

Nom du candidat :

Prénoms :

N° Candidat : A BCPST -

Noms des auteurs en cas de travail commun :

Laure COURTADE, Lucie MAURY,
Allan MULLER, Charlotte TAN-RUGH

Ne rien inscrire dans ce cadre

Dominante BIOLOGIE

Dominante GÉOLOGIE

MIXTE

Surligner la dominante du TIPE

BANQUE AGRO-VETO Session 2018

T.I.P.E.

maximum 6 à 10 pages (illustrations comprises), 20 000 caractères maximum, Times New Roman 12 ou Arial 10, interligne simple espaces compris.

IMPORTANT : n'inscrire sur cette couverture aucune référence à l'établissement scolaire.

TITRE : Etude comparative de deux milieux d'interface isolants : les toisons laineuses de moutons élevés pour la viande et pour la laine

RÉSUMÉ (en six lignes) :

En vue d'utiliser la laine de mouton à des fins d'isolation thermique dans le cadre domestique, ce TIPE compare les propriétés de différentes toisons laineuses en tant que milieux d'interface entre le mouton et son milieu de vie. En s'appuyant sur une race à viande (Ouessant) et deux races à laine (Mérinos, Shetland), sont étudiées les caractéristiques microscopiques des fibres de laine ainsi que la conductivité thermique des toisons. La synthèse de ces différents résultats permet d'envisager un intérêt écologique et économique de la laine de mouton à viande comme "thermos".

Nombre de caractères (espaces compris) : 19930

Le document, constitué uniquement de feuilles blanches A4, sera **simplement agrafé**, avec en couverture cette présentation. Aucune couverture de couleur, cartonnée, rhodoïd ou autre.
Il ne sera surtout pas relié avec une spirale, ou une réglette.

Introduction :

La laine est utilisée et commercialisée dans une grande diversité de secteurs, que ce soit dans le cadre de l'industrie textile pour la confection de vêtements à usage quotidien, de protection, ou dans le cadre de l'industrie du bâtiment pour l'isolation. Cette matière est biodégradable et implique un plus faible taux d'émission de carbone lors de sa production que les matières synthétiques telles que le polyester. Cependant, compte tenu de son faible coût de vente sur le marché mondial, sa production constitue un véritable manque à gagner pour les exploitations ovines [4]. L'une des explications à cela est qu'en tant qu'animal technologique, le mouton, *Ovis aries*, est exploité et sélectionné par les éleveurs soit pour sa viande soit pour sa laine. Ainsi, des laines comme celle provenant de Mérinos ou de Shetland (races de moutons à laine [7]) sont très prisées de l'industrie textile tandis que d'autres, telle que celle d'Ouessant (race de mouton à viande [5]), sont délaissées. Or, même si la laine de mouton à viande est peu adaptée à la confection de vêtements, elle constitue malgré tout un matériau d'isolation pour le mouton et pourrait donc servir dans d'autres domaines que l'industrie textile. Par exemple, elle a pu servir à fabriquer des « marmites » norvégiennes, enceintes athermanes pour cuire les aliments et peu coûteuses en énergie [6].

Ces toisons constituent des milieux d'interface isolants entre le corps du mouton et son milieu de vie. Ces milieux d'interface possèdent-ils des caractéristiques différentes selon les races ?

Nous effectuerons ainsi une étude comparative des propriétés microscopiques et macroscopiques de fibres de laine provenant d'une race à viande et d'une race à laine, judicieusement déterminées auparavant, ainsi que leur utilisation dans le cadre d'une « marmite » norvégienne.

Sommaire :

I.	La toison laineuse : un milieu d'interface hétérogène	2
1.	Structure générale d'une fibre de laine	2
2.	Régions du corps et caractéristiques de la toison laineuse : cas d'un individu de race Ouessant	2
a)	Matériel et protocole	2
b)	Résultats et interprétations	3
3.	Races ovines et caractéristiques de la toison laineuse	4
a)	Matériel, principe et protocole expérimental	4
b)	Résultats et interprétations	4
II.	Mesure de la conductivité thermique de toisons laineuses d'une race à viande et d'une race à laine	5
1.	Protocole et matériel de mesure de la conductivité thermique	5
2.	Application à la laine brute en suint	6
III.	Utilisation de la laine comme « thermos » : une interface isolante entre deux milieux ? ..	7
1.	Position du problème	7
2.	Construction d'une « marmite » norvégienne de laine	7
a)	Matériel et protocole	7
b)	Résultats et interprétations	8
IV.	Conclusion	9

I. La toison laineuse : un milieu d'interface hétérogène

1. Structure générale d'une fibre de laine

Sur un mouton, la toison laineuse est un milieu constitué de fibres de différents types^[4], imprégnées de suint (matière grasseuse recouvrant les fibres) et portant des impuretés (poussière, résidus végétaux, fécès)^[2]. La diversité de ces constituants fait de la toison un milieu hétérogène. Nous étudierons ici les fibres de laine, qui, contrairement aux fibres synthétiques, sont des assemblages de constituants variés. Une fibre est divisée en deux structures : les cellules externes de la cuticule entourent les cellules internes de cortex tel un fourreau, formant des écailles se chevauchant comme des tuiles [Fig 1.b]. Ces écailles peuvent être observées au microscope optique à fort grossissement [Fig 1.a].

Les écailles permettent aux fibres de s'accrocher entre elles. Plus les fibres sont fines, plus un fil de volume fixé créé à partir de ces fibres peut en contenir un grand nombre, rendant l'ensemble plus solide. C'est pourquoi l'industrie textile recherche des laines fines et avec une forte densité d'écailles pour optimiser la résistance du vêtement^[3].

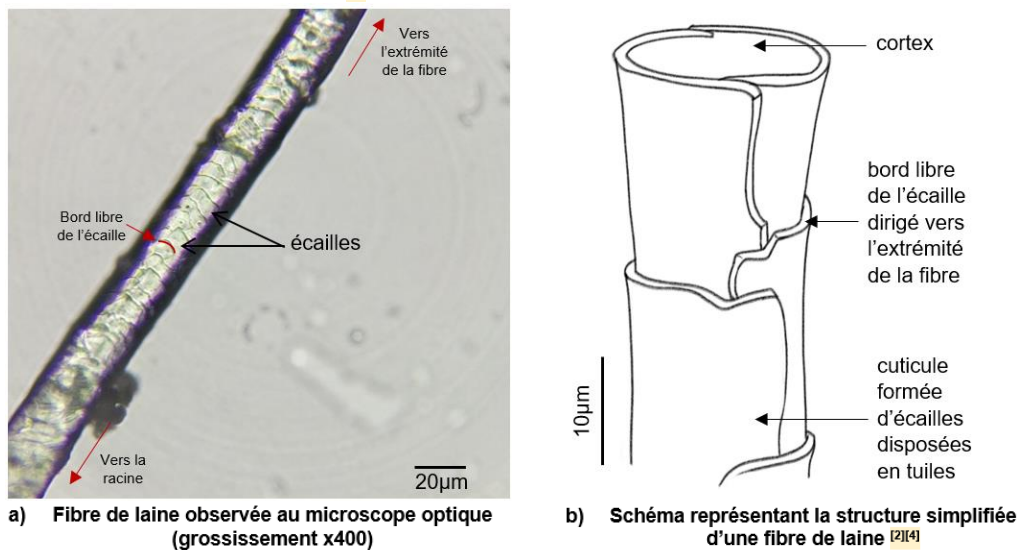


Fig 1 : Structure des fibres de laine

2. Régions du corps et caractéristiques de la toison laineuse : cas d'un individu de race Ouessant

a) Matériel et protocole

La toison laineuse n'étant pas un milieu homogène^[1], l'objectif est de déterminer quelle partie du corps du mouton est la plus représentative de l'ensemble de la toison pour n'étudier que celle-ci dans la suite des expériences. Pour cela, nous sommes allés récupérer des toisons entières de moutons Ouessant auprès de bergers de l'Eure^[9].

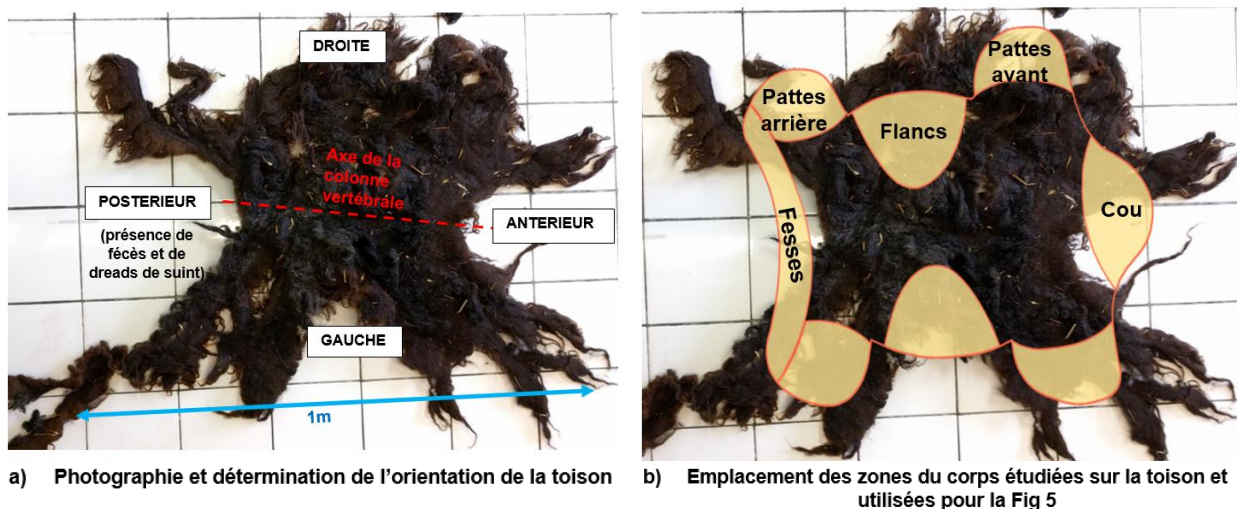
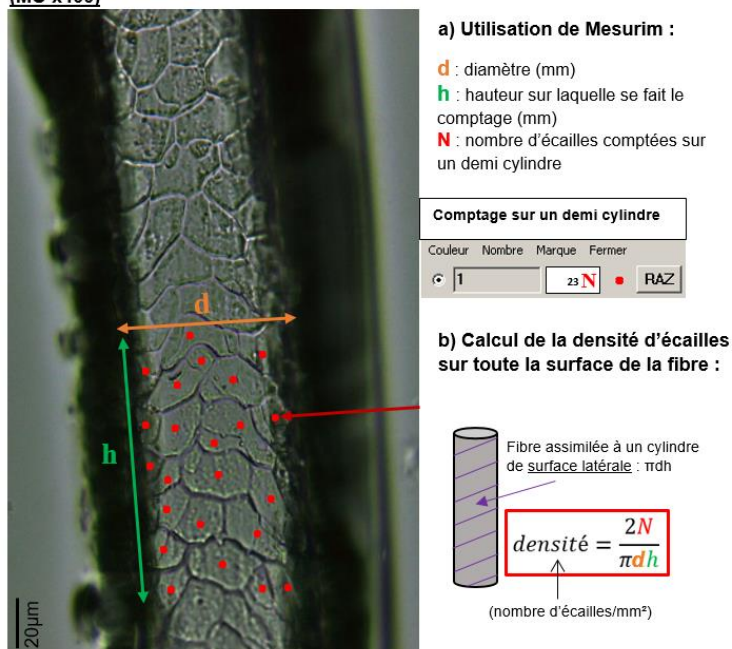


Fig 2 : Toison laineuse complète d'un individu de race Ouessant (vue ventrale)

Les paramètres mesurés sont le diamètre des fibres et la densité d'écaïlles, dont les propriétés thermiques de la toison dépendent : plus les fibres sont fines et denses en écaïlles, plus elles sont cohésives et cloisonnent l'air efficacement, améliorant la résistance thermique de la toison [2][3]. Pour ce faire, nous avons prélevé des fibres de laine provenant de différentes parties du corps du mouton (cou, pattes, flancs, fesses) pour réaliser des empreintes au vernis de celles-ci. Nous avons couvert des lames de microscope de vernis à ongle transparent, puis nous avons appliqué les fibres sur le vernis encore humide jusqu'à ce qu'il sèche. Après retrait de la fibre, nous obtenons une empreinte correspondant à un demi-cylindre de fibre que nous observons au microscope. A l'aide du logiciel Mesurim nous avons mesuré le diamètre de 70 fibres prélevées aléatoirement sur chaque partie du corps et le nombre d'écaïlles sur une portion de chaque fibre. Nous avons alors calculé la densité d'écaïlles par unité de surface en assimilant la fibre à un cylindre de révolution [Fig 3].

Fig 3 : Capture d'écran du logiciel Mesurim pour le calcul de la densité d'écaïlles sur une empreinte au vernis de fibre de fesse de mouton d'Ouessant (MO x400)



b) Résultats et interprétations

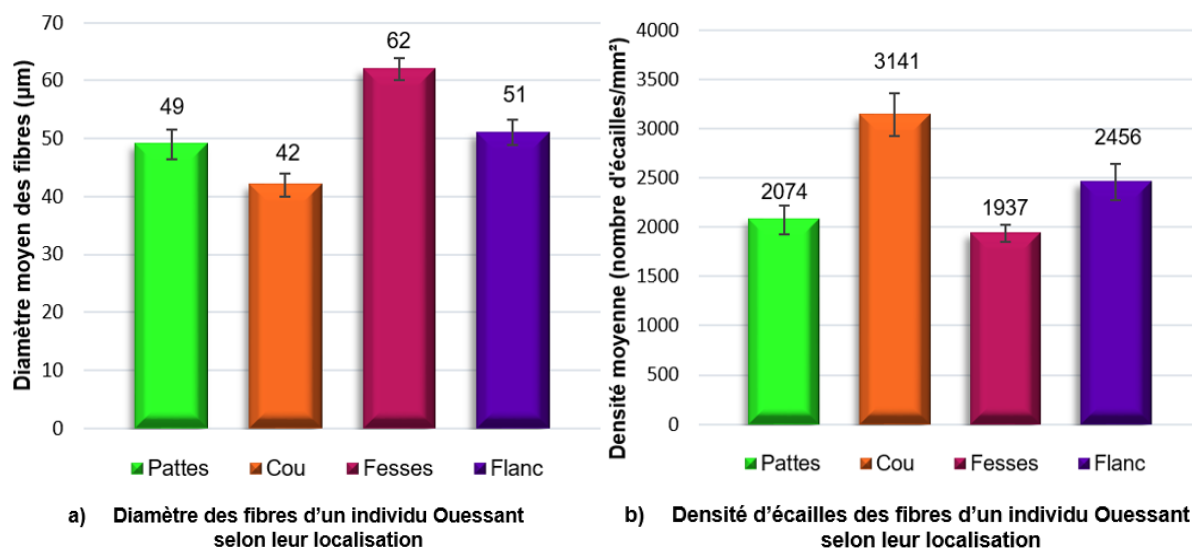


Fig 4 : Caractéristiques microscopiques de fibres de laine selon leur localisation au sein de la toison d'un individu Ouessant

Les barres d'erreurs représentent les incertitudes élargies de type A, c'est-à-dire les intervalles de confiance, et cela pour toutes les expériences qui suivent. Elles sont établies à l'aide du logiciel Gum et, ne se chevauchant pas toutes, on peut bien qualifier une toison laineuse de milieu hétérogène. On peut cependant regrouper certaines parties du corps par type de fibre lorsque les barres d'erreur se chevauchent, ce qui nous mène à l'établissement de cartes d'hétérogénéité sur la toison de ce mouton [Fig 5]. Sur celles-ci, sont regroupées sous une même couleur les parties du corps dont les résultats des mesures sont non significativement différents.

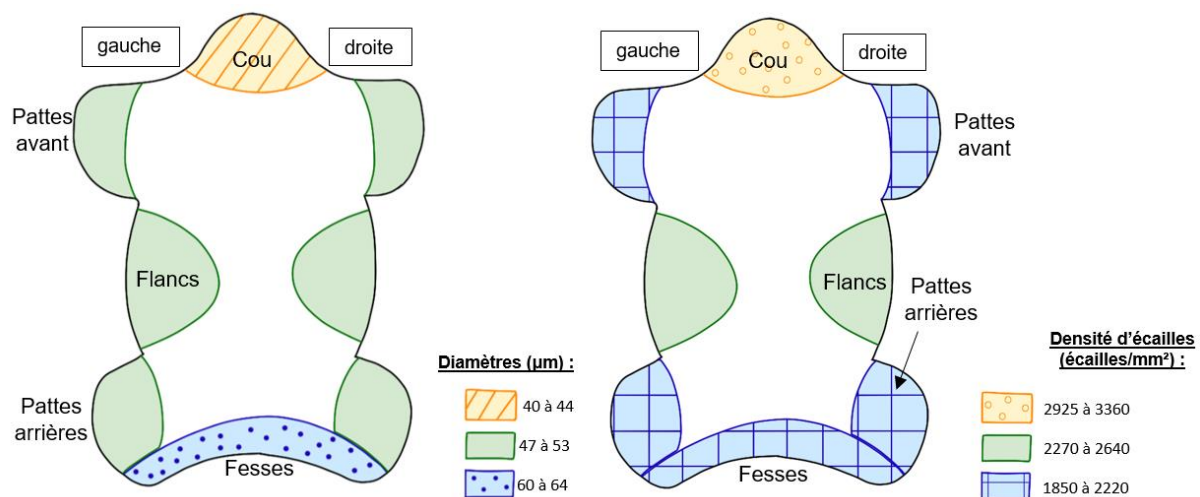


Fig 5 : Cartes représentant la répartition des fibres selon leurs caractéristiques microscopiques au sein de la toison d'un individu Ouessant

La laine est plus épaisse et présente une plus importante densité d'écaillles sur les zones du corps soumises à friction lors des activités quotidiennes du mouton, par exemple lors de ses déplacements, ou lorsqu'il s'allonge, comme les pattes et les fesses.

Pour les deux paramètres étudiés, la laine du flanc présente des caractéristiques intermédiaires par rapport à l'ensemble de la toison (en accord avec les résultats du document ^[1]) et nous semble donc être la plus représentative de l'ensemble de la toison. Cela est aussi le cas pour les autres races de mouton, et ce malgré les différents programmes de sélection par l'Homme, car elles sont toutes de la même espèce et partagent des modes de vie similaires.

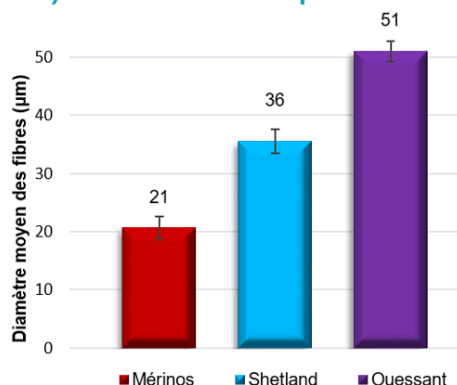
3. Races ovines et caractéristiques de la toison laineuse

a) Matériel, principe et protocole expérimental

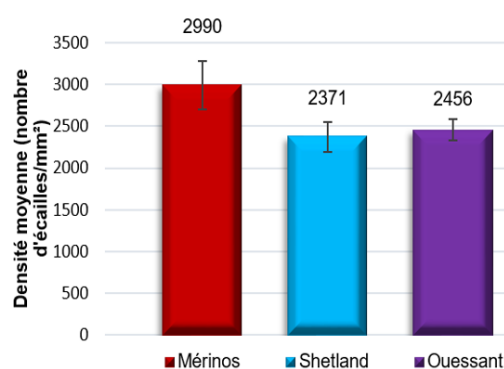
La laine issue de la même région, le flanc, a-t-elle des propriétés microscopiques différentes entre les races Ouessant, Mérinos et Shetland ?

Cette expérience a pour objectif de comparer le diamètre et la densité d'écaillles de fibres prélevées sur le flanc de nos trois races de moutons (Ouessant, Mérinos et Shetland ^[8]). Nous avons choisi d'étudier deux races de moutons exploitées pour leur laine, Shetland et Mérinos, afin de déterminer si l'une d'elles présente des caractéristiques proches de celles de la race Ouessant, exploitée pour sa viande : en effet, il existe une variabilité des propriétés de la laine au sein des races et nous cherchons à déterminer si les propriétés du mouton Ouessant se rapprochent suffisamment de l'une d'elles pour justifier son utilisation en tant qu'interface isolante. Le protocole suivi est identique à celui du I.1. Les mesures ont été faites sur 70 fibres du flanc pour chaque race.

b) Résultats et interprétations



a) Diamètre des fibres issues de flancs d'individus de 3 races ovines



b) Densité d'écaillles des fibres issues de flancs d'individus de 3 races ovines

Les 1
les d

Fig 6 : Caractéristiques microscopiques de fibres de laines en fonction des races ovines

lles que
iant aux

rares Shetland et Ouessant, la densité d'écaillés des fibres de leurs flancs est similaire, bien que leur diamètre soit différent.

Nous avons vu que la toison d'un mouton apparaît effectivement comme un milieu présentant une hétérogénéité à deux échelles : l'échelle de l'individu et l'échelle des races sur, au moins, un des critères choisis dans notre étude, le diamètre des fibres. À l'échelle de l'individu, les diamètres et densités d'écaillés des fibres diffèrent selon les parties du corps. À l'échelle des races, même deux races sélectionnées pour un usage commun (par exemple, deux races à laine comme le Shetland et le Mérinos) présentent des toisons aux propriétés microscopiques distinctes. Malgré ces différences à plusieurs niveaux, la laine du flanc se distingue par ses caractéristiques moyennes par rapport à l'ensemble de la toison d'un individu ainsi que d'une race.

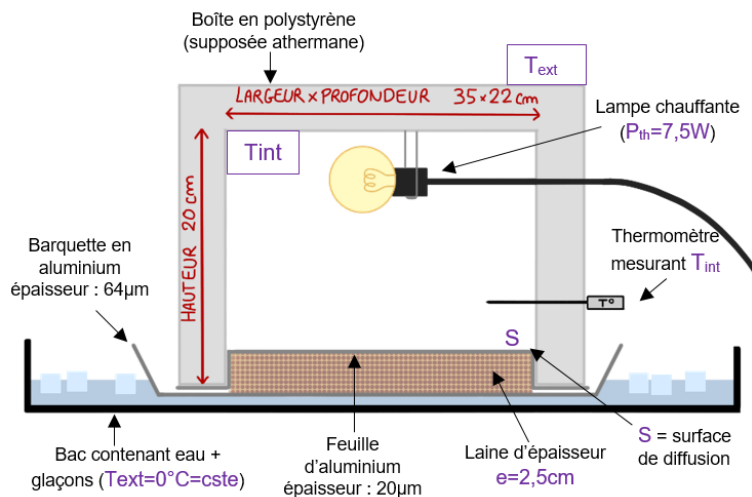
Cependant, on observe que les **caractéristiques microscopiques** des fibres de mouton Ouessant sont assez proches de celles du Shetland (par rapport au Mérinos) pour justifier la comparaison que nous allons faire de leurs **caractéristiques physiques**, alors même que l'Ouessant n'est pas une race à laine.

II. Mesure de la conductivité thermique de toisons laineuses d'une race à viande et d'une race à laine

1. Protocole et matériel de mesure de la conductivité thermique

Contrairement à la race Ouessant, la race Shetland est sélectionnée pour sa laine. Deux races élevées pour des usages différents ont-elles des toisons de conductivité thermique différente ?

Pour comparer les conductivités thermiques de la laine de chacune des deux races, nous utilisons une boîte de polystyrène de 3 cm d'épaisseur et de conductivité thermique $0,033 \text{ W.K}^{-1}.\text{m}^{-1}$, que nous supposons donc athermane, à la base de laquelle une plaque d'aluminium soutient le matériel étudié. L'ensemble est disposé dans un bac de glace en fusion, représentant le milieu extérieur de température constante [Fig 7].



a) Schéma du dispositif



b) Photographie du dispositif vu par l'envers

Fig 7 : Dispositif expérimental de conductivité thermique

Nous relevons toutes les 5 minutes la température à l'intérieur de la boîte jusqu'à ce qu'elle n'évolue plus. Au régime permanent, la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur de la boîte nous permet de calculer la résistance thermique de la laine selon les races. Les couches d'aluminium étant de conductivité élevée ($237 \text{ W.K}^{-1}.\text{m}^{-1}$) et de très faible épaisseur, leur intervention dans le calcul sera négligée [Fig 8].

Un témoin est réalisé 6 fois, où l'air remplace la laine. L'expérience est réalisée 6 fois pour chacune des deux races : Ouessant et Shetland. La masse de laine est à chaque fois de 33,5 g pour le même volume

occupé à l'intérieur du dispositif qui est de 1,9 dm³. La masse volumique introduite étant toujours identique, cela permet la comparaison entre les expériences.

$$\frac{1}{\lambda_{app}} = \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{\alpha.e} = \frac{S(T_{int} - T_{ext})}{e.P_{th}}$$

S : surface de diffusion (m²)
 λ_{app} : conductivité thermique apparente (W.K⁻¹.m⁻¹)
 T_{int} : Température dans la boîte (K)
 T_{ext} : Température dans le bac d'eau et de glace (K)
 P_{th} : Puissance thermique fournie par la lampe (W)
e : épaisseur (m)
 α : coefficient de transmission (W.K⁻¹.m⁻²)

Fig 8 : Formule permettant le calcul de la conductivité thermique apparente λ_{app} d'un matériau

2. Application à la laine brute en suint

L'établissement du régime permanent se repère lors de chaque expérience par l'apparition d'un plateau dans un graphique température=f(temps) [Fig 9] lorsque la température n'évolue plus. La température finale correspond alors à T_{int} [Fig 8]. Les résultats des expériences sont regroupés en Fig 10.

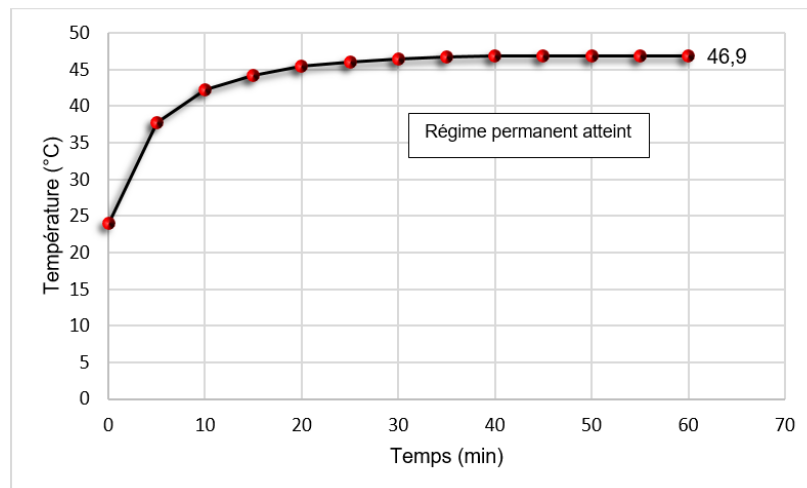


Fig 9 : Evolution de T_{int} au cours du temps

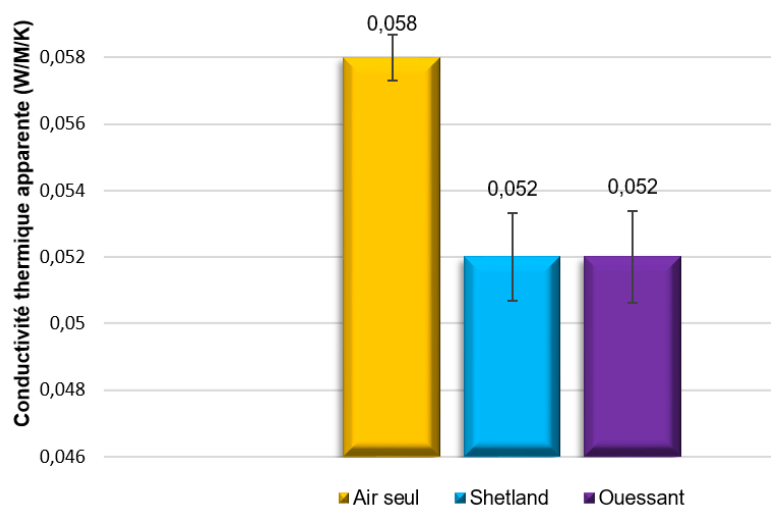


Fig 10 : Conductivité thermique apparente des matériaux testés

Comme les expériences or mique λ varie d'un matériel à l'autre (les termes relatifs à la convection de l'air dans l'enceinte n'ont pas d'incidence sur la

comparaison). Les conclusions sur les conductivités thermiques apparentes s'appliquent dès lors aux conductivités thermiques. On observe que la conductivité thermique pour le Shetland et l'Ouessant est significativement inférieure à celle de l'air seul : en effet, bien que l'air soit un faible conducteur de chaleur, il peut effectuer de la convection entre les deux interfaces en aluminium ce qui augmente les transferts thermiques. En revanche, dans son enchevêtrement de fibres, la laine cloisonne l'air en empêchant partiellement sa convection : on peut supposer que cela diminue les transferts de chaleur et améliore l'isolation thermique du milieu. Cet air emprisonné permet à l'ovine d'être relativement protégé face aux variations thermiques de son milieu de vie.

Par ailleurs, la conductivité thermique de la laine de Shetland et de Ouessant sont identiques : les toisons brutes sont des milieux d'interface isolants d'égale efficacité entre le mouton et son milieu de vie, ce qui est en accord avec nos observations microscopiques. Pour l'exploitation de ce caractère physique qu'est la conductivité thermique, par exemple pour notre application à une « marmite » norvégienne, nous pourrions alors a priori utiliser l'une ou l'autre laine indifféremment.

III. Utilisation de la laine comme « thermos » : une interface isolante entre deux milieux ?

1. Position du problème

La « marmite » norvégienne, très utilisée durant les deux Guerres mondiales, est un procédé de cuisson d'aliments dans une enceinte athermane entourée d'un isolant qui peut être de la paille comme du liège ou du linaige [Fig 11]. Après un chauffage initial nécessaire pour porter le milieu intérieur à haute température, elle permet de terminer la cuisson sans feu et donc de réaliser une économie d'énergie. Délaissée au XX^{ème} siècle, elle refait surface en raison de sa qualité d'autocuiseur écologique facile à réaliser, non tributaire d'apport énergétique extérieur. Ses mérites sont vantés dans des programmes de transition énergétique comme l'opération *Négawatts* qui propose dix mesures permettant d'impulser une transition énergétique en France [6]. Or, d'après les contacts avec le personnel de la Bergerie Nationale de Rambouillet [10], la laine de mouton à viande est très peu utilisée voire perdue et, au vu de notre étude, pourrait constituer l'isolant des « marmites » norvégiennes. En effet, elle est déjà utilisée comme isolant d'habitation [4] et attire par sa non-toxicité en comparaison avec les laines de verre. Nous avons donc cherché à savoir si une « marmite » norvégienne fabriquée en laine de mouton à viande (Ouessant) est d'une part, efficace, et d'autre part autant calorifugée qu'une « marmite » remplie de fibres de mouton à laine (Shetland).

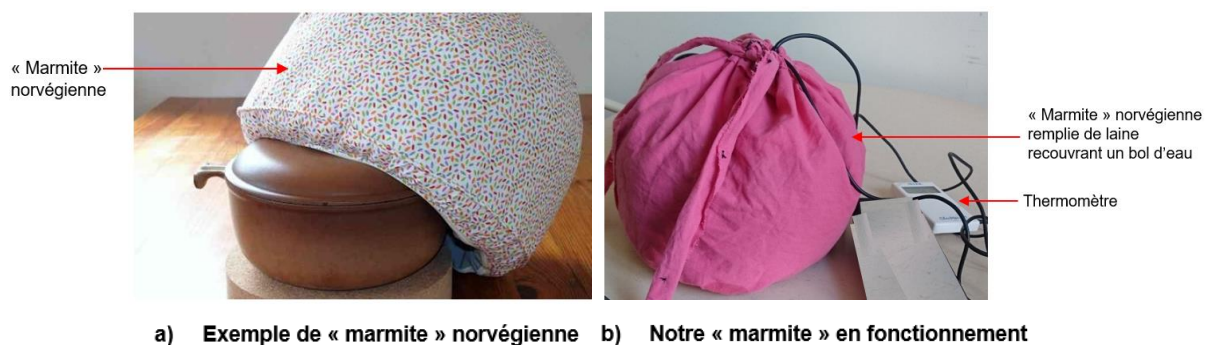


Fig 11 : « Marmite » norvégienne

2. Construction d'une « marmite » norvégienne de laine

a) Matériel et protocole

Au vu de leurs caractéristiques microscopiques et physiques d'interface isolante proches, peut-on utiliser la laine de Shetland et d'Ouessant comme milieu intérieur de « marmites » norvégiennes ? Notre objectif est de quantifier l'efficacité de cette méthode de cuisson avec une « marmite » norvégienne faite de laine d'une part, et d'autre part de comparer une « marmite » faite en laine de Shetland et une faite en laine d'Ouessant.

A partir d'un drap de coton, nous avons cousu une « marmite » de diamètre intérieur 14 cm et de diamètre extérieur 21 cm. L'espace entre les deux parois du drap est rempli pour chaque expérience de 56,7 g de laine de Ouessant puis de Shetland. Un cordon a été ajouté sur le haut de la « marmite » pour la fermer une fois pleine et ainsi améliorer l'hermétisme de l'ensemble en fonctionnement [Fig 11.b]. En effet, nous mesurons la décroissance de la température de l'eau en fonction du temps pour simuler celle dans un plat de cuisson.

Nous avons versé 280mL d'eau portée à ébullition dans un bol en verre que nous recouvrons de la « marmite ». Pendant 5 minutes, nous relevons toutes les 30 secondes la température de l'eau dans le bol.

L'expérience est répétée 5 fois avec de la laine Ouessant et 5 fois avec de la laine Shetland. Par ailleurs, deux expériences sans laine sont effectuées 5 fois chacune également : l'une où le bol est laissé à l'air libre dans une pièce à température ambiante, et l'autre où il est recouvert de la « marmite » vide, ne contenant pas de laine.

b) Résultats et interprétations

Pour chacune des répétitions des expériences, nous notons T_{max} la température maximale atteinte dans l'eau du bol (ce qui correspond à la température initiale au début de l'expérience, pour $t = 0$). Afin d'évaluer le pouvoir isolant de notre « marmite », nous étudions les variations du rapport $T(t)/T_{max}$ de chaque répétition, dans le but de réduire les incertitudes liées aux conditions expérimentales et notamment celles induites par la variabilité des T_{max} entre chaque répétition.

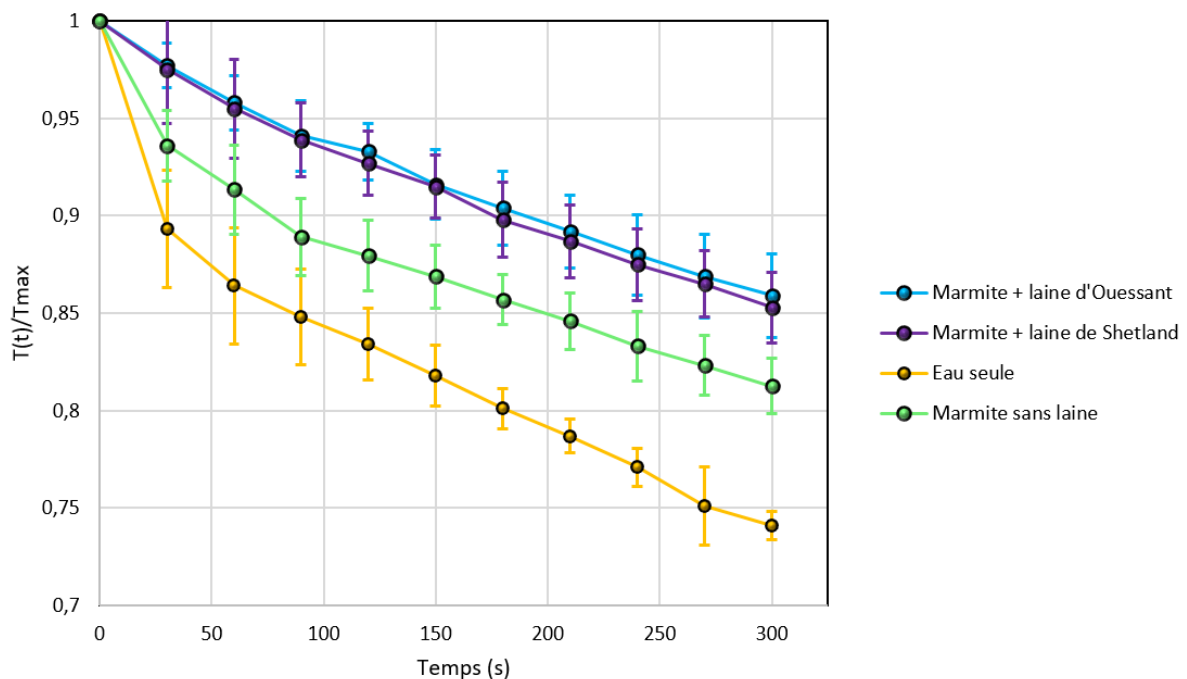


Fig 12 : Evolution de la température en fonction du temps selon l'isolant utilisé dans la « marmite » norvégienne

Chaque courbe correspond à une expérience. A un instant t , un point d'une des courbes représente la moyenne des $T(t)/T_{max}$ des 5 répétitions de l'expérience.

A partir d'une minute environ, on observe une différence significative entre les résultats des expériences utilisant la laine, le témoin avec la « marmite » vide et le témoin à l'air libre. Bien que la courbe de l'expérience à « marmite » vide décroisse moins rapidement que celle de l'expérience à l'air libre, ce qui montre que le simple fait de placer un couvercle en tissu réduit modérément les pertes de chaleur (notamment en empêchant la convection), la « marmite » remplie de laine est plus efficace encore que ce soit avec de la laine de Shetland ou avec de la laine de Ouessant.

Par ailleurs les différences de variations de température entre les expériences utilisant l'une ou l'autre laine sont négligeables : les deux laines ont donc des **propriétés isolantes équivalentes** dans le cadre de cet usage. Ceci conforte nos résultats précédents, en effet les toisons de ces deux races présentent des caractéristiques microscopiques et physiques similaires à l'exception du diamètre.

La « marmite » norvégienne présente ainsi un moyen intéressant de recycler la laine des races à viande tout en économisant de l'énergie pour la cuisson des aliments.

À noter que notre « marmite » expérimentale a l'inconvénient de laisser la chaleur s'échapper par l'orifice ménagé pour la sonde du thermomètre. Afin de limiter davantage les pertes de chaleur à l'intérieur du plat, il faudrait construire une marmite plus hermétique et contenant une couche de laine plus épaisse.

IV. Conclusion

A l'issue de notre étude, des hétérogénéités ont été observées au sein d'une toison ainsi qu'entre les toisons des différentes races. Le Mérinos, race la plus prisée par l'industrie textile, a les fibres les plus fines et avec la plus grande densité d'écaillés des trois races étudiées. Le Shetland lui-aussi utilisé pour sa laine, présente des fibres un peu plus épaisses et avec moins d'écaillés. Ceci peut expliquer pourquoi le Mérinos demeure la race dominante utilisée pour la fabrication de vêtements. Pourtant, la laine de mouton à viande Ouessant, délaissée par l'industrie textile, s'avère être un milieu d'interface isolant tout aussi efficace que certaines races à laine. En effet, sa conductivité thermique est comparable à celle du Shetland tout comme les propriétés structurales de ses fibres. C'est pourquoi la laine d'Ouessant pourrait être utilisée à plus grande échelle dans des domaines divers tel que l'isolation thermique ou la fabrication de « marmites » norvégiennes qui se révèlent être des autocuiseurs écologiques efficaces. Le choix du Shetland par l'industrie textile n'est donc pas dû à une différence d'isolation thermique par rapport à une race à viande, elle pourrait être due à de meilleures qualités rhéologiques des fibres. Ces dernières pourraient être expérimentées dans la continuité de notre étude pour faire émerger une éventuelle distinction entre Shetland et Ouessant, notamment en termes de solidité des fibres.

Bibliographie :

- Ouvrages et publications :

[1] CHARLET P., LEROY A.M., CATTIN-VIDAL P., *et al.* (1953). *Variation des caractéristiques des fibres de laine, selon les régions du corps chez le mouton*. Annales de zootechnie, INRA/EDP Sciences, 12 pages [pages consultées : pp. 1-12].

[2] HOCK C., RAMSAY R., HARRIS M., *et al.* (1942). *Microscopic structure of the wool fiber*. National Bureau of Standards, Washington, 25 pages [pages consultées : pp. 1-7].

[3] Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, *et al.* (2009) *The Chemical and Physical structure of Merino wool*, 5 pages [pages consultées : pp. 1-5].

- Pages web :

[4] DUPRIEZ, Ygaëlle, *et al.* (2011). Caractéristiques de la laine. *Laines.be*. Consulté le 23 décembre 2017.

<http://laines.be/>

[5] PATIN, Stéphane, *et al.* (2011). Les races ovines. *Races de France*. Consulté le 20 décembre 2017.

<http://www.racesdefrance.fr/moutons>

[6] Les Amis de la Terre, *et al.* (2013). *Réalisez votre marmite norvégienne*. Consulté le 19 janvier 2018.

<http://www.amisdelaterre40.fr/spip/spip.php?article389>

[7] The Shetland sheep society, *et al.* (2015). The Breed. *The Shetland sheep society*. Consulté le 20 décembre 2017.

<http://www.shetland-sheep.org.uk/page.php?Plv=1&P1=6>

- Contacts :

[8] DONNE Clara, fournisseur de laines de mérinos et de Shetland

[9] CUYERS Antoine et VILETTE Aurore, bergers et fournisseurs de laine Ouessant

[10] Visite guidée de la Bergerie Nationale de Rambouillet et dialogue avec les professionnels

[11] DUPRIEZ Ygaëlle, coordinatrice de la filière laine en Wallonie