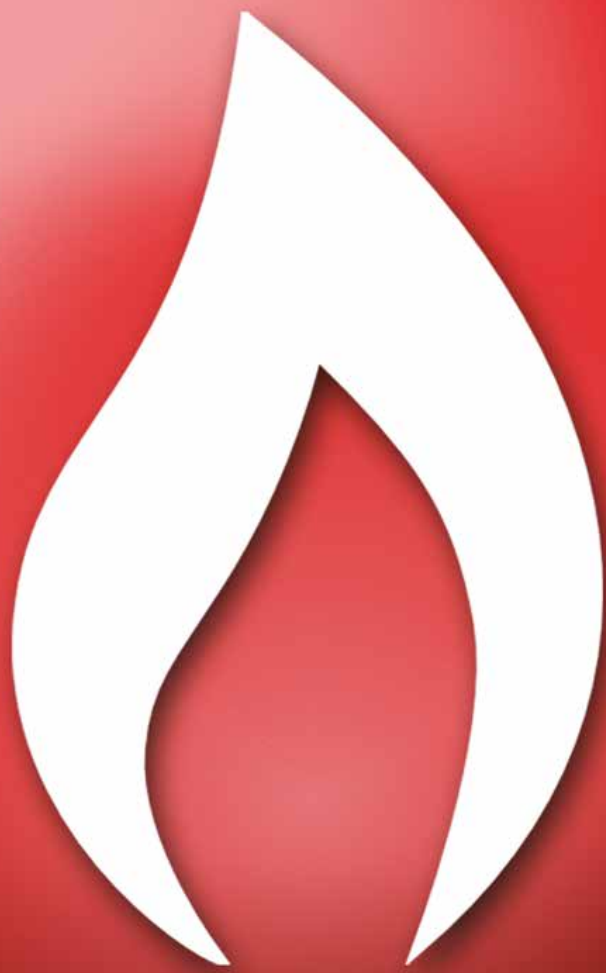


Thermodynamique Expériences



Thermodynamique

Expériences

Capacité thermique	98
Etude du point critique du gaz	100
Conduction thermique	102



Sujets abordés

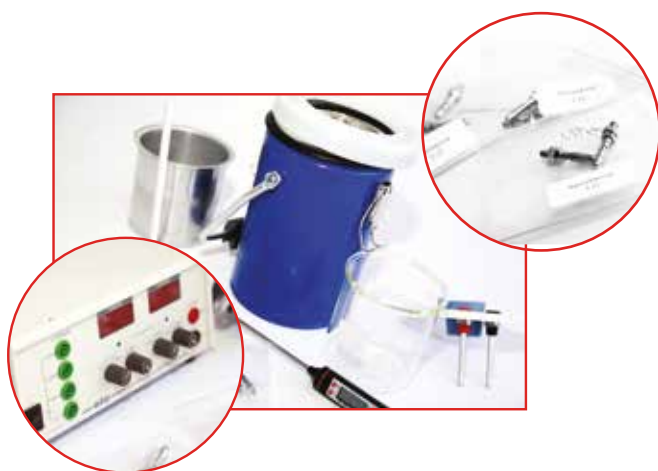
- » Détermination de la capacité thermique spécifique de l'eau ou d'un liquide.
- » Détermination de la capacité calorifique du calorimètre
- » Détermination de la capacité calorifique spécifique de l'aluminium, du fer et du laiton
- » Loi de Joule



→ Capacité calorifique du calorimètre

On place une certaine quantité d'eau dans le calorimètre à vase Dewar. On ferme celui-ci et on place la sonde de température. Attendre l'équilibre thermique et noter la température. On prélève exactement la même quantité d'eau chaude, dont on mesure la température. On verse rapidement cette quantité d'eau chaude dans le calorimètre. On ferme celui-ci, et on agite régulièrement et on note la température d'équilibre. Le calorimètre étant adiabatique, l'eau est isolée thermiquement du milieu extérieur.

→ Loi de Joule et influence de la résistance




On verse une quantité d'eau (masse et volumes connus) connue à température ambiante dans le calorimètre. On relève la température de l'eau et on place les résistances choisies dans les douilles prévues sur le capot du calorimètre. On allume le générateur et on règle l'intensité à la valeur souhaitée, puis on agite. Après quelques minutes, on relève la nouvelle valeur de température. En utilisant la loi de conservation de l'énergie, et en traçant la droite reliant la valeur de l'énergie thermique en fonction du temps, on retrouve la valeur de la résistance appliquée au calorimètre.

→ Mesure de la capacité thermique massique du laiton

On chauffe l'eau d'un récipient dans lequel une masse métallique (exemple du laiton) est immergée. La masse est placée sur un isolant de manière à ce qu'elle ne soit pas en contact avec les parois du récipient. On arrête le chauffage avant ébullition de l'eau. On relève la température de l'eau, qui est aussi celle du métal et on plonge rapidement la masse dans l'eau du calorimètre. (masse d'eau prise au robinet de température connue généralement ambiante). On attend l'équilibre thermique en agitant et on mesure la température d'équilibre. Après quelques minutes, la température va s'équilibrer à une certaine valeur, variable en fonction du matériau.



Solide	Capacité thermique massique (J.kg ⁻¹ .K ⁻¹)
Cuivre	385
Laiton	377
Aluminium	897
Acier inoxydable	502





Capacité thermique

Une quantité d'eau, dont on connaît le volume, est chauffée à l'aide de résistances. La production de chaleur électrique est donc connue. A partir de l'augmentation de la température et de l'énergie thermique, on peut calculer la capacité thermique spécifique de l'eau. En outre, cette valeur est corrigée en tenant compte de la capacité calorifique du calorimètre; Des échantillons métalliques chauds sont placés dans un calorimètre rempli d'eau à basse température. La capacité calorifique des échantillons est déterminée à partir de l'augmentation de la température de l'eau. Lorsque des pièces sont en contact les unes avec les autres et ont des quantités de chaleur différentes, celles-ci se répartissent de façon à ce que toutes auront la même température. Si les capacités thermiques et les températures initiales sont connues, alors la température finale peut être prédite. A l'inverse, la température finale peut être utilisée pour obtenir la capacité de chaleur lorsque les températures initiales sont connues.



Equipement nécessaire

Référence	Désignation	Quantité	Page Produits
PTD 039 505	Calorimètre à vase Dewar	1	110
PTD 039 504	Cubes métalliques	1	110
PEM 080 100	Lot de 2 cordons 1 mètre (1 rouge/1 noir)	3	153

EXP 300 031 Capacité thermique Base

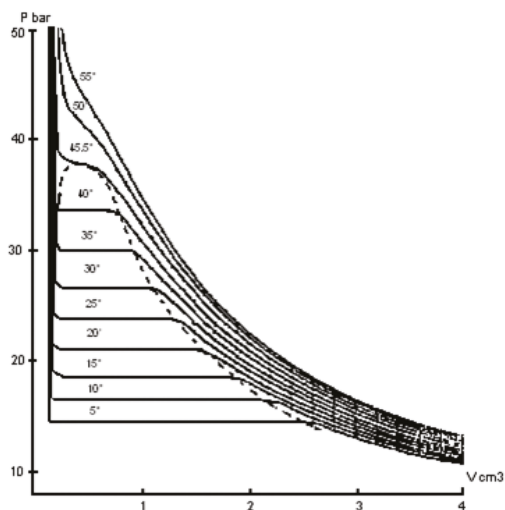
Référence	Désignation	Quantité	Page Produits
EXP 300 031	Expérience de base	1	99
PMM 062 603	Alimentation 0-30V/0-10A	1	148
PMM 062 901	Multimètre numérique	1	150

EXP 300 030 Capacité thermique Complet



Sujets abordés

- » Diagrammes de Clapeyron
- » Loi des états correspondants
- » Contournement du point critique
- » Courbes de pression de vapeur saturante
- » Point critique
- » Diagramme d'Amagat
- » Opalescence critique



→ Diagrammes de Clapeyron

Après avoir mis en place la circulation d'eau dans la jacquette, on règle le thermostat sur la température voulue. Une fois la température stabilisée, on commence la compression du gaz situé à l'intérieur de l'éprouvette, grâce au volant situé sous l'appareil. Une fois la pression stabilisée, on relève les valeurs correspondantes au Volume (V) et à la pression (p). On continue cette compression lentement et par palier. Pour chaque palier, on relève V et p, jusqu'à atteindre 45 bars. On recommence cette manipulation pour des températures croissantes jusqu'à atteindre 50°C. On peut ensuite tracer les diagrammes de Clapeyron.

→ Contournement du point critique



On règle la température sur 42°C, puis on se place au voisinage du point critique, soit environ 35 bars. On baisse la pression à l'aide du volant jusqu'à disparition du liquide. On obtient une transition liquide-gaz. On procède ensuite au réchauffement du système jusqu'à 48°C. Une fois cette température atteinte, on comprime à nouveau le gaz jusqu'à 45 bars. On n'observe aucun ménisque. On passe ensuite à une phase de refroidissement jusqu'à 42°C. Puis on abaisse la pression pour revenir à la position d'origine (soit 35 bars). On obtient de nouveau la transition liquide-gaz.

En réalisant ces étapes, le fluide aura été successivement à l'état de vapeur, à l'état hypercritique et à l'état liquide sans que l'on puisse à aucun moment observer une transition entre ces états.

→ Opalescence critique

L'opalescence critique est un phénomène que l'on peut observer à l'interface d'un fluide au voisinage du point critique. Pour cela on règle la température pour qu'elle atteigne 45°, puis on augmente la pression à l'aide du volant pour se rapprocher du point critique. Une fois ces 2 conditions atteintes, on fait baisser la pression, la lumière qui traverse le milieu formé autour du point critique est diffusée et prend une teinte bleutée.





Etude du point critique du gaz

Cette expérience va vous permettre l'étude de la compressibilité et la liquéfaction d'un gaz (ici l'hexafluorure de soufre). L'appareil permet d'atteindre la pression et la température critique. En travaux pratiques, il sera utilisé pour construire le réseau des isothermes dans le diagramme de Clapeyron.

Lors de vos démonstrations de cours, on montrera la liquéfaction du gaz, on suivra l'évolution des volumes respectifs liquide-gaz au cours de la compression. On montrera également la continuité des états gazeux et liquide au-dessus du point critique en réalisant l'expérience classique de contournement du point critique.



Équipement nécessaire

Référence	Désignation	Quantité	Page Produits
PHD 009 960	Appareil du point critique	1	106
PHD 009 660	Bain thermostatique	1	108

EXP 300 042 Etude du point critique - Base

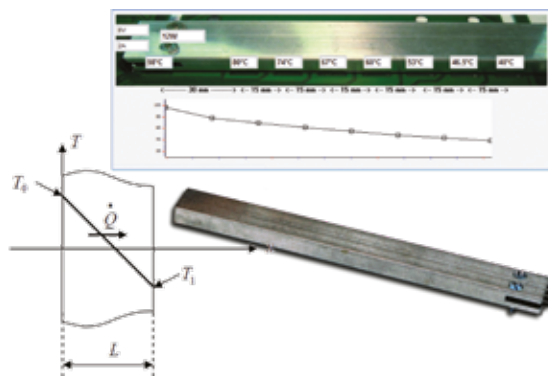
Référence	Désignation	Quantité	Page Produits
EXP 300 042	Expérience de base	1	101
PHD 008 898	Pompe à vide	1	108
PHD 009 953	Piège à vide	1	108

EXP 300 041 Etude du point critique - Complet



Sujets abordés

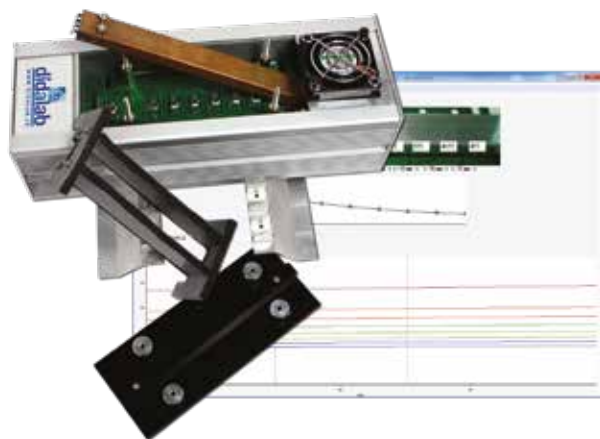
- » Transfert thermique
- » Conduction thermique
- » Résistance thermique
- » Loi de Fourier
- » Propriétés des matériaux



→ Conductivité en régime stationnaire

On place la barre à étudier dans le boîtier. On ferme celui-ci avec les vis de serrage de manière à se rapprocher au maximum des conditions adiabatiques. On lance la chauffe ainsi que le refroidissement. Les températures des 8 capteurs s'affichent ainsi que le flux thermique. Au bout d'une quinzaine de minutes, le régime permanent est atteint: la température est constante en fonction du temps en tout point de l'espace. On affiche la droite représentant le gradient de température, c'est-à-dire la température en fonction de la position de chaque capteur. En exploitant le coefficient directeur ou l'ordonnée à l'origine de cette droite, on retrouve la valeur de la conductivité du matériau grâce à la loi de Fourier.

→ Etude du régime transitoire

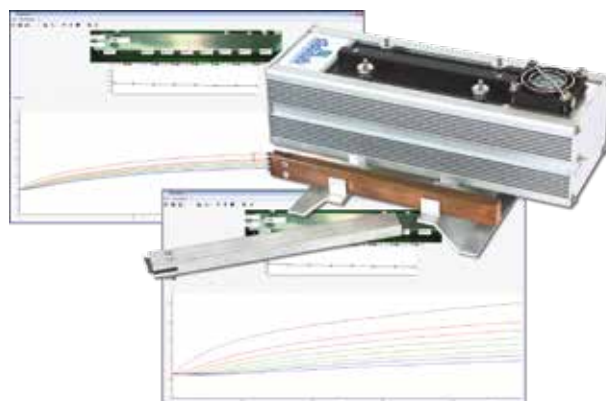


On met en place la barre à étudier dans le boîtier et on lance une acquisition. Dans ce régime, la température n'a pas encore atteint une température d'équilibre. Le logiciel permet d'afficher la température de chaque capteur en fonction du temps. En connaissant la masse volumique du matériau, on peut retrouver la valeur de la diffusivité du matériau avec l'équation de diffusion de la chaleur.

→ Comparaison de différents matériaux

Nous fournissons une barre en cuivre et une barre en aluminium, (une barre en laiton est disponible en option), ce qui permet de comparer les conductivités des différents matériaux. Les barres sont facilement interchangeables. L'étude des 3 matériaux est possible pendant un TP de 2h maximum.

On pourra également travailler sur le retour à l'état d'origine après une chauffe, ou sur la chauffe continue sans refroidissement.





Conduction thermique

Cet appareil complet permet de mettre en œuvre la loi fondamentale liant le flux thermique au gradient de température et à la surface traversée par le flux.

Une barre métallique est chauffée électriquement à une extrémité. Une circulation d'air tempéré permet le maintien de la température de la deuxième extrémité à une valeur sensiblement constante.

Une série de huit capteurs de température est répartie le long de la barre métallique à étudier. Grâce à un système d'acquisition et son logiciel, on récupère la température de chaque capteur en fonction du temps, ainsi que le flux de chaleur en Watt. Toutes les données acquises au cours du temps sont exploitables.



Équipement nécessaire

Référence	Désignation	Quantité	Page Produits
PTD 009 915	Appareil de conduction thermique	1	111
PTD 009 919	Barre en laiton	1	111

EXP 300 050 Conduction thermique

Thermodynamique Produits



Thermodynamique

Produits

Point critique - Isotherme SF6	106
Etude du vide	108
Appareil de Clément Desormes	109
Calorimètres.	110
Appareil de conduction thermique.	111



Point critique – Isotherme de SF6

Nouveau modèle

DESCRIPTION DE L'APPAREIL

Appareil de précision destiné à l'étude de la compressibilité et de la liquéfaction d'un gaz, ici l'Hexafluorure de Soufre (SF6), et permettant d'atteindre facilement son point critique en toute sécurité.
Conception pédagogique et robuste.

LES POINTS FORTS

- Excellente visibilité du changement d'état du gaz
- Lecture de la pression directe et aisée
- Utilisation d'un gaz à propriétés physiques et chimiques idéales pour les mesures
- Robustesse et sécurité
- Charge en gaz réalisable par vos soins
- Nombreux sujets abordés

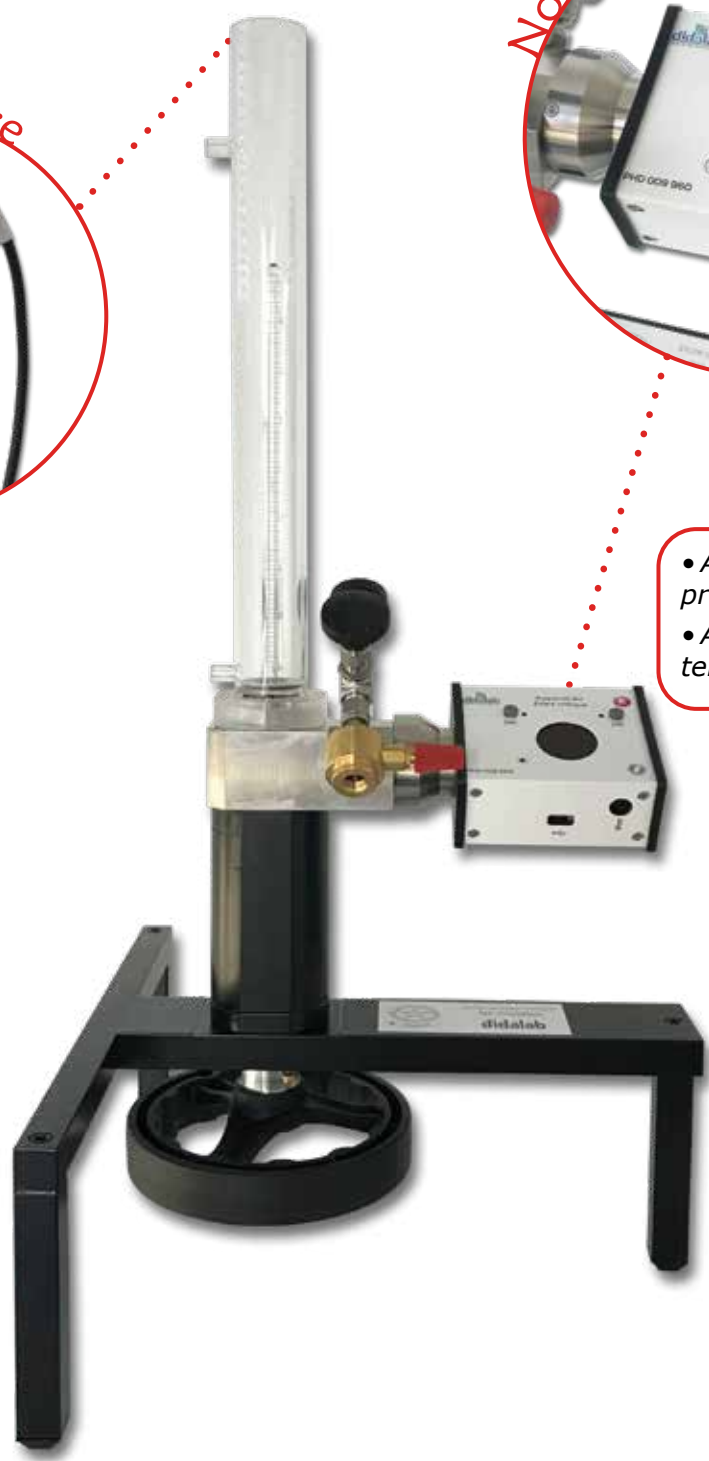
Sonde de température



Nouveau manomètre numérique



- Affichage numérique de la pression
- Affichage numérique de la température



THERMODYNAMIQUE – PRODUITS



LES PRINCIPAUX ÉLÉMENTS

LE SF6 :

Gaz à paramètres critiques faciles à atteindre :

- *Pression critique : 37,6 bars*
- *Température critique : 45,5 °C*

L'ÉPROUVETTE :

Élément dans lequel s'effectue la compression du gaz à étudier par la montée du mercure

- *En Pyrex épais*
- *Volume 4 cm³ - Graduée au 1/20ème de cm³*
- *Fixée sur une chambre en acier inoxydable*



LA JAQUETTE THERMOSTATIQUE :

Élément placé autour de l'éprouvette permettant d'effectuer une circulation d'eau, destinée à faire varier les conditions de température.

SONDE DE TEMPÉRATURE :

L'appareil est équipé d'une sonde de température qui se place en haut de la jaquette thermostatique grâce à un bouchon spécialement conçu. La lecture de la température se fait directement sur le cadran du manomètre numérique.

LE MANOMÈTRE NUMÉRIQUE :

Élément indiquant la pression en bars exercée dans la chambre de compression et, de ce fait, la pression qu'exerce le mercure sur le gaz étudié.

L'appareil du point critique est maintenant équipé d'un manomètre numérique permettant la mesure de la pression et de la température. La manomètre fonctionne sur batterie et doit donc être chargé via le cordon et le chargeur secteur fourni.



COMPOSITION DE LA RÉFÉRENCE PHD 009 960 :

- *1 Appareil pour l'étude du point critique*
- *1 Cartouche de SF6*
- *2 Tuyaux souples pour la circulation d'eau*
- *1 Jeu de clés Allen nécessaire au montage et démontage de l'appareil*
- *1 Notice d'utilisation*

AUTRES CARACTÉRISTIQUES :

- *Livré non chargé pour des raisons de sécurité de transport*
- *Possibilité de vous le livrer chargé selon destination (surcoût)*
- *Dimensions : 335 x 340 x 670 mm - Poids : 9 kg*

PHD 009 960 Point critique

	Thermomètre	Bouteille SF6	Bain thermostatique	Piège à vide	Pompe à vide
Livré avec référence PHD009960	X	X			
Besoin additionnel pour expérience			X		
Besoin additionnel pour mise en service		X		X	X



Bain thermostatique et circulation

Système intégrant une cuve, un thermostat et une circulation d'eau à température fixée.

Complément indispensable pour les manipulations de tracé des isothermes, ainsi que pour toutes les expériences nécessitant une régulation de la température par circulation d'eau.

Élément chauffant de 1050 W jusqu'à une température de 60 °C, $\pm 0,05$ °C Fourni avec une cuve en méthacrylate de 8 litres.

PHD 009 660 Bain thermostatique et circulation

Pompe à vide

Pompe à alimentation 220 V à palettes permettant d'obtenir un vide poussé en un minimum de temps.

La pompe nécessite un remplissage d'huile (fournie).

Pompe à vide "classique" à un étage

Vide résiduel : 0,03 mBar - Débit de 2.5 m³/h

Poids : 4 kg.

PHD 008 898 Pompe à vide



Piège à vide

Matériel indispensable, ayant pour but d'éviter l'introduction de mercure dans votre pompe à vide, et donc sa détérioration, lors de la charge de l'appareil du Point Critique en gaz.

Constitué d'une fiole à filtration sous vide de 250 ml en verre et de 1 mètre de tuyau à vide 8 x 21 permettant le raccordement à l'appareil et à la pompe à vide.

PHD 009 953 Piège à vide

Cartouche SF6

Cartouche contenant le gaz utilisé pour l'utilisation de l'appareil du Point Critique, l'Hexafluorure de Soufre (SF6). Indispensable pour la recharge de votre appareil en gaz.

Environ 8 à 10 remplissages sont possibles avec une cartouche.

Selon votre fréquence d'utilisation, une recharge de gaz doit être effectuée tous les 6 mois à 1 an maximum.

PHD 009 940 Cartouche de SF6



Platine à vide

Platine de diamètre 250 mm à isolation néoprène. La platine est pourvue d'une traversée électrique étanche (2 douilles 4 mm de sécurité) et est maintenue par 3 pieds. Munie de deux robinets (un pour la pompe, un casse-vide).

PHM 032 071 Platine à vide

Cloche à vide

Cloche à vide de 200 mm de diamètre à bouton, en verre borosilicaté «SIMAX» à bord rodé sur 20 mm.

PHM 032 151 Cloche à vide





Appareil de Clément Desormes

Un grand récipient rempli d'air à une pression un légèrement supérieure à la pression atmosphérique est ouvert pendant un court instant.

Le gaz se détend jusqu'à la pression atmosphérique en une détente pratiquement adiabatique et il se refroidit.

Puis, le gaz se réchauffe jusqu'à la température initiale (température ambiante) et la pression augmente.

Les capacités thermiques molaires C_v et C_p sont calculées à partir du changement de pression ou de volume.

Une masse oscille sur un volume de gaz dans un tube de précision. L'oscillation est maintenue en redirigeant le gaz qui s'échappe vers l'intérieur du système.

Le coefficient adiabatique du gaz est déterminé à partir de la périodicité de l'oscillation.



CARACTÉRISTIQUES DE L'APPAREIL

- Bonbonne en verre de 25 litres
- Une soupape à large ouverture
- Un manomètre à l'air libre gradué en millimètres
- Un robinet en caoutchouc à 3 voies
- Dimensions : 370 x 370 x 750 mm
- Masse : 8,5 kg

PHD 009 400 Appareil de Clément Desormes

Expérience $PV = C_{ste}$

Appareil permettant de vérifier la loi de Boyle-Mariotte, une des lois de la thermodynamique des gaz réels. Expérience permettant de faire la relation entre la pression et le volume d'un gaz réel à température constante et, ainsi, le tracé d'une courbe isotherme du gaz.

CARACTERISTIQUES :

- Constitué d'un cylindre gradué muni d'un piston
- Piston agissant sur un manomètre de 100mm de diamètre
- Longueur de l'ensemble : 350 mm



PHM 032 760 Expérience PV = Cste



Calorimètre à vase Dewar

COMPOSITION DU CALORIMÈTRE

UN VASE EN ALUMINIUM :

- Capacité totale 800 ml
- Capacité utile 500 ml
- Concentrique d'un vase Dewar à large goulot
- Protégé par une enveloppe métallique, munie de 2 crochets de fermeture

UN COUVERCLE PLASTIQUE À FACE INTÉRIEURE BLANCHE COMPORTANT :

- Une ouverture à section carrée pour le passage de l'agitateur, bloqué en rotation par la tige à section carrée.
- Une fermeture centrale avec opercule de 38 mm de \varnothing , pour l'isolement des corps étrangers après leur introduction dans le calorimètre.
- Un passage de 8 mm de \varnothing pour le thermomètre.

UN BÉCHER DE 500 ml :

- \varnothing 100 mm - Hauteur 100 mm
- pouvant être mis à la place du vase en aluminium, pour l'étude des réactions thermochimiques
- Un agitateur avec tige à section carrée terminée à sa base par une lame semi-circulaire de 30 mm de rayon.

UN JEU DE RESISTANCES :

- Support circulaire robuste de diamètre 128 mm, équipé de deux douilles double puits \varnothing 4 mm solidaires de deux tiges conductrices au bout desquelles est enfichée la résistance. 1, 2, 3, 5 Ohms.

UN THERMOMÈTRE DIGITAL :

- Plage de mesure : -50° à 300°C

CARACTÉRISTIQUES

- Capacité : 500 ml
- Valeur en eau du calorimètre + agitateur : 14,7 Cal/degés
- Pertes/gains par rayonnement ou conduction : très faibles
- Dimensions extérieures : \varnothing 170 mm- Hauteur : 215 mm
- Chaleur massique aluminium : 0,214 kcal. kg-1. K-1
- Chaleur massique verre : 0,186 kcal. kg-1. K-1

Livré avec notice d'utilisation

PTD 039 505 Calorimètre



Calorimètre à vase Dewar

Calorimètre disposant des mêmes caractéristiques techniques que la référence ci-dessus (PTD 039 505).

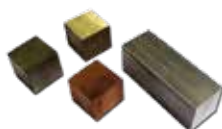
COMPOSITION :

- 1 Vase en Aluminium
- 1 couvercle en plastique
- 1 Bécher de 500 ml
- 1 Agitateur
- 1 Thermomètre

PTD 039 501 Calorimètre à vase Dewar

Cubes métalliques

4 cubes métalliques en Aluminium, Cuivre, Acier, Laiton, de même masse (60g).
Tous les cubes disposent de la même surface (20 x 20 mm).



PTD 039 504 Cubes métalliques

Bécher de rechange

Bécher de rechange de 500 mL pour les calorimètres de référence : PTD 039 505 et PTD 039 501

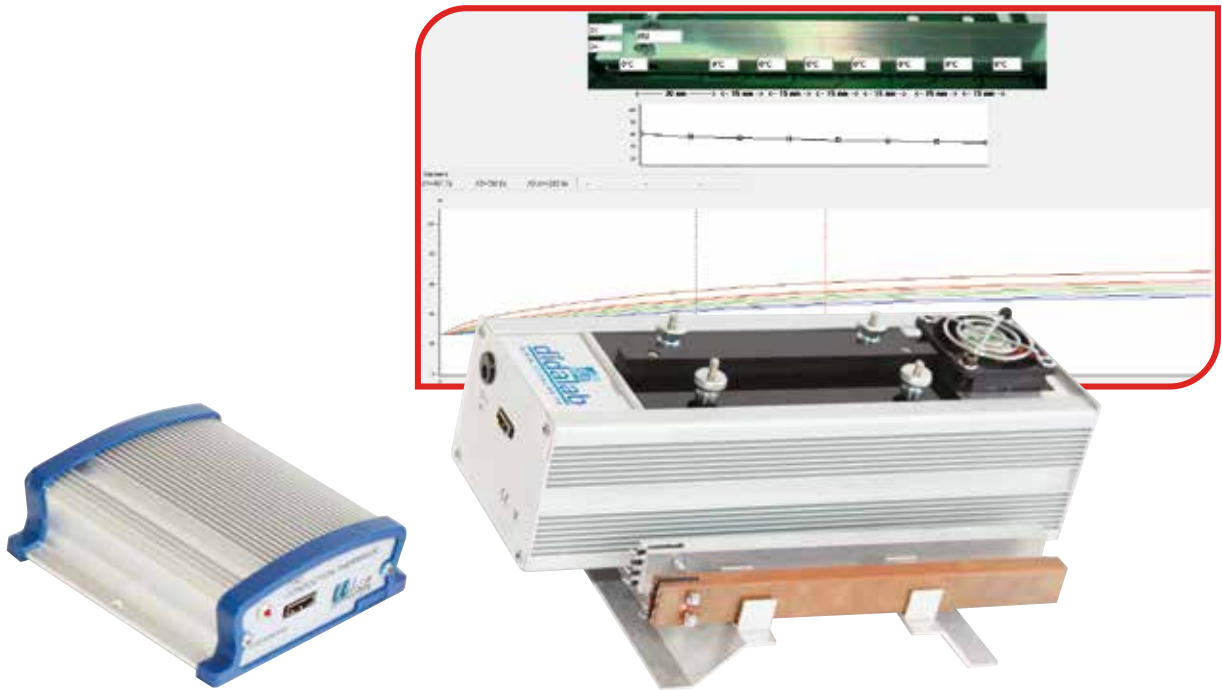


PTD 039 502 Bécher de rechange



Appareil de conduction thermique

Appareil permettant de démontrer la loi fondamentale qui lie le flux calorifique au gradient de température et à la surface traversée par le flux.
Mesure de la conduction des métaux.



COMPOSITION :

- 1 Barre de cuivre
- 1 Barre d'aluminium
- 1 boîtier avec système de refroidissement
- 1 boîtier de commande
- 1 Logiciel d'exploitation à télécharger
- Câble USB
- Câble HDMI
- 1 Alimentation secteur 12V

PRINCIPE :

Une barre métallique est chauffée électriquement à une extrémité ; un refroidissement par circulation d'air permet le maintien de la température de la deuxième extrémité à une valeur sensiblement constante.

Une série de 8 capteurs de température répartis le long de la barre permet, via une interface à sortie USB et son logiciel d'acquisition, l'affichage des données sur un ordinateur.
Toutes les données utiles sont exportables si vous le désirez.

PTD 009 915 Appareil de conduction thermique

PTD 009 919 Barre en laiton