abordées de façon équilibrée.

Durée : trois heures.

Coefficient 2,5.

L'épreuve est notée sur 20. La partie commune compte pour 10 points, la partie spécifique compte pour 10 points. Une note globale égale ou inférieure à 5 est éliminatoire.