

Comparaison de la gestion de l'exsudat et des conditions microclimatiques sous des pansements en mousse superabsorbante et en polymère superabsorbant sur une plaie artificielle

RÉSUMÉ

Introduction Les capacités des pansements en mousse superabsorbante et en polymère superabsorbant à gérer l'exsudat d'une plaie artificielle et à affecter le microclimat sous les pansements sont comparées en mesurant : la quantité d'humidité absorbée, la quantité d'humidité évaporée à travers la couche extérieure, l'humidité présente sous et à l'extérieur du pansement et la différence entre les deux, la température sous et à l'extérieur du pansement et la différence entre les deux.

Méthode Un pénétrateur thermodynamique a été utilisé dans un laboratoire pour diriger un flux constant de vapeur d'eau sur une plaie de taille standard, chaque pansement ayant été soumis au poids du pénétrateur. Des capteurs ont enregistré l'humidité et la température sous et à l'extérieur des pansements pendant 3 heures et 16 minutes et, au bout de 3 heures, en minimisant la pression du poids sur le pansement pendant 45 secondes pour simuler un transfert de poids du patient. Les pansements ont été pesés à la fin du test pour mesurer l'humidité absorbée et l'humidité évaporée.

Résultats Aucune différence significative n'a été constatée entre les groupes de pansements (en mousse superabsorbante et en polymère superabsorbant), ni en termes d'absorption et d'évaporation de vapeur, ni en termes d'humidité ou de température sous et à l'extérieur des pansements.

Conclusion On peut donc en conclure que les pansements en polymère et les pansements en mousse présentent les mêmes capacités de maintien d'un microclimat humide et chaud dans le lit d'une plaie. On peut également noter que ces pansements n'assèchent pas le lit de la plaie comme le terme « superabsorbant(e) » peut le supposer.

Mots clés Exsudat, microclimat, plaie, superabsorbant(e), pansement

Pour référencement Call E et al. Comparing fluid handling and microclimate conditions under superabsorbent polymer and superabsorbent foam dressings over an artificial wound. WCET® Journal 2019; 39(4):11-23

Identifiant d'objet numérique <https://doi.org/10.33235/wcet.39.4.11-23>

Evan Call

MS, CSM (NRM)

Département de microbiologie, faculté des sciences, Weber State University, Ogden, Utah, États-Unis

Craig Oberg

PhD

Département de microbiologie, faculté des sciences, Weber State University, Ogden, Utah, États-Unis

Iris Streit

Directrice principale, marketing international des produits de gestion des plaies avancées, HARTMANN GROUP, Heidenheim, Allemagne

Laurie M Rappl*

PT, DPT, CWS

Rappl & Associates, Simpsonville, Caroline du Sud, États-Unis
E-mail Lrappl630@gmail.com

*Auteur-ressource

INTRODUCTION

Les pansements appliqués sur les plaies servent aussi à gérer l'humidité pendant la cicatrisation, et cela pour trois raisons : pour absorber l'exsudat, maintenir un microclimat adapté dans le lit de la plaie et protéger la peau périlésionnelle face aux risques de macération due à l'excès d'humidité. Plusieurs technologies d'absorption existent : mousses, hydrocolloïdes, alginates de calcium, hydrofibres et polymères hygroscopiques.^{1, 2} Des pansements en mousse superabsorbante et en polymère superabsorbant de nature plus complexe ont récemment été conçus. Ils prétendent offrir encore plus de capacités de gestion de l'humidité des plaies que leurs prédécesseurs, mais n'ont pas fait l'objet de test de comparaison entre eux. En outre, le terme « superabsorbant » soulève des questions quant au risque de surabsorption et donc d'assèchement du lit de la plaie et d'inhibition de la cicatrisation de la plaie.

Gestion de l'exsudat

Depuis la publication par Winters de ses études décisives en 1963, la cicatrisation de plaie en milieu humide s'est imposée comme pratique exemplaire.^{2, 3} Les cytokines et les facteurs de croissance

ont besoin d'humidité pour se diffuser à travers le lit de la plaie et stimuler la cicatrisation en favorisant la fermeture de la plaie et la réépithélialisation.⁴ Le maintien d'un niveau d'humidité adéquat dans le lit de la plaie empêche son dessèchement, ce qui permet aux cellules épithéliales de migrer librement sur la surface de la plaie. Les plaies en milieu humide deviennent granuleuses, se revêtent d'épithélium et se cicatrisent trois fois plus vite que les plaies en milieu sec.⁵

La sécrétion d'exsudat est un phénomène naturel dans le processus de cicatrisation des plaies et maintient le lit de la plaie en milieu humide pour stimuler la fermeture de la plupart des plaies. Certains types de plaies sont naturellement plus exsudatifs que d'autres, notamment les plaies veineuses, les escarres de grande taille et les brûlures. Les plaies chroniques sont extrêmement exsudatives en raison d'une inflammation constante et d'une perturbation de l'activité cellulaire habituelle. L'exsudat des plaies chroniques est sensiblement différent de celui des plaies aiguës et présente de hauts niveaux d'enzymes dégradant les protéines, de métalloprotéases matricielles (MPM), de neutrophiles et de cytokines pro-inflammatoires. Sur des plaies exsudatives, il faut donc utiliser des pansements absorbants pouvant résorber le flux d'exsudat afin de maintenir un niveau d'humidité optimal dans le lit de la plaie. Au début de la granulation de ces plaies, la quantité d'exsudat diminue et le pansement quitte son rôle d'absorption pour un rôle de protection de la plaie.²

La quantité d'exsudat ou d'humidité suintant d'une plaie est généralement inscrite dans le dossier médical du patient avec des descripteurs subjectifs comme léger, moyen, sévère ou excessif, au lieu de mesures objectives. Plusieurs échelles de valeurs validées ont été proposées pour enregistrer avec plus de précision la quantité d'exsudat : le Score d'exsudat des plaies, l'Outil d'évaluation des plaies de Bates-Jensen et l'Échelle de guérison de l'escarre PUSH. Chaque échelle propose un descripteur pour chaque niveau sur cette échelle. Un résumé et une comparaison des outils disponibles et de leurs descripteurs sont consultables dans le document consensuel « *Wound exudate: effective assessment and management* », publié en 2019 par la World Union of Wound Healing Societies.⁵

Microclimat des plaies

Le microclimat des plaies a été désigné comme un facteur clé à la fois de prévention et de cicatrisation des plaies. Le microclimat est la combinaison de la température et de l'humidité, et parfois de la circulation d'air dans une région locale comparé à la zone ambiante ou environnante⁶. Un environnement humide et chaud est propice à la cicatrisation d'une plaie. Dini et al.⁷ ont démontré qu'une température < 33 °C contrarie la cicatrisation d'une plaie en raison d'une baisse d'activité des neutrophiles, fibroblastes et cellules épithéliales. Cette même étude montre une corrélation entre des améliorations du lit de la plaie et des températures du lit de la plaie comprises entre 33 et 35 °C. En outre, Salvo et al.⁸ ont réalisé deux études indiquant que des températures comprises entre 36 et 38 °C semblent favoriser la cicatrisation des plaies.

Pourtant, les pansements retiennent l'humidité, ce qui accroît les niveaux de chaleur et d'humidité sous le pansement. Des pansements absorbants perfectionnés peuvent donc avoir un effet sur le microclimat du lit de la plaie : ils absorbent l'excès d'humidité de la surface de la plaie et maintiennent la chaleur et l'humidité en dissipant les excès de chaleur et d'humidité à travers une couche

externe perméable à la vapeur. Les pansements occlusifs n'ont pas ces capacités.

Peau périlésionnelle

L'excès d'humidité sur une peau périlésionnelle intacte affaiblit le derme et l'épiderme en interrompant l'arrangement des lipides dans la couche cornée (CC) et les liaisons entre les cellules épidermiques.¹ Il en résulte une plus grande perméabilité qui rend la peau périlésionnelle plus susceptible à une invasion par des contaminants et à l'effet cumulatif de la friction et du cisaillement. Les expressions « dommages cutanés associés à l'humidité » (DCAH) ou « altérations de la peau associées à l'humidité » désignent globalement des lésions de l'épiderme dues à une exposition de la peau à l'humidité (comme la transpiration) et à des substances irritantes (comme l'urine, les selles, les effluents de stomie, l'exsudat de plaie).¹ L'une des quatre catégories cliniques de DCAH est la dermatite périlésionnelle associée à l'humidité. En plus d'un affaiblissement des liaisons entre les cellules épidermiques dû à l'humidité, les enzymes de l'exsudat de la plaie qui dégradent normalement les contaminants de la plaie dégradent également les protéines dans la peau saine. Les dommages qui en résultent causent des douleurs, une augmentation de la taille de la plaie et une diminution de la migration des kératinocytes des bords de la plaie, ce qui nuit à sa fermeture.⁹ Ainsi, les cliniciens doivent choisir des pansements qui absorbent et retiennent l'exsudat pour empêcher tout contact avec la zone périlésionnelle. Idéalement, le tampon absorbant d'un pansement ne doit pas atteindre la région périlésionnelle et sa taille doit correspondre à celle du lit de la plaie ouverte.

Constructions des pansements

Les pansements sont une méthode primaire dynamique permettant soit d'éviter une perte d'humidité du lit d'une plaie sèche, soit d'absorber l'excès d'humidité du lit d'une plaie humide, tout en protégeant la peau périlésionnelle d'un excès d'humidité.

Les pansements de base comme les tampons en gaze de coton ou les absorbants à base de fibres de cellulose ou de mousses recouvrent le lit de la plaie, le protègent des traumatismes et de l'environnement et absorbent tout simplement l'humidité. Les pansements « island dressing » comportent une bordure adhésive autour de la zone absorbante. Des pansements plus avancés et aux capacités renforcées sont utilisés pour traiter les plaies extrêmement exsudatives pour lesquelles les pansements habituels ne suffisent pas.

Les pansements en polymère superabsorbant présentent plusieurs couches et sont adaptés aux plaies extrêmement exsudatives, car ils assurent une absorption et une évaporation de l'humidité de la plaie. La partie centrale superabsorbante est souvent composée de polymères cellullosiques et hydrophiles enveloppés dans un tissu de cellulose et/ou un matériau non tissé. La plupart des pansements en polymère superabsorbant présentent une couche extérieure de polyuréthane perméable à la vapeur et à faible frottement permettant à l'humidité de transpirer, extrayant donc davantage d'exsudat de la plaie, et prolongeant le port du pansement. Le polyuréthane dont le taux de transmission de vapeur d'eau est supérieur à 35 g/m²/h est corrélé à une cicatrisation de plaie plus rapide sous des pansements occlusifs.¹⁰ La somme du fluide absorbé par le pansement et du fluide transpiré à travers le pansement est ce que l'on appelle la capacité de rétention des fluides du pansement, comme défini par le Comité européen de normalisation.¹¹

Tableau 1 : taille et construction des pansements de test représentatifs

	Adhésif	Couverture adhésive	Feuille de support	Couche en mousse	Matériau absorbant - mousse ou non-tissé	Dimensions des bords extérieurs (cm)	Dimensions du tampon absorbant (cm) et superficie totale en cm ²
Pansements en mousse superabsorbante							
Mepilex® Border (Mölnlycke Healthcare, Gothenburg, Suède)	Silicone	Perforé, 20 % ouvert sur toute la surface	Polyuréthane	Oui	Cellulose et polymère hygroscopique	15 x 15	11 x 11 (121)
ALLEVYN Life (Smith and Nephew plc, Hertfordshire, Royaume-Uni)	Silicone	Perforé, 20 % ouvert sur toute la surface	Polyuréthane	Oui	Noyau hyperabsorbant Lock Away	12,9 x 12,9	7,6 x 7,6 (57,8)
Biatain® Silicone (Coloplast Corporate, Humlebæk, Danemark)	Silicone	Perforé, 20 % ouvert sur toute la surface	Polyuréthane	Oui	Couche Lock Away	12,5 x 12,5	8,5 x 8,5 (72,2)
Pansements en polymère superabsorbant							
Viwasorb® Adhesive (L&R International, Rengsdorf, Allemagne)	Polyacrylate	Bord uniquement	Tissu non tissé en polypropylène	Non	Polyéthène, polypropylène, cellulose, polyacrylate de sodium	12 x 12	8,2 x 8,1 (66,4)
Cutimed® Sorbion® Sachet Border (BSN Medical, Hamburg, Allemagne)	Polyacrylate	Bord uniquement	Couche extérieure perméable en polyester	Non	Fibres de cellulose et de polymère absorbant formant un gel dans une couche de fibre	15 x 15	10 x 10 (100)
RespoSorb® Silicone (Hartmann AG, Heidenheim, Allemagne)	Silicone	Maille de silicone empêchant le collage	Polypropylène non tissé	Non	Cellulose et polyacrylate superabsorbant	12,5 x 12,5	10,5 x 10,5 (110,25)
RespoSorb® Silicone Border (Hartmann AG, Heidenheim, Allemagne)	Silicone	Maille de silicone empêchant le collage	Polypropylène non tissé plus feuille de support en polyuréthane	Non	Cellulose et polyacrylate superabsorbant	12,5 x 12,5	7 x 7 (49)
Point de Contrôle / référence							
Cosmopor® E Sterile (Hartmann AG, Heidenheim, Allemagne)	Acrylate (couche de contact en polyéthylène)	Bord uniquement	Polyester non tissé	Non	Viscose (cellulose traitée)	15 x 8	11 x 3,8 (41,8)

La partie centrale absorbante de certains pansements en polymère superabsorbant est bordée d'un adhésif acrylique de sorte qu'aucun sparadrap ni aucun bandage supplémentaire n'est nécessaire. Certains de ces pansements présentent également une couche de silicone qui recouvre la surface de la plaie afin de minimiser le risque de traumatisme au lit de la plaie (cf. tableau 1 pour connaître les points communs et les différences entre des pansements d'un groupe représentatif).

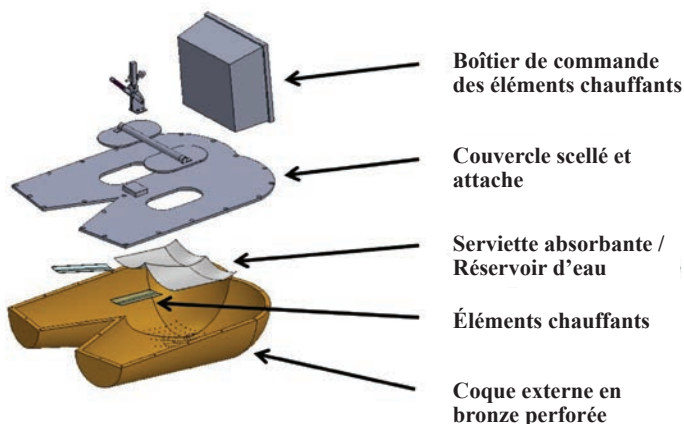
Il faut également noter que le terme superabsorbant peut impliquer qu'un pansement risque d'extraire trop d'humidité d'une plaie et l'assécher, ce qui nuit à la cicatrisation d'une plaie humide. Une sous-catégorie de pansements en polymère superabsorbant (pansements en mousse superabsorbante) conçue un peu comme les pansements en polymère superabsorbant comporte une couche supplémentaire de mousse entre le silicone et le polymère. Cette couche empêche l'assèchement du lit de plaie et en optimise le micro-environnement (voir le tableau 1). En outre, retirer la pression d'une plaie et d'un pansement par une manipulation de relâchement de pression ou un changement de position du patient peut avoir des effets sur l'évaporation de l'humidité et sur la dissipation de la chaleur, et accroître l'efficacité du pansement qui pourra être porté plus longtemps.

Les études comparant les effets des différents pansements sur des plaies similaires sont peu nombreuses et les arguments des fabricants vantant les avantages de leurs produits et leurs effets bénéfiques sur le lit de la plaie et son microclimat ne sont pas non plus étudiés. Les études cliniques de comparaison de pansements sont très difficiles à réaliser en raison des nombreuses variables affectant la cicatrisation des plaies et du fait qu'il est impossible de standardiser les patients. Néanmoins, des recherches bien conçues menées en laboratoire peuvent standardiser la taille des plaies et la quantité d'exsudat afin de comparer les pansements testés. Si cette standardisation limite l'applicabilité des résultats à la population clinique qui est très variable, elle peut néanmoins fournir certaines preuves permettant de déterminer l'efficacité d'un pansement à contrôler les propriétés physiques d'une plaie, le but étant toujours d'en optimiser la cicatrisation.

OBJECTIF DE L'ÉTUDE

Cette étude *in vitro* compare les pansements des catégories « polymère superabsorbant » et « mousse superabsorbante » décrits dans le tableau 1. Un pansement chirurgical de base sans polymère a été utilisé comme point de contrôle ou de référence. Les pansements

Figure 1 : pénétrateur de chargement rigide thermodynamique



ont été étudiés pour déterminer leurs capacités à gérer l'humidité s'échappant d'une plaie artificielle, en mesurant :

- La quantité d'humidité absorbée, en grammes par pansement et en g/cm².
- La quantité d'humidité évaporée à travers la couche externe, en gramme par pansement et en g/cm².
- L'humidité à la fois à l'intérieur du lit couvert de la plaie et sur la couche externe, ainsi que la différence entre les deux.
- La température à la fois à l'intérieur du lit de la plaie sous le pansement et sur la couche externe, ainsi que la différence entre les deux.

De plus, l'effet d'un relâchement de pression ou d'un changement de position du patient sur chacun de ces paramètres a été mesuré.

Il est important de noter que les travaux réalisés par le passé mesuraient uniquement l'humidité par pansement.¹² Pour cette étude, du fait que chaque pansement présente une grande variation en termes de masse et de superficie, l'unité de mesure utilisée a été le gramme d'humidité par cm².

MÉTHODE

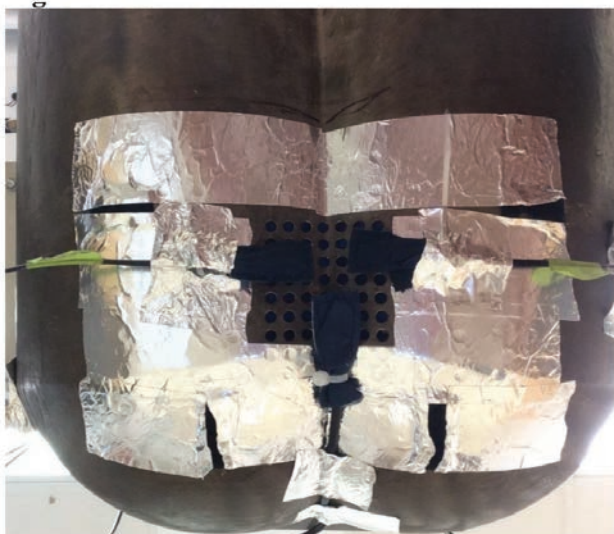
Cette étude a été menée par un laboratoire indépendant qui contribue à l'élaboration de normes pour les surfaces de soutien, les coussins pour fauteuils roulants, les pansements et autres dispositifs médicaux associés aux plaies. La température ambiante du laboratoire était de 23 °C ± 2 °C et son humidité relative de 50 % ± 5 %, conformément à la norme ISO 554-1976(E).¹³

Le modèle humain consistait en un pénétrateur de chargement rigide pour coussin thermodynamique en bronze, décrit pour la première fois par Ferguson-Pell et al.¹⁴ servant à tester des coussins de fauteuils roulants. Ce modèle a été conçu par un groupe de chercheurs du Royaume-Uni, du Japon et des États-Unis. Depuis 2009, il est devenu un dispositif de test standard utilisé pour l'étude des surfaces de soutien, des pansements et des coussins de fauteuils roulants sur le marché international des soins des plaies¹⁵ (voir figure 1).

Ce pénétrateur de test était en conformité avec les normes américaines des surfaces de soutien¹⁶ (American National Standards for Support Surfaces). Il a la forme du fessier et de la partie supérieure des cuisses d'une personne de sexe masculin du 50^e centile et présente des trous prépercés au niveau du sacrum et de l'ischion. Le pénétrateur peut être chargé de quantités d'eau pré-mesurées, chauffé et refroidi, et pesé. La diffusion de l'eau à travers les trous prépercés simule la perte d'humidité à travers la peau. Ce pénétrateur simule le chauffage, le refroidissement, la transpiration et l'assèchement, ainsi que les transferts de poids de la zone du sacrum d'un être humain. Les conditions qui en résultent à l'interface pénétrateur-surface sont mesurées et peuvent être comparées entre les produits, ainsi que sous des conditions stables et transitoires.

Dans le cadre de cette étude, le pénétrateur pesait un peu plus de 29 kg ± un peu plus de 1 kg, ce qui correspond au poids de cette partie du corps pour un homme du 50^e centile allongé dans un lit. Une plaie artificielle a été créée en recouvrant tous les trous de pores de transpiration non recouverts par le tampon du pansement ; une bande d'aluminium empêchait l'évaporation de l'humidité à l'extérieur de la zone de la plaie artificielle (Figure 2). Il restait une zone de trous de 7 x 7 cm pour la vapeur d'eau ; elle était utilisée pour tous les pansements testés.

Figure 2 : pénétrateur avec trous perforés sur une surface de 7 x 7 cm recouvert de bandes aluminisées



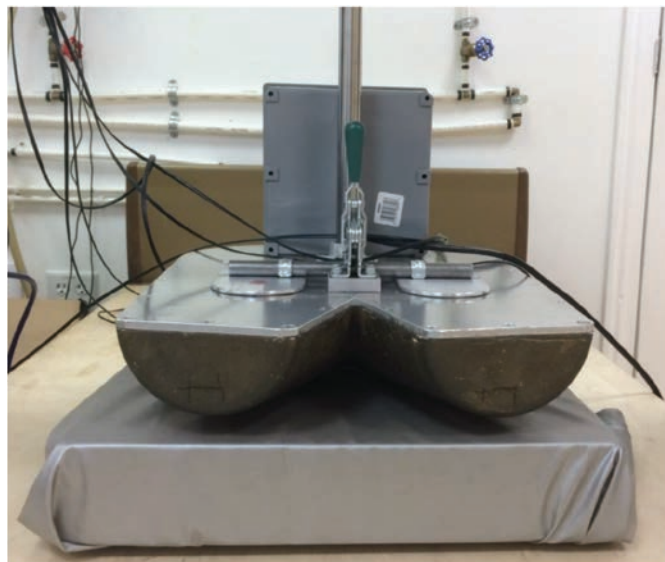
Le test des pansements dans ces conditions fournit un scénario pertinent d'un point de vue clinique car les mousses et les polymères sont compressés et l'échappement de vapeur d'eau est réduit par les conditions d'utilisation réelles du test.^{14, 15} Par exemple, les capteurs d'humidité et de température sont des capteurs numériques de haute précision fabriqués par Sensirion AG (Staeafa ZH, Suisse) d'une précision de $\pm 1,8 \%$ dans des conditions d'humidité relative de 0-80 % et de $\pm 0,3 \text{ }^\circ\text{C}$ à une température de 20 à 50 $^\circ\text{C}$. Installé sur une planche rigide, la surface de soutien du test, produit de l'entreprise Coating US (Slaterville, Rhode Island), consistait en un coussin de mousse à alvéoles ouvertes de 7,6 x 45,7 x 45,7 cm, recouvert d'une housse pour matelas perméable à l'air résistante à l'humidité.

La vapeur d'eau et l'humidité provenaient d'une quantité pesée d'eau distillée imprégnant des serviettes de refroidissement en microfibre Enduracool™. Ces serviettes ont été choisies pour leur microfibre aux capacités thermorégulatrices et parce qu'elles présentent un taux de désorption de l'humidité compatible avec les études préalablement publiées sur les surfaces de soutien à faible perte d'air.^{17, 18} Dans un laboratoire, l'exsudat des plaies est remplacé par de l'eau distillée. S'il est vrai que les propriétés de chaque fluide diffèrent considérablement, l'étude a été conçue pour démontrer les différences de performances et cela peut être effectué avec un fluide standard. Les publications précédentes décrivant la capacité de gestion de l'humidité de pansements à l'aide de cette méthode ont servi de base comparative.¹²

Le modèle de plaie utilisé ici n'est pas très exsudatif ; il s'agit d'un modèle de vapeur d'eau. Ce modèle délivre un faible taux d'humidité sur la surface du pansement sur une certaine période de temps de façon contrôlée, de sorte qu'un chercheur peut déterminer si l'humidité est retenue par le pansement ou si elle respire à travers lui. Les pansements testés ont été sélectionnés parmi des pansements multicouches faciles à obtenir et couramment utilisés dans l'Union européenne et aux États-Unis. Les pansements représentatifs sont présentés dans le tableau 1.

Le pénétrateur était suspendu au-dessus du coussin à l'aide d'un cadre en H positionné autour du cadre de lit, à peu près au milieu de ce cadre. Le coussin était centré sous le pénétrateur de sorte que la zone de tubérosité ischiatique du pénétrateur se situait à 10-15 cm du bord arrière du coussin (voir la figure 3). La

Figure 3 : pénétrateur placé sur un coussin



température du pénétrateur était réglée sur 37 $^\circ\text{C}$. Les poids des deux lots de serviettes sèches Enduracool™ ont été enregistrés, puis 100 ± 1 g d'eau distillée ont été ajoutés à chaque lot de serviette pour pouvoir éventuellement fournir 200 g d'eau distillée sur le pansement. Chaque serviette était pliée en trois et placée à l'intérieur du pénétrateur de façon à recouvrir tous les trous de pores de transpiration. Des poids chauffés ont été placés au-dessus des serviettes pour faciliter la distribution de l'humidité.

Trois capteurs ont été posés pour détecter l'humidité s'échappant de la zone de la plaie artificielle (voir la figure 4). Les emplacements des capteurs ont été modifiés pour s'adapter à la taille de chaque pansement. Le pansement était centré au-dessus des trous de pores de transpiration ouverts et recouvrait les trois capteurs. Les capteurs placés au-dessus du pansement étaient alignés sur les capteurs placés sous le pansement (voir la figure 4). Le pénétrateur a été abaissé jusqu'à ce qu'il repose sur la surface de soutien et transfère la charge complète d'un peu plus de 29 kg \pm un peu plus de 1 kg à la surface de soutien. Un septième capteur servait à mesurer la

Figure 4 : positionnement du pansement et des capteurs sur les pansements



température et l'humidité ambiantes. Le logiciel EK-H4 Viewer a été programmé pour enregistrer les données toutes les 30 secondes pendant toute la durée du test.

Pour simuler un relâchement de pression ou un changement de position du patient, le pénétrateur a été soulevé de la surface de soutien pendant 45 secondes à 3 heures \pm 6 minutes. Des mesures ont été prises cinq minutes avant le soulèvement (ce qui est identifié comme correspondant à 175 minutes dans la rubrique des résultats) pour créer un vide d'air entre le pénétrateur et la surface de soutien. Il a été maintenu en suspens au-dessus de la surface de soutien pendant 45 secondes \pm 10 secondes au total, puis rabaissé sur la surface de soutien pleinement chargé pendant 15 minutes \pm 1 minute de plus. Les mesures finales relevées figurent à 196 minutes dans les résultats.

À la fin du test, le pénétrateur a été soulevé et les serviettes ont été retirées et pesées. Le pansement a été retiré du pénétrateur et de la plaie artificielle et son poids a été enregistré. Le poids d'une serviette de papier sèche a été enregistré et celle-ci a été utilisée pour essuyer toute l'humidité restante dans le pénétrateur. Cette serviette a ensuite de nouveau été pesée.

Entre chaque essai, le pénétrateur a été ramené à un état stationnaire avant le début de l'essai suivant. De l'eau distillée a été ajoutée pour que les serviettes et la masse d'eau retrouvent le poids total des serviettes sèches plus 200 ± 1 g d'eau distillée. Deux coussins et deux housses ont été utilisés pour laisser à chacun des coussins le temps de retrouver sa forme initiale entre les tests. Chaque pansement a été soumis à trois tests au total. Trois tests ont également été réalisés avec le pénétrateur placé en suspens pendant 3 heures et 16 minutes en l'absence de pansement afin de mesurer la production de vapeur de la plaie artificielle.

Le poids final des serviettes plus celui de la serviette en papier a été soustrait du poids de départ des serviettes pour déterminer la quantité totale d'eau distillée ajoutée au système. L'humidité absorbée par le tampon du pansement a été calculée en soustrayant le poids de départ du pansement de son poids final. La quantité de vapeur d'eau produite par le système a été calculée en soustrayant le poids de départ des serviettes de leur poids final et en y ajoutant l'humidité récupérée de l'intérieur du pénétrateur avec la serviette en papier. La quantité d'humidité évaporée du pansement a été calculée en soustrayant la quantité d'humidité emprisonnée dans le pansement de la quantité de vapeur d'eau produite par le système. L'intervalle de confiance à 95 % a été calculé.

Alors que la taille de la plaie artificielle est restée la même tout au long de l'étude, celle des tampons absorbants des pansements a varié de 41,8 cm² à 121 cm² (voir tableau 1). Ainsi, l'humidité totale absorbée et évaporée pour chaque pansement a été calculée. Les calculs de l'humidité absorbée et de l'humidité évaporée ont été effectués par cm² afin de tenir compte de la variabilité des tailles des pansements et comparer de manière plus précise leurs performances. La différence moyenne de température et d'humidité entre l'extérieur ou la surface du tampon du pansement et l'intérieur ou le côté patient du pansement à 175 minutes et sur toute la durée du test a été calculée en moyennant la différence entre la valeur sur le pansement et la valeur sous le pansement pour chaque point de donnée.

RÉSULTATS

L'étude avait quatre objectifs, à savoir mesurer : la quantité d'humidité absorbée ; la quantité d'humidité évaporée à travers la couche externe ; l'humidité sous et à l'extérieur du pansement,

ainsi que la différence entre les deux ; et la température sous et à l'extérieur du pansement ainsi que la différence entre les deux.

La quantité d'humidité absorbée par chaque pansement est présentée dans le tableau 2. Ceci indique l'humidité totale et l'humidité absorbée en g/cm² par pansement, ainsi que la moyenne. La plage des pansements de la catégorie « mousse superabsorbante » variait de 0,22 à 0,34 g. La plage des pansements de la catégorie « polymère superabsorbant » variait de 0,24 à 0,39 g si la valeur hors norme à 0,56 g est exclue. Le pansement de référence était le plus petit en superficie et était de loin le pansement le moins absorbant. La plage des six pansements sur sept utilisés pour l'étude variait de 0,22 à 0,39 g.

La quantité d'humidité évaporée (transpirée ou évaporée) à travers la couche de polyuréthane externe est également présentée dans le tableau 2 et la figure 5. La plage des pansements de la catégorie « mousse superabsorbante » variait de 3,9 à 5,4 g, un écart de 1,5 g, tandis que celle des pansements de la catégorie « mousse superabsorbante » variait de 3,4 à 4,1 g, un écart de juste 0,7 g. En effet, six des sept pansements testés étaient à 0,7 g l'un de l'autre (plage de 3,4 à 4,1 g). Il n'y avait aucune différence significative entre les pansements avec intervalle de confiance à 95 %.

Notez que le tableau 2 indique que la quantité totale d'humidité fournie par le pénétrateur était de 5,9 g. Si l'on additionne l'humidité absorbée et l'humidité évaporée, on constate qu'aucun des pansements n'a enlevé toute l'humidité.

La figure 5 présente sous forme graphique la quantité totale d'humidité absorbée et d'humidité évaporée en g/cm² pour chaque pansement. Les figures 6a et 6b présentent sous forme de graphique l'humidité absorbée et l'humidité évaporée par cm², selon la taille du tampon absorbant, dans l'ordre croissant. Plus le pansement est grand, plus la quantité d'humidité absorbée et évaporée (par cm²) semble diminuée, ce qui semble indiquer que les tampons de plus grande taille sont moins efficaces. Cependant, les pansements de plus grande taille offrent une plus grande superficie d'absorption et d'évaporation de l'humidité et ce graphique n'est pas normalisé pour la taille de la plaie et des pansements.

La figure 7 représente sous forme de graphique l'humidité évaporée par cm² de la superficie de la plaie. Autrement dit, les pansements sont comparés en utilisant une taille de plaie standard (la superficie des trous exposés dans le pénétrateur) et une quantité de vapeur standard, sur une superficie standard. Comparés de cette façon, tous les pansements gèrent environ la même quantité d'humidité, selon leur superficie absorbante.

L'humidité à la fois sous et à l'extérieur du pansement, ainsi que la différence entre les deux, a également été enregistrée. Le tableau 3 indique le pourcentage moyen d'humidité relative à 175 minutes (avant le relâchement de pression) et à 196 minutes (après la réapplication de la pression pendant 15 minutes, à la fin du test), à l'intérieur et à l'extérieur des pansements, et la différence entre les pansements intérieurs et extérieurs, par pansement et par catégorie. À 175 minutes, toutes les lectures d'humidité à l'extérieur des pansements étaient supérieures à l'humidité ambiante (50 %), indiquant une transpiration active à travers les feuilles de support de polyuréthane. La catégorie de pansement « mousse superabsorbante » présentait une humidité moyenne plus élevée, aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur du pansement, par rapport à la catégorie de pansement « polymère superabsorbant ». Cependant, la différence entre l'intérieur et l'extérieur des deux catégories était similaire (11,4 % et 11,4 % respectivement). Le pansement de référence avait un taux d'humidité bien plus élevé, aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur du pansement, avec une différence

Tableau 2 : humidité absorbée par le tampon absorbant et humidité évaporée par pansement en g total et en g/cm² et moyennes mousse superabsorbante et polymère superabsorbant

	Absorbée		Évaporée		Total (g)
	Pansement entier (g)	g/cm ²	Pansement entier (g)	g/cm ²	
Pansements en mousse superabsorbante					
Mepilex® Border	0,22	0,0018	4,0	0,0332	4,23
ALLEVYN Life	0,29	0,0050	5,4	0,0926	5,64
Biatain® Silicone	0,34	0,0047	3,9	0,0537	4,22
Moyenne mousse superabsorbante	0,28	0,0038	4,4	0,0598	4,70
Pansements en polymère superabsorbant					
Vliwasorb® Adhesive	0,39	0,0058	3,7	0,0562	4,12
Cutimed® Sorbion® Sachet Border	0,56	0,0056	4,1	0,0410	4,66
RespoSorb® Silicone	0,31	0,0028	3,4	0,0307	3,70
RespoSorb® Silicone Border	0,24	0,0048	3,4	0,0697	3,64
Moyenne polymère superabsorbant	0,37	0,0048	3,7	0,0495	4,10
Point de Contrôle / référence					
Cosmopor® E Sterile	0,04	0,0009	4,3	0,1027	4,30

de seulement 3,8 % (voir tableau 3 et figure 8). À 196 minutes, la catégorie des pansements à mousse superabsorbante présentait des humidités moyennes plus élevées à l'intérieur et à l'extérieur du pansement que la catégorie des pansements en polymère superabsorbant. Cependant, les différences entre l'intérieur et l'extérieur étaient plus importantes pour la catégorie des pansements en mousse superabsorbante. Le pansement de référence présentait une très petite différence entre l'intérieur et l'extérieur (voir le tableau 3). Les barres d'erreur de la figure 8 ne présentent pas de différences significatives entre les pansements avec IC à 95 %.

La température sous et à l'extérieur du pansement, ainsi que la différence entre les deux, a également été enregistrée. À 175 minutes, les températures moyennes des pansements en mousse superabsorbante, des pansements en polymère superabsorbant et du pansement de référence étaient à moins de 0,9 °C. Les pansements en mousse superabsorbante et les pansements en polymère superabsorbant présentaient de plus grands écarts de températures entre l'intérieur et l'extérieur des pansements que le pansement de référence (voir le tableau 4 et la figure 9). À 196 minutes, les températures moyennes des pansements en polymère superabsorbant et des pansements en mousse superabsorbante à la fois à l'intérieur et à l'extérieur des pansements étaient à moins de 0,2 °C l'une de l'autre. Le pansement de référence était seulement légèrement au-dessous des deux catégories (voir le tableau 4 et la figure 10). Les températures à l'intérieur et à l'extérieur des pansements à 196 minutes variaient de 33,1 à 34,3 °C. La plage de différences de températures entre l'intérieur et l'extérieur des pansements était de 0,4 à 0,8 °C. La différence de températures du contrôle négatif était de seulement 0,2 °C. Il n'y avait pas de différence significative entre les pansements avec intervalle de confiance à 95 %.

DISCUSSION

Cette étude mesure, en laboratoire, les performances relatives des pansements en comparant les résultats à des points-temps spécifiques et moyennés dans le temps. S'il est vrai que la durée du test (plus de 3 heures) est un petit segment de temps comparé à la longueur de temps qu'un patient porte normalement ces types de pansements, ce test nous donne néanmoins une idée de ce que pourraient être les performances de ces pansements l'un par rapport à l'autre sur de plus longues périodes.

Cette méthode a permis de tester comment les pansements gèrent l'humidité provenant d'une exsudation lente et régulière de vapeur. Une altération du tégument dans une plaie de stade II, III ou IV affecte également la régulation de l'échappement de la vapeur d'eau et un pansement doit alors gérer davantage d'humidité. La quantité totale de vapeur peut compromettre le tégument et elle doit donc être également prise en considération au moment d'évaluer les pansements.^{6,19}

Comme escompté, les pansements en polymère superabsorbant et en mousse superabsorbante les plus perfectionnés ont surpassé le pansement « island dressing » de base de point de contrôle/référence dans la plupart des catégories.

Humidité absorbée et humidité évaporée

Les catégories de pansements en polymère superabsorbant et de pansement en mousse superabsorbante ont absorbé beaucoup plus d'humidité dans leur tampon que le pansement de référence, ce qui indique que le matériau en polymère qui les compose absorbe et retient l'humidité et l'empêche de migrer vers la zone périlésionnelle ou vers le lit de la plaie. Six des sept pansements avancés ont absorbé de 0,24 à 0,39 g d'humidité, et un pansement hors norme a absorbé 0,56 g. On attend des pansements qu'ils

Figure 5 : somme de l'humidité absorbée et de l'humidité évaporée par cm² avec intervalle de confiance à 95 %

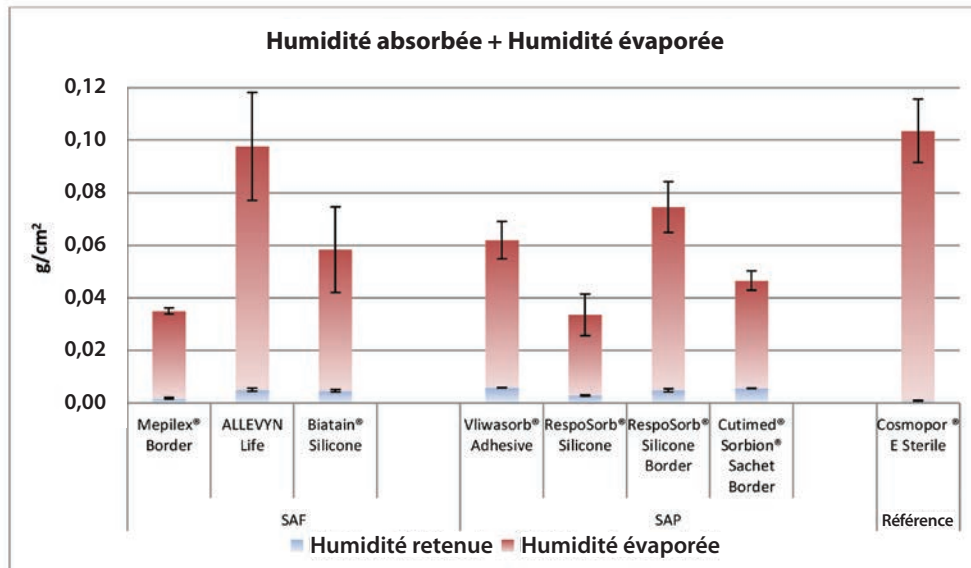
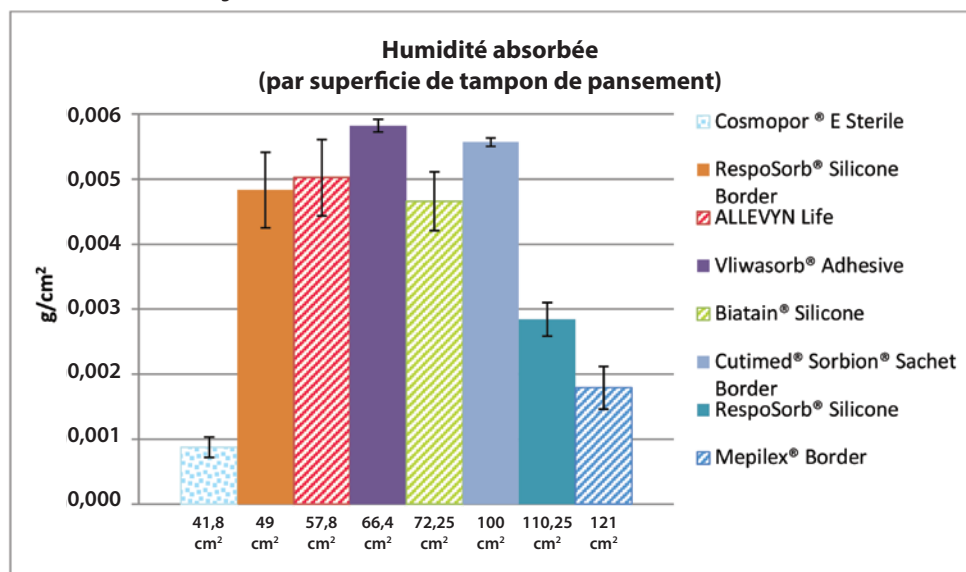


Figure 6 : montrant a) humidité absorbée et b) humidité évaporée par surface du tampon du pansement (sur l'axe X en cm²). Les résultats sont présentés dans l'ordre croissant de taille du tampon absorbant et du pansement. Les pansements en mousse superabsorbante sont représentés par des barres hachurées ; les pansements en polymère superabsorbant par des barres pleines ; le pansement de référence par une barre bleue tachetée.

a) Humidité absorbée en g/cm²



b) Humidité évaporée en g/cm²

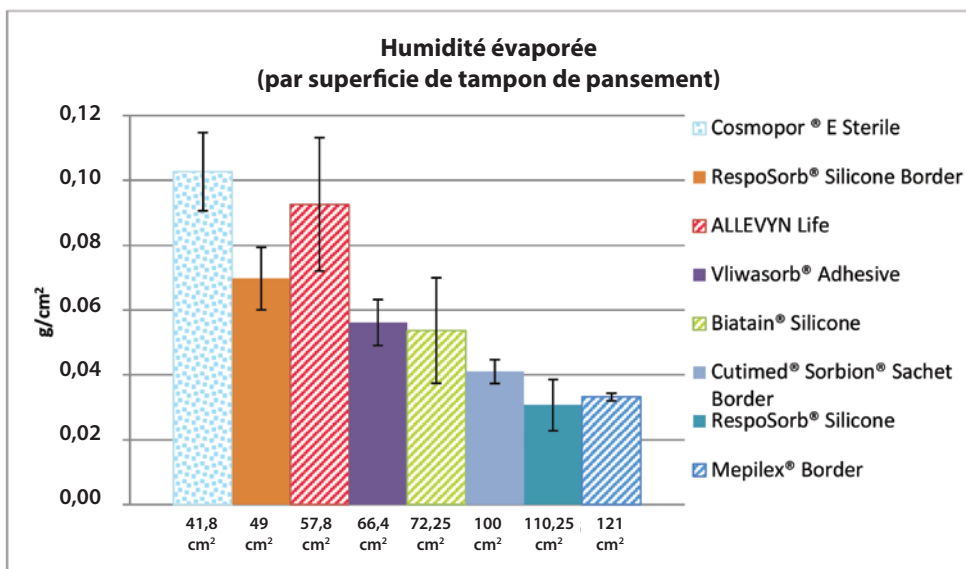
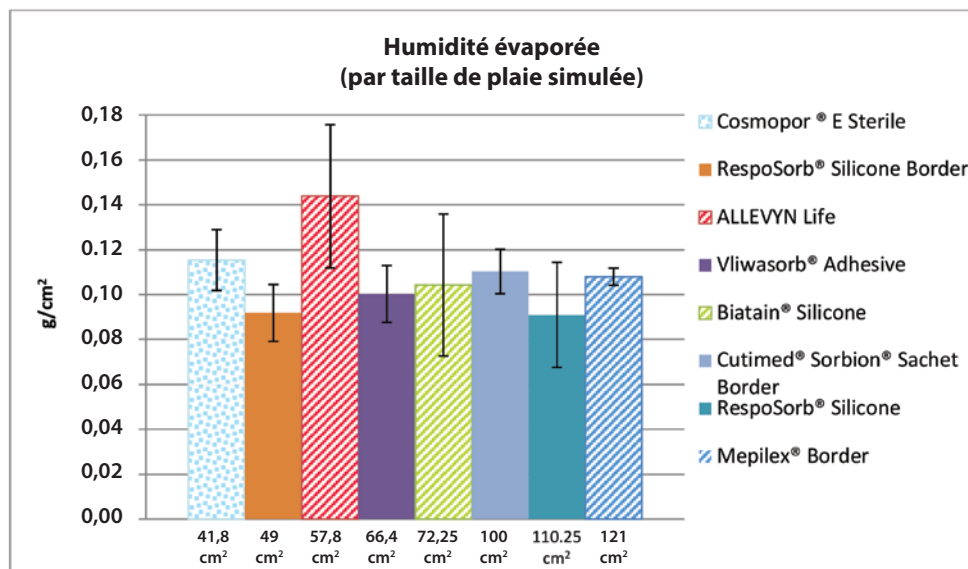


Figure 7 : humidité évaporée de chaque pansement, dans l'ordre de taille de la surface du tampon absorbant.

Les pansements en mousse superabsorbante sont représentés par des barres hachurées ; les pansements en polymère superabsorbant par des barres pleines ; le pansement de référence par une barre bleue tachetée.



absorbent suffisamment pour empêcher une macération du lit de la plaie, mais pas trop pour éviter de l'assécher. Pour assécher une plaie, un pansement devrait absorber et transpirer toute l'humidité qui lui est fournie. Aucun de ces pansements ne l'a fait et de ce fait, le total de l'humidité pour chaque pansement du tableau 2 n'est pas égal à l'humidité totale fournie par le pénétrateur, à savoir 5,9 g. Il semble, à en croire ces résultats, que l'absorption des pansements en polymère superabsorbant et en mousse superabsorbante est efficace et qu'ils n'assècheront pas une plaie qui exsude au niveau modéré du montage de test. Le pansement ALLEVYN Life est celui qui a absorbé et transpiré le mieux tout le fluide fourni.

La même quantité d'humidité a été fournie sur tous les pansements. Le plus petit pansement est celui qui a absorbé le moins d'humidité et laissé évaporer le plus d'humidité. Cela est prévisible puisque la taille de la plaie est restée constante, laissant le ratio de la superficie du pansement artificiel fournissant l'humidité à la superficie du pansement disponible pour la transpirer considérablement plus grand pour les plus grands pansements. Les plus grands pansements peuvent absorber et retenir davantage d'humidité et le polymère

a emprisonné cette humidité de sorte qu'elle ne pouvait pas s'échapper et ne l'a donc pas fait. Les plus grands pansements peuvent également répartir et diffuser l'humidité sur une plus grande surface.

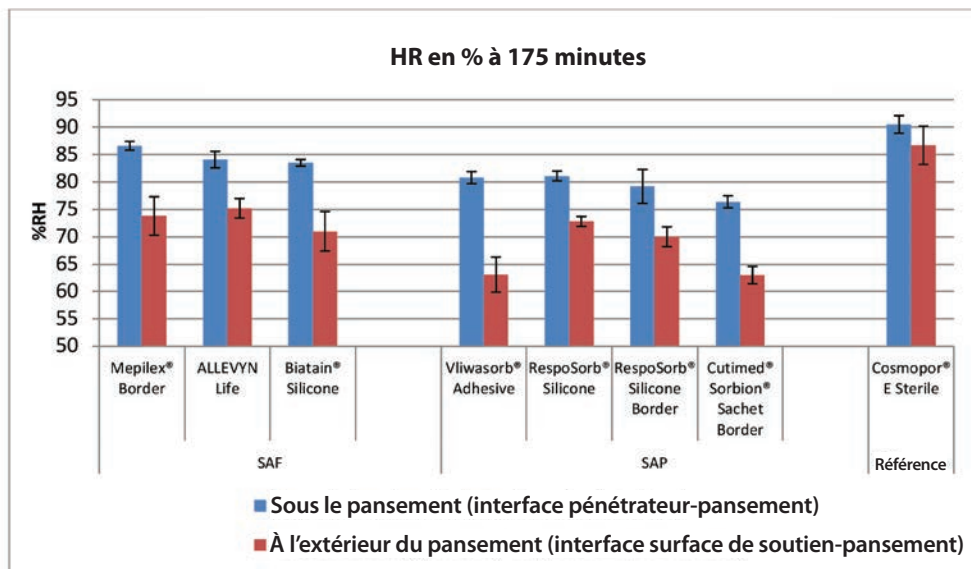
La catégorie des pansements en mousse superabsorbante, celle des pansements en polymère superabsorbant et le pansement de référence n'étaient pas très différents en termes de quantité de fluide évaporé ou transpiré depuis la plaie avec intervalle de confiance à 95 % (voir la figure 6b). Lorsque l'humidité évaporée est illustrée en fonction de l'humidité fournie et de la surface du tampon en g/cm², les pansements avancés sont très similaires (voir la figure 7). La taille des pansements peut influencer les résultats. Cependant, lorsque les résultats sont exprimés en g/cm² afin de comparer des pansements de différentes tailles, les différences sont minimes. Cela rend l'interprétation plus difficile.

Ce test a été effectué en accord avec d'autres tests (publiés et non publiés) qui ont démontré des différences saisissantes dans la gestion de l'humidité entre des pansements avancés.^{6, 12} Cela

Tableau 3 : pourcentage moyen d'humidité relative à 175 et à 196 minutes

	Humidité relative à 175 min			Humidité relative à 196 min		
	En dessous	En dehors	Différence	En dessous	En dehors	Différence
Mepilex Border	86,6	73,8	12,8	82,9	67,7	15,2
ALLEVYN Life	84,1	75,2	8,9	79,8	68,6	11,2
Biatain Silicone	83,5	71	12,5	79,2	66,2	14
Moyenne mousse superabsorbante	84,7	73,3	11,4	80,6	67,2	13,5
Vliwasorb Adhesive	80,8	63,1	17,7	76	58,2	17,7
RespoSorb Silicone	81,1	72,8	8,3	77,7	69	8,7
RespoSorb Silicone Border	79,2	70	9,2	76,3	65,5	10,8
Cutimed	76,4	63	13,4	71,9	58,2	13,7
Moyenne polymère superabsorbant	79,4	67,2	12,2	75,5	62,7	11,7
Cosmopor (référence)	90,5	86,7	3,8	87,6	83,4	4,2

Figure 8 : pourcentage d'humidité relative à 175 minutes présenté sous forme de graphique avec des barres à IC à 95 %



a incité les fabricants à améliorer leurs produits ainsi que les polymères et les feuilles de support perméables à la vapeur utilisés dans les pansements, ce qui a peut-être donné lieu à une plus grande uniformité des structures de pansements et à la similarité des capacités de gestion apparentes parmi les pansements testés.

Humidité et température

Des valeurs d'humidité et de température spécifiques définissant les conditions optimales du microclimat n'ont toujours pas été déterminées par des recherches cliniques ou en laboratoire. Les pansements doivent maintenir le lit de la plaie modérément chaud et humide, ni trop humide, ni trop sec, ni trop chaud, ni trop froid, relativement aux conditions dermiques ou sous-dermiques corporelles normales de chaque patient et à l'atmosphère externe. Des niveaux plus élevés d'humidité peuvent avoir un impact négatif sur l'environnement de la plaie, tout comme ils fragilisent la peau saine.¹ La couche cornée (CC) est en équilibre hydrique à une humidité ambiante de 40 - 60 %, mais au-dessus de 60 %, elle absorbe l'eau à des taux qui augmentent de manière

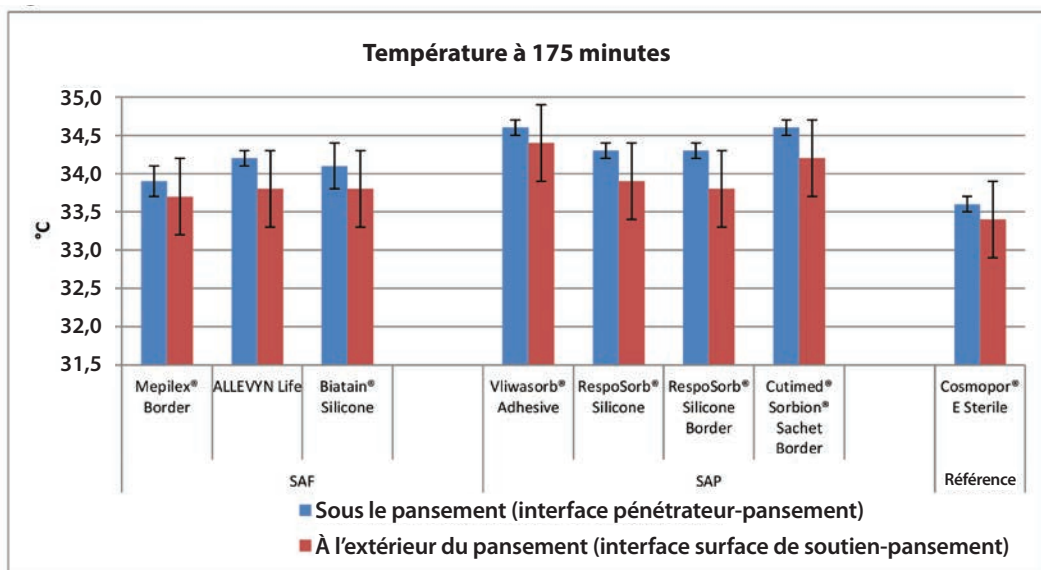
disproportionnée.²⁰⁻²² Les résultats de Wildnauer indiquent qu'une humidité relative supérieure à 60 % influence le plus la réduction des forces de cohésion internes dans la CC.²³

À 175 minutes, l'humidité relative sous tous les pansements se situait à plus de 75 %, avec une plage de 83,5 à 86,6 % pour les pansements en mousse superabsorbante et de 76,4 à 81,1 % pour les pansements en polymère superabsorbant. Il est raisonnable de considérer ces valeurs comme étant humides. Les pansements à l'intérieur desquels les humidités sont plus élevées (comme c'est le cas pour les pansements en mousse superabsorbante et le pansement de référence avec 90,5 %) présentent un risque de surhydratation éventuelle du lit de la plaie ou de la zone périlésionnelle. À 175 minutes, les lectures d'humidité de tous les pansements étaient plus basses à l'extérieur du pansement qu'à l'intérieur, comme prévu. Tous les niveaux d'humidité à l'extérieur des pansements étaient supérieurs à l'humidité ambiante, ce qui indique que la feuille de support de polyuréthane évapore ou transpire vraiment le fluide. Il existait également une corrélation entre

Tableau 4 : température moyenne à 175 et à 196 minutes

	Température à 175 min			Température à 196 min		
	En dessous	En dehors	Différence	En dessous	En dehors	Différence
Mepilex Border	38,9	33,7	0,2	33,5	33,1	0,4
ALLEVYN Life	34,2	33,8	0,4	33,9	33,2	0,6
Biatain Silicone	34,1	33,8	0,4	33,9	33,4	0,6
Moyenne mousse superabsorbante	34,1	33,8	0,3	33,8	33,2	0,5
Vliwasorb Adhesive	34,6	34,4	0,2	34,3	33,9	0,4
RespoSorb Silicone	34,3	33,9	0,3	33,7	33,1	0,6
RespoSorb Silicone Border	34,3	33,7	0,6	33,9	33,1	0,8
Cutimed	34,6	33,2	0,4	34,1	33,6	0,5
Moyenne polymère superabsorbant	34,5	34,1	0,4	34	33,4	0,6
Cosmopor (référence)	33,6	33,4	0,1	33	32,8	0,2

Figure 9 : schéma des températures moyennes à 175 minutes avec barres à intervalle de confiance à 95 %



l'humidité relative sous le pansement et l'humidité absorbée par le tampon du pansement. Une plus faible absorption de l'humidité par le tampon était corrélée à une plus grande humidité sous le pansement (coefficient de corrélation de Pearson = -0,83).

Le relâchement complet de pression à 176 minutes a suspendu le pénétrateur et le pansement testé dans l'air et a permis un échange de chaleur et d'humidité avec l'environnement. La figure 11 présente sous forme graphique les résultats obtenus avec l'un des pansements, le RespoSorb® Silicone, sur les 196 minutes du test. Ceci illustre le parcours similaire observé pour tous les autres pansements. Les températures et les humidités ont augmenté au début de la collecte des données, puis les températures ont éventuellement plafonné tandis que les humidités continuaient d'augmenter. Les deux valeurs ont brusquement chuté lorsque le pénétrateur a été soulevé pendant le relâchement de pression de 45 secondes, puis augmenté pour atteindre ou se rapprocher de leurs niveaux avant le soulèvement. Le fait qu'un relâchement de pression puisse avoir un effet aussi rapide, mesurable et significatif, à la fois sur l'humidité et la chaleur est impressionnant et démontre

les bénéfices de changements fréquents de position, au-delà de la simple prise en compte de la pression et du cisaillement. Quinze minutes après le relâchement de pression effectué à 196 minutes, tous les niveaux d'humidité étaient supérieurs à 70 %, ceux du pansement de référence étant les plus élevés à 87,6 %. Il semble que la vapeur d'eau s'échappe plus facilement qu'elle n'est emprisonnée car, 15 minutes après le soulèvement, toutes les valeurs avaient retrouvé leurs niveaux mesurés à 175 minutes.

Les deux catégories de pansements ont maintenu le lit de la plaie relativement chaud, comme l'indiquent des températures plus basses à l'extérieur du pansement qu'à l'intérieur. Cela est propice à la cicatrisation des plaies car elles étaient toutes dans la plage recommandée de 33-35 °C⁷. Selon Yusuf et al.²⁴, une différence de température de la peau de seulement 0,3 °C était un prédicteur d'ulcère de pression. S'il est vrai que cette mesure n'est pas celle du lit de la plaie, elle indique qu'une légère différence de température de la peau peut causer une lésion. La plage de températures à l'intérieur des pansements était de 1 °C à 175 minutes et de 0,8 °C à 196 minutes. Ces plages pourraient donc être problématiques.

Figure 10 : schéma des températures moyennes à 196 minutes avec barres à intervalle de confiance à 95 %

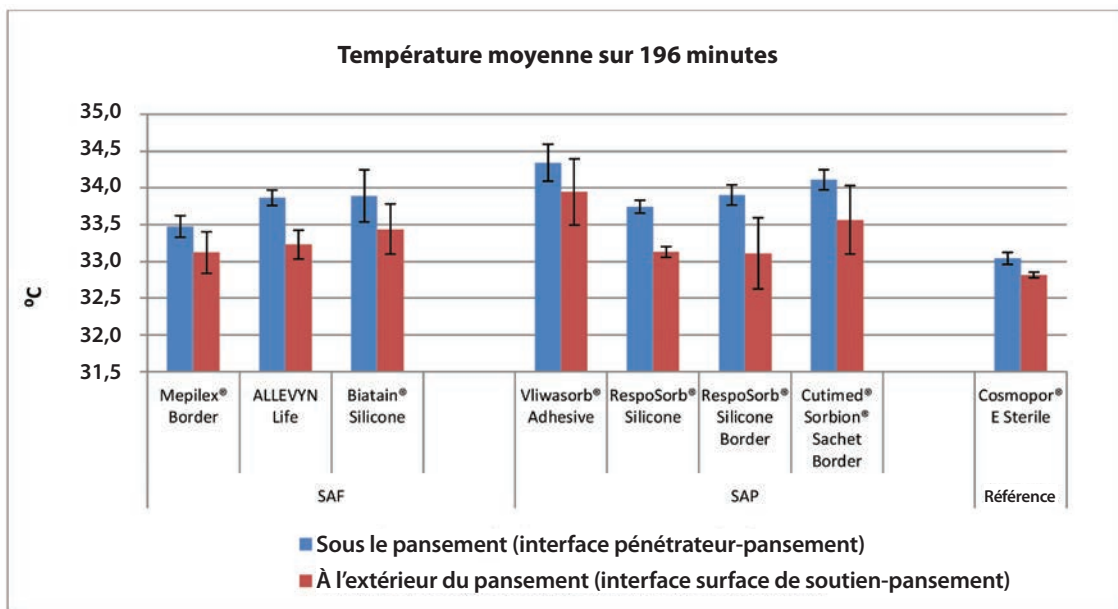
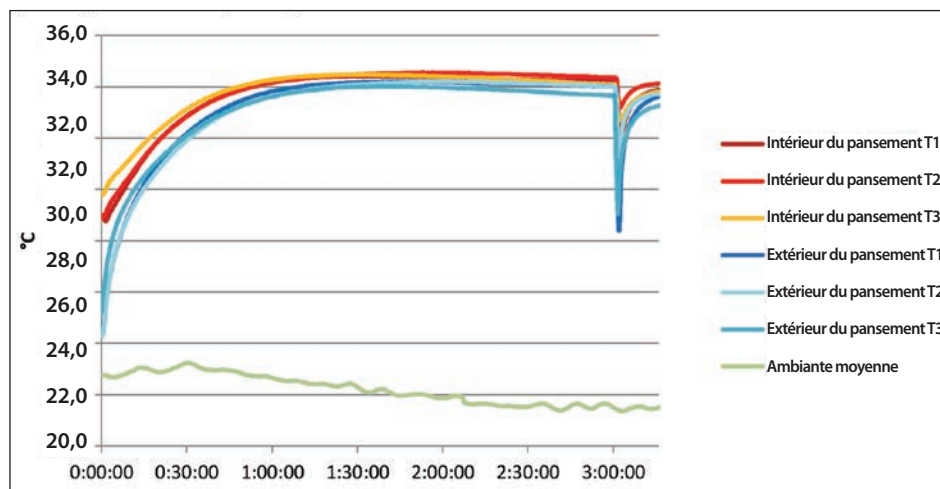
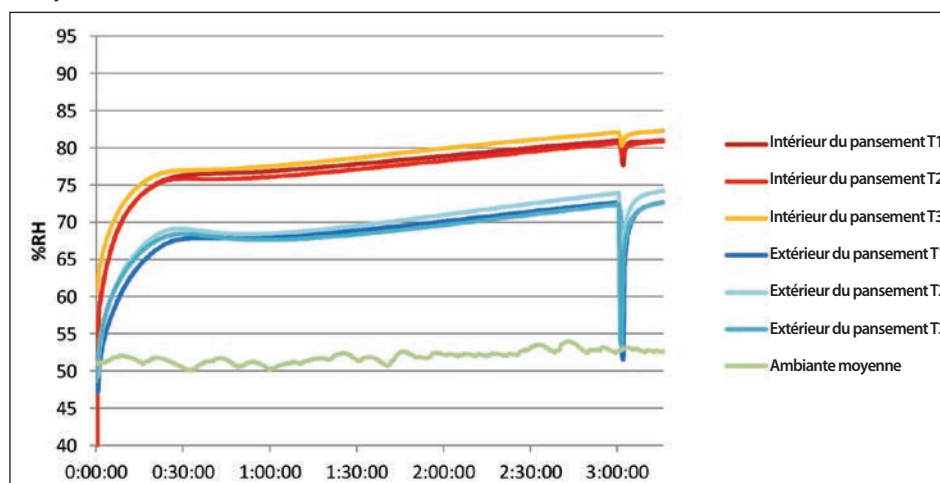


Figure 11 : trajectoire du test du RespoSorb® Silicone comme exemple de a) la température et de b) l'humidité sur la durée du test

A) Trajectoire de la température



b) Trajectoire de l'humidité



Bien que l'étude de Yusuf n'apporte pas la preuve d'une causalité, nous devons être attentifs à l'effet potentiel de la température sur l'intégrité des tissus.

Les différences de température sont cumulatives. La rapidité avec laquelle la température baisse après un relâchement de pression peut influencer sur cette accumulation. Une petite différence accumulée au fil du temps peut faire une grande différence. Les baisses de température à 175 et à 196 minutes par pansement étaient plus importantes pour les deux pansements RespoSorb®.

Limitations

Il serait intéressant de réaliser cette étude sur un modèle de plaie extrêmement exsudative au lieu d'un modèle de peau intacte exsudant de la vapeur afin d'examiner de manière plus précise la performance des pansements dans des conditions normales d'utilisation.

CONCLUSION

Cette étude in vitro a permis de conclure que les pansements en mousse superabsorbante et les pansements en polymère superabsorbant semblent être tout aussi efficaces pour maintenir un microclimat chaud et humide au niveau du lit de la plaie afin

d'en améliorer la cicatrisation. Ils absorbent davantage d'humidité par cm^2 et évaporent ou transpirent davantage d'humidité que les pansements de base. La couche en mousse des pansements en mousse superabsorbante ne semble pas améliorer les conditions microclimatiques du lit de la plaie comparé aux pansements en polymère superabsorbant sans couche en mousse. Ni les pansements en mousse superabsorbante, ni les pansements en polymère superabsorbant ne dessèchent le lit de la plaie comme le terme « superabsorbant(e) » peut le suggérer. Cette étude a également démontré qu'un relâchement périodique de la pression réduit sensiblement la température et l'humidité du lit de la plaie, ce qui améliore la fonction du pansement et peut augmenter la cicatrisation de la plaie.

CONFLIT D'INTÉRÊTS

Les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêts.

FINANCEMENT

Cette étude a été financée par Paul Hartmann AG, Heidenheim, Allemagne, fabricant du RespoSorb® Silicone et du RespoSorb® Silicone Border.

RÉFÉRENCES

1. Woo KY, Beeckman D, Chakravarthy D. Management of moisture-associated skin damage: a scoping review. *Adv Skin Wound Care* 2017;30(11):494–501.
2. Seaman S. Dressing selection in chronic wound management. *J Am Podiatr Med Assoc* 2002;92(1):24–33.
3. Winter GD, Scales JT. Effect of air drying and dressings on the surface of a wound. *Nature* 1963;197:91–2.
4. Rippon MG, Ousey K, Cutting KF. Wound healing and hyper-hydration: a counterintuitive model. *J Wound Care* 2016;25(2):68, 70–5.
5. World Union of Wound Healing Societies. Wound exudate: effective assessment and management: WUWHS consensus document. London (UK): Wounds International; 2019.
6. Kottner J, Black J, Call E, Gefen A, Santamaria N. Microclimate: a critical review in the context of pressure ulcer prevention. *Clin Biomech*;2018;59:62–70.
7. Dini V, Salvo P, Janowska A, Di Francesco F, Barbini A, Romanelli M. Correlation between wound temperature obtained with an infrared camera and clinical wound bed score in venous leg ulcers. *Wounds* 2015;27(10):274–8.
8. Salvo P, Dini V, Kirchhain A, Janowska A, Oranges T, Chiricozzi A, et al. Sensors and biosensors for C-reactive protein, temperature and pH, and their applications for monitoring wound healing: a review. *Sensors*;2017;17(12).
9. Woo KY, Sibbald RG. The ABCs of skin care for wound care clinicians: dermatitis and eczema. *Adv Skin Wound Care* 2009;22(5):230–6; quiz 7–8.
10. Bolton LL, Johnson CL, van Rijswijk L. Occlusive dressings: therapeutic agents and effects on drug delivery. *Clin Dermatol* 1992;9.
11. European Standards. Test methods for primary wound dressings. Part 1: aspects of absorbency. Brussels (Belgium): European Committee for Standardization; 2002.
12. Call E, Pedersen J, Bill B, Oberg C, Ferguson-Pell M. Microclimate impact of prophylactic dressings using in vitro body analog method. *Wounds* 2013;25(4):94–103.
13. ISO. ISO 554:1976E Standard atmospheres for conditioning and/or testing: specifications. Geneva (Switzerland): International Organization for Standardization; 1976.
14. Ferguson-Pell M, Hirose H, Nicholson G, Call E. Thermodynamic rigid cushion loading indenter: a buttock-shaped temperature and humidity measurement system for cushioning surfaces under anatomical compression conditions. *J Rehabil Res Dev* 2009;46(7):945–56.
15. Call E, Pedersen J, Bill B, Black J, Alves P, Brindle CT, et al. Enhancing pressure ulcer prevention using wound dressings: what are the modes of action? *Int Wound J* 2015;12(4):408–13.
16. ANSI/RESNA. ANSI/RESNA SS-1-2019 for support surfaces volume 1: requirements and test methods for full body support surfaces. Arlington (USA): Rehabilitation Engineering and Assistive Technology Society of North America; 2019.
17. Figliola RS. A proposed method for quantifying low-air-loss mattress performance by moisture transport. *Ostomy Wound Manage* 2003;49(1):32–42.
18. Reger SI, Adams TC, Maklebust JA, Sahgal V. Validation test for climate control on air-loss supports. *Arch Phys Med Rehabil* 2001;82(5):597–603.
19. Phipps L, Gray M, Call E. Time of onset to changes in skin condition during exposure to synthetic urine: a prospective study. *J Wound Ostomy Continence Nurs* 2019;46(4):315–20.
20. Imhof RE, De Jesus ME, Xiao P, Ciortea LI, Berg EP. Closed-chamber transepidermal water loss measurement: microclimate, calibration and performance. *Int J Cosmet Sci* 2009;31(2):97–118.
21. Li X, Johnson R, Kasting GB. On the variation of water diffusion coefficient in stratum corneum with water content. *J Pharm Sci* 2016;105(3):1141–7.
22. Petrofsky JS, Berk L, Alshammari F, Lee H, Hamdan A, Yim JE, et al. The interrelationship between air temperature and humidity as applied locally to the skin: the resultant response on skin temperature and blood flow with age differences. *Med Sci Monit* 2012;18(4):CR201–8.
23. Wildnauer RH, Bothwell JW, Douglass AB. Stratum corneum biomechanical properties: I. Influence of relative humidity on normal and extracted human stratum corneum. *J Investig Dermatol* 1971;56(1):72–8.
24. Yusuf S, Okuwa M, Shigeta Y, Dai M, Iuchi T, Rahman S, et al. Microclimate and development of pressure ulcers and superficial skin changes. *Int Wound J* 2015;12(1):40–6.