



Cap sur le futur

## Techniques de mesure en poste fixe

Air comprimé



## Sommaire

<b>1. testo 640 : Convertisseur d'humidité résiduelle (p.ex. contrôle de l'humidité dans l'air comprimé)</b>	
<b>1.1 Description</b>	<b>4</b>
<b>1.2 Applications</b>	<b>5</b>
1.2.1 Eviter les dégâts liés à l'humidité	6
1.2.2 Garantir la qualité de l'air comprimé	6
1.2.3 Réguler/surveiller le sécheur	7
<b>1.3 Commandes optionnelles testo 6740</b>	<b>9</b>
<b>1.4 Caractéristiques techniques</b>	<b>10</b>
<b>1.5 Raccordement électrique</b>	<b>12</b>
1.5.1 Exemple de câblage	13
1.5.1.1 testo 6740 avec affichage de process testo 54-2AC/-7AC	13
1.5.1.2 testo 6740 avec prise alarme et utilisation de sorties commutables	13
1.5.2 Sorties commutables (accessoire 0554 3302)	14
<b>1.6 Menu commande du testo 6740</b>	<b>14</b>
<b>1.7 Illustrations techniques</b>	<b>15</b>
<b>1.8 Accessoires</b>	<b>16</b>
1.8.1 Présentation des accessoires	16
1.8.2 Aide au choix : sélectionnez les composants adaptés pour vos utilisations	17
<b>1.9 Tableau des caractéristiques testo 6740</b>	<b>18</b>
<b>1.10 Etalonnage/ajustage/certificats</b>	<b>19</b>
1.10.1 Ajustage sur site	19
1.10.2 Certificats	19
<b>1.11 Capteurs</b>	<b>20</b>
1.11.1 Capteur capacitif d'humidité testo	20
1.11.2 Capteur de température (CTN = Coefficient de température négatif)	20
<b>1.12 Principes physiques</b>	<b>21</b>
1.12.1 Point de rosée de pression [°Ctpd]	21
1.12.2 Point de rosée atmosphérique [°CtA]	21
1.12.2.1 Différence entre point de rosée de pression et point de rosée atmosphérique	21
1.12.2.2 Conversion point de rosée de pression - point de rosée atmosphérique	22
1.12.2.3 Point de rosée de pression et humidité relative	23
1.12.2.4 Humidité relative et point de rosée atmosphérique	24
1.12.2.5 Humidité absolue et point de rosée atmosphérique	25
1.12.3 Diagramme de Mollier pour des systèmes soumis à pression	26
1.12.3.1 Exemple d'utilisation du diagramme de Mollier pour la détermination du point de rosée	27
1.12.3.2 Exemple d'utilisation du diagramme de Mollier pour la détermination de l'humidité relative en aval d'un sécheur à froid	27
1.12.4 Calcul du point de rosée [°Ctd]	28
1.12.5 Part volumique [ppmV]	29
1.12.6 Humidité absolue [g/m³]	29
1.12.7 Dépendance/indépendance des grandeurs d'humidité par rapport à la pression	30
1.12.8 Comportement des grandeurs d'humidité en cas de modification de la température et/ou de la pression	30
1.12.9 Dépendance des grandeurs d'humidité par rapport à la température ou à la pression	31

## Sommaire

<b>2. testo 6440: Compteur d'air comprimé</b>	<b>32</b>
<b>2.1 Description</b>	<b>32</b>
<b>2.2 Applications</b>	<b>33</b>
2.2.1 La transparence des coûts grâce au compteur de pression	33
2.2.2 Détection de fuites avec le testo 6440	33
2.2.3 Réduction des coûts grâce à une affectation correcte à chaque utilisateur	34
2.2.4 Gestion des pointes de charge pour éviter des investissements en extension	34
2.2.5 Protection de consommateurs d'air comprimé importants par surveillance des min/max	35
2.2.6 Stratégie de maintenance en fonction des utilisateurs	35
2.2.7 Dosage automatique/exacte	35
<b>2.3 Commandes optionnelles testo 6440</b>	<b>36</b>
<b>2.4 Caractéristiques techniques</b>	<b>37</b>
<b>2.5 Raccordement électrique</b>	<b>38</b>
2.5.1 Raccordement	38
2.5.2 Exemple de raccordement	39
<b>2.6 Montage</b>	<b>42</b>
<b>2.7 Élément de commande et menu de commande du testo 6440</b>	<b>43</b>
<b>2.8 Illustrations techniques</b>	<b>45</b>
<b>2.9 Accessoires</b>	<b>46</b>
<b>2.10 Tableau des caractéristiques testo 6440</b>	<b>47</b>
<b>2.11 Sorties signal</b>	<b>48</b>
2.11.1 Paramétrage sortie analogique	48
2.11.2 Paramétrage sortie impulsion	49
2.11.3 Paramétrage sortie commutable	50
<b>2.12 Étalonnage/certificats</b>	<b>51</b>
2.12.1 Certificats	51
2.12.2 Procédure d'étalonnage	51
<b>2.13 Capteurs</b>	<b>52</b>
<b>2.14 Principes physiques</b>	<b>53</b>
2.14.1 Mesure du débit massique thermique	53
2.14.2 Conversion du débit massique en flux volumique normalisé	53
2.14.3 Conversion en d'autres normes	54
2.14.4 Conversion en un point de travail	54
2.14.5 Conversion pour d'autres gaz	54
2.14.6 Conversion pour des grandeurs de flux volumique	55
2.14.7 Dépendance des mesures de flux massiques par rapport à la température ou à la pression	55
2.14.8 Relation entre flux volumétrique normalisé et courant	56
2.14.9 Influence de la section de mesure et de la position du capteur sur le résultat de la mesure	56
2.14.10 Section nominale de tubes et rendement type du compresseur	57
<b>2.15 Service après-vente</b>	<b>58</b>

## 1. Convertisseur d'humidité résiduelle testo 6740

### 1.1 Description

Le testo 6740 a été spécialement conçu pour la mesure d'humidité résiduelle dans l'air comprimé ou dans l'air sec (sécheur à granulat). Cette mesure exigeante est réalisée avec le capteur d'humidité testo grâce à sa stabilité à long terme reconnue et avérée. Celle-ci a été démontrée par exemple de manière impressionnante lors d'un essai circulaire, au cours duquel de nombreux capteurs d'humidité de chez testo sont passés par un grand nombre de laboratoires d'étalonnage internationaux (PTB, NIST etc. cf. Equipements de la mesure pour la climatisation et process, chap. 1.12.1), montrant qu'après 5 ans sans ajustement complémentaire le seuil de  $\pm -1\%$  HR n'a pas été franchi.

Le résultat du développement du testo 6740 réside dans une étendue de mesure de  $-60^{\circ}\text{Ctpd}$  à  $+30^{\circ}\text{Ctpd}$  et une exactitude de  $\pm 1\text{ K}$  (point de rosée de pression) à  $0^{\circ}\text{ Ctpd}$ .

Pour la restitution du point de rosée de pression, de l'humidité relative, de la température, des particules par million (volume), de l'humidité absolue, du point de rosée atmosphérique, nous disposons d'une sortie analogique avec une échelle libre - en option une prise commutable pour le contrôle MAX.

En outre le testo 6740 se démarque par sa conception compacte et conviviale comme par exemple la capacité de rotation du boîtier de  $350^{\circ}$  pour une lecture optimale de l'affichage.



## 1.2 Applications

### 1.2 Applications

La surveillance exacte du point de rosée de pression devient de plus en plus importante dans les applications industrielles comme par exemple les installations d'air comprimé ou encore les installations de séchage de granulats.

C'est ainsi qu'il s'agit tout d'abord d'éviter **les dégâts liés à l'humidité** (cf. chap. 1.2.1.) et de **garantir la qualité de l'air comprimé** (cf. Chapitre 1.2.2.).

La qualité de l'air comprimé est définie par la norme internationale ISO 8573 (cf. chapitre 1.2.2) où les exigences les plus élevées figurent dans la classe 1. Le convertisseur d'humidité résiduelle testo 6740 sert à surveiller le point de rosée de pression et peut en outre servir de transmetteur pour la grandeur réglée pour des sécheurs à réglage d'humidité (cf. chapitre 1.2.3).



Lors d'applications critiques, le testo 6740 surveille l'humidité d'air comprimé directement devant l'utilisateur, par exemple dans la fabrication électronique.

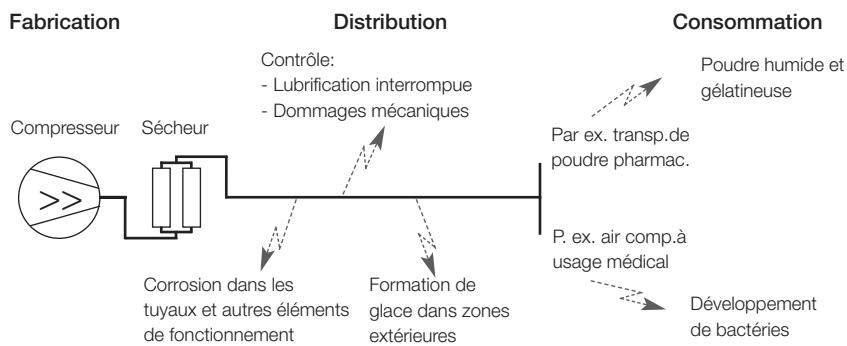


Dans les hautes et moyennes tensions, SF6 sert à la prévention des étincelles. Le testo 6740 surveille l'humidité continuellement - ainsi les cycles d'échange des gaz coûteux peuvent être maximisés, et les dommages évités.

## 1.2 Applications

### 1.2.1 Eviter les dégâts liés à l'humidité

Air comprimé, air et gaz sont utilisés dans tous les secteurs de l'industrie. L'humidité est dans ce cas indésirable car elle peut causer des dommages ou altérer la qualité du produit final, comme le démontre le graphique ci-dessous.



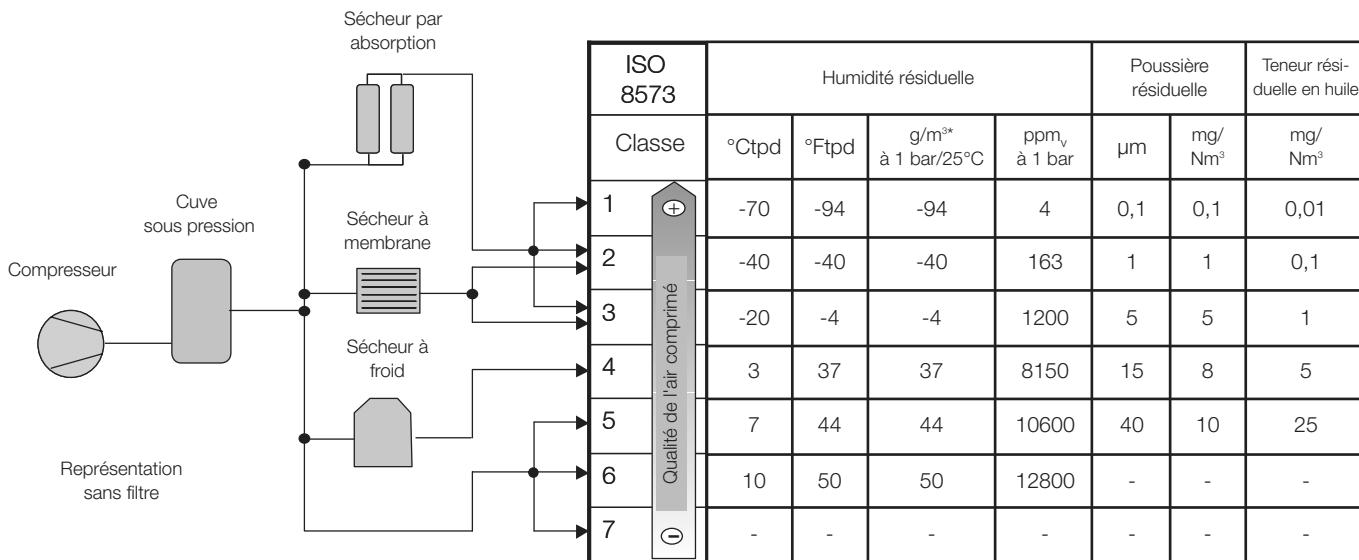
### 1.2.2 Assurer la qualité - Réduire les coûts

#### Qu'est-ce que la qualité de l'air?

La norme internationale ISO 8573 détermine sept classes de qualité de l'air comprimé et fixe les valeurs admises en terme d'humidité, de teneur en huile, de teneur en particules etc. dans l'air comprimé. C'est ainsi que la classe 1 fixe les conditions les plus sévères. La classe 4 est, par exemple, atteinte lorsque le point de rosée de pression ne dépasse pas 3 °Ctpd ou une humidité absolue de 6 g de vapeur d'eau par m<sup>3</sup> ou 1083ppmV (particules par million, basé sur le volume)..

La principale mesure pour respecter ces classes de qualité réside dans l'installation d'un sécheur approprié. Le testo 6740 prend en charge sa surveillance et le cas échéant sa commande.

Il est par exemple possible d'atteindre la classe 4 en matière d'humidité relative déjà avec un sécheur à froid, tandis que pour la classe 1, 2 ou 3 il est nécessaire d'utiliser un sécheur par absorption plus puissant (cf. schéma).



## 1.2 Applications

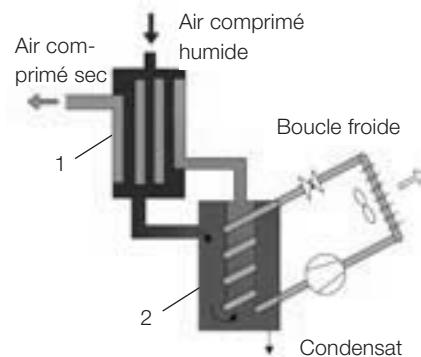
### 1.2.3 Réguler/surveiller le sécheur

Le testo 6740 sert à la surveillance des sécheurs à membrane ou à froid ainsi qu'à la surveillance et à la régulation de sécheurs à adsorption.

#### Sécheur à froid

Le séchage de l'air comprimé à froid est réglé en 2 phases. Dans la première phase l'air comprimé chaud entrant est refroidi dans un échangeur air-air par l'air comprimé sortant déjà refroidi. 70 % de la vapeur d'eau est alors déjà évacuée. Dans la deuxième phase, l'air comprimé passe par un échangeur thermique air - produit frigorigène. Le refroidissement est alors réalisé au point de rosée de pression requise. Le piège à condensat est raccordé en aval de ce système d'échangeur de chaleur. C'est ici que se produit la séparation du condensat de l'air comprimé. Dans l'échangeur thermique air-air qui suit, l'air comprimé froid et sec est à nouveau réchauffé ; il en résulte ainsi une marge de sécurité plus importante par rapport au point de rosée.

Le convertisseur de mesure d'humidité résiduelle testo 6740 est installé en aval du sécheur à froid. Ceci évite par exemple qu'un bouchage de l'écoulement de condensat ou d'autres défauts d'exploitation du sécheur à froid conduisent à une augmentation non détectée de l'humidité.

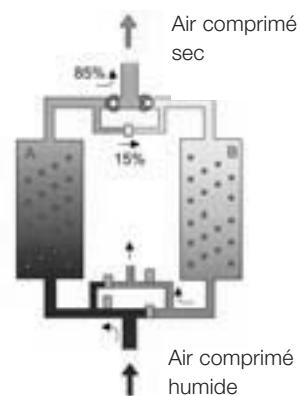


#### Sécheurs par absorption:

Les sécheurs par absorption retirent à l'air comprimé l'humidité véhiculée par de dessiccateur (silicagel). Tandis que l'adsorption (l'humidité est retirée de l'air) se déroule dans la première cuve (p.ex. "A"), la régénération (l'humidité est retirée du dessiccateur) se déroule simultanément dans une deuxième cuve (p.ex. "B") avec de l'air extrêmement sec par détente à la pression atmosphérique (l'humidité relative baisse) du courant partiel (env. 15%) de l'air comprimé déjà séché. (cf. schéma)

Les deux chambres sont basculées de manière périodique, tandis qu'un basculement fonction de l'humidité permet des économies de frais d'exploitation par rapport à un basculement en fonction de la durée.

Si l'inversion de chambre n'est pas périodique mais contrôlée par le testo 6740 en fonction de l'humidité (cf. diagramme à droite), alors la phase sèche (bleue) est en règle générale plus longue que la phase de régénération (rouge). Pendant ce temps, aucun air de régénération ne devrait être produit, de sorte que les compresseurs peuvent être ramenés de 100% à 85% de leur flux volumique. Il en résulte d'importantes économies de coûts d'exploitation.



## 1.2 Applications

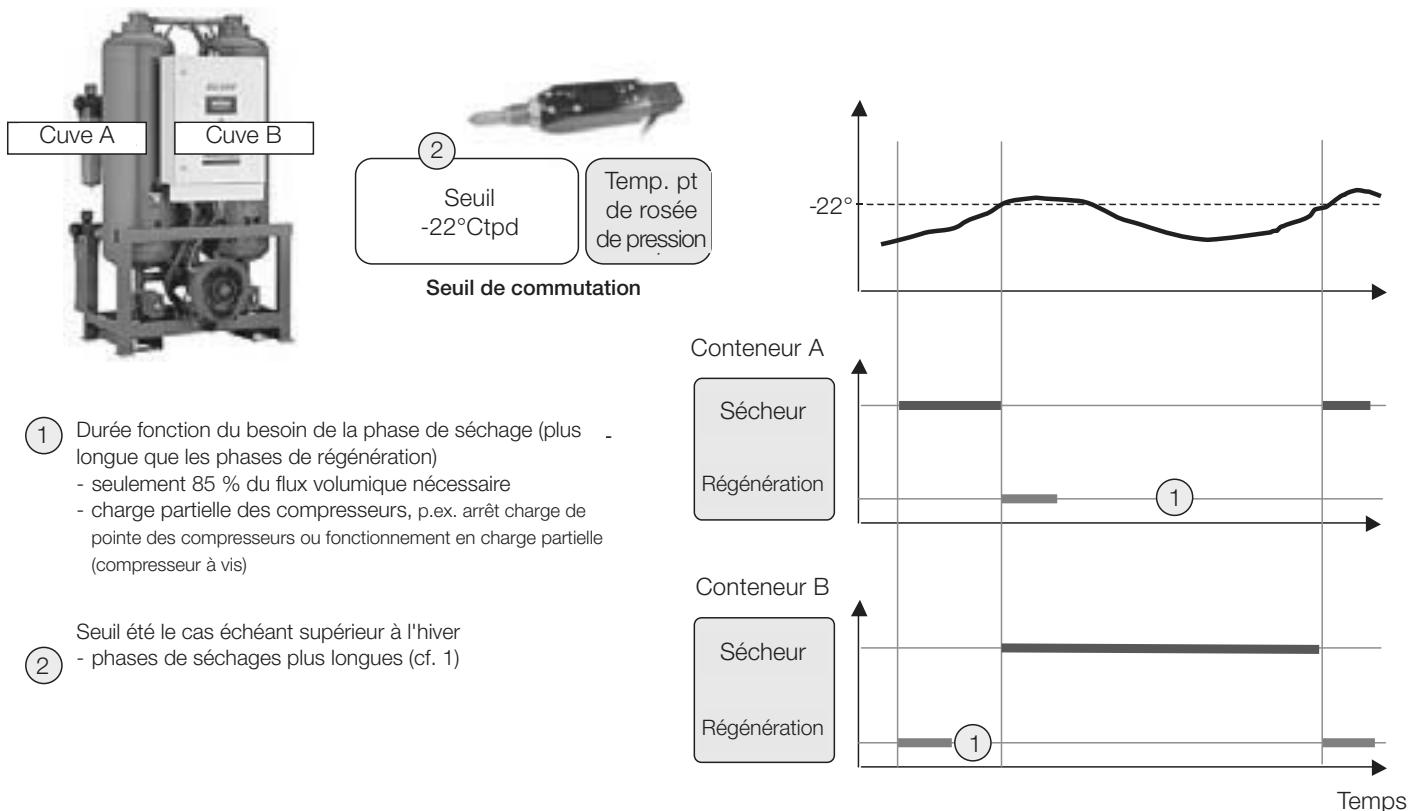
### Basculement du sécheur par absorption en fonction de l'humidité

Dans l'exemple (cf diagramme ci-dessous) le seuil de pression de point de rosée du processus est de -22°Ctptd.

La cuve A est utilisée pour le séchage. Dès que la valeur limite est atteinte, la cuve A est basculée de la phase de séchage en phase de régénération. Simultanément la cuve B bascule en phase de séchage. Dès que le seuil est à nouveau atteint, les fonctions des cuves sont à nouveau inversées.

La phase de séchage est représentée respectivement par la barre supérieure, la phase de régénération se situe en dessous. Du fait de l'appareil, les phases de régénération se terminent après un temps donné. Par contre les phases de séchage peuvent en règle générale durer plus longtemps que les phases de régénération. Ceci signifie qu'il y a des périodes au cours desquelles la régénération est déjà terminée mais que le séchage continu (1). Pendant ce temps, aucun air comprimé n'est nécessaire pour le courant partiel (15%) ; le flux volumique total peut être ramené de 100 % à 85%. Ceci entraîne des économies notables d'électricité sur les compresseurs.

Sécheurs par absorption : Cuves A et B avec alternance séchage/régénération



## 1.3 Références de commande testo 6740

Il existe trois types d'appareil qui se distinguent par la connexion et l'affichage :

Connexion	Sans affichage	Avec affichage
G 1/2	testo 6741 (réf.: 0555.6741)	testo 6743 (réf.: 0555.6743)
NPT 1/2"	testo 6742 (réf.: 0555.6742)	testo 6744 (réf.: 0555.6744)



Connexion Connexion

Références de commande testo 6740	Références
Appareil seul (sans prise pour sortie analogique)	
testo 6741, connexion G 1/2, sans affichage	0555 6741
testo 6742, connexion NPT 1/2", sans affichage	0555 6742
testo 6743, connexion G 1/2 , avec affichage	0555 6743
testo 6744, connexion NPT 1/2", avec affichage	0555 6744

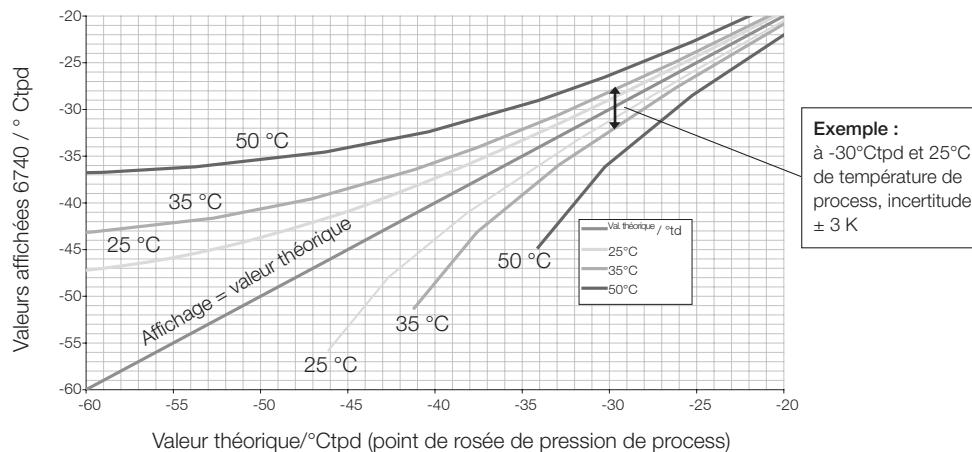
## 1.4 Caractéristiques techniques

### 1.4 Caractéristiques techniques

#### Etendue de mesure et précision

Type de mesure	Etendue de mesure	Précision
Température de point de rosée de pression (Humidité résiduelle)	-60...+30 °Ctpd	±1 K à ±0 °Ctpd ±3 K à -20 °Ctpd ±4 K à -40 °Ctpd (respectivement à +25 °C)

#### Incertitude de mesure à diverses températures de process



Comme le montre le diagramme, l'incertitude de mesure dépend de la température du process et de la zone dans laquelle se trouve le point de rosée de pression. Pour pouvoir obtenir de meilleurs résultats de mesure à l'aide du testo 6740, il faudrait ainsi garantir une zone de température de process de 25°C si possible et d'une zone de point de rosée de pression supérieure à -45°Ctpd.

Point de rosée atm.	-80...-15 °Ctd à 30 bar <sub>rel</sub> -70...+10 °Ctd à 3 bar <sub>rel</sub> -60...+30 °Ctd à 0 bar <sub>rel</sub>	cf. Température - point de rosée de pression
Température	±0...+50°C	±0,5 K

## 1.4 Caractéristiques techniques

### Autres caractéristiques de l'appareil

Caractéristiques	Valeurs
Tension d'alimentation	24 VDC (prise standard: 12...30 VDC admissible, prise 0554.3302: 20...28VDC admissible)
Charge max.	<p>Exemple: à 24 VDC la charge max peut être de 650 Ohm max</p>
Température ambiante	-20...+70 °C
Temp. de transport/ de stock.	-20...+80 °C
Type de protection	IP65 (en cas de prise enfichée et de câble branché)
Rotation (dispositif d'affichage)	350°
Capteur d'humidité	capteur d'humidité testo avec calibrage de température de rosée avec procès-verbal à -40 °Ctpd
Temps de réponse du capteur d'humidité	<p>Temps de réponse capteur rF dans la zone d'humidité résiduelle de -13,2° Ctpd à -32,1° Ctpd</p> <p>Temps de réponse capteur rF dans la zone d'humidité résiduelle de -32,2° Ctpd à 13 °Ctpd</p>
Capteur de température	CTN
Protection capteur	capuchon fritté acier inoxydable
Résistance à la pression	-1 bar <sub>rel</sub> ... +50 bar <sub>abs</sub> chambre de mesure 0554.3303: max. 15bar <sub>abs</sub>
Dimensions	199,5 x 37 x 37 (avec prise standard), 203,5 x 37 x 37 (avec prise 0554.3302)
<b>Sortie analogique</b>	
Signal	4...20mA, technique bifilaire
Echelle	standard: 4...20 mA = -60...+30 °Ctpd, avec affichage à échelle libre, alternative avec échelle de l'adaptateur 0554.3305
Grandeurs de sortie	°Ctpd, °Ftpd, °CtA, °FtA, %HR, ppmv, mg/m³, °C, °F
Grandeurs de sortie	12 bit
Précision	±40 µA
<b>Sorties commutables (option), seulement avec prise 0554 3302</b>	
Contacts	2 contacts de fermeture, hors potentiel, charge maximale 30V/0,5A
Seuil de commutation inférieur (LS + HYST)	+6°Ctpd, avec affichage librement programmable
Seuil de commutation supérieur (US + HYST)	+12°Ctpd, avec affichage librement programmable
Intensité absorbée	21mA (sans prise); 65 mA (avec prise)
EMC	Selon norme 89/336

## 1.5 Raccordement électrique

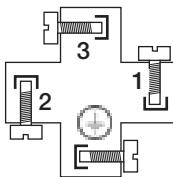
### 1.5 Raccordement électrique

Le testo 6740 dispose de deux variantes de connexions filaires industrielles (toutes deux avec des prises Hirschmann à clapet).

- Standard (inclus dans la livraison des testo 6740): 4...20mA (bifilaire)
- Sorties commutables (0554 3302): 4...20 mA (bifilaire) + 2 contacts commutables hors potentiel + 2 LED

- > Desserrez la vis sur la partie arrière de la prise, enlevez la et retirez la prise du convertisseur de mesure.
- > Retirez la douille de la prise du boîtier.
- > Positionnez les fils comme indiqué :

**Avec prise standard (inclus dans la livraison 0555 674x):**



#### Bornes du boîtier de la prise

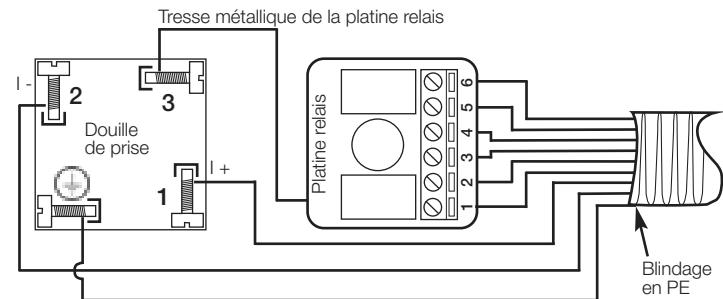
1: + (4...20mA), alimentation 12...30VDC

2: - (4...20mA)

3: Non utilisée

4: Terre de mesure (blindage du câble)

**Avec sortie commutable (0554 3302)**



#### Bornes douille

1: I+ (4...20mA) (A) Signal électrique et alimentation 20...28 VDC

2: I- (4...20mA) (B)

3: (Liaison relais platine à l'usine)

4: Appliquez le blindage

#### Borne relais platine

1: 20...28 VDC (A)

2: LS +

3: LS -

4: US +

5: US -

6: 0 VDC (B)

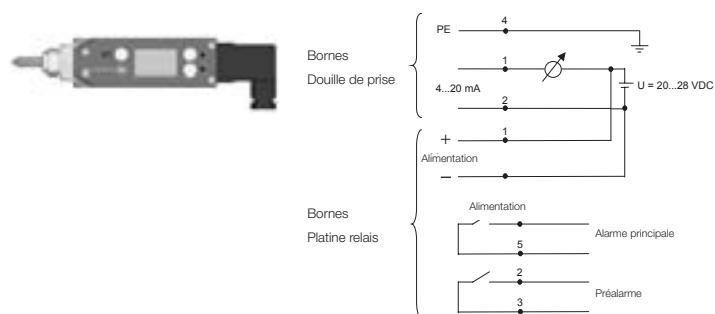
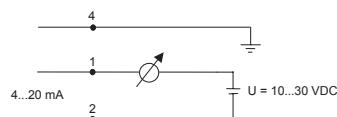
Les raccords d'alimentations doivent être à liaison galvanique, c'est-à-dire en réalisant la liaison (A) - (A) ou (B) - (B) !

### Prise avec contact commutable (0554 3302)

4...20 mA, 4...20 mA, 2 fils ainsi que 2 contacts commutables hors potentiel + 2 LED

#### Prise standard

Cette variante met à disposition une sortie analogique 4...20 mA en technique bifilaire.

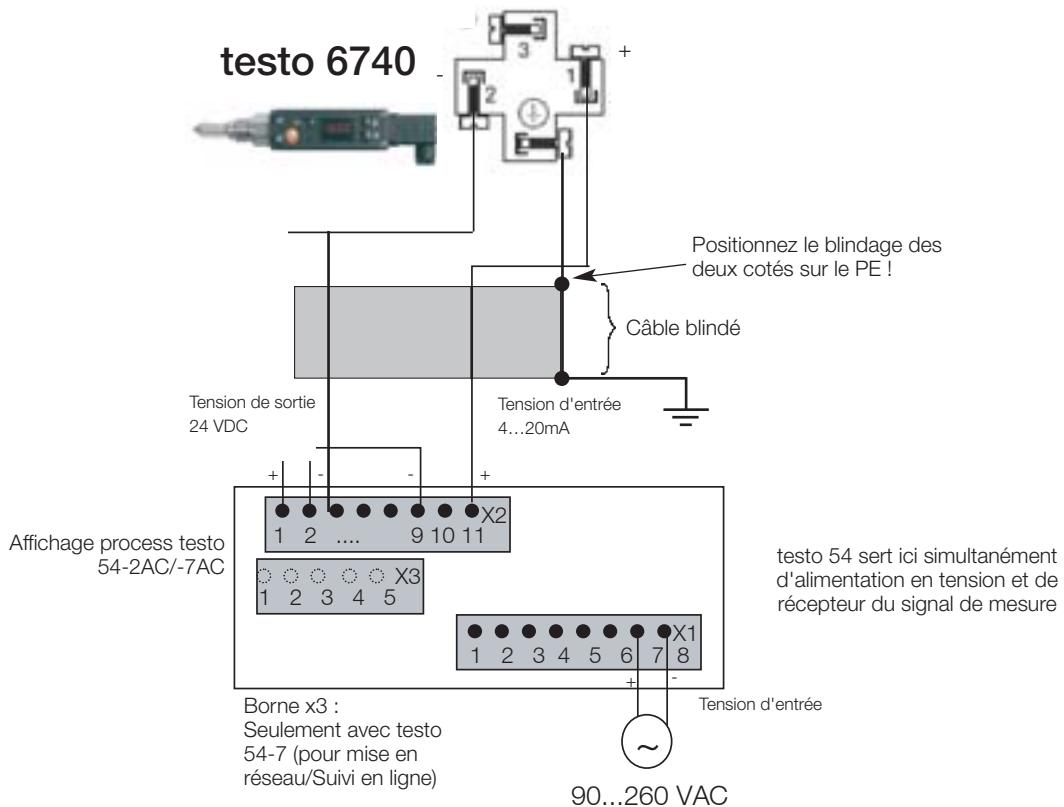


Disposition maximale 0,5 A/30V

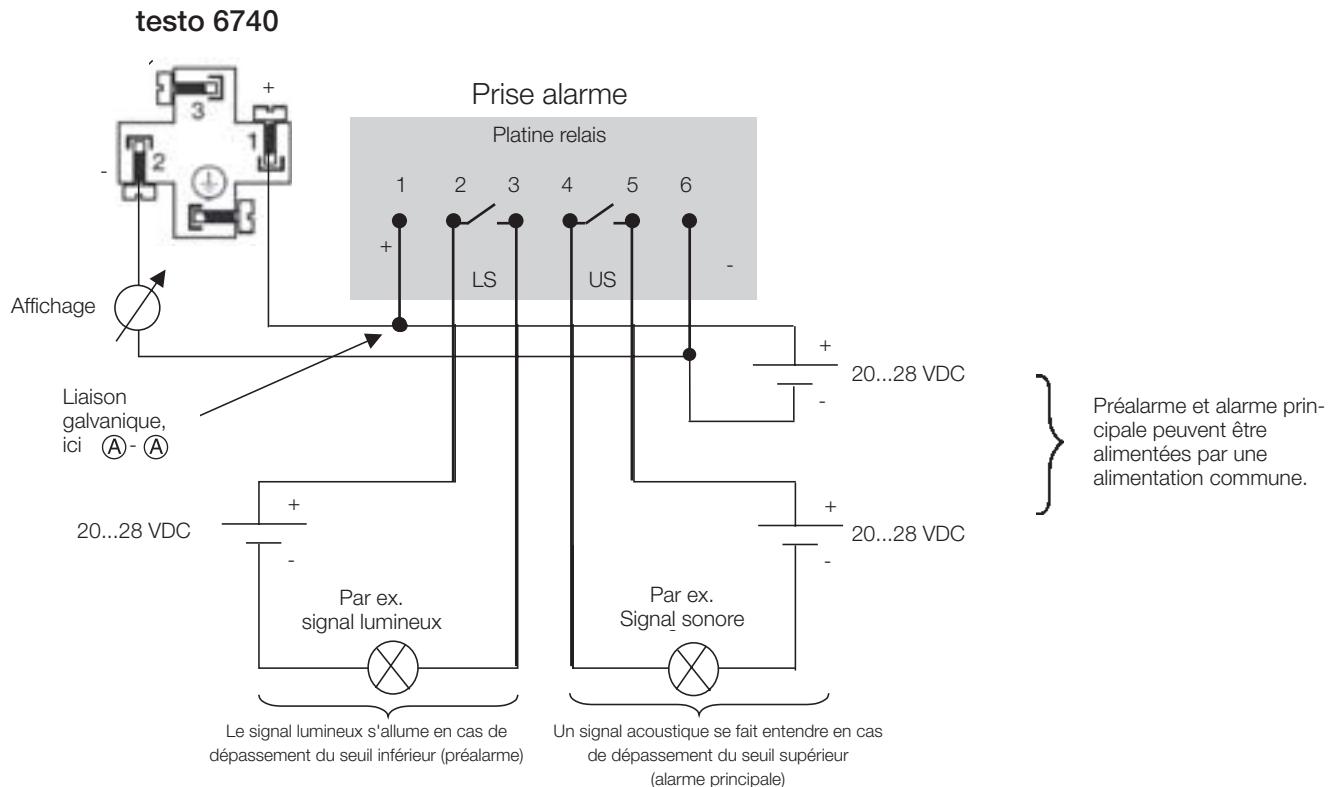
## 1.5 Raccordement électrique

### 1.5.1 Exemple de câblage

#### 1.5.1.1 testo 6740 avec affichage de process testo 54-2AC/-7AC

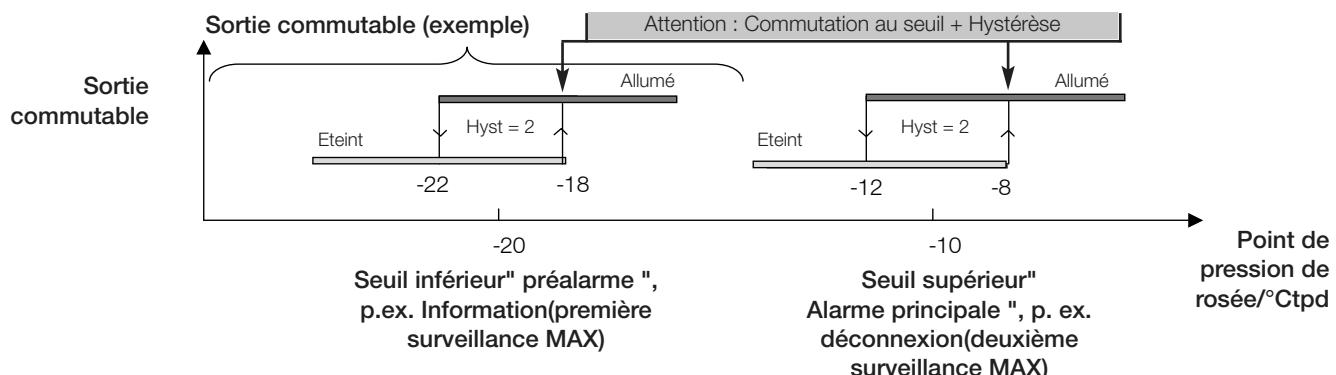


1.5.1.2 testo 6740 avec prise alarme (05554 3302) et utilisation des sorties commutables



## 1.5 Raccordement électrique

### 1.5.2 Sorties commutables (accessoire 0554 3302)



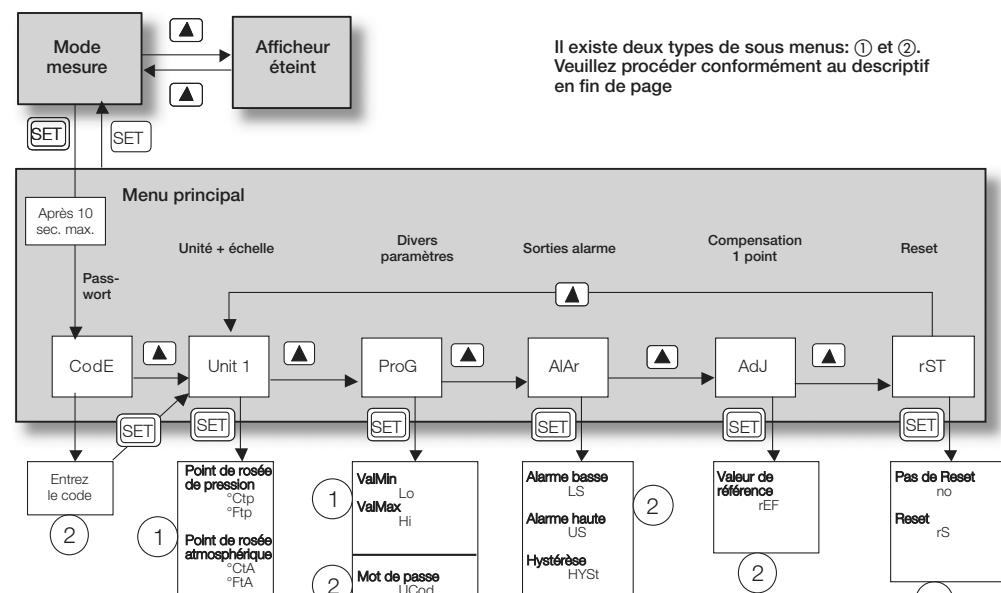
Les sorties commutables du testo 740 sont librement paramétrables (2 seuils limite, 1 hystérèse, connexion max. 0,5 A/30 V) et servent à surveiller le fait que l'humidité ne soit pas trop élevée (2 surveillances de

valeur MAX). Il existe alors 2 seuils d'alarme : une préalarme (prévient p.ex. lorsque la valeur est hors-échelle) et une alarme principale (déconnecte ou alerte p. ex. les utilisateurs critiques). (Câblage p. 1.5).

## 1.6 Menu de commande testo 6740

testo 6743 et 6744 disposent d'un afficheur et de trois touches fonctions. Il est ainsi aussi possible d'accéder aux menus de fonctionnement suivants.

Pour d'autres détails nous renvoyons au mode d'emploi.

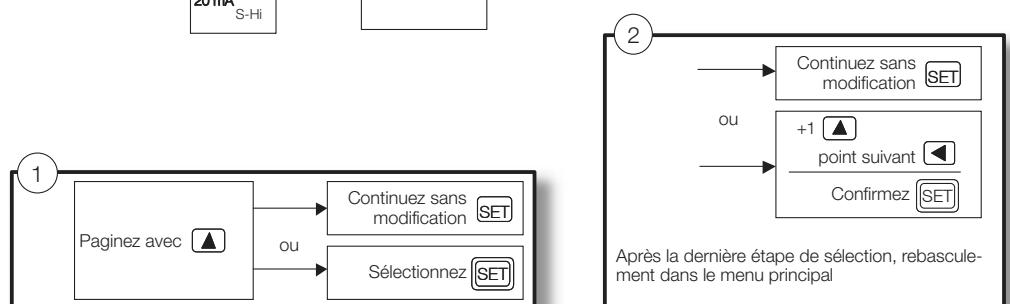


\* Changement continu de la val. mesurée (3 sec.)  
- Unité (1 sec.)

\*\* Entrée valeur pression absolue nécessaire pour paramétrier ppm et point de rosée atmosphérique

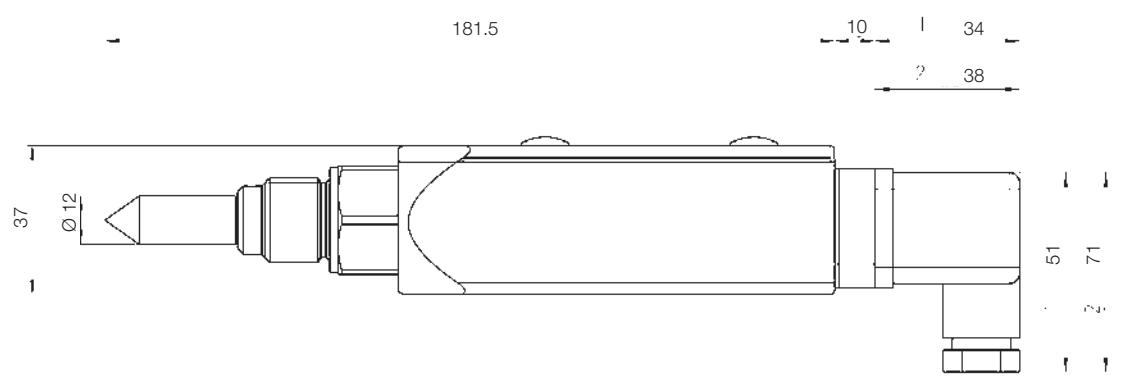
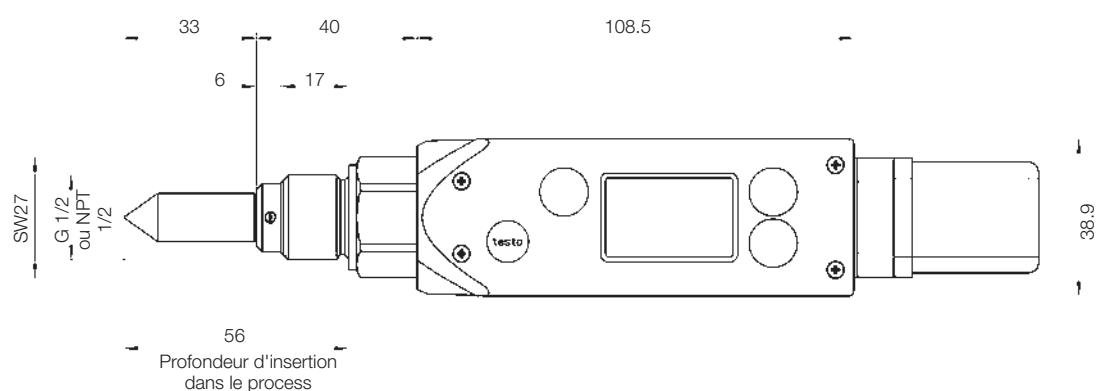
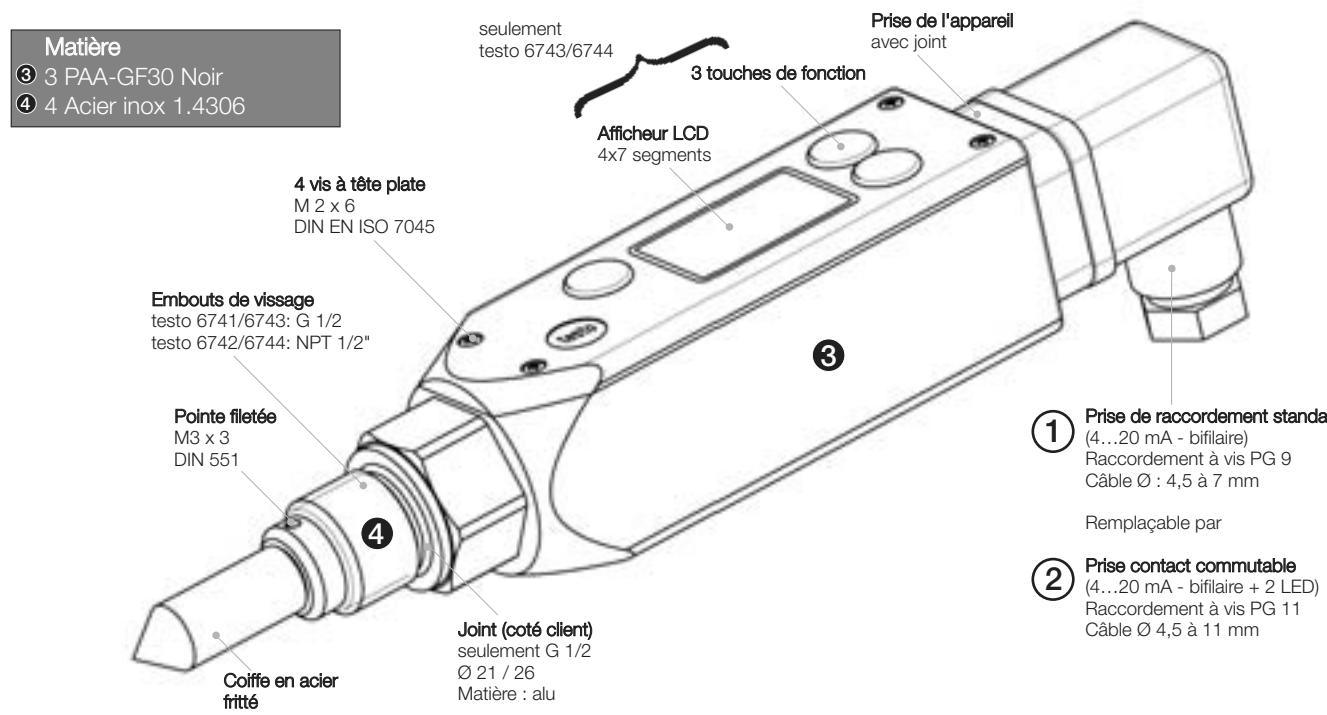
**SET** signifie : Appuyez brièvement sur la touche SET

**SET** signifie : Appuyez longuement sur la touche SET (p.ex. : env. 5 s., cf : Temporisation Pti dans le menu "ProG")



## 1.7 Illustrations techniques

### 1.7 Illustrations techniques



## 1.8 Accessoires

### 1.8 Accessoires

#### 1.8.1 Aperçu

Désignation	Réf.	Illustration	Utilisation	Caractéristiques techniques
Prise alarme	0554.3302		Pour annoncer l'alarme (Préalarme/Alarme principale)	2 sorties commutables intégrées + 2 sorties commutables (potentiellement libre) + 2 LED
Chambre de mesure	0554.3303		<ul style="list-style-type: none"> <li>pour un flux optimal vers le capteur (vanne réglable librement)</li> <li>pour un montage /démontage rapide (raccord rapide) Taraudage G 1/4max. 15 bar</li> <li>protection du capteur en cas d'air comprimé plus chargé en particules/huile</li> </ul>	Fermeture rapide air comprimé (Prise NW 7,2) G 1/2 Filetage interne (adaptable à testo 6741/43)
Bobine réfrigérante	0554.3304		<ul style="list-style-type: none"> <li>pour la température de Process 50 ...200 °C (uniquement pour chambre de mesure)</li> <li>pour le montage entre le process et la chambre de mesure (cf. 1.8.2)</li> </ul>	Fermeture rapide air comprimé Douille NW 7,2) Fermeture rapide (Prise NW 7,2) max 15 bar
Adaptateur d'échelle pour testo 6741/6742 y compris logiciel (0554.3305)	0554.3305		Le logiciel d'adaptation d'échelle permet le paramétrage des variantes sans afficheur (6741/42), parfait pour l'OEM ou le personnel de maintenance via Windows PC	
Certificat d'étalonnage ISO (standard)	0520.0136		Avec 2 points d'étalonnage -40/-10 °CTPD à 6 bar (cf. chapitre 1.10)	
Certificat d'étalonnage ISO (sélectif)	0520.0116		Points d'étalonnage à choisir librement entre -40°C...0°Ctpd (cf. chapitre 1.10)	
Afficheur externe t54-2AC 5400.7553 avec 2 sorties relais	5400.7553		Pour les affichages process externes d'un signal d'un convertisseur de mesure avec 2 sorties relais pour alarme sur site ou connections/déconnexions d'appareils	Alimentation: 90...260 VAC Charge relais : jusqu'à 250 VAC/300 VDC, 3 A Sortie énergie auxiliaire* : 24 VDC ± 15%/50 mA, max 1 canal
Afficheur externe t54-7AC 5400.7555 avec 2 sorties relais et sortie RS485	5400.7555		Pour les affichages process externes d'un signal d'un convertisseur de mesure avec 2 sorties relais pour alarme sur site ou connections/déconnexions d'appareils. Sorties digitales RS485 vers le suivi en ligne (cf. Chapitre 6)	Alimentation: 90...260 VAC Charge relais : jusqu'à 250 VAC/300 VDC, 3 A Sortie énergie auxiliaire* : 24 VDC ± 15%/50 mA, max 1 canal. Sortie RS485 (Procès-verbal testo vers le suivi en ligne)

\* \* En tant qu'alimentation de courant, approprié pour le testo 6740 (sans prise alarme 0554 3302)

## 1.8 Accessoires

Désignation	Réf.	Illustration	Utilisation	Caractéristiques techniques
Tuyau téflon	0669 2824/4	 Fermeture rapide à pression (douille NW 7,2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- pour l'air sec/sécheur à granulat</li> <li>- pour des températures de process jusqu'à 140 °C (seulement en chambre de mesure)</li> <li>- pour le montage entre process et chambre de mesure (cf. 1.8.2)</li> </ul>	Fermeture rapide air comprimé (douille NW 7,2) Fermeture rapide air comprimé (prise NW 7,2) Longueur : 2 m max. 140 °C/max. 9 bar
Bloc d'alimentation	0554 1748		Sert à alimenter les convertisseurs de mesure ou les afficheurs process testo 54-x DC	Entrée tension 110-240 V AC, 50/60 Hz Sortie tension 24 V DC ± 5% Tension de sortie : 350 mA, résistant aux courts circuits, max. 1,2 A L x l x h = 230 x 80 x 65
Alimentation profilé chapeau	0554 1749		Sert dans les armoires de commande pour l'alimentation des convertisseurs de mesure et des afficheurs process testo 54-x DC	Alimentation d'entrée 90...264 V AC, 47...63 Hz Alimentation d'entrée 24 V DC Tension de sortie : 2,5 A, résistant aux courts circuits, max. 3,4 A L x l x h = 55 x 72 x 90

### 1.8.2 Aide au choix : sélectionnez les composants adaptés pour vos utilisations

**A** Pour les températures de process > 50 °C (jusqu'à 200 °C), utilisez la bobine réfrigérante (0554.3304) et la chambre de mesure (0554.3303).

**B** Utilisez la chambre de mesure (0554.3303) pour le montage rapide (pas de mise hors pression avant l'installation) et meilleur temps de réponse du capteur (réglage libre du flux vers le capteur)

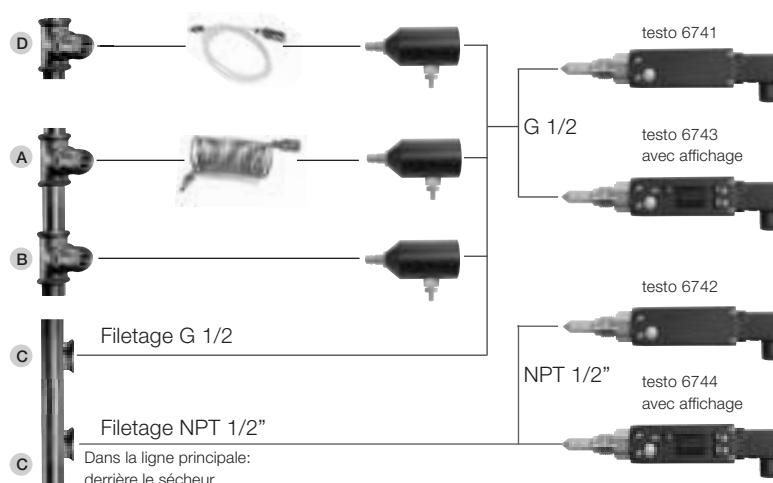
**A B** Raccordez en amont un filtre 40 µm en cas de milieux sales, huileux

**C** Si vous n'avez besoin ni de A ni de B:  
Visage direct dans le filetage G1/2 ou NPT 1/2".

Tuyau sans pression nécessaire pendant l'installation.

**D** Un tuyau en téflon est utilisé en cas d'air sec (par ex. en cas de sécheurs à granulats) et la vanne de la chambre de mesure est ouverte au maximum (max. 140 °C)

**Attention:** Lors du montage de la chambre de mesure, veuillez ne pas tourner le boîtier du convertisseur de mesure, mais bloquez le six pans (clé de 17) et vissez ensuite la chambre de mesure sur le filetage.



## 1.9 Tableau des caractéristiques testo 6740

### 1.9 Tableau des caractéristiques testo 6740

<b>Convertisseur de mesure d'humidité résiduelle testo 6740 avec capteur d'humidité capacitif testo (étalonnage spécial à -40 °Ctpd)</b> pour une mesure en continu de l'humidité dans l'air comprimé ou les gaz en modèle compact - totalement opérationnel sans électronique d'évaluation déportée. Boîtier orientable sur 350° pour une disposition optimale de l'afficheur.	<b>Incertitude de mesure :</b> +/- 1 Kelvin (point de rosée de pression) à 0°Ctpd +/- 3 Kelvin à -20°Ctpd +/- 4 Kelvin à -40°Ctpd
<b>4 types d'appareils possibles :</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- testo 6741: Raccord process G1/2, sans afficheur/menu commande</li><li>- testo 6742: Raccord process NPT 1/2", sans afficheur/menu commande</li><li>- testo 6743: Raccord process G1/2, avec afficheur/menu commande</li><li>- testo 6744: Raccord process NPT 1/2", sans afficheur/menu commande</li></ul>	<b>Matériau du boîtier :</b> Polyarylamid-GF30
	<b>Raccordement process:</b> Acier inox, pour testo 6741/6743: G1/2 pour testo 6742/6744: NPT1/2"
<b>Etendue de mesure :</b> -60° Ctpd jusqu'à +30°Ctpd (pt de rosée de pression)	<b>Résistance à la pression :</b> -1 bar rel à +50 bar rel
<b>Grandeurs de mesures alternatives :</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Point de rosée de pression en °Ctpd, °Ftpd</li><li>- Température °C, °F</li><li>- Humidité relative %HR</li><li>- Particules par millions (volume), ppmV (possibilité d'introduire la température du process)</li><li>- Humidité absolue, mg/m³</li><li>- Point de rosée atmosphérique, °CtA ou °FtA (possibilité d'introduire la température du process)</li></ul>	<b>Type de protection :</b> IP65
<b>Etendue de température (Process) :</b> 0..50°C ((capteur : CTN)	<b>Dimensions:</b> 199,5 x 37 x 37 (Prise sortie analogique) 203,5 x 37 x 37 (Prise alarme sortie commutable)
<b>Etendue de température (ambiante) :</b> -20..70°C	<b>Accessoires intéressants :</b> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Sortie commutable : 4...20 mA (technique bifilaire), 2 contacts commutation hors potentiel (30VDC/0,5A) et 2 LED pour affichage des états de commutation (montage au lieu de la prise de sortie analogique standard) [Réf. 0554 3302]</li><li>2. Chambre de mesure (pour testo 6741, 6743) : Montage et démontage rapide par fermeture air comprimé rapide. Flux optimal par vanne ajustable, max. 15 bar. Pression absolue. [Réf. Cde 0554 3303]</li><li>3. Bobine réfrigérante pour T°C de process 50...200°C (à utiliser en relation avec chambre de mesure 0554 3303) [Réf. 0554 3304]</li><li>4. Logiciel adaptateur d'échelle pour testo 6741/6742 : paramétrage complet de l'appareil sans afficheur/menu de commande [Réf 0554 3305]</li><li>5. Afficheur externe avec alimentation intégrée (pour alimentation tension) : testo 54-2AC, 2 sorties relais (jusqu'à 250 VAC ou 300 VDC, 3A), tension d'alimentation 90...260 VAC [Réf 5400 7553]</li><li>6. Afficheur externe avec alimentation intégrée (pour alimentation tension) : testo 554-7AC, 2 sorties relais (jusqu'à 250 VAC ou 300 VDC, 3A), tension d'alimentation 90...260 VAC, en plus sortie RS485 pour suivi en ligne [Réf. 5400 7555]</li><li>7. Bloc d'alimentation pour tension d'alimentation : tension d'entrée 110...240 VAC, Sortie 24 VDC/350 mA [Réf. 0554 1748]</li><li>8. Alimentation profilé chapeau 0554 1749 pour tension d'alimentation : tension d'entrée 90...264 VAC, Sortie 24 VDC/2,5 A [Réf. 0554 1749]</li></ol>
<b>Alimentation de la boucle 4...20 mA :</b> 12 à 30 VDC	
<b>Menu de commande convivial, protégé par mot de passe (testo 6743/6744) :</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Modification des grandeurs physiques et de l'échelle</li><li>- Appel valeurs Min/Max</li><li>- Signal de sortie commutation et analogique</li><li>- Modification des seuils et hystérèse</li><li>- Compensation 1 point</li><li>- Reset</li></ul>	

## 1. 10 Etalonnage/ajustage/certificats

### 1.10 Etalonnage/ajustage/certificats

#### 1.10.1 Ajustage sur site

##### L'ajustage en un point par saisie d'une valeur de référence

Grâce à l'ajustage en un point, vous pouvez introduire une valeur de référence pour un point de fonctionnement que vous aurez choisi (p. ex. -40°C Ctpd). Vous atteindrez alors une dérive minimale entre la théorie et la pratique autour de ce point de fonctionnement.

L'appareil de mesure de référence conseillé est le thermomètre pour point de rosée.

Une précision optimale est atteinte en opérant la compensation à la valeur de référence -40°C Ctpd. Dès lors que les points de rosée faibles (<-30°C Ctpd) sont pertinents, nous déconseillons un ajustage en 1 point à des valeurs de référence > -25°C (risque de pertes de précision).

- 1 Egalisez l'appareil de mesure de référence et testo 6740, soumettez à des conditions de process constantes et attendez la compensation (environ 2 heures à conditions de process constantes).
- 2 Mesurez la valeur de référence et comparez avec la valeur de référence du testo 6740.
- 3 En cas de dérive de la valeur : Saisir la valeur de référence dans le menu Adj.

#### 1.10.2 Certificats

Le client peut choisir entre une certification standard (point d'etalonnage fixe prédefini) ou une certification selective (point d'etalonnage librement choisi) ou une certification individuelle (point d'etalonnage librement choisi et service de maintenance). (cf. Tableau ci-dessous)

	Point d'etalonnage fixe prédefini	Point d'etalonnage librement choisi	Format certificat prédefini	Format certificat individualisé	Marque d'etalonnage prédefini	Marque d'etalonnage individualisée	Service de transport	Service urgent	Service de prêt d'appareil	Réparation après devis accepté	Réparation sans devis accepté
ISO standard	●		●		●		○	○	○	●	
ISO sélectif	○		○		○		○	○	○	●	
ISO Individuel	○		○		○		○	○	○		○
DKD standard	●		●		●		○	○	○	●	
DKD Sélectif	○		●		●		○	○	○	●	
DKD Individuel	○		●		●		○	○	○		○

● Elément ferme ○ à choisir en complément, selon choix du client à l'attribution de la commande ○ alternative au choix, selon choix du client à l'attribution de la commande

Avec le testo 6740, il est possible de passer commande d'un certificat d'etalonnage ISO à deux points de compensation -10°/-40°C Ctpd à 6 bar (0520 0136) ou un certificat d'etalonnage ISO avec des points de compensation librement choisis (0520 0116) entre -40°C...0°C Ctpd à 6 bar.



## 1.11 Capteurs

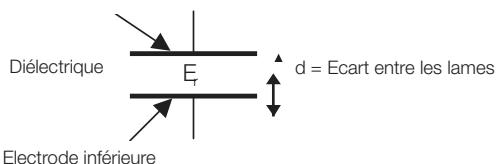
### 1.11 Capteurs

#### 1.11.1 Capteur capacitif d'humidité testo

Avec le capteur d'humidité utilisé depuis plus de 15 ans et amélioré en continu, une attention toute particulière a été portée sur les deux caractéristiques de précision, l'incertitude de mesure et la stabilité à long terme.

Le capteur capacitif testo est en principe un condensateur à lames. Un condensateur à lames est composé de deux lames électriques conductrices (électrodes) superposées l'une par rapport à l'autre.

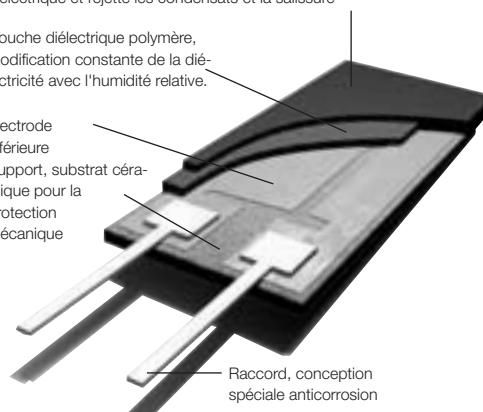
Electrode supérieure



L'électrode supérieure laisse passer l'humidité vers la couche diélectrique et rejette les condensats et la saillisse

Couche diélectrique polymère, modification constante de la diélectricité avec l'humidité relative.

Electrode inférieure  
Support, substrat céramique pour la protection mécanique



Elles sont séparées par une couche isolante nommée diélectrique. (De l'énergie est stockée dans le diélectrique d'un condensateur chargé, celle-ci peut être libérée.)

Avec le capteur testo, un polymère humide sensitif sert de diélectrique entre les électrodes du condensateur. La particularité réside dans l'adaptation parfaite des couches individuelles. Ceci apparaît particulièrement pour l'électrode supérieure qui doit réaliser 2 tâches directement contraires à première vue : elle doit être totalement perméable à la vapeur d'eau qui est conduite vers le polymère diélectrique. Mais il faut en même temps, qu'elle soit étanche, lisse et apte à rejeter les condensats, l'huile et les salissures, afin de protéger le capteur. Cette combinaison est une réussite optimale matérialisée par le capteur d'humidité testo grâce à des moyens de recherche importants.

Ce capteur capacitif testo de haute précision est soumis à une compensation spéciale à -40° Ctpd, de manière à ce qu'il en résulte une précision optimale pour l'étendue d'humidité résiduelle. Pour obtenir une stabilité optimale et ainsi une précision optimale, le testo 6740 est soumis pendant 8H00 à des conditions d'humidité résiduelle parfaitement constantes (référence : thermomètre point de rosée haut de gamme), d'où sera réalisé un étalonnage avec procès-verbal en un point.

#### 1.11.2 Capteur de température (CTN = Coefficient de température négatif)

L'hygrotest 6740 utilise un thermistor CTN pour la mesure de température. Ces thermistances (CTN) sont des résistances semi-conductrices fonction de la température. Leurs propriétés conductrices sont plus élevées à des températures élevées qu'à des températures basses. Elles ont un coefficient de température négatif et elles sont appelées résistances à "coefficients de température négatif".

Elles sont particulièrement adaptées pour une utilisation avec des convertisseurs de mesure d'humidité, parce qu'elles combinent une bonne précision avec une réponse rapide.

## 1.12 Principes physiques

### 1.12 Principes physiques

#### 1.12.1 Point de rosée de pression [°Ctpd]

Le point de rosée de pression [°Ctpd] est la température à laquelle l'air plus dense peut être refroidi, sans qu'apparaissent des condensats. Le point de rosée de pression est fonction de la pression du process. En cas de baisse de la pression, le point de rosée de pression baisse également.

Dans des systèmes soumis à pression, c'est toujours le point de rosée de pression qui est pertinent et non le point de rosée atmosphérique. Les pages suivantes présentent les différences entre les deux grandeurs physiques.

#### 1.12.2 Point de rosée atmosphérique [°Ctd]

Le point de rosée atmosphérique [°Ctd] est la température à laquelle l'air atmosphérique peut être refroidi (env. 1 bar absolu), sans que l'eau se condense.

##### 1.12.2.1 Différence entre point de rosée de pression et point de rosée atmosphérique

Point de rosée de pression ou point de rosée atmosphérique,?

L'air atmosphérique est en mesure de stocker davantage de vapeur d'eau que l'air comprimé. Lorsque l'air comprimé est refroidi, il atteint alors déjà à des températures plus élevées son point de rosée (" point de rosée de pression " en °Ctpd ou °Ftpd), tandis que l'air atmosphérique peut être davantage refroidi jusqu'à ce qu'apparaisse des condensats (point de rosée atmosphérique en °Ctd ou °Ftd).

Dans la surveillance de l'humidité résiduelle dans les installations à air comprimé, seul le point de rosée de pression joue un rôle, car celui-ci indique l'écart avec la " zone à risque " (=point de rosée). Etant donné que certains utilisateurs souhaitent malgré tout les indications en point de rosée atmosphérique, le testo 6740 permet de choisir des sorties point de rosée de pression et point de rosée atmosphérique (la pression du process est saisie dans le menu de commande pour ce dernier).

Considérant un cube d'1 m<sup>3</sup> d'air à 20 °C avec 20 % d'humidité relative, ceci correspond à une teneur en vapeur d'eau de 3g, alors que l'eau à 20 °C peut porter au max. 15 g/m<sup>3</sup> (saturation d'humidité fonction de la température).

##### Cas A (point de rosée atmosphérique) :

La pression reste constante à 1 bar et le cube est refroidi à la température de point de rosée. Chaque mètre cube contient toujours 3 g de vapeur d'eau. Toutefois lors du refroidissement, l'air perd en capacité d'absorber l'humidité. À -3,2 °C, seuls exactement les 3 g contenus peuvent encore être pris en charge.

Le cube d'air atteint le point de rosée et l'eau commence à condenser. Ce point de rosée est appelé point de rosée atmosphérique (3,2 °Ctd), étant donné qu'il se produit à la pression atmosphérique.

##### Cas B (Point de rosée de pression) :

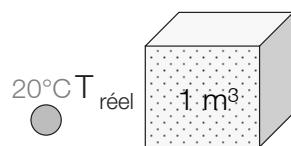
La pression est augmentée à 3 bars, tandis que le volume du cube est réduit à 1/3 de sa taille initiale. Le cube d'air contient alors après compression la masse de vapeur d'eau de 3 g (aucune humidité n'a été rajoutée ni supprimée), toutefois l'humidité absolue liée à la réduction du volume à 1/3 m<sup>3</sup> est maintenant de 3g/(1/3)m<sup>3</sup>=9g/m<sup>3</sup>. Comme la température est restée stable à 20 °C et que la saturation (possibilité maximale d'absorption d'humidité) dépend uniquement de la température, l'air peut toujours porter 15 g/m<sup>3</sup>. Ainsi l'humidité relative est de 9/15 = 60 %HR, c'est-à-dire la compression de 1 à 3 bar a conduit à une augmentation de l'humidité relative du facteur 3.

Si ce cube comprimé n'est pas refroidi, il atteint le point de rosée de pression déjà à 12 °Ctpd, car l'air y atteint déjà sa saturation de 9 g/m<sup>3</sup> (= capacité max. de stockage d'humidité).

Il apparaît nettement que le fait d'augmenter la pression augmente le point de rosée. A des températures de process stables, la marge de sécurité (écart de température par rapport au point de rosée) devient plus faible !

A

Un volume d'air atmosphérique contient à 1 bar 3 g/m<sup>3</sup> de vapeur d'eau ; il pourrait en porter 15 g/m<sup>3</sup>



$$3/15 = 20\% \text{HR}$$

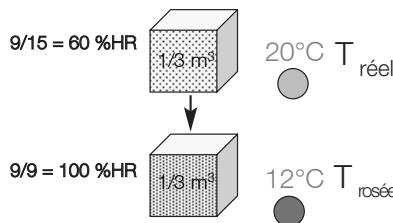
Refroidissement au point de rosée atmosphérique : le volume ne peut plus que porter 3 g/m<sup>3</sup>



1 bar

B

Compression à 3 bar ; Le volume d'air est réduit à 1/3 porte en conséquence 3 g/(1/3 m<sup>3</sup>) = 9 g/m<sup>3</sup> de vapeur d'eau ; peut toujours porter 15g/m<sup>3</sup>



$$9/15 = 60\% \text{HR}$$

$$9/9 = 100\% \text{HR}$$

20°C T<sub>réel</sub>

12°C T<sub>rosée</sub>

Refroidissement au point de rosée de pression : déjà à +10°C (et 3 bars), il n'est plus possible de tenir que 9 g/m<sup>3</sup>

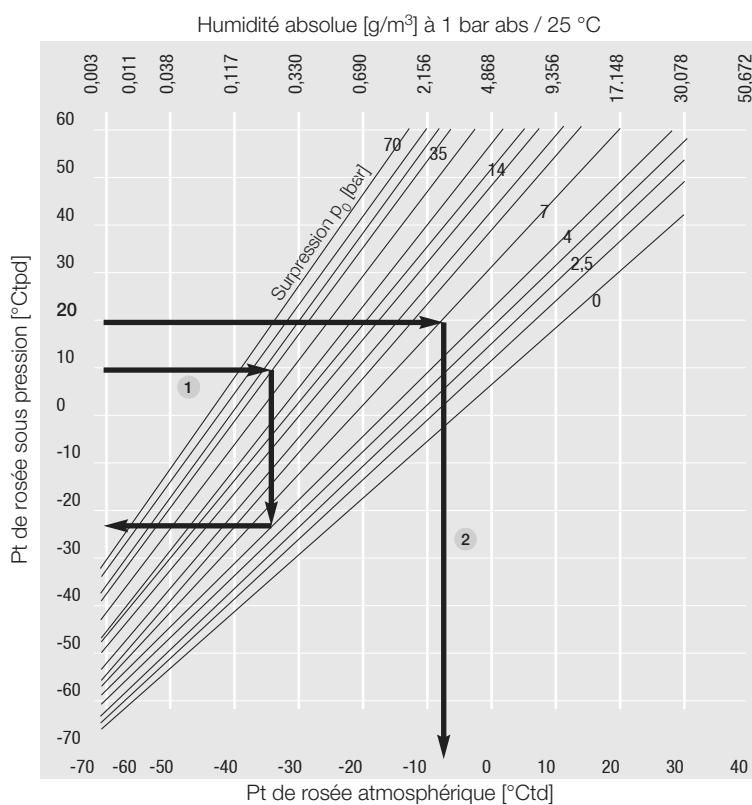
Le refroidissement et l'augmentation de pression rapprochent du pt de rosée

Chaque refroidissement supplémentaire conduit à un dégagement de condensats

3 bar

## 1.12 Principes physiques

### 1.12.2.2 Conversion point de rosée de pression - point de rosée atmosphérique



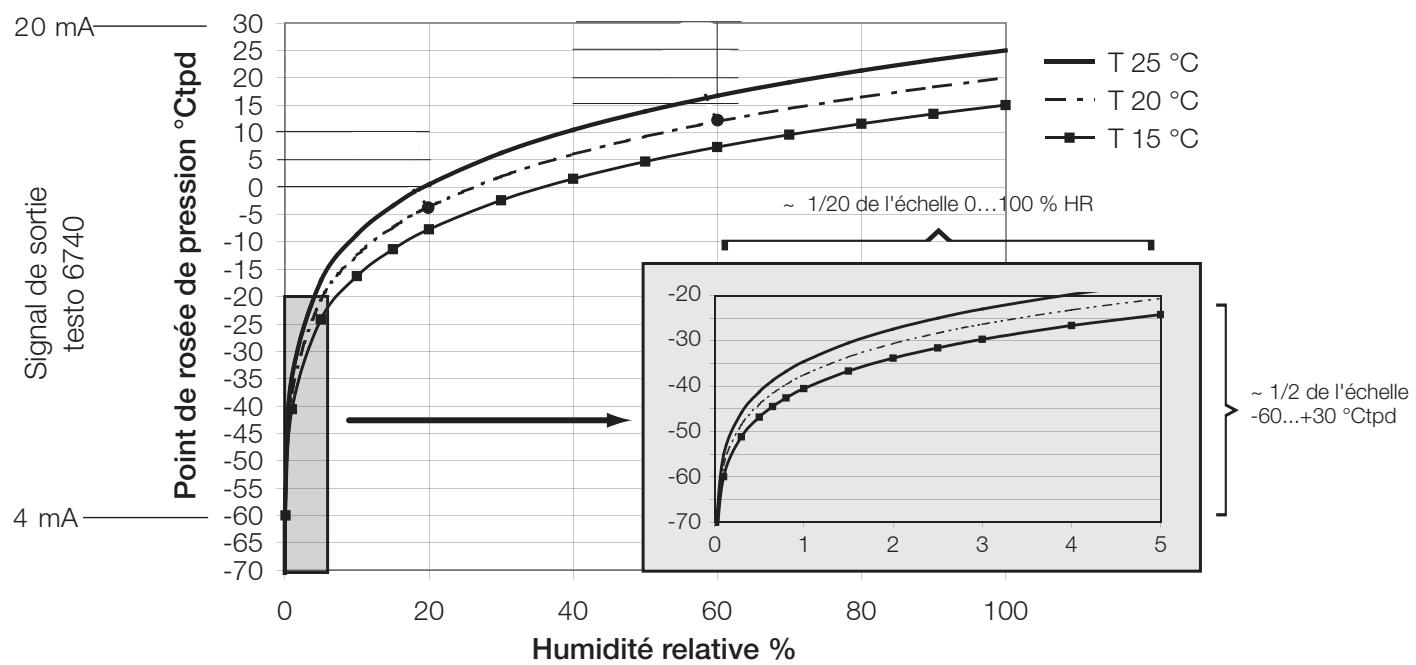
- ① L'air comprimé (30 bar) est détendu à 4 bar. Le point de rosée de pression est alors rabaisse de 10° Ctpd à -23 °Ctpd
- ② L'air comprimé (7 bars) à un point de rosée de 20 °Ctpd. Ceci correspond à un point de rosée de pression atmosphérique de - 8°Ctd.

## 1.12 Principes physiques

### 1.12.3 Point de rosée de pression et humidité relative

Le point de rosée de pression est la température à laquelle l'eau se condense à partir de l'air comprimé. Il dépend de l'humidité relative et de la température du process (cf. diagramme ci-dessous). Plus l'humidité relative est faible, plus le point de rosée de pression est faible (à pression et température de process constantes).

Comme le montre le diagramme suivant, la grandeur d'humidité "point de rosée de pression" présente dans la partie inférieure de l'étendue d'humidité une résolution nettement meilleure que l'humidité relative. Tandis que l'étendue relative à l'humidité résiduelle -60...-20 °Ctpd représente environ la moitié de l'échelle du point de rosée de pression (-60...+30 °Ctpd), l'échelle 0...5% HR représentant effectivement à un vingtième de l'échelle 0...100 % HR.



## 1.12 Principes physiques

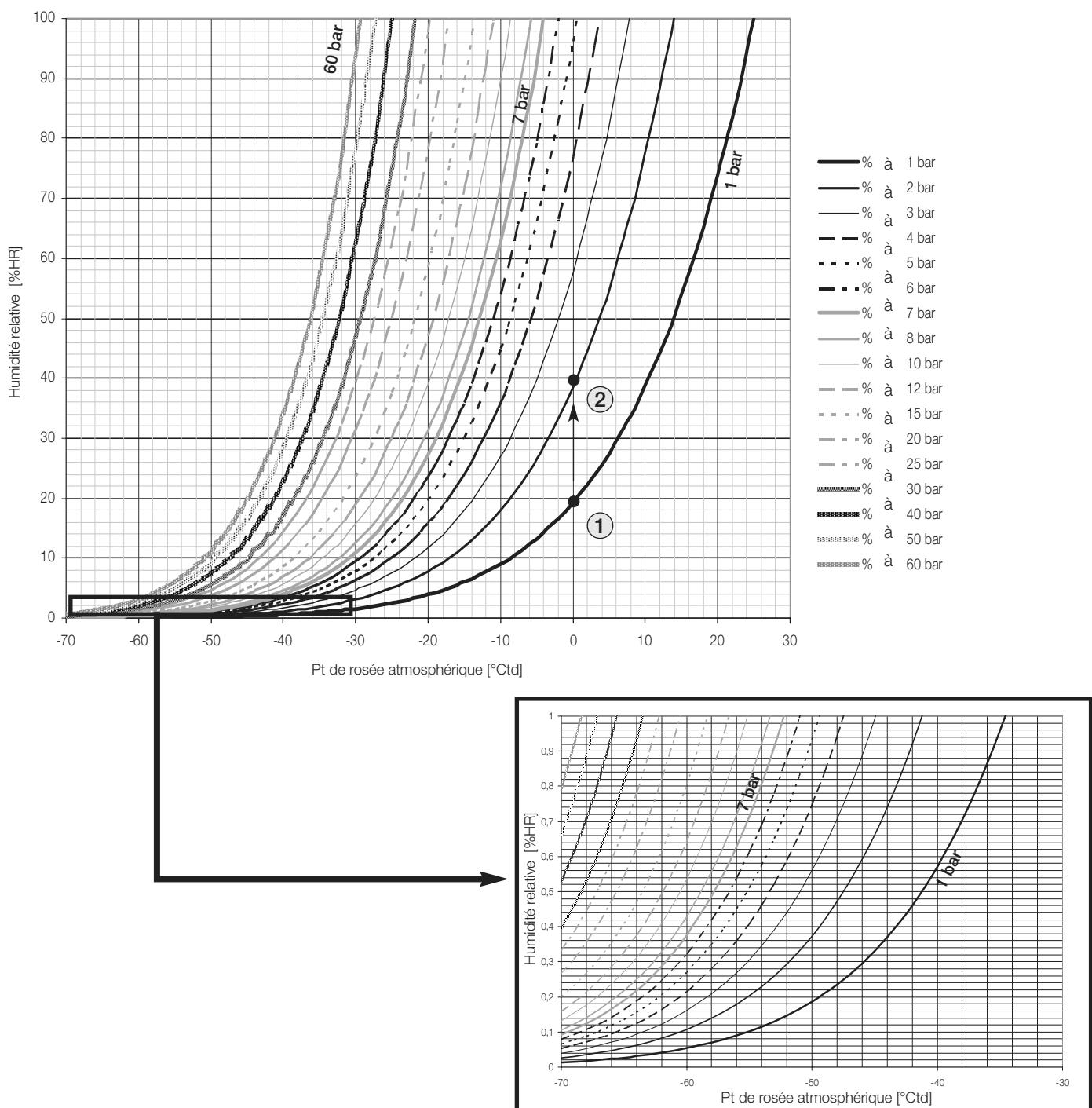
### 1.12.2.4 Humidité relative et point de rosée atmosphérique

Comme nous pouvons le constater dans le diagramme suivant, l'humidité relative augmente avec des températures de process constantes ( $25^{\circ}\text{C}$ ) lorsque la pression augmente et avec un point de rosée atmosphérique constant.

L'augmentation de pression n'a pas d'influence sur le point de rosée atmosphérique ! Seulement le point de rosée de pression augmente (cf. Chapitre 1.12.2.1)

Exemple : L'air au point de rosée atmosphérique ( $0^{\circ}\text{Ctd}$ ) est comprimé de 1 à 2 bars. L'humidité relative est alors doublée de 20 %HR ① à 39 %HR ②.

**Relation entre le point de rosée atmosphérique et l'humidité relative avec une temp. de process  $25^{\circ}\text{C}$**



## 1.12 Principes physiques

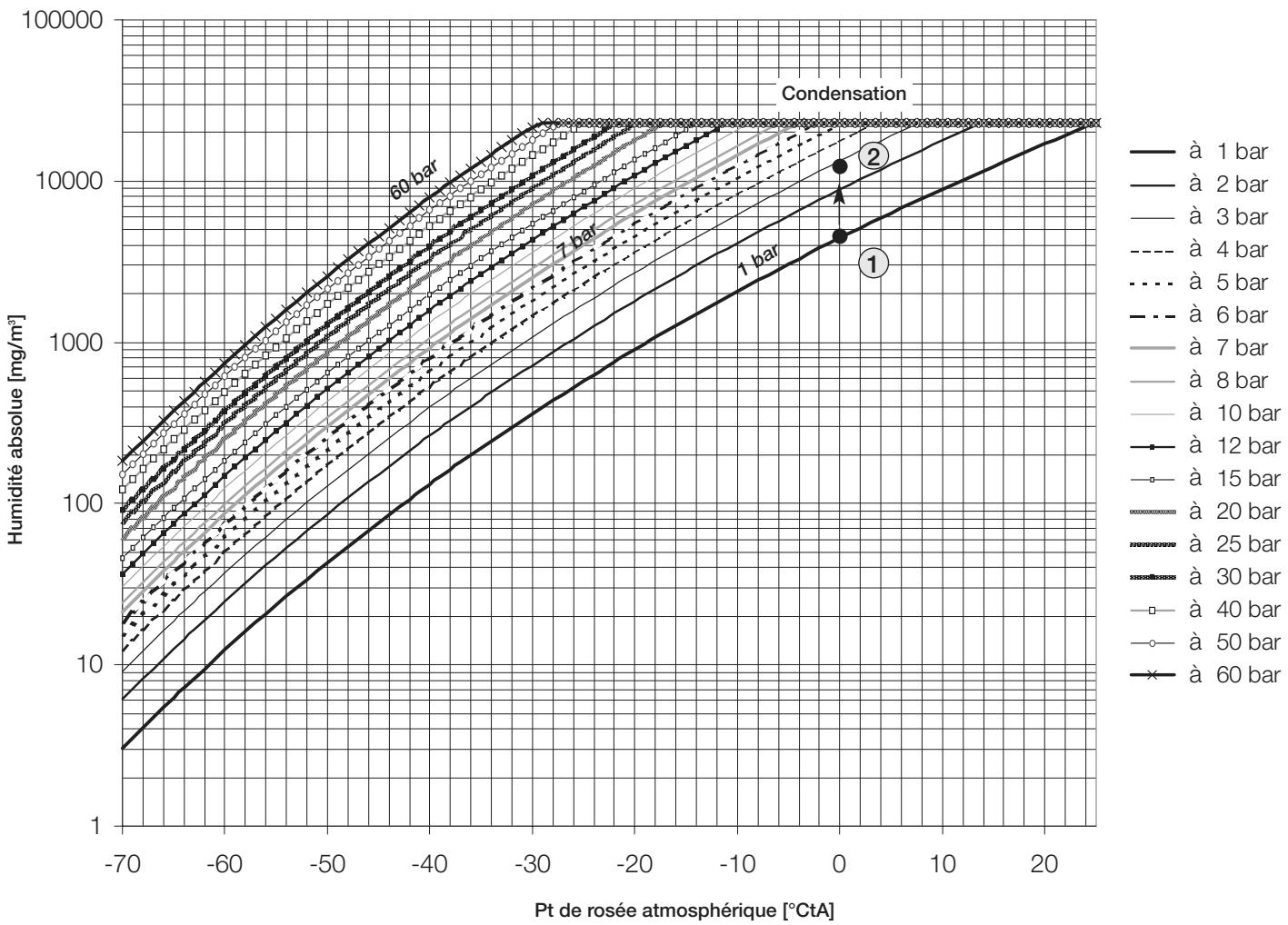
### 1.12.2.5 Humidité absolue et point de rosée atmosphérique

Comme nous pouvons le constater dans le diagramme suivant, l'humidité absolue augmente avec des températures de process constantes ( $25^{\circ}\text{C}$ ) avec une pression croissante et un point de rosée atmosphérique constant, jusqu'à ce que l'eau se condense à  $23050 \text{ mg/m}^3$  à  $25^{\circ}\text{C}$  (correspondant à 100 % HR).

L'augmentation de pression n'a pas d'influence sur le point de rosée atmosphérique ! Le point de rosée de pression augmente effectivement (cf. Chapitre 1.12.2.1).

Exemple : L'air au point de rosée atmosphérique ( $0^{\circ}\text{CtA}$ ) est comprimé de 1 à 3 bar. L'humidité absolue est alors triplée de  $4440 \text{ mg/m}^3$  ① à  $13320 \text{ mg/m}^3$  ②.

Relation entre le point de rosée atmosphérique et l'humidité absolue avec une température de process  $25^{\circ}\text{C}$

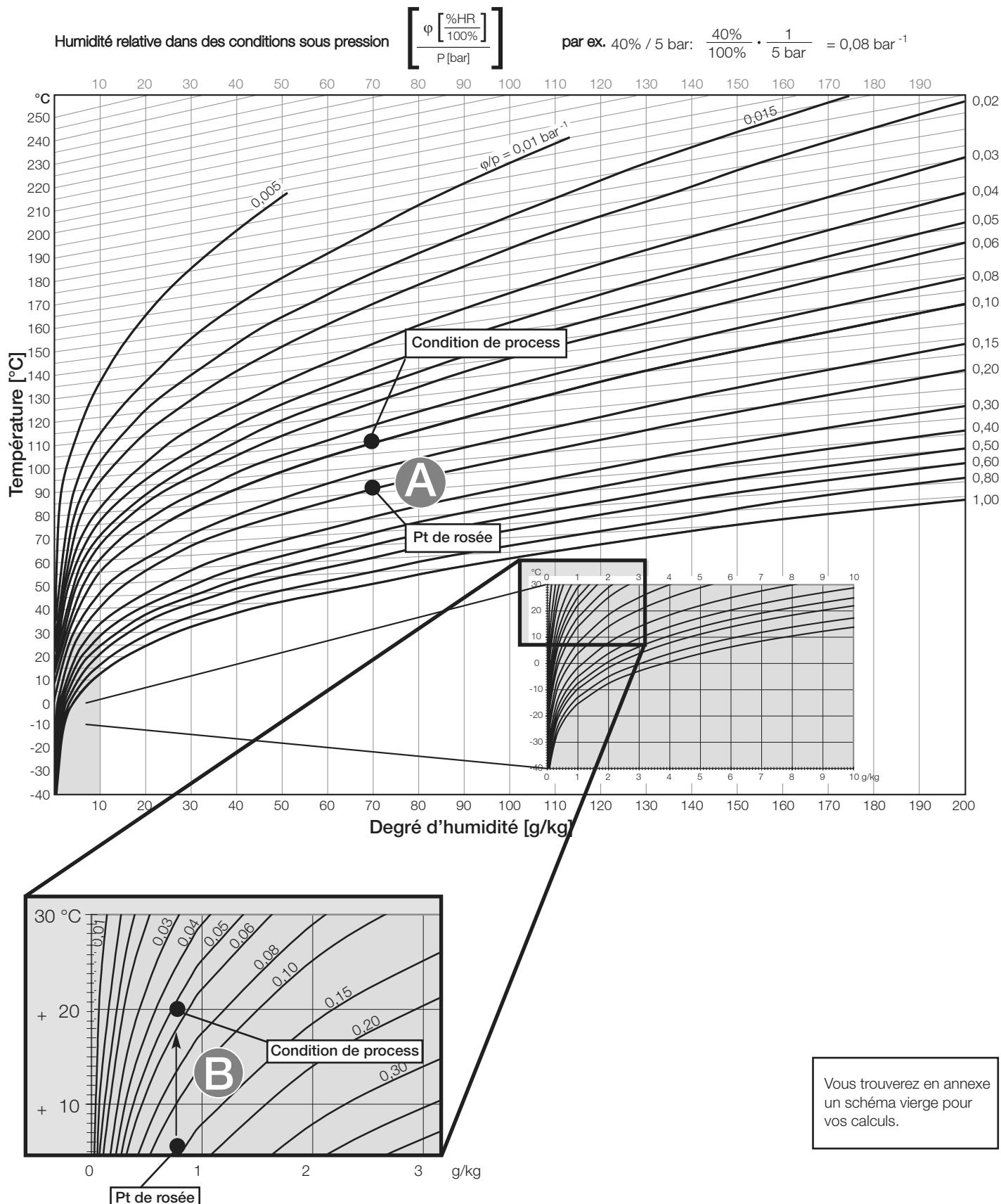


## 1.12 Principes physiques

### 1.12.3 Diagramme de Mollier pour des systèmes sous pression

Les diagrammes de Mollier sont valables effectivement à un niveau de pression, en règle générale à la pression atmosphérique (utilisation dans le domaine de la technique de climatisation, cf. "Équipements de mesure pour la climatisation et process, chapitre 1.13.1").

Le diagramme de Mollier présenté ici permet de créer une interrelation entre diverses grandeurs d'humidité (point de rosée [ $^{\circ}\text{Ctd}$ ], humidité relative [% HR] et degré d'humidité [g/kg] ainsi que la température [ $^{\circ}\text{C}$ ] même dans des conditions autres que la pression atmosphérique.



## 1.12 Principes physiques

### 1.12.3.1 A Exemple d'utilisation du diagramme de Mollier pour la détermination du point de rosée

Soit un process sous pression avec les paramètres suivants : 100 °C, 5 bar et 50 %HR. Quel est son point de rosée de pression?

→ Point ( 100°C |  $\frac{50\%HR}{100\% \cdot 5bar}$  ) = (100°C |  $\frac{0,1}{bar}$  )

glisser verticalement vers le bas jusqu'à la courbe de point de rosée pour P = 5 bar, que l'on explique comme suit :

→ Explication et lecture de la courbe de point de rosée pour P = 5 bar:

$$\frac{100\%HR}{100\%HR} \times \frac{1}{5bar} = 0,2bar^{-1}$$

→ Point de rosée = 81,71 °Ctpd

### 1.12.3.2 B Exemple de l'utilisation du diagramme de Mollier de pression pour déterminer l'humidité relative en aval du sécheur à froid

Soit un sécheur à froid sous pression avec les paramètres suivants : 5 °Ctpd, 20 °C et 7 bar. A quel % HR cela correspond-il ?

1 Explication et lecture de la courbe de point de rosée pour P=7 bar:  
(ici nous avons 100 % HR)

$$\frac{100\%HR}{100\%HR} \times \frac{1}{7bar} = 0,14bar^{-1}$$

A 5 °Ctpd, nous trouvons le point suivant (5 °Ctpd/0,78 g/kg)

2 Lecture du facteur de conversion pour déterminer l'humidité relative:  
Point (5 °Ctpd|0,78 g/kg) ; glisser verticalement vers le haut jusqu'à 20 °C.  
C'est là que se trouve le point (20 °C/0,78 g/kg), par lequel passe la courbe 0,053 bar<sup>-1</sup>.

Avec la formule  $\frac{U[\%]}{100\%} \times \frac{1}{P[bar]} = 0,053bar^{-1}$

avec P=7 bar:  $\frac{U[\%]}{100\%} \times \frac{1}{7bar} = 0,053bar^{-1}$

pour déterminer U:  $U[\%HR] = 7 \times 0,053 \times 100\%HR = 37,1\%HR$

## 1.12 Principes physiques

### 1.12.4 Calcul du point de rosée [°Ctd]

Avec une température en baisse, la capacité de l'air ou de gaz à lier de l'eau diminue. Le point de rosée est la température (°Ctd) à laquelle l'eau se condense.

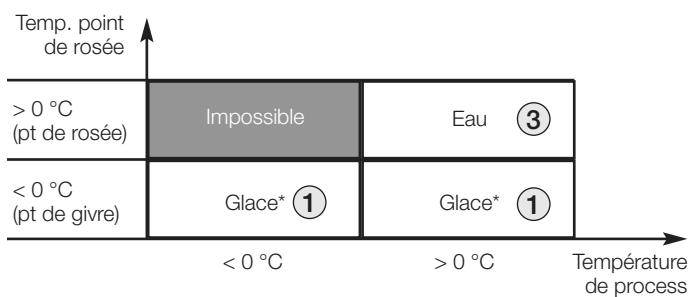
$$T_d = \frac{-\ln(\frac{P_w}{C_1}) \cdot C_3}{\ln(\frac{P_w}{C}) - C_2}$$

$P_w$  = pression partielle de la vapeur d'eau [mbar]  
 $T_d$  = température de point de rosée [°Ctd]  
 C1, C2, C3 cf. tableau  
 ln = logarithme naturel

Coefficient cf. magnus (DIN 50010)

Phase	Temp. de Process T [°C]	C1 [mbar]	C2	C3 [°C]
① Glace	-50,9...0	6,10714	22,44294	272,44
② Eau	-50,9...0	6,10780	17,84362	245,425
③ Eau	0,0...100	6,10780	17,08085	234,175

#### Différenciation calcul point de rosée/de givre



\*Attention en mesures comparatives : certains fabricants d'appareils de mesure utilisent ici les coefficients d'eau ②.

Si la mesure du point de rosée se situe au-dessus de 0°C, c'est généralement la température de point de rosée qui est donnée (Dewpoint) ; si elle se situe par contre en-dessous de 0 °C, c'est la température du point de givre qui est donnée (température de point de gel/Frostpoint).

Avec les températures de point de rosée, les valeurs de mesure du testo 6740 sont toujours concordantes avec l'hygromètre de point de rosée, dans la limite des fourchettes de tolérance.

Dans de rares cas, il est possible de constater des différences entre le testo 6740 et un hygromètre à point de rosée, et ce à des températures de point de givre entre - 35 °C et 0 °C. Ceci intervient lorsque au lieu de la surface de glace attendue, il se forme de l'eau surrefroidie/sousrefroidie à la surface de l'hygromètre de condensation. Le thermomètre pour point de rosée mesure le point de givre (correspondant aux coefficients ② cf. ci-dessus), le testo 6740 calcule par contre le point de givre par rapport aux coefficients ①. Lors de mesures comparatives, il faudra alors recalculer selon la formule ci-dessus.

## 1.12 Principes physiques

### 1.12.5 Part volumique [ppm<sub>V</sub>]

Les particules par million par volume (ppm<sub>V</sub>) constituent le rapport de la pression partielle de la vapeur d'eau par rapport à la pression totale du gaz sec (sans pression partielle de la vapeur d'eau).

$$ppm_V = \frac{\text{Pression partielle de la vapeur d'eau}}{(\text{Pression totale du gaz} - \text{pression partielle de la vapeur d'eau})} \times 10^6$$

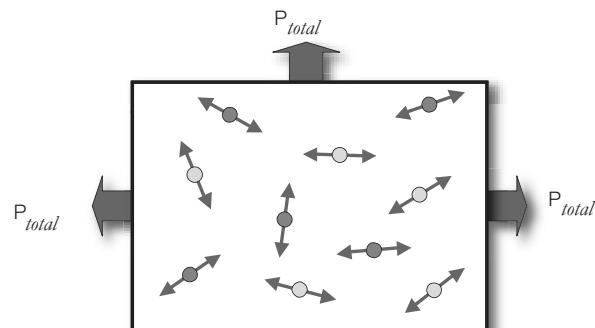
La loi de Dalton (Loi de Dalton, loi de la pression partielle) dit que la somme de toutes les pressions partielles  $p_i$  est égale à la pression totale du mélange gazeux  $P_{\text{total}}$ .

L'air humide est composé d'air sec et de vapeur d'eau.

Il en résulte que:

$$P_{\text{total}} = P_t + P_w$$

$P_{\text{total}}$  = Pression totale [mbar]  
 $P_t$  = Pression de l'air sec [mbar]  
 $P_w$  = Pression partielle de la vapeur d'eau [mbar]



$$P_{\text{total}} = P_{\text{air}} + P_{\text{eau}}$$

= Pression partielle vapeur d'eau

Comme le testo 6740 mesure directement le point de rosée (fonction de la pression), la pression absolue est saisie pour compensation dans le menu ProG (cf. chapitre 1.2.5) pour fournir la valeur ppm (indépendante de la pression); le microprocesseur calcule la valeur ppm<sub>V</sub> sur cette base.

#### Exemple :

Avec une pression de 6 bar à 10 °Ctpd, l'appareil mesure (sans saisie de valeur de pression) 12 446 ppmv (1). Afin d'afficher la valeur pertinente de 2053 ppm<sub>V</sub> (2) la pression absolue (6 bar) doit être saisie dans le menu ProG (cf. chapitre 1.2.5).

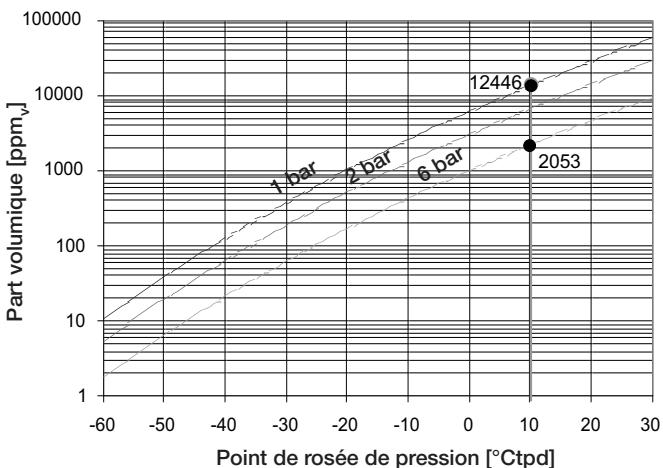
### 1.12.6 L'humidité absolue [g/m<sup>3</sup>]

La pression absolue [g/m<sup>3</sup>] indique combien de grammes d'eau se trouvent dans un mètre cube d'air sec ou de gaz sec.

Etant donné que dans les applications en humidité résiduelle, il s'agit de valeurs d'humidité absolue très faibles (cf. Chapitre 1.12.2.1), le testo 6740 fournit la pression absolue en mg/m<sup>3</sup>.

$$\text{Humidité absolue} = \frac{\text{Masse d'eau}}{\text{Volume de gaz}} \quad [\text{g/m}^3]$$

#### Part volumique au point de rosée de pression



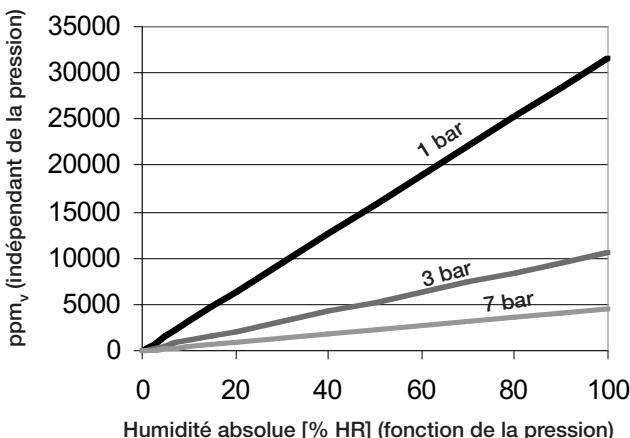
## 1.12 Principes physiques

### 1.12.7 Dépendance/indépendance des grandeurs d'humidité par rapport à la pression

Le capteur d'humidité testo mesure directement (sans connaître/saisir la pression) l'humidité relative %HR. Etant donné que ces grandeurs sont elles-mêmes dépendantes de la pression, toutes les grandeurs d'humidité fonction de la température ( $^{\circ}\text{Ctpd}$ ,  $\text{g}/\text{m}^3$ , %HR) sont calculées correctement sans saisie de la pression.

Pour les grandeurs d'humidité fonction de la pression (ppm,  $^{\circ}\text{Ctd}$  = température de point de rosée atmosphérique) il est par contre nécessaire de corriger ou de supprimer la pression par saisie de la pression absolue (dans le menu de fonctions/ Adaptateur d'échelle (cf. illustration et comp. Chapitre 1.12.2.2).

Relations humidité relative ppmv à 25 °C



### 1.12.8 Comportement des grandeurs d'humidité en cas de modification de la température et/ou de la pression

Le tableau suivant montre le comportement des grandeurs d'humidité en cas de modification de température et/ou de pression.

Température en hausse 	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Pression atmosphérique</li> <li>▼ Point de rosée de pression</li> <li>▼ Humidité relative</li> <li>▼ Humidité absolue</li> <li>● Degré d'humidité</li> <li>▲ Pression de vapeur d'eau saturée</li> <li>▼ Pression partielle</li> <li>● Teneur en eau</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Pression atmosphérique</li> <li>● Point de rosée de pression</li> <li>▼ Humidité relative</li> <li>▼ Humidité absolue</li> <li>● Degré d'humidité</li> <li>▲ Pression de vapeur d'eau saturée</li> <li>● Pression partielle</li> <li>● Teneur en eau</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●<sup>2</sup> Pression atmosphérique</li> <li>▲<sup>2</sup> Point de rosée de pression</li> <li>○<sup>2</sup> Humidité relative</li> <li>○<sup>2</sup> Humidité absolue</li> <li>●<sup>2</sup> Degré d'humidité</li> <li>▲<sup>2</sup> Pression de vapeur d'eau saturée</li> <li>▲<sup>2</sup> Pression partielle</li> <li>●<sup>2</sup> Teneur en eau</li> </ul>
Température stable 	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Pression atmosphérique</li> <li>▼ Point de rosée de pression</li> <li>▼ Humidité relative</li> <li>▼ Humidité absolue</li> <li>● Degré d'humidité</li> <li>● Pression de vapeur d'eau saturée</li> <li>▼ Pression partielle</li> <li>● Teneur en eau</li> </ul>	Toutes les grandeurs sans variation	<ul style="list-style-type: none"> <li>●<sup>2</sup> Pression atmosphérique</li> <li>▲<sup>2</sup> Point de rosée de pression</li> <li>▲<sup>2</sup> Humidité relative</li> <li>▲<sup>2</sup> Humidité absolue</li> <li>●<sup>2</sup> Degré d'humidité</li> <li>●<sup>2</sup> Pression de vapeur d'eau saturée</li> <li>▲<sup>2</sup> Pression partielle</li> <li>●<sup>2</sup> Teneur en eau</li> </ul>
Température en baisse 	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Pression atmosphérique</li> <li>▼<sup>1</sup> Point de rosée de pression</li> <li>○<sup>1</sup> Humidité relative</li> <li>○<sup>1</sup> Humidité absolue</li> <li>●<sup>1</sup> Degré d'humidité</li> <li>▼<sup>1</sup> Pression de vapeur d'eau saturée</li> <li>▼<sup>1</sup> Pression partielle</li> <li>● Teneur en eau</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Pression atmosphérique</li> <li>●<sup>1</sup> Point de rosée de pression</li> <li>▲<sup>1</sup> Humidité relative</li> <li>▲<sup>1</sup> Humidité absolue</li> <li>●<sup>1</sup> Degré d'humidité</li> <li>▼<sup>1</sup> Pression de vapeur d'eau saturée</li> <li>●<sup>1</sup> Pression partielle</li> <li>● Teneur en eau</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●<sup>2</sup> Pression atmosphérique</li> <li>▲<sup>12</sup> Point de rosée de pression</li> <li>▲<sup>12</sup> Humidité relative</li> <li>▲<sup>12</sup> Humidité absolue</li> <li>●<sup>12</sup> Degré d'humidité</li> <li>▼<sup>12</sup> Pression de vapeur d'eau saturée</li> <li>▲<sup>12</sup> Pression partielle</li> <li>●<sup>2</sup> Teneur en eau</li> </ul>
	<b>Pression en baisse</b> 	<b>Pression stable</b> 	<b>Pression en hausse</b> 

- ▼ baisse
- reste stable
- ▲ augmente
- pas d'indications générales possibles (veuillez calculer au cas par cas)

**Unités :**

- Pression atmosphérique [ $^{\circ}\text{Ctd}$ ]
- Point de rosée de pression [ $^{\circ}\text{Ctpd}$ ]
- Humidité relative [%HR]
- Humidité absolue [ $\text{g}/\text{m}^3$ ]
- Degré d'humidité [g/kg]
- Sättigungsdruck [mbar]
- Pression de vapeur d'eau saturée [mbar]
- Pression partielle [V-ppm]

<sup>1</sup> Dès que le point de rosée est atteint par **refroidissement** (baisse de la température), l'eau se condense et ainsi les grandeurs d'humidité baissent en cas de refroidissement complémentaire - sauf l'humidité relative, elle reste constante à 100 % dès la formation de condensation.

<sup>2</sup> Dès que le point de rosée est atteint par **compression** de l'air, l'eau se condense (cf. chapitre 1.12.2) et les grandeurs d'humidités restent stables en cas de hausse de pression - sauf le degré d'humidité ; celui-ci baisse dès la formation de condensation.

## 1.12 Principes physiques

### 1.12.9 Dépendance des grandeurs d'humidité par rapport à la température ou à la pression

Grandeurs d'humidité	Fonction de la pression	Fonction de la température
Teneur en eau/Part en volume		
Point de rosée atmosphérique	NON	NON
Degré d'humidité		
Pression de vapeur d'eau saturée	NON	OUI
Point de rosée sous pression	OUI	NON
Pression partielle		
Humidité relative	OUI	OUI
Humidité absolue		

## 2. Compteur de pression testo 6440

### 2.1 Désignation

Le compteur d'air comprimé testo 6440 sert à déterminer, surveiller, contrôler et documenter la consommation d'air comprimé et ainsi tant pour déterminer les fuites dans les systèmes d'air comprimé, non seulement pour affecter les coûts aux utilisateurs correspondants mais également pour assurer la réalisation d'une gestion des pointes de charge. Grâce au testo 6440, il est possible -comme pour les autres médias tels l'électricité, l'eau ou le gaz- de mettre en place une transparence en matière de consommation et ainsi d'augmenter la motivation des responsables de process par rapport aux mesures de réduction des coûts et d'économie d'énergie.

Le testo 6440 détermine le flux volumique standard de l'air comprimé de l'exploitation selon le principe calorimétrique, alors que le procédé de mesure est indépendant de la pression du process ainsi que de la température et qu'il ne génère pas de perte de pression persistante. Pendant que le capteur céramique offre une grande robustesse et un temps de réponse rapide, les lignes d'entrée et de sortie intégrées garantissent une précision optimale. Le testo 6440 existe en 4 diamètres différents (DN 15, DN 25, DN 40, DN 50) de conception compacte, couplé avec une électronique haut de gamme intégrée mettant à disposition tous les signaux de sortie nécessaires. Il en résulte des étendues de mesure jusqu'à 75 Nm<sup>3</sup>/h pour le diamètre jusqu'à DN700 Nm<sup>3</sup>/h pour le diamètre DN 50.

De plus le testo 6440 offre une grande flexibilité d'installation grâce à la possibilité de rotation de l'affichage de 180 °C.

Pour des diamètres supérieurs à DN 50, testo propose le compteur d'air comprimé 0699 6445. Demandez la documentation.



## 2.2 Applications

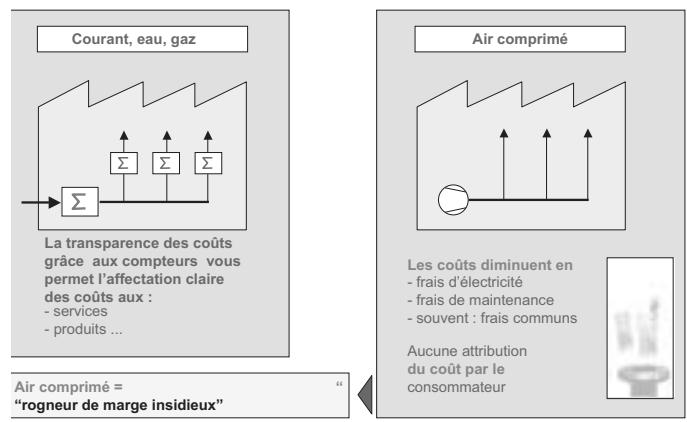
### 2.2 Applications

La mesure de la consommation d'air comprimé avec le testo 6440 offre la solution optimale pour une entreprise industrielle soucieuse de ses coûts, pour investir des économies dans le domaine de l'air comprimé. Car ce n'est qu'après la découverte des fuites dans les systèmes d'air comprimé et l'affectation correcte aux utilisateurs respectifs que les coûts élevés en air comprimé peuvent être réduits par étape. Le testo 6440 constitue alors le moyen optimal pour la détection de fuites, pour l'affectation des coûts, pour la gestion des pointes de charges, pour le suivi Min/Max, pour le pilotage d'interventions de maintenance en fonction des utilisateurs, ainsi que pour le dosage exacte et automatique de l'air comprimé.

#### 2.2.1 Transparence des coûts avec le compteur d'air comprimé

Dans les entreprises industrielles, la transparence est totale pour les éléments comme l'électricité, l'eau ou le gaz : les compteurs principaux reflètent les quantités consommées; des compteurs décentralisés indiquent comment les consommations se répartissent.

Par contre, l'air comprimé est l'élément produit et distribué en interne, sans connaître le volume et la répartition de la consommation dans les différents secteurs. Or, en l'absence de cette information, il n'existe aucune raison d'éliminer les fuites et de chercher à faire des économies de la consommation.

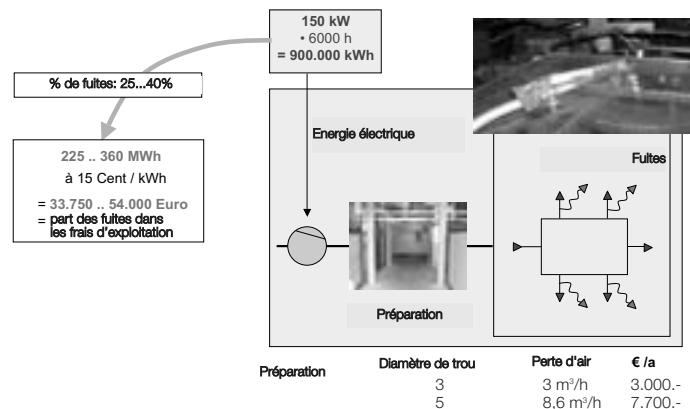


#### 2.2.2 Détection de fuites avec le testo 6440

Des études indépendantes menées par le "Frauenhofer-Institut" dans le cadre d'une campagne de la mesure "Efficacité Air comprimé" ont révélé qu'entre 25 et 40% de l'air comprimé produit est dilapidé par des fuites.

Si l'on intègre aux frais d'exploitation mis en oeuvre également les investissements supplémentaires nécessaires, le gaspillage s'élève pour une entreprise industrielle en moyenne à plus de 100 000 Euro/an.

C'est ainsi, par exemple, qu'une fuite de 3 mm de diamètre occasionne des coûts annuels d'un montant de 3000 Euros (comp. schéma ci-contre).

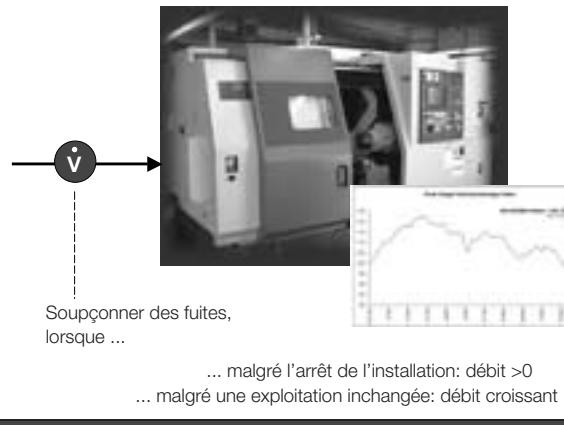


## 2.2 Applications

Les fuites interviennent dans plus de 96% des cas sur des conduites DN50 et inférieures. Les responsables sont le plus souvent les flexibles non étanches, les armatures, les jonctions et les dispositifs de maintenance.

Installé sur une machine isolée ou sur un groupe de machines, l'appareil testo 6440 détecte également les plus petits débits d'air comprimé. Ceux-ci indiquent des fuites dès lors qu'ils apparaissent au moment où l'installation est arrêtée.

De même, un dépassement d'un débit maximal connu pour un profil utilisateur inchangé est le signe d'une fuite. Ainsi, les sorties commutables intégrées du testo 6440 s'avèrent être en pratique de bons systèmes d'alerte de fuites.

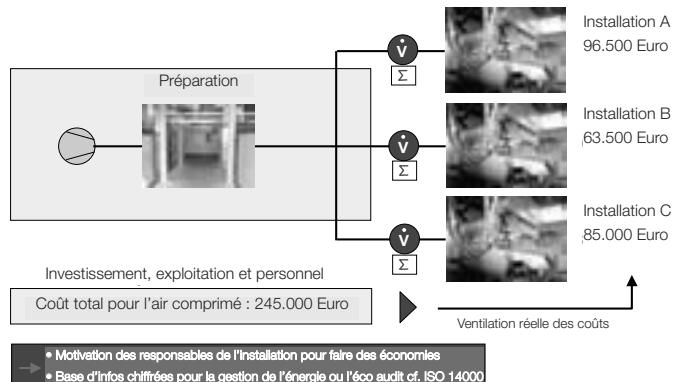


### 2.2.3 Ventilation réelle des coûts

L'air comprimé est une énergie intéressante mais onéreuse. Mais si les coûts ne représentent qu'un "coût global" sous forme de coûts communs, alors les responsables de l'installation ne sont pas motivés à les réduire.

Si par contre, la consommation d'air comprimé est enregistrée par unité opérationnelle, alors les responsables de l'installation seront motivés à réduire les fuites et à mettre en oeuvre des mesures d'économies de consommation.

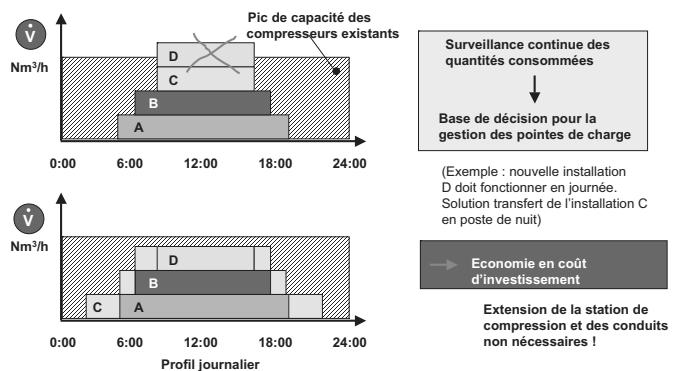
Le testo 6440 constitue ici, un soutien optimal dans la mesure où il intègre un totaliseur (fonction somme). La consommation globale peut alors être lue sur l'appareil ou être transmise au dispositif de contrôle sous forme d'impulsion de consommation. Une variante est disponible en utilisant des sorties commutables en fonctions des quantités consommées



### 2.2.4 La gestion des charges permet d'éviter des investissements prolongés

La croissance peut s'avérer coûteuse : les entreprises industrielles en voie d'expansion sont obligées d'étendre également leur production d'air comprimé.

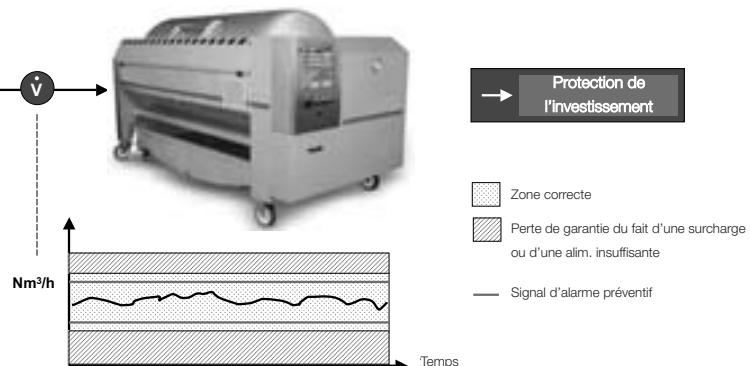
Une analyse des pics de consommation sur la base des compteurs d'air comprimé est importante. Dans la mesure où l'on connaît les périodes auxquelles interviennent les consommations, il est possible de procéder à une répartition telle que la capacité existante de production d'air comprimé soit suffisante. Il en résulte des économies importantes en terme de compresseurs mais également de conduites.



## 2.2 Applications

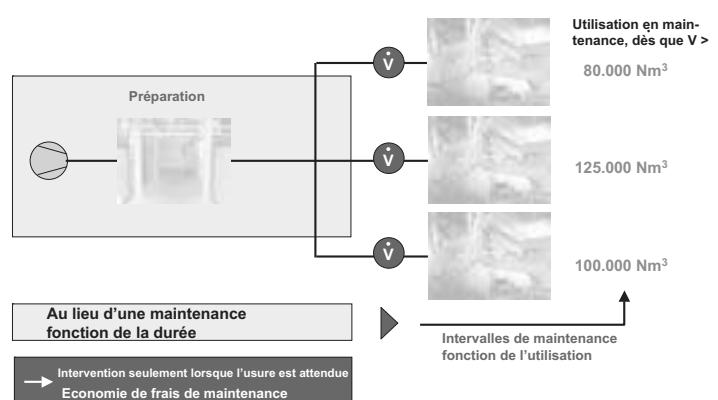
### 2.2.5 Protection importante des consommateurs par un contrôle Min./Max.

Les consommateurs d'air comprimé ont besoin d'une alimentation stable afin de pouvoir garantir des performances stables. Certains consommateurs doivent être protégés également contre des coups de charge. Dans les cas critiques, c'est même la garantie fabricant qui est mise en jeu. Ces deux types de contrôles sont pris en charge de manière optimale par le testo 6440, via ses deux sorties commutables (cf. illustration), pour la protection en continue de votre installation.



### 2.2.6 Stratégie de maintenance en fonction des utilisateurs

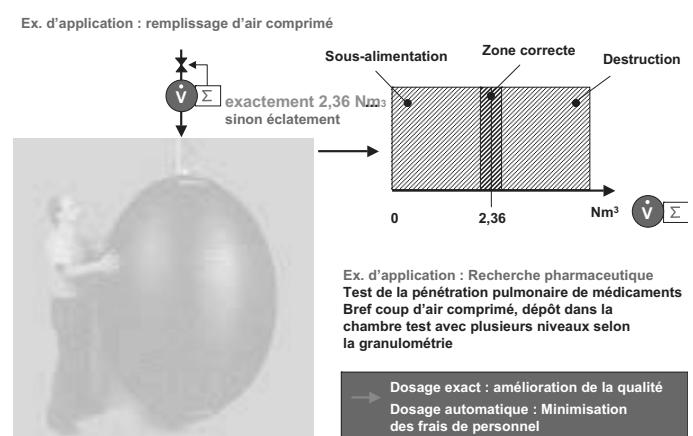
La maintenance signifie une prestation de service visant à garantir la disponibilité des machines et des installations. L'objectif primaire de la maintenance est d'apporter une contribution décisive à la minimisation des coûts d'exploitation globaux, dans la mesure où la fiabilité est augmentée et les coûts simultanément réduits. Cet objectif principal peut être atteint en adoptant une stratégie de maintenance optimale. Lorsque l'on différencie les deux stratégies " Maintenance consécutive à une panne " et " Maintenance préventive ", il faudra privilégier dans la plupart des cas la maintenance préventive d'un point de vue des risques (compte tenu des coûts liés à un possible arrêt de la production). La maintenance préventive peut encore une fois être distinguée en maintenance fonction de la durée et maintenance fonction de l'utilisation. L'inconvénient lié à la maintenance en fonction de la durée réside toutefois dans le fait que des composants tout à fait fonctionnel sont remplacés trop tôt ou que toutefois le délai de remplacement effectif soit raté et qu'une panne coûteuse intervienne. Pour réagir par rapport à ces pannes, le compteur d'air comprimé testo 6440 représente un moyen optimal pour réaliser une maintenance en fonction de l'utilisation. La personne chargée de la maintenance est "appelée sur place" simplement par les sorties commutables programmables fonction de l'utilisation. Ceci permet d'exploiter au mieux la durée de vie prévue de la machine et de ses composants, permettant ainsi de réaliser des économies de coût importantes. (cf. Schéma).



### 2.2.7 Dosage automatique/exacte

Dans les installations industrielles ainsi que lors de la série de tests à l'occasion de la recherche et du développement, un dosage exact de l'air comprimé est souvent nécessaire afin de garantir la fonctionnalité de l'installation, d'optimiser le processus de production et d'obtenir des résultats de test toujours sur la même base.

C'est ainsi que des installations test sont par exemple réalisées dans le domaine de la recherche pharmaceutique pour déterminer la pénétration des aérosols dans les poumons. La pénétration dans les poumons correspond à la capacité d'un produit, comme par exemple la poussière fine, la fumée ou un médicament de parvenir jusqu'aux alvéoles des poumons, c'est-à-dire à cette partie du poumon où l'échange gazeux se produit avec la respiration externe. Alors qu'une bonne pénétration dans les poumons peut déclencher de graves maladies lorsqu'il s'agit de produits nocifs, ceci est recherché pour les médicaments dans le but d'un dosage et d'un effet optimal du produit. Pour déterminer la pénétration d'un produit dans les poumons, une quantité définie de produit pulvérulent est insufflé dans un poumon "artificiel" - une chambre test spéciale à plusieurs étages- avec un souffle exactement dosé (coup d'air comprimé). Selon le niveau où le produit se dépose dans la chambre de test, il est possible de faire un lien avec les poumons. La condition permettant de déterminer correctement la pénétration dans les poumons et le dosage exact et optimal de la pression de l'air. Pour cette application et de nombreuses autres dépendant d'un dosage très précis de l'air comprimé, le compteur d'air comprimé testo 6440 avec ses signaux de sortie paramétrables individuellement et son temps de réponse très rapide représente une aide idéale.



## 2.3 Commandes optionnelles testo 6440

Testo propose 4 modèles compacts pour les quatre diamètres les plus fréquents sur des réseaux d'air comprimé en industrie.



### Références de commande testo 6640

	Références
testo 6441 Compteur d'air comprimé DN 15	0555 6441
testo 6442 Compteur d'air comprimé DN 25	0555 6442
testo 6443 Compteur d'air comprimé DN 40	0555 6443
testo 6444 Compteur d'air comprimé DN 50	0555 6444

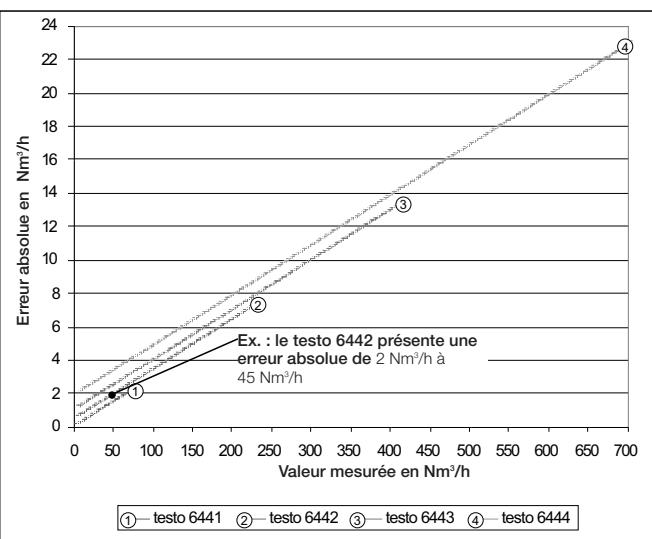
Pour un diamètre supérieur à DN 50 (2"), Testo propose un compteur d'air comprimé 06999 6445. Veuillez demandez la documentation.

## 2.4 Caractéristiques techniques

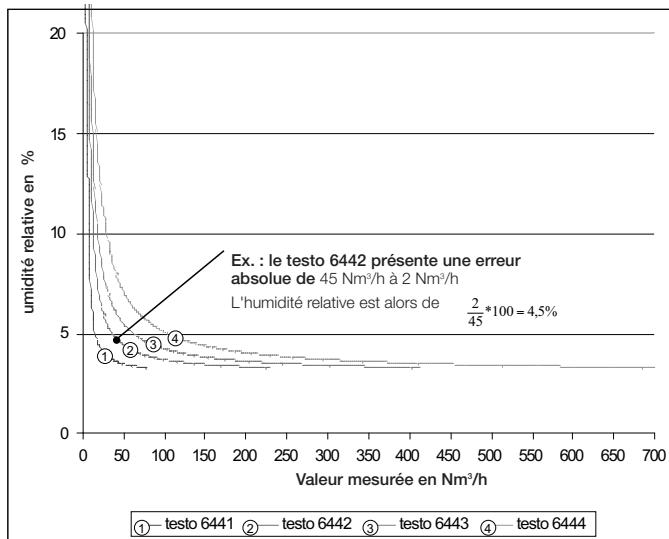
### 2.4 Caractéristiques techniques du compteur de pression testo 6440

	testo 6441	testo 6442	testo 6443	testo 6444
Référence	0555 6441	0555 6442	0555 6443	0555 6444
Diamètre tuyau	DN 15 (1/2")	DN 25 (1")	DN 40 (1 1/2")	DN 50 (2")
Etendue de mesure (1:300)	0,25 ... 75 Nm <sup>3</sup> /h 4 ... 1250 NL/min	0,75 ... 225 Nm <sup>3</sup> /h 1,3 ... 3750 NL/min	1,3 ... 410 Nm <sup>3</sup> /h 22,2 ... 6830 NL/min	2,3 ... 700 Nm <sup>3</sup> /h 0,04 ... 11,67 NL/min
Val. max. affichée	0,0 ... 90,0 Nm <sup>3</sup> /h 0 ... 1500 NL/min	0,0 ... 270 Nm <sup>3</sup> /h 0 ... 4500 NL/min	0,0 ... 492 Nm <sup>3</sup> /h 0 ... 8200 NL/min	0,0 ... 840 Nm <sup>3</sup> /h 0 ... 14 Nm <sup>3</sup> /min
Zone de mesure: filetage (chaque côté)/ Matériau	R 1/2, acier inox 1.4301	R1, acier inox 1.4301	R1 1/2, acier inox 1.4401	R2, acier inox 1.4401
Longueur tuyau de mesure	300 mm	475 mm	475 mm (ligne de mesure raccourcie)	475 mm (ligne de mesure raccourcie)
Poids	0,9 kg	1,1 kg	3,0 kg	3,8 kg
Capteurs	Capteur thermique céramique scellé par vitrification			
Précisions Part d'incertitude	Pour des classes de qualité d'air comprimé (ISO 8573: particules – humidité – huile) 1-4-1: $\pm 3\%$ de la val. mes. $\pm 0,3\%$ de la val.finale. Pour des classes de qualité d'air comprimé (ISO 8573: particules – humidité – huile) 3-4-4: $\pm 6\%$ de la val. mes. $\pm 0,6\%$ de la val.finale.			

Erreur absolue de mesure à travers le capteur



Erreur relative de mesure à travers le capteur  
(se rapporte à la valeur de mesure actuelle)



Temps de réponse	< 0,1 sec pour un paramètre d'atténuation = 0), décalable par le menu utilisateur (0 à 1 s)
Affichage température	0 ... +60 °C, erreur $\pm 2K$
Affichage, utilisation	Affichage alphanumérique à 4 positions, deux boutons de fonctionnement, menu utilisateur, LED (4x vert pour les unités physiques, 3x jaune pour un "affichage x 1000" ou en situation de commutation)
Unités affichées	Nm <sup>3</sup> /h, NL/min, Nm <sup>3</sup> , °C (unité sélectionnée affichée par LED vert)
Raccordement électrique	Fiche M12x1, charge jusqu'à 250 mA, résistant au court circuit (synchronisé), sécurité erreur de polarité, résistant aux surcharges. Testo conseille le câble en accessoire réf. 0699 3393
Alimentation électrique	19 ... 30 VDC, consommation courant < 100 mA
Signal de sortie	4 combinaisons sont paramétrables via le menu utilisateur
Sortie impulsion	Compteur de quantité consommée (valeur disponible après réinitialisation ou rupture d'alimentation par mémoire fixe), Valeur 0.001 ... 1.000.000 m <sup>3</sup> , durée d'impulsion 0,02 s ... 2 s, seuil 24 VDC
Sortie analogique	4 ... 20 mA (4 fils), charge maximale 500 Ohm, échelle réglable entre 0 et la fin de l'étendue de mesure
Signaux des sorties	2 sorties commutables, paramétrables (dépendant de la consommation ou du débit volumique, dépendant/indépendant de la durée, ouverture, fermeture, hystéresis, fenêtre), respectivement avec une charge maximale de 19 ... 30 VDC ou de 250 mA, l'état de commutation est indiqué par 2 LED
Utilisation process	0 ... +60 °C, PN 16 (ex. max 16 bar absolue), humidité relative < 90 %HR, qualité de l'air ISO 8573: recommandé Classe 1-4-1
Température ambiante	0 ... +60 °C
Temp. de stockage	-25 ... +85 °C
Contact milieu	Matériaux acier inoxydable 1.4301 voire 1.4401 (v. ci-dessus, matériaux), PEEK, Polyester, Viton, aluminium anodisé, céramique
Boîtier	PBT (GF 20%), Fonte de zinc injecté, IP65 / III
EMC	Conformément aux exigences de la norme 89/336

## 2.5 Raccordement électrique

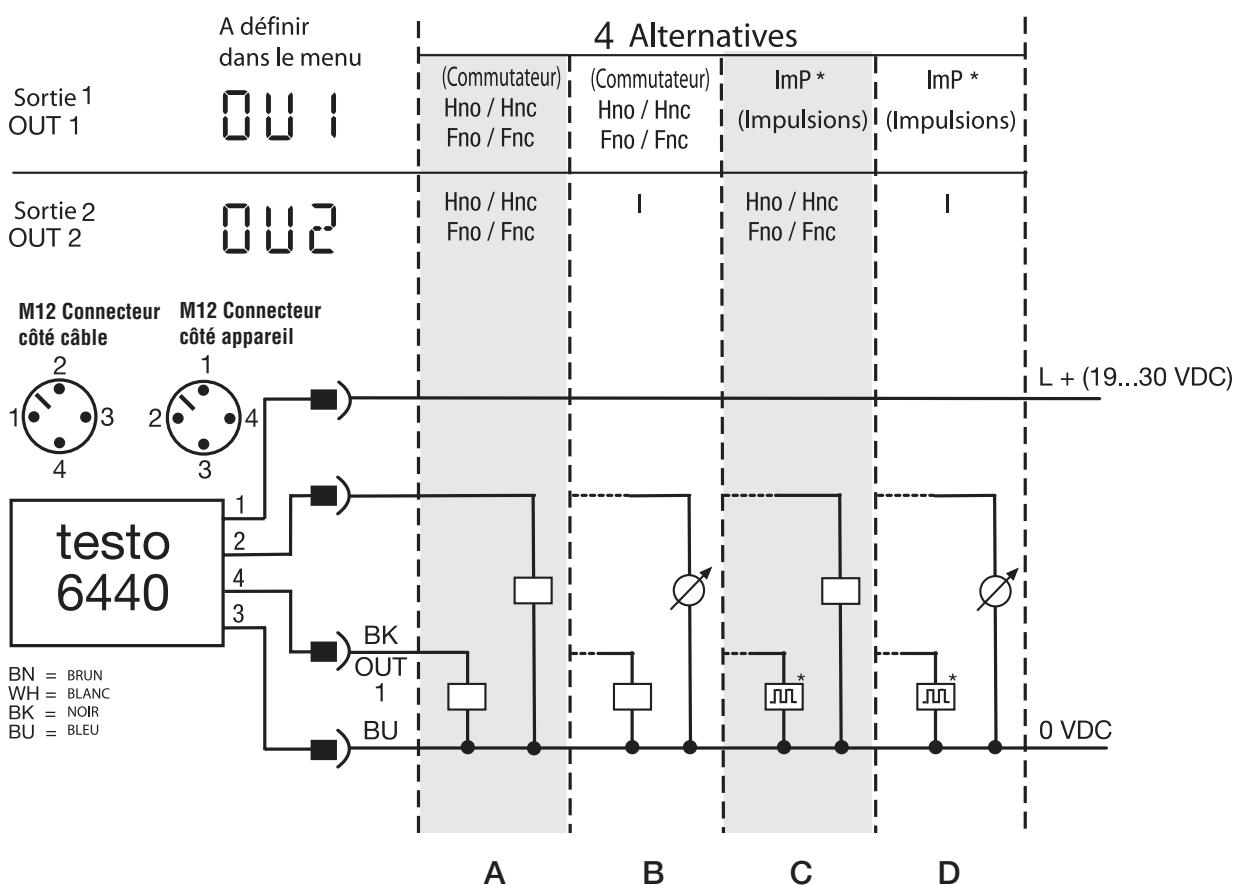
### 2.5 Raccordement électrique

#### 2.5.1 Connexion



L'appareil ne doit être installé que par un électricien qualifié.  
Respectez les prescriptions nationales et internationales relatives à l'installation d'équipements électriques. Alimentation électrique cf. EN50178, SELV, PELV.

Commutez l'installation hors tension et raccordez l'appareil de la manière suivante : Il est alors possible de choisir entre les variantes A, B, C ou D.



\* Si      ImPR = Yes → à sortie impulsion  
 ImPR = No → à sortie commutable (compteur à présélection)

Affectation des cosses	
1	Câble d'alimentation 19...30 VDC (+)
2	OUT 2 (Sortie analogique (4...20 mA) ou sortie commutable)
3	Raccord alimentation 0 V (-)
4	OUT 1 (Sortie impulsion ou sortie commutable)

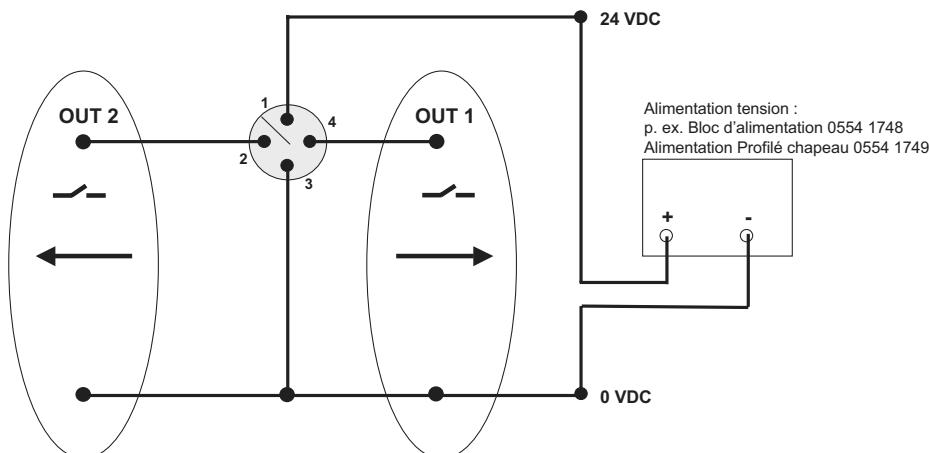
Couleur des fils pour câble 0699 3393
brun
blanc
bleu
noir

## 2.5 Raccordement électrique

### 2.5.2 Exemple de raccordement

**Câblage testo 6440 Variante A** (cf. chapitre 2.5.1)  
**2 x sortie commutable**

OUT 1 (Contact à douille 4) en tant que sortie commutable  
 OUT 2 (Contact à douille 2) paramétré également  
 en tant que sortie commutable



#### Sortie commutable 2/3

- comme entrée numérique d'une commande
- ou
- pour commander une alarme sonore ou lumineuse

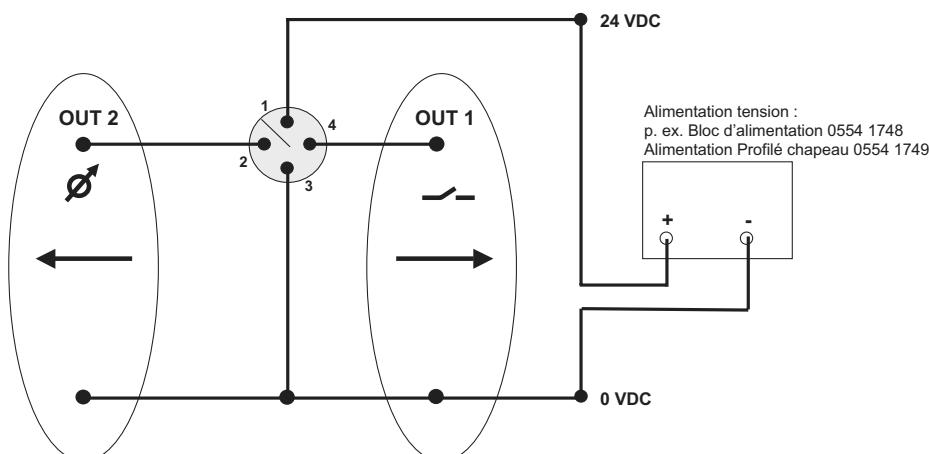
#### Sortie commutable 4/3

- comme entrée numérique d'une commande
- ou
- pour commander une alarme sonore ou lumineuse

Alimentation tension :  
 p. ex. Bloc d'alimentation 0554 1748  
 Alimentation Profilé chapeau 0554 1749

**Câblage testo 6440 Variante B** (cf. chapitre 2.5.1)  
**1 x sortie commutable et 1x sortie analogique**

OUT 1 (Contact à douille 4) en tant que sortie commutable et  
 OUT 2 (Contact à douille 2) paramétré également  
 en tant que sortie analogique



#### Sortie commutable 2/3

- pour la commande (entrée analogique)
- ou
- pour affichage externe

#### Sortie commutable 4/3

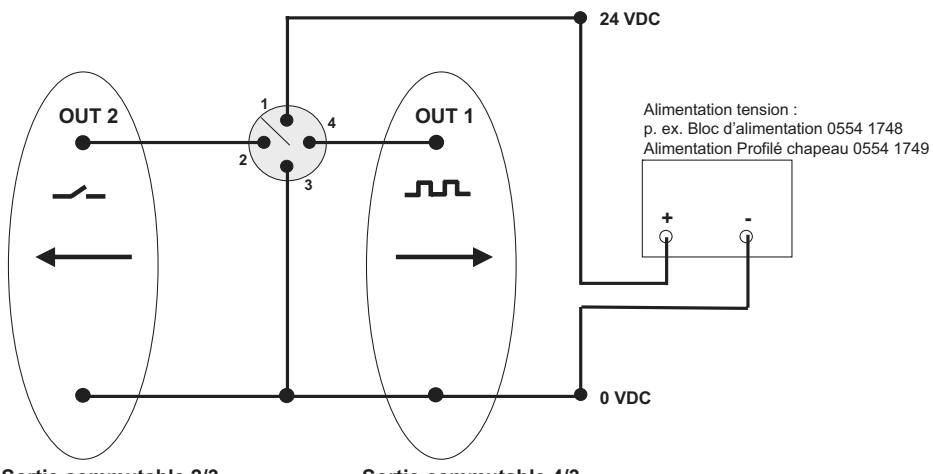
- comme entrée numérique d'une commande
- ou
- pour commander une alarme sonore ou lumineuse

Alimentation tension :  
 p. ex. Bloc d'alimentation 0554 1748  
 Alimentation Profilé chapeau 0554 1749

## 2.5 Raccordement électrique

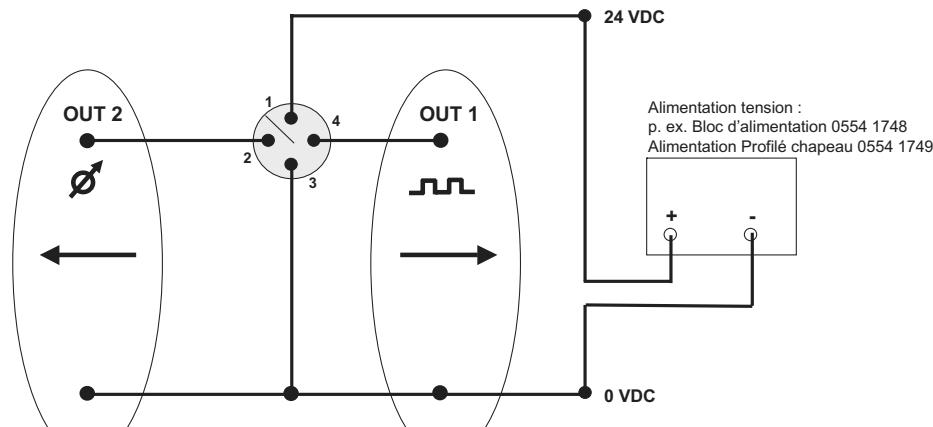
Câblage testo 6440 Variante C (cf. chapitre 2.5.1)  
**1 x sortie à impulsion et 1 x sortie commutable**

OUT 1 (Contact à douille 4) en tant que sortie à impulsion et  
 OUT 2 (Contact à douille 2) paramétré également  
 en tant que sortie commutable



Câblage testo 6440 Variante D (cf. chapitre 2.5.1)  
**1 x sortie à impulsion et 1 x sortie commutable**

OUT 1 (Contact à douille 4) en tant que sortie à impulsion et  
 OUT 2 (Contact à douille 2) paramétré également  
 en tant que sortie analogique



**Sortie commutable 2/3**

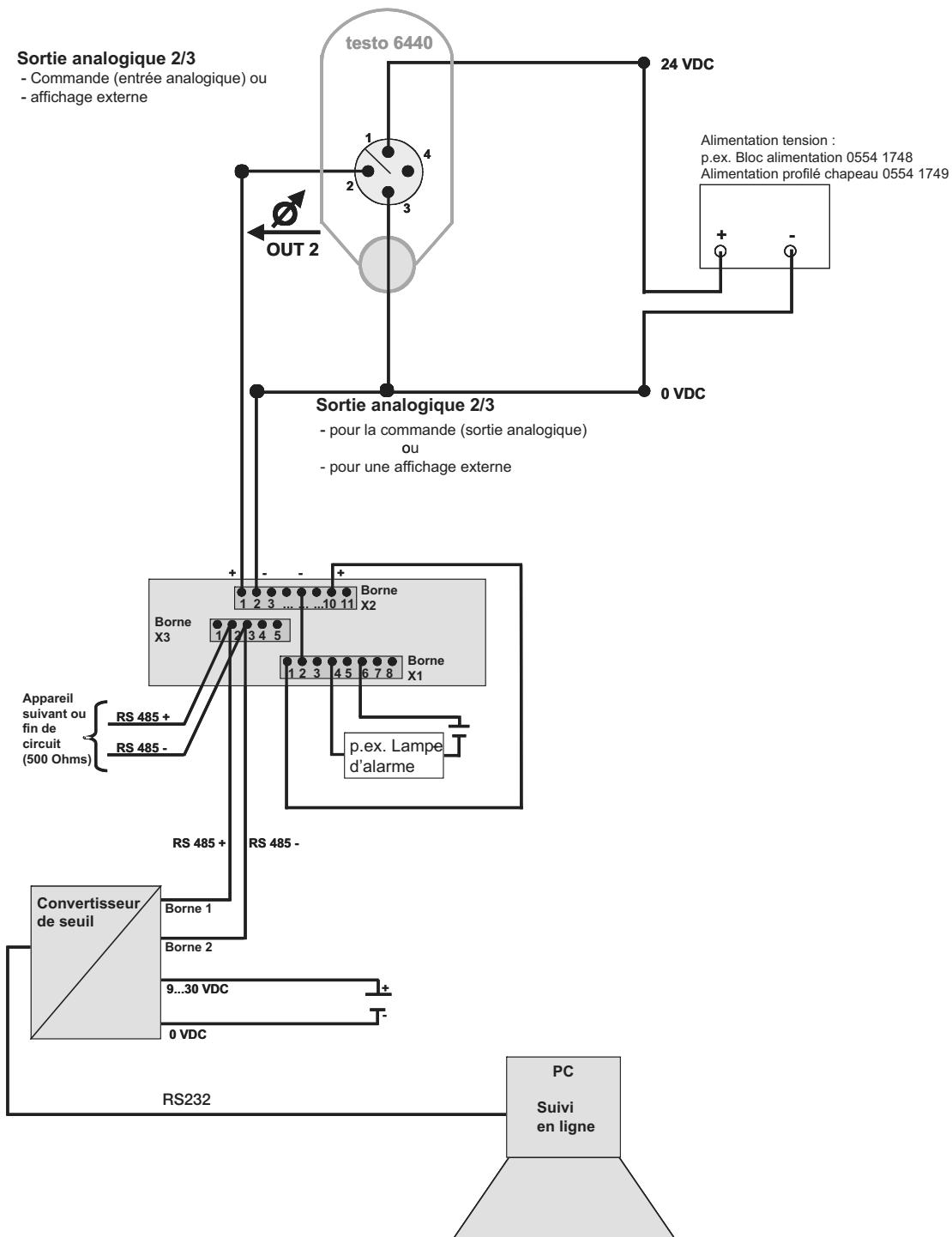
- pour la commande (entrée analogique) ou
- pour affichage externe

**Sortie commutable 4/3**

- comme entrée à impulsion d'une commande

## 2.5 Raccordement électrique

testo 6440 (ici : uniquement utilisation de la sortie analogique) avec un afficheur process testo 54-7 AC pour utilisation des sorties relais, l'affichage totalisateur et la sortie RS485

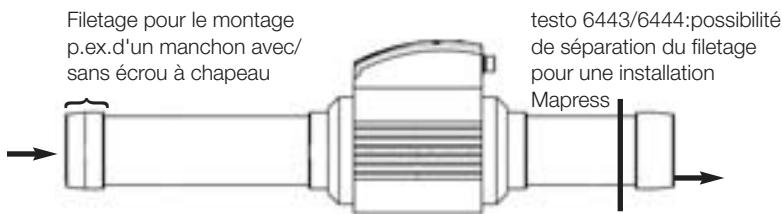


## 2.6 Montage

### 2.6 Montage



Suivez les consignes et les spécifications d'installation et de fonctionnement des installations d'air comprimé.



Intégrer le testo 6440 de telle manière que le sens du flux et la flèche repère soient dans le même sens.



Au centre de la plaque signalétique se situe un filtre d'aération qui protège l'intérieur du boîtier de la condensation.  
Veuillez ne pas le retirer et le protéger de tout dommage.

Du fait de la possibilité de mesurer dans les deux directions, le testo 6440 peut également être utilisé dans des circuits circulaires. C'est ainsi que pour la détection de la direction courante, il est nécessaire de disposer d'un détecteur de flux séparé; il est alors possible de procéder à des additions ou des soustractions de manière ciblée lors du fonctionnement du système.

Un point d'implantation privilégié pour le testo 6440 se situe directement derrière le sécheur d'air ou à proximité du récepteur, alors qu'une implantation après l'unité de maintenance est également possible. Dès lors que le récepteur utilise de l'huile, il faut veiller à ce que le testo 6440 soit installé avant le lubrificateur, afin d'éviter l'apparition d'impuretés sur le capteur.

Pour atteindre la précision de mesure spécifiée, il est nécessaire de respecter les conditions d'installations suivantes:

- lignes d'entrées/de sorties définies (conduits rectilignes)
- profil de flux constant dans le temps.

En cas de troubles sur la ligne d'entrée, des lignes de stabilisation sont recommandées (A) : ce sont des valeurs minimales.

Si la longueur de stabilisation n'est pas intégrée, cela aura un effet dans l'incertitude de mesure.

	Ligne d'entrée nécessaire (*A)			
	6441	6442	6443	6444
	Angle 90°	B = 5 x D*	✓	✓
	2 angles 90°, un plan	B = 10 x D*	✓	✓
	2 angles 90°, deux plans	B = 15 x D*	+ 35 mm	+ 40 mm
	Vanne, obturateur	B = 35 x D*	+ 360 mm	+ 590 mm
			+1100 mm	+1500 mm

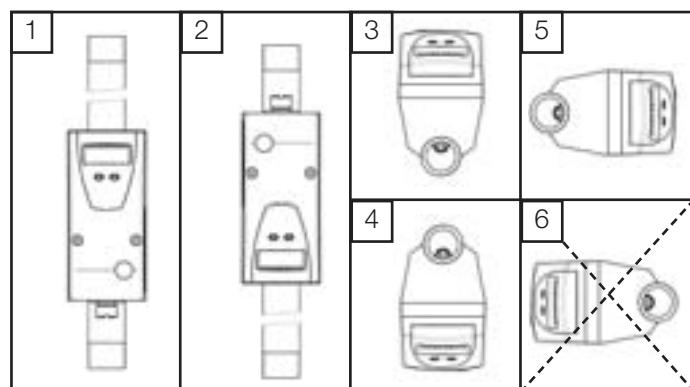
\*D = diamètre du tuyau

✓ = ligne de mesure testo 6440 suffisante

\*A = les lignes de sortie sont généralement suffisantes (ligne de mesure testo 6440)

#### Positionnement:

- Positionnement autorisé: section de mesure verticale, position au choix (fig. 1, 2); section de mesure horizontale, appareil vertical (fig. 3, 4), appareil posé sur le côté, section de mesure à gauche (fig. 5).
- Evitez le positionnement fig. 6 (appareil posé sur le côté, section de mesure à droite). Dans ce cas, le filtre d'aération se trouve en haut; ceci doit être évité.



## 2.7 Elément de commande et menu de commande du testo 6440

### 2.7 Elément de commande et menu de commande du testo 6440

#### 2.7.1 Elément de commande et menu de commande du testo 6440

Un des avantages importants du testo 6440 est l'affichage LED de conception pratique qui est également très lisible dans des salles de machines, orientable à 180° et avec lequel il est possible en outre de déconnecter et de verrouiller l'affiche/le menu de commande.

Le testo 6440 dispose d'un affichage et de deux touches de fonctions "Mode/Enter" et "Set". Il est ainsi possible de revenir au menu de commande qui offre outre le changement d'unités, le paramétrage des signaux de sortie, bon nombre d'autres fonctions utiles.



Affichage LED bien lisible  
(affichage orientable sur 180°)

**SET** signifie: Appuyez brièvement sur la touche SET  
(augmenter la valeur ou paginer)

**SET** signifie: Appuyez longuement sur la touche SET  
(modifier paramètre ou Reset)

**MODE** signifie: Appuyez sur la touche MODE/ENTER  
(confirmer paramétrage)

#### Observation:

- si aucune touche de fonction n'est activée en mode programme pendant 15s, alors l'appareil bascule du mode programmation en mode affichage
- le verrouillage du clavier peut être activé/désactivé en appuyant simultanément (pendant 10 s) sur les touches SET et MODE.

Il existe 3 types de sous-menus (type de manipulation des touches fonction) :

① Modifier paramètres **SET** / Augmenter la valeur **SET** / Paginer ou confirmer **MODE**

② Modifier paramètres **SET** / Paginer **SET** ou **MODE** / Confirmer

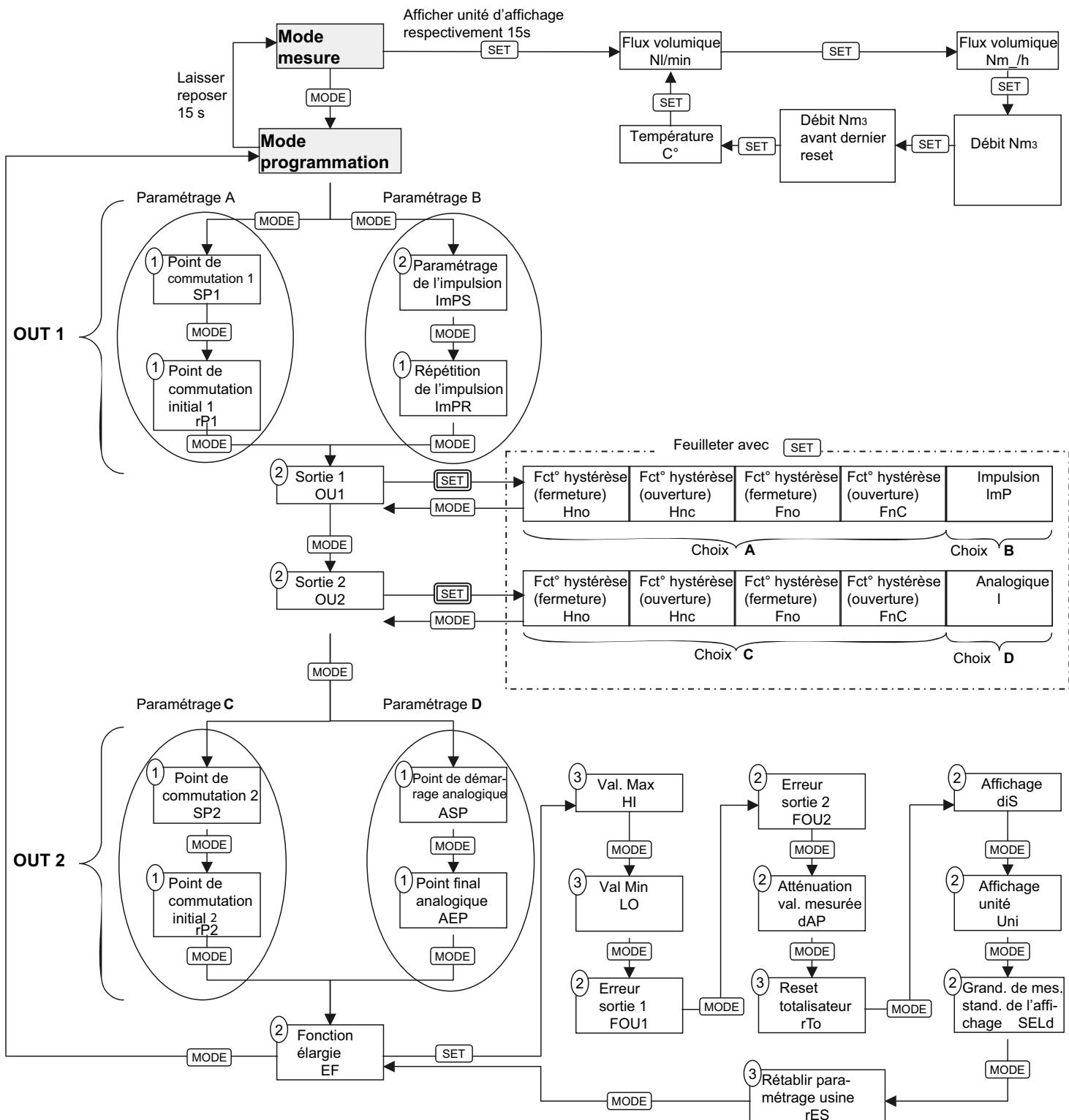
unité suivante : le changement de position est automatique en n'appuyant pas sur **SET**.

③ Reset **SET**, c'est-à-dire repasser en paramétrage usine.

## 2.7 Élément de commande et menu de commande du testo 6440

A/B: Variantes pour sortie OUT 1 (Bornes 2/3)

C/D: Variantes pour sortie OUT 2 (Bornes 4/3)



Il existe 3 types de sous-menus (Type de manipulation des touches fonction) :

① Modifier paramètres **SET** / Augmenter la valeur **SET** / Pagger ou confirmer **MODE**.

② Modifier paramètres **SET** / Pagger **SET** ou **MODE** / Confirmer

unité suivante : le changement de position est automatique en n'appuyant pas sur **SET**.

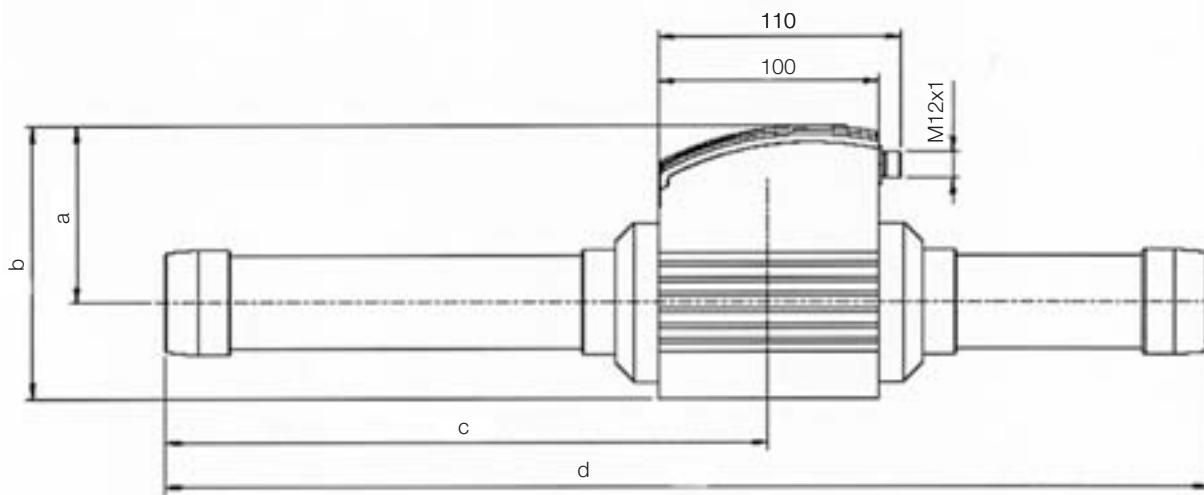
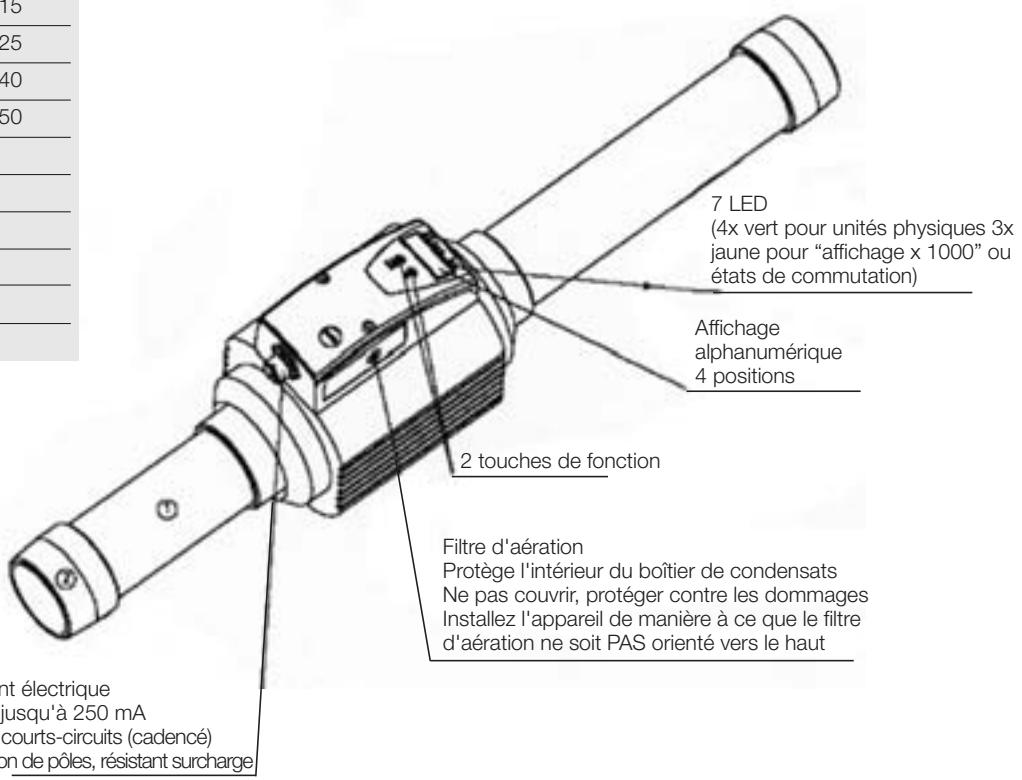
③ Reset **SET**, c'est-à-dire repasser en paramétrage usine.

## 2.8 Illustrations techniques

Ligne de mesure	Matière	Diamètre
testo 6441	1.4301	DN 15
testo 6442	1.4301	DN 25
testo 6443	1.4301	DN 40
testo 6444	1.4401	DN 50

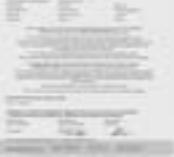
Filetage		
testo 6441	R 1/2	
testo 6442	R 1	
testo 6443	R 1½	
testo 6444	R 2	



mm	6441	6442	6443	6444
a	-	-	80,2	86,2
b	80	91,7	135,3	135,3
c	210	375	275	275
d	300	475	475	475

## 2.9 Accessoires

### 2.9 Accessoires

Désignation	Réf.	Illustration	Utilisation	Caractéristiques techniques
Câble de raccordement	0699.3393		Câble de raccordement électrique	Longueur 5 m Douille M 12x1 Sans extrémité conducteur, 4 fils
Afficheur externe testo 54-2AC 2 sorties relais	5400.7553		Afficheur process externe avec 2 sorties relais pour une alarme sur site ou un arrêt/démarrage d'appareil	Alimentation : 100...250 VAC, 50/60 Hz Charge relais : 90...250 VAC/300 VDC, max.: 3 A ; 30 mA Sortie énergie auxiliaire : 24 VDC ± 15% ; 50 mA (insuffisant pour testo 6440)
Afficheur externe testo 54-2AC 2 sorties relais avec totalisateur	5400.7555		Afficheur process externe avec 2 sorties relais pour une alarme sur site ou un arrêt/démarrage d'appareil ; sortie RS485	Alimentation : 100...250 VAC, 50/60 Hz Charge relais : 90...250 VAC/300 VDC, max. : 3 A ; 30 mA Sortie énergie auxiliaire : 24 VDC ± 15% ; 50 mA (insuffisant pour testo 6440) Sortie numérique RS485 pour le suivi en ligne
Alimentation secteur (bloc)	0554.1748		Alimentation du testo 6440 ou de l'afficheur process testo 54-x VDC	Tension d'entrée : 110...240 VAC ; 50/60 Hz Tension de sortie : 24 VDC (2,5 A) Courant de sortie : 2,5 mA, résistant aux courts-circuits, max. 3, A
Alimentation profilé chapeau	0554.1749		Alimentation du testo 6440 ou de l'afficheur process testo 54-x VDC	Tension d'entrée: 90...264 VAC; 50/60 Hz Tension de sortie: 24 VDC (2,5 A) Courant de sortie: 2,5 mA, résistant aux courts-circuits, max. 3,4 A
Etalonnage ISO (testo 6441/6442)	0520.0174		Etalonnage ISO en 5 points	jusqu'à 250 Nm³/h pour testo 6441 et testo 6442
Etalonnage DKD (testo 6441/6442)	0520.0274		Etalonnage DKD en 5 points	jusqu'à 250 Nm³/h pour testo 6441 et testo 6442
Etalonnage ISO (testo 6443/6444)	0520.0184		Etalonnage ISO en 5 points	jusqu'à 1600 Nm³/h pour testo 6443 et testo 6444
Etalonnage DKD (testo 6443/6444)	0520.0284		Etalonnage DKD en 5 points	jusqu'à 1600 Nm³/h pour testo 6443 et testo 6444

## 2.10 Tableau des caractéristiques testo 6440

### 2.10 Tableau des caractéristiques testo 6440

<b>Compteur d'air comprimé testo 6440</b> avec sonde thermique céramique scellée par vitrification pour la mesure de la consommation de l'air comprimé - offre une conception compacte avec quatre niveaux de diamètre, couplé avec une électronique très performante intégrée, mettant à disposition tous les signaux de sortie nécessaires. Le testo 6440 dispose en outre d'une fonction totalisatrice intégrée.	<b>Sortie signal :</b> Deux des sorties suivantes sont disponibles à choisir librement: - Sortie analogique, 4...20 mA (4 fils), max. Charge max. 500 Ohm, échelle libre de 0 à la fin de l'étendue de mesure - Sortie à impulsion, valeurs 0,001...1.000.000 m³, long. des impulsions 0,02...2 s, seuil 24 VDC - 2 sorties commutables, paramétrables (dépendant de la consommation ou du flux volumique, dépendant ou non du temps, ouverture, fermeture, hystérèse, fenêtre) respectivement avec charge max 19...30 VDC ou 250 mA
<b>Domaine d'utilisation</b> - Contrôle de consommation - Détection de fuite - Gestion des pointes de charge	<b>Alimentation secteur :</b> 19...30 VDC, intensité absorbée < 100 mA
<b>Quatre types d'appareils disponibles :</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- testo 6441: Diamètre DN 15 (1/2")</li><li>- testo 6442: Diamètre DN 25 (1")</li><li>- testo 6443: Diamètre DN 40 (1 1/2")</li><li>- testo 6444: Diamètre DN 50 (2")</li></ul>	<b>Affichage, menu de commande:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Affichage alphanumérique 4 positions</li><li>- 2 touches fonctions</li><li>- Menu de commande</li><li>- 7 LED</li></ul>
<b>Totalisateur intégré :</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Affichage quantité consommée</li><li>- Sortie impulsion quantité consommée</li><li>- Sortie commutable fonction de la quantité consommée (dépend du fait d'avoir atteint un seuil de déclenchement au cours d'un temps t ou indépendamment du temps)</li></ul>	<b>Type de protection :</b> IP65
<b>Etendue de mes.:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- testo 6441: 0,25...75 Nm³/h</li><li>- testo 6442: 0,75...225 Nm³/h</li><li>- testo 6443: 1,3...410 Nm³/h</li><li>- testo 6444: 2,3...700 Nm³/h</li></ul>	<b>Raccordement électrique :</b> Prise M 12x1, charge jusqu'à 250 mA, résistant aux courts-circuits (cadencé), sécurité inversion de pôles, protection surcharge
<b>Grandeur de mes. :</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Flux volumique standard en Nm³/h ou NL/min</li><li>- Consommation en Nm³</li><li>- Température du milieu en °C</li></ul>	<b>Accessoires intéressants :</b> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Câble de raccordement électrique : long 5 m, Douille M 12x1 avec extrémité conductrice libre [Réf.: 0699 3393]</li><li>2. Afficheur externe avec sortie énergie auxiliaire : testo 54-2AC, 2 sorties relais (jusqu'à 250 VAC ou 300 VDC, 3A), 100...250 VAC [Réf.: 5400 7553]</li><li>3. Afficheur externe avec sortie énergie auxiliaire : testo 54-2AC, 2 sorties relais (jusqu'à 250 VAC ou 300 VDC, 3A), 100...250 VAC, en plus sortie RS485 pour suivi en ligne testo [Réf.: 5400 7555]</li><li>4. Bloc d'alimentation pour alimentation électrique : Tension d'entrée 110...240 VAC, sortie 24 VDC/350 mA [Réf.: 0554 1748]</li><li>5. Alimentation profilé chapeau pour alimentation électrique : Tension d'entrée 90...264 VAC/2,5 A [Réf.: 0554 1749]</li></ol>
<b>Précision :</b> Pour les classes de qualité d'air comprimé 1-4-1 (ISO 8573 : Particules - Humidité - Huile)	
<b>Conditions de process :</b> 0...+60 °C, PN 16, 0...90 %HR (stable à la condensation), Classe d'air ISO 8573 : recommandé 1-4-1	
<b>Filetage ; Longueur ; Matière composant la ligne de mesure :</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- testo 6441: R 1/2; 300 mm; acier inox 1.4301</li><li>- testo 6442: R 1; 475 mm; acier inox 1.4301</li><li>- testo 6443: R 1 1/2; 475 mm (ligne de mes. raccourcie); acier inox 1.4401</li><li>- testo 6444: R 2; 475 mm (ligne de mes. raccourcie); acier inox 1.4401</li></ul>	

## 2.11 Sorties signal

### 2.11 Sorties signal

Deux des sorties suivantes sont disponibles simultanément librement au choix ; elles peuvent être paramétrées dans le menu de commande (variantes de paramétrage cf. chapitre 2.5.1) :

- sortie analogique 4...20 mA (4 fils), charge max 500 Ohms, échelle libre de 0 à la fin de l'étendue de mesure
- sortie impulsion, valeurs 0,001...1.000.000 m<sup>3</sup>, longueur d'impulsion 0,02...2 s, seuil 24 VDC
- 2 sorties commutables, paramétrables (dépendant de la consommation ou du flux volumique, dépendant ou non du temps, ouverture, fermeture, hystérèse, fenêtre) respectivement avec charge max 19...30 VDC ou 250 mA

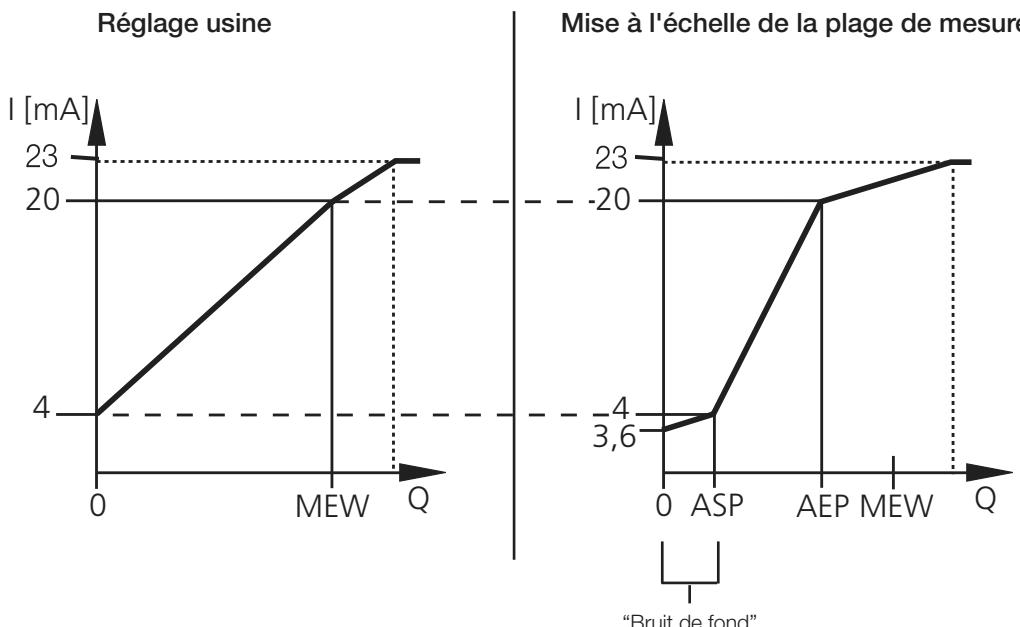
#### 2.11.1 Réglages des sorties analogiques

Une sortie analogique 4...20 mA en technique 3 fils (1 pôle = signal électrique, 1 pôle = alimentation L+, 1 pôle = terre commune pour le signal électrique et l'alimentation).

Dans le menu de commande, le point de départ analogique (ASP) et le point final analogique (AEP) peuvent être paramétrés, c'est-à-dire les valeurs que doivent avoir le signal de sortie 4 mA ou 20 mA. C'est ainsi que le signal de sortie dans l'étendue de mesure réglée se trouve alors entre 4 et 20 mA. Si le débit est plus faible que l'étendue réglée, alors le signal de sortie analogique se trouve entre 3,6 et 4 mA, si par contre il est plus grand que l'étendue de mesure réglée, alors le signal analogique se positionne entre 20 mA et 23 mA (cf. schéma).

La valeur finale de l'étendue de mesure (MEW) pour les quatre compteurs d'air comprimés sont les suivantes :

testo 6441: 75 Nm<sup>3</sup>/h  
testo 6442: 225 Nm<sup>3</sup>/h  
testo 6443: 410 Nm<sup>3</sup>/h  
testo 6444: 700 Nm<sup>3</sup>/h



#### Utilisation:

Détection de fuite (surveillance de valeur limite via SPS)  
ou mesure de la quantité consommée (intégration via SPS)

## 2.11 Sorties signal

### 2.11.2 Paramétrage de sortie à impulsion

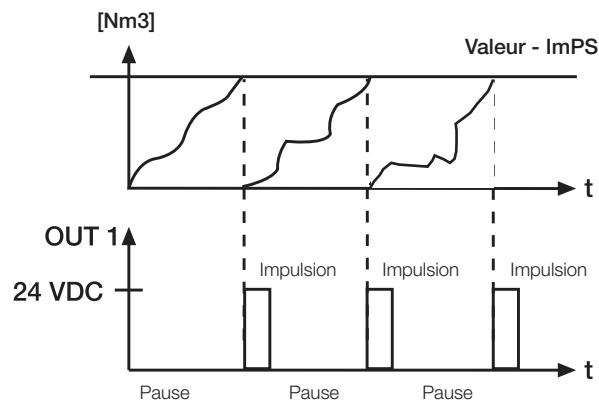
La sortie à impulsions du testo 6440 peut être utilisée de deux manières différentes :

#### 2.11.2.1. Impulsion de comptage

En atteignant une quantité définie ImPS = valeur de l'impulsion [Nm<sup>3</sup> / Puls], un signal d'impulsion est donné.

$$\text{Ainsi: } \frac{\text{Flux volumique}}{\text{Valeurs}} = \frac{\text{Nombre d'impulsions}}{\text{Heure}}$$

Le rapport pause-impulsion est alors au minimum de 0,5. L'impulsion dure entre 0,02 et 2 s. (durée non paramétrable).



**Application:** mesure de la quantité consommée

#### 2.11.2.2 Compteur à présélection:

En atteignant une quantité définie, la sortie OUT 1 est commutée, c'est-à-dire que la sortie à impulsion est utilisée comme sortie commutable dépendant de la quantité consommée.

Il existe alors deux possibilités :

##### 2.11.2.2.1 Contrôle quantitatif indépendant du temps :

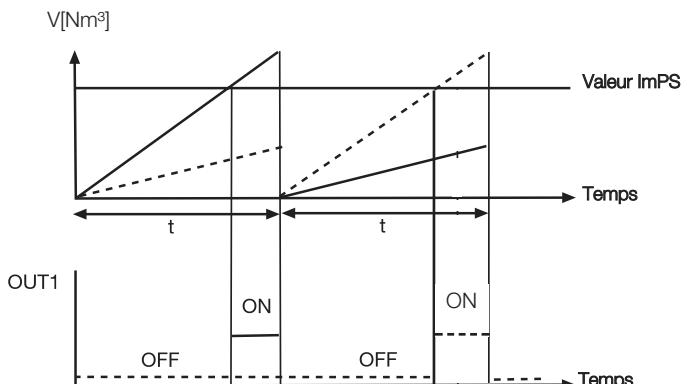
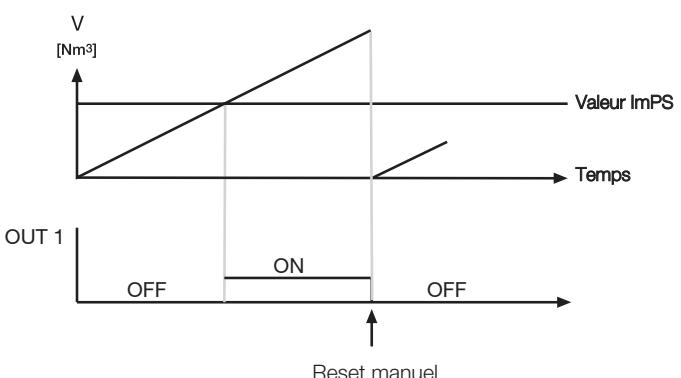
Lorsqu'une quantité définie est atteinte (ImPS), la sortie OUT 1 est commutée et reste dans cette position jusqu'à ce qu'un Reset manuel soit effectué.

**Application:** dosage

##### 2.11.2.2.2 Contrôle quantitatif dépendant du temps :

Si la quantité définie (ImPS) est atteinte pendant la durée t, alors la sortie OUT 1 est commutée. Après écoulement de la durée t ou en cas de reset manuel, ce sont à la fois le compteur interne et la sortie commutable OUT1 qui sont remis à zéro (OFF) ; l'intervalle de temps suivant débute.

**Application:** détection de fuite



## 2.11 Sorties signal

### 2.11.3 Paramétrage des sorties commutables

Dans le menu de commande du testo 6440 chaque sortie commutable est définie de manière distincte, que l'on utilise l'hystérèse ou la fonction fenêtre.

#### L'hystérèse

L'hystérèse conserve une stabilité à l'état de la commutation de la sortie, lorsque le flux tourne autour de la valeur prescrite. Lorsque le débit augmente, la sortie commute en atteignant le point de commutation ( $SP_x$ ). Si le débit baisse à nouveau, la sortie ne commute à rebours que si le point de commutation inverse ( $rP_x$ ) est atteint. L'hystérèse est réglable:

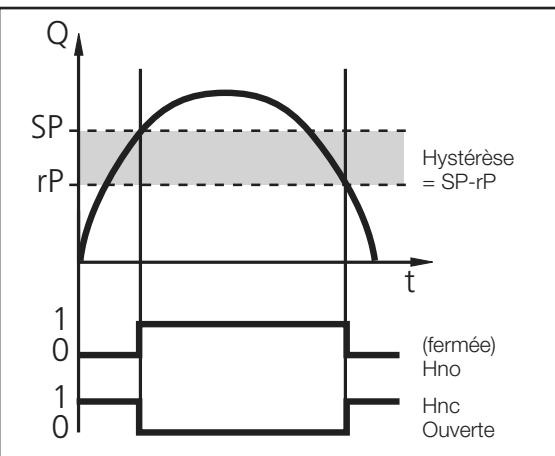
Le point de commutation est fixé en premier, puis le point de commutation inverse avec l'intervalle souhaité.

#### Exemple :

Point de commutation  $SP = 20 \text{ Nm}^3/\text{h}$

Hystérèse =  $2 \text{ Nm}^3/\text{h}$

→ Point de commutation inverse  $rP = 18 \text{ Nm}^3/\text{h}$



**Application:** Surveillance max. ou surveillance min. .

#### Fonction fenêtre

La fonction fenêtre permet de contrôler un intervalle d'acceptation défini. Si le flux varie entre le point de commutation ( $SP_x$ ) et le point de commutation inverse ( $rP_x$ ), la sortie est fermée (Fno) ou ouverte (Fnc). La largeur de la valeur est réglable avec l'écart de  $SP_x$  à  $rP_x$ .  $SP_x$  = valeur supérieure,  $rP_x$  = valeur inférieure. Le point de commutation et le point de commutation inverse ont une hystérèse fixe de 0,25% de la valeur finale de la plage de mesure pour stabiliser les états de commutation.

#### Exemple pour testo 6441

(valeur finale de l'étendue de mesure, MEW =  $75 \text{ Nm}^3/\text{h}$ ):

Valeur maximale admissible =  $22 \text{ Nm}^3/\text{h}$

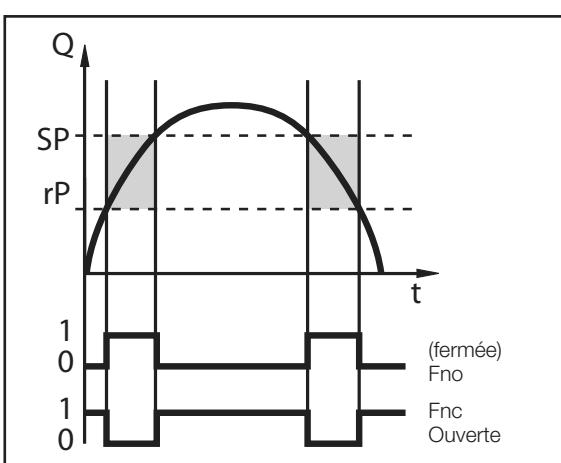
Valeur minimale admissible =  $12 \text{ Nm}^3/\text{h}$

→ valeur de commutation =  $22 \text{ Nm}^3/\text{h}$

→ valeur de commutation inverse =  $12 \text{ Nm}^3/\text{h}$

} chacun avec  
une hystérèse fixe =  
0,25 % de MEW (non  
paramétrable)

**Application:** Surveillance min./max



## 2.12 Calibration / Certificats

### 2.12 Calibration / Certificats

Avant la livraison chaque compteur d'air comprimé testo 6440 est calibré en usine (un procès verbal de calibration est joint). La calibration est alors réalisée en 5 points à différentes zones de températures. La courbe qui résulte des mesures est finalement intégrée dans l'électronique de l'appareil.

#### 2.12.1 Certificats ISO/DKD

Des certificats d'étalonnage ISO ou DKD sont disponibles en option pour les compteurs d'air comprimé testo 6440. Les points de mesure sont ainsi dépendants de l'étendue de mesure de chaque compteur d'air comprimé respectif.

Dès lors que des exigences en matière d'assurance qualité (ISO 9001, QS9000, ...) sont primordiales, l'étalonnage ISO offre la solution idéale. S'il est question de fiabilité maximale comme par exemple pour les standards de finition, pour les experts, les autorités ou des utilisations critiques, il faut alors recommander l'étalonnage DKD.

Les possibilités d'étalonnage pour le testo 6440 sont les suivantes:

Etalonnage ISO en 5 points de mesure,  
jusqu'à 250 Nm<sup>3</sup>/h (testo 6441 / 6442)  
Réf. 0520 0174

Etalonnage DKD en 5 points de mesure,  
bis 250 Nm<sup>3</sup>/h (testo 6441 / 6442)  
Réf. 0520 0274

Etalonnage ISO en 5 points de mesure,  
jusqu'à 1600 Nm<sup>3</sup>/h (testo 6443 / 6444)  
Réf. 0520 0184

Etalonnage DKD en 5 points de mesure,  
jusqu'à 1600 Nm<sup>3</sup>/h (testo 6443 / 6444)  
Réf. 0520 0284

#### 2.12.2 Procédure d'étalonnage ISO/DKD

L'étalonnage du compteur d'air comprimé testo 6440 est réalisé selon la norme DIN EN ISO/IEC 17025 (pour les grandeurs de mesure de débit flux massique et flux volumique) par des laboratoires d'étalonnage accrédités.

Un flux laminaire est utilisé comme étalon, en fixant la norme DIN ISO 2533 (1013,25 hPa ; 15°C, 0%Hr) comme valeur nominale des conditions de process.

Pour la réalisation de l'étalonnage, le compteur d'air comprimé est raccordé à une alimentation de gaz avec env. 3500 hPa (pression absolue). Un restricteur est branché directement après pour réaliser la pression effective, l'étalon étant finalement branché à la suite.

La sonde subit un flux sur une période d'environ 30 mn préalablement à l'étalonnage ainsi qu'un fonctionnement à débit maximal pendant 5 mn en fonction du type de compteur d'air comprimé.

Les valeurs de débit sont relevées au plus tôt trois minutes après le réglage des valeurs présentes. L'étalonnage, c'est-à-dire la comparaison des valeurs de mesure mesurées avec les valeurs de mesure de référence, est réalisé selon 5 points de mesure différents.

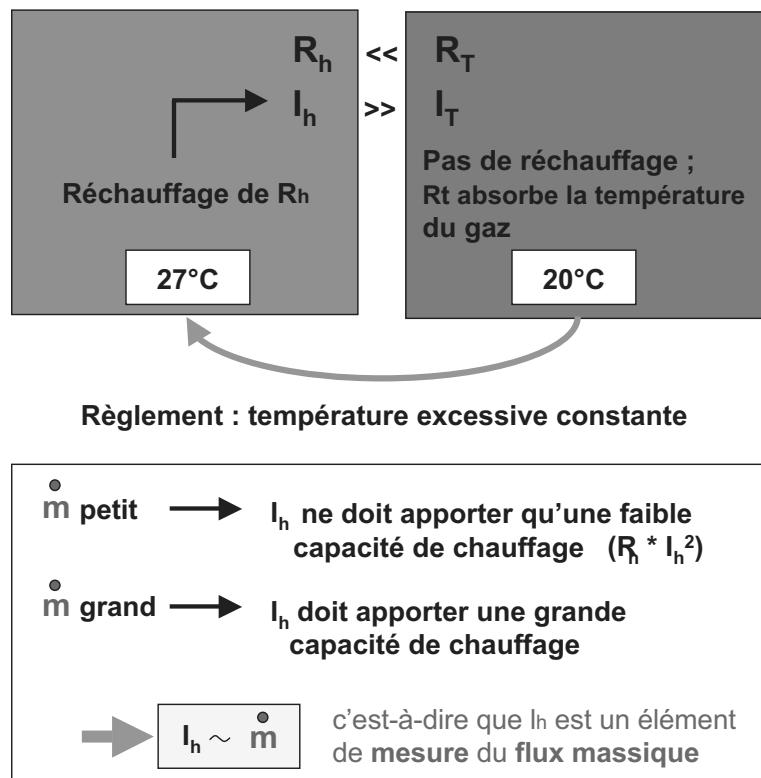
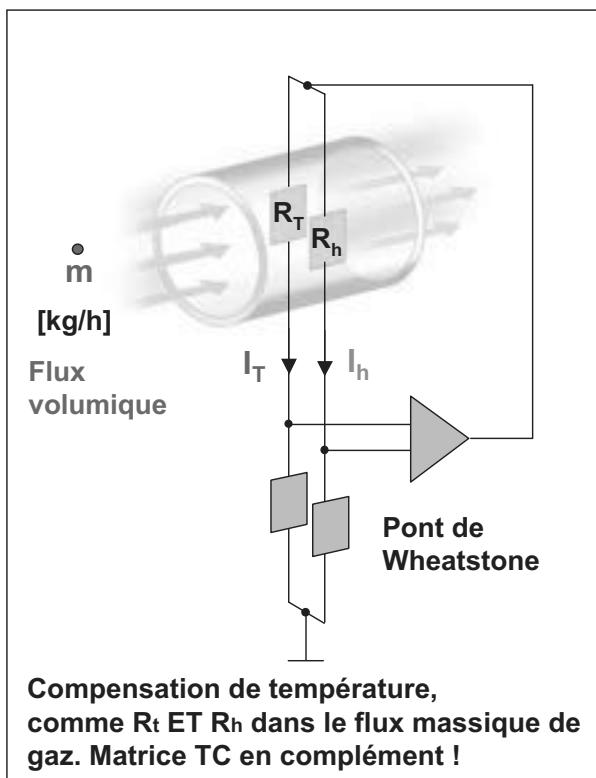
Cette procédure d'étalonnage avec un flux laminaire utilise la relation linéaire entre pression effective et débit. Pour atteindre le flux laminaire nécessaire au procédé de mesure, le flux volumique dans l'élément de flux laminaire est réparti en un grand nombre de capillaires selon la zone traversée. C'est ainsi qu'intervient une pression effective proportionnellement faible par rapport au débit dans l'élément de flux laminaire. Contrairement à d'autres procédés de pression effective, où la pression effective est proportionnelle au carré du flux volumique, la relation linéaire des éléments de flux laminaire permet d'atteindre une fourchette de mesure de 1 :100 et plus.

## 2.13 Capteurs

### 2.13 Capteurs

Le principe de mesure optimal pour la mesure d'un flux volumique normalisé d'air comprimé utilisé pour le testo 6440 est la mesure de flux massique thermique. Cette procédure de mesure se distingue notamment du fait de son indépendance par rapport à la pression du process et de la température ainsi que de la caractéristique de ne générer aucune perte de pression résultante.

A cet effet, deux applications air comprimé exigeantes ont été développées, des capteurs céramiques vitrifiés ont été soumis aux températures du process et intégrés dans un pont de Wheatstone. Un des deux capteurs sert alors de source de chaleur, c'est-à-dire qu'il s'agit d'une résistance chauffée, et l'autre sert de sonde de température non chauffée pour compenser la température variable du gaz. La mesure du flux massique représente alors la capacité de chauffage dans ce processus de mesure (cf. Fig X procédés de mesure calorimétriques).



## 2.14 Principes physiques

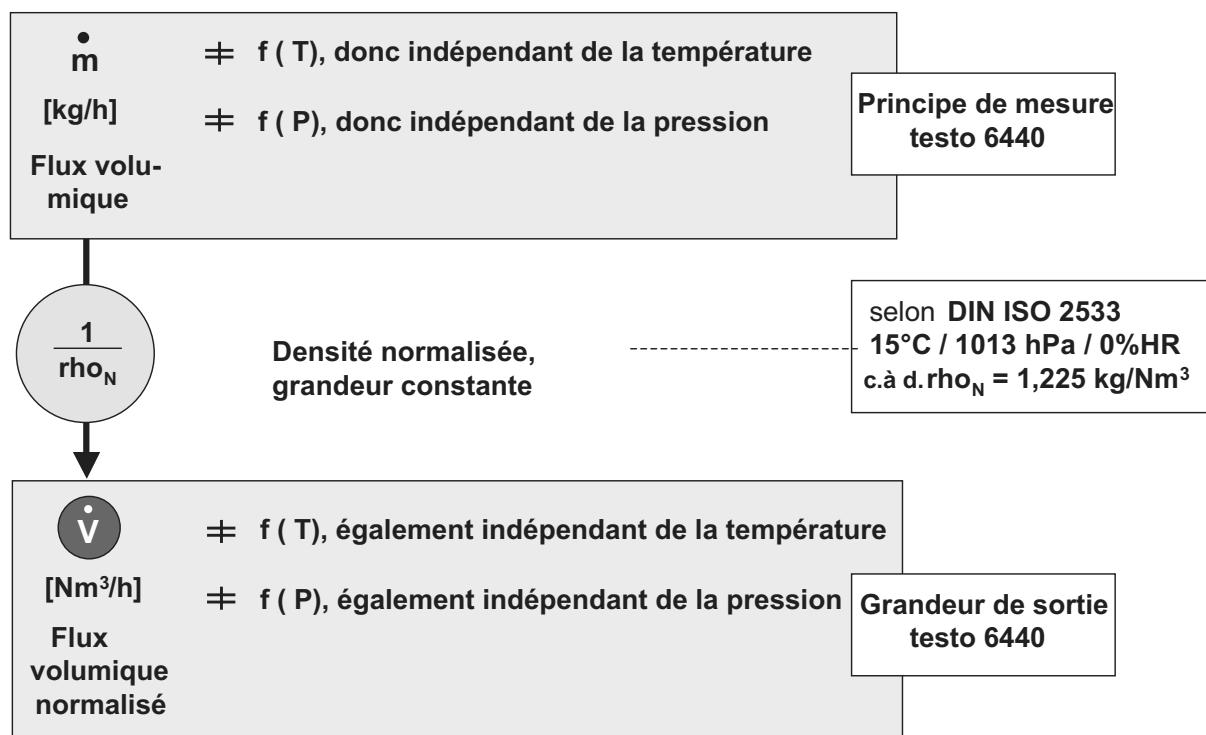
### 2.14 Principes physiques

#### 2.14.1 Mesure du débit massique thermique

Avec les appareils de mesure de flux massique thermique (Modèle testo 6440 comp. chap. 2.13), il est possible de distinguer les deux méthodes fondamentales du principe de température constante et du flux constant. Avec le principe du flux constant, l'élément de chauffe est chauffé par un flux électrique constant et le changement de résistance est utilisé comme mesure pour la vitesse du flux. Avec le principe de la température constante également utilisé avec le testo 6440, la quantité de chaleur dégagée par l'élément chauffant est compensée en procédant à un réglage correspondant du flux électrique. Le flux de réglage est ainsi proportionnel au flux massique pour maintenir la surtempérature du capteur constante (7 K au-dessus de la température du process), elle constitue ainsi une mesure pour le flux volumique. Comme il n'est pas possible de se baser sur une température constante du gaz de mesure, un deuxième capteur sert à mesurer la température du gaz. Ce capteur de température dispose par exemple d'une résistance 100 fois supérieure à l'élément chauffant. Les deux capteurs sont intégrés dans un pont de Wheatstone d'où il résulte un élément élevé en Ohm ainsi qu'un élément faible en Ohm. Le flux d'alimentation passe alors principalement par l'élément de chauffe. Le régulateur sert encore une fois à conserver une différence de température constante entre l'élément de chauffe et le gaz de mesure même avec des températures de gaz variables.

#### 2.14.2 Conversion du débit massique en flux volumique normalisé

Pour les utilisateurs d'air comprimé, le flux volumique normalisé constitue la mesure de débit la plus importante. Celle-ci ne se base pas sur les conditions environnementales ponctuelles, mais sur des conditions fixes définies par DIN ISO 2533 soit 15 °C, 1013 hPa et 0 % Hr. Le testo 6440 divise la valeur du flux massique par la densité normalisée pour l'air comprimée, qui en règle générale est de 1,225 kg/Nm<sup>3</sup> selon DIN ISO 2533. Le résultat constitue la valeur du flux volumique normalisé dépendant de la température et de la pression (comp. Schéma). En comparant les données de mesure avec d'autres systèmes de mesure, il faut veiller à se référer aux mêmes conditions normatives ; sinon il est nécessaire de procéder à une conversion (comp. Chapitre 1.14.3).



## 2.14 Principes physiques

### 2.14.3 Conversion en d'autres normes

Comme présenté au chapitre 2.14.2, les calculs du testo 6440 se basent sur la norme DIN ISO 25553. La conversion du flux volumique calculé selon cette norme en flux volumiques, qui sont basés sur d'autres normes, est réalisée selon le schéma suivant :

La grandeur de sortie servant au calcul du flux volumique est représentée par le flux massique, qui est indépendant de l'état thermodynamique du gaz. Le flux volumique existant résulte de la division du flux massique par la densité volumique normalisée. C'est ainsi que se produit la conversion entre flux volumiques par le rapport inverse de la densité.

Pour la conversion dans une norme différente, nous obtenons l'égalité suivante utilisant l'équivalence des gaz de Gay-Lussac ( $\frac{p \cdot V}{T} = \text{const.}$ ) :

$$\frac{p_N \cdot V_N}{T_N} = \frac{p_A \cdot V_A}{T_A}$$

$$\rightarrow I\&_A = I\&_N \cdot \frac{p_N}{p_A} \cdot \frac{T_A}{T_N}$$

$I\&_N$  : flux volumique normalisé cf. DIN ISO 2533

$I\&_A$  : flux volumique normalisé selon autre norme

$p_N$ : pression normalisée selon DIN 2533

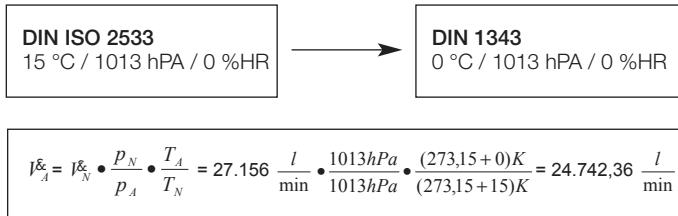
$p_A$ : pression normalisée selon autre norme

$T_N$ : température normalisée selon DIN ISO 233 en [K]

$T_A$ : température normalisée selon autre norme [K]

#### Exemple :

Conversion du flux volumique normalisé (27.156  $\frac{l}{min}$ ) selon DIN ISO 2533 dans le flux volumique normalisé selon DIN 1343



### 2.14.4 Conversion en un point de travail

Conformément à la conversion de la valeur mesurée affichée dans d'autres normes, la conversion est basée sur un point de travail décalé par rapport à la norme DIN ISO 2533. Le même calcul de correction est réalisé :

$$\rightarrow I\&_P = I\&_N \cdot \frac{p_N}{p_P} \cdot \frac{T_P}{T_N}$$

$I\&_N$  : flux volumique normalisé cf. DIN ISO 2533

$I\&_P$  : flux volumique normalisé selon autre norme

$p_N$ : pression normalisée selon DIN 2533

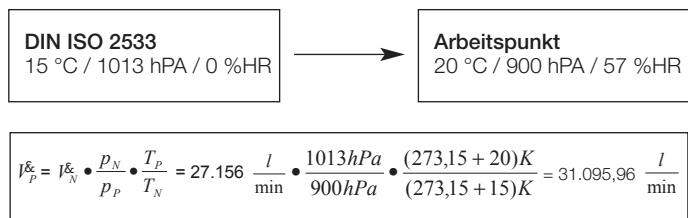
$p_P$ : pression normalisée selon autre norme

$T_N$ : température normalisée selon DIN ISO 233 en [K]

$T_P$ : température normalisée selon autre norme [K]

#### Exemple:

Conversion du flux volumique normalisé (27.156  $\frac{l}{min}$ ) selon DIN ISO 2533 dans le flux volumique au point de travail



### 2.14.5 Conversion pour d'autres gaz

Le testo 6440 est conçu pour la mesure de flux volumique selon le principe calorimétrique dans l'air comprimé. Le testo 6440 divise la valeur du flux massique par la densité normalisée de l'air comprimé (comme représenté au chapitre 1.14), qui est généralement de 1,225 kg/Nm<sup>3</sup>. Le testo 6440 est toutefois aussi utilisable dans l'azote, le dioxyde de carbone, le néon, l'argon, le krypton et le xénon. Il est alors nécessaire de procéder à un calcul de correction par rapport à l'air comprimé avec les valeurs de correction suivantes, en tenant compte du fait que ces valeurs sont basées sur une concentration respective des gaz de 100%.

N <sub>2</sub>	→	1,015
CO <sub>2</sub>	→	0,89
Ar	→	1,46

Ces valeurs sont valables pour 25°C; de bonnes précisions ont été relevées pour des flux volumiques proches de 30 Nm<sup>3</sup>/h.



Attention : pour des mesures plus exactes il est nécessaire de procéder à un étalonnage au gaz réel. Prenez contact avec nous.

Les calculs de correction nécessaires, qui peuvent par exemple être intégrés dans la SP (Commande) sont les suivants :

$$I\&_{gaz mesuré} = I\&_{valeur affichée} • K_{gaz mesuré}$$

$I\&_{gaz mesuré}$  : Flux volumique du gaz mesuré

$I\&_{valeur affichée}$  : Flux volumique affiché du testo 6440 basé sur l'air comprimé

$K_{gaz mesuré}$  : Facteur de correction pour le gaz mesuré correspondant

#### Exemple:

Gaz mesuré N<sub>2</sub>, flux volumique affiché 30 Nm<sup>3</sup>/h

$$\rightarrow I\&_{CO2} = I\&_{valeur affichée} • K_{gaz mesuré} = 30 Nm<sup>3</sup>/h • 1,015 = 30,45 Nm<sup>3</sup>/h$$

## 2.14 Principes physiques

### 2.14.6 Conversion pour des grandeurs de flux volumique

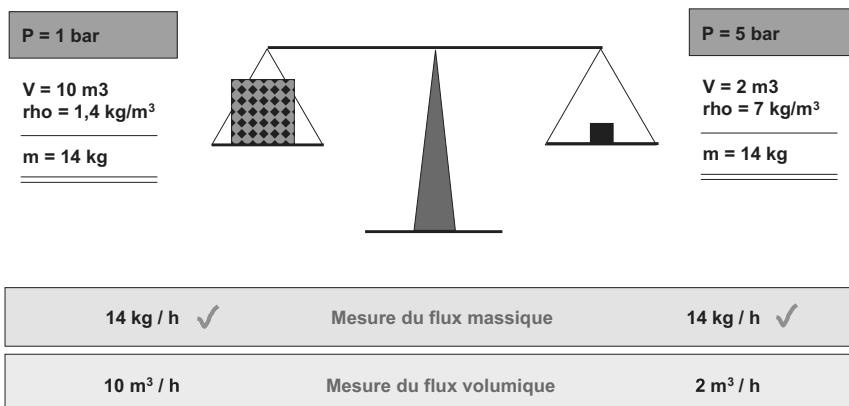
Pour afficher le flux volumique, le testo 6440 permet de choisir entre les unités Nm<sup>3</sup>/h et NL/mn. Une conversion dans d'autres unités (sur un afficheur externe testo 54 ou un PLC) peut être entreprise selon la matrice grandeurs volumiques/grandeurs de flux:

	Litre par seconde (l/s)	Litre par minute (l/min)	Litre par heure (l/h)	Mètre cube par seconde (m <sup>3</sup> /s)	Mètre cube par minute (m <sup>3</sup> /min)	Mètre cube par heure (m <sup>3</sup> /h)
I/s	1	60	3600	0,001	0,06	3,6
I/min	0,0167	1	60	0,0000167	0,001	0,06
I/h	0,000278	0,0167	1	2,78 E-07	0,0000167	0,001
m <sup>3</sup> /s	1000	60000	3,60 E+06	1	60	3600
m <sup>3</sup> /min	16,667	1000	6000	0,0167	1	60
m <sup>3</sup> /h	0,278	16,6667	1000	0,000278	0,0167	1
Ft <sup>3</sup> /s	28,317	1699,011	101940,65	0,0283	1,699	101,941
Ft <sup>3</sup> /min	0,472	28,317	1699,011	0,000472	0,0283	1,699
Ft <sup>3</sup> /h	0,00787	0,472	28,317	7,87 E-06	0,000472	0,0283
US gal/min	0,0631	3,785	227,125	0,0000631	0,00379	0,227
US gal/h	0,00105	0,0631	3,785	1,05 E-06	0,0000631	0,00379
UK gal/min	0,0758	4,546	272,765	0,0000758	0,00455	0,273
UK gal/h	0,00126	0,0758	4,546	1,26 E-06	0,0000758	0,00455

### 2.14.7 Dépendance des mesures de flux massiques par rapport à la température ou à la pression

Comme la mesure de flux volumique dans les gaz dépend de la densité et donc également de la pression et de la température, le testo 6440 privilie-  
gie la mesure de flux massique, car le flux massique est constant dans un système clos.

Le schéma ci-dessous présente la relation entre le flux volumique et la pression et met encore une fois en évidence l'avantage de déterminer le flux massique par rapport à la mesure du flux volumique avec des condi-  
tions de pression variables.



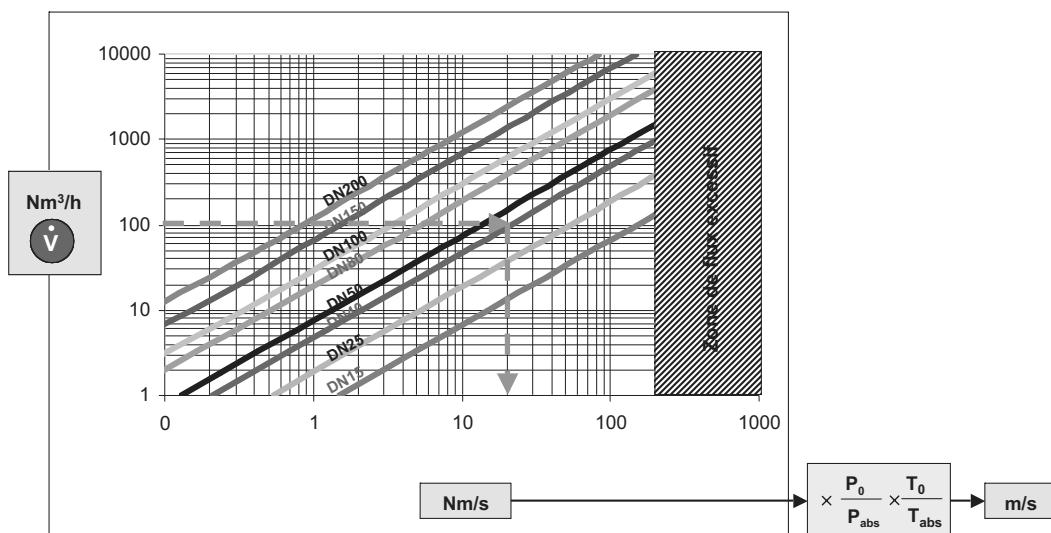
— Seule la mesure du flux massique fournit une valeur correcte,  
dès lors qu'il est soumis à une pression

Du fait de la compensation de la différence de température entre l'élément chauffant et le gaz mesuré, ainsi qu'une compensation en température appropriée permet d'éviter que la température ait une influence sur le résultat de mesure. La valeur mesurée peut alors être utilisée de manière optimale sur toute l'étendue de température du process.

## 2.14 Principes physiques

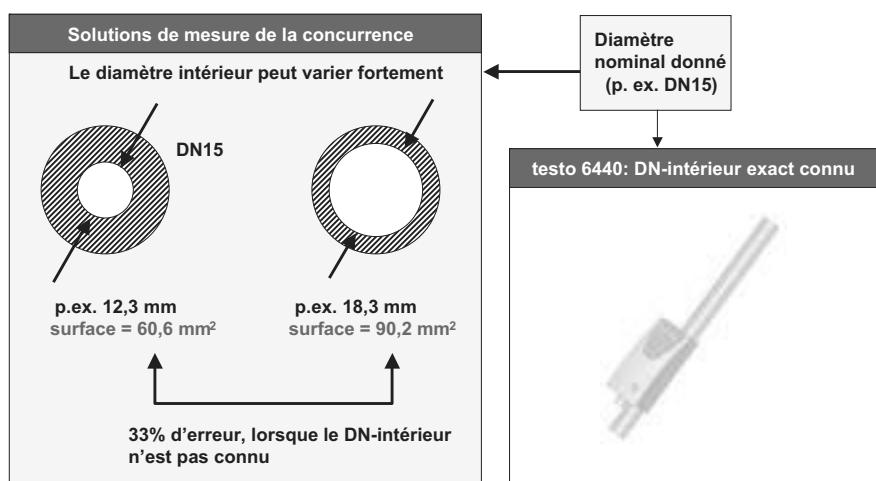
### 2.14.8 Relation entre flux volumétrique normalisé et courant

Le flux volumique normalisé dépend de la section du tuyau et de la vitesse du flux. Avec un diamètre de tuyau connu, il est alors possible de déterminer le flux normalisé à partir du flux volumique normalisé ainsi que le flux réel en tenant compte de la fonction de l'incidence de la pression (avec  $t=\text{constante}$ ). Ce constat est d'une grande utilité pour le dimensionnement des réseaux de tuyaux. Avec un flux volumique normalisé de par exemple 100 Nm<sup>3</sup> et un diamètre de tuyau DN 40, le flux normalisé est de 21 Nm/s. Selon le schéma suivant, il est alors encore possible d'utiliser un tuyau d'un diamètre DN 40. Avec une pression absolue de 8 bar, ceci correspond à un flux effectif de près de 2,6 m/s.



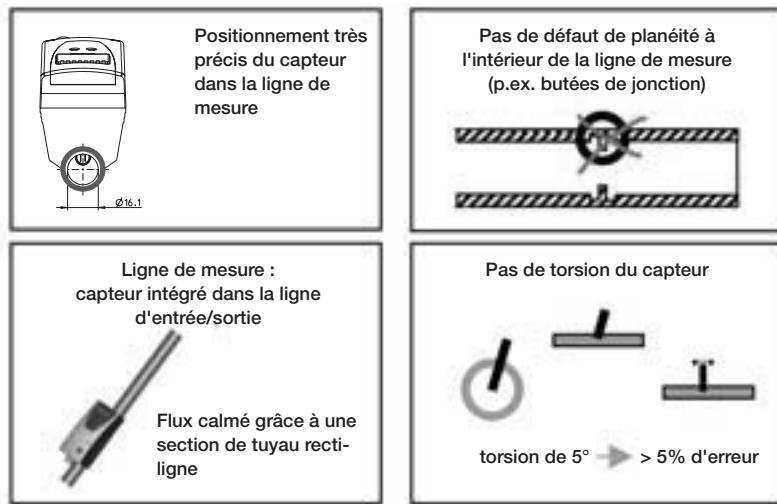
### 2.14.9 Influence de la section de mesure et de la position du capteur sur le résultat de la mesure

Notamment pour de petits diamètres de tuyaux, la connaissance précise du diamètre intérieur joue un rôle décisif pour obtenir une mesure exacte du flux volumique normalisé. Comme le montre le schéma ci-dessous, même les tuyaux normalisés peuvent varier d'une telle manière quant à leur diamètre intérieur, que des erreurs de 33% sont possibles du fait de ne pas connaître le diamètre intérieur respectif. C'est justement pour éliminer cette erreur que le testo 6440 dispose d'une ligne de mesure intégrée dont le diamètre intérieur est connu de manière exacte.



## 2.14 Principes physiques

De même que le diamètre intérieur, le positionnement exact du capteur dans la ligne de mesure, mais aussi la surface intérieure du tuyau contribuent à obtenir un profil de flux constant et ainsi des résultats de mesure les plus précis. Des torsions verticales de capteurs de 5 ° par exemple conduisent déjà à des erreurs de mesure de 5%, Les plus petits défauts de planéité, comme par exemple les butées de jonction, influencent les profils de flux et donc la précision de la mesure. Grâce à la ligne de mesure intégrée, il est possible d'exclure ce type d'erreurs avec le testo 6440 grâce à un positionnement toujours exact et identique du capteur dans le tuyau ainsi que d'une surface absolument plane de la ligne de mesure (comp. schéma suivant).



### 2.14.10 Section nominale de tubes et rendement type du compresseur

Diamètre de tuyau souhaité			Dimension réelle du tuyau (DIN 2440)		Adapté à un compresseur près de KW*
Dimension nominale [mm]	Dimension normalisée DN	Pouce	Intérieur [mm]	Section [cm²]	
25	25	1	26,0	5,31	10
40	40	1½	39,3	12,13	21
50	50	2	51,2	20,59	37
65	65	2½	70,3	38,82	72
80	80	3	82,5	53,46	100
100	100	4	100,8	79,80	151
125	125	5	125,0	122,70	234
150	150	6	150,0	176,70	339
200	200	8	206,5	334,90	652
300	300	12	309,7	753,30	1486
400	400	16	388,8	1187,30	2355

\* dans le cas où le tuyau = conduite principale

## 2.15 Service Après-vente

### 2.15 Service Après-vente

#### 2.15 Service Après-vente

Une humidité trop importante ne présente pas de problème pour le testo 6440, en fait cela affectera la précision jusqu'au séchage.

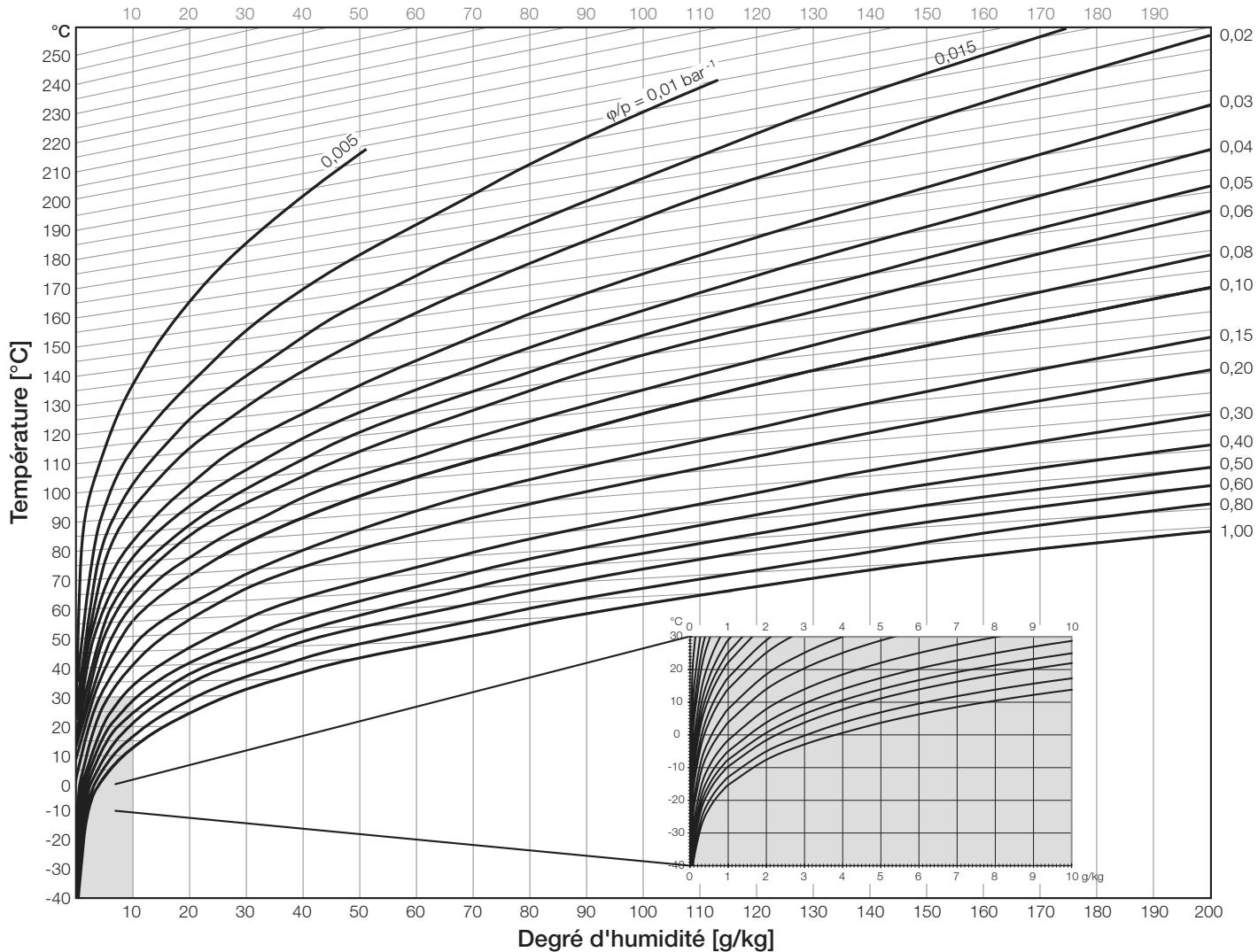
Un taux d'huile trop important peut par contre conduire à des dépôts.  
Pour le nettoyage, nous recommandons d'opérer de manière très prudente à l'aide d'une solution d'alcool. En cas de doute, l'appareil devrait être retourné pour nettoyage chez Testo à Lenzkirch.

Pour un service après-vente, les appareils testo 6441 et 6442 doivent être complètement démontés et expédiés.

Pour les appareils testo 6443 ou 6444, le capteur peut être démonté d'un appareil de rechange et monté sur la ligne de mesure existante afin d'éviter au client le démontage de la ligne de mesure.

## Diagramme de Mollier pour des systèmes soumis à une pression

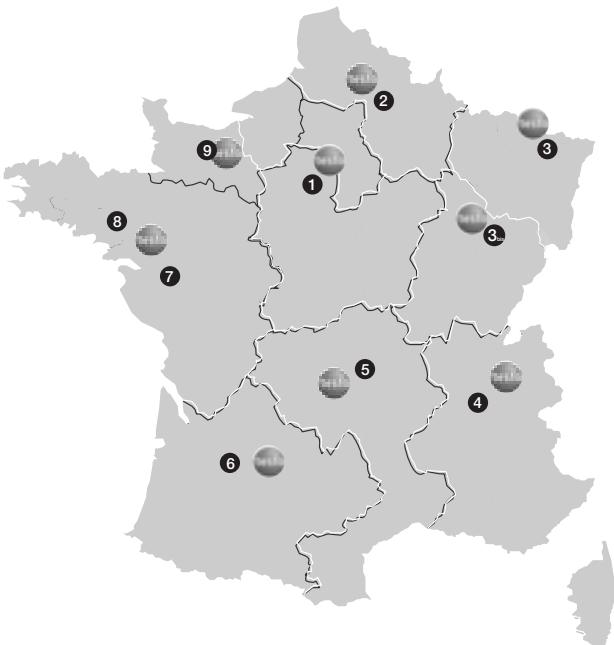
Vous pouvez utiliser ce diagramme pour vos calculs.  
Exemple cf. chap. 1.12.8





Vos correspondants sur le terrain

## Divisions



Légende :  
Division Industrie  
Division Thermique

Votre distributeur:

**Testo S.a.r.l.**  
Immeuble Testo  
19, rue des Maraîchers - BP 30100  
57602 FORBACH Cedex  
Tél.: 03 87 29 29 29 - Fax: 03 87 29 29 18  
E-mail: info@testo.fr - www.testo.fr

## Industrie

- 1 PARIS-ILE DE FRANCE**  
16, rue Emile Landrin 75020 PARIS  
Tél: 01 43 87 80 52  
Julien CARRE  
Dépts : 10-18-28-36-41-45-58-78-89-91  
Esau DO NASCIMENTO  
Dépts : 60-75-77-92-93-94-95
- 2 PARIS-NORD**  
26, rue du Camp Romain - Appt. 22  
59300 VALENCIENNES  
Tél: 03 27 27 15 98 - 03 87 90 47 02  
Emeric DEMEYERE  
Dépts : 02-08-51-59-62-80
- 3 EST**  
9, rue de Genière 54230 CHALIGNY  
Tél: 03 83 51 69 13 - Fax : 03 87 90 47 11  
René REINERT  
Dépts : 21-25-39-52-54-55-57-67-68-70-71-88-90
- 4 RHÔNE-ALPES**  
53, chemin des Terres Blanches  
73190 ST BALDOPH  
Fabienne LECOUTURIER  
Tél: 04 79 71 53 46 - Fax : 03 87 90 47 09  
Dépts : 01-04-05-06-07-13-20-26-38-69-73-74-83-84
- 5 CENTRE LIMOUSIN AUVERGNE**  
30, rue du Sancy 63370 LEMPDES  
Tél: 04 73 61 97 38 - Fax : 03 87 90 47 07  
Thierry DELPLANQUE  
Dépts : 03-11-15-19-23-30-34-42-43-48-63-66-87
- 6 AQUITAINE- MIDI PYRENEES**  
8, rue du Levant 33650 SAINT SELVE  
Tél: 05 56 78 47 55 - Fax : 03 87 90 47 00  
Bruno REYMOND  
Dépts : 09-12-24-31-32-33-40-46-47-64-65-81-82
- 7 BRETAGNE/LOIRE ATLANTIQUE  
POITOU CHARENTES**  
13, rue Bayard  
56100 LORIENT  
Tél: 02 97 83 99 32 - Fax : 03 87 90 47 01  
Fabrice BERNARD  
Dépts : 22-29-35-44-49-56-85
- 8 BRETAGNE/LOIRE ATLANTIQUE  
POITOU CHARENTES**  
10, rue Hébert 35400 SAINT-MALO  
Tél: 02 23 18 14 74 - Fax : 03 87 90 47 10  
Olivier SIMON  
Dépts : 16-17-37-53-72-79-86
- 9 NORMANDIE**  
5, rue P. Gilles de Gennes, P. A T.de la Vatine  
76130 MONT SAINT AIGNAN  
Sté CORAME  
Tél: 02 35 59 62 50 - Fax : 02 35 59 62 58  
Dépts : 14-27-50-61-76

## Thermique

- 1 PARIS-ILE DE FRANCE**  
16, rue Emile Landrin 75020 PARIS  
Tél: 01 43 87 80 52  
Patrick LELLOUCH Responsable d'Agence  
Julien CARRE  
Dépts : 10-18-28-36-41-45-58-78-89-91  
Philippe DESSEVRES  
Dépts : 27-60-75-76-77-92-93-94-95
- 2 PARIS-NORD**  
26, rue du Camp Romain - Appt. 22  
59300 VALENCIENNES  
Tél: 03 27 27 15 98 - 03 87 90 47 02  
Emeric DEMEYERE  
Dépts : 02-08-51-59-62-80
- 3 ALSACE-LORRAINE**  
19, rue des Maraîchers 57600 FORBACH  
Tél: 03 87 29 29 11 - Fax : 03 87 29 56 61  
Emmanuel CHLEBUS  
Dépts : 54-55-57-67-68-88-90
- 4 BOURGOGNE/FRANCHE COMTE**  
19, rue des Maraîchers 57600 FORBACH  
Tél: 03 87 29 29 11 - Fax : 03 87 29 56 61  
Emmanuel CHLEBUS  
Dépts : 21-25-39-52-70-71
- 5 RHÔNE-ALPES/PACA**  
53, chemin des Terres Blanches  
73190 ST BALDOPH  
Patrick LECOUTURIER  
Tél: 04 79 71 92 78 - Fax : 03 87 90 47 08  
Dépts : 01-04-05-06-07-13-20-26-38-69-73-74-83-84
- 6 CENTRE LIMOUSIN AUVERGNE**  
30, rue du Sancy 63370 LEMPDES  
Tél: 04 73 61 97 38 - Fax : 03 87 90 47 07  
Thierry DELPLANQUE  
Dépts : 03-11-15-19-23-30-34-42-43-48-63-66-87
- 7 AQUITAINE- MIDI PYRENEES**  
8, rue du Levant 33650 SAINT SELVE  
Tél: 05 56 78 47 55 - Fax : 03 87 90 47 00  
Bruno REYMOND  
Dépts : 09-12-24-31-32-33-40-46-47-64-65-81-82
- 8 BRETAGNE/LOIRE ATLANTIQUE  
POITOU CHARENTES**  
13, rue Bayard  
56100 LORIENT  
Tél: 02 97 83 99 32 - Fax : 03 87 90 47 01  
Fabrice BERNARD  
Dépts : 22-29-35-44-49-56-85
- 9 BRETAGNE/LOIRE ATLANTIQUE  
POITOU CHARENTES/BASSE NORMANDIE**  
10, rue Hébert 35400 SAINT-MALO  
Tél: 02 23 18 14 74 - Fax : 03 87 90 47 10  
Olivier SIMON  
Dépts : 14-16-17-37-50-53-61-72-79-86

Sous réserve de modifications sans préavis.

0982 7133/dk/Si/DD/08/2006