

Quel doit être le rôle d'un vêtement de sport ?

*Marie-Ange Bueno, Professeure, et Brigitte Camillieri, Maître de Conférences à l'ENSISA et au Laboratoire de Physique et Mécanique Textiles – Université de Haute-Alsace-Mulhouse.
René Rossi, Professeur à l'Empa – Saint Gallen (Suisse).*

Introduction

Ce chapitre s'adresse à tout sportif ou sportive, car toutes les problématiques, même de base, ne sont pas réglées.

Considérons le sportif amateur, lors d'un exercice physique : il contracte ses muscles et produit de la chaleur ; sa température corporelle va donc s'élever. Tout d'abord, la réaction de son corps se traduit par une vasodilatation¹ qui, généralement, ne suffit pas : il transpire un liquide essentiellement composé d'eau. Si son corps arrive à

maintenir sa température à 37 °C, tout va bien. Mais c'est rarement le cas, et c'est là que les propriétés du textile importent (**Figure 1**).

Pour que la transpiration permette de refroidir le corps de façon optimale, il faut que cette eau liquide soit transformée en vapeur par le corps, et non pas par l'environnement, c'est-à-dire le vent ou la température extérieure. Bien évidemment, lorsque l'environnement est défavorable, s'il pleut ou s'il fait très chaud, le refroidissement par la transpiration devient plus difficile à contrôler (**Figure 2**).

De plus, selon les conditions météorologiques ou le sport pratiqué, plusieurs couches

1. Élargissement des vaisseaux sanguins permettant un afflux plus important de sang (et donc d'oxygène) dans les muscles.



Figure 1

La réaction du corps liée à l'effort.

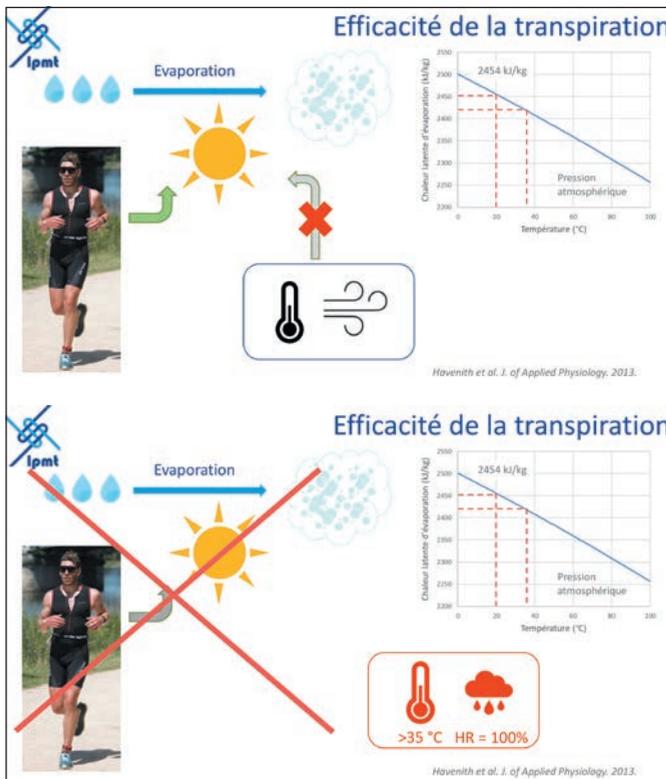


Figure 2

L'efficacité de la transpiration ne doit dépendre ni du vent, ni de la température extérieure, ni de la pluie.

de vêtements recouvrent la peau (Figure 3) : il peut n'y en avoir qu'une seule (ce qui sera toujours le cas pour les chaussettes, sans compter la chaussure), une deuxième, voire, s'il fait très froid, une troisième couche externe.

1 Les qualités requises pour le vêtement de sport

1.1. Gérer efficacement la transpiration

Gérer l'efficacité du refroidissement par la transpiration n'est pas simple. La Figure 4 représente différents cas. Sur cette figure, la ou les couches humides sont entourées en bleu. Le corps évacue la transpiration liquide par les pores de la peau. La peau est donc mouillée. Si la première couche de textile en contact avec la peau (C.1) évacue la transpiration transformée en vapeur, le rendement est maximal (environ 85 %). En revanche, si cette couche absorbe le liquide ou l'évacue vers l'extérieur ou vers d'autres couches, le rendement est faible. Plus le liquide est loin de la peau, moins le corps peut l'évaporer, et plus le rendement chute (jusqu'à 20 %). Le rendement de refroidissement par la transpiration dépend donc du textile contre la peau et de différentes couches successives.

Il faut donc que le vêtement contre la peau n'évacue pas instantanément la transpiration liquide, c'est-à-dire avant sa transformation en vapeur, mais qu'il évacue rapidement la transpiration vapeur avant qu'elle ne se

recondense. Quand il y a plusieurs couches, elles doivent évacuer rapidement la transpiration vaporisée.

1.2. Gérer les sollicitations cycliques et leurs conséquences

La **Figure 5** montre que le sport impose des sollicitations mécaniques cycliques diverses à différents endroits du corps qui varient selon le type de sport. Cela entraîne des zones de frottement au niveau du pied et des chaussettes pour la course ou la marche, entre les fesses et la selle pour le cyclisme, par exemple.

Ces sollicitations cycliques ont des conséquences différentes selon la zone impliquée : au niveau de la peau glabre (la plante des pieds), il se formera des ampoules ; dans d'autres zones aura lieu une irritation mécanique résultant des frottements (**Figure 6**). Pour caractériser ces sollicitations et ce niveau de frottement, on utilise communément le coefficient de frottement, qui est le rapport de la force de frottement sur la force d'appui (**Figure 6A**). En laboratoire, on le mesure généralement non pas sur le pied, mais sur la main ou l'avant-bras, par commodité.

La partie droite de la **Figure 6B** montre que lorsque la peau est humide, le frottement augmente.

Donc, non seulement la sollicitation est cyclique, ce qui use la peau, mais le frottement entre la peau et le textile augmente lorsque l'humidité de la peau croît. Par conséquent, le frottement du textile contre la peau humide doit être



Figure 3

Le vêtement de sport et le nombre de couches textiles nécessaires dépendent des conditions climatiques.

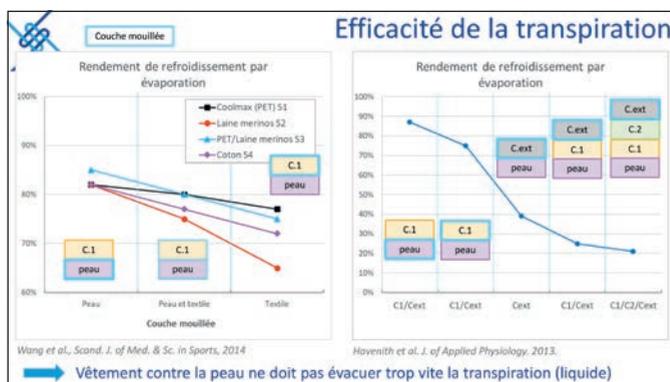


Figure 4

L'efficacité de la transpiration dépend de la nature du textile et du nombre de couches textiles.



Figure 5

Exemples de sollicitations mécaniques lors de l'effort.

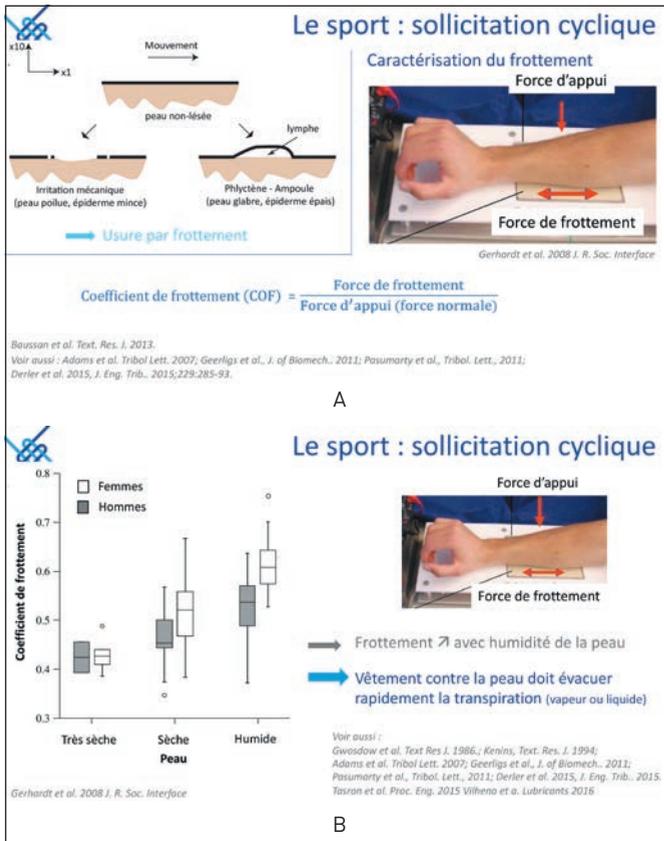


Figure 6

Frottements mécaniques et impacts en fonction de l'humidité de la peau.

limité ou le textile doit laisser la peau sèche.

1.3. Gérer le refroidissement du corps par la transpiration et les frottements contre la peau

Pour ce faire, plusieurs stratégies peuvent être graduellement mises en œuvre.

Tout d'abord, la transpiration vapeur doit être évacuée rapidement de la surface de la peau.

Si cela n'est pas ou plus possible, la transpiration liquide doit être rapidement évacuée

de la surface de la peau, en particulier dans les zones de frottement. Pour cela, elle doit être rapidement drainée vers des zones où les frottements sont plus faibles et des zones où la transpiration est moins importante, où le vêtement n'est donc pas saturé par la transpiration. En effet, la répartition de la production de transpiration dépend de la zone du corps. Ainsi, les épaules et le dos sont les zones où nous transpirons le plus, ensuite viennent le torse, les bras, les jambes et les fesses. Le vêtement doit donc transférer rapidement la transpiration liquide vers les zones qui sont peu sollicitées par les frottements.

Enfin, quand toutes les couches sont saturées en transpiration, la ou les différentes couches doivent retenir un maximum d'eau liquide.

1.4. Cahier des charges du textile d'un vêtement de sport

À partir de tous les éléments précédemment décrits, il est possible d'établir le cahier des charges du textile optimal pour le sport (Figure 7). Il se divise donc en différentes problématiques qui dépendent du vêtement concerné : couche contre la peau, couche intermédiaire ou couche extérieure. La couche en contact avec la peau doit être au plus près, mais sans la comprimer pour évacuer rapidement la transpiration vaporisée, drainer la transpiration liquide en dehors des zones de frottement et des zones saturées en liquide, puis retenir les liquides. La deuxième couche doit évacuer la vapeur. Enfin,

la couche extérieure doit protéger de la pluie et du vent. Enfin, selon les conditions, toutes les couches doivent protéger du froid.

2 Description d'une structure textile

Un textile est une structure multi-échelle. L'entité élémentaire est la fibre, qui est faite d'un ou de plusieurs polymères. Pour les fibres synthétiques (les polymères créés par l'homme), on peut jouer sur la forme de la fibre afin de lui donner les propriétés voulues. En revanche, il n'est pas possible de changer la forme de la fibre dans le cas de la laine ou du coton.

Plusieurs fibres sont assemblées sous la forme d'un fil, lui-même transformé soit sous la forme d'un tricot très déformable, donc utilisé plutôt contre la peau, soit sous la forme d'un tissu, plus résistant qu'un tricot, et donc utilisé pour la couche extérieure (Figure 8).

À chaque échelle, le textile (fibre, fil, tissu ou tricot) peut être fonctionnalisé² par des traitements essentiellement chimiques ou mécaniques. Enfin, on peut donner une forme finale par assemblage (confection) qui sera la forme 3D du vêtement. L'ensemble du procédé est très long et, à chaque échelle, on peut agir pour changer des paramètres qui influenceront les performances du vêtement final. Cependant, la prédiction n'est ni simple ni parfaite : les

² Fonctionnaliser une espèce chimique consiste à lui accrocher des groupements fonctionnels (alcool, ester...).

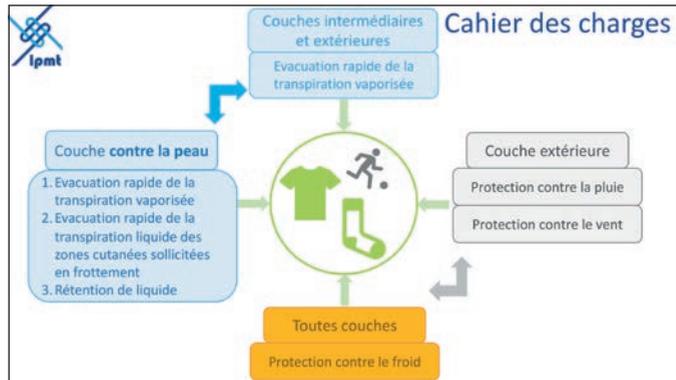


Figure 7

Cahier des charges des différentes couches d'un vêtement.

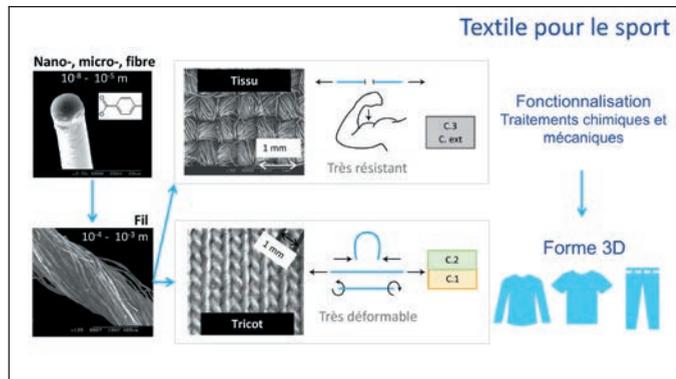


Figure 8

De la fibre au textile pour le sport.

recherches se poursuivent dans ce domaine.

3 Le vêtement au plus près de la peau

Pour que la couche soit le plus près possible de la peau, il faut utiliser un tricot très déformable. De plus pour que ce dernier soit déformable de façon réversible, un monofilament d'élasthanne (une fibre élastique polyuréthane, typiquement le Lycra® ou le Spandex®) est souvent ajouté (Figure 9).

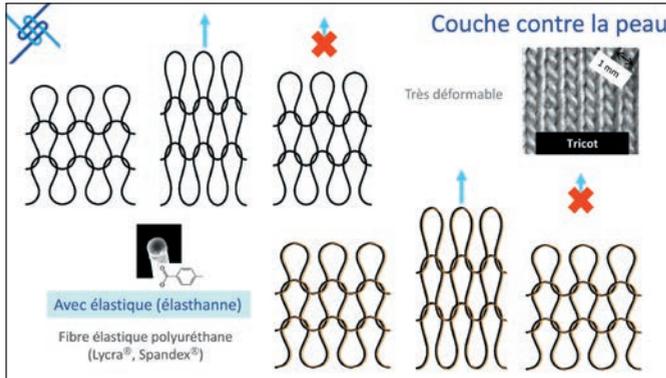


Figure 9

Pour être déformable de façon réversible, la couche contre la peau doit être un tricot réalisé avec l'ajout de filaments élastiques.

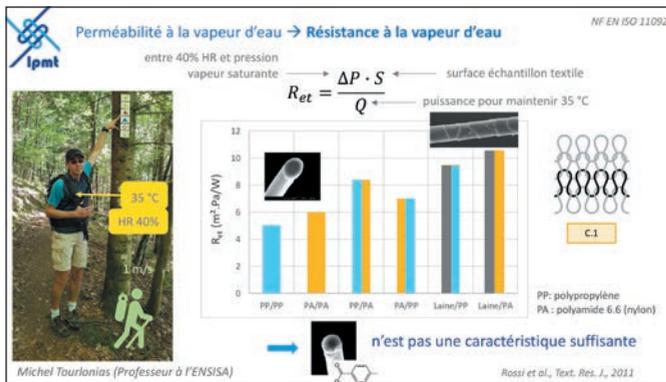


Figure 10

Résistance à la vapeur d'eau : influence du type de fibre et de la structure (monocouche ou bicouche).

la vapeur d'eau, ou la **résistance à la vapeur d'eau R_{et}** qui est inversement proportionnelle à la perméabilité (Figure 10). Attention, il ne faut pas confondre la perméabilité à la vapeur d'eau avec la perméabilité à l'air, même si de nombreux chercheurs font l'amalgame, la première étant liée à la seconde, mais la vapeur d'eau a d'autres interactions avec la matière que l'air.

Ces tests normalisés sont réalisés dans des conditions visant à simuler la marche.

Plus R_{et} est élevée, moins la vapeur d'eau passe au travers du tricot. La Figure 10 montre la variation de R_{et} pour une même structure de tricots réalisés avec des fils faits de fibres de différents polymères : polypropylène³, polyamide 6.6 (couramment appelé « nylon ») ou encore laine. La structure tricotée testée étant constituée de deux couches, les tests ont été réalisés sur différents mélanges de couches.

On voit que l'empilement d'une couche de polypropylène et d'une couche de polyamide n'aura pas de comportement intermédiaire entre l'empilement de deux couches de polypropylène et de deux couches de polyamide. De plus, le même comportement dépend de la face présentée en premier à la vapeur et n'est pas équivalent à celui de la superposition inverse. En revanche, lorsqu'on ajoute de la laine, on retrouve des comportements plus attendus, car en

4 Gestion de la transpiration vaporisée ou liquide

4.1. Évacuation de la transpiration vaporisée

Influence de la nature chimique de la fibre

L'évacuation rapide de la transpiration vaporisée est compliquée. Pour caractériser cette propriété, on utilise habituellement la **perméabilité** à

3. Polymère uniquement carboné formé de monomères possédant des doubles liaisons carbone-carbone.

cohérence avec le matériau pur : avec la couche de polypropylène, la résistance à la vapeur d'eau est inférieure à celle obtenue avec la couche de polyamide. L'ajout de laine augmente la R_{et} . En résumé, on voit néanmoins que **le polymère utilisé n'est pas une caractéristique suffisante** pour prévoir le comportement de la structure textile.

Influence de la géométrie de la fibre

Prenons l'exemple du polymère le plus courant dans le textile : le polyéthylène téréphtalate⁴ (couramment appelé « polyester »). La fibre est traditionnellement ronde, mais elle peut aussi être triangulaire, trilobée. De plus, elle peut être plus ou moins grosse (Figure 11). Supposons que toutes ces formes de fibre aient la même aire en section. On calcule de manière purement géométrique le **rapport des périmètres des fibres par rapport à celui de la fibre ronde équivalente**.

La Figure 11 montre que **la perméabilité à la vapeur d'eau des tricots réalisés avec ces fibres diminue quand la valeur de ce rapport augmente**.

On peut extrapoler ces résultats en considérant la fibre Coolmax®, de section spécifique, appelée « *scalloped oval* », avec la fibre ronde de même section. La structure faite avec la fibre Coolmax® est moins perméable à la vapeur d'eau que celle faite avec la fibre ronde, ce qui semble être plutôt défavorable pour ce critère.

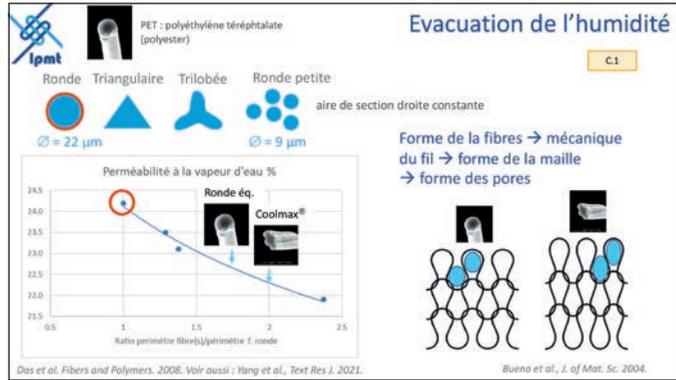


Figure 11

Variation de la perméabilité à la vapeur d'eau avec la géométrie de la fibre textile.

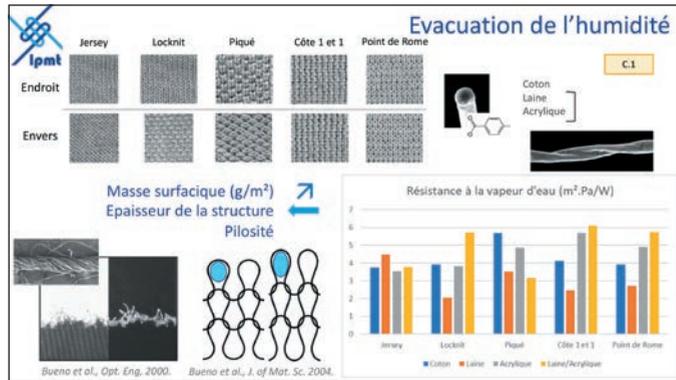


Figure 12

La résistance à la vapeur d'eau dépend de la masse surfacique, de l'épaisseur de la structure et de la pilosité.

On peut se demander comment la forme de la section d'une fibre dont la largeur (ou le diamètre, si elle est ronde) d'une dizaine de micromètres peut influencer à ce point la perméabilité à la vapeur d'eau du tricot.

Il a été prouvé que le polymère, d'une part, et la forme de la fibre, d'autre part, influencent la mécanique du fil en influençant la forme de la maille

4. Polymère plastique de la famille des polyesters.

élémentaire du tricot et donc la forme des pores formés par la structure (**Figure 11**). **C'est en effet la porosité qui est fondamentale pour la perméabilité à la vapeur d'eau.**

Influence de la structure du textile

De nombreux articles scientifiques traitent de ce sujet. Un exemple d'étude multicritère est présenté (**Figure 12**). La résistance à la vapeur d'eau définie précédemment R_{et} est étudiée en faisant varier différents paramètres du textile (déjà définis). Aussi, sont utilisées :

- différentes fibres : coton, laine, acrylique permettant d'obtenir des fils constitués uniquement de chacune de ces fibres, d'un fil constitué de fibres de laine et d'acrylique ;
- différentes structures de tricot : pour les t-shirts comme le jersey, le locknit ou la côte 1/1, voire le point de Rome ou encore dans les polos pour le piqué.

Le diagramme de la **Figure 12** montre qu'il est impossible de définir des tendances sur la structure ou la matière. En

effet, les paramètres importants sont en fait la masse surfacique du textile (en grammes par mètre carré) et l'épaisseur de la structure, toutes deux traduisant la quantité de matière dans le volume (mais la masse volumique est très peu utilisée en textile) et la pilosité. La présence fréquente de pilosité à la surface des textiles est une caractéristique particulière de ces matériaux. Elle peut être facilement observée en lumière rasante (**Figure 13, en bas**). Comme dans le cas précédent, la fibre constitutive du fil va influencer le comportement mécanique du fil, et donc la porosité du tricot. De plus, la pilosité des fils constitutifs de ces textiles va également modifier cette porosité en bouchant plus ou moins les pores de la structure tricotée. **Cela montre une fois encore que la porosité à ces différentes échelles est fondamentale pour la perméabilité à la vapeur.**

4.2. Évacuation de la transpiration liquide

Mécanismes

Un liquide peut être transporté dans un textile selon différents mécanismes (**Figure 12**) dépendant de la chimie de la fibre, des traitements chimiques appliqués et de la structure de ce textile à chaque échelle de la structure (selon la description faite précédemment en 2). Tout d'abord, la surface peut être considérée comme étant plus ou moins hydrophile

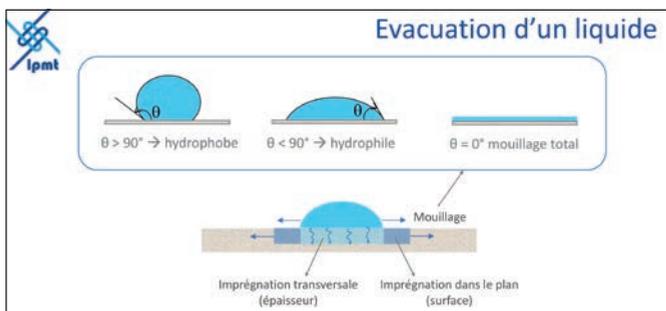


Figure 13

Interaction d'un liquide avec un matériau textile.

ou hydrophobe⁵. Ensuite, l'eau peut se diffuser (imprégnation) à l'intérieur du matériau dans le plan de la surface ou dans l'épaisseur, soit par capillarité entre les fibres, soit par absorption de l'eau par les fibres, qui, dans ce cas, sont hygroscopiques.

Influence de la géométrie de la fibre

À partir des tricotés considérés précédemment (4.1.), réalisés avec des fibres de polyéthylène téréphthalate de différentes géométries, la hauteur de montée capillaire, correspondant à une diffusion du liquide dans une direction du plan de la surface textile, est considérée (Figure 14).

Si l'on reprend comme paramètre le **rapport des périmètres des fibres par rapport à celui de la fibre ronde**, on voit que la diffusion du liquide, donc sa capacité à être évacué de la zone concernée, augmente avec le périmètre de la fibre (Figure 14). De même, par extrapolation, on peut voir que la fibre Coolmax® va mieux diffuser l'humidité à sa surface que la fibre ronde de section équivalente. Sur ce critère, cette forme de fibre est donc efficace.

Influence de la structure du textile

Analysons maintenant l'évacuation du liquide dans l'épaisseur du textile, et ceci à partir de trois structures tricotées différentes réalisées selon la

5. Une surface simplement hydrophile permet uniquement à l'eau de s'étaler à sa surface, tandis qu'un matériau menant à un mouillage total est capable de faire entrer des molécules d'eau au sein de sa structure nanoscopique.

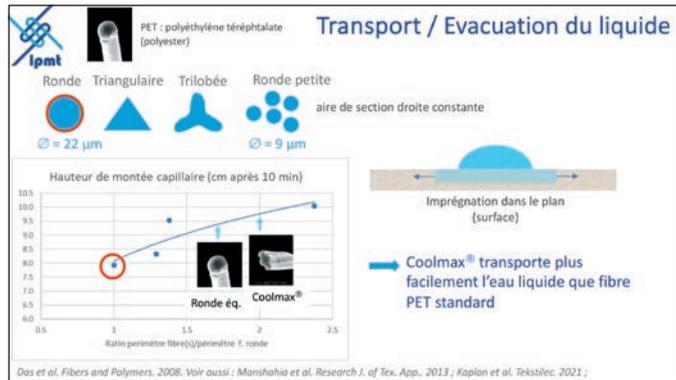


Figure 14

Évacuation du liquide dans le plan en fonction de la géométrie de la fibre.

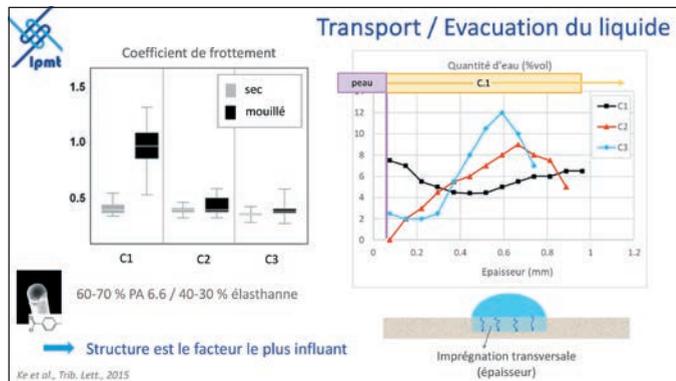


Figure 15

Influence de la structure sur l'évacuation de l'eau dans l'épaisseur du textile (à droite) et sur le coefficient de frottement contre la peau sèche et mouillée (à gauche).

même composition de fibres. On peut constater, sur la Figure 15, à droite, que :

- le textile C1 (en noir) est mouillé sur la surface en contact avec la peau et dans son épaisseur, et ce de façon presque identique ; donc l'interface peau-textile est mouillée ;
- les textiles C2 et C3 (rouge et bleu) sont secs sur la surface en contact avec la peau, donc l'interface peau-textile

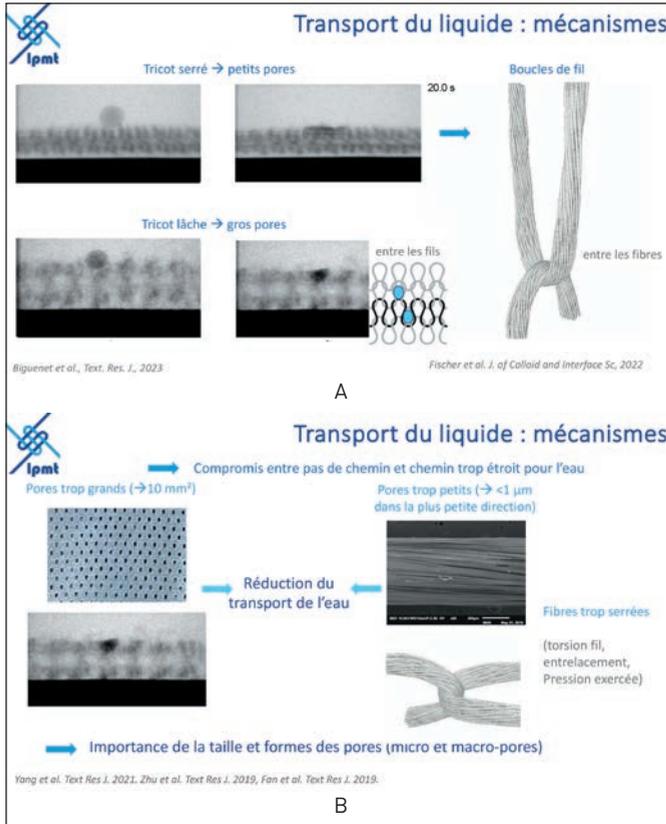


Figure 16

Mécanisme de transport de liquide au sein d'un textile.
 A. Influence de la taille des pores.
 B. Influence de la taille et de la forme des pores.

est sèche ; en revanche, le liquide est contenu dans leur épaisseur.

Cela va avoir une influence importante sur le frottement peau-textile. En effet, les coefficients frottement peau-textile pour ces trois structures ont été mesurés (**Figure 15, à gauche**) et montrent que pour les textiles C2 et C3, le frottement reste presque identique, que la peau soit humide ou pas, alors qu'il augmente fortement pour C1 mouillé. En effet, avec C2 et C3, la peau ne reste pas

mouillée, car l'humidité se diffuse de la surface vers le cœur de la structure.

Influence de la porosité

Nous pouvons identifier plus globalement l'origine des différents mécanismes mis en jeu.

La **Figure 16A** montre que dans le cas d'un tricot serré (petits pores), quand on écrase une goutte elle s'étale en surface. Si le tricot est lâche (gros pores), l'eau va rester bloquée entre les gros pores.

Dans le cas d'un tricot serré, l'eau passe d'une fibre à l'autre par capillarité ; le temps de passage peut être influencé par le polymère (en particulier son caractère plus ou moins hydrophile), mais également en changeant la taille des capillaires par la grosseur des fibres, la torsion des fils, la géométrie d'entrelacement des fils (**Figure 16B**).

4.3. Rétention de la transpiration liquide

La rétention du liquide, exprimée en grammes de liquide par grammes de textile en fonction du temps, est montrée pour différents textiles (**Figure 17**). Il s'agit de différents tricots réalisés à partir de fibres diverses. Dans le cas du tricot en polypropylène, polymère naturellement hydrophobe, l'imprégnation du liquide est plus lente et moins importante qu'avec un matériau absorbant comme le coton. Dans ce cas, c'est la chimie des fibres qui gouverne de façon prépondérante la rétention.

En revanche, lorsqu'on mélange des fibres hydrophiles (polyéthylène téréphtalate et

coton), dont certaines absorbantes (coton) avec des fibres très hydrophobes comme le polytétrafluoroéthylène⁶ selon une structure textile particulière, on peut obtenir un matériau qui sera peu imprégné et retiendra l'eau. **Dans ce cas, la structure textile, donc l'agencement des fibres, est très influente.**

5 Protection contre le froid

5.1. Mécanisme prépondérant

La nature du matériau joue assez peu dans la protection contre le froid. Le facteur important est ce qui va permettre d'emmagasiner de l'air. Ainsi, la **Figure 18, à gauche** compare la conductivité thermique⁷ pour différentes fibres telles que le polyamide 6.6 (nylon), le polyéthylène téréphtalate (polyester), le polypropylène avec la conductivité thermique de l'air. L'air est un meilleur isolant thermique que ces matériaux ; de plus, il est peu cher et disponible en grande quantité. Aussi, **la protection contre le froid dépend essentiellement du volume d'air emmagasiné.** Le but est donc d'emprisonner de l'air.

5.2. Stratégies utilisées pour emprisonner de l'air

Le textile composite fibres/air

De façon systématique, l'air est retenu initialement dans

6. Polymère formé par la répétition de motifs (CF₂).

7. Grandeur physique quantifiant la capacité d'un matériau à laisser passer la chaleur en son sein.

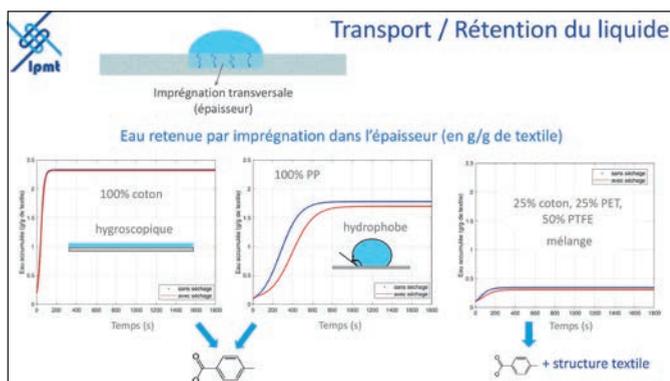


Figure 17

Rétention de l'eau liquide en fonction de son interaction avec les fibres et de la structure du textile.

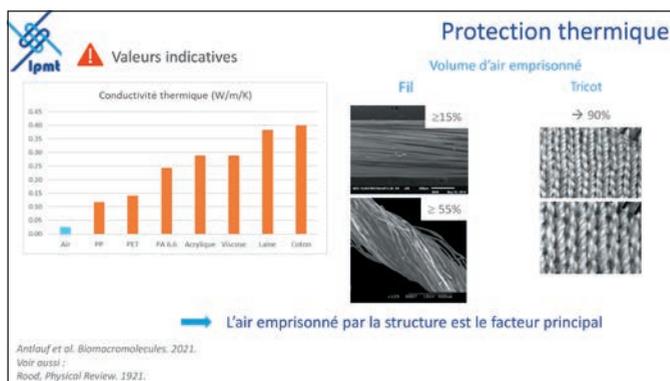


Figure 18

Efficacité de l'air comme isolant thermique. L'air emprisonné par la structure est le principal facteur de la protection thermique.

les fibres : dans un fil fait de fibres discontinues, type coton, il y a naturellement 55 % d'air, voire plus. Il est également possible de jouer sur l'espacement des fibres (torsion du fil), sur la structure du textile (ex. : tricoter un même fil, mais avec des tailles de maille différentes, donc différents états de gonflement du fil), ou encore de changer la structure du tricot ou du tissu (par exemple

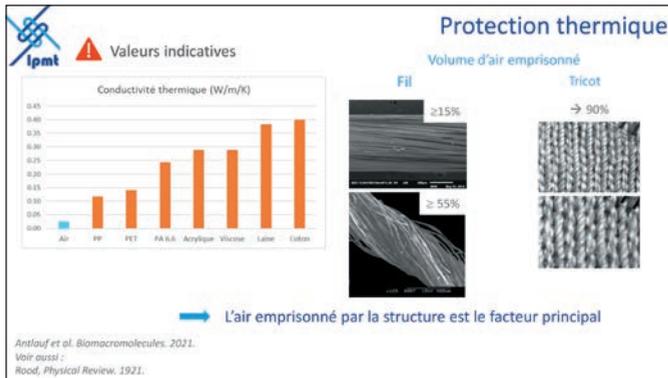


Figure 19

Le volume d'air emprisonné dans la pilosité artificielle ou entre les couches de vêtement augmente la protection thermique du matériau constitutif.

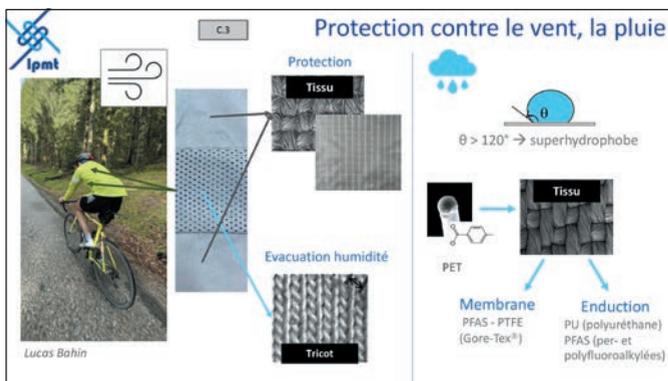


Figure 20

Protection contre le vent et la pluie.

son épaisseur] pour augmenter le volume d'air emprisonné (Figure 18, à droite). Un textile peut donc naturellement contenir plus de 90 % d'air en volume.

Le rôle de la pilosité artificielle

Pour augmenter encore le volume d'air emprisonné dans la structure textile, on peut créer de la pilosité (Figure 19). Dans le vêtement de sport,

on va typiquement retrouver une structure tricotée serrée pour réduire la perméabilité à l'air, et en particulier au vent : sur la face endroit, les mailles sont bien visibles ; sur l'envers, de la pilosité a été créée en grattant le textile. Cette pilosité enferme de l'air à plus de 90 %.

Cela semble équivalent au cas précédent de gonflement du fil, mais il n'en est rien. Le cas ci-dessus serait celui d'un pullover avec de grosses mailles et de larges pores. Il s'agit donc d'une structure plutôt perméable à l'air. L'air est emprisonné essentiellement dans ces pores et, lorsqu'il y a du vent, l'air chaud emprisonné dans la structure est remplacé par de l'air froid. Dans une structure serrée, avec un faible gonflement du fil au niveau des mailles, la perméabilité à l'air est plus faible. Aussi, la face endroit vers l'extérieur présente des pores étroits et est donc peu perméable à l'air, ce qui permet d'emprisonner durablement l'air chaud dans la pilosité. Cette structure est donc isolante tout en étant assez peu perméable au vent.

L'empilement de couches de vêtement

Pour augmenter encore l'air emprisonné et protéger davantage le corps du froid, une solution efficace consiste à multiplier les couches de vêtement. L'air chaud emprisonné entre chacune de ces couches isole du froid, même si l'épaisseur est faible. Il faut cependant que la dernière couche ne soit pas ou très peu perméable à l'air, donc au vent. Souvent, le

vêtement extérieur est lui-même constitué de plusieurs couches (au moins deux).

5.3. La protection contre le vent et la pluie

La couche extérieure doit servir de protection contre le vent (**Figure 20**). Une des stratégies possibles pour lutter contre le vent tout en évacuant la transpiration gazeuse est de mettre un tricot poreux, qui va favoriser l'évacuation, couplé à un autre tissu, qui va assurer les autres fonctions. La partie poreuse est mise sur les côtés (où la protection contre le vent

n'est pas nécessaire). De plus, dans le cas d'un sport où on se déplace rapidement, comme le cyclisme, on peut rajouter un tricot poreux également sur le dos, car la protection contre le vent n'y est pas nécessaire et c'est une zone où l'on transpire beaucoup (décrites précédemment).

Pour lutter contre la pluie, la couche extérieure doit être très hydrophobe. Pour cela, soit on intègre une membrane de polytétrafluoroéthylène (cas du Gore-Tex®), soit on enduit le tissu d'une couche de polyuréthane ou de polyfluoroalkyles.

Conclusion et perspectives

Le confort thermique et mécanique d'un vêtement de sport est le fruit d'un procédé de fabrication long et complexe qui ne se résume pas au caractère esthétique du produit ni à sa composition chimique (seule information donnée sur les étiquettes).

Les vêtements du sportif ou de la sportive sont loin d'être optimaux. Les recherches dans ce domaine consistent encore à optimiser les mélanges de fibres pour leur interaction avec l'eau et à optimiser la distribution de la porosité et de la pilosité (ce point est loin d'être résolu).

De plus, aujourd'hui, les moyens de protection contre la pluie sont efficaces mais posent des problèmes environnementaux. Il faut donc trouver un substitut au polytétrafluoroéthylène (qui est un PFAS), mais également au polyuréthane, qui pose des problématiques de recyclage (**Figure 21**).

Par ailleurs, on parle beaucoup de la pollution par les textiles. La courbe de l'évolution de la consommation des fibres dans le monde depuis

1980 montre que toutes les fibres se sont à peu près maintenues sauf le polyester pour lequel la demande a explosé (**Figure 22**). Or, le polyester, pétrosourcé et non biodégradable, est le constituant principal des vêtements de sport. Il convient donc de trouver un substitut à ce matériau et de réduire notre consommation de textile, y compris de vêtements de sport, et de trouver des solutions de recyclage pendant la phase de transition vers une consommation raisonnée.

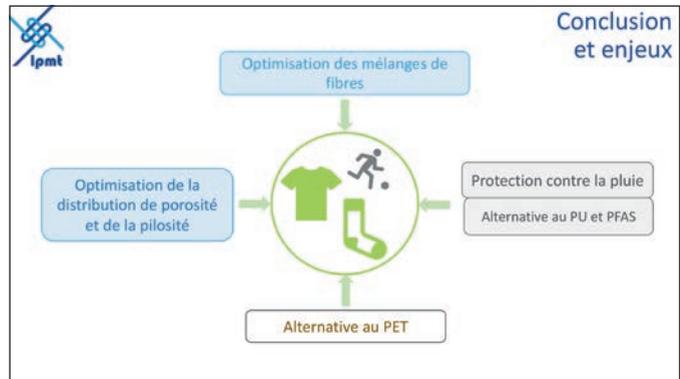


Figure 21

Panorama des enjeux concernant la recherche sur le textile.

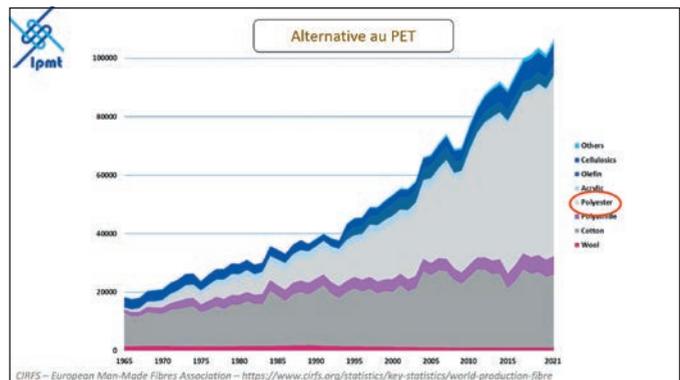


Figure 22

Évolution de la consommation en fibres depuis 1980.