

## Manuel d'instructions du capteur de flux thermique HFS

### Introduction

Les capteurs de flux thermique peuvent être utilisés pour mesurer et quantifier l'énergie thermique par zone d'unité traversant une surface d'un système. Ils peuvent mesurer le transfert de chaleur dans les systèmes CVCA, l'analyse de l'isolation, les systèmes de réfrigération ainsi que de nombreuses autres applications thermiques.

### Description du capteur de flux thermique

Les capteurs de flux thermique HFS-5, HFS-6 et UHFS-09 présentent une conception de thermopile à température différentielle leur permettant de mesurer le mouvement de l'énergie thermique par unité de surface ou de flux thermique, à travers la surface du capteur. Chaque capteur HFS comprend un thermocouple de type T intégré qui peut être utilisé pour les mesures de température du capteur. La sensibilité de chaque capteur est indiquée avec chaque unité enregistrée sur le certificat d'étalonnage correspondant. Les procédures d'étalonnage du capteur sont conformes à la norme ASTM C1130 et sont décrites plus loin dans ce manuel.

### Contenu du manuel d'instructions

		<b>Comment utiliser un capteur de flux thermique</b>	
1	Brève présentation de l'utilisation du capteur de flux thermique		3
	Mesures du signal du capteur		3
	Mesure de la tension du flux thermique		3
	Mesure de la tension du thermocouple		4
	Contrôle du fonctionnement du capteur HFS et dépannage		4
	Montage/installation du capteur		6
	Retrait du capteur des surfaces de mesure		6

		<b>Conversion des mesures en flux thermique et en température</b>	
2	Mesure de la température du thermocouple de type T		6
	Dépendance de la température du capteur de flux thermique HFS		6

	Calcul du flux thermique	7
	Détermination de la sensibilité du capteur de flux thermique	8

3	<b>Conformité aux directives</b>	
	Conformité RoHS	9
	Conformité REACH	10
	Conformité CE	11

### Liste des symboles utilisés dans ce manuel

Terme représenté par le symbole	Symbole	Unités anglaises	Unités métriques/SI
Flux thermique	$q''$	BTU/(ft <sup>2</sup> -hr)	W/m <sup>2</sup>
Résistance électrique	$\Omega$	Ohms ou kOhms	
Tension de sortie	$\Delta V$	V ou mV ou $\mu V$	
Sensibilité du capteur de flux thermique	S	$\mu V / \text{BTU}/(\text{ft}^2\text{-hr})$	$\mu V/(\text{W}/\text{m}^2)$
Température	T	°F	°C
Différence de température	$\Delta T$	°F	°C
Sensibilité du capteur de flux thermique à une température	$S_{@T^{\circ C}}$	$\mu V / \text{BTU}/(\text{ft}^2\text{-hr})$	$\mu V/(\text{W}/\text{m}^2)$
Facteur de multiplication de sensibilité	M.F.	Pas d'unités	
Gradient thermique	$dT/dx$	°F/ft	°C/m
Épaisseur du matériau	$\delta$	pi	m
Conductivité thermique	$\lambda$ ou k	BTU/(ft <sup>2</sup> -hr)/°F	W/(m-K)
Résistance thermique	$R''$	°F/BTU/(ft <sup>2</sup> -hr)	(m <sup>2</sup> -K)/W

### Facteurs de conversion des unités

Terme	Méthode de conversion
Flux thermique	$1 \text{ W}/\text{m}^2 = 0,317 \text{ BTU}/\text{ft}^2\text{-hr}$
Sensibilité du capteur	$1 \mu V/(\text{W}/\text{m}^2) = 3,155 \mu V/(\text{BTU}/(\text{ft}^2\text{-hr}))$
	$1 \mu V/(\text{W}/\text{m}^2) = 10 \text{ mV}/(\text{W}/\text{cm}^2)$

## **Section 1 : Comment utiliser un capteur de flux thermique**

Vous trouverez ci-dessous des détails sur l'utilisation d'un capteur de flux thermique pour prendre des mesures thermiques. Ces instructions sont à usage général et peuvent être quelque peu modifiées en fonction des conditions de test afin de collecter les mesures les plus précises pour votre application.

### **Brève présentation de l'utilisation du capteur de flux thermique**

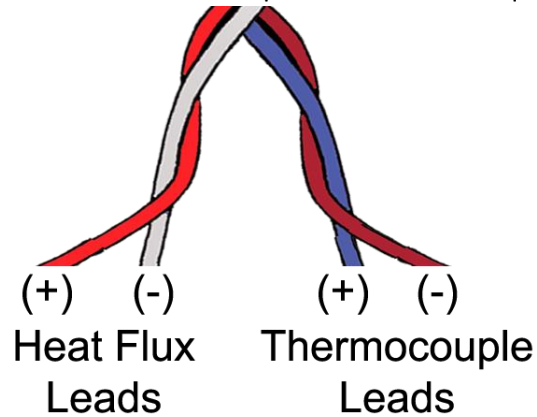
1. Assurez-vous que le capteur fonctionne correctement en effectuant des tests simples de fonctionnement.
2. Montez le capteur sur la surface de mesure.
3. Connectez les fils du capteur de flux thermique et les fils du thermocouple intégré à un voltmètre de précision ou à un dispositif d'acquisition de données de précision.
4. Collectez les données de mesure en lisant les signaux de tension c.c. analogiques des fils d'alimentation.
5. Réglez la sensibilité du capteur de flux thermique conformément à la température du capteur et à la fonction de dépendance de la température (non nécessaire pour les capteurs UHFS-09). La sensibilité du capteur est indiquée avec chaque unité sur le certificat d'étalonnage correspondant en plus de la fonction de dépendance de la température.
6. Calculez le flux thermique à l'aide de la sensibilité réglée.

$$q'' = \frac{\Delta V_{q''}}{S_{@T_{\circ C}}}$$

7. Si nécessaire, retirez le capteur de la surface de mesure en veillant à ne pas l'endommager.

### **Mesure du signal du capteur**

La sortie du HFS est une tension c.c. qui est linéairement proportionnelle au flux thermique absorbé par le capteur. De même, le thermocouple de type T utilisé pour les mesures de température de surface HFS produit une tension c.c. proportionnelle à la différence de température entre la surface du capteur et l'emplacement de mesure de la tension. Les signaux de tension de sortie c.c. peuvent être mesurés avec n'importe quel voltmètre de précision ou système d'acquisition de données de tension tiers avec une résolution microvolt,  $\mu\text{V}$ . La conception de construction du HFS permet de mesurer à la fois le flux thermique et la différence de température à l'aide de quatre fils.



### **Mesure de la tension du flux thermique**

Pour mesurer la tension de sortie du capteur causée par l'absorption du flux thermique par le capteur,  $\Delta V_q$ , connectez la borne positive (+) du dispositif de mesure de la tension au fil rouge vif et la borne négative (-) au fil blanc. La polarité de ces fils n'a pas vraiment d'importance car le flux thermique sera positif ou négatif en fonction de l'orientation du capteur.

### **Mesure de la tension du thermocouple**

Un thermocouple est intégré dans chaque capteur de flux thermique HFS pour fournir une mesure de la température de surface du capteur. La mesure de la tension de sortie du thermocouple fournit une indication de la différence de température entre l'emplacement de mesure de la température sur la surface supérieure du capteur et l'emplacement de mesure de la tension. Une mesure de température supplémentaire à l'emplacement de mesure de la tension est nécessaire pour déterminer la température absolue du capteur. Cette température de référence est appelée compensation de soudure froide et est généralement intégrée aux systèmes d'acquisition de données.

Connectez le fil de constantan rouge foncé à une borne négative (-) du dispositif de mesure de la tension. Le fil positif (+) du dispositif de mesure de la tension doit être connecté au fil d'alimentation bleu en cuivre.

### **Contrôle du fonctionnement du capteur HFS et dépannage**

Différents tests simples peuvent être effectués pour s'assurer que le HFS fonctionne correctement. Il est recommandé d'effectuer ces opérations avant et après le montage du capteur afin de ne pas prendre accidentellement des mesures inexactes à l'aide d'un capteur défectueux ayant pu être endommagé pendant sa manipulation.

#### **1. Contrôlez la résistance électrique du capteur de flux thermique :**

Branchez un ohmmètre sur le fil rouge vif et les fils d'alimentation blancs pour contrôler la résistance électrique du capteur de flux thermique. Elle doit être  $< 1\ 000\ \Omega$  pour les capteurs HFS-5 ou  $< 5\ k\Omega$  pour les capteurs HFS-6 et UHFS-09. Si la résistance est beaucoup plus élevée que ces valeurs, il peut y avoir un problème au niveau du capteur. La résistance peut être légèrement supérieure pour les capteurs dont la longueur des fils est supérieure à la longueur standard de 10 pieds / 3 m. Une résistance électrique infinie (discontinuité) indique que le capteur de flux thermique est cassé.

**2. Contrôlez la résistance électrique du thermocouple :**

Branchez un ohmmètre à résistance électrique sur le fil de constantan rouge foncé et le fil de cuivre bleu. La résistance électrique doit être d'environ 50  $\Omega$  pour notre longueur de fil standard de 10 pieds / 3 mètres. La résistance sera plus élevée pour les longueurs de fils plus longues. La résistance type du fil est de 5  $\Omega$  par pied ou de 16  $\Omega$  par mètre. Une résistance électrique infinie (discontinuité) indique que le thermocouple est cassé.

**3. Contrôlez la tension de sortie avec un flux thermique nul à travers le capteur :**

Si possible, pendant qu'un dispositif de mesure de la tension est connecté sur les fils du flux thermique, mesurez la tension du flux thermique de sortie pendant que le capteur reçoit un flux thermique absorbé nul à travers le capteur. Un scénario simple consiste à laisser le capteur démonté dans des conditions ambiantes, par exemple posé sur une table. Le relevé de tension c.c. analogique pour la tension de sortie du flux thermique doit être d'environ 0,0  $\mu\text{V}$  (+/- 5  $\mu\text{V}$  peuvent être dû au bruit électrique).

**4. Contrôlez la tension de sortie d'un capteur de flux thermique induit :** une méthode simple pour déterminer si le HFS fonctionne à peu près correctement consiste à induire physiquement un flux thermique. Placez le capteur HFS sur une surface métallique et posez fermement la paume de votre main sur toute la surface du capteur. La valeur de la tension de sortie c.c. de crête résultante doit être d'environ 1,0 mV pour un HFS (cette valeur peut varier de plus de 20 % par rapport à cette valeur en fonction de la situation). Vous pouvez également retourner le capteur et mesurer un signal de tension c.c. de sortie similaire avec un signe opposé (positif (+) par rapport à négatif (-)).

**5. Contrôlez la tension du thermocouple de sortie :**

Si le capteur et l'emplacement de mesure de la tension sont à des températures égales, la tension de sortie du thermocouple doit être d'environ zéro microvolt (ce scénario de test est souvent difficile à obtenir). Ce test est rarement nécessaire car la résistance électrique du thermocouple doit être suffisante pour un test.

**6. Assurez-vous que le numéro de série du capteur correspond au certificat d'étalonnage** Vous devrez vérifier que le numéro de série du capteur de flux thermique correspond à celui indiqué sur le certificat d'étalonnage. Vous pourrez ainsi vous assurer que vous utilisez la sensibilité de capteur adaptée à votre capteur. Le numéro de série du capteur doit se trouver sur une étiquette apposée sur les fils.

**Montage/installation du capteur**

La manière dont le capteur de flux thermique est monté dépend de l'application pour laquelle il est utilisé. Les meilleurs résultats sont obtenus en installant le capteur sur des

surfaces propres et lisses. L'objectif global du montage du HFS est de positionner le capteur de manière à ce qu'il soit solidement fixé et qu'il soit entièrement en contact avec la surface de mesure aussi uniformément que possible. Cela permet de réduire la résistance thermique de contact entre la surface de mesure et le capteur et augmente ainsi la précision des mesures. L'utilisation de l'une des techniques de montage suivantes est recommandée, mais elle peut être ajustée selon la configuration du test.

***Méthode de montage n°1 : ruban adhésif double face***

Le ruban adhésif double face disponible dans le commerce est idéal pour un montage temporaire sur des surfaces solides. Lorsque vous utilisez du ruban adhésif double face, assurez-vous que la surface de mesure est propre, couvrez la zone de montage souhaitée avec du ruban adhésif double face, puis appuyez fermement et uniformément sur le capteur pour le fixer au ruban adhésif. Si vous utilisez plusieurs morceaux de ruban adhésif double face, évitez de les superposer.

***Méthode de montage n°2 : colle thermoconductrice***

La colle thermoconductrice peut être utilisée pour le montage permanent du HFS. Avant le montage, nettoyez la surface de mesure et la surface du capteur. Étalez une fine couche uniforme de colle thermoconductrice sur la surface du capteur. Appliquez une pression constante et uniforme sur le capteur jusqu'à ce que la colle sèche. Si vous retirez le capteur de la surface après le collage, vous risquez de détruire le capteur.

***Méthode de montage n°3 : pâte thermoconductrice***

La pâte thermoconductrice ne convient que si le capteur est maintenu en place avec une pression constante et uniforme pendant que le capteur effectue des mesures. Exemple de scénario de mesure approprié : si le capteur est utilisé pour les mesures de transfert de chaleur par conduction et qu'il est coincé et maintenu en place entre deux surfaces. Une pâte thermoconductrice peut être placée entre le capteur et chacune des surfaces pour réduire la résistance thermique de contact. L'utilisation de la pâte conductrice OmegaTherm 201 fournie par Omega est alors recommandée. L'utilisation du dentifrice lorsque rien d'autre n'était disponible s'est également révélée plutôt efficace.

Une autre méthode consiste à appliquer une fine couche de pâte conductrice thermique entre le capteur et la surface de mesure. Utilisez ensuite un ruban adhésif sur l'ensemble du capteur pour le maintenir fixé à la surface.

**Retrait du capteur des surfaces de mesure**

Il est recommandé de retirer le HFS de la surface de mesure uniquement si un adhésif temporaire tel qu'une pâte conductrice ou un ruban adhésif double face a été utilisé pour le montage. Il se peut que le recours à des méthodes d'adhérence à plus haute résistance compromette l'intégrité du capteur en cas de retrait.

**IMPORTANT :** lorsque vous retirez le capteur, retirez avec précaution le côté avec les fils d'une main et décollez le côté opposé avec l'autre main pour éviter de le tordre

autant que possible. Une légère déformation du capteur n'affecte pas ses performances, mais il est préférable de ne pas l'arracher des surfaces et de ne pas le tordre excessivement

## Section 2 : Conversion des mesures en flux thermique et en température

### **Mesure de la température du thermocouple de type T**

Les mesures de température du thermocouple peuvent être enregistrées avec un indicateur pour thermocouple capable de lire un thermocouple de type T, avec compensation de soudure froide. (Indicateur suggéré : Omega DP41-TC)

### **Dépendance de la température du capteur de flux thermique HFS**

Les signaux de sortie des capteurs de flux thermique HFS-5 et HFS-6 dépendent de la température du capteur lui-même. Cette dépendance signifie que la sensibilité du capteur change légèrement à différentes températures. **Les capteurs UHFS-09 ne subissent pas cette dépendance, vous pouvez donc ignorer cette section si vous utilisez ce modèle de capteur.**

Chaque capteur est étalonné à une température de capteur de base de 25 °C ou 77 °F. La sensibilité à cette température est enregistrée sur la feuille d'étalonnage fournie avec chaque capteur de flux thermique individuel. Un exemple de sensibilité d'étalonnage,  $S_{Calib}$ , est présenté ci-dessous entouré en rouge.

Si vous utilisez le capteur de flux thermique à une température différente de 25 °C ou 77 °F, il est recommandé de régler la sensibilité pour compenser la dépendance de la température en procédant comme suit.

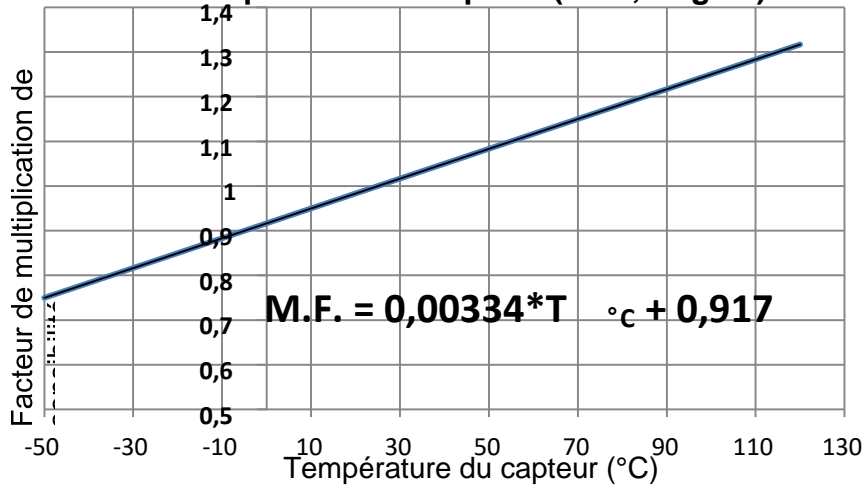
### **Calibration Test Results**

Heat Flux Sensor Sensitivity, $S_{Calib}$	1.00 ± 0.03 $\mu V/(W/m^2)$
Sensor Temperature at Time of Calibration, $T_{Calib}$	25.0 °C
Heat Flux at Time of Calibration	3000 $W/m^2$

Réalisez la mesure de la température du capteur,  $T_c$ , à chaque mesure en même temps que la sensibilité étalonnée,  $S_{Calib}$ , pour déterminer la sensibilité du flux de chaleur à cette température spécifique,  $S_{@ T_c}$ .

$$S_{@T_c} = [0,00334 * T_c + 0,917] * S_{calib}$$

**Facteur de multiplication de sensibilité par rapport à Température du capteur (25°C, origine)**



**Calcul du flux thermique**

À l'aide des mesures de tension c.c. réalisées à partir des fils de flux thermique (blanc et rouge vif), les valeurs de flux thermique peuvent être calculées à l'aide de la sensibilité réglée pour ce capteur spécifique et de l'équation suivante.

$$q'' = \frac{\Delta V_{q''}}{S_{@T_c}}$$

où  $q''$  est le flux thermique absorbé par le capteur,  $\Delta V_{q''}$  est la tension du flux thermique de sortie du capteur HFS et  $S_{@T_c}$  est la sensibilité du capteur qui a été réglée en fonction de la température du capteur à ce moment précis.

**Par exemple** : une valeur de tension de 1,80 mV est mesurée sur les fils du flux thermique et la sensibilité étalonnée du capteur est définie sur 0,90  $\mu V/(W/m^2)$ , et la température du capteur est mesurée comme étant égale à 30 °C à partir des fils du thermocouple à ce moment-là. Le calcul du flux thermique est le suivant.

1. Tout d'abord, réglez la sensibilité en fonction de la température du capteur mesurée à partir du thermocouple de type T intégré du capteur. (Ignorez cette étape si vous utilisez le capteur UHFS-09).

$$S_{@T_c} = [0.00334 * T_c + 0.917] * S_{calib}$$

$$S_{@T_c} = [0.00334 * (30^\circ C) + 0.917] * 0.90 \left( \frac{\mu V}{(W/m^2)} \right)$$

$$S_{@T_c} = 0.915 \left( \frac{\mu V}{(W/m^2)} \right)$$

2. Ensuite, calculez le flux thermique à l'aide de la sensibilité et de la mesure de tension réglées sur les fils du flux thermique.



Manuel d'instructions du capteur de flux thermique HFS

$$q'' = \frac{\Delta V_{q''}}{S_{@T_{\circ C}}} = \frac{1800 \mu V}{0.915 \mu V / (W/m^2)} = 1967 W/m^2$$

Il convient de noter que les tensions positives et négatives peuvent être mesurées par le capteur HFS. Une valeur de tension négative comparée à une tension positive signifie simplement que le flux thermique se déplace dans la direction opposée.

### Détermination de la sensibilité du capteur de flux thermique

La sensibilité du capteur est la tension de sortie induite par le capteur divisée par le flux thermique transmis par le capteur.

$$Sensitivity = S = \frac{\Delta V}{q''_{absorbed}}$$

À l'aide d'un appareil d'étalonnage personnalisé, le flux thermique peut être calculé à l'aide du différentiel de température mesuré et de la résistance thermique connue d'un matériau de référence type.

La sensibilité du capteur peut être déterminée en divisant la tension de sortie du capteur par le flux thermique.

$$q'' = \frac{\Delta T}{R''_{SRM}} = \frac{\Delta V_{q''}}{S_{@T_{\circ C}}}$$

$$S_{@T_{\circ C}} = \frac{\Delta V}{q''}$$

La sensibilité peut alors être réglée en fonction de la température.

$$S_{@T_{\circ C}} = [0.00334 * T_{\circ C} + 0.917] * S_{Calib}$$

Où  $T_{\circ C}$  est la température du capteur en degrés Celsius et  $S_{Calib}$  est la sensibilité du capteur étalonné indiquée dans le tableau ci-dessus.

## Section 4 : Conformité aux directives

### Déclaration de conformité RoHS3

***Pour la directive (UE) 2015/863 du Parlement européen et du Conseil du 4 juin 2015 relative à la limitation de l'utilisation de certaines substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques.***

La directive 2015/863 définit dix (10) substances soumises à limitations. La concentration maximale par poids pour chaque substance est indiquée ci-dessous.

Substance	Concentration maximale <sup>1</sup>
Plomb (Pb)	0,1 % <sup>2</sup>
Mercure (Hg)	0,1 %
Cadmium (Cd)	0,01 %
Chrome hexavalent (Cr VI)	0,1 %
Polybromobiphényles (PBB)	0,1 %
Polybromodiphényléthers (PBDE)	0,1 %
Phtalate de bis (2-éthylhexyle) (DEHP)	0,1 %
Phtalate de benzylbutyle (BBP)	0,1 %
Phtalate de dibutyle (DBP)	0,1 %
Phtalate de diisobutyle (DIBP)	0,1 %

<sup>1</sup>Substances soumises à limitations et valeurs de concentration maximales tolérées en poids dans les matériaux homogènes

<sup>2</sup>Exemption 6(a) Le plomb en tant qu'élément d'alliage dans l'acier destiné à l'usinage et dans l'acier galvanisé contenant jusqu'à 0,35 % de plomb en poids ; Exemption 6(b) Le plomb en tant qu'élément d'alliage dans l'aluminium contenant jusqu'à 0,4 % de plomb en poids ; Exemption 6(c) L'alliage de cuivre contenant jusqu'à 4 % de plomb en poids ; et exemption 7(c) Les composants électriques et électroniques contenant du plomb dans du verre ou des matériaux céramiques autres que les céramiques diélectriques dans les condensateurs (par exemple, les dispositifs piézo-électriques) ou dans une matrice en verre ou en céramique.

**Tous les capteurs de flux thermique HFS-5, HFS-6 et UHFS-09 auront la conformité RoHS3 suivante :**

**Statut RoHS3 :** conforme

La conformité RoHS de tout produit désigné comme conforme repose sur des preuves du producteur (fabricant) certifiant que les numéros de pièces sont conformes à la directive RoHS. Toutes les mesures raisonnables ont été prises pour confirmer les déclarations des producteurs et d'autres preuves concernant l'absence de substances soumises à limitations afin d'attester du respect de la conformité du fabricant. D'après un examen des enregistrements de fabrication et des informations techniques, ce produit, à notre connaissance, ne contient aucune des substances soumises à limitations en quantités dépassant les limites spécifiées ci-dessus.

Approuvé par : Rande Cherry

Date : 6/1/2019

## Déclaration de conformité REACH

***Pour la directive CE 1907/2006 du Parlement européen et du Conseil du 18 décembre 2006 concernant l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des substances chimiques, ainsi que les restrictions applicables à ces substances (REACH), instituant une agence européenne des produits chimiques, modifiant la directive 1999/45/CE et abrogeant le règlement (CEE) no 793/93 du Conseil et le règlement (CE) no 1488/94 de la Commission ainsi que la directive 76/769/CEE du Conseil et les directives 91/155/CEE, 93/67/CEE, 93/105/CE et 2000/21/CE de la Commission.***

La directive définit les substances soumises à limitations. La liste des substances extrêmement préoccupantes candidates en vue d'une autorisation REACH se trouve à l'adresse suivante :

[http://echa.europa.eu/chem\\_data/authorisation\\_process/candidate\\_list\\_table\\_en.asp](http://echa.europa.eu/chem_data/authorisation_process/candidate_list_table_en.asp)

**Tous les capteurs de flux thermique HFS-5, HFS-6 et UHFS-09 auront la conformité REACH suivante.**

**Statut REACH :** conforme

La conformité REACH de tout produit désigné comme conforme repose sur des preuves du producteur (fabricant) certifiant que les numéros de pièces sont conformes à la directive REACH. Toutes les mesures raisonnables ont été prises pour confirmer les déclarations des producteurs et d'autres preuves concernant l'absence de substances soumises à limitations afin d'attester du respect de la conformité du fabricant. D'après un examen des enregistrements de fabrication et des informations techniques, ce produit, à notre connaissance, ne contient aucune des substances soumises à limitations en quantités dépassant les limites spécifiées ci-dessus.

Approuvé par : Rande Cherry

Date : 7/19/2019

# DÉCLARATION UE DE CONFORMITÉ

Nom de l'entreprise : Omega Engineering Inc.

Adresse : 800 Connecticut Ave, Suite 5N01, Norwalk, CT 06854

Numéro de téléphone : 1-888-826-6342

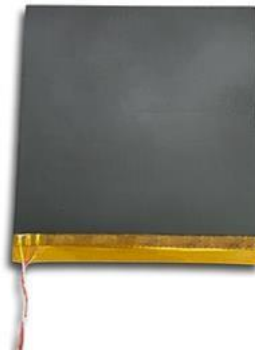
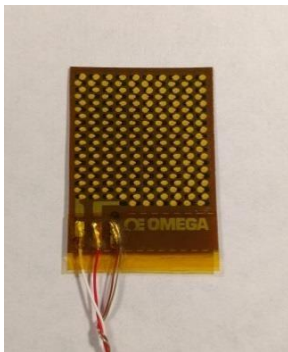
Adresse e-mail : [info@omega.com](mailto:info@omega.com)



Nous déclarons que la déclaration de conformité (DoC, Declaration of Conformity) est émise sous la seule responsabilité et appartient au produit suivant :

## Objets de la déclaration

Numéro de modèle du produit : HFS-5, HFS-6 et UHFS-09



L'objet de la déclaration décrite ci-dessus est conforme à la législation d'harmonisation de l'Union qui lui est applicable :

## Directive 2014/32/UE

Les normes harmonisées et les spécifications techniques suivantes ont été appliquées :

RoHS 2015/863	4 Juin 2015
EN50581:2012	1 Novembre 2012

Signé pour et au nom de :

Omega Engineering, Inc. 18/07/2019

Rande Cherry, Directeur de le technologie