



Version Française



Jacques Jumeau

Technologie des composants utilisés dans le chauffage.

Chapitre 12

Introduction technique aux éléments chauffants souples



Première partie :
Essais divers de réchauffage

1. Quelles sont les différences entre les couvertures et manteaux chauffants industriels et les couvertures chauffantes domestiques ?

Vocabulaire :

- Un manteau chauffant industriel comporte un système de serrage permettant de le fixer sur la paroi verticale d'un réservoir

- Une couverture chauffante industrielle est destinée à être posée sur une surface horizontale, elle ne comporte pas de sangles ou de boucles de fixation, mais uniquement des anneaux sur son pourtour permettant sa fixation éventuelle.

Ce sont les seules différences entre ces deux produits.

Bien que ces équipements ressemblent à des couvertures chauffantes domestiques, leur conception et leurs performances en sont fort éloignées et leur technologie nettement plus élaborée. On peut citer en particulier les points de différence suivants :

1/- Une gamme de température de fonctionnement plus large, de -40 à +120°C (et jusqu'à 200°C pour certains modèles) au lieu de +20 à +50°C

2/- Un maillage du réseau de fils chauffants plus serré au pas de 20mm au lieu de 50 à 70mm, donnant une meilleure homogénéité de température et évitant les surchauffes locales si le transfert thermique est mauvais

3/ Une gamme de puissance plus élevée : 50 à 150W qui correspondent à une puissance surfacique de 0.04W/cm² à 0.06W/cm² pour les couvertures domestiques, contre 140 à 4400W soit de 0.05W/cm² à 0.135W/cm² pour les couvertures et manteaux industriels

4/ Une forte isolation thermique pour éviter les déperditions vers l'extérieur et améliorer leur performances énergétiques

5/ Une conception de l'isolation thermique et électrique résistant à la chaleur, à l'absorption d'eau, et résistant aux jets d'eau (IP65), très rarement atteint dans la plupart des modèles domestiques

6/ Une résistance d'isolement électrique au minimum 10 fois plus élevée que les couvertures domestiques

7/ Une mise à la terre totale par une tresse métallique extérieure aux cordons chauffants, formant une protection mécanique et assurant la mise à la terre en cas de perforation ou de court-circuit. Cette protection est inexistante sur les couvertures domestiques.

8/ Une protection thermique de la température de surface avec action anticipatrice pour éviter la surchauffe de la paroi, pour permettre l'utilisation sur des récipients en verre, en matière plastique ou en métal

9/ Une fixation sur les récipients par sangles et boucles de sécurité permettant un serrage efficace, facile à régler, et incorporant une capuche souple se refermant au-dessus, assurant le maintien en position sans glissement.

10/ Un grand choix de méthodes de contrôle de température :

- Chauffage en fonction de la température extérieure (fonction antigel),

- Chauffage en fonction de la température de surface du réservoir,

- Chauffage en fonction de la température au centre du volume de produit à réchauffer (A utiliser en complément du chauffage en fonction de la température de surface).

Ces systèmes de contrôle de température, dans leurs versions électroniques assurent une montée en température régulière optimisée et sans surchauffe

11/ Une large gamme d'accessoires : couvercles isolants, isolateur de sol, mélangeur à vitesse réglable, disjoncteur différentiel.

2. Paramètres agissant sur la durée de la montée en température

La question la plus habituelle que les utilisateurs posent est : « Quel est le temps nécessaire pour que votre couverture réchauffe mon fût ou mon conteneur ».

Pour pouvoir répondre à cette question un certain nombre de paramètres doivent être étudiés et les principaux sont :

- Le volume total chauffé.

Pour une puissance donnée un grand volume chauffera moins vite qu'un petit volume.

- La puissance totale appliquée.

Une puissance plus importante chauffera en principe plus vite.

- La répartition de la puissance.

Un chauffage réparti sur toute la masse ou sur toutes les parois chauffera plus vite qu'un chauffage localisé sur une faible surface du réservoir.

- La conductibilité thermique du liquide.

Plus le liquide a une conductibilité thermique importante, plus vite la chaleur se transmet à la totalité de la masse.

- La capacité calorifique du liquide.

La capacité calorifique représentant l'énergie qu'il faut appliquer à une masse de liquide pour l'échauffer, les liquides avec une capacité calorifique faible (huile par exemple) chaufferont, à puissance égale, plus vite que ceux avec une capacité calorifique élevée comme l'eau.

- La viscosité cinématique (v) du liquide.

Plus un liquide est visqueux, moins il y a de courants de convection. Donc l'énergie calorifique s'y transmet moins vite. Il peut être nécessaire dans certains cas d'ajouter un appareil de brassage pour des produits visqueux peu conducteurs.

- L'isolation thermique.

En éliminant les pertes thermiques vers l'extérieur, on concentre l'énergie calorifique sur le réservoir. Un réservoir isolé chauffera donc plus vite. L'addition de couvercle et de fond isolant réduit aussi la durée de chauffage

- La température de départ du produit, et bien sûr la température à atteindre.

Plus l'écart entre les deux est important, plus le temps de chauffe est long

- Le type de régulation de température :

La régulation de température peut réduire la puissance fournie au réservoir à proximité du point de consigne (régulation PID), et donc ralentir le chauffage, mais en supprimant les surchauffes. Une régulation tout ou rien ne ralentira pas la montée en température, mais risque de provoquer des surchauffes. Dans la plupart des cas, et parce que la régulation se fait en fonction de la température de la paroi, la meilleure régulation sera de type tout ou rien avec anticipation. En particulier un mauvais positionnement du capteur de température, par exemple au milieu du liquide réchauffé, augmente le risque de surchauffe des parois, en raison du temps mis par l'énergie calorifique à atteindre le centre du conteneur.

- La température maximale admissible sur la paroi :

Les sécurités thermiques installées dans les couvertures chauffantes, limitent la température atteinte par l'élément chauffant ou la paroi du conteneur afin d'éviter leur destruction par surchauffe. Cette limitation peut augmenter la durée du chauffage, en particulier lorsque les échanges thermiques avec le liquide sont mauvais, en raison de la conductibilité thermique de la paroi du conteneur, de celle du liquide ou de sa viscosité.

- Le type de chauffage :

Il peut être, selon les fournisseurs, par conduction, par rayonnement, et même par induction.

La solution par conduction est la plus courante et la plus économique.

- La matière des parois du conteneur :

Les tonneaux peuvent être métalliques, en acier peint ou en acier inoxydable. Bien qu'ayant une conductibilité thermique très différente, ces matières supportent des températures de surface supérieures à 100°C.

Il existe de plus en plus de tonneaux et conteneurs en matière thermoplastique, obtenus par différents modes de moulage, mais qui ont toutes en commun leur ramollissement lorsque la température augmente. La plus courante dans les fûts et les IBC pour un usage industriel est le PEHD (polyéthylène haute densité), souvent donné pour une température maximale de 80°C, mais on rencontre aussi du Polypropylène, du Polyamide, du PBT et de nombreux autres thermoplastiques. En règle générale, pour des conteneurs plastiques, la température de surface ne doit pas excéder 70°C et 50°C pour les dame-jeanne en verre

- L'accès à la surface du conteneur :

Le meilleur cas de figure est lorsque la couverture chauffante est en contact direct avec la paroi du récipient. Le plus mauvais cas de figure se présente lorsqu'il existe une couche d'air entre la paroi de la couverture et celle du récipient. Cette dernière configuration est la plus souvent observée dans les IBC, car ceux-ci sont souvent renforcés par une cage métallique externe qui empêche le contact direct avec la paroi.

- Gradient thermique entre le centre et le fond du réservoir :

Ce gradient thermique peut atteindre 20°C, et la température couramment de 15 à 17°C plus basse dans le fond du réservoir dans le cas de fûts métalliques de 55 gallons chauffés entre 80 et 100°C sans agitation. Lorsque les récipients métalliques

Introduction technique aux éléments chauffants souples

sont posés à même le sol sans isolation thermique du sol, cet écart est augmenté de plusieurs degrés.

- Gradient thermique entre température de paroi de la couverture chauffante et le centre du réservoir :

Ce gradient thermique est fonction de la conductibilité de la paroi du réservoir, de la conductibilité thermique du liquide et du temps de chauffe ou de maintien en température et des courants de convection dans le liquide. En l'absence d'agitation, ou de régulation corrigée en fonction de la température au centre du liquide, des différences de 10 à 30°C sont couramment constatées. C'est la raison pour laquelle nous avons réalisés certains des essais avec agitateur. La régulation en fonction de la température au centre permet de stopper un cycle de réchauffage lorsque le produit a atteint une température précise en son centre, **mais ne peut se substituer au réchauffage en fonction de la température des parois.**

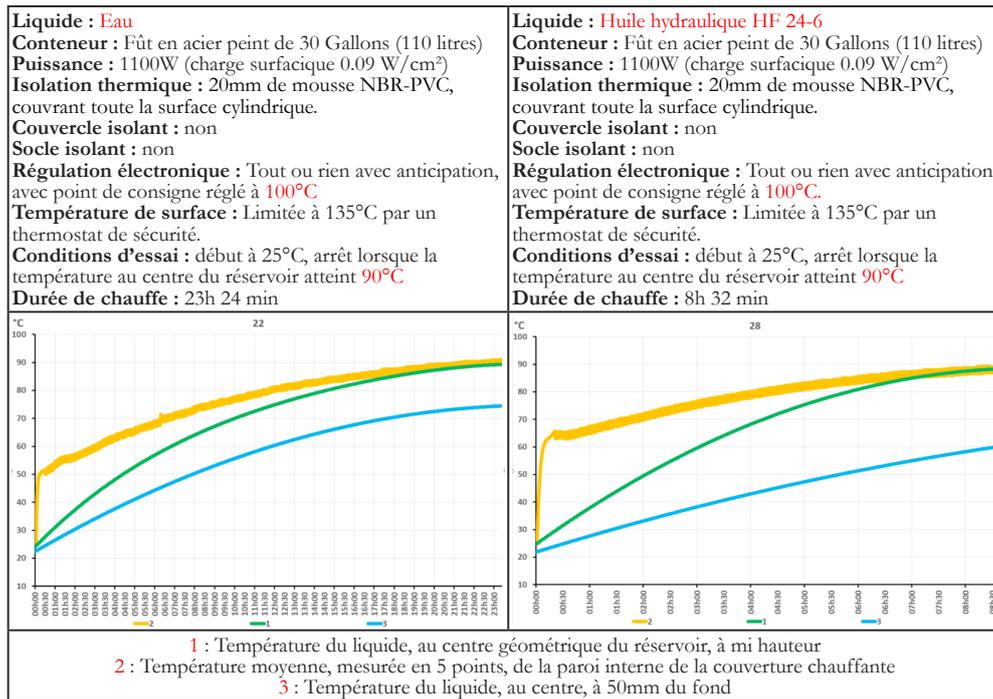
3. Exemples de temps de chauffage de conteneurs les plus usuels dans des configurations différentes.

3-1. Avec des conteneurs en plastique de petite contenance

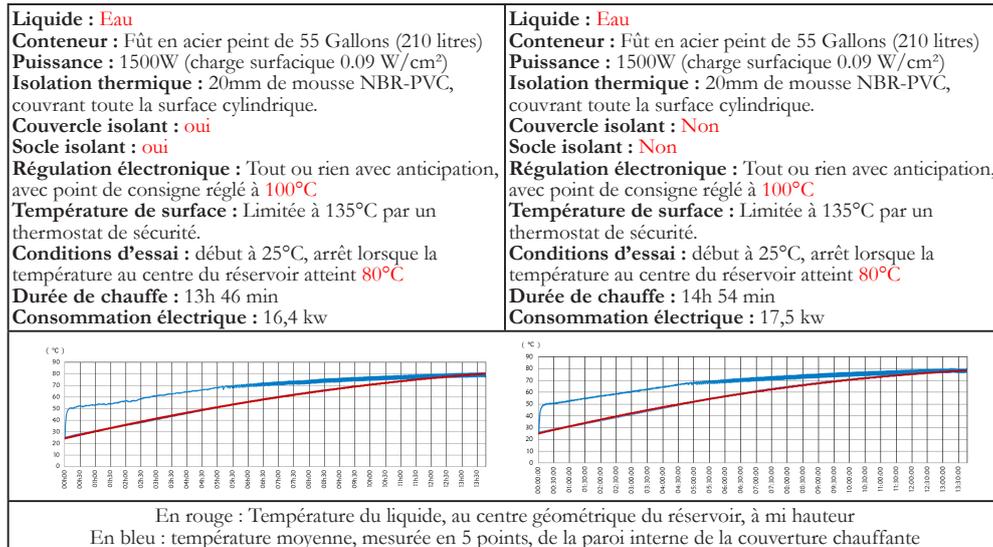
<p>Liquide : Eau Conteneur : Bidon plastique PEHD de 20 litres Puissance : 150W (Charge surfacique 0.05 W/cm²) Isolation thermique : 20mm de mousse NBR-PVC, couvrant toute la surface cylindrique. Couvercle isolant : non Socle isolant : non Régulation électronique : Tout ou rien avec anticipation, avec point de consigne réglé à 60°C Température de surface : Limitée à 60°C par un thermostat de sécurité. Conditions d'essai : début à 25°C, arrêt lorsque la température au centre du réservoir atteint 50°C Durée de chauffe : 15h29 min</p>	<p>Liquide : Huile hydraulique HF 24-6 Conteneur : Bidon plastique PEHD de 20 litres Puissance : 150W (Charge surfacique 0.05 W/cm²) Isolation thermique : 20mm de mousse NBR-PVC, couvrant toute la surface cylindrique. Couvercle isolant : non Socle isolant : non Régulation électronique : Tout ou rien avec anticipation, avec point de consigne réglé à 60°C Température de surface : Limitée à 60°C par un thermostat de sécurité. Conditions d'essai : début à 25°C, arrêt lorsque la température au centre du réservoir atteint 50°C Durée de chauffe : 8h 19 min</p>
<p style="text-align: center;">1 : Température du liquide, au centre géométrique du réservoir, à mi hauteur 2 : Température moyenne, mesurée en 5 points, de la paroi interne de la couverture chauffante 3 : Température du liquide, au centre, à 50mm du fond</p>	
<p>Liquide : Eau Conteneur : Bidon plastique PEHD de 60 litres Puissance : 300W (Charge surfacique 0.05 W/cm²) Isolation thermique : 20mm de mousse NBR-PVC, couvrant toute la surface cylindrique. Couvercle isolant : non Socle isolant : non Régulation électronique : Tout ou rien avec anticipation, avec point de consigne réglé à 60°C. Température de surface : Limitée à 60°C par un thermostat de sécurité. Conditions d'essai : début à 25°C, arrêt lorsque la température au centre du réservoir atteint 50°C Durée de chauffe : 11h 30 min</p>	<p>Liquide : Huile hydraulique HF 24-6 Conteneur : Bidon plastique PEHD de 60 litres Puissance : 300W (Charge surfacique 0.05 W/cm²) Isolation thermique : 20mm de mousse NBR-PVC, couvrant toute la surface cylindrique. Couvercle isolant : non Socle isolant : non Régulation électronique : Tout ou rien avec anticipation, avec point de consigne réglé à 60°C. Température de surface : Limitée à 60°C par un thermostat de sécurité. Conditions d'essai : début à 25°C, arrêt lorsque la température au centre du réservoir atteint 50°C Durée de chauffe : 9h 03 min</p>
<p style="text-align: center;">1 : Température du liquide, au centre géométrique du réservoir, à mi hauteur 2 : Température moyenne, mesurée en 5 points, de la paroi interne de la couverture chauffante 3 : Température du liquide, au centre, à 50mm du fond</p>	

Introduction technique aux éléments chauffants souples

3-2 Avec des conteneurs en acier

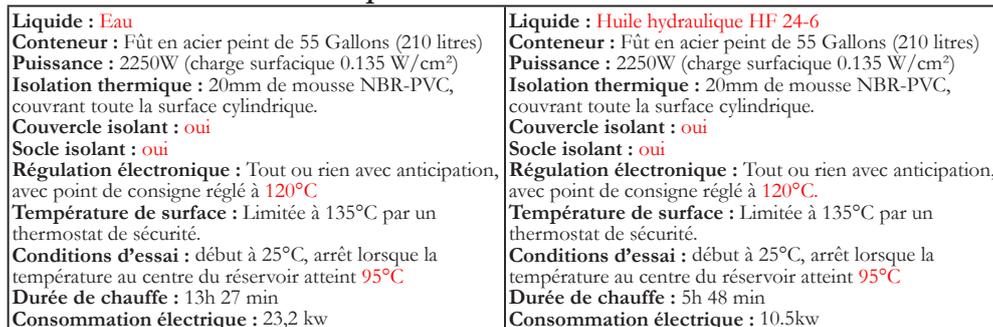


Incidence de l'utilisation d'un fond et d'un couvercle isolant

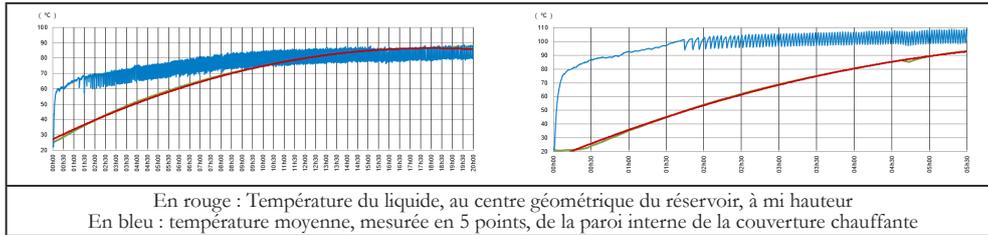


Analyse des résultats : l'utilisation d'un fond et d'un couvercle isolant diminuent la durée de chauffe de 1h 8 minutes et la consommation de 1.1kw, soit 6.3%

Différences de temps de chauffe entre de l'eau et de d'huile

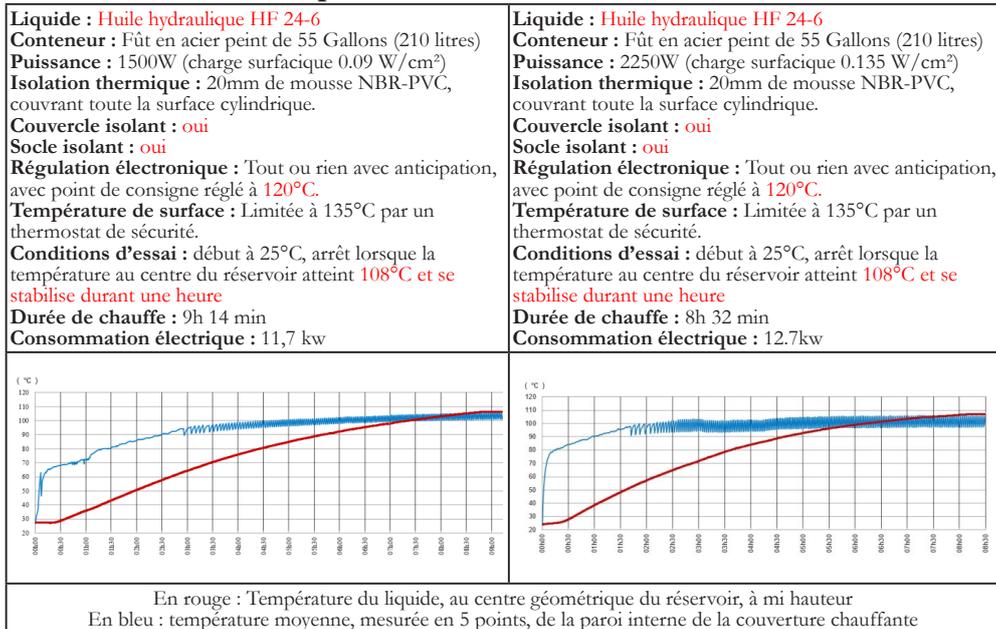


Introduction technique aux éléments chauffants souples



Analyse des résultats : dans les mêmes conditions de puissance et de réglage, il faut 807 minutes pour chauffer de l'eau et 348 minutes pour chauffer de l'huile, **soit un rapport de 0.43**. La consommation électrique est diminuée dans un **rapport de 0.45**.

Incidence de la puissance de chauffe sur la durée de chauffe

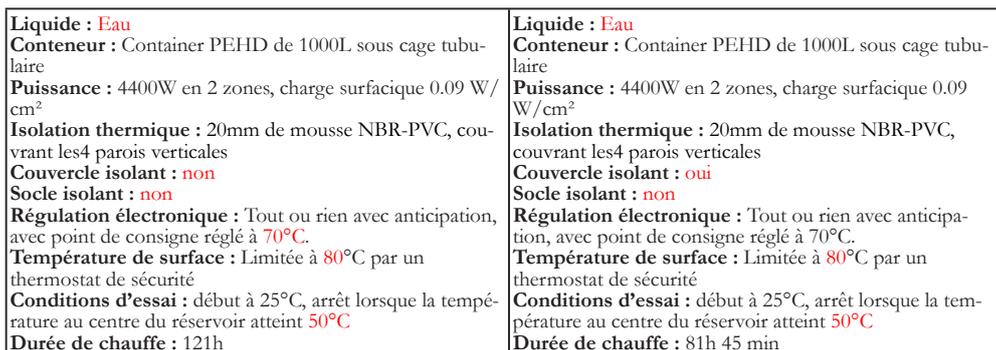


Analyse des résultats : en passant de 1500 watts à 2250W, soit un coefficient d'augmentation de puissance de 1.5, le temps de chauffe baisse de 554 à 512 minutes pour atteindre la même température de 108°C, **soit un rapport de 0.92**. La consommation électrique est augmentée dans un **rapport de 1.085**

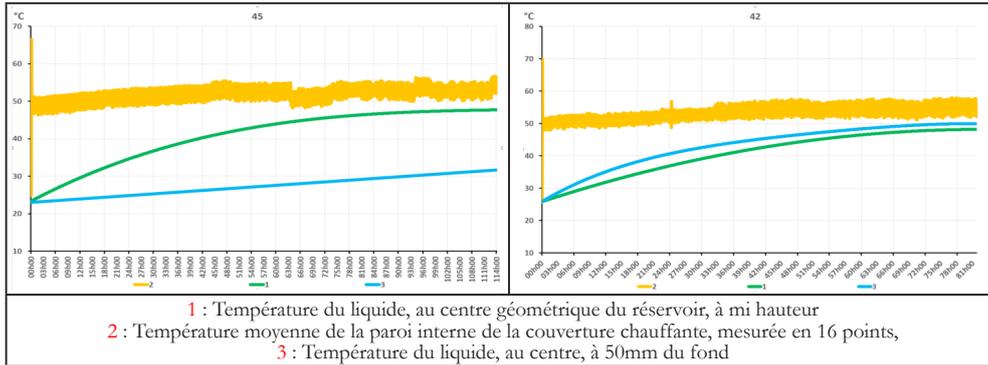
3-3 IBC de 1000 litres avec paroi en PEHD et grille de protection métallique tubulaire

Influence d'un couvercle isolant et d'un fond isolant sur la durée de chauffe d'un IBC

Les IBC sont particulièrement longs à réchauffer car outre la masse importante du conteneur, les manteaux chauffants ne sont pas en contact direct avec leur paroi, en raison de leur cage de protection. De ce fait l'air circule entre la cage et la paroi, et l'air chaud s'évacue rapidement par le haut. Nous recommandons donc l'usage d'un couvercle enveloppant en plus de la capuche standard afin de bloquer cette circulation d'air. Une bonne isolation du fond, lorsque son placement est possible diminue aussi notablement le temps de chauffe.



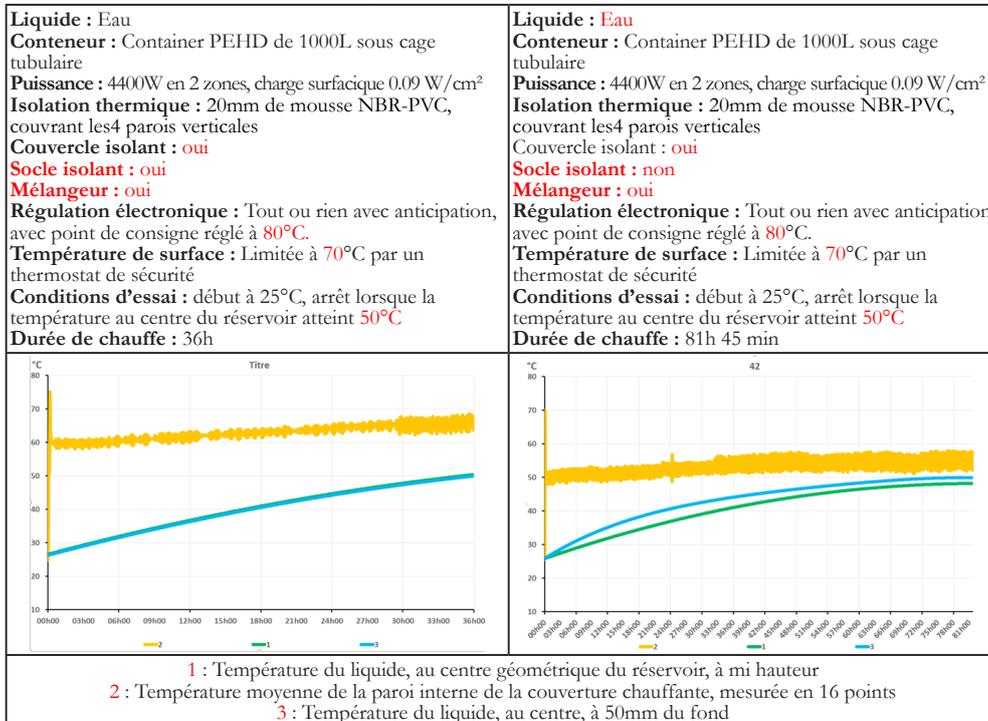
Introduction technique aux éléments chauffants souples



Analyse des résultats : une isolation du couvercle d'un IBC de 1000 litres permet de faire passer le temps de chauffe de 121 heures à 81h45, soit un **gain de temps très important**, avec un **ratio de 0.67**.

Incidence sur le temps de chauffe de l'utilisation d'un mélangeur

L'utilisation d'un mélangeur, faisant circuler du liquide plus froid sur les paroi augmente les échanges thermiques. Le couvercle et le fond isolants permettent l'utilisation totale de la chaleur produite



Analyse des résultats : L'addition d'un fond isolant et d'un agitateur réduit fortement la durée de chauffe, puisque l'on passe de 81h 45 minutes à 36h, soit un **ratio remarquable de 0.44**. Si l'on compare au modèle sans couvercle isolant, ce temps passe de 121h à 36h, soit un **ratio extraordinaire de 0.3**. **Nous ne pouvons donc que conseiller l'usage de ces accessoires.**

4. Comparaison des temps de chauffe nécessaires en fonction de différents liquides couramment réchauffés par de manteaux et des couvertures chauffantes



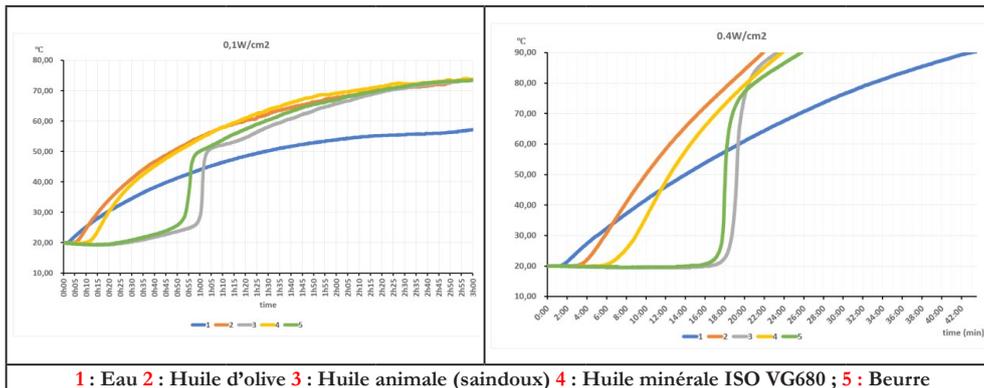
Appareil d'essai

Afin de permettre de donner une idée aux utilisateurs réchauffant des produits particuliers, nous avons réalisé, dans des conditions d'essai identiques, des test comparatifs en enregistrant le temps nécessaire et l'évolution de la température lors du réchauffage d'un litre de produit, de 20°C à 90°C (mesure effectuée au centre géométrique du réservoir).

Ces essais ont été faits avec deux valeurs différentes de puissance surfacique : 0.1W/cm², valeur courante des couvertures chauffantes industrielles, et 0.4W/cm², puissance surfacique maximale réalisable dans ce type d'appareil.

Conditions des essais : Chauffage effectué dans un réservoir cylindrique diamètre 76 mm hauteur 280mm, à fond plat, en cuivre rouge de 2mm d'épaisseur, dont la totalité de la partie cylindrique remplie du produit (250mm) est réchauffée par une résistance souple silicone, isolée par 20mm de mousse PVC-NBR. Le chauffage est réalisé sans régulation de température ni limiteur de température de sécurité. La température ambiante est maintenue à 20°C dans une enceinte climatique. Le test est stoppé quand la température au centre du produit a atteint 90°C.

Caractéristiques des produits ayant servi aux essais				
Produits	Conductibilité thermique W/m.K	Chaleur massique (kJ/kg.K)	Viscosité cinématique à 20°C mm ² /s	Densité Kg/m ³
Eau	0.597@20°C	4.182	1.006@20°C	0.998@20°C
Huile d'olive	0.189@15°C	1.25	91.5@20°C	0.922 @20°C
Gras de porc (saindoux)	0.407@25°C	2.1	Figé (fusion entre 35 et 42°C)	0.924-0.930
Huile minérale ISO VG680	0.134@40°C	1.99	4000@20°C	0.850
Beurre	0.197 @46°C	2.3	Figé (fusion entre 27 et 32°C)	0.87-0.93
Avec une charge surfacique de 0.1W/cm ² (60W)		Avec une charge surfacique de 0.4W/cm ² (240W)		



Analyse des résultats : L'eau, avec une capacité calorifique de 2 à 4 fois plus importantes que les autres produits, demande donc plus d'énergie pour se réchauffer et s'échauffe donc nettement moins vite. Les produits figés à la température ambiante (Beurre, graisse animale) conservent longtemps une partie centrale froide par manque de courants de convection, avant de rejoindre rapidement la température des autres huiles lorsqu'ils se liquéfient.

5. Bilan énergétique

Pour chauffer de 25 à 80°C un tonneau de 55 gallons (220 Litres), avec une résistance chauffante de 1500W, le calcul théorique sans pertes de chaleur donne une durée de 9 heures 23 minutes et une consommation de 14 kw.

Dans le bilan énergétique réel interviennent les pertes vers le milieu extérieur, qui sont fonction de la qualité de l'isolement thermique. Dans le cas de nos essais, l'isolation thermique est réalisée par une mousse en NBR-PVC avec un coefficient d'isolation $\cong 0.036 \text{ w/m.k}$.

Pour des fûts de 55 gallons (220l) avec une isolation thermique sur toutes leurs faces, on mesure en moyenne une consommation totale de 16 à 17 kw pour du réchauffage d'eau. Le rendement énergétique est alors de l'ordre de 88%.

Dans les mêmes conditions, les temps mesurés vont de 13h45 à 14h, soit **une fois et demie** le temps théorique.

La durée de chauffe est allongée par les conditions de transfert de chaleur entre la couverture et le produit à réchauffer et par l'homogénéisation de la température dans le récipient, qui peut être très longue à se réaliser, car des écarts de température entre le fond et la partie supérieure pouvant atteindre 25 à 30°C en période de chauffe.

Un système d'homogénéisation de température tel qu'un agitateur diminuera donc le temps de chauffe, mais sa consommation électrique viendra s'additionner à celle du chauffage.

Deuxième partie :
Particularités de construction et validation des performances

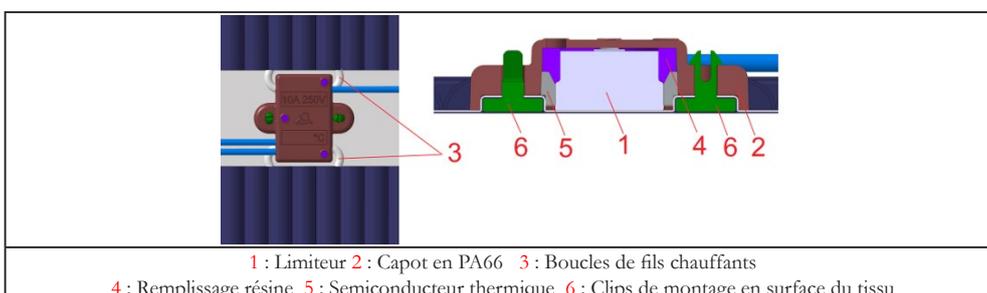
1. Essais IP (La résistance aux pénétrations d'eau)

La protection contre les pénétrations d'eau est un paramètre essentiel des couvertures chauffantes industrielles, qui risquent d'être soumises à des débordements, et projections diverses. Tout dans la conception de ces appareils a été mis en œuvre pour continuer à assurer la protection des utilisateurs dans les conditions les plus rudes. Dans la partie chauffante, les connections électriques entre câbles chauffants, conducteurs de liaison, thermostats, limiteurs, connecteurs et autres composants est réalisée de manière étanche et répond à la classification IP66. Les boîtiers de contrôle et de raccordement, accessibles par les utilisateurs, sont IP69K. Cependant, bien que les tissus utilisés soient étanches, bien que les fermetures à glissière soient étanches, une pénétration d'eau limitée dans la zone chauffante peut se produire, le plus souvent par les coutures. Tout le câblage intérieur de cette partie étant étanche, cette pénétration d'eau ne remet pas en cause l'isolation électrique des appareils.



2. Sécurité thermique et limiteur de température. Température maximale de paroi et utilisation sur conteneurs vides.

Une des conditions d'utilisation critique des couvertures chauffante souples industrielles est liée à leur usage sur des réservoirs pleins mais aussi partiellement ou totalement vides. Lorsque le limiteur de température est en contact avec une paroi derrière laquelle ne se trouve plus de liquide, ou lorsqu'il n'est pas en contact avec une surface, avec laquelle la couverture chauffante peut échanger ses calories, il doit **réagir à la surchauffe locale** des éléments chauffants. Il est pour cela en contact avec eux grâce à deux boucles de fils chauffants, par l'intermédiaire d'un semi-conducteur thermique souple breveté. Ce système coupe alors le chauffage lorsque la température locale devient trop élevée, et limite ensuite la quantité d'énergie fournie aux éléments chauffants.



3. Essais de tenue en température permanente et en pointe de la mousse isolante, mesure du taux de rétraction après chauffage, essais de reprise d'eau après chauffage.



La sélection d'un isolant thermique efficace et sûr dans la gamme de température des couvertures et manteaux chauffant oblige à éliminer la plupart des isolants thermiques souples :

- La laine de verre, laine de roche, laine céramique à cause de leur perméabilité et de leur effet « éponge »
- Les mousses polyuréthane et polyéthylène à cause de leur inflammabilité et de leur mauvaise tenue en température
- Les feutres en fibre de carbone à cause de leur inflammabilité et de leur effet « éponge »
- Les mousses NBR et NR à cause de leur inflammabilité.
- Les mousses silicone à cause de leur prix prohibitif.

Des essais intensifs effectués sur ces différents matériaux, seule la mousse PVC-NBR est apparue adaptée à l'utilisation. Elle combine l'effet isolant de la mousse NBR à cellules fermées (donc sans effet éponge) à l'autoextinguibilité du PVC.

Pour ces essais, la mousse est placée autour d'un mandrin chauffant réglé à 120°C (Température maximale permanente de la couverture chauffante), pendant 96 heures. Après cette période, la variation de son pouvoir isolant, et son changement de dimension (élongation ou raccourcissement) sont mesurés, puis sa porosité est évaluée par pesage après une immersion dans l'eau pendant 8 jours.

Un autre essai est aussi effectué, la vérification de la résistance en température de pointe. Soumise à 300°C pendant 30 minutes, la mousse PVC-NBR ne s'enflamme pas, mais perd sa flexibilité et se fissure.

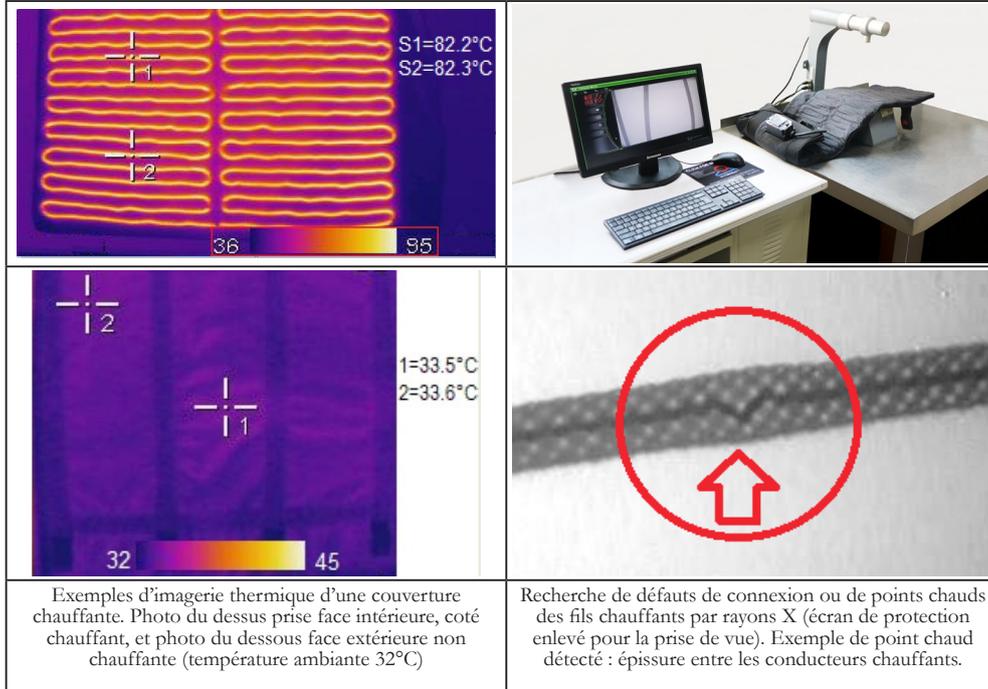
Cependant, des températures plus élevées, impossibles à atteindre en fonctionnement normal, atteintes par l'apport d'énergie extérieure au process, peuvent initier la combustion lente de la mousse.

	<p>Mandrin chauffant pour mesure de la température maximale de la mousse (capot de protection et hotte d'aspiration enlevés pour la prise de vue)</p>	
<p>Variation de la température de surface extérieure moyenne de la mousse pendant l'essai de 96h à 120°C (température ambiante constante à 32°C). Aucune modification de la température externe n'est mesurée. Le pouvoir isolant de la mousse reste constant</p>		
	<p>Mousse après 96h à 120°C Variation de longueur : -4,7%. Porosité : 9%</p>	<p>Mousse après 30 minutes à 300°C</p>

4. Recherche des points chauds dans les câbles chauffants

Lors de la fabrication des conducteurs chauffant, il arrive que des épissures soient faites pour abouter les conducteurs lors de changement de bobines de fils. Ces épissures étant ensuite reprises sous l'isolation silicone, elles restent invisibles. Mais une épissure mal réalisée risque d'ajouter une résistance électrique supplémentaire

au câble chauffant à l'endroit où elle est faite. Ce type de défaut provoque alors un point chaud. Ce point chaud est détecté par imagerie thermique lors de l'essai final de la couverture. Une vérification supplémentaire du point chaud par rayons X permet alors de vérifier l'origine du défaut et de remplacer le cordon chauffant avant son utilisation.



5. Température de surface de fils chauffants pour une couverture chauffante sans contact avec une paroi, en fonction de la puissance surfacique

En dehors de toute régulation de température, un fil chauffant incorporé dans une couverture ou un manteau chauffant va atteindre, dans un air calme sans ventilation mécanique, une température de stabilisation fonction de sa surface extérieure et de sa puissance.

La conception d'un manteau chauffant industriel doit tenir compte de ce facteur pour que la température atteinte dans les plus mauvaises conditions de fonctionnement ne puisse pas détruire ou fondre le tissu de la structure, **et conserve une isolation électrique garantissant la sécurité des personnes, y compris lorsque deux épaisseurs chauffantes sont superposées ou lorsqu'il n'est pas en contact avec une surface de réservoir.**

C'est en utilisant des fils chauffants à **faible charge surfacique**, en réalisant des nappes avec une **faible distance entre les spires**, que la température de la surface de la couverture chauffante est plus homogène, sans points chauds. Dans les modèles des plus courants (fût de 220 litres, IBC de 1000 litres), cela se traduit par des longueurs importantes de **fils chauffants de 80 à 160 mètres par appareil**. Mais c'est la condition sine-qua-non d'appareils professionnels **fiables**.

Les charges surfaciques des couvertures chauffantes, sont réparties en 4 classes, en fonction des types de containers utilisés et de la température maximale qu'il est possible d'atteindre dans le container.

- **Classe basse température** : $0.05\text{W}/\text{cm}^2$. Cette classe permet le réchauffage de réservoirs en matière plastique, par exemple du polyéthylène. La température maximale atteinte par le câble chauffant, en dehors de toute régulation, est de 50°C . C'est la solution la plus courante pour des applications antigel.

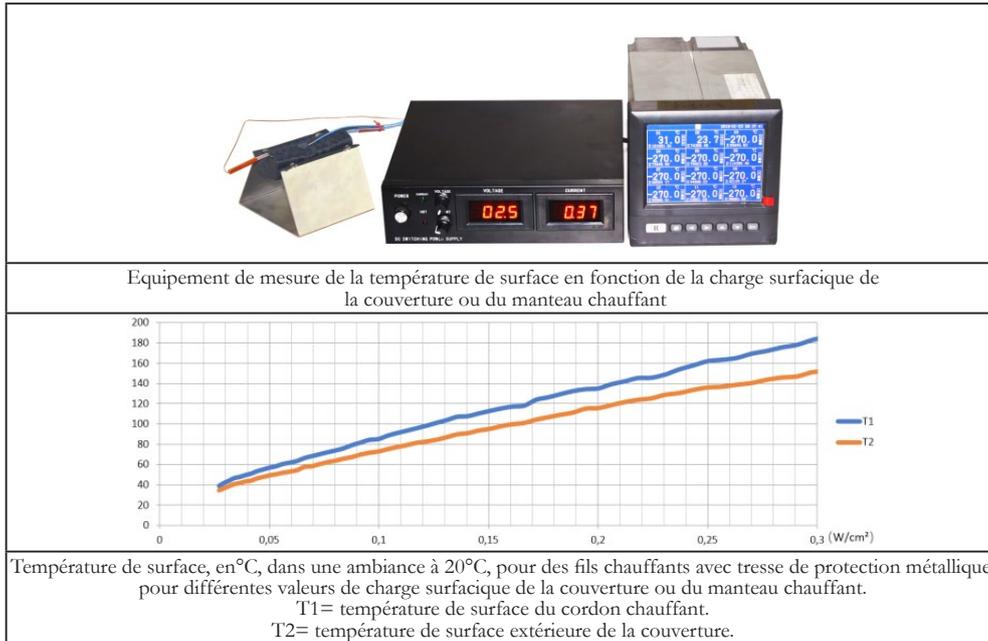
- **Classe moyenne température** : 0.095W à $0.1\text{W}/\text{cm}^2$. Cette classe permet le réchauffage de containers métalliques contenant de l'eau ou un liquide ne devant pas dépasser 80°C . La température maximale atteinte par le câble chauffant, en dehors de toute régulation, est de 85°C .

- **Classe de température haute** : $0.135\text{W}/\text{cm}^2$ sur la couverture. Cette classe

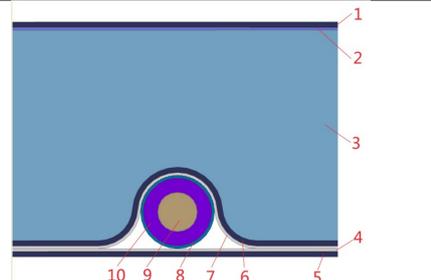
Introduction technique aux éléments chauffants souples

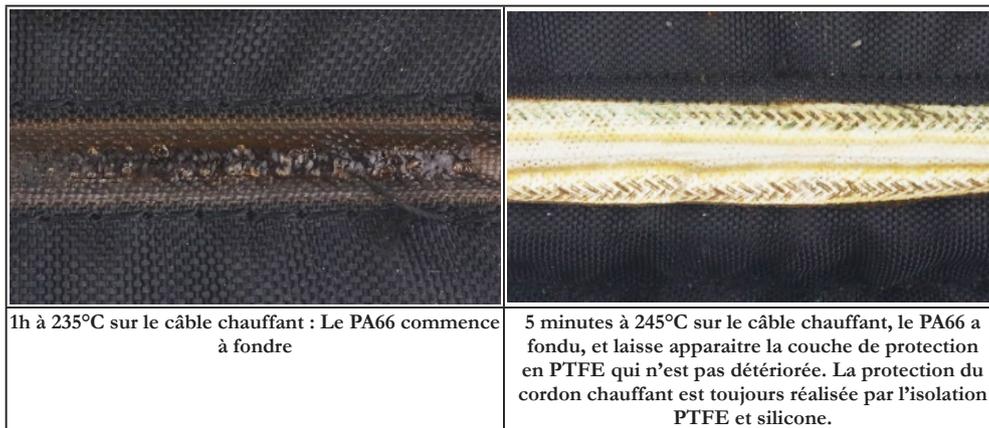
permet le réchauffage de containers métalliques contenant un liquide ne devant pas dépasser 110°C. La température maximale atteinte par le câble chauffant, en dehors de toute régulation, est de 110°C

- **Classe très haute température** : 0.25W/cm² sur la couverture. Cette classe permet le réchauffage de containers métalliques contenant un liquide ne devant pas dépasser 150°C. La température maximale atteinte par le câble chauffant, en dehors de toute régulation, est de 160°C. Cette classe particulière demande une protection thermique renforcée des câbles chauffants par fibre de verre et kapton. Les systèmes de régulation montés en surface de la couverture ne sont pas possibles, et seule la régulation de type PID, avec capteur Pt100 et coffret de mesure à distance est réalisable.

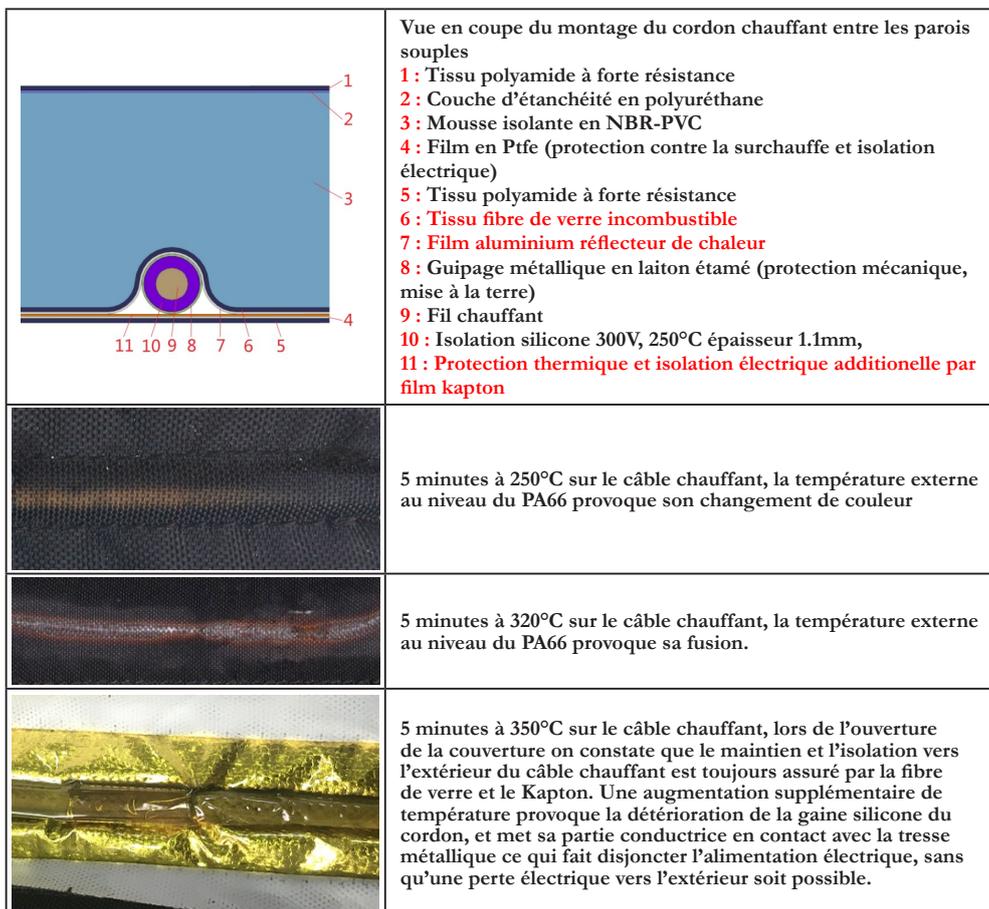


Détérioration de la surface en fonction de la température atteinte sur le cordon chauffant, pour des couvertures avec résistances reprises sous tissu PA66 avec film de protection PTFE (Versions standards basse, moyenne et haute température)

	<p>Vue en coupe du montage du cordon chauffant entre les parois souples (version standard)</p> <p>1, 5, 6 : Tissu polyamide à forte résistance 2 : Couche d'étanchéité en polyuréthane du tissu polyamide extérieur 3 : Mousse isolante en NBR-PVC 4, 7 : film en PTFE (protection contre les surchauffes) 8 : Guipage métallique en laiton étamé (protection mécanique, mise à la terre) 9 : Fil chauffant 10 : Isolation silicone 300V épaisseur 1.1mm</p>
	<p>96 heures à 120°C sur le câble chauffant : aucun changement de couleur, aucune fusion d'isolant, aucune modification des caractéristiques</p>
	<p>1h à 220°C sur le câble chauffant : le PA66 commence à changer de couleur</p>



Détérioration de la surface en fonction de la température atteinte sur le cordon chauffant, pour des couvertures avec résistances chauffantes montées sur tissu fibre de verre et film Kapton, et reprises sous tissu PA66 avec film de protection PTFE (version très haute température)



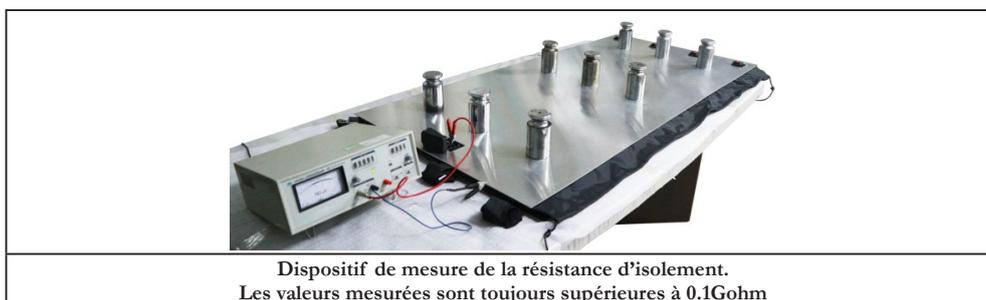
6. Résistance d'isolement et tension de claquage

La résistance d'isolement décroît avec la longueur de fil chauffant utilisé. Si cette longueur peut descendre à quelques mètres dans les couvertures de petite taille, elle peut dépasser plus de 160 mètres sur les manteaux chauffants pour IBC de 1000 litres.

Les valeurs d'isolement mesurées à la température ambiante sont réalisées à 100% en production. Notre limite minimale d'acceptation quelle que soit la condition (à sec, à chaud, ou après test IP65), est de 0.1Gohms (soit 100 x la limite de la norme EN60335-2-17§ 19.112.3).

Introduction technique aux éléments chauffants souples

Cette mesure est effectuée avec la couverture reprise entre deux feuilles métalliques couvrant la totalité de la surface et pressées l'une contre l'autre avec une charge de 35 DaN/m².

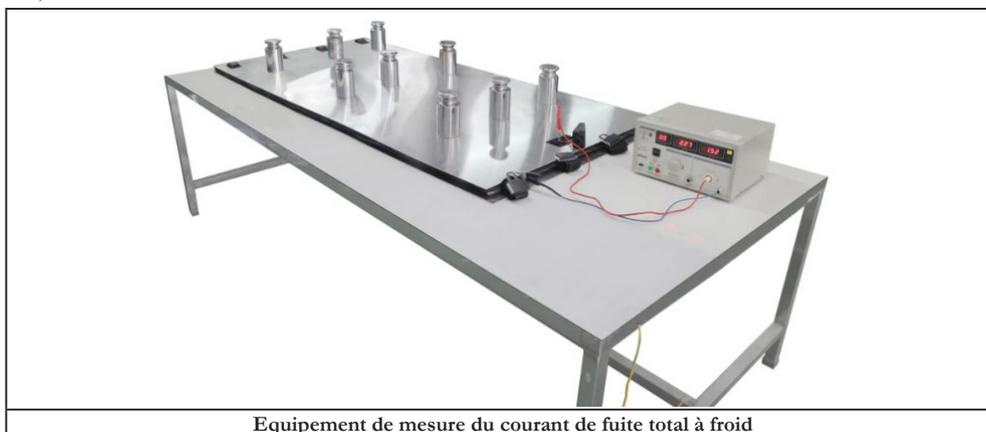


Tension de claquage à froid

Dans tous les éléments chauffants protégés, il existe un courant de fuite passant au travers de leur isolation. Ce courant de fuite augmente avec la tension appliquée.

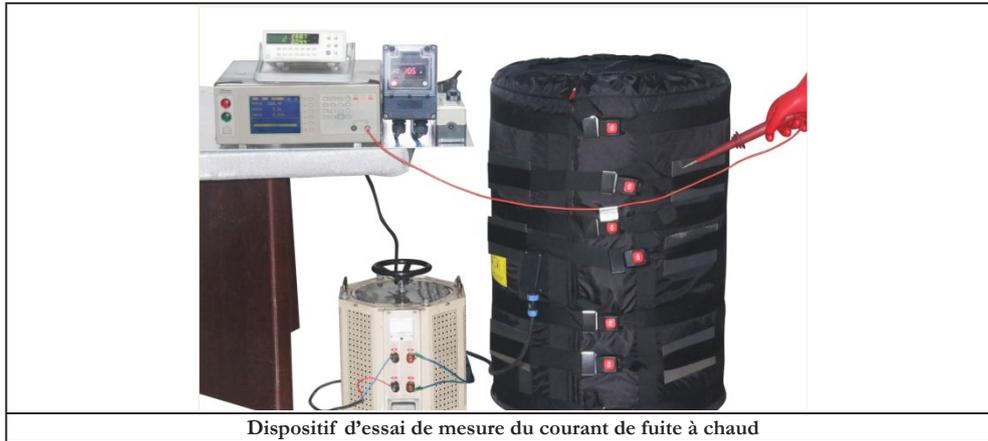
Dans le cas des couvertures chauffantes, un essai en production de la mesure du **courant de fuite total** est réalisé en plaçant la couverture entre deux plaques métalliques et en appliquant une tension de 1750 volts entre les conducteurs et les plaques métalliques selon 60-335-2-17 § 22.115. En application des norme EN60519-1, le courant de fuite maximum admis à froid pendant **1 minute** est fonction de l'intensité nominale de la couverture, il est de 3mA pour les intensités inférieures à 7A (1600W en 230V) et de 0.5mA par ampère pour les intensités supérieures (par exemple 10mA pour 2000W, 15mA pour 3000W). Pour les réchauffeurs d'IBC de 1000 litres à 2 zones de chauffe indépendantes, cette mesure est effectuée indépendamment pour chaque zone.

La valeur importante du courant de fuite sur les couvertures de grandes dimensions impose leur raccordement sur un circuit d'alimentation électrique protégé par un disjoncteur différentiel taré à 20mA.



Courant de fuite à la température de fonctionnement

La mesure du courant de fuite sur les surfaces accessibles à chaud, est un paramètre destiné à vérifier la sécurité d'un appareil pour éviter des chocs électriques lorsqu'on le touche alors qu'il est en fonctionnement. **C'est une manière de vérifier que son isolation électrique ne se dégrade pas et reste suffisante lorsque la température de fonctionnement est atteinte.** Les essais consistent, en conformité avec les articles des normes EN60335-1-13.1 et 13.2, à placer une plaque métallique de 10 x 20 cm (simulant la taille d'une main) sur la couverture ou le manteau chauffant, et à mesurer le courant passant entre cette plaque et les conducteurs sous tension lorsque la couverture chauffante a atteint sa température maximale. La valeur limite maximale est de 0.75mA sous 240V. Nos essais sont validés par une valeur moyenne de 6 mesures effectuées à des emplacements différents, sous une puissance égale à 1.15 fois la puissance nominale.



Dispositif d'essai de mesure du courant de fuite à chaud

7. Systèmes de serrage et de maintien des manteaux chauffants sur les réservoirs

Le maintien et le serrage des manteaux chauffants sur les réservoirs est un paramètre important de la régularité du chauffage. Il s'agit donc de presser au mieux celui-ci sur la paroi à chauffer afin d'assurer le meilleur transfert thermique. Pour cela différents moyens sont mis en œuvre :

- Le serrage par bandes en Velcro : facile d'utilisation et économique, il ne résiste cependant pas à des températures élevées et son usage régulier le détériore lorsque des contaminants extérieurs viennent encrasser les bandes. Le réglage du serrage est impossible après la mise en contact des bandes.

Charge de rupture à la température ambiante sur des bandes de largeur 50mm, avec 100mm de contact entre les deux parties accrochantes : 26 DaN

Température haute de rupture sous charge de 15 DaN : 120°C

Température basse de rupture sous charge de 15 DaN supporte -50°C sans rupture

- Les boucles plastiques encliquetables : économiques, mais peu résistantes en température, et leur ouverture peut se faire de manière inopinée lorsque le serrage est trop important.

Charge de rupture à la température ambiante : 44 DaN

Température haute de rupture sous charge de 15 DaN : 100°C

Température basse de rupture sous charge de 15 DaN : supporte -50°C sans rupture

- Les boucles de sécurité métalliques type « automobile » : plus coûteuses que les boucles plastiques, elles résistent très bien à la température, permettent un serrage important même après leur fermeture, et sont faciles et rapides à ouvrir.

Charge de rupture à la température ambiante : 240 DaN

Température haute de rupture sous charge de 15 DaN : supporte 150°C sans rupture.

Température basse de rupture sous charge de 15 DaN : supporte -50°C sans rupture.

- Collerette : Cousue sur la partie supérieure de la couverture, elle est destinée à être serrée au-dessus du réservoir, ou autour du col du bidon ou de la bouteille. Elle empêche la couverture de glisser vers le bas. Elle sert aussi à maintenir en place le couvercle isolant lorsqu'il est utilisé, et limite les pertes de chaleur vers le haut en bloquant la circulation de l'air. C'est le complément indispensable des systèmes de serrage.

Velcro	Boucles encliquetables en plastique	Boucles métalliques « Automobiles »	Collerette

8. Validation de la résistance au déchirement des tissus

Les tissus choisis pour les couvertures chauffantes industrielles ont été sélectionnés pour fournir une résistance exceptionnelle au déchirement. Cette résistance est testée sur des spécimens découpés au laser, avec des dimensions conformes à celles de la norme EN 60335-2-17§21.110.1. Selon leur emplacement et le type de couvertures, leur résistance va de 44N à 107N (soit de 4 à 9 fois la valeur de 12.5N requise)

	<p>Echantillon type</p>
	<p>Equipement d'essai à la résistance au déchirement</p>

9. Puissance minimale pour utilisation en protection antigel

Dans de nombreuses applications, les manteaux chauffants sont utilisés pour empêcher les réservoirs de geler. Mais les informations données par les différents constructeurs sont souvent peu précises ou erronées.

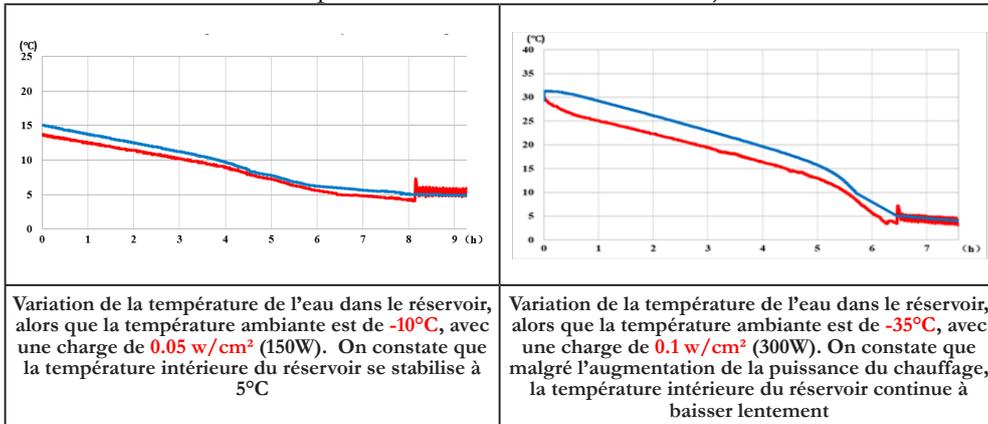
Nous avons procédé à des essais systématiques en enceinte climatique afin de déterminer quelles sont les puissances surfaciques nécessaires pour empêcher un réservoir de geler en fonction de la température ambiante.

Ces essais ont été réalisés sur des réservoirs entièrement isolés, (cotés, fond, couvercle) par des couvertures chauffantes comportant des parois isolantes de 10 ou de 20mm. Le point de consigne du régulateur électronique de température tout ou rien pour la mise en chauffe de la couverture est réglé à 5°C et la différentielle est réglée à 2°C.

	
<p>Enceinte climatique, avec plage de réglage de température de -90à +150°C, plage de réglage d'humidité relative 1 à 100%</p>	<p>Couverture chauffante en cours d'essais climatiques en températures négatives</p>

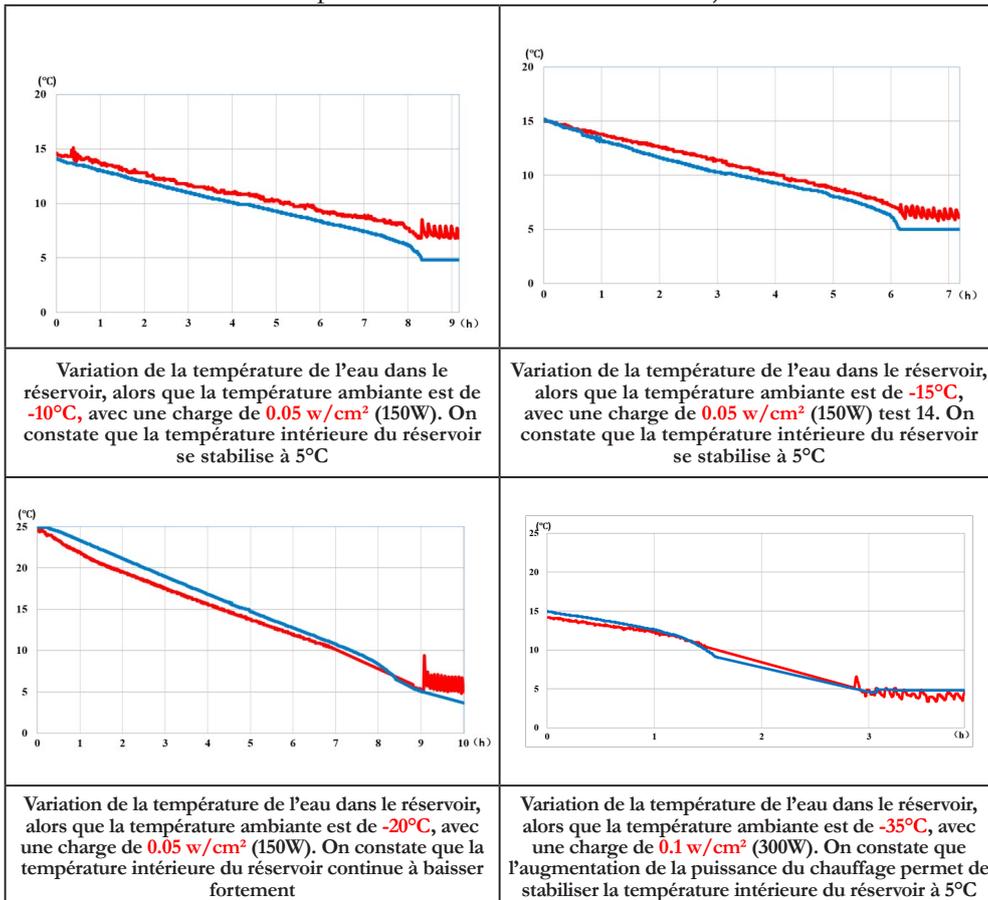
Essais avec mousse isolante de 10mm

(En bleu la température du liquide au centre du réservoir. En rouge la température de paroi du réservoir sous l'isolation)



Essais avec mousse isolante de 20mm

(En bleu la température du liquide au centre du réservoir. En rouge la température de paroi du réservoir sous l'isolation)



Analyse des résultats : Avec une épaisseur d'isolation de 10mm, la charge surfacique de 0.05W/cm² est suffisante pour protéger contre le gel un réservoir isolé sur toutes ses faces jusqu'à des températures ambiantes de -10°C. En augmentant la charge surfacique jusqu'à 0.1W/cm² la protection existe jusqu'à -15°C.

Avec une épaisseur d'isolation de 20mm, la charge surfacique de 0.05W/cm² est suffisante pour protéger contre le gel un réservoir isolé sur toutes ses faces jusqu'à des températures ambiantes de -15°C. En augmentant la charge surfacique jusqu'à 0.1W/cm² la protection existe jusqu'à -35°C.

10. Systèmes de de régulation

<p>Toutes les couvertures chauffantes utilisent le même connecteur étanche pour leur raccordement sur le module de régulation. Ce connecteur existe pour les deux versions de couvertures, avec 10 ou 20mm d'épaisseur d'isolation thermique. La continuité de terre est réalisée, ainsi que la mise à la terre du récipient lorsqu'il est métallique.</p>	
<p>Boîtier de raccordement simplifié, pour couvertures chauffantes à température fixe. La mesure de température de surface est alors réalisée par un limiteur incorporé dans le réseau chauffant, avec voyants signalant la mise sous tension et la mise en chauffe. Cette version de boîtier n'est pas interchangeable avec les modèles de manteaux chauffants avec capteur à thermistance incorporé, destinés à une régulation électronique.</p>	
<p>Thermostat mécanique d'ambiance à température fixe incorporé dans le couvercle du boîtier de raccordement. Mise en marche automatique du chauffage lorsque température descend sous 5°C, avec voyants signalant la mise sous tension et la mise en chauffe. Cette version de boîtier n'est pas interchangeable avec les modèles de manteaux chauffants avec capteur à thermistance incorporé destinés à une régulation électronique.</p>	
<p>Thermostat électronique à thermistance, action tout ou rien avec boucle anticipatrice, réglage par manette. Voyants signalant la mise sous tension et la mise en chauffe. Montage sur le connecteur de la couverture. Régulation en fonction de la température de paroi du réservoir.</p>	

Thermostat électronique à thermistance, action tout ou rien avec boucle anticipatrice, affichage digital. Montag direct sur le connecteur de la couverture ou du manteau chauffant. Régulation en fonction de la température de paroi du réservoir.



Thermostat électronique à thermistance, action tout ou rien avec boucle anticipatrice, affichage digital. Commande à distance par câble sur le connecteur de la couverture ou du manteau chauffant. Régulation en fonction de la température de paroi du réservoir.



<p>Thermostat électronique à thermistance, simple affichage digital. Action tout ou rien. Montage mural à distance. Comporte une longue sonde plongeante dans le liquide. Peut être utilisé en complément de la régulation de température de surface, pour mettre fin au processus de réchauffage lorsque la température <u>au cœur du liquide</u> est atteinte.</p> <p>Attention : il ne peut pas être utilisé directement pour la commande du chauffage, sans qu'il existe déjà une régulation de température de surface, car il ne la remplace pas.</p> <p>Existe aussi en version avec capteur Pt100</p>	 A black electronic thermostat with a digital display showing 26.2. It has a long, thin probe extending upwards and a coiled cable to the left. The device has a red button and a power symbol on the front panel.
<p>Thermostat électronique, entrée capteur Pt100, action PID avec ajustement automatique des paramètres. Affichage digital double : température mesurée et valeur du point de consigne. Régulation en fonction de la température de paroi du réservoir. Disponible uniquement avec boîtier de contrôle à distance. Cette version, utilisant un capteur de type Pt100 n'est pas interchangeable avec les modèles de manteaux chauffants avec capteur à thermistance.</p>	 A black electronic thermostat with a dual digital display showing 21.0 and 40. It is connected to a black cable that goes into a black control box on the left. The device has an orange button and a power symbol on the front panel.