**Version A (moins difficile)**

## PROBLEME 1 : formation de bulles

Dans cette partie, on considère le système fermé, de volume $V$, constitué de deux sous-systèmes (cf. figure 1) :

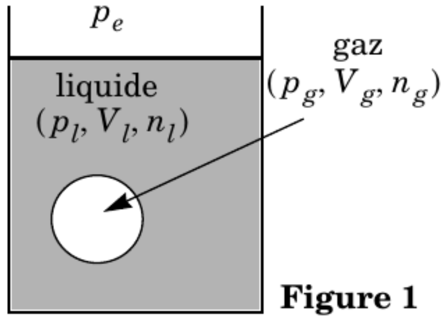


**Figure 1**

- Une unique bulle de dioxyde de carbone, supposée sphérique de rayon $a$ et de volume $V_g$, formée de $n_g$ moles de dioxyde de carbone assimilé à un gaz parfait ;
- Le liquide, de volume $V_l = V - V_g$, assimilé à une solution aqueuse diluée de dioxyde de carbone, contenant $n_l$ moles de dioxyde de carbone dissous ; on note $C$ le nombre de molécules de dioxyde de carbone dissoutes par unité de volume dans cette solution et on suppose, dans cette partie, $C$ uniforme.

Le liquide est au contact d'une atmosphère imposant une pression extérieure $p_e$ constante. On ne tient pas compte, dans cette partie, de la pesanteur. On note $p_l$ la pression dans la phase liquide et $p_g$ la pression dans la phase gazeuse ; ces pressions sont supposées uniformes, a priori différentes entre elles et différentes de $p_e$. La température du système est maintenue uniforme, via un contact avec un thermostat de température $T$ constante. Le nombre total de moles de dioxyde de carbone $n = n_g + n_l$ dans le système est supposé constant.

**I.A -** Soit $U$ l'énergie interne du système et $S$ son entropie. Démontrer que la fonction $G^* = U + p_e V - TS$ est un potentiel thermodynamique.

**I.B -** On choisit comme variables indépendantes, le rayon $a$ de la bulle, le volume $V_l$ de la phase liquide et le nombre de moles $n_g$ dans la bulle. Compte tenu du phénomène de tension superficielle, la différentielle de la fonction $G^*$ s'écrit alors :

$$dG^* = \mu_g dn_g + \mu_l dn_l + (p_e - p_l)dV_l + (p_e - p_g)dV_g + Ad\Sigma$$

- où $\Sigma$ est la surface de la bulle de gaz de rayon $a$ et $A$ une constante positive appelée coefficient de tension superficielle ;
- où $\mu_g = \mu_g^0 + RT\ln(p_g/p^0)$ et $\mu_l = \mu_l^0 + RT\ln(C/C^0)$ ;
  $p^0$ est une pression de référence ;
  $C^0$ est un nombre volumique de référence ;
  $\mu_g^0$ et $\mu_l^0$ ne dépendent que de $T$, donc sont constantes.

I.B.1) On envisage une variation $dV_l$ de $V_l$, à $n_g$ et $a$ fixés. Montrer qu'à l'équilibre on a $p_l = p_e$ et interpréter concrètement.

I.B.2) On envisage une variation $da$ de $a$, à $n_g$ et $V_l$ fixés. Montrer qu'à l'équilibre on a $p_g = p_e + 2A/a$.

I.B.3) On envisage une variation $dn_g$ de $n_g$, à $a$ et $V_l$ fixés. Montrer qu'à l'équilibre on a $\mu_g = \mu_l$.

I.B.4) Déduire des questions précédentes l'équation $(E)$ donnant implicitement le rayon d'équilibre $a_{eq}$ en fonction de la pression $p_e$, du nombre volumique $C$ et des constantes $\mu_g^0$, $\mu_l^0$, $R$, $T$, $A$, $p^0$, $p_e$ et $C^0$.

I.B.5) Soit $p_\infty$ la valeur de la pression extérieure $p_e$ telle qu'une bulle de rayon $a$ infini soit en équilibre avec la phase liquide pour le même nombre volumique $C$.

Montrer que la condition d'équilibre $(E)$ s'écrit aussi bien $a_{eq} = 2A/(p_\infty - p_e)$.

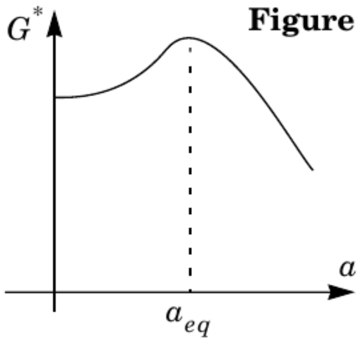

**Figure 2**

**I.C -** On suppose dans cette question que le nombre volumique $C$ en dioxyde de carbone dissous est fixé et que la relation $p_g = p_e + 2A/a$ est vérifiée ; en revanche, l'égalité des potentiels chimiques n'est pas forcément réalisée. Dans ces conditions, la fonction $G^*$ n'est plus fonction que de $a$. La figure 2 fournit l'allure du graphe de $G^*(a)$ pour $0 \le a \le 2a_{eq}$, qu'on ne demande pas de justifier.

I.C.1) Ce graphe est-il compatible avec l'étude précédente ? Quel renseignement supplémentaire en tire-t-on sur l'état d'équilibre $a = a_{eq}$ ?

I.C.2) Justifier que seules les bulles de champagne ayant un rayon initial supérieur à une valeur critique $a_c$, à préciser, peuvent croître spontanément.

I.C.3) On donne $A = 7 \cdot 10^{-2}\ \mathrm{N \cdot m^{-1}}$, $p_\infty = 3$ bars et $p_e = 1$ bar. Calculer $a_c$. Comment expliquer la présence initiale de bulles de rayon supérieur à $a_c$ à la surface du verre ?

## PROBLEME 2 : désintégration de l'Uranium 235

L'élément uranium se présente essentiellement sous la forme de deux isotopes ; le plus répandu à l'état naturel, $U^{238}$, possède $92$ protons et $146$ neutrons ; l'autre isotope est $U^{235}$ dit isotope « fissile ». Lorsqu'un noyau $U^{235}$ est heurté par un neutron (noté $n$), il peut « fissionner », suivant la réaction suivante : ${}^{235}U_{92} + n \to X + Y$ + plusieurs neutrons + énergie, où $X$ et $Y$ sont deux noyaux le plus souvent radioactifs.

Le nombre moyen de neutrons émis dans la désintégration d'un noyau d'$U^{235}$ est $\nu \approx 2,5$. On voit ainsi la possibilité d'une réaction en chaîne, utilisable de manière contrôlée dans une centrale nucléaire, ou de manière explosive dans une bombe. L'énergie libérée par la désintégration d'un noyau d'$U^{235}$ est en moyenne de $170 \cdot 10^6 eV$ $(1eV = 1,6 \cdot 10^{-19} J)$. Lorsque la masse du bloc d'uranium devient supérieure à une valeur critique, la réaction en chaîne s'emballe et devient explosive.

## I.A - Diffusion de neutrons

**I.A.1)** Quelle serait l'énergie libérée par la désintégration totale d'un kilogramme d'$U^{235}$ ?

**I.A.2)** L'énergie libérée par l'explosion d'une tonne de trinitrotoluène, un explosif chimique classique encore dénommé TNT, est de $4,2 \cdot 10^9$ Joule. En déduire l'énergie libérée par la désintégration supposée totale d'un kilogramme d'$U^{235}$, exprimée en équivalent tonnes de TNT. Commenter le résultat.

**I.A.3)** Soit $N(x, y, z, t)$ le nombre de neutrons par unité de volume, et $\vec{J}$ le vecteur densité de flux de neutrons, tel que $\vec{J} \cdot \overrightarrow{dS}\ dt$ représente le nombre de neutrons traversant la surface $\overrightarrow{dS}$ pendant l'intervalle de temps $dt$. On donne l'équation fondamentale de la neutronique :

$$\frac{\partial N}{\partial t} = -\operatorname{div} \vec{J} + \left(\frac{\nu - 1}{\tau}\right) N(x, y, z, t).$$

On rappelle de plus la loi de Fick $\vec{J} = -D\overrightarrow{\operatorname{grad}} N$ et la relation $\operatorname{div}(\overrightarrow{\operatorname{grad}} N) = \Delta N$.

a) En vous aidant d'analogies avec d'autres domaines de la Physique, pouvez-vous interpréter les deux termes situés à droite de l'égalité ?

b) Quelle interprétation proposez-vous pour la constante $\tau$ ?

c) Expliquer, en particulier, pourquoi $\nu - 1$ intervient dans le terme de droite, et pas $\nu$.

## I.B - Masse critique

On cherche à déterminer la masse du bloc d'uranium (ou masse critique) pour laquelle la réaction en chaîne peut s'emballer et devenir explosive.

**I.B.1)** *Calcul de la masse critique dans le cas d'une boule d'uranium 235 pur, de rayon R*

On suppose que le problème est à géométrie sphérique de telle sorte que l'on puisse écrire :

$$N = N(r, t) = N_1(r) e^{\nu' t/\tau} \text{ et } \vec{J}(r,t) = -D\frac{\partial N}{\partial r}\vec{e}_r.$$

Dans cette situation, on a :

$$\Delta N_1 = \frac{1}{r^2}\frac{d}{dr}\left(r^2 \frac{dN_1}{dr}\right).$$

a) On pose

$$g(r) = rN_1(r) \text{ et } \alpha^2 = \left|\frac{\nu' - \nu + 1}{D\tau}\right| ;$$

montrer que la fonction $g(r)$ est solution d'une équation différentielle très classique. On recherche une fonction $r \to N_1(r)$ telle que $N_1(r = R) = 0$, que $N_1$ ne s'annule pas pour $r \in ]0, R[$ et telle que $N_1$ tende vers une limite finie quand $r$ tend vers zéro. Montrer que c'est possible si

$$\nu' = (\nu - 1) - \frac{\pi^2 D\tau}{R^2}.$$

b) Interpréter le fait que $\nu'$ augmente si $R$ croît.

c) Quelle est la différence fondamentale entre les cas $\nu' > 0$ et $\nu' < 0$ ?

d) Exprimer le rayon minimal $R_c$ tel qu'il puisse y avoir réaction en chaîne, en fonction de $D$, $\tau$ et $\nu$.

e) On donne pour $U_{92}^{235}$ de masse volumique $\rho = 19 \cdot 10^3 \text{kg m}^{-3}$ : $\pi^2 D\tau = 2,2 \cdot 10^{-2} \text{m}^2$ et $\nu = 2,5$. Calculer la valeur du rayon critique $R_c$, ainsi que la masse critique $M_c$ (masse de la boule d'uranium de rayon $R_c$).

**I.B.2)** *Mise en œuvre d'une bombe nucléaire*

Pour des raisons évidentes, on ne peut pas stocker sans précautions une masse d'uranium supérieure à la masse critique. Quelle disposition raisonnable pouvez-vous suggérer pour le conditionnement d'une arme nucléaire, embarquée dans un missile ? Comment pourrait-on déclencher l'explosion ?

## PROBLEME 3A : dessine-moi un mouton

**Données :**

- L'opérateur gradient d'une fonction A(M,t) en situation unidimensionnelle vaut en coordonnées cartésiennes $\overrightarrow{\text{grad}(A(z,t))} = \frac{\partial A(z,t)}{\partial z}\overrightarrow{e_z}$ et en coordonnées sphériques $\overrightarrow{\text{grad}(A(r,t))} = \frac{\partial A(r,t)}{\partial r}\overrightarrow{e_r}$.
- En coordonnées cartésiennes, l'opérateur divergence en situation unidimensionnelle vaut $\text{div}\left(\overrightarrow{A(z)}\right) = \frac{dA(z)}{dz}$.

**Document** (*vigiferme.org*, pour le bien-être de l'animal et de l'éleveur, consulté en 2018)

*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 qui a une épaisse toison et qui est protégé de l'humidité pourra supporter des températures qui descendent en dessous de – 15 °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 naitre 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 tondus, 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 tondue | Confort sans adaptation ou adaptation facile | Adaptation difficile | Adaptation très difficile | Inadaptation pouvant entraîner la mort |
|---|---|---|---|---|
| Température extérieure | de – 8 °C à 25 °C | de – 15 °C à – 8 °C et de 25 °C à 35 °C | de – 30 °C à – 15 °C et de 35 °C à 40 °C | en dessous de – 30 °C et au-dessus de 40 °C |

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

**Fin document**

Nous allons essayer de construire un modèle thermodynamique pour expliquer comment la brebis maintient sa température de consigne $\theta_{eq} = 39$ °C et mieux comprendre les éléments du **document ci-dessus**.

## I.1 - Propriétés de la toison de 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 °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 µm pour les moutons Mérinos à 40 µm pour les races écossaises.
Une toison de laine va être caractérisée par une valeur de conductivité thermique $\lambda_{laine}$ supposée homogène et une valeur de capacité thermique massique $c_{laine}$. On considèrera par la suite une laine « moyenne » caractérisée par une conductivité thermique $\lambda_{laine} = 0{,}040\ \mathrm{W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}}$.

**Q1.** La loi de Fourier, relative à la diffusion thermique, traduit le lien entre la densité volumique de transfert thermique et le gradient de température : $\overrightarrow{j_Q} = -\lambda \cdot \overrightarrow{\mathrm{grad}\,T}$.
Quelle est la dimension de la conductivité thermique $\lambda$ ?

On considère un parallélépipède, de longueur L, de hauteur H et d'épaisseur e petite ($e << \min(L, H)$), constitué d'un matériau homogène de conductivité $\lambda$, de masse volumique $\mu$ et de capacité thermique massique c (**figure 1**). Le problème est supposé unidimensionnel, la température ne dépend que de la variable z et du temps t.

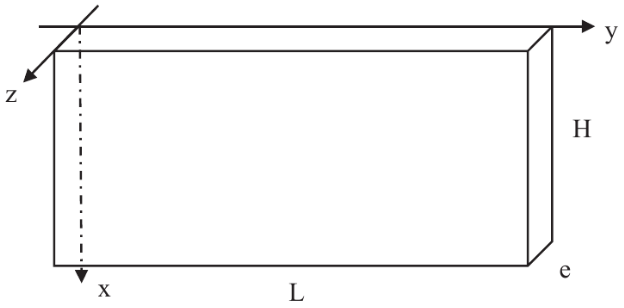


**Figure 1** - Géométrie du conducteur thermique

**Q2.** Sur quelle direction est le vecteur densité $\overrightarrow{j_Q}$ de courant thermique ? De quelles variables dépend-il ?

Les températures, sauf avis contraire, sont en °C.

**Q3.** Faire un bilan énergétique sur la tranche de matériau comprise entre z et z + dz et en déduire l'équation différentielle à laquelle obéit la température T(z,t).

**Q4.** Que devient-elle en régime stationnaire ? Le vecteur $\overrightarrow{j_Q}$ dépend-il de z ?

**Q5.** On suppose que le matériau est en présence de thermostats qui imposent à tout moment une température $T_{entrée}$ en $z = 0$ et $T_{sortie}$ en $z = e$. Que vaut la puissance thermique $\varphi$ qui traverse le matériau en fonction de e, $\lambda$, H, L, $T_{entrée}$ et $T_{sortie}$ ?

**Q6.** Définir puis exprimer la résistance thermique du matériau en fonction de ses caractéristiques géométriques et de sa conductivité. Que signifie, du point de vue thermique, mettre des résistances en parallèle et mettre des résistances en série ?

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 (**figure 2**, page 6). 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.

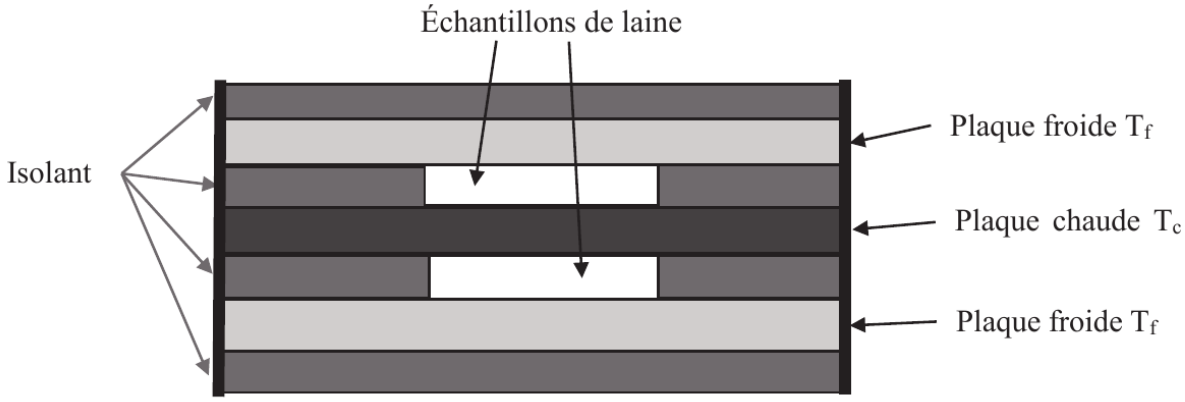


**Figure 2** - Principe de la plaque chaude gardée

**Q7.** Exprimer l'expression de la conductivité $\lambda_{laine}$ de l'échantillon en fonction de $\varphi$, e, S, $T_c$ et $T_f$.

### I.2 - Équilibre thermique d'une brebis (situation de confort)

On modélise la brebis debout par un parallélépipède plein, de température uniforme $\theta_{eq} = 39$ °C, de longueur L = 100 cm et de section carrée de côté H = 30 cm. Le corps de la brebis est entouré d'une épaisseur qui peut varier de $e = e_M = 10$ cm de laine avant la tonte à $e = e_m = 0{,}5$ cm après la tonte. La situation est représentée en **figure 3** et en **figure 4** (page 7).

**Q8.** Exprimer la résistance $R_{diff}$ de cette carapace 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.

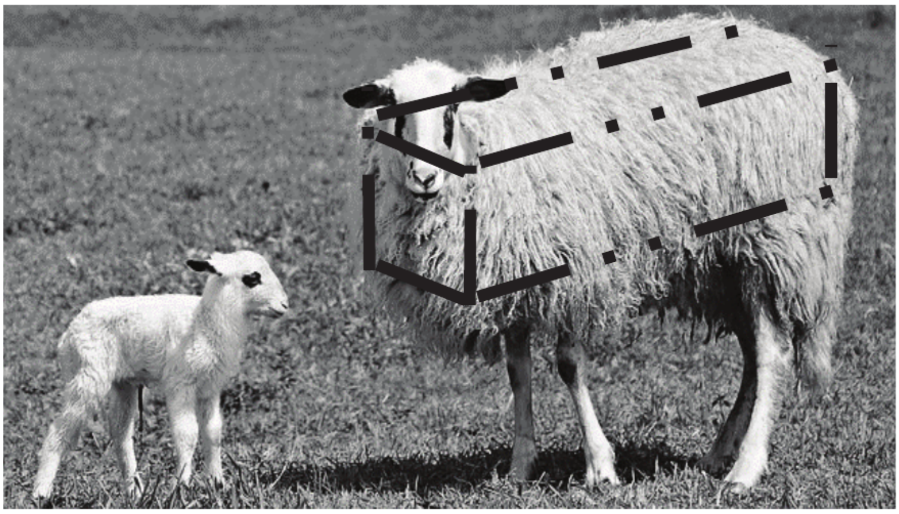

**Figure 3** - Modélisation de la brebis

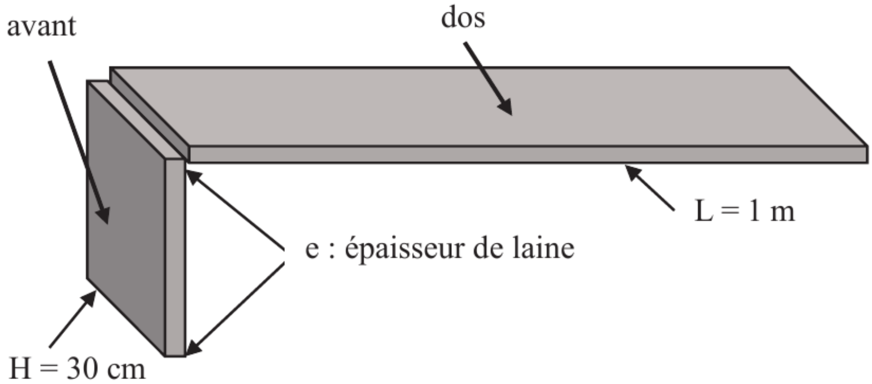


**Figure 4** - Modélisation de la toison
Seules les parties lainières du dos et de l'avant ont été schématisées.

On doit tenir compte de deux autres phénomènes d'échanges thermiques : la conducto-convection (d'autant plus importante que le vent est fort) et le rayonnement thermique toujours présent.

**Q9.** La loi de Newton, relative au phénomène de conducto-convection, correspond à un vecteur de densité thermique reçu par la brebis égal à

$$\overrightarrow{J_Q} = -\,h \cdot (T_{ext} - T_{air})\vec{n}$$

avec $T_{ext}$ la température de la surface extérieure de la brebis en contact avec l'air de température $T_{air}$ et le vecteur unitaire normal $\vec{n}$ orienté de la brebis vers l'extérieur.
On prendra un coefficient de Newton laine/air égal à $h = 4{,}0\ \mathrm{Wm^{-2}K^{-1}}$.
En déduire en fonction de h, L et H la résistance de conducto-convection $R_{cc}$ à introduire dans notre modèle de brebis. Évaluer son ordre de grandeur.

Le phénomène de rayonnement introduit une résistance supplémentaire $R_r$. Comme la température de l'air est assez proche de celle de l'animal, la puissance $P_r$ due au rayonnement thermique sortant de la surface extérieure de la brebis s'exprime sous la forme

$$P_r = KA(T_{ext} - T_{air})$$

avec A l'aire de la surface extérieure de la brebis, $T_{ext}$ la température de cette surface en contact avec l'air de température $T_{air}$. La constante K a pour valeur $K = 5{,}0\ \mathrm{Wm^{-2}K^{-1}}$.

**Q10.** Exprimer la résistance thermique de rayonnement $R_r$ en fonction de K, L et H.

**Q11.** Faire un schéma du montage de ces trois résistances placées entre la température interne de la brebis $T_{int} = \theta_{eq} = 39\ °C$ et la température de l'air $T_{air}$. Évaluer numériquement les deux valeurs $R_1$ et $R_2$ des résistances équivalentes de la brebis non tondue et de la brebis tondue.

La brebis non tondue est dans un confort climatique pour la température de l'air égale à $T_0 = 5\ °C$.
En plus des phénomènes de diffusion, conducto-convection et rayonnement, il y a évaporation d'eau par sudation.
La brebis émet de la vapeur d'eau par les voies respiratoires <u>en toute situation</u> :

$$\dot{m} = 5{,}8 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{g \cdot s^{-1}}.$$

Elle en émet deux fois plus par sa surface cutanée quand elle vient d'être tondue :

$$\dot{m}' = 2\dot{m}$$

et que la température extérieure est supérieure à 5,1 °C.

L'enthalpie massique standard de vaporisation de l'eau, supposée indépendante de la température, vaut $\Delta H^0_{\ vap} = 2\,500\ \mathrm{kJ \cdot kg^{-1}}$.

**Q12.** En déduire la puissance $p_{m0}$ apportée à la brebis par son métabolisme dans une situation de confort juste avant la tonte. On l'exprimera en fonction de $\dot{m}$, L, $R_1$, $T_{int}$ et $T_{air}$, puis on en fera l'évaluation numérique pour $T_{air} = T_0 = 5\ °C$.

**Q13.** Répondre à la même question pour la brebis juste après la tonte pour la température de confort $T_0 = 5\ °C$.

### I.3 - Déséquilibre thermique d'une brebis (situations de stress et de danger)

La thermorégulation est due à des productions internes de chaleur (thermogenèse liée au métabolisme et à l'activité physique) et à des déperditions de chaleur au niveau de la respiration et de la peau (thermolyse).

**Q14. 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 $T_0 = 5$ °C, montrer que l'équation différentielle relative à la température T(t) de la brebis s'écrit :

$$\frac{dT(t)}{dt} + \frac{1}{\tau_1}\left(T(t) - T_{air}\right) = \frac{(T_1 - T_{air})}{\tau_1}\ .$$

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 $(p_m - p_{m0})$.

**b)** Exprimer la température T(t) en fonction de t, $T_1$, $\tau_1$ et $\theta_{eq}$ en supposant que la température initiale de la brebis est $T(t = 0) = \theta_{eq}$.

**c)** Calculer $\tau_1$. Calculer $T_1$ en °C pour $p_m = p_{m0}$ avec une température d'environnement égale à $T_{air} = 17$ °C.

**Q15.** D'après les données du **document** (pages 2 et 3), la brebis non tondue reste dans sa zone d'adaptation pour une température extérieure variant de – 8 °C à + 15 °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 $\theta_{eq} = 39$ °C.

**Q16.** En appliquant le premier principe à la brebis tondue dans une situation (2) où la température $T_{air}$ de l'environnement est supérieure à $T_0 = 278$ K $= 5$ °C, montrer que l'équation différentielle relative à la température T(t) de la brebis peut se mettre sous la forme

$$\frac{dT(t)}{dt} + \frac{1}{\tau_2}\left(T(t) - T_{air}\right) = \frac{(T_2 - T_{air})}{\tau_2}$$

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 **Q15**, jusqu'à quelle température extérieure la brebis tondue peut-elle s'adapter à la chaleur ?

**Q17.** 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 situations de type (1) (brebis non tondue) à partir d'une température initiale $T(t = 0) = \theta_{eq} = 39$ °C avec $p_m = p_{mo}$ et une température de l'air égale à 17 °C.

Tracer l'allure de T(t) pour la situation (2) (brebis tondue) à partir d'une température initiale $T(t = 0) = \theta_{eq} = 39$ °C et une température de l'air égale à 25 °C sachant que la valeur de $T_2 - T_{air}$ vaut 2,6 °C.

Pour assurer leur survie, il leur faut une alimentation suffisante en sources de glucides. Ce sont les réactions chimiques issues du glucose qui fournissent l'énergie du métabolisme. Les réactions d'oxydation du glucose $C_6H_{12}O_6$ par le dioxygène respiré formant de l'eau et du dioxyde de carbone sont les sources d'énergie thermique.

**Q18.** Écrire le bilan chimique pour une mole de glucose. Sachant que cette réaction est caractérisée par une enthalpie standard de réaction égale à $\Delta_r^0 H = -2\,800\ \mathrm{kJ\cdot mol^{-1}}$, quelle est l'énergie thermique apportée par litre de dioxygène respiré (pris à 5 °C à la pression de 1 bar) ?
En utilisant les résultats de la question **Q12** (page 8), quelle quantité d'oxygène la brebis doit-elle respirer par minute en situation de confort ?

### I.4 - Réponse d'un groupe de brebis

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**.

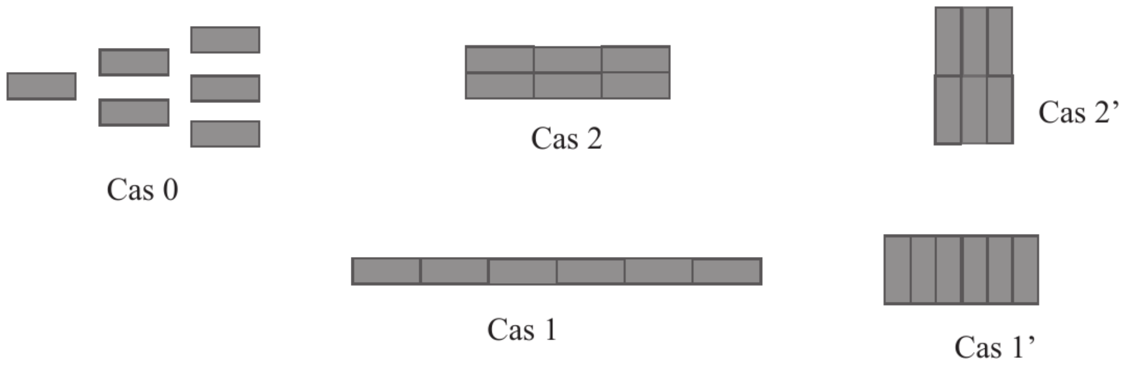


**Figure 5** - Regroupements possibles de 6 brebis

**Q19.** Évaluer la diminution de surface en contact avec l'air par rapport aux brebis isolées dans les cas 1, 1', 2 et 2' en fonction de H et X = L/H = 3,3 (Longueur L et section carrée de côté H telles que définies dans la **figure 4**, page 7). Quel sera le cas de plus faible conductance thermique ? Dans quelle configuration les brebis ont-elles intérêt à se regrouper ? Quelle sera la diminution relative moyenne de métabolisme nécessaire au maintien de la température interne induite par le regroupement ? Certaines ont-elles intérêt à changer de place de temps en temps ?