

**DS5 – 11 janvier 2020**

**1. Dessine-moi un mouton...**

Le sujet s'intéresse à un mammifère particulier, le mouton, un des tous premiers domestiqués par l'homme, entre le 11<sup>ème</sup> et le 9<sup>ème</sup> siècle avant J. – C. en Mésopotamie. C'est un animal clé dans l'histoire de l'agriculture. Comme tous les ruminants, son système digestif complexe leur permet de transformer la cellulose en acides gras volatils et en glucides. À la belle saison, ils se nourrissent dans les pâturages d'herbe broutée au ras du sol et on leur donne du foin en hiver.

Jusqu'à nos jours, le mouton est utilisé pour ses produits laitiers, sa viande, sa laine et son cuir, de façon artisanale ou semi-industrielle. Sa viande et son lait ont été les premières sources de protéines consommées par l'homme dans le passage de la chasse-cueillette à l'agriculture.



**Document 1 : Résistance des moutons aux conditions thermiques**

**Exposition à de basses températures**

Les moutons sont naturellement adaptés pour supporter de très basses températures mais leur résistance au froid dépend de plusieurs facteurs : la race, l'âge, l'état du pelage...

Un mouton à épaisse toison et qui est protégé de l'humidité pourra supporter des températures qui descendent en dessous de  $-15^{\circ}\text{C}$ , un mouton tondu doit être protégé du froid. [...] Lorsque le temps est humide, que les températures sont basses et qu'il y a du vent, la situation est critique pour les moutons. Le plus important est qu'ils ne soient pas mouillés jusqu'à la peau. La laine de certaines races, lorsqu'elle est épaisse, peut repousser l'humidité plusieurs jours. C'est le cas des races de montagne mais pour d'autres, à la laine très fine, le pelage est moins protecteur. Les moutons qui ont froid se serrent les uns contre les autres. Les agneaux nouveau-nés sont très sensibles aux basses températures, au vent et à l'humidité. Leur fine couche de laine et de graisse ne les protège que très peu. Les brebis prêtes à mettre bas doivent être isolées en bergerie et y rester au moins deux semaines après la naissance. Le taux de mortalité des agneaux qui viennent de naître atteint plus de 25 % dans certains élevages. Ils succombent le plus souvent dans les heures qui suivent leur naissance par hypothermie plutôt que par maladie.

**Exposition à de hautes températures**

Les moutons supportent mieux le froid que les températures élevées. Ils peuvent mourir d'un coup de chaleur. Ce risque est beaucoup plus élevé chez les moutons qui ne sont pas tondu, car la laine empêche la sueur de s'évaporer. C'est une des raisons pour laquelle il faut tondre les moutons au printemps.

| Cas de la brebis non tondu | Adaptation facile                                  | Adaptation difficile  | Adaptation très difficile  | Inadaptation pouvant entraîner la mort                                   |
|----------------------------|--|---|--|--|
| Température extérieure     | entre $-8^{\circ}\text{C}$ et $25^{\circ}\text{C}$ | entre $-15^{\circ}\text{C}$ et $-8^{\circ}\text{C}$<br>entre $25^{\circ}\text{C}$ et $35^{\circ}\text{C}$ | entre $-30^{\circ}\text{C}$ et $-15^{\circ}\text{C}$<br>entre $35^{\circ}\text{C}$ et $40^{\circ}\text{C}$ | en-dessous de $-30^{\circ}\text{C}$<br>au-dessus de $40^{\circ}\text{C}$ |

La température d'un mouton en bonne santé se situe entre  $38,5$  et  $39,5^{\circ}\text{C}$ . Sa longueur moyenne va de  $1\text{ m}$  à  $1,50\text{ m}$ . La tonte a lieu 1 à 2 fois par an produisant 2 à 8 kg de laine par an.

## Document 2 : Propriétés de la laine

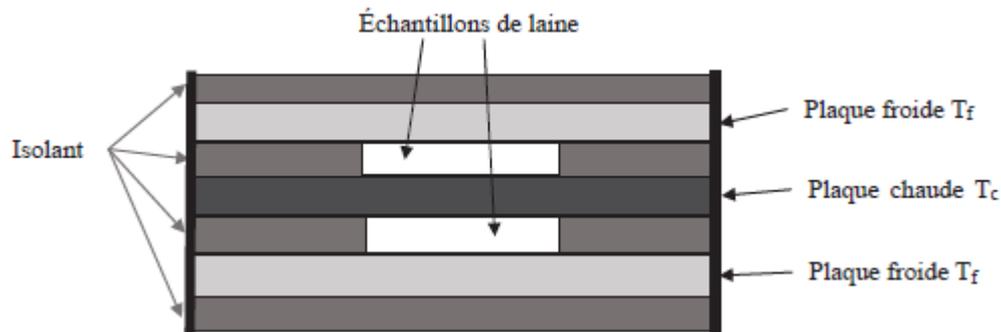
La laine, matière première renouvelable, est une fibre aux propriétés uniques : flexible, légère, élastique, solide protégeant du chaud comme du froid, difficilement inflammable (s'enflamme à  $600^{\circ}\text{C}$ ), isolant phonique, absorbeur d'humidité, facile à teindre et 100 % biodégradable.

La fibre de laine est à croissance continue avec de grandes écailles qui en font le tour. Les écailles se recouvrent peu et sont très saillantes. La section est circulaire. Sa substance est de la kératine, matière complexe association d'une vingtaine d'acides aminés. La laine a des affinités différentes avec l'eau qui font que la fibre s'enroule en frisures. Ces dernières enferment une grande quantité d'air, ce qui limite la conduction. De plus, la kératine est hydrophile pour la vapeur d'eau mais hydrophobe pour l'eau liquide. L'adsorption d'eau (désorption d'eau) s'accompagne d'une production (dégagement) de chaleur par la fibre. Les fils de laine ont un diamètre qui varie de  $20\ \mu\text{m}$  pour les moutons Mérinos à  $40\ \mu\text{m}$  pour les races écossaises.

Une toison de laine est caractérisée par une valeur de conductivité thermique  $\lambda_{\text{laine}}$  supposée homogène et une valeur de capacité thermique massique  $c_{\text{laine}}$ . On considèrera une laine « moyenne » caractérisée par une conductivité thermique  $\lambda_{\text{laine}} = 0,040\ \text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ .

## Document 3 : Mesure de la conductivité thermique de la laine

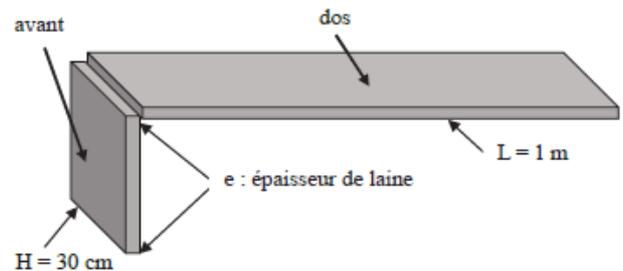
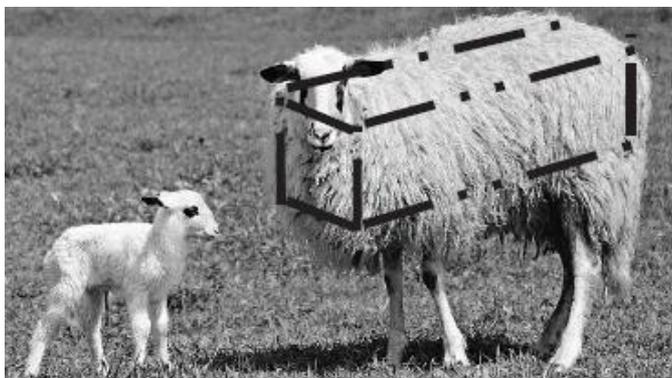
On peut mesurer expérimentalement la conductivité thermique de la laine à partir d'un échantillon de celle-ci par la méthode de la plaque chaude gardée :



L'échantillon est formé de deux « plaques » de laine identiques d'épaisseur  $e$  et de surface  $S$  séparées par une plaque chaude. Un même flux thermique  $\varphi$ , engendré par effet Joule dans un conducteur électrique inséré dans la plaque chaude, traverse les échantillons. Les plaques d'échantillon sont encadrées chacune par une plaque froide. Les températures  $T_c, T_f$  des plaques chaude et froides sont mesurées en régime permanent par des thermocouples.

## Document 4 : Modélisation d'un mouton

On modélise la brebis debout par un parallélépipède plein, de température uniforme  $\theta_{\text{éq}} = 39^{\circ}\text{C}$ , de longueur  $L = 100\ \text{cm}$  et de section carrée de côté  $H = 30\ \text{cm}$ . Le corps de la brebis est entouré d'une épaisseur qui peut varier de  $e = e_M = 10\ \text{cm}$  de laine avant la tonte à  $e = e_m = 0,5\ \text{cm}$  après la tonte.



### Document 5 : Loi de Newton

La loi de Newton, relative au phénomène de conducto-convection, correspond à un vecteur de densité thermique reçu par la brebis pouvant s'écrire :  $\vec{j}_{cc} = -h \cdot (T_{ext} - T_{air}) \cdot \vec{n}$   
avec  $T_{ext}$  la température de la surface extérieure de la brebis en contact avec l'air de température  $T_{air}$ , et  $\vec{n}$  le vecteur unitaire normal orienté de la brebis vers l'extérieur.  
On considère un coefficient de Newton laine/air égal à  $h = 4,0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ .

### Document 6 : Phénomène de rayonnement thermique

Le rayonnement thermique est un rayonnement électromagnétique généré par l'agitation thermique de particules dans la matière, quel que soit l'état de celle-ci : solide, liquide ou gaz. Le spectre de ce rayonnement s'étend du domaine micro-ondes à l'ultra-violet. Le phénomène de rayonnement, toujours présent, est associé à l'existence d'une résistance thermique, dite résistance de rayonnement notée  $R_r$ .

Dans le cas du mouton, la température de l'air est assez proche de celle de l'animal, et on admet alors que la puissance thermique  $\mathcal{P}_r$  due au rayonnement thermique sortant de la surface extérieure de la brebis s'exprime sous la forme :

$$\mathcal{P}_r = K \cdot A \cdot (T_{ext} - T_{air})$$

$A$  est l'aire de la surface extérieure de la brebis, et  $T_{ext}$  la température de cette surface en contact avec l'air de température  $T_{air}$ . La constante  $K$  a pour valeur  $K = 5,0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$  dans le cas du mouton.

### Document 7 : Respiration et sudation de la brebis

Lors de la respiration et de la sudation de la brebis, il y a évaporation d'eau. Une brebis émet de la vapeur d'eau par les voies respiratoires en toute situation, avec un débit massique :  $D_{m,resp} = 5,8 \cdot 10^{-6} \text{ g} \cdot \text{s}^{-1}$   
Elle en émet deux fois plus par sa surface cutanée quand elle vient d'être tondue :  $D_{m,sud} = 2 \cdot D_{m,resp}$   
Ceci est vrai dès que la température extérieure est supérieure ou égale à  $5,0^\circ\text{C}$ .

L'enthalpie massique de vaporisation de l'eau, supposée indépendante de la température, vaut  $\ell_{vap} = 2,5 \cdot 10^3 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

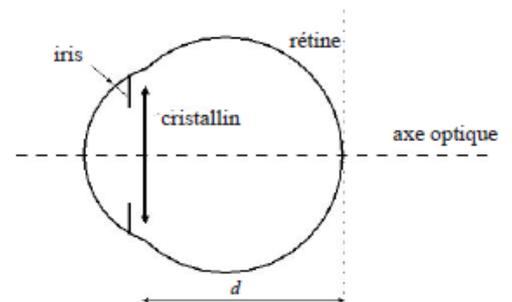
### Document 8 : Œil du mouton

L'œil réduit d'un mouton et celui d'un homme sont basés sur le même principe, comme indiqué sur la figure ci-contre.

Les moutons voient naturellement net des objets proches et ne voient pas des objets plus éloignés.

Dans l'œil de mouton, la distance  $d$  entre la lentille d'entrée (cristallin) et la rétine est de l'ordre de  $25 \text{ mm}$ , dans l'œil humain de  $15 \text{ mm}$ .

Le Punctum Proximum est pour le mouton à une distance de  $5 \text{ cm}$ , et pour l'homme de  $15 \text{ cm}$ . Le Punctum Remotum est à  $2 \text{ m}$  pour le mouton.

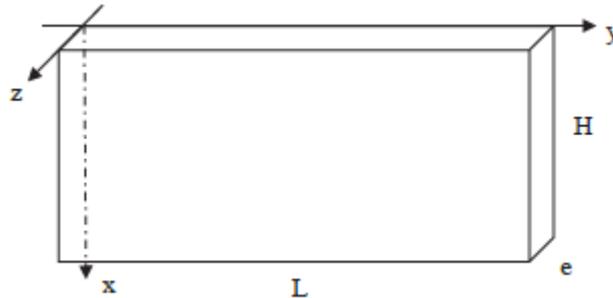


## Partie I : Questions sur des notions du programme en lien avec la thématique

### A. Phénomènes de transport

1. Rappeler la loi de Fourier relative à la diffusion thermique, en précisant les noms et unités de l'ensemble des grandeurs intervenant dans cette loi.
2. Rappeler la définition et l'unité de la résistance thermique d'un matériau.

On modélise la fourrure de l'un des côtés du mouton par un parallélépipède, de longueur  $L$ , de hauteur  $H$  et d'épaisseur  $e$  petite ( $e \ll \min(L, H)$ ). La conductivité thermique du manteau est notée  $\lambda$ , sa masse volumique  $\mu$  et sa capacité thermique massique  $c$ . Le problème est supposé unidimensionnel, la température ne dépend que de la variable  $z$  et du temps  $t$ . On néglige les pertes latérales par les surfaces latérales.



3. Faire un bilan énergétique sur la tranche de matériau comprise entre les cotes  $z$  et  $z + dz$  et en déduire l'équation différentielle à laquelle obéit la température  $T(z, t)$ . En déduire l'expression de la diffusivité thermique.
4. Que devient-elle en régime stationnaire ?
5. On suppose que le matériau est en présence de thermostats qui imposent à tout moment une température  $T_0$  en  $z = 0$  et  $T_e$  en  $z = e$ . Exprimer la puissance thermique  $\varphi$  qui traverse le matériau en fonction de  $e, \lambda, H, L, T_0$  et  $T_e$ .
6. Exprimer la résistance thermique du matériau en fonction de ses caractéristiques géométriques et de sa conductivité.
7. Que signifie, du point de vue thermique, mettre des résistances en parallèle et mettre des résistances en série ? Illustrer chaque situation par un exemple et un schéma d'association.

### B. Optique géométrique

8. Qu'est-ce que le stigmatisme d'un système optique ? Qu'est-ce que l'aplanétisme d'un système optique ?
9. Dans quelles conditions est-il possible d'appliquer les approximations de Gauss à une lentille mince ?
10. Rappeler la formule de conjugaison de Descartes au centre optique pour une lentille mince.
11. Qu'appelle-t-on punctum proximum et punctum remotum pour un œil ?

## Partie II : Analyse des documents

### A. Équilibre thermique d'une brebis (Documents 3 à 7)

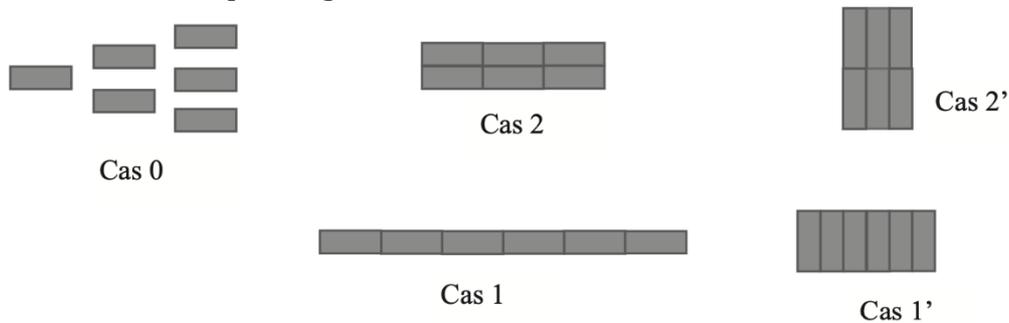
12. Dans le cas de l'expérience décrite dans le document 3, exprimer la conductivité  $\lambda_{laine}$  d'un échantillon en fonction de  $\varphi, e, S, T_c$  et  $T_f$ .
13. En utilisant le document 4, proposer un mode d'association de résistances thermiques pour modéliser les échanges thermiques du mouton avec l'air extérieur par diffusion à travers la fourrure. Exprimer la résistance thermique diffuse  $R_{diff}$  de la couche de laine en négligeant les effets de bords, en fonction de  $L, H, e$  et  $\lambda_{laine}$ . Évaluer son ordre de grandeur pour les deux épaisseurs limites proposées. Commenter le rapport des résistances thermiques diffuses.
14. Le phénomène de diffusion thermique n'est pas le seul à prendre en compte pour décrire la situation d'une brebis, il faut également tenir compte des phénomènes de conducto-convection à l'interface entre la fourrure et l'air, ainsi que les pertes par rayonnement thermique. En vous aidant des documents :
  - a) Exprimer la résistance conducto-convective  $R_{cc}$  en fonction de  $h, L$  et  $H$ . Évaluer son ordre de grandeur.
  - b) Exprimer également la résistance thermique de rayonnement  $R_r$  en fonction de  $K, L$  et  $H$ .
15. En réfléchissant à l'association réalisée entre les trois types de résistance étudiées, faire un schéma électrique du montage de ces trois résistances placées entre la température interne de la brebis  $T_{int} = \theta_{eq} = 39^\circ\text{C}$  et la température de l'air  $T_{air}$ .
16. Évaluer numériquement les deux valeurs  $R_1$  et  $R_2$  des résistances équivalentes de la brebis non tondue et de la brebis tondue. Comparer ces résistances.

17. La brebis non tondue est en situation de confort climatique pour la température de l'air égale à  $T_0 = 5^\circ\text{C}$ . En plus des phénomènes de diffusion, conducto-convection et rayonnement, il y a également évaporation d'eau par respiration et sudation.
- Si on considère la situation de confort climatique comme une situation en régime permanent stationnaire, comment peut-on relier la puissance thermique apportée par le métabolisme de la brebis aux puissances thermiques associées aux phénomènes de diffusion, conducto-convection, rayonnement thermique et évaporation de l'eau ?
  - Exprimer la puissance thermique perdue par évaporation.
  - En déduire l'expression de la puissance  $\mathcal{P}_{M0}$  apportée à la brebis par son métabolisme dans une situation de confort juste avant la tonte. On l'exprimera en fonction notamment de  $\ell_{vap}$ ,  $D_{m,resp}$ ,  $L$ ,  $R_1$ ,  $T_{int}$  et  $T_{air}$ , puis on en fera l'évaluation numérique pour  $T_{air} = T_0 = 5^\circ\text{C}$ .
  - Répondre à la même question pour la puissance  $\mathcal{P}_{m0}$  de la brebis tondue pour la température de confort  $T_0 = 5^\circ\text{C}$ .

Ce sont les réactions chimiques de combustion du glucose qui fournissent une partie importante de l'énergie du métabolisme. Les réactions d'oxydation du glucose  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  par le dioxygène respiré formant de l'eau et du dioxyde de carbone sont les sources d'énergie thermique.

18. Écrire la réaction de combustion du glucose. Sachant que cette réaction est caractérisée par une enthalpie standard de réaction égale à  $\Delta_r H^\circ = -2\,800\text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ , calculer le volume de dioxygène utilisé par heure (prélevé à  $5^\circ\text{C}$  à la pression de 0,2 bar) par une brebis non tondue ou tondue.

Les brebis se serrent les unes contre les autres en situation de stress thermique dû au froid extérieur. Supposons que le berger ait un troupeau de 6 brebis non tondues. Plusieurs regroupements sont possibles comme indiqué en **figure 5**.



**Figure 5 - Regroupements possibles de 6 brebis**

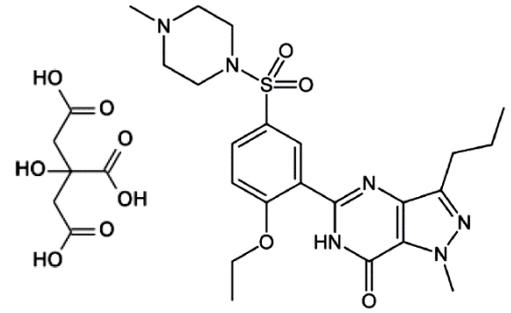
19. Évaluer la surface en contact avec l'air dans les cas 0, 1, 1', 2 et 2'. Dans quelle configuration les brebis ont-elles intérêt à se regrouper ? Quelle sera la diminution moyenne du métabolisme d'un brebis pour maintenir sa température interne dans le cas de ce regroupement ? Certaines ont-elles intérêt à changer de place de temps en temps ?

### **B. Vision du mouton (Document 8)**

20. Évaluer la distance focale de l'œil du mouton qui n'accommode pas du tout, et de celui qui accommode au maximum.
21. On appelle pouvoir d'accommodation ( $P.A.$ ) la différence des deux valeurs de vergence correspondantes. Comparer celui de l'œil ovin à celui de l'œil humain.

## 2. Synthèse du Viagra

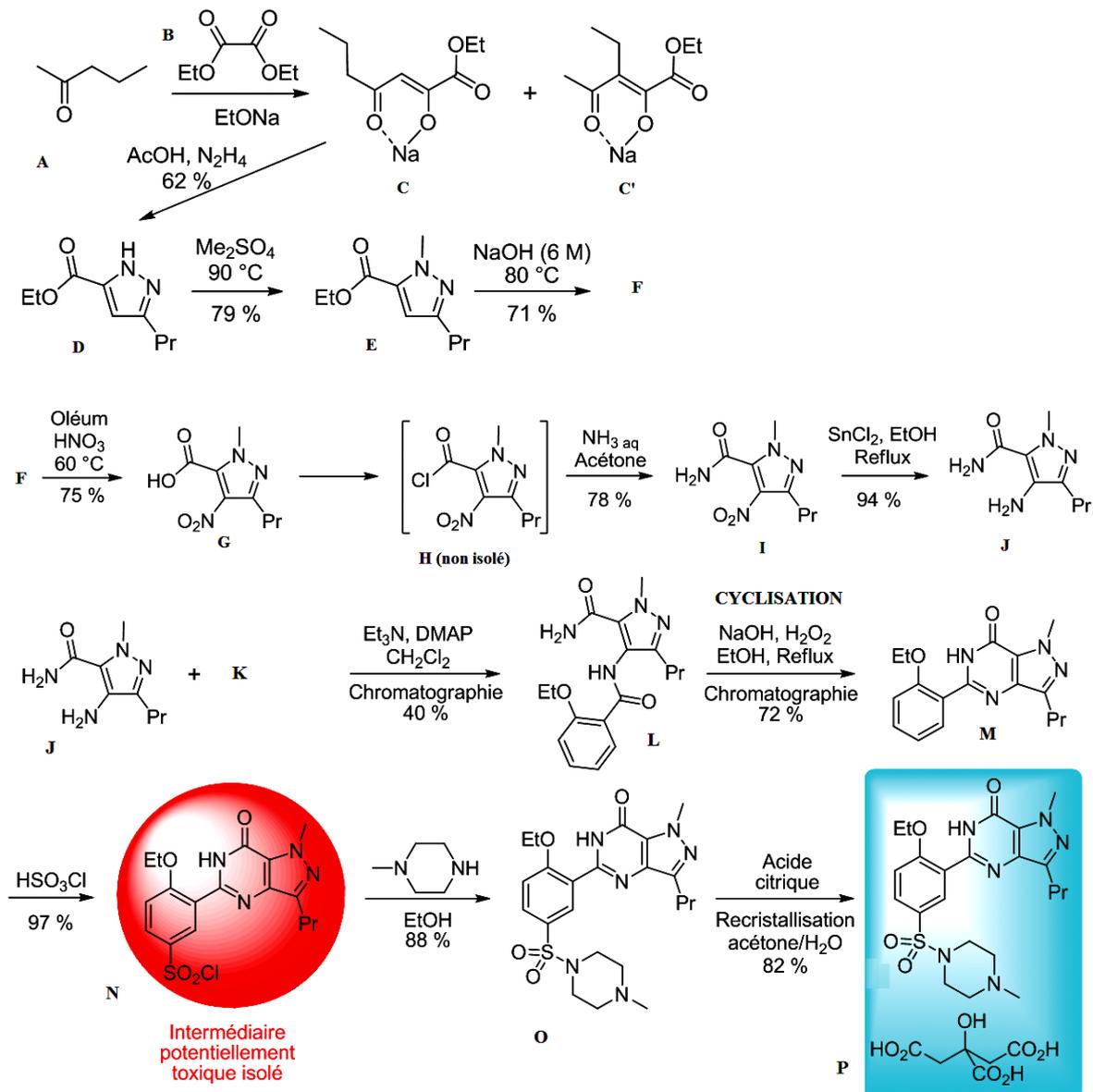
Le Viagra® est le nom commercial du citrate de sildénafil (ci-contre). Cet ensemble de molécules issu d'un programme de recherche du **laboratoire Pfizer** dans les années 1980, était originellement prévu pour le traitement des maladies cardiovasculaires. Peu efficace dans ce domaine, c'est un des effets secondaires qui a attiré l'attention des chercheurs qui ont réorienté le programme de recherche en 1992 pour aboutir au Viagra® qui permet de traiter efficacement les troubles de l'érection.



Dès l'autorisation de mise sur le marché en 1998, le succès est immédiat. Le Viagra® est en position de monopole (98% de parts de marché), plus de 6 millions de patients ont été traités en deux ans. Vingt-cinq ans plus tard, il ne représente plus que 58 % des parts de marchés dans ce domaine. Le 22 juin 2013, 15 versions de Viagra® génériques (dont une du laboratoire Pfizer) ont fait leur apparition, le prix du traitement étant divisé environ par trois.

### Synthèse médicinale (brevetée et publiée en 1992)

La synthèse de chimie médicinale permet d'accéder à un produit donné rapidement tout en permettant autant que possible la synthèse d'analogues pour les études biologiques. Elle doit également permettre la préparation des premiers lots de produits pour les études toxicologiques et éventuellement les premières études cliniques. La synthèse médicinale du citrate de sildénafil a été brevetée et publiée en 1992 par Bell, Brown et Terrett. Elle est schématisée ci-après.



### Synthèse médicinale optimisée (1994)

Très rapidement, des conditions opératoires de certaines étapes de la synthèse précédente ont été modifiées.

- Par exemple, lors de la transformation de **I** en **J** (document 2), le sel d'étain  $\text{SnCl}_2$  dissous dans l'éthanol chauffé à reflux est remplacé par du dihydrogène en présence de palladium déposé sur charbon dans de l'éthanoate d'éthyle. (Rappel :  $E^\circ(\text{H}^+/\text{H}_{2(\text{g})}) = 0\text{V}$ )
- Un autre exemple d'optimisation qui concerne la réaction de cyclisation (**L** → **M**) apparaît dans l'article Green Chem. (2004) 6, 43-48 de P. J. Dunn et al. Il est possible d'y lire :  
« La voie de synthèse de chimie médicinale pour la réaction de cyclisation du composé (**L**) en composé (**M**) utilisait une solution éthanolique de soude et d'eau oxygénée aboutissant à un rendement de 72 %. Une revue de la littérature sur les méthodes de cyclisation alternative a révélé que de telles réactions avaient toujours abouti à des rendements modérés situés entre 30 à 70%. L'utilisation de  $t\text{BuOK}$  dans  $t\text{BuOH}$  (2-méthylpropan-2-olate de potassium dans le 2-méthylpropan-2-ol) pour la réaction de cyclisation a permis de former le produit désiré de façon quantitative sans aucune purification. »
- Une autre amélioration est apportée en réduisant ou supprimant les purifications par chromatographie.

Avec toutes ces améliorations, le rendement global, calculé à partir de **G**, a été porté à 35,9 %.

Les premiers lots de citrate de sildénafil **P** ont ainsi pu être préparés pour les études cliniques, mais les chimistes de Pfizer ont continué à optimiser le procédé industriel.

1. Par analogie avec celui de l'aldolisation, proposer un mécanisme expliquant la formation de l'espèce **C**.
2. Justifier l'obtention de deux espèces **C** et **C'**. Qualifier leur isomérisation.

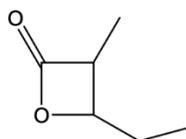
À la fin de la réaction, le mélange brut réactionnel est laissé plusieurs heures à « chaud » (40°C), le produit **C** devient alors nettement majoritaire : le rapport **C/C'**, initialement de 8/1, augmente alors jusqu'à 98/2.

3. Dans l'étape **D**→**E**, le diméthylsulfate  $\text{Me}_2\text{SO}_4$  aurait pu être remplacé par de l'iodométhane. Proposer un mécanisme de formation de **E** à partir de **D** et de l'iodométhane. Justifier la facile déprotonation de l'ion ammonium formé intermédiairement. Justifier l'intérêt d'utiliser  $\text{Me}_2\text{SO}_4$  comme donneur de groupement méthyle.
4. Identifier le composé **F**, sachant que ce dernier est obtenu après un retour en milieu acide.
5. Proposer un réactif permettant de passer de **G** à **H**. Etablir l'équation de la réaction. Pourquoi est-il indispensable de convertir l'acide carboxylique **G** en **H** afin de former l'espèce **I**.
6. Donner le mécanisme réactionnel permettant d'obtenir le composé **L**.
7. Proposer un rôle à  $\text{SnCl}_2$  lors de la conversion de **I** en **J**.
8. Les rendements des étapes étant indiqués sur les flèches, calculer le rendement de la synthèse du citrate de sildénafil **P** à partir de l'espèce **G**. Commenter le résultat.
9. Expliciter très succinctement les avantages à substituer l'ancienne réaction de cyclisation **L** → **M** par la nouvelle.

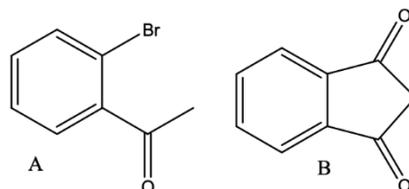
### 3. Entraînement à la rétro-synthèse

Toute tentative cohérente sera valorisée même si elle n'aboutit pas complètement.

1. À partir de l'éthanal seule source de matière organique, proposer une méthode de synthèse de l'acide 3-chlorobutanoïque.
2. À partir du propanal comme seule source de carbone, proposer une voie de synthèse du composé ci-dessous.



3. À partir de l'espèce **A**, proposer une voie de synthèse du composé **B**.



## Suite du problème 1 sur le mouton...

Puisque je dispose d'un verso libre, je rajoute quelques questions présentes initialement dans le sujet qui a servi de base à la partie « transports » de ce sujet.

Dans une situation où l'air environnemental est en dehors de la zone de confort, la brebis va se réchauffer ou se refroidir et éventuellement transpirer. On négligera la capacité thermique de la toison devant celle du corps de la brebis. On assimile la brebis à un volume d'eau de masse volumique  $\mu = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  et de capacité thermique massique  $c = 4,2 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

22. On admet que les variations de température sont suffisamment lentes pour utiliser les notions de résistances. On note  $\mathcal{P}_M$  la puissance apportée par le métabolisme.
- a) En appliquant le premier principe de la thermodynamique à la brebis non tondue dans une situation (1) où la température  $T_{air}$  de l'environnement est différente de  $T_0 = 5 \text{ }^\circ\text{C}$ , montrer que l'équation différentielle relative à la température  $T(t)$  de la brebis s'écrit :

$$\frac{dT(t)}{dt} + \frac{T(t) - T_{air}}{\tau_1} = \frac{T_1 - T_{air}}{\tau_1}$$

On exprimera  $\tau_1$  en fonction de  $\mu, c, L, H, R_1$  et  $(T_1 - T_{air})$  en fonction de  $\theta_{eq}, T_0, R_1$  et  $(\mathcal{P}_M - \mathcal{P}_{M0})$ .

- b) Exprimer la température  $T(t)$  en fonction de  $t, T_1, \tau_1$  et  $\theta_{eq}$  avec  $\theta_{eq}$  température initiale de la brebis.
- c) Calculer  $\tau_1$ . Calculer  $T_1$  en  $^\circ\text{C}$  pour  $\mathcal{P}_M = \mathcal{P}_{M0}$  avec une température d'environnement égale à  $T_{air} = 17 \text{ }^\circ\text{C}$ .
23. La brebis non tondue reste dans sa zone d'adaptation pour une température extérieure variant de  $-8 \text{ }^\circ\text{C}$  à  $+15 \text{ }^\circ\text{C}$ . En déduire entre quelles limites peut varier la puissance apportée par le métabolisme de l'animal dans cette situation (1) sans qu'il y ait danger pour lui. On suppose donc que la brebis reste à sa température d'équilibre  $\theta_{eq} = 39 \text{ }^\circ\text{C}$ .

24. En appliquant le premier principe à la brebis tondue dans une situation (2) où la température  $T_{air}$  de l'environnement est supérieure à  $T_0 = 278 \text{ K} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$ , montrer que l'équation différentielle relative à la température  $T(t)$  de la brebis peut se mettre sous la forme

$$\frac{dT(t)}{dt} + \frac{T(t) - T_{air}}{\tau_2} = \frac{T_2 - T_{air}}{\tau_2}$$

dans laquelle les notations  $T_2$  et  $\tau_2$  sont des constantes à déterminer.

Exprimer  $\tau_2/\tau_1$ . Commenter.

En supposant que la possibilité de variation de la puissance métabolique soit celle obtenue à la question 23, jusqu'à quelle température extérieure la brebis tondue peut-elle s'adapter à la chaleur ?

25. Faire un schéma de montage électrique équivalent aux situations (1) et (2) en indiquant les valeurs des éléments du montage en fonction de  $T_1, T_2, \tau_1$  et  $\tau_2, R_1$  et  $R_2$ .
- Tracer l'allure de  $T(t)$  dans une situation de type (1) (brebis non tondue) à partir d'une température initiale  $\theta_{eq} = 39 \text{ }^\circ\text{C}$  avec  $p_m = p_{m0}$  et une température de l'air égale à  $17 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- Tracer l'allure de  $T(t)$  dans une situation de type (2) (brebis tondue) à partir d'une température initiale  $\theta_{eq} = 39 \text{ }^\circ\text{C}$  et une température de l'air égale à  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  sachant que la valeur de  $T_2 - T_{air}$  vaut  $2,6 \text{ }^\circ\text{C}$ .