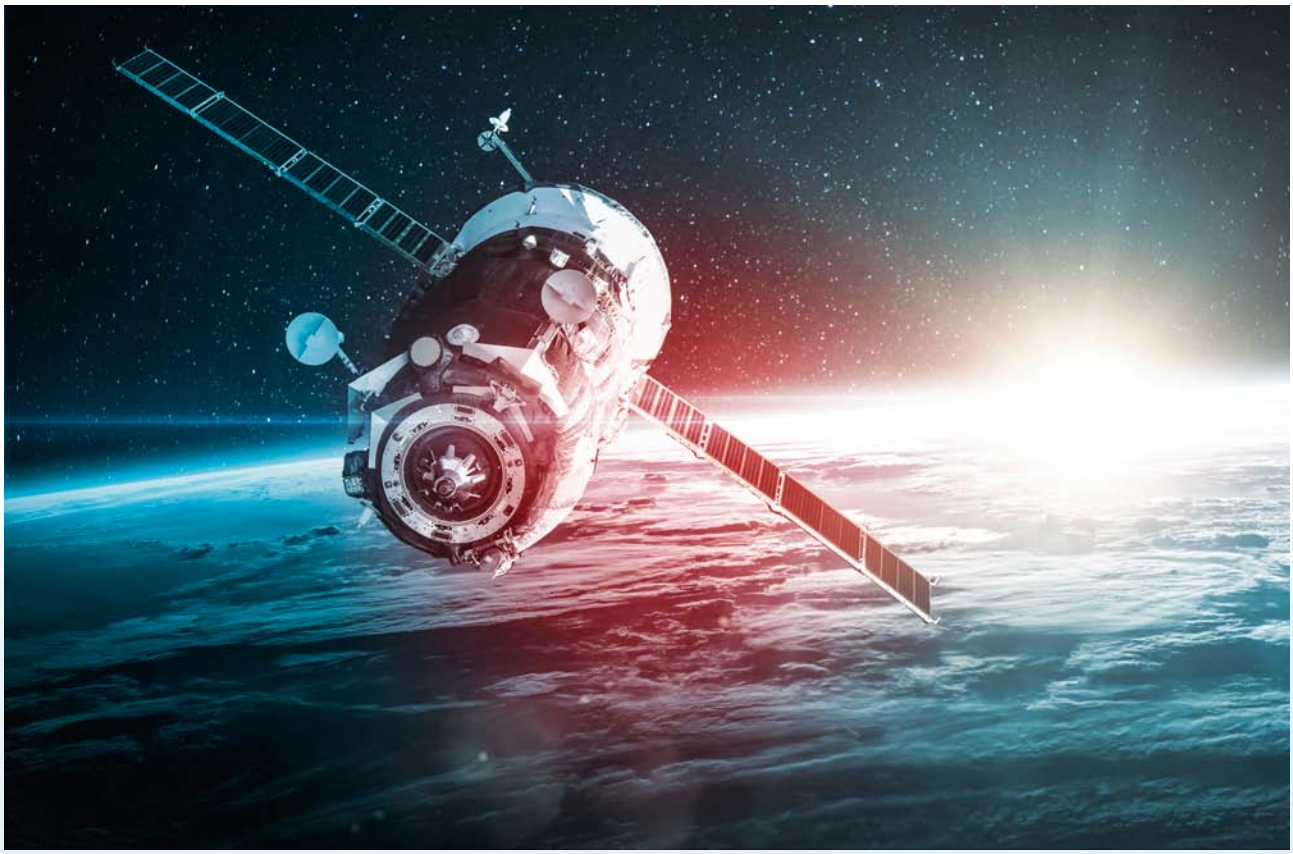
LAUDA

OCTOBRE 2026

APPLICATION NOTE

JUSQU'A L'ORBITE TERRESTRE ET BIEN AU-DELA



Une thermorégulation de précision pour l'industrie de la défense – de la chambre sous vide aux essais de matériaux

Qu'il s'agisse de satellites, de fusées, d'avions ou de drones, les systèmes terrestres fixes et mobiles utilisés dans l'industrie de la défense n'ont que rarement droit à une seconde chance. Les composants doivent fonctionner de manière fiable dans des conditions extrêmes : dans l'espace, même dans un vide quasi absolu, à des températures bien supérieures aux normes terrestres, et ce pendant des années sans possibilité d'entretien ni de réparation. Pour que chaque mission soit couronnée de succès, tous les systèmes et composants doivent être testés et qualifiés dans des conditions réalistes. LAUDA fournit à cet effet une technologie de thermorégulation précise – fiable, reproductible et utilisée dans le monde entier par des entreprises de premier plan dans les domaines de l'aérospatiale, de l'avionique et de la défense.

L'épreuve la plus rude avant le lancement : la thermorégulation dans la chambre thermique sous vide

La chambre thermique sous vide (TVK, ou plus couramment en anglais : TVC) est l'instrument d'essai central de l'aéronautique et de l'aérospatiale dans le domaine civil, mais aussi dans les secteurs de la sécurité et de la défense. Elle simule les conditions extrêmes des différentes couches principales de l'atmosphère terrestre : un vide quasi total à des pressions inférieures à 10^{-6} mbar, ainsi que des températures correspondant à celles auxquelles les composants seront exposés sur leur future orbite. Alors que les satellites, selon leur orbite, peuvent atteindre des températures allant jusqu'à 150 °C du côté ensoleillé de la terre et descendre jusqu'à −190 °C du côté ombragé, tous les composants électroniques, éléments structurels et sous-systèmes doivent résister à ces variations de température extrêmes sans subir de dommages. Contrairement aux secteurs industriels où des contrôles par échantillonnage suffisent pour l'assurance qualité, dans le domaine spatial, chaque unité est soumise à une série complète de tests – un processus qui peut durer plusieurs semaines. Les défauts qui ne sont découverts qu'une fois dans l'espace sont tout simplement irréparables.

Le principe de la thermorégulation TVK

À l'intérieur de la chambre à vide, une structure appelée ›shroud‹ – une paroi en acier inoxydable thermorégulée – entoure l'échantillon de forme cylindrique. Le fluide thermorégulateur est pompé dans un circuit fermé à travers cette double paroi. Comme aucun transfert de chaleur par convection n'est possible dans le vide, l'échange thermique entre le shroud et l'échantillon s'effectue exclusivement par rayonnement thermique. L'appareil de thermorégulation doit donc maintenir la température du ›shroud‹ avec une extrême précision et une grande stabilité, tout en étant capable d'effectuer des changements de température dynamiques de manière rapide et reproductible.

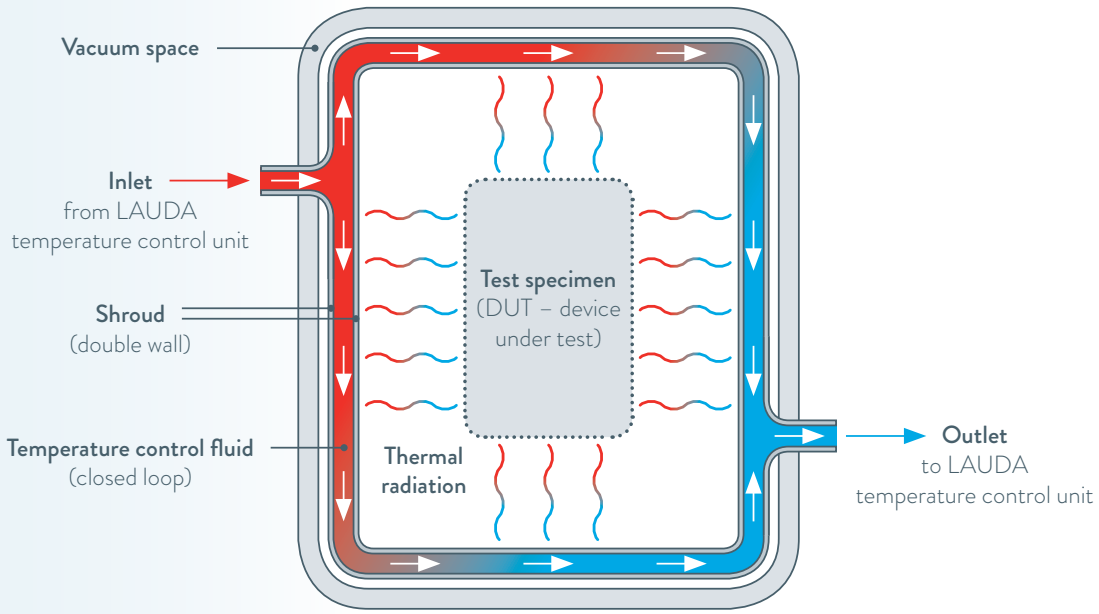


Illustration 1:
Schéma d'une chambre thermique sous vide



Illustration 2:
LAUDA Integral, raccordé à une chambre thermique sous vide

Aperçu des méthodes d'essai
En règle générale, trois méthodes d'essai sont utilisées dans les essais en chambre thermique sous vide :

- **Essai de cycles thermiques :**
L'échantillon est soumis à un nombre défini de cycles thermiques entre des températures basses et élevées. Son bon fonctionnement est vérifié après chaque cycle. Les plages de température typiques se situent entre −40 et 80 °C pour les composants électroniques, mais peuvent s'étendre bien au-delà selon l'application. Pour les applications exigeant une capacité frigorifique maximale, LAUDA utilise de l'azote liquide dans des scénarios d'essai spécifiques et atteint ainsi de manière fiable des températures inférieures à −100 °C.

- **Test d'équilibre thermique :**
Sert à valider le modèle mathématique thermique du satellite ou du composant. La répartition de la température à l'intérieur est déterminée et comparée aux calculs. Les écarts entraînent un ajustement de l'isolation, des réflecteurs ou des éléments chauffants.

- **Essai de charge et de résistance :**
Afin de déterminer les limites des composants et de vérifier les marges de sécurité, les conditions extrêmes sont délibérément dépassées, notamment avec des températures allant de moins de −100 °C à bien plus de 100 °C.

Solutions de thermorégulation LAUDA pour les chambres sous vide
Les thermostats de processus LAUDA Integral XT sont utilisés dans le monde entier dans les chambres thermiques sous vide. Leur atout réside dans la combinaison d'une large plage de température, d'une grande stabilité thermique et d'une pompe puissante – des caractéristiques décisives pour la régulation exigeante de la température du shroud. Les modèles refroidis à l'eau permettent une intégration particulièrement compacte et efficace dans des environnements d'essai exigus, où une circulation d'air suffisante pour l'utilisation d'un appareil de thermorégulation refroidi par air n'est pas possible sur site.

Pour les applications nécessitant des températures inférieures à −40 °C – par exemple lors des essais de composants de moteurs, de systèmes de carburant ou de sous-systèmes de satellites dans des conditions cryogéniques –, les thermostats de processus LAUDA Integral dotés d'une technologie de refroidissement à deux étages viennent compléter la gamme. Leur plage de températures basses allant jusqu'à −90 °C permet également de réaliser les qualifications à basse température les plus exigeantes.

Pour le refroidissement des pompes à vide elles-mêmes, qui génèrent une chaleur résiduelle considérable dans l'environnement de la chambre thermique sous vide, on utilise en outre des refroidisseurs à circulation LAUDA Ultracool – une application indispensable au fonctionnement stable de la chambre.

Pour l'intégration dans les installations, LAUDA propose des options d'interfaces flexibles : des interfaces analogiques et numériques ainsi que des connexions par bus de terrain permettent une intégration transparente dans des environnements de test automatisés et des systèmes de commande de bancs d'essai de niveau supérieur.

Tests de résistance pour les systèmes au sol : la chambre de simulation environnementale
Dans le secteur de la sécurité et de la défense, les tests de résistance garantissent que les composants critiques pour la mission résistent à des contraintes physiques, climatiques et électroniques extrêmes. Ainsi, lors de la simulation environnementale, ces composants sont exposés à des conditions extrêmes telles que le brouillard salin, une humidité élevée, des changements rapides de température et la poussière du désert, afin de prévenir la corrosion et les pannes. Des appareils de thermorégulation précis et fiables, tels que le LAUDA Integral XT, permettent de simuler avec exactitude ces conditions de température – du froid extrême aux contraintes thermiques élevées – et garantissent ainsi des résultats d'essai conformes aux normes militaires.

Autres domaines d'application :
Essais de matériaux et technologie des capteurs

Outre la thermorégulation des chambres sous vide et la simulation environnementale, LAUDA couvre deux autres domaines d'application étroitement liés dans l'industrie aérospatiale.

Essais de matériaux à des températures extrêmes
Les matériaux utilisés dans l'aéronautique, l'aérospatiale et le secteur de la défense – des alliages d'aluminium à haute résistance aux alliages de titane en passant par les plastiques renforcés de fibres – doivent démontrer de manière fiable leurs propriétés mécaniques sur une large plage de températures. Les méthodes d'essai normalisées, telles que **l'essai de résilience Charpy (DIN EN ISO 148-1)**, les essais de flexion et les essais de chute, exigent un préconditionnement précis des éprouvettes à des températures d'essai définies – bien en dessous ou au-dessus de la température ambiante.

Outre les limites de température atteignables, les exigences essentielles pour les appareils de thermorégulation sont avant tout **l'ouverture** et **la profondeur du bain, la reproductibilité, l'homogénéité de la température dans le bain** et **la vitesse de transfert** : notamment lors de l'essai de flexion avec entaille, l'échantillon doit être transféré vers la machine d'essai en quelques secondes après le conditionnement. Tout retard fausse le résultat.

Les thermostats à bain Proline Kryomate et Universa MAX permettent le préconditionnement : ils génèrent des températures de bain stables et homogènes et offrent des temps de stabilisation courts – la base pour des résultats d'essai conformes aux normes et comparables.

Thermorégulation et étalonnage des capteurs
Les systèmes aéronautiques et de défense modernes reposent sur une multitude de capteurs de haute précision : les capteurs de température, les capteurs inertiels, les gyroscopes et les accéléromètres doivent être étalonnés avec exactitude sur toute leur plage de température de service. Les dérives de température ou les imprécisions de mesure, qui semblent négligeables à température ambiante, peuvent entraîner dans la pratique des erreurs critiques de navigation ou de régulation.

Les appareils et installations de thermorégulation LAUDA fournissent l'environnement thermique précis et stable indispensable à l'étalonnage de ces capteurs. Qu'il s'agisse de cryothermostats de refroidissement pour les étalonnages à basse température ou de thermostats à bain à haute température pour la caractérisation à haute température, plusieurs lignes de produits LAUDA couvrent ainsi une plage de températures allant de −90 à 320 °C.

LAUDA – Une expertise qui convainc dans le monde entier
Dans les secteurs de l'aéronautique et de l'espace, ainsi que dans l'industrie de la sécurité et de la défense, une chose prime avant tout : la fiabilité. Les appareils et installations de thermorégulation LAUDA sont utilisés par des instituts de recherche et de développement, des intégrateurs de systèmes et des prestataires de services d'essais sur tous les continents – des laboratoires d'essais de satellites en Europe aux entreprises spatiales aux États-Unis, en passant par les entreprises de défense dans de nombreux pays à travers le monde.

En tant que partenaire performant, LAUDA propose une large gamme de produits, allant des appareils de laboratoire compacts aux solutions de processus sur mesure, durables et faciles d'entretien.

Tout à fait dans l'esprit de la philosophie de LAUDA : ›Améliorer ensemble le monde grâce à des températures précises‹.

LAUDA DR. R. WOBSER GMBH & CO. KG
Laudaplatz 1 • 97922 Lauda-Königshofen • Allemagne
www.lauda.de/fr