



Anton Paar

DEPUIS 1967

DENSITY
MEASUREMENT TM

UNE BONNE MESURE DE LA MASSE VOLUMIQUE NÉCESSITE SOIN ET ATTENTION DANS CINQ DOMAINES DE BASE :

LA VÉRIFICATION SUR L'EAU, L'AJUSTEMENT, LA PRÉPARATION DES ÉCHANTILLONS, LE REMPLISSAGE DE L'ÉCHANTILLON ET LE NETTOYAGE.

Depuis 1967, la société Anton Paar GmbH s'est spécialisée dans la fourniture de densimètres fiables et très précis pour la recherche et l'industrie.

Cette brochure rassemble notre expérience et nos connaissances dans la pratique des mesures, acquises pendant plus de 50 ans.

Suivez ces conseils et vous serez sur la bonne voie pour l'obtention de résultats de masse volumique reproductibles et précis.

VÉRIFICATION À L'EAU

Procédez à une vérification sur l'eau chaque jour avant de commencer vos mesures.

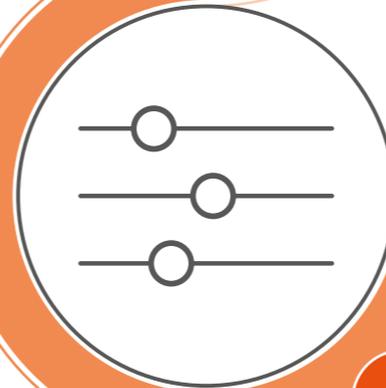
1



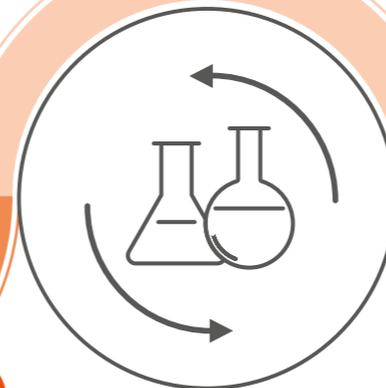
AJUSTEMENT

Si la vérification sur l'eau échoue et si le nettoyage n'aide pas, effectuez à un ajustement sur l'air/l'eau.

2



3



PRÉPARATION D'ÉCHANTILLONS

Pour obtenir des résultats reproductibles, préparez vos échantillons avec soin et de la même manière chaque fois.

NETTOYAGE

Retirez l'échantillon de la cellule de mesure immédiatement après la mesure et nettoyez régulièrement votre instrument.

5



4



REPLISSAGE DE L'ÉCHANTILLON

Remplissez avec soin la cellule de mesure et sans bulles.

Effectuez une **vérification sur l'eau** chaque jour avant de commencer vos mesures.



Si vous réalisez régulièrement des vérifications de masse volumique, vous pouvez garantir une précision stable et élevée de vos mesures de concentration et de masse volumique.

La vérification sur l'eau échoue si la valeur de masse volumique mesurée n'est pas comprise dans la plage de tolérance requise. La plage de tolérance dépend de l'application et est plus stricte dans l'industrie pharmaceutique que dans l'industrie des boissons sans alcool, par exemple.

WORKFLOW

- Remplissez d'eau ultra-pure (bistillée ou désionisée par exemple), fraîchement dégazée, dans la cellule de mesure.
- Démarrez une mesure.
- Comparez la masse volumique déterminée et la valeur de référence : $\rho_{\text{eau}} = 0,998203 \text{ g/cm}^3$ | pour $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

EXEMPLE

Une limite de tolérance commune pour les boissons sans alcool est $\pm 1 \times 10^{-4} \text{ g/cm}^3$. Cela signifie que la vérification sur l'eau est positive si la masse volumique déterminée est comprise entre $0,9981 \text{ g/cm}^3$ et $0,9983 \text{ g/cm}^3$.

SI LA VÉRIFICATION SUR L'EAU ÉCHOUÉ, ESSAYEZ :

- utilisez de l'eau fraîche ultra-pure.
- Recommencez la vérification sur l'eau.

SI LA VÉRIFICATION SUR L'EAU ÉCHOUÉ À NOUVEAU :

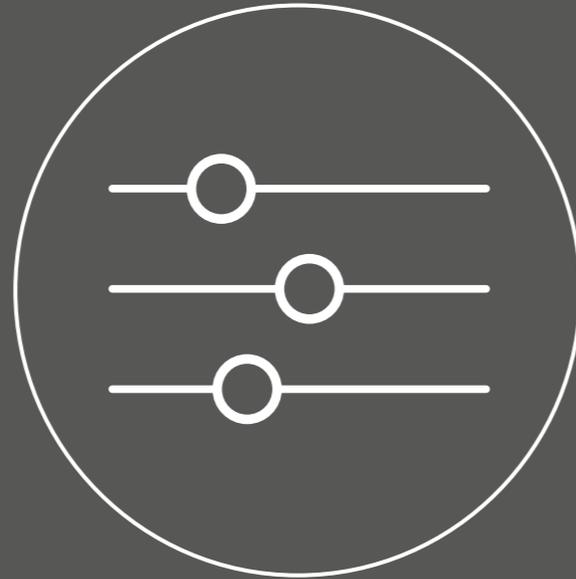
- Nettoyez soigneusement la cellule de mesure.
- Recommencez la vérification sur l'eau avec de l'eau ultra-pure.

SI LA VÉRIFICATION SUR L'EAU ÉCHOUÉ À NOUVEAU :

Effectuez un ajustement air/eau

MA VÉRIFICATION D'EAU : LA LIMITE DE TOLÉRANCE POUR MON CONTRÔLE SUR L'EAU EST-

Si la vérification sur l'eau échoue et que le nettoyage n'aide pas, effectuez un **ajustement** sur l'air/l'eau.



Un ajustement modifie les constantes de l'instrument. Pour la cohérence et la comparabilité des résultats, un ajustement doit uniquement être réalisé si la vérification sur l'eau échoue et si l'utilisation d'eau fraîche et le nettoyage de la cellule de mesure n'aident pas. Un nettoyage insuffisant est la cause de la majorité des erreurs de mesure et l'ajustement doit être considéré comme le dernier recours.

WORKFLOW

- Les milieux d'ajustement usuels sont l'air sec et l'eau fraîchement dégazée ultra-pure (bidistillée par exemple).
- Suivez la procédure d'ajustement automatique sur votre instrument.
- Consignez l'ajustement dans le journal de bord.

CAUSE	EFFET	INFLUENCE SUR LA MASSE VOLUMIQUE
Nettoyage agressif	Volume augmenté de la cellule de mesure	Réduction de la masse volumique artificielle
Nettoyage inefficace	Volume de la cellule de mesure diminué	Augmentation de la masse volumique artificielle

RAISONS POUR LESQUELLES LES EFFETS SECONDAIRES DU NETTOYAGE DOIVENT ÊTRE COMPENSÉS PAR UN AJUSTEMENT



DANS LE PASSÉ, IL ÉTAIT CONSEILLÉ DE RÉALISER UN AJUSTEMENT UNE FOIS PAR SEMAINE, MAIS CELA N'EST MAINTENANT PLUS LE CAS. N'AJUSTEZ VOTRE INSTRUMENT QUE S'IL EST HORS DE LA PLAGE.

MES MILIEUX D'AJUSTEMENT SONT

Milieu d'ajustement 1 _____

Masse volumique 1 _____

Milieu d'ajustement 2 _____

Masse volumique 2 _____

Milieu d'ajustement 3 _____

Masse volumique 3 _____

Pour obtenir des résultats reproductibles, **préparez vos échantillons** avec soin et de la même manière chaque fois.

VOTRE ÉCHANTILLON CONTIENT DES GAZ.

Il existe différentes méthodes pour le dégazage des échantillons liquides. La meilleure méthode pour votre application dépend du type d'échantillon, du type de gaz et de la quantité de gaz dissoute dans l'échantillon. Notez que vous pouvez modifier légèrement la composition de quelques échantillons lors de la préparation des échantillons en raison de l'évaporation des composants volatils.



AGITATION

- Agitez énergiquement votre échantillon pendant 2 à 15 minutes (en fonction de l'équipement) jusqu'à la disparition complète des bulles.
- Vous pouvez également verser l'échantillon dans un filtre en papier après l'avoir remué pour améliorer encore l'effet de dégazage.

BAIN À ULTRASONS

- Placez votre échantillon pendant 5 à 10 minutes dans un bain à ultrasons jusqu'à ce que la formation des bulles cesse.

ÉBULLITION

- Pour éliminer l'air dissous, faites bouillir le liquide pendant quelques minutes.
- Remplissez un flacon en verre propre avec le liquide bouilli et couvrez-le.
- Attendez que le liquide refroidisse jusqu'à la température approximative de mesure.

VOTRE ÉCHANTILLON EST AGRESSIF.

- Respectez toutes les réglementations de sécurité relatives à la manipulation des échantillons et des liquides usés, de nettoyage et de rinçage (p. ex. en utilisant des lunettes de sécurité, des gants, une protection respiratoire, etc.).
- Vérifiez la résistance chimique de l'ensemble des matériaux entrant en contact avec l'échantillon avant de commencer la mesure.

VOTRE ÉCHANTILLON EST VISQUEUX.

- Chauffez votre échantillon pour abaisser les viscosités.
- Pour les échantillons hautement visqueux, utilisez un dispositif de chauffage pour éviter le gel de l'échantillon dans l'entrée et la sortie.
- Si vous utilisez un système de remplissage d'échantillon, vérifiez si la viscosité correspond aux spécifications indiquées.

VOTRE ÉCHANTILLON EST VOLATIL.

- Fermez les flacons d'échantillon avec des bouchons.
- Mélangez prudemment les flacons pour ramener les gouttes condensées dans le liquide.
- Pour les échantillons hautement volatils, utilisez une unité de remplissage d'échantillon supportant le remplissage sous pression.



NE FAITES PAS BOUILLIR DE LIQUIDES INFLAMMABLES EN RAISON DU RISQUE ÉLEVÉ D'INCENDIE.

SI VOTRE ÉCHANTILLON CONTIENT DES COMPOSANTS VOLATILS TOXIQUES, MANIPULEZ-LE TOUJOURS DANS UN ENVIRONNEMENT APPROPRIÉ, COMME UNE HOTTE DE VAPEUR.

Contactez votre représentant Anton Paar local afin de découvrir la meilleure méthode pour préparer votre échantillon.

Remplissez prudemment la cellule de mesure et sans bulles.



REPLISSAGE AUTOMATIQUE AVEC UNITÉS DE REPLISSAGE D'ÉCHANTILLON

La seule façon d'éliminer les erreurs dues à l'opérateur est d'utiliser des unités de remplissage d'échantillon. Étant donné que les unités de remplissage d'échantillon répètent chaque fois les mesures exactement de la même manière, c'est la meilleure façon d'obtenir des résultats répétables.

Même les échantillons critiques, comme les échantillons hautement visqueux ou les échantillons avec des composants volatils, sont remplis de manière homogène. Certaines unités de remplissage d'échantillon prennent également en charge le nettoyage automatique.

WORKFLOW

- Transférez vos échantillons dans les flacons d'échantillons correspondants et préparez le carrousel.
- Si votre unité de remplissage d'échantillon prend en charge le nettoyage automatique, vérifiez que le liquide de nettoyage est disponible en quantités suffisantes.
- Videz le réservoir de déchets avant de démarrer une série de mesures.
- Contrôlez la configuration de l'appareil.
- Préparez la liste d'échantillons pour votre instrument.
- Démarrez la mesure.

REPLISSAGE MANUEL AVEC UNE SERINGUE

L'utilisation d'une seringue représente la méthode traditionnelle de remplissage d'un échantillon dans un densimètre. Un certain entraînement est nécessaire pour obtenir des résultats répétables et éviter les bulles dans la cellule de mesure.

WORKFLOW

- Actionnez le piston lentement et régulièrement, sans vous arrêter.
- Vérifiez si la cellule de mesure se remplit sans bulle.
- Contrôlez la configuration de l'appareil.
- Démarrez la mesure.

Pour les matériaux pâteux, utilisez toujours une seringue. Si les échantillons sont très visqueux, vous pouvez les introduire dans la seringue à l'aide d'une cuillère par l'arrière de la seringue après avoir entièrement sorti le piston. Réinsérez ensuite le piston.



AVANT DE TRANSFÉRER L'ÉCHANTILLON DANS UN DENSIMÈTRE, ASSUREZ-VOUS QUE TOUTES LES PIÈCES EN CONTACT AVEC L'ÉCHANTILLON RÉSISTENT À CE DERNIER.

MON REPLISSAGE DE L'ÉCHANTILLON

Retirez l'échantillon de la cellule de mesure après la mesure et **nettoyez régulièrement votre instrument.**



NETTOYEZ ET SÉCHEZ LA CELLULE DE MESURE AU MOINS UNE FOIS PAR JOUR OUVRÉ OU À CHAQUE CHANGEMENT D'ÉQUIPE.

UN NETTOYAGE PLUS FRÉQUENT PEUT ÊTRE REQUIS SI

- vous effectuez des ajustements ;
- vous mesurez un échantillon qui n'est pas miscible avec l'échantillon précédent (p. ex., de l'eau après un échantillon de produit pétrochimique),
- vous voulez effectuer une mesure avec un volume minimum d'échantillon ;
- vous mesurez un échantillon qui pourrait avoir une réaction chimique avec l'échantillon précédent.

La meilleure méthode de nettoyage de vos instruments consiste à utiliser des unités de remplissage supportant le nettoyage automatique. Dans ce cas, vérifiez que les liquides de nettoyage appliqués sont adaptés à vos échantillons.

WORKFLOW

- Nettoyez la cellule de mesure avec deux liquides de nettoyage :
 - Liquide de nettoyage 1 : le liquide de nettoyage 1 dissout et élimine les résidus d'échantillon dans la cellule de mesure. Il doit s'agir d'un solvant efficace applicable à tous les composants des échantillons.
 - Liquide de nettoyage 2 : le liquide de nettoyage 2 élimine le liquide de nettoyage 1. Il s'évapore facilement si vous dirigez dessus un flux d'air sec afin d'accélérer le séchage de la cellule. Le liquide de nettoyage 2 doit être un solvant efficace pour nettoyer le liquide 1.
- Séchez la cellule de mesure en activant la pompe à air interne.
- Vérifiez si le nettoyage et le séchage ont été réalisés avec succès en mesurant la masse volumique de l'air (=contrôle de l'air).
- Comparez la masse volumique déterminée et la valeur de référence : $\rho_{\text{Air}} = 0,001199 \text{ g/cm}^3$ | pour $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $p = 1013 \text{ mbar}$



AVANT DE TRANSFÉRER UN LIQUIDE DE NETTOYAGE DANS UN DENSIMÈTRE, ASSUREZ-VOUS QUE TOUTES LES PIÈCES EN CONTACT AVEC LE LIQUIDE RÉSISTENT À CE DERNIER (VÉRIFIEZ DANS LE MANUEL D'UTILISATION).

MES LIQUIDES DE NETTOYAGE SONT

Échantillon _____
Liquide de nettoyage 1 _____
Liquide de nettoyage 2 _____

Échantillon _____
Liquide de nettoyage 1 _____
Liquide de nettoyage 2 _____

Plus de conseils sur une bonne mesure de masse volumique



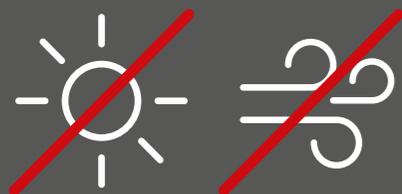
**UTILISEZ UN BANC DE LABORATOIRE
ROBUSTE.**



**VEILLEZ À CE QUE L'ENVIRONNEMENT
SOIT PROPRE.**



**FAITES ÉTALONNER VOTRE INSTRUMENT
ISO 17025 UNE FOIS PAR AN.**



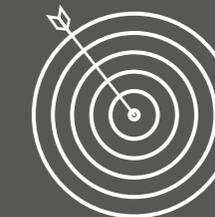
**ÉVITEZ LA LUMIÈRE DIRECTE DU
SOLEIL OU LE FLUX D'AIR DÙ À LA
VENTILATION.**



**ÉVITEZ UNE SOURCE DE CHALEUR À
PROXIMITÉ DE 2 MÈTRES.**



**ORGANISEZ UN ENTRETIEN RÉGULIER
PAR UN TECHNICIEN DE SERVICE.**



**EFFECTUEZ DES ÉTALONNAGES
RÉGULIERS AVEC UNE NORME BIEN
SPÉCIFIÉE.**

Liste des **échantillons courants** et des liquides de nettoyage recommandés

ÉCHANTILLON	LIQUIDE DE NETTOYAGE 1 SUGGÉRÉ	LIQUIDE DE NETTOYAGE 2 SUGGÉRÉ
APRÈS-RASAGE, PARFUM	Alcool	-
BIÈRE	Eau, produit de nettoyage enzymatique de laboratoire*	Alcool
MOÛT DE LA BIÈRE	Eau, produit de nettoyage enzymatique de laboratoire*	Alcool
CARBURANT	Naphta de pétrole	Acétone, alcool
SAVON LIQUIDE ET DÉTERGENT	Eau	Alcool
HUILE LUBRIFIANTE	Naphta de pétrole	Acétone, alcool
LAIT, CRÈME	Eau, produit de nettoyage enzymatique de laboratoire*	Alcool
HUILE MOTEUR	Naphta de pétrole	Acétone, alcool
JUS D'ORANGE	Eau	Alcool
SCHNAPS	Alcool	-
BOISSONS NON ALCOOLISÉES	Eau	Alcool
ASSAISONNEMENTS, MAYONNAISE	Naphta de pétrole	Alcool
SHAMPOOING	Eau	Alcool
LOTION SOLAIRE	Naphta de pétrole	Alcool
PROTECTION DU BOIS/ À BASE DE WHITE SPIRIT (À BASE D'EAU)	Naphta de pétrole (eau)	Alcool

* L'utilisation d'un produit de nettoyage enzymatique de laboratoire est recommandée pour un nettoyage spécial. Après l'utilisation du produit de nettoyage de laboratoire, il est nécessaire de rincer la cellule de mesure avec de l'eau.

MASSE VOLUMIQUE (« MASSE VOLUMIQUE RÉELLE »)

La masse volumique ρ est définie comme une masse divisée par un volume :

$$\rho = \frac{m}{V}$$

ρ _____masse volumique
 m _____masse
 V _____volume

L'unité de la masse volumique est le kg/m³ ou le g/cm³. 1 g/cm³ = 1000 kg/m³.

La masse est indépendante des conditions externes comme la flottabilité dans l'air ou la gravité. Elle correspond au poids dans le vide.

La masse volumique réelle des liquides et des gaz est mesurée grâce à la méthode du tube en U oscillant.

La masse volumique des liquides et des gaz dépend fortement de la température. C'est pourquoi la mesure de la masse volumique nécessite toujours une mesure ou un contrôle précis de la température. Généralement, la masse volumique diminue lorsque la température diminue car les molécules individuelles nécessitent plus d'espace en raison de leur agitation thermique.

Note : l'eau est un liquide unique. La masse volumique maximale est atteinte à la température de 3,98 °C avec $\rho = 0,999972$ g/cm³.

MASSE VOLUMIQUE APPARENTE

La masse volumique apparente ρ_{app} d'un échantillon est définie comme le rapport entre le poids dans l'air et le volume :

$$\rho_{app} = \frac{W}{V}$$

ρ_{app} _____masse volumique apparente
 W _____poids
 V _____volume

Les unités appliquées pour la masse volumique apparente sont généralement le kg/m³ ou le g/cm³. Veuillez noter que les valeurs de masse volumique (réelle) et apparente diffèrent. La masse volumique apparente est inférieure à la masse volumique réelle.

La masse volumique apparente peut être calculée à partir de la masse volumique réelle en prenant en compte la flottabilité dans l'air de l'échantillon ainsi que le poids et la masse volumique d'un poids de référence. A l'heure actuelle, l'acier est défini comme le matériau de choix pour les poids. Il s'agissait auparavant du laiton.

$$\rho_{app} = \frac{\rho_{true, sample} - \rho_{air}}{1 - \frac{\rho_{air}}{\rho_{steel or brass}}}$$

ρ_{app} _____masse volumique apparente
 $\rho_{réelle, échantillon}$ _____masse volumique réelle de l'échantillon
 ρ_{air} _____masse volumique réelle de l'air
 $\rho_{acier ou laiton}$ _____masse volumique réelle du laiton ou de l'acier
 Avec : $\rho_{laiton} = 8,4$ g/cm³ et $\rho_{acier} = 8,0$ g/cm³

DENSITÉ

La densité (quelquefois appelée masse volumique relative D) est calculée en divisant la masse volumique d'un échantillon $\rho_{échantillon}$ par la masse volumique de l'eau pure ρ_{eau} à des températures définies :

$$D^{20/4} = SG^{20/4} = \frac{\rho_{sample} \text{ at } 20 \text{ °C}}{\rho_{water} \text{ at } 4 \text{ °C}}$$

$D^{T1/T2} = SG^{T1/T2}$ _densité par rapport aux températures données
 $\rho_{échantillon}$ _____masse volumique de l'échantillon
 ρ_{eau} _____masse volumique de l'eau pure
 A 4 °C : $\rho_{eau} = 0,999972$ g/cm³
 A 20 °C : $\rho_{eau} = 0,998203$ g/cm³

La densité est sans dimension, ce qui signifie qu'elle n'a pas d'unité.

GRAVITÉ APPARENTE

La densité apparente SG_{app} (quelquefois appelée masse volumique relative apparente D_{app}) est calculée en divisant la masse volumique apparente d'un échantillon $\rho_{app, échantillon}$ par la masse volumique apparente de l'eau pure $\rho_{app, eau}$ à des températures définies :

$$D_{app}^{20/20} = SG_{app}^{20/20} = \frac{\rho_{app, sample} \text{ at } 20 \text{ °C}}{\rho_{app, water} \text{ at } 20 \text{ °C}}$$

$D_{app}^{T1/T2} = SG_{app}^{T1/T2}$ _ densité par rapport aux températures données
 $\rho_{réelle, échantillon}$ _____masse volumique apparente de l'échantillon
 $\rho_{app, eau}$ _____masse volumique apparente de l'eau pure

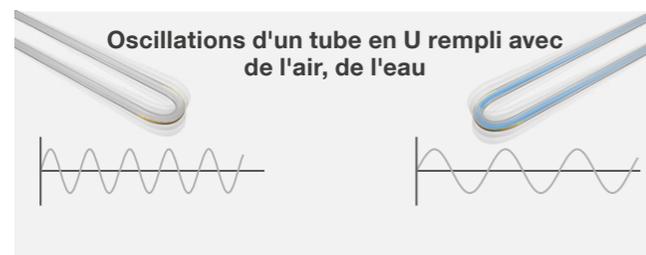
La densité apparente est sans dimension, ce qui signifie qu'elle n'a pas d'unité. Pour les mesures avec le pycnomètre, la densité apparente peut être déterminée de la manière suivante :

$$D_{app}^{20/20} = \frac{\text{weight}_{sample+bottle} - \text{weight}_{bottle}}{\text{weight}_{water+bottle} - \text{weight}_{bottle}}$$

	AIR À T = 20 °C P = 1013 MBAR	EAU À T = 20 °C
TRUE DENSITY ρ	0,00120	0,99820
MASSE VOLUMIQUE SPÉCIFIQUE $SG^{20/20}$	0,00120	1
DENSITÉ $SG^{20/4}$	0,00120	0,99823
DENSITÉ APPARENTE $SG_{app}^{20/20}$	0	1

MÉTHODE DU TUBE EN U OSCILLANT

La méthode du tube en U oscillant est utilisée pour mesurer la masse volumique réelle des fluides. L'échantillon est injecté dans un tube en U qui est mis en oscillation à sa fréquence caractéristique par voie électronique. La fréquence caractéristique varie en fonction de la masse volumique de l'échantillon. La masse volumique de l'échantillon peut être calculée en déterminant précisément la fréquence caractéristique et grâce à un ajustement précis. En raison de la forte dépendance entre la température et la masse volumique, la cellule de mesure doit être thermostatée avec précision.



Les densimètres haute précision modernes offrent également les avantages suivants :

Correction de la viscosité pour permettre des résultats fiables sur une large plage de viscosité

Oscillateur de référence pour permettre des résultats fiables sur une large plage de température après un seul ajustement

MÉTHODE D'OSCILLATION FORCÉE

Depuis le lancement des densimètres numériques, l'oscillation constante était la méthode utilisée. Cette technologie a atteint ses limites.

Patented technology exclusively by Anton Paar (Patent AT 516420 B1)

Pulsed Excitation Method

La « Pulsed Excitation Method » décrit le fait que le tube en U est mis en oscillation par des impulsions. Une fois qu'une amplitude constante est obtenue, la séquence d'impulsions est arrêtée. L'oscillation du tube en U est mesurée tandis qu'elle s'estompe librement et n'est affectée par aucune influence. Les séquences d'excitation et de fade-out (estompage) alternent de façon périodique.

Les avantages sont :

- L'utilisateur obtient plus d'informations qu'avec les méthodes conventionnelles.
- La correction de la viscosité est améliorée.
- La « Pulsed Excitation Method » offre une répétabilité et une reproductibilité améliorées.

MESURE DE LA CONCENTRATION

La concentration d'un mélange de deux composants (mélange binaire) peut être déterminée grâce à une mesure de la masse volumique. Le mélange de deux échantillons de masses volumiques connues A et B fournit un échantillon dont la masse volumique est comprise entre A et B. La valeur exacte dépend du rapport de mélange et donc de la concentration.

La mesure de la concentration est également possible pour les mélanges quasi-binaires :

- mélanges contenant deux composants principaux. Certains ingrédients supplémentaires sont présents dans de petites concentrations mais, en raison du faible impact sur la densité, ils peuvent être ignorés.
- **Exemple :** les principaux composants des boissons sucrées sont l'eau et le sucre. Tous les autres ingrédients peuvent être ignorés lors de la mesure de la concentration en sucre (°Brix).
- Mélanges contenant plusieurs composants, mais seule la quantité d'un composant varie. Tous les autres ingrédients sont maintenus constants.
- **Exemple :** pour la production d'infusions, plusieurs ingrédients de base sont pesés avec précision conformément à une recette. Dans un deuxième temps, ce mélange est dilué avec de l'eau. La concentration peut être contrôlée par la mesure de la masse volumique.

ÉTALONNAGE

Une calibration correspond à la comparaison des résultats de mesure obtenus avec une valeur de référence standard. Une calibration est réalisée pour valider la qualité des mesures et des ajustements. La valeur de référence standard est fournie par exemple par le certificat de masse volumique des liquides standard. L'incertitude de l'étalon et la méthode de référence sont cruciales pour maintenir la qualité des mesures à un niveau aussi élevé que possible.

Recommandation : Effectuez 1 à 2 étalonnages par an avec un étalon de densité, de préférence certifié selon la norme ISO 17034 et spécifié comme étant 3x meilleur que l'instrument.

AJUSTEMENT USINE

Chaque instrument provenant des centres de production d'Anton Paar est ajusté en usine. Il est fourni avec un certificat d'usine, est prêt à mesurer dès sa livraison et produit des résultats de mesure d'une haute précision et exactitude.

CALIBRATION ISO 17025

Selon la norme ISO 17025, une calibration est traçable dans le système international d'unités et sert à fournir une référence valide et reconnue internationalement lors d'audits.

AJUSTEMENT

Un ajustement correspond à la modification des constantes de l'instrument pour permettre des mesures correctes et éliminer les erreurs de mesure systématiques. Un ajustement est réalisé après une calibration, sauf si l'écart indiqué est compris dans la plage de tolérance.

Pour l'ajustement, le densimètre utilise les valeurs de masse volumique des standards et les périodes d'oscillation mesurées pour calculer les constantes de l'instrument. Deux étalons sont généralement nécessaires pour un ajustement, comme l'air sec et l'eau pure (bi-distillée par exemple), fraîchement dégazée.

MATÉRIEL DE RÉFÉRENCE CERTIFIÉ ISO 17034

Pour les normes de densité certifiées ISO 17034, les valeurs de référence spécifiées sont valables pendant toute la durée de vie de la norme grâce à un contrôle continu. En outre, ils sont traçables aux unités SI.

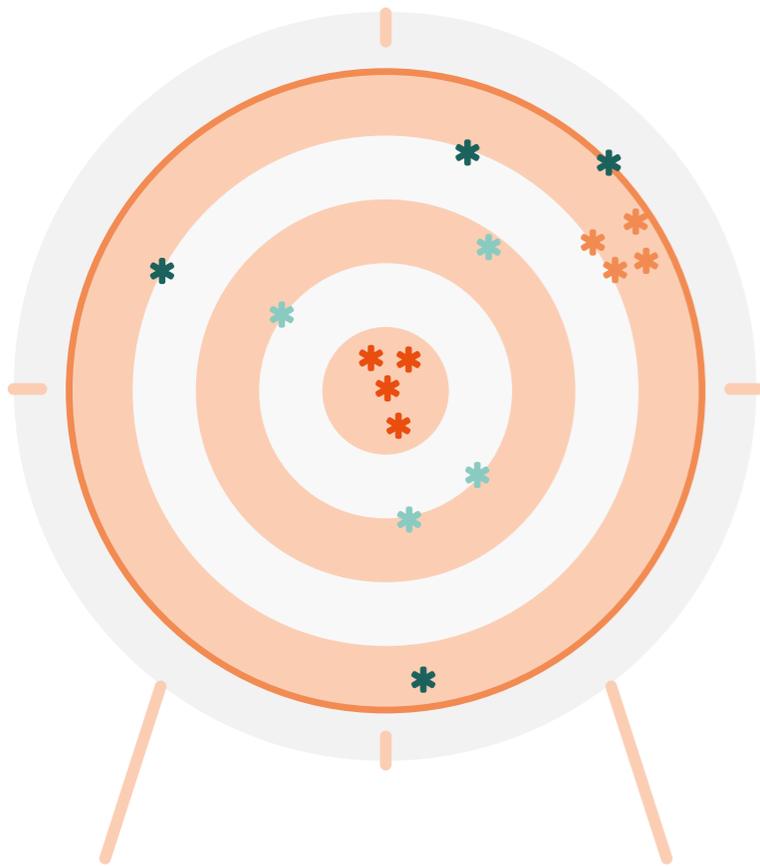
EXACTITUDE

L'exactitude exprime qualitativement la manière dont les résultats de mesure se rapprochent de la valeur réelle.

Par contraste, la mesure quantitative de l'exactitude est l'imprécision de mesure.

États de précision et exactitude

- ✱ Pas exact, pas précis
- ✱ Exact, pas précis
- ✱ Pas exact, précis
- ✱ Exact, précis



PRÉCISION

La précision exprime qualitativement la manière dont les résultats de mesure se rapprochent les uns des autres dans des conditions de mesure données. La précision peut être indiquée dans des conditions de répétabilité ou de reproductibilité.

INCERTITUDE DE MESURE

L'incertitude d'une mesure spécifie un intervalle dans lequel la valeur réelle de la grandeur à mesurer est attendue.

L'incertitude de mesure comprend l'incertitude de mesure instrumentale (provenant de l'instrument de mesure), l'incertitude des normes de calibration et l'incertitude due au processus de mesure (préparation des échantillons, remplissage des échantillons, etc.).

L'incertitude standard peut être déterminée conformément au « Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure » JCGM 100:2008.

RÉPÉTABILITÉ

La répétabilité correspond au degré de concordance entre les résultats de mesures successives du même échantillon effectuées dans les mêmes conditions de mesure.

De telles conditions idéales conduisent à une dispersion minimale des résultats de mesure.

Les conditions de répétabilité sont :

- Procédure de mesure identique
- Même opérateur
- Même instrument de mesure, utilisé dans les mêmes conditions
- Même emplacement
- Répétition sur une période courte

La répétabilité peut être exprimée avec l'écart-type de répétabilité. Cet écart-type est calculé à partir de mesures effectuées dans des conditions de répétabilité.

REPRODUCTIBILITÉ

La reproductibilité correspond au degré de concordance entre les résultats des mesures du même mesurande effectuées dans des conditions de mesure modifiées.

De telles conditions conduisent à une dispersion maximale des résultats de mesure.

Ces conditions de reproductibilité peuvent comprendre :

- Principe de mesure
- Méthode de mesure
- Opérateur
- Instrument de mesure
- Standard de référence
- Emplacement
- Conditions d'utilisation
- Heure

Les conditions de mesure modifiées doivent être indiquées.

La reproductibilité peut être exprimée avec l'écart-type de reproductibilité. Cet écart-type est calculé à partir de mesures effectuées dans des conditions de reproductibilité définies.

ERREURS DE MESURE

L'erreur de mesure est une quantité mesurée moins une valeur de la quantité de référence. Les erreurs de mesure aléatoires et les erreurs de mesure systématiques peuvent être distinguées.

ERREUR DE MESURE ALÉATOIRE

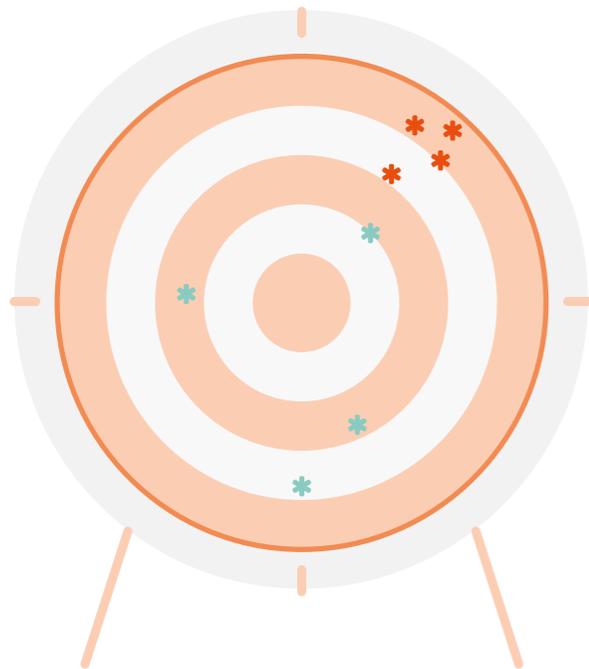
L'erreur de mesure aléatoire est la composante d'une erreur de mesure qui varie d'une manière imprévisible dans des mesures répétées. De nombreuses mesures doivent être effectuées pour éliminer les erreurs de mesure aléatoires. La valeur moyenne de ces mesures tend vers la valeur réelle.

ERREUR DE MESURE SYSTÉMATIQUE

L'erreur de mesure systématique correspond à la valeur moyenne qui résulterait d'un nombre infini de mesures de la même grandeur à mesurer effectuées dans des conditions de répétabilité, moins la valeur réelle de la grandeur à mesurer.

Les erreurs de mesure systématiques, et leurs causes, sont connues ou inconnues. Une correction peut être appliquée pour compenser une erreur de mesure systématique connue.

Erreurs de mesure :	* Erreur de mesure aléatoire
	* Erreur de mesure systématique



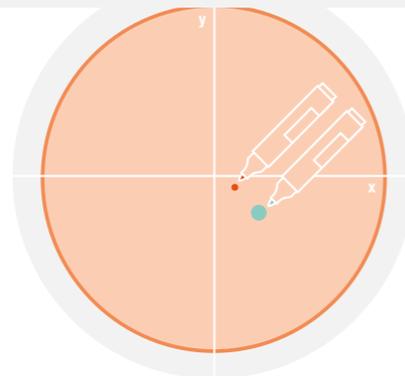
RÉSOLUTION

La résolution est la capacité à résoudre des différences, c'est-à-dire à établir une distinction entre deux choses. Haute résolution signifie être en mesure de résoudre de petites différences. Dans un système numérique, la résolution correspond au plus petit incrément ou à la plus petite étape pouvant être prélevé ou constaté. Dans un système analogique, elle correspond à la plus petite mesure ou différence pouvant être observée en toute certitude.

L'erreur la plus commune est la supposition que les instruments ayant une résolution élevée fournissent des résultats plus précis. Haute résolution ne signifie pas nécessairement haute exactitude.

L'exactitude d'un système ne peut jamais être supérieure à sa résolution !

- **Allégorie pour la résolution très fine**
Avec un marqueur fin, il est possible de dessiner des petits points.
- **Allégorie pour la résolution grossière**
Avec un marqueur épais, il n'est pas possible de faire des dessins fins.



VALEUR MOYENNE ARITHMÉTIQUE

La valeur moyenne arithmétique x_0 correspond à la somme des valeurs de mesure divisée par le nombre de mesures n :

$$x_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

x_0 _____ valeur moyenne
 x_i _____ measurement value of the i^{th} measurement
 n _____ nombre de mesures

La valeur moyenne ne donne aucune information sur la dispersion des résultats de mesure.

Exemple :

Une série de mesures de la masse volumique donne les résultats suivants : Valeur moyenne arithmétique (avec $n = 6$): $x_0 = 0,9982037 \text{ g/cm}^3$	$x_1 = 0,998203 \text{ g/cm}^3$ $x_2 = 0,998203 \text{ g/cm}^3$ $x_3 = 0,998204 \text{ g/cm}^3$ $x_4 = 0,998203 \text{ g/cm}^3$ $x_5 = 0,998204 \text{ g/cm}^3$ $x_6 = 0,998205 \text{ g/cm}^3$
--	--

Astuce : dans Microsoft Excel, vous pouvez utiliser la fonction MOYENNE (nombre1, nombre2, etc).

ECART-TYPE EXPÉRIMENTAL (S.D.)

Pour une série de n mesures du même mesurande, l'écart-type expérimental s caractérise la dispersion des résultats. Il est indiqué par la formule :

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - x_0)^2}$$

s _____ écart-type expérimental
 n _____ nombre de mesures
 x_i _____ valeur de mesure de la mesure i^{th}
 x_0 _____ valeur moyenne arithmétique

La valeur moyenne est souvent citée avec l'écart-type. La valeur moyenne décrit l'emplacement central des données, l'écart-type décrit la diffusion.

L'exemple de la valeur moyenne arithmétique est utilisé pour calculer l'écart-type expérimental :

$x_0 = 0,9982037 \text{ g/cm}^3$
 $n = 6$

$$s = \sqrt{\frac{(x_1 - 0,9982037)^2 + (x_2 - 0,9982037)^2 + \dots + (x_6 - 0,9982037)^2}{5}}$$

$s = 0,000001 \text{ g/cm}^3$

Astuce : dans Microsoft Excel, vous pouvez utiliser la fonction STDEV.S (nombre1, nombre2, etc).

Somme toute, qu'est-ce qui fait une bonne mesure de la masse volumique ?

CONNAISSANCE DE L'INTÉGRALITÉ DU PROCESSUS DE MESURE, DU DÉBUT À LA FIN, À PARTIR DU MOMENT OÙ VOUS COMMENCEZ À TRAVAILLER DANS VOTRE LABORATOIRE JUSQU'AU MOMENT OÙ VOUS NETTOYEZ VOTRE ÉQUIPEMENT. ENTRAÎNEZ-VOUS SIMPLEMENT DANS LES CINQ DOMAINES DE BASE, ET VOUS SEREZ SUR LA BONNE VOIE...



WWW.ANTON-PAAR.COM/DENSITY