

# OIML G 10 (ex P 4)

Edition 1981 (F)

---

## Equipement d'un service national de métrologie Propositions du BIML

Verification equipment for national metrology services

---

OIML P 4 Edition 1981 (F)



ORGANISATION INTERNATIONALE  
DE MÉTROLOGIE LÉGALE

---

INTERNATIONAL ORGANIZATION  
OF LEGAL METROLOGY

15 septembre 1981

(réédition juillet 1989)

**EQUIPEMENT**  
**d'un SERVICE NATIONAL de METROLOGIE**

Propositions du BIML

Le BIML est fréquemment consulté pour fournir des informations concernant les instruments d'étalonnage convenant aux pays qui s'équipent en nouveau matériel.

Une liste d'équipement écrite par le BIML en 1968 a généralement été fournie en réponse à ces démarches. Cette liste était cependant limitée dans son étendue et avait de plus besoin d'être rajeunie.

Les propositions jointes comportent des descriptions de matériel qui couvrent la plupart des domaines d'activités des Services de métrologie et sont présentées de façon à permettre une sélection et une modification des spécifications selon les besoins individuels qui, eux, ne peuvent être appréciés que par les services de métrologie eux-mêmes.

Pour chaque catégorie de matériel nous avons dans la plupart des cas joint à la fin de chaque liste un schéma synoptique qui permet d'avoir une vue d'ensemble des instruments décrits et leur utilisation.

Les schémas quelque peu élaborés de l'équipement pour les mesurages dimensionnels et pour les mesurages électriques ont, en particulier, été divisés de façon à permettre un choix progressif selon l'évolution technologique des services.

S.A. THULIN

Note : Une autre brochure en langue anglaise sur le même sujet a été élaborée ultérieurement par le secrétariat-rapporteur SP 25-Sr 3, sous la responsabilité de l'URSS, en collaboration avec le BIML et adoptée par le Conseil de Développement de l'OIML : "Verification Equipment of National Metrology Services", March 1986. Les propositions formulées dans les deux brochures sont essentiellement les mêmes.

## Sommaire

<i>Avant-propos</i> .....	2
Mesurage de masse .....	5
Mesurage de capacité de liquides.....	10
Mesurage de dimensions géométriques .....	16
laboratoire de référence.....	17
laboratoire de vérification .....	19
Etalonnage de compteurs d'eau et de gaz .....	25
Etalonnage des aréomètres.....	26
Mesurage de l'humidité.....	28
Mesurage de forces .....	30
Mesurage de la dureté .....	35
Mesurage de pressions .....	36
Mesurage de températures .....	41
Mesurages électriques.....	48
laboratoire local .....	50
laboratoire central .....	53
Mesurage de fréquence et du temps.....	68
Photométrie .....	70

## MESURAGE DE MASSE

Ref

BIML

Description

Masses étalons

M1 Un étalon national de 1 kg en acier inoxydable non-magnétique, précision d'ajustage  $\pm 1$  mg en utilisant la valeur conventionnelle de masse volumique de  $800 \text{ kg/m}^3$ .

La forme et l'état de surface doivent permettre l'étalonnage par le BIPM.

M 2 Une série primaire de masses étalons en acier inoxydable massif

non-magnétique conforme à OIML RI 20 classe E<sub>2</sub> de 1 mg à 2 x 10 kg en série de 1, 1\*, 2, 2\*, 5, 10, 10\*, etc...

Ecrins séparés pour masses de 1 mg à 100 g, 100\* g à 5 kg et 2 x 10 kg.

Marques apportées par léger dépolissage(à définir). Certificats d'étalonnage.

M 3 Séries secondaires de masses étalons en acier inoxydable. Mêmes spécifications

que pour le poste M 2 mais à marquer différemment par des rainures très peu profondes.

Certificats d'étalonnage.

Quantité : 1 (ou plus).

### Masses de référence pour vérifications

(matériel à l'usage à poste fixe ou embarqué sur camionnette)

M 4 Séries de masses de vérification de balances analytiques (et pharmacie et joaillerie) de 10 mg à 100 g en acier inoxydable conforme à OIML RI 20 classe E<sub>2</sub>.

Quantité : selon besoins.

M5 Séries de masses selon OIML RI 20 classe F<sub>1</sub> (ou F<sub>2</sub>),

ajustables, non-magnétiques, surfaces protégées contre la corrosion, écrin résistant à l'usage mobile, composition des jeux selon besoins :

100 g à 2 x 2 kg (utilisation avec poste M4)

ou

10 mg à 2 x 2 kg (poids inférieur à 100 g : classe F<sub>1</sub>  
non ajustable)

Quantité : selon besoins.

M 6 Masses de vérification ajustables OIML RI 20 classe F<sub>1</sub> (ou F<sub>2</sub>) (ou non-magnétiques, surfaces protégées contre la corrosion. Poids comportant une poignée. Jeu composé de 5 et 2 x 10 kg

Quantité : selon besoins.

M 7 Série de 50 poids parallélépipédiques en fonte de 10 kg (ou de 20 kg), exécution générale selon OIML RI 2 convenablement protégés contre la corrosion (peinture métal ou epoxy) facilement ajustables par vis de fermeture de la cavité.

Quantité : selon besoins.

Eventuellement :

M 8 Séries de poids spéciaux d'essai et de vérification de balances à indication automatique (type mécanique ou électronique) comme alternative au poste M5.

Quantité : selon besoins.

Note : - En France les vérificateurs ambulants utilisent par exemple une pochette contenant des poids en acier inoxydable de la série 5- 5 -5 -5 -50 -50 - 100 - 100 - 100 - 100 - 500 g

- Aux Etats Unis on utilise souvent pour des vérifications mobiles des poids parallélépipédiques de 100 g à 1 kg, les boites pouvant comporter par exemple 14 x 1 kg.

M 9 Masses de vérification de ponts bascules à forte portée selon OIML RI 47. Masse : 500 (ou 1000) kg.

Quantité : selon besoins.

Note : Depuis la publication de la RI 47, on utilise également

plusieurs types de masses parallélépipédiques convenant à la manipulation par élévateurs à fourche.

## Balances d'étalonnage

(Ces balances sont destinées à la comparaison  
des poids étalons et des masses de vérification)

- M 10 Balance d'étalonnage  
Capacité : 20 (ou 25) kg, minimum 10 kg  
Répétabilité  $s = 5 \text{ mg}$
- Pour la construction du type à bras égaux, une division de l'échelle doit être égale ou inférieure à 15 mg et permettre des lectures par interpolation à 3 mg. L'égalité des bras doit alors être ajustée à mieux que  $1.10^{-5}$ .
- M 11 Balance d'étalonnage  
Capacité : 2 kg (de préférence) à minimum 1 kg (Capacité totale avec tare 2001 respectivement 1001 g) Répétabilité  $s = 0,1 \text{ mg}$
- En cas d'exécution du type uniplateau et à charge constante, le micromètre d'interpolation doit permettre des lectures à 0,1 mg.
  - En cas d'exécution du type à bras égaux, une division de l'échelle doit être égale ou inférieure à 1 mg et permettre des lectures par interpolation à 0,1 mg. L'égalité des bras doit alors être ajustée à mieux que  $1.10^{-5}$ .
- M 12 Balance d'étalonnage du type analytique  
Capacité totale (avec tare) : 200,1 g (de préférence) à minimum 100,1 g  
Répétabilité  $s = 0,01 \text{ mg}$
- En cas d'exécution du type uniplateau et à charge constante, le micromètre d'interpolation doit permettre des lectures à 0,01 mg.
  - En cas d'exécution du type à bras égaux, une division de l'échelle doit être égale ou inférieure à 0,1 mg et permettre des lectures par interpolation à 0,01 mg. L'égalité des bras doit alors être ajustée à mieux que  $1.10^{-5}$ .
- M 13 Balance d'étalonnage du type microbalance analytique Capacité totale : minimum 20,02 g  
Répétabilité  $s = 0,001 \text{ mg}$ .
- Exécution avec poids d'équilibrage incorporés et projection optique, lecture par interpolation (ou directe) possible à 0,001 mg. La balance doit être munie de dispositif de chargement de l'extérieur de façon à éviter des perturbations thermiques de la balance.
- M 14 Balance à forte portée permettant l'étalonnage de masses étalons de 500 ou 1000 kg par substitution (ou équilibrage) à 50 poids de 10 kg (ou 20 kg). Sensibilité limite et répétabilité  $s = 10 \text{ g}$ .
- Cette balance peut être du type à bras égaux ou du type décimal et avec commutation des poids. Dans le dernier cas on utilise la méthode de substitutions successives pour l'étalonnage. Le plateau de chargement doit être suffisamment dimensionné pour les masses à comparer, par exemple, minimum de 1000 x 1000 mm.
- (Cette balance peut également servir à comparer des étalons de capacité de liquide de 50 à 200 L).

### Balances de vérification à installation fixe

(Ces balances sont destinées à la vérification de poids d'usage courant à l'exclusion des poids de balances analytiques ou de métaux précieux qui sont comparés sur les balances d'étalonnage ou équivalentes)

Balances de conception commode pour la vérification ou l'ajustage rapide des poids par comparaison à des masses de vérification :

	Capacité minimum	Lecture aisée et répétabilité
M 15	20 kg	100 mg
M 16	2 kg	10 mg
M 17	200 g	1 mg

Quantité : selon besoins.

Note : On utilise selon le lieu d'utilisation (laboratoire ou atelier) : soit des balances à bras égaux, type trébuchet à pédale, soit des balances à un plateau électroniques de conception robuste.

### Eventuellement:

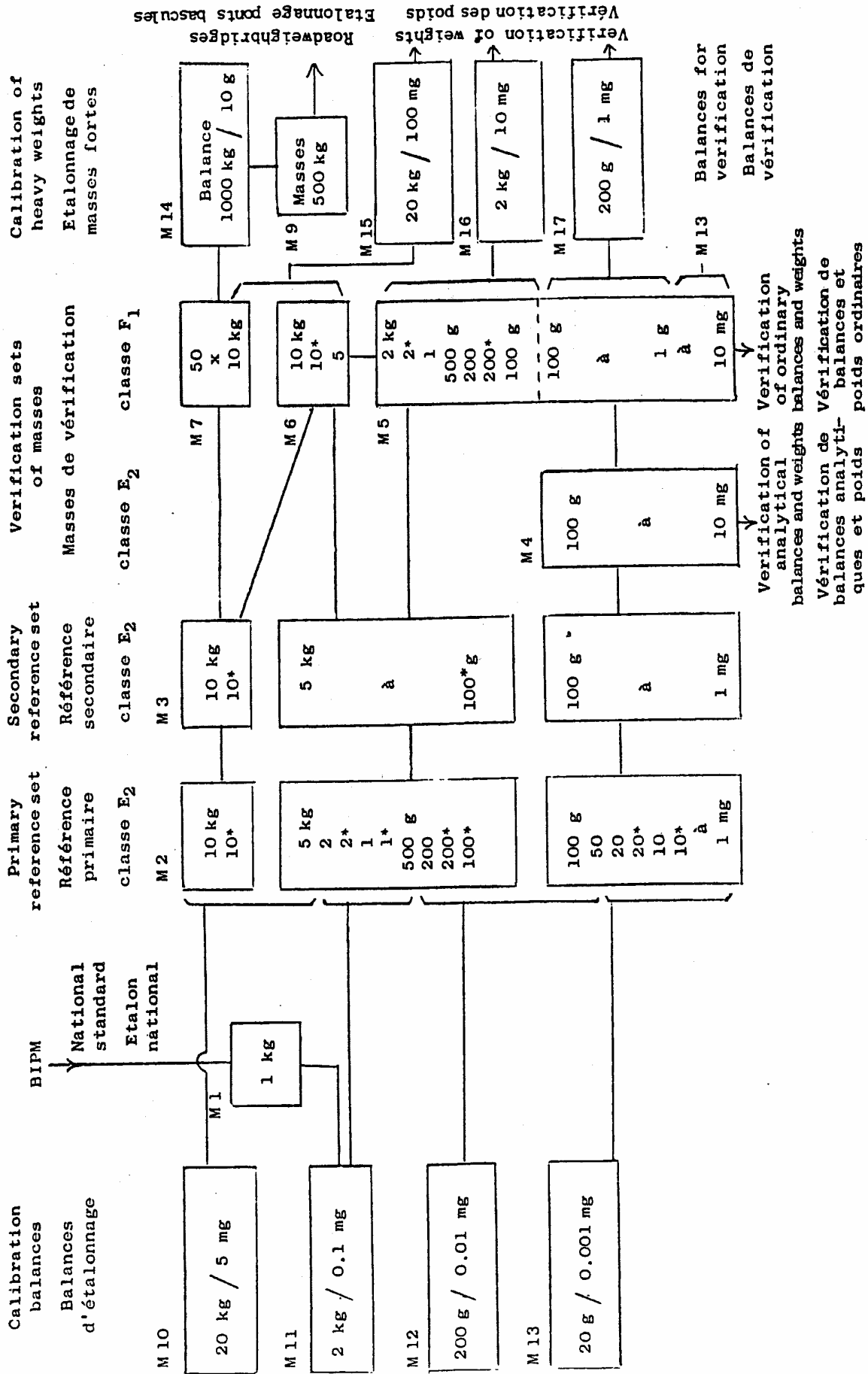
#### Balances de vérification transportables

Note : Les poids de précision de classe meilleure que OIML Mg

ne peuvent souvent être vérifiés qu'en laboratoire ou éventuellement par substitution sur une balance suffisamment sensible installée chez l'utilisateur. Occasionnellement on utilise pour la vérification périodique des poids d'usage ordinaire, des balances facilement transportables ou embarquées sur camionnette, dans ce cas il faut prévoir les balances suivantes :

	Capacité	Lecture aisée et répétabilité	Remarque
M 18	20 kg	1000 mg	Usage peu courant
M 19	5 (ou 2) kg	100 mg	
M 20	200 g	10 mg	
M 21	20g	2 mg	Modèle courant pour joaillerie

Ces balances peuvent être soit du type fléau (à bras égaux ou non), démontables et livrées en écrin de transport, soit électroniques de construction spécialement robuste pour usage en camionnette (alors protégées des chaleurs extrêmes et nécessitant une alimentation sur batterie).



SYNOPTIC DIAGRAM OF THE EQUIPMENT FOR THE VERIFICATION OF WEIGHTS AND BALANCES  
SCHEMA SYNOPTIQUE DE L'EQUIPEMENT POUR LA VERIFICATION DES POIDS ET BALANCES



## MESURAGE DE CAPACITES DE LIQUIDES

L'étalonnage primaire pour la grandeur capacité de liquides peut jusqu'à 100 L s'effectuer par pesée en utilisant les balances référencées M 14 à M 17 de la liste "Mesurage de masse". Ces étalonnages sont particulièrement commodes si ces balances sont du type uniplateau, électroniques ou non. On utilise alors de l'eau distillée ou déminéralisée dont la masse volumique en fonction de la température est indiquée dans, par exemple, les tables alcoométriques de l'OIML (pour pourcentage d'alcool = 0). (On doit multiplier le volume ainsi calculé par 1,00105 pour tenir compte de la différence de poussée de l'air). Cet étalonnage permet de déterminer soit la quantité "délivrée", soit la quantité "contenue" selon que les parois de l'étalon ont été mouillées préalablement ou non. En pratique la quantité "délivrée" (parois mouillées) est la plus employée mais dépend bien entendu des propriétés du liquide et du temps de drainage entre mesures. L'équipement du service dépend par conséquent des nécessités pratiques aussi bien en ce qui concerne les types d'étalons, leur capacité que leur nombre.

### Etalons de référence

- V 1 Une série de capacités en verre, type fiole à col gradué, en général selon OIML RI 43, ajustage à 20 °C en capacité délivrée, série de 0,1 - 0,2 - 0,5 - 1-2 -5 - 10 L.
- V2 Une jauge étalon en acier inoxydable poli<sup>(\*)</sup> de 100 L, corps cylindro-conique avec col de remplissage à créneaux de débordement et robinet de vidange, montage avec interposition d'amortisseurs caoutchouc sur un trépied en tube d'acier enveloppant le corps et avec pieds et vis réglables de calage, équipée d'un niveau à bulle. Ajustage à 20 °C en capacité délivrée (parois mouillées), fourni avec certificat d'un Service National de Métrologie.

---

<sup>(\*)</sup>si disponible : avec parois internes recouvertes d'une couche de téflon afin de réduire l'effet du mouillage.

### Eventuellement :

seulement au cas où un grand nombre d'étalons de vérification ou autres mesures matérialisées doivent régulièrement être vérifiés au laboratoire central :

- V 3 Installation comportant des burettes automatiques en verre à débordement avec robinetterie et alimentation par réservoir (min. 100 L) en eau déminéralisée (et stérilisée) comportant des vases de mesure ajustés à 0,01 % (quantité délivrée), capacités : 1-2-5-10 L

(des capacités inférieures peuvent également être prévues dans cette installation jusqu'à par exemple 50 mL ainsi qu'une série de burettes graduées avec tube de remplissage selon OIML RI 41 pour la gamme de 10 à 100 mL). (L'installation doit être protégée de la lumière du jour).

### Mesures étalons de vérification

- V4 Série de pipettes en verre de 1 à 100 mL selon OIML RI 40 en écrin. Quantité : selon besoins, minimum 3 pour le laboratoire central.
- V5 Série de fioles à col gradué de 0,1 à 10 L selon OIML RI 43 en coffret de transport. Quantité : selon besoins, minimum 3 pour le laboratoire central, jeux de 0,1 à 2 L pour les unités de vérification mobile.
- V6 Série de jauges en acier inoxydable, forme bouteille avec fenêtre ou tube gradué, capacités : 5 - 10 - 20 L. L'étendue de la graduation doit être au minimum de  $\pm 1$  %. Quantité : selon besoins, minimum 2 pour le laboratoire central, plus une série par unité de vérification mobile.
- V7 Jauge en acier inoxydable (ou acier galvanisé) à créneaux de débordement, robinet de vidange, trépied enveloppant en tubes d'acier équipé de vis calantes.

Capacité 100 L (et si nécessaire 50 et 200 L)

Quantité : minimum une pour le laboratoire central et une par bureau local selon besoins (ce type de jauge à créneaux est généralement facile à construire localement).

- V8 Jauge en acier inoxydable similaire à V7 mais avec fenêtre ou tube gradué, étendue de mesure de  $\pm 1$  % au minimum. Capacité 100 L

Quantité : minimum une pour le laboratoire central et une par bureau local selon besoins.

Note : Cette jauge peut également être du type combinée à créneaux de débordement et fenêtre de visée sur toute l'étendue de la capacité (étalon fractionné).

- V9 Jauge en acier inoxydable (ou éventuellement acier galvanisé), forme cylindro-conique, à fenêtre ou tube gradué, d'étendue minimum  $\pm 1\%$ , équipée de robinet et tuyauterie de vidange, protégée contre chocs et montée sur bâti mobile tractable par automobile. Capacité 1000 L

(Étalonnage par déversement utilisant l'étalon de 100 L du poste V2)

Quantité : une pour le laboratoire central, éventuellement d'autres pour les bureaux locaux selon besoins (étalonnage d'installations de vérification de compteurs, réservoirs etc..)

- V 10 Jaugeages des bacs-citernes, camions et wagons-citernes, péniches-citernes, bateaux-citernes

Appareillage de mesure des dimensions (un équipement par Agent chargé des jaugeages)

1 mesure de 20 m en ruban d'acier inoxydable, sur enrouleur

1 mesure de 50 m " "

1 mesure de 100 m " "

2 rubans en blanc non gradués, en acier inoxydable d'environ 200 m

4 ressorts de tension des rubans

3 perches télescopiques de déplacement des rubans

1 règle de 3 mètres, graduée, pliante

1 mesure à coulisse de 3 mètres

1 double-mètre pliant

1 double-mètre souple

1 pied en T de mesure du niveau d'eau

1 mesure de 20 m en ruban d'acier inoxydable avec plomb de sondage, sur enrouleur à poignée  
fils à plomb, cordeaux, équerres, etc.

- V11 Pour déterminer les volumes des fonds des bacs ou des parties difficiles à mesurer :

une citerne étalonnée par le service et transportée par camion, avec barème des hauteurs de liquide, de capacité totale environ 10 000 litres.

- V 12 Pour les jaugeages en série des citernes de camions ou wagons (dans le cas d'un nombre important de véhicules) :

un poste de jaugeage monté à demeure sur un bâti en construction métallique, avec passerelle et abri du contrôleur, comprenant :

2 jauges métalliques à déversement de 1000 litres, à remplissages et vidanges alternés

1 jauge graduée de 200 litres

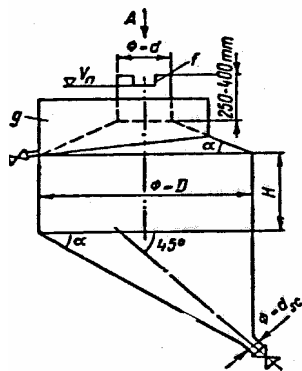
une adduction d'eau sous pression

une vidange de grande capacité

montage sur une aire plane où peuvent accéder les camions ou wagons à étalonner.

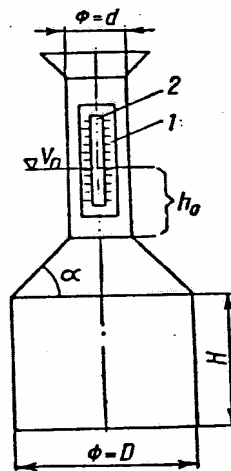
Mesurages de capacité de liquides

Exemples de types d'exécution d'étalons en métal



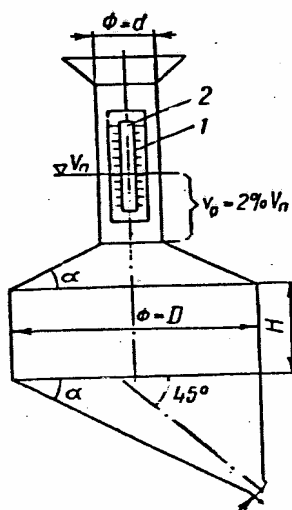
100 L

Fig. V2 et V7



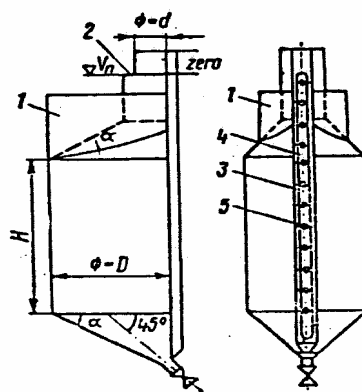
5 à 20 L

Fig. V6



100 L

Fig. V8



100 L

Fig. V8 (éventuellement)

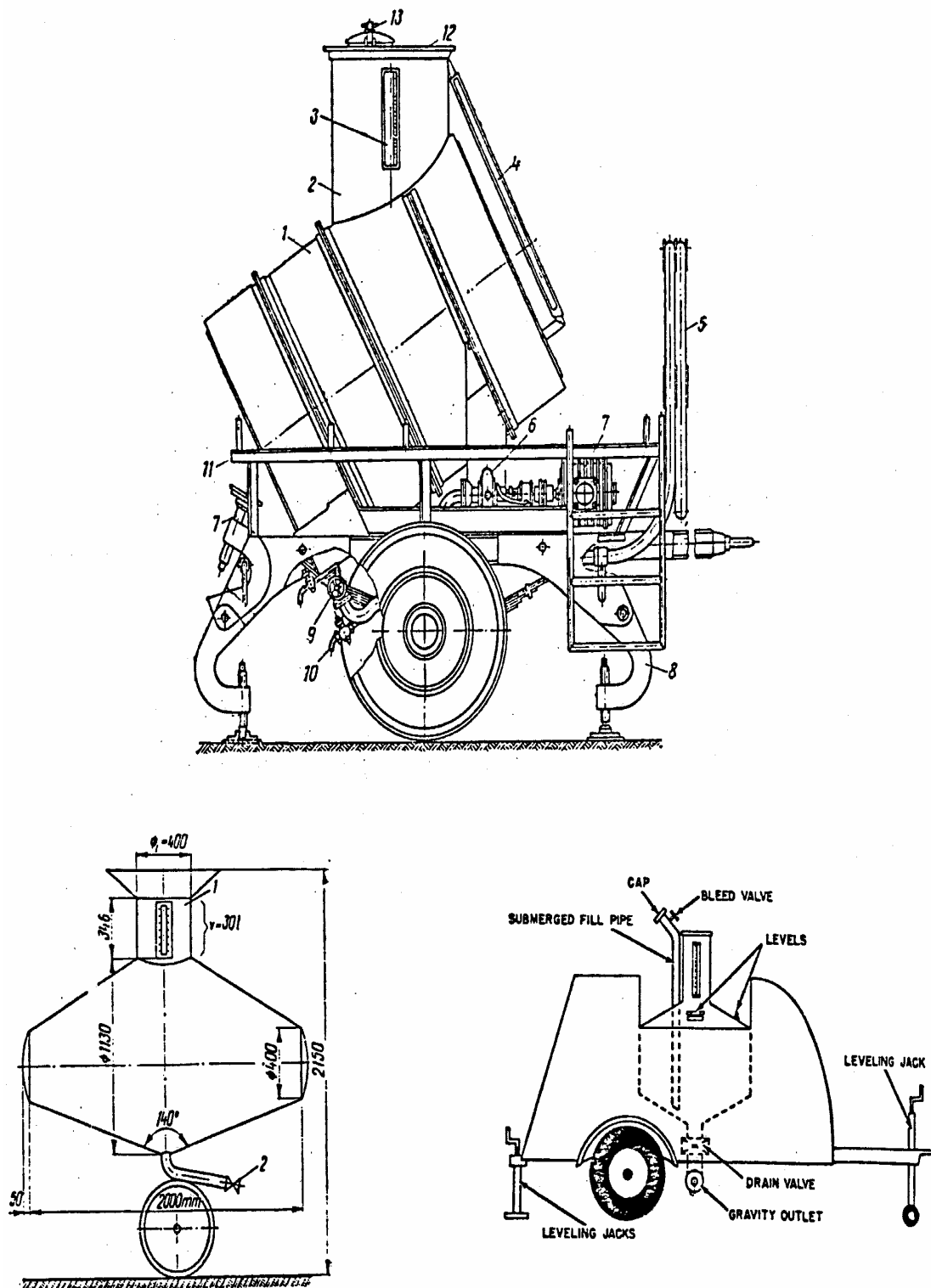


Fig. V 9

Exemples de jauges tractables  
de forte capacité (1000 L).

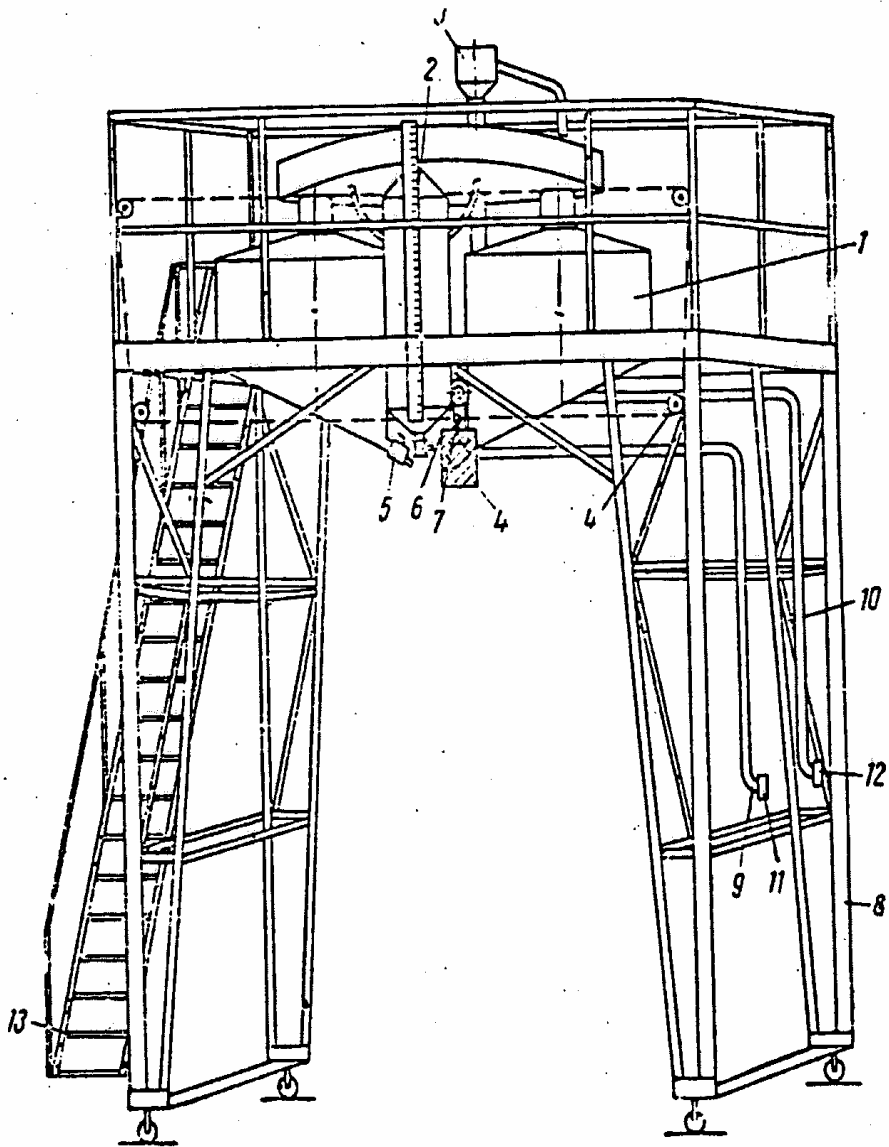


Fig. V 12

Exemple d'installation pour la vérification (en série)  
de camions- ou wagons-citernes.

## MESURAGE DE DIMENSIONS GEOMETRIQUES

Le matériel nécessaire pour la vérification de mesures de longueur pour le commerce ne nécessite pas de matériel de très haute précision : il suffit alors en général de disposer comme étalons des mètres ou double mètres rigides (tracés sur la face inférieure pour faciliter la comparaison), exactitude de toutes les divisions à 20 °C :  $\pm 0,05$  mm et de quelques rubans étalons en acier inoxydable de 20 m tracés de la même façon et fournis avec un certificat d'étalonnage au  $\pm 0,1$  mm établi par un laboratoire national de métrologie.

Nous considérons cependant ci-dessous que le service de métrologie sera également chargé de la vérification des instruments utilisés dans l'industrie y compris l'industrie de précision. Nous avons dans ce but divisé la présentation du matériel nécessaire en deux catégories :

- 1) Laboratoire de référence de mesurages dimensionnels comportant des étalons et appareillages destinés à vérifier des calibres étalons et instruments de référence (stabilité de la température  $\pm 0,3$  °C).
- 11) Laboratoire de vérification dimensionnelle d'instruments usuels et d'objets manufacturés (stabilité de la température  $\pm 1$  °C).

On doit souligner que du point de vue priorités un service de métrologie peut très bien commencer à s'équiper soit simplement comme cela a été indiqué tout au début soit selon le schéma II en laissant l'équipement du schéma I pour l'avenir. S'il s'agit de construire des nouveaux laboratoires on doit cependant tenir compte dès le début des exigences que pose la climatisation d'un laboratoire type 1. Ces points de vue sont développés dans un article récent traitant le même sujet :

Campion, P.J - The measurement of length starting from square one •

Bulletin N° 78, Mars 1980.

### Bibliographie

Les instruments énumérés dans les listes et leur utilisation sont décrits en détail dans un nombre d'ouvrages dont malheureusement beaucoup ne sont plus disponibles en librairie. Nous pouvons cependant ici indiquer les livres suivants :

Gerling H. - Techniques de contrôle dimensionnel dans l'usinage

(traduit du livre allemand "Längemesstechnik"), Eyrolles, Paris, 1979.

Thomas, Geoffrey G. - Engineering Metrology, Butterworths, London, 1974

## I. Laboratoire de référence de mesurages dimensionnels

Réf.

BIML Description

### Mesures d'étalons à bouts

- L1 Jeu de référence national de 111 (ou 121) calibres étalons à bouts plans de 1 mm à 100 mm en général selon OIML RI 30, classe AA, fourni avec certificat établi par un service national de métrologie pour les calibres de 10, 20, 25, 50, 75 et 100 mm.
- L2 Jeu de référence national de calibres à bouts plans comportant les calibres suivants : 200, 300, 400 et 500 mm de classe AA et 1000 mm de classe A fourni avec certificats établis par un service national de métrologie.
- L3 Jeu secondaire de calibres étalons de 1 mm à 100 mm classe A de composition similaire au point L1 mais comportant des marques ou numéros distinctifs sur chaque calibre (afin d'éviter des confusions avec le jeu L1).
- L4 Jeu de calibres étalons classe A composé des calibres suivants  
200, 300, 400, 500 et 1000 mm comportant chacun des marques distinctives.
- L5 Comparateur vertical de calibres étalons, capacité minimum 100 mm, à deux têtes palpeurs opposées du type inductif, permettant des lectures à 0,1  $\mu\text{m}$  (ou inférieur) comportant dispositifs de manipulation pour comparer le calibre mesuré en 5 points de la surface. Comportant également un thermomètre à mercure ou électrique, gamme 15 à 25 °C convenant à la mesure de température par contact, lectures et exactitude de 0,1 °C.
- L6 Dispositifs de vérification de l'état planéité des surfaces des calibres comportant :
- 1 (ou 2) plan optique en verre, diamètre 60 mm, planéité meilleure que 0,1 frange d'interférence avec certificat établi par un service national de métrologie.
  - 1 Lampe monochromatique avec alimentation pour l'observation aisée de franges.
- L7 Machine à mesurer horizontale du type universel permettant de comparer par substitution des calibres à bouts jusqu'à 1 m (ou alternativement jusqu'à 3 m) comprenant un palpeur à force ajustable et à indication électrique, sensibilité minimum 0,1  $\mu\text{m}$ . Cette machine est de préférence combinée avec une règle interne et des microscopes d'observation permettant son utilisation pour le mesurage des règles à traits de 1 m (ou 2m) avec une exactitude meilleure que + 5  $\mu\text{m}$ . (Des accessoires fournis avec la machine peuvent selon besoins permettre des mesures de diamètres externes et internes des anneaux, cylindres ou cônes de référence, diamètres des filetages etc...).



L8 Eventuellement en cas de besoin : interféromètre pour le contrôle de calibres étalons (jusqu'à 100 mm). Cet instrument qui permet aussi des mesures de planéité et de parallélisme n'est en général pas nécessaire pour des usages autres que scientifiques sauf si des calibres sont fabriqués dans le pays.

#### Mesurages d'étalons à traits

L9 Etalon de référence national à traits, longueur 1000 mm (ou exceptionnellement : 500 mm, si la règle est incorporée dans le chariot d'une machine à mesurer de capacité 1000 mm et comportant deux microscopes fixes dont la distance peut être ajustée à 500 mm à l'aide de la règle). Cette règle en forme de H, et exécutée en acier à 56 % de nickel (de même coefficient de dilatation que l'acier courant), doit être divisée en mm et étalonnée par le BIPM pour tous les cm. L'exactitude de cet étalonnage doit être de  $0,2/\mu\text{m}$ . Largeur des traits 5 à 8  $\mu\text{m}$ .

NOTE : Ce type de règle, si elle n'est pas incorporée dans une machine à mesurer (voir poste L 7), ne peut, à cause de sa construction, pratiquement être directement utilisé que pour la vérification des machines à mesurer de grandes dimensions.

L 10 Etalon de référence à traits pour vérification des petites machines à mesurer, machines outils de précision ou microscopes d'atelier, longueur 200 mm divisée en mm exécuté sous forme plate avec deux trous de fixation, de préférence en acier au nickel, (ou acier plaqué nickel pur) certifié à  $0,1 \mu\text{m}$  pour tous les cm par le BIPM.

L 11 Echelle en verre pour la vérification de microscopes de mesures comportant une division par dépôt métallique (ou par voie photographique) de 2 mm divisée en 0,1 mm. Exactitude de la division  $0,1 \mu\text{m}$ , largeur des traits 3 à 5  $\mu\text{m}$ .

L12 Eventuellement en cas de besoin pour vérification de pièces ou calibres spéciaux utilisés par l'industrie de précision : Machine à mesurer tridimensionnelle mouvement horizontal 400 mm, transversal 100 mm, vertical 150 mm, exactitude  $1 \mu\text{m}$ , comprenant tous les accessoires jugés utiles. Si des mesures doivent aussi être exécutées sur des ensembles usinés il convient d'augmenter les mouvements à 500 x 500 x 500 mm, exactitude  $2 \mu\text{m}$ .

NOTE : Beaucoup de ces mesurages peuvent déjà être exécutés avec la machine considérée au point L7 ou avec L22 (microscope d'atelier) si des accessoires sont commandés en conséquence.

L13 Trois rubans de mesure étalons en acier inoxydable, longueur totale 20 m divisés en cm avec tracé sur bord inférieur pour faciliter la comparaison avec d'autres rubans, à utiliser sous tension de 50 N, fournis avec enrouleurs et certificats pour tous les dm d'un service national de métrologie.

L 14 Installation pour la comparaison de rubans de mesurage comportant soit au plus simple (mesures à 1 mm près) un banc continu en pierre lisse et nivelée, 20 à 50 cm de large et 21 m de long, soit pour des mesures plus précises (à  $\pm 0,2$  mm près) une installation placée le long d'un mur, longueur 21 m (ou si nécessaire 31 m) comportant des supports cylindriques (sur roulements à bille) à tous les 50 cm et un dispositif à tendeur par poids à chaque bout. La lecture s'effectue à l'aide d'une loupe graduée (voir point L16) si les rubans sont juxtaposables ou par un dispositif de projection optique si cela n'est pas le cas. La température moyenne du banc doit être mesurée et si possible maintenue à 20 °C (ou une autre température de référence) avec une stabilité d'au moins  $\pm 1$  °C.

NOTE : Au cas où l'on considère l'installation d'un banc de mesure très précis il est conseillé de consulter les autorités du pays s'occupant de géodésie en vue d'une action commune.

## II. Laboratoire de vérification dimensionnelle d'instruments usuels et objets manufacturés

Un certain nombre d'instruments usuels de grande précision peuvent être vérifiés dans le laboratoire de référence par l'équipement L1 à L14.

Considérant que le service de métrologie aura également à effectuer un certain nombre de vérifications d'objets manufacturés (contrôle qualité) soit pour l'extérieur, soit pour ses propres laboratoires, nous avons composé la liste suivante de matériel de vérification. Nous avons laissé de côté des équipements spéciaux tels que pour le mesurage d'engrenages, etc...

L 15 Règles de vérification en acier comportant une division millimétriques (de préférence sur le bord inférieur de façon à faciliter les comparaisons directes avec la division d'autres règles). Exactitude des divisions en moyenne  $\pm 0,02$  mm, largeurs des traits 20 à 30  $\mu\text{m}$ . Quantité selon besoins (y compris usages mobiles), par exemple minimum

2	longueur	0,5 m
5	"	1 m
2	"	2 m

L16 Trois (ou plus) loupes de vérification grossissement de 5 à 10  $\times$  avec échelle micrométrique divisée en 0,1 mm.

L17 Banc en pierre lisse (ou bois dur) longueur 3,5 (à 5,5 m) pour vérification des mètres rigides et flexibles en métal par comparaison aux règles de vérification. Des supports d'ajustage pour juxtaposition des divisions des règles sont à prévoir ainsi que des loupes avec échelle de mesure graduée en 0,1 mm (voir L16).

L 18 Pieds à coulisse à grande exactitude en acier inoxydable (couteaux en acier trempé).

Quantité selon besoins par exemple :

10 longueur 250 mm au 1/20 mm à mâchoires pour mesurages extérieurs et couteaux pour mesurages intérieurs.

2 longueur 500 mm au 1/20 mm à mâchoires seulement.

2 longueurs 1000 mm au 1/20 mm à mâchoires seulement, pour des mesures de profondeur au 1/20 mm :

1 étendue de mesure 200 mm

1 " " 500 mm.

L 19 Micromètres au 0,01 mm comportant :

a) un jeu avec calibres de mises à zéro permettant des mesures de 0 à 300 mm (ou plus selon besoins).

b) Deux micromètres équipés de comparateurs. Etendue de mesure 0-25 mm graduée au 0,01 mm comparateur gradué en 0,001 mm.

c) support de micromètres selon besoins.

L 20 Jeu de verres plan-parallèles pour vérification du parallélisme des surfaces de mesure des micromètres.

L 21 Projecteur de profil pour l'examen et le mesurage d'objets,

échelles etc... de petites dimensions comportant éclairage diascopique et épiscopique, agrandissement par échange d'objectifs de 10 X, 20 X 50 X et 100 X, écran de mesure 200 à 500 mm, complète avec règles en verre de 20 et 400 mm pour l'étalonnage ainsi que dispositif de mesure d'angles sur l'écran de projection.

L22 Microscope de mesure d'atelier comportant :

a) la possibilité de mesurer des petits objets et alésages et notamment des échelles en verre en utilisant un oculaire à micromètre pour mesures jusqu'à  $\pm 0,2 \mu\text{m}$ .

b) une table à coordonnées de mouvement longitudinal 150 mm (ou 75) et transversal de 50 mm. Exactitude des lectures X et Y =  $\pm 5 \mu\text{m}$ .

L23 Marbre de référence en granité ou diabase, dimensions 1500 (ou 2000) X 1000 mm sur 4 pieds ajustables.

Accessoires pour utilisation avec le marbre de référence :

L24 Un (ou deux) jeux de 121 calibres à bouts plans, classe B de 1 mm à 100 mm.

L25 Jeu de calibres à bouts plans, classe B comportant les calibres de 100, 200, 300, 400, 500 et 1000 mm.

- L26 Accessoires pour calibres à bouts plans permettant :
- a) leur assemblage (calibres de 100 à 1000 mm).
  - b) assemblage avec mâchoires, pour mesurages externes et à bouts arrondis pour mesurages internes.
  - c) le mesurage des hauteurs à partir d'un marbre.
  - d) d'assurer leur entretien.
- L27 Paires de blocs en V utilisées comme supports de pièces cylindriques couvrant les gammes de diamètres de 2 à 150 mm.
- L28 Socles réglables pour comparateurs type lourd, à base triangulaire, nombre selon besoins (minimum 2).
- L29 Montres comparateurs au 0,01 mm. Etendue de mesure 10 mm, nombre selon besoins (minimum 2) montage possible sur les socles (L 28)
- L30 Comparateurs avec touche latérale au 0,01 mm, étendue de mesure minimum 0,5 mm et au 0,002 mm, étendue de mesure minimum 0,2 mm. Montage possible sur les supports L28 et L32. Nombre selon besoins (minimum 2 de chaque).
- L31 Eventuellement:
- Comparateurs au 0,005 et 0,001 mm avec commande de palpeur rétractable. Nombre selon besoins.
- L32 Trusquin à coulisse avec échelle divisée verticale, vernier au 1/20 mm, hauteur 500 mm avec mâchoire démontable en carbure de tungstène et accessoires pour montage de comparateurs.
- L33 Eventuellement : Micromètre de hauteur, capacité 500 (ou 600) mm, exactitude 5  $\mu\text{m}$ , pour utilisation sur marbre de référence.
- L34 Eventuellement : Bloc de montage pour utilisation sur marbre de référence permettant la vérification d'excentricité, parallélisme etc.. comportant un support à sinus, distance 300 mm et deux cônes de centrage pour pièces jusqu'à 200 mm de long et 75 mm de diamètre.
- L35 Eventuellement : Equipement de mesure d'alésages comportant micromètres, comparateurs et anneaux d'ajustage dans la gamme de 2 à 100 mm.
- L36 Eventuellement : dispositif de vérification de comparateurs au 0,01 mm à cadran, étendue de mesure minimum 10 mm, exactitude + 2  $\mu\text{m}$
- L37 Eventuellement : dispositif de vérification de comparateurs à aiguille (ou électroniques) comportant un dispositif à levier et micromètre de précision, étendue de mesure  $\pm 0,1$  mm lectures possibles à  $\pm 0,1 \mu\text{m}$ .

### Mesures d'états de surface

L38 Etalons de rugosité :

- a) pour appréciation de la finition selon ISO.
- b) pour l'étalonnage des machines à mesurer le profil de rugosité.

L39 Machine à mesurer la rugosité selon ISO 3274 comportant enregistreur de profil et dispositif d'évaluation de  $R_a$  et RZ, des supports de montage et palpeurs pour surfaces planes et cylindriques.

### Mesurages d'angle et de rectitude

L40 Etalon d'angle droit en forme de cylindre de hauteur minimum 300 mm précision 2  $\mu\text{m}$ .

L41 Deux équerres à couteaux trempés 150 X 100 mm.

L42 Règles couteaux pour vérification de rectitude de 80, 150 et 300 mm.

L43 Lunette autocollimatrice sur support orientable permettant des lectures à 0,5" (ou des mesures de 1  $\mu\text{m}$  par mètre dans les directions X et Y) complète, avec réflecteur fixe, prisme pentagonal de renvoi et réflecteur mobile de base 100 mm.

L44 Goniomètre mécanique avec lecture à 2'.

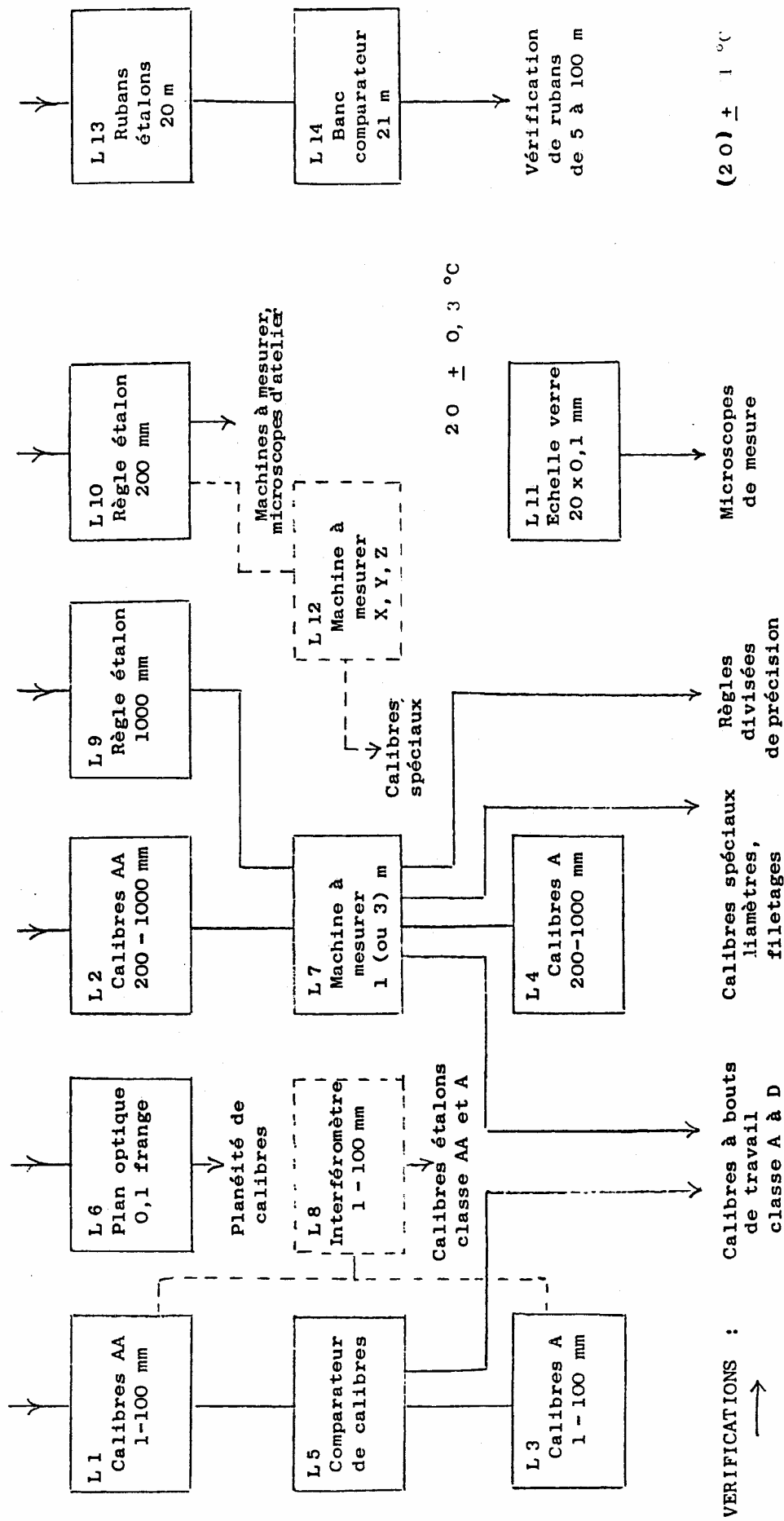
L45 Niveau de précision, longueur 100 (ou 200) mm, lecture à 0,02 mm par m.

L46 Eventuellement : déclinomètre à niveau de précision.

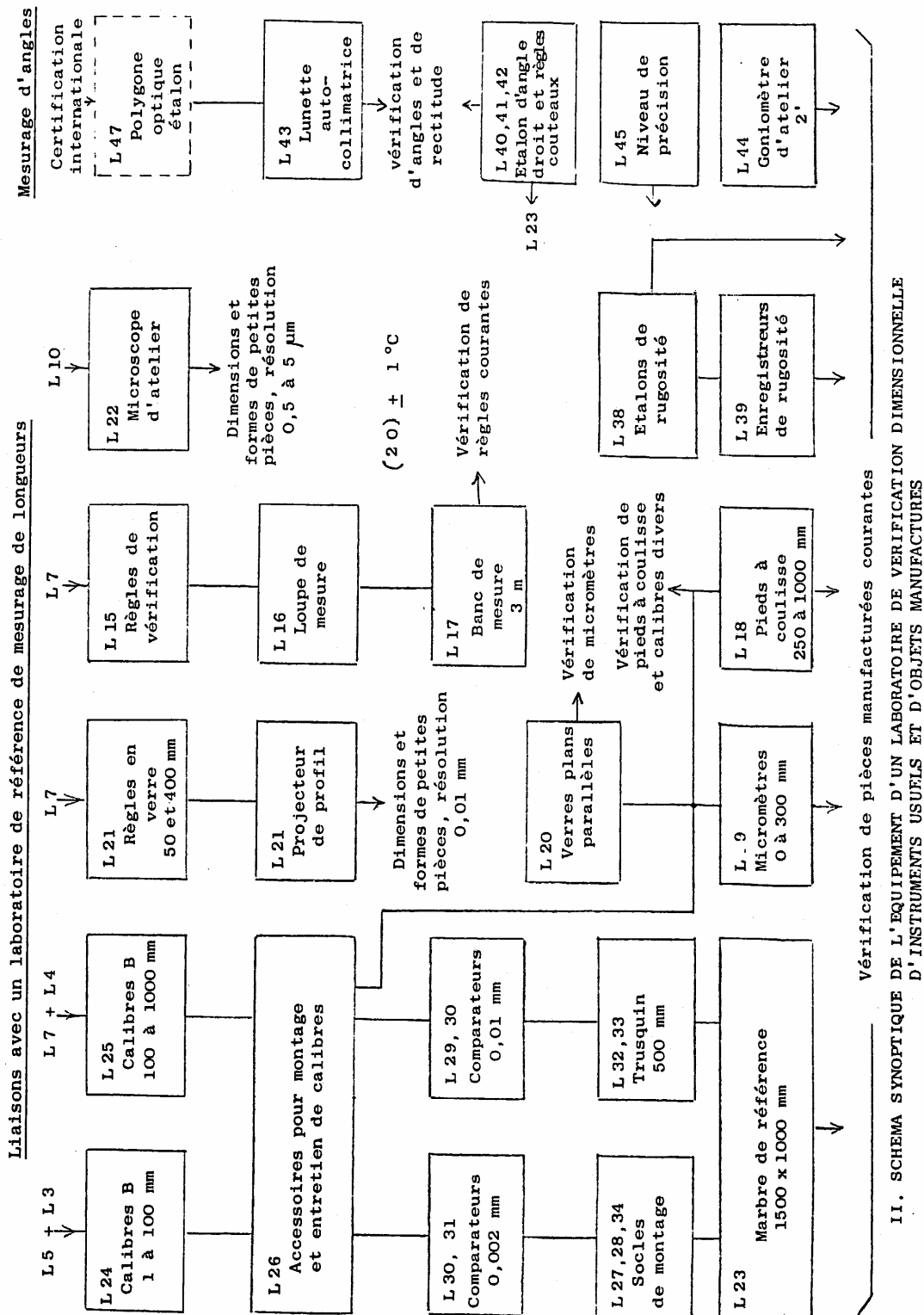
L47 Eventuellement : polygone étalon d'angles pour utilisation avec l'auto-collimateur (L43) et fixation sur des pièces ou tables rotatives à diviser, théodolites etc... dont on veut vérifier la graduation en angle, comportant 12 (ou 36) faces ajustées à mieux que  $\pm 2''$  fourni avec certificat d'étalonnage à 0,1" établi par un service national de métrologie.

L48 Eventuellement : règle de sinus de 200 mm (pour utilisation avec le jeu de calibres L 24 et le plan de référence L23).

Etalonnage dans un grand laboratoire national étranger



I. SCHEMA SYNOPTIQUE DE L'EQUIPEMENT D'UN LABORATOIRE DE REFERENCE DE MESURAGES DIMENSIONNELS



## **ETALONNAGE DE COMPTEURS D'EAU**

Les compteurs d'eau sont dans la plupart des cas ajustés et plombés dans les ateliers d'assemblage ou de réparation en utilisant un banc d'essai spécial. Ce banc peut, dans ces installations, être connecté à des étalons de volume de 100 à 1000 L. D'autres équipements de ces bancs comportent en général des jauges de débit et de pression et une installation séparée pour l'essai de surpression.

Il est en général pas pratique ni économique d'installer un banc d'essai de compteurs d'eau dans un laboratoire de métrologie légale mais plutôt préférable d'effectuer le contrôle légal quand cela est nécessaire à l'atelier d'assemblage ou dans l'atelier de la société de distribution d'eau.

L'approbation de modèle selon la Recommandation OIML RI 49 peut occasionnellement être aussi effectuée dans ces ateliers en utilisant un équipement mobile d'étalonnage appartenant au Service de métrologie légale et étalonné dans son laboratoire central (voir liste pour le mesurage des capacité de liquides) .

## **ETALONNAGE DE COMPTEURS DE GAZ**

Les considérations pour les compteurs d'eau sont aussi valables pour les compteurs de gaz. Les ateliers d'assemblage ou de réparation des compteurs de gaz possèdent en général des gazomètres à air-huile de capacité convenable. Ces gazomètres peuvent, quand cela est nécessaire, être étalonnés par une procédure pas à pas utilisant un étalon de transfert basé sur le même principe. Cet étalon de transfert est étalonné dans un laboratoire à température constante (stabilité de la température  $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ ) en utilisant une installation air-huile comprenant une bouteille d'immersion en verre (capacité 50 L ou moins). L'exactitude de l'étalon de transfert peut atteindre  $\pm 0,1\%$  mais seulement si les problèmes d'équilibre de température sont résolus pendant l'étalonnage et l'usage.

La nécessité de se procurer un étalon de transfert étalonné dans un laboratoire national spécialement équipé peut être envisagée en coopération avec les distributeurs de gaz dans le pays concerné.

### **Bibliographie**

Une description des méthodes d'étalonnage de compteurs de fluide et de gaz avec références bibliographiques est donnée dans le livre :

Hayward A.T.J. - Flowmeters, a basic guide and source-book for users, Macmillan Press,  
London, 1979.

voir également :

Mesure et Contrôle, tome R4 - Grandeurs géométriques et mécaniques

publié par : Techniques de l'Ingénieur 123 rue  
d'Alésia, 75680 Paris.



## ETALONNAGE DES AREOMETRES

L'étalonnage des aréomètres n'est en général pas fréquemment demandé si ceux-ci ne sont pas fabriqués localement, à l'exception des cas où la législation l'exige comme par exemple pour les alcoomètres. Ces derniers peuvent facilement être comparés dans des mélanges d'eau et d'alcool aux aréomètres étalons de masse volumique en utilisant les tables alcoométriques de l'OIML.

L'équipement de base proposé se compose de :

### Etalons de référence nationaux (primaires et secondaires)

Deux jeux d'aréomètres étalons de laboratoire de première qualité, fournis avec certificat d'étalonnage établi par un laboratoire national de métrologie et ajustés à 20 °C

Etendue de masse volumique	Etendue de chaque aréomètre	Subdivisions	Type
600 – 1000 kg/m <sup>3</sup>	20 kg/m <sup>3</sup>	0,2 kg/m <sup>3</sup>	(ISO) L 20 tension superficielle basse
1000- 2000 kg/m <sup>3</sup>	"	"	tension superficielle moyenne

### Aréomètres d'usage général

Ceux-ci peuvent comporter soit des aréomètres du même type que les étalons de référence si on demande une très grande exactitude, soit des aréomètres d'étendue de mesure plus large comme par exemple :

Deux jeux d'aréomètres de précision ajustés à 20 °C

Etendue de masse volumique du jeu	Etendue de chaque aréomètre	Subdivision	Type
600 à 2000 kg/m <sup>3</sup>	50 kg/ m <sup>3</sup>	1 kg/m <sup>3</sup>	(ISO) M 50

Enceinte thermostatique avec des parois en verre plan parallèle connectés à un thermostat de circulation ayant une stabilité de température de 0,01 K, étendue - 10 à 100 °C.

### Remarques :

- des aréomètres sont habituellement fragiles et sont facilement endommagés dans le transport. Pour cela il a été recommandé de s'en procurer deux jeux. Chaque aréomètre doit être emballé séparément.
- le thermostat de circulation peut aussi être utilisé pour d'autres usages.
- l'équipement peut convenablement être installé dans le laboratoire d'étalonnage des thermomètres.
- certains liquides utilisés pour l'étalonnage sont très inflammables !!!

### Extension de l'équipement aux étalonnages primaires

Les aréomètres peuvent également être étalonnés en utilisant le thermostat ci-dessus et une balance analytique à substitution équipée pour le pesage au-dessous du récepteur de charge (cette option est facilement obtenue auprès des fabricants de balances). Cette méthode que l'on doit à Mr F.W. Cuckow est décrite dans les références ci-dessous et elle est relativement facile à employer avec la plupart des balances analytiques modernes. Pour des mesures de très grande exactitude, il est cependant nécessaire de prendre en considération les corrections dues à la tension superficielle de la séparation liquide/air. A ces fins il peut être utile de se procurer un tensiomètre à anneau de platine pour la détermination de ces corrections si le quotient de tension superficielle ne peut être obtenu d'après des tables.

### Références

Rands J.B., Bigg P.H. - Hydrometers and Hydrometry,

NPL Notes on Applied Science N° 25, HMSO, London, 1961

Wagstaffe P.J. - Initial Verification of Alcohol Hydrometers in the United Kingdom,  
OIML Bulletin N° 79, June 1980

ISO 387 - Hydrometers - Principles of construction and adjustment

ISO 649 - Density Hydrometers for general purposes

OIML RI 22 - International Alcoholometric Tables

OIML RI 44 - Alcoholometers and Hydrometers for Alcohol

## MESURAGE DE L'HUMIDITE

Les méthodes de base pour l'étalonnage d'instruments mesureurs de l'humidité sont principalement

A. la détermination de l'humidité d'un matériau par pesage avant et après séchage (par la chaleur ou le vide) B. la formation d'humidité à partir de quantités connues de matières sèches et d'eau entièrement absorbée.

La première méthode est la méthode primaire pour tous les mesurages d'humidité. Elle est notamment utilisée couramment pour la vérification d'hygromètres pour matières telles que grains, etc. L'équipement nécessaire comporte alors

- une balance analytique de capacité 100 g (ou plus), sensibilité 0,2 mg
- une armoire de séchage avec ajustage précis de la température à  $\pm 1^\circ\text{C}$ , étendue de température allant jusqu'à  $150^\circ\text{C}$
- des récipients plats avec couvercle en verre ou en métal non corrosif
- dessiccateur (cloche en verre).

Pour plus de détails sur le mode opératoire, voir la Recommandation OIML N° 8 "Méthode étalon de travail destinée à la vérification des instruments de mesurage du degré d'humidité des grains".

Des hygromètres à air de différents types peuvent en principe être étalonnés par la méthode B en utilisant un générateur d'humidité qui produit un mélange d'air sec et saturé de vapeur d'eau dans des conditions connues de volume, température et pression. Un tel appareillage est cependant dans la plupart des cas associé à un hygromètre de transfert à point de rosée qui est étalonné dans un laboratoire national ayant un équipement gravimétrique selon la méthode A.

Du fait que des réalisations commerciales de générateurs d'humidité de précision sont rares, il est plus facile de faire un tel étalonnage en utilisant un hygrostat à sel comportant soit simplement une petite cloche en verre ou dessiccateur ou mieux une plus grande armoire en métal, verre ou plastique, étanche à l'air et équipée d'un système de circulation interne de l'air ou d'un brassage d'air ainsi qu'un panier contenant des solutions d'eau saturée de sel, dont une liste est donnée dans le tableau ci-dessous :

Tableau montrant l'humidité relative de l'air au-dessus de différentes solutions d'eau saturée de sel

Tableau montrant l'humidité relative de l'air au-dessus de différentes solutions d'eau saturée de sel

Solution d'eau saturée de sel de	Température										
	0°C	5°C	10°C	15°C	20°C	25°C	30°C	35°C	40°C	50°C	60°C
	Humidité relative (%)										
Sulfate de potassium	99	98	98	97	97	97	96	96	96	96	96
Nitrate de potassium	97	96	95	94	93	92	91	89	88	85	82
Chlorure de potassium	—	88	88	87	86	85	85	84	82	81	80
Sulfate d'ammonium	83	82	82	81	81	80	80	80	79	79	78
Chlorure de sodium	76	76	76	76	76	75	75	75	75	75	75
Nitride de sodium	—	—	—	—	66	65	63	62	62	59	59
Nitrate d'ammonium	77	—	72	69	65	62	59	55	53	47	42
Dichromate de sodium	60	59	58	56	55	54	52	51	50	47	—
Nitrate de magnésium	60	58	57	56	55	53	52	50	49	46	—
Carbonate de potassium	—	—	47	44	44	43	43	43	42	—	—
Chlorure de magnésium	35	34	34	34	33	33	33	32	32	31	30
Acétate de potassium	—	—	21	21	22	22	22	21	20	—	—
Chlorure de lithium	15	14	14	13	12	12	12	12	11	11	11
Hydroxide de potassium	—	14	13	10	9	8	7	6	6	6	—

\* couramment employés à cause de leur faible variation en fonction de la température

Les valeurs indiquées sont reproduites d'après NPL Notes on Applied Science N° 4 - Measurement of Humidity (1962). Ces valeurs sont sujettes à des variations d'environ 1 % d'un auteur à un autre, voir réf (4). Une recommandation concernant l'utilisation de ces sels est en cours d'élaboration par OIML SP 30-Sr 3. Les hygromètres à sel peuvent être trouvés dans le commerce. Malgré que de tels hygromètres sont assez pratiques pour l'étalonnage des hygromètres à cheveux, ils peuvent parfois ne pas convenir pour l'étalonnage de certains capteurs hygrométriques (comme par exemple ceux qui emploient des couches de chlorure de lithium).

Si une armoire climatisée est utilisée pour des usages d'essai généraux, on peut vérifier les hygromètres à air en utilisant un psychromètre Assman de bonne qualité qui est équipé de thermomètres certifiés ou encore mieux un hygromètre à miroir à point de rosée. Plusieurs fabricants ont ces dernières années mis sur le marché des versions électroniques de tels instruments qui utilisent l'effet Peltier (semi-conducteurs) pour la réfrigération du miroir et une détection photoélectrique de l'apparition de condensation ou de glace sur le miroir. Ces hygromètres à point de rosée sont chers mais sont probablement les instruments de référence les plus précis pour des mesures directes de l'humidité de l'air. Ils doivent cependant, de préférence, être certifiés par un laboratoire national de métrologie qui possède une installation d'étalonnage absolu.

### Références

Les publications suivantes peuvent être consultées pour une information élémentaire concernant l'hygrométrie

(1) Wexler, A and Brombacher W.G. -

Methods of Measuring Humidity and Testing Hygrometers, NBS Circular 512 (1951)  
(inclus également dans NBS Spécial Publication 300, Vol.8)

(2) Hickman M.J. -

Measurement of Humidity,

NPL Notes on Applied Science N° 4, HMS Stationary Office (1958)

(3) Young J.F. -

Humidity control in the laboratory using salt solutions, - a review "Journal of Applied Chemistry", vol.17, Sept.1967, p. 241-244

(4) Greenspan L. -

Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions, Journal of Research of NBS, Vol. 81 A, N° 1, Jan-Feb.1977 p. 89-96

## MESURAGE DE FORCES

Un Service national de métrologie peut être demandé à effectuer des étalonnages de machines d'essai de traction dans l'étendue de 50 N à 500 kN (avec une exactitude de 0,2 %) et de presses hydrauliques (comme par exemple celles utilisées pour des essais de béton) jusqu'à 2 MN avec une exactitude de 0,5 %.

Ces vérifications sont effectuées en utilisant des dynamomètres ou cellules de charge (à jauge de Contrainte) avec un équipement associé. Il faut à cette occasion rappeler que l'installation de dynamomètres ou de cellules de charge dans des machines d'essai de traction (quand ces dernières ne peuvent pas tout simplement être vérifiées dans le mode compression) nécessite l'utilisation d'accessoires spéciaux tels que tiges filetées, accouplements à bille, etc. et que certaines machines d'essai de compression n'ont qu'un espace très limité pour l'installation des dynamomètres qui pour des capacités au-dessus de 1 MN sont particulièrement encombrants (et lourds). Partout où cela est possible il est donc conseillé d'inventorier les types de machines d'essai que l'on rencontre habituellement dans le pays, y compris leur capacité et espace de travail disponible comprenant la distance entre les mâchoires et les plaques de compression. Les dynamomètres utilisés pour l'étalonnage ne doivent être employés qu'entre environ 20 % et 100 % de leur capacité nominale; il est donc important d'adapter leur capacité de façon qu'elle soit supérieure mais pas de trop, de la capacité des machines qui doivent être vérifiées.

Dans des cas plus particuliers, le Service peut aussi être demandé à certifier des dynamomètres ou des cellules de charge dans son laboratoire central. Dans ce cas les étalons de référence se composent en général de machines de charge avec des poids de masse connue utilisés en conjonction avec une valeur déterminée de l'accélération locale due à la pesanteur. Ces machines sont cependant, excepté pour de toutes petites charges (par exemple jusqu'à 50 kN), très onéreuses et il est pour cela conseillé partout où cela est possible de prendre avantage d'installations existantes dans les autres laboratoires nationaux <sup>(1)</sup> et de se procurer simplement des moyens pour le transfert de l'unité de force. Il est toujours possible d'étalonner les dynamomètres de travail à des étalons de transfert par comparaison directe ou par une méthode de substitution. Les étalons de transfert sont en général des dynamomètres mécaniques à compression ou des cellules de charge à jauge de contrainte. Ces dernières peuvent être très précises et fiables quand elles sont employées avec des ponts appropriés. Cependant si elles sont associées à des systèmes de lecture électroniques, il est nécessaire que la fiabilité de ces derniers soit garantie pour une période d'au moins deux ans. Si cela n'est pas possible, on doit préférer l'utilisation de dynamomètres à indication mécanique ou optique malgré leur pouvoir séparateur et facilité d'emploi plus restreint.

---

<sup>(1)</sup> Weiler W., Sawla A. - Force Standard Machines of National Institutes for Metrology, rapport PTB-Me-22 publié par Physikalisch- Technische Bundesanstalt, Braunschweig, R.F. d'Allemagne.

La comparaison de dynamomètres de travail avec les étalons de transfert peut être effectuée avec une précision modérée par substitution dans une machine d'essai de matériaux de bonne qualité.

Le montage en cascade de deux dynamomètres dans une presse n'est généralement pas possible à cause des problèmes d'alignement qui nécessitent l'utilisation de joints à bille. Trois dynamomètres identiques peuvent cependant être comparés à un dynamomètre de plus grande capacité dans une presse de qualité selon la méthode dite "à pyramide".

Un meilleur compromis consiste à utiliser un comparateur hydraulique construit selon les principes indiqués dans la figure F 3.

Ce comparateur doit, en plus de la place de travail nécessaire pour accommoder les dynamomètres, comporter une pompe hydraulique à main permettant un réglage très fin de la pression et présentant très peu de fuites de façon à permettre des observations aisées du dynamomètre de référence et du dynamomètre à étalonner.

Dans le schéma synoptique nous avons incorporé deux comparateurs de ce type de coût modéré. Pour des capacités au-dessus de 600 kN il est supposé que la comparaison de dynamomètres de travail avec les dynamomètres de référence peut s'effectuer par substitution dans une presse hydraulique qui ne demande pas nécessairement à être installée dans le laboratoire central de métrologie mais qui doit être choisie pour ses qualités de possibilité d'ajustage fin de la pression et de grand pouvoir séparateur de l'indicateur de compression.

Ref

BIML

Description

F 1 Jeu de dynamomètres étalons de transfert (ou cellules de charge) fabriqués en acier spécialement vieilli, destinés à l'étalonnage d'autres dynamomètres à indication optique, ou équipés d'autres moyens d'observation dépourvus de friction, ayant un pouvoir séparateur d'au moins 0,01 % de l'étendue de mesure.

Stabilité de l'étalonnage garantie à 0,1 % pour toute force comprise entre 10 et 100 % de l'étendue de mesure et pour une période de 2 ans. A fournir avec des certificats d'étalonnage d'un laboratoire national de métrologie. Prévus pour compression seulement et équipés d'une platine support de base et d'une plaque avec joint à bille à la partie supérieure. Etendue de mesure des dynamomètres :

5 - 20 - 50 - 100 - 200 - 600 kN

Dans le cas de l'observation optique, un microscope de mesure doit également être fourni et utilisé pour la certification. (Dans le cas de l'exécution sous forme de cellule de charge, deux ponts de mesure ou indicateurs de contrainte doivent également être fournis, ceux-ci doivent s'adapter à tous les dynamomètres). L'équipement doit être fourni dans des boîtes de transport mécaniquement très robustes.

F 2 Dynamomètre de référence (ou cellule de charge) fabriqué en acier spécialement vieilli, équipé d'un comparateur mécanique (ou indicateur électronique séparé), capacité 2 MN. Stabilité d'étalonnage de 0,1 % garantie pour une période de deux ans. L'ensemble doit être livré dans une boîte de transport très robuste et muni d'un certificat d'étalonnage établi par un service national de métrologie.

F 3 Comparateur hydraulique de précision pour l'étalonnage de cellules de charge et des dynamomètres en traction et compression, capacité 100 kN (10 ton-force) comportant à la partie supérieure un jeu de plaques entre lesquelles un dynamomètre de référence (poste FI) peut être fixé. Ce dispositif doit être commandé par un vérin hydraulique à pompe manuelle permettant un ajustement très fin de la force et ne présentant pratiquement aucune fuite lorsque la valve est fermée (Les fuites ne doivent pas occasionner des variations de force supérieures à 1 N en 1 minute et la finesse du réglage doit être telle que des pas de 1 N peuvent être obtenus).

F 4 Comparateur hydraulique de précision pour cellules de charge et dynamomètres, capacité 700 kN (70 ton-force), identique au poste F 3 ci-dessus mais présentant une stabilité meilleure que 10 N en 1 minute et la possibilité d'ajustement de la force à 10 N ou moins.

F 5 Jeu de dynamomètres de travail fonctionnant en compression et en traction, exactitude 0,1 %, équipés de billes d'accouplement et de tous accessoires nécessaires pour essais en traction. Les dynamomètres doivent être équipés d'un indicateur comportant un comparateur mécanique ayant de préférence seulement un type de graduation (à chiffraison noire). Les dynamomètres doivent être fournis dans des boîtes de transport très robustes et accompagnés de certificats d'un service officiel de métrologie ou d'un service d'étalonnage de l'usine.  
Etendues de mesure :

1 - 5 - 20 - 50 - 100 - 200 - 600 kN

F 6 Dynamomètre pour l'étalonnage de machines d'essai en compression seulement, capacité 2 MN, spécifications sur d'autres points identiques au poste F5.

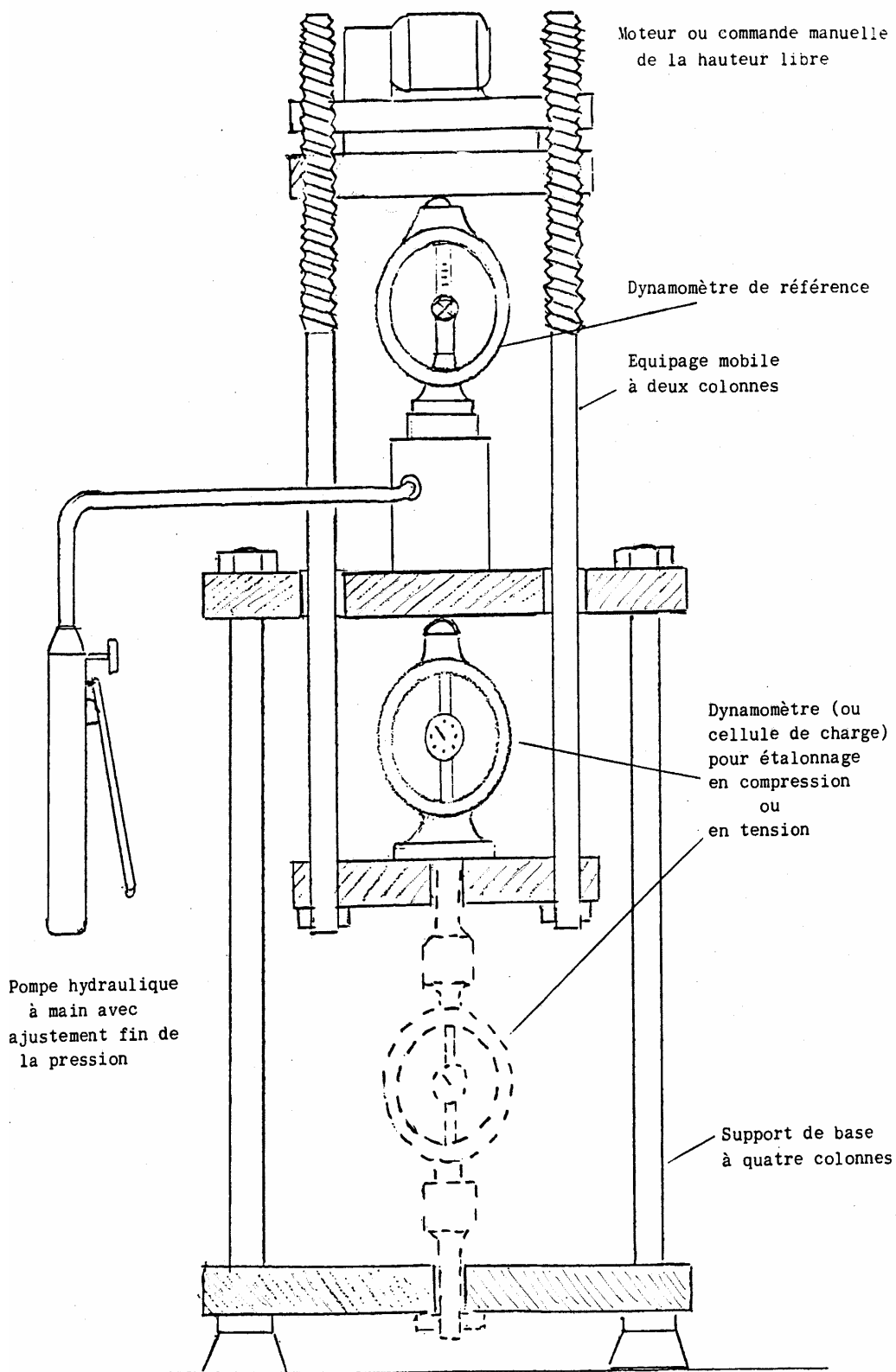
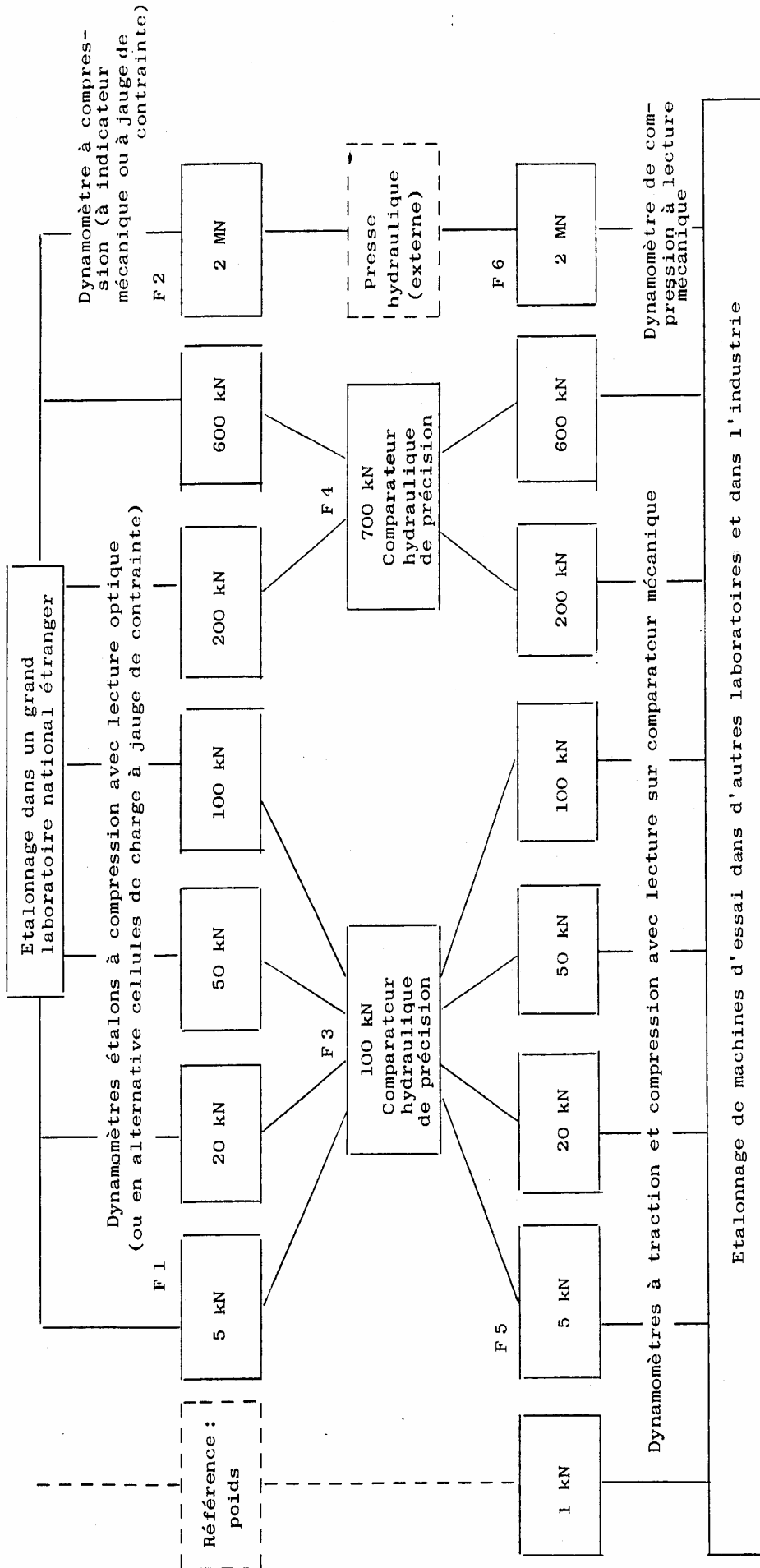


Fig. F3 - Principe du comparateur hydraulique de dynamomètres





SCHEMA SYNOPTIQUE DE L'EQUIPEMENT D'ETALONNAGE DE FORCES

## MESURAGE DE LA DURETE

Les machines d'essai de dureté peuvent en principe être vérifiées en ce qui concerne la charge et le pénétrateur en utilisant l'équipement prévu pour les mesurages de force et les mesurages dimensionnels. Cependant il est beaucoup plus commode de faire ces vérifications en utilisant des blocs certifiés de dureté.

Nous conseillons pour commencer par conséquent l'acquisition de quelques jeux de blocs certifiés de dureté et si nécessaire quelques machines de laboratoire d'essai de la dureté Vickers et Rockwell B et C. On doit s'assurer que ces machines comportent les dispositions d'application de charges indiquées dans les Recommandations de l'OIML et de l'ISO. Si, en plus, on acquiert une machine d'essai type Brinell on doit s'assurer que cette machine permet des essais avec un pénétrateur à bille de 10 mm et une force de 3000 kgf (29 400 N). Ces machines doivent toutes être de bonne qualité de façon à permettre la comparaison de blocs de dureté par substitution. (Les blocs de référence de dureté sont dans certains laboratoires nationaux étalonnés en utilisant des machines spécialement construites dont la charge et les caractéristiques du pénétrateur sont bien déterminées. Ce type de machine n'est cependant pas nécessaire à moins que des blocs de référence de dureté soient spécialement fabriqués dans le pays).

L'étalonnage par le service de métrologie de machines d'essai de dureté se limite en général à celles utilisées pour l'acier et les métaux. Nous suggérons par conséquent l'acquisition des blocs suivants : Blocs certifiés de dureté pour la vérification de machines Brinell sous conditions normalisées de charge de 3000 kgf (29 400 N) et avec bille de 10 mm selon les Recommandations OIML RI 9 et ISO 156 :

10 de dureté comprise entre 100 et 200 HRB  
10 " " " 250 et 350 HRB

Blocs certifiés de dureté pour la vérification des machines d'essai Vickers à la charge de 30 kgf (294 N) selon les recommandations OIML RI 10 et ISO 146 :

5 de dureté comprise entre 100 et 200 HV30  
5 " " " 250 et 350 HV30  
5 " " " 600 et 750 HV30

Blocs certifiés de dureté pour la vérification de machines Rockwell pour essais sur aciers (Rockwell C) selon les recommandations OIML RI 12 et ISO 716 :

10 de dureté comprise entre 20 et 30 HRC  
10 " " " 35 et 55 HRC  
10 " " " 59 et 65 HRC

Blocs certifiés de dureté pour la vérification de machines Rockwell pour essais sur métaux (Rockwell B) selon les Recommandations OIML RI 11 et ISO 716 :

5 de dureté comprise entre 40 et 60 HRB 5 " " " 80 et 100 HRB

Tous les blocs doivent pour chaque type être fabriqués du même lot de matériau.

Des blocs de dureté certifiés par des laboratoires nationaux peuvent en général être acquis auprès des constructeurs de machines d'essais de dureté.

Les méthodes de vérification de machines d'essais de dureté sont décrites dans les Recommandations OIML n° 37, 38 et 39.

## MESURAGE DE PRESSIONS

Puisque l'unité multiple du SI à utiliser pour la chiffration des manomètres est encore sujet à des discussions dans plusieurs pays, nous laissons ce problème entièrement au choix de l'autorité nationale.

Nous utilisons ici les multiples de l'unité pascal parfois, avec indication en bar ou mbar entre parenthèses .

Pour l'étalonnage de manomètres et de baromètres, il faut connaître la valeur locale de l'accélération due à la pesanteur. L'équipement d'étalonnage est en général manufacturé en utilisant la valeur conventionnelle de 9,80665 m/s<sup>2</sup>. La température de référence est en général 20 °C à l'exception des baromètres à colonne de mercure où l'on utilise en général 0°C aussi bien pour l'échelle que pour le mercure. Les valeurs vraies de pression à l'endroit d'étalonnage ou de mesure doivent par conséquent être obtenues en utilisant des tables de calcul ou de correction.

Nous avons inclus les baromètres dans le schéma d'étalonnage de jauges de pression. Cependant comme l'équipement d'étalonnage nécessaire peut s'avérer coûteux et demande en plus une attention particulière en ce qui concerne la stabilité de température, nous conseillons que l'achat ainsi que les nécessités techniques soient d'abord analysés en liaison avec les autorités locales de métrologie et de navigation aérienne de façon à éviter des duplications.

Le Service national de métrologie peut être demandé à vérifier des manomètres utilisés par l'industrie et dans les installations de chaudières, etc, auquel cas le problème principal est en général la nécessité de démonter les jauges dans les installations (ceci doit être la responsabilité de leur propriétaire) et d'adapter les jauges à l'équipement d'étalonnage, ce qui peut nécessiter l'emploi de divers adaptateurs. Nous conseillons de faire effectuer une enquête sur les étendues de mesure, milieux de mesure et les connecteurs généralement utilisés dans le pays de façon à permettre le choix de l'équipement d'essai et d'étalonnage qui convient, y compris les adaptateurs nécessaires. Nous indiquons séparément une note concernant les connections à filetages utilisés dans quelques pays.

Des manomètres portables à piston sont disponibles sur le marché pour des pressions allant jusqu'au moins 6 MPa (60 bar). Pour des pressions supérieures, il est nécessaire de transporter les jauges à étalonner au laboratoire central de métrologie. Dans des cas exceptionnels, et lorsque cela est prévu dans l'installation, il est possible de vérifier les jauges de pression in situ à une jauge de pression type étalon de vérification. Un jeu de jauges de ce type a été inclus dans la liste ci-dessous. Il est cependant préférable d'utiliser des manomètres à piston rotatif partout où cela est possible à cause de leur plus grande exactitude et fiabilité.

Le problème du milieu de mesure doit également retenir l'attention. Les jauges de pression allant jusqu'à 400 kPa (4 bar) doivent toujours être étalonnées avec de l'air ou avec un gaz neutre (tel que l'azote). Des manomètres étalons à piston utilisant l'air ou un gaz existent cependant aussi pour des pressions bien plus élevées. Des manomètres étalons à piston générateurs de pression utilisant de l'huile comme milieu de mesure ont en général une étendue de mesure allant de 100 kPa (1 bar) jusqu'à 100 MPa (1000 bar) et plus. Il est nécessaire de prendre des précautions spéciales en ce qui concerne des jauges qui sont utilisées avec d'autres milieux de mesure que l'huile, en particulier avec les jauges pour oxygène. Ces types de jauges peuvent exceptionnellement être étalonnés sur un manomètre à piston à huile en utilisant de l'eau et un séparateur huile/eau qui peut être fourni par certains fabricants. (Les aspects pratiques de la vérification en série de jauges à oxygène doivent cependant être traités séparément de l'équipement normal d'étalonnage du laboratoire).

Le coût de manomètres à piston rotatif varie énormément selon l'exactitude et la qualité des matériaux employés. Pour bien des services et en particulier pour les bureaux locaux, il suffit en général de choisir la qualité dite industrielle et la gamme de pressions peut être couverte par peu de modèles (il existe même des modèles à double piston). Il est préférable que les poids utilisés soient marqués individuellement et pesés de façon à permettre des vérifications régulières et qu'au moins l'équipement du laboratoire central comporte des poids en acier inoxydable ou autrement bien protégés de la corrosion.

La liste suivante et le diagramme synoptique ne comportent qu'un nombre limité de manomètres à piston de façon à couvrir les étendues de mesure et les milieux de mesure courants. Il existe cependant des systèmes plus élaborés de plus grande précision, parfois sous forme de bancs complets d'étalonnage comportant des multiplicateurs (et démultiplicateurs) de pression. Le nombre des poids de forte masse et leur manipulation doivent être pris en considération lorsqu'on fait le choix des manomètres à piston et ceci en particulier lorsque l'on envisage un usage courant.

Les extensions possibles sont indiquées en traits interrompus dans le diagramme. (La jauge à vide P4 peut ne pas être nécessaire si l'on se procure l'équipement P1 à P3).

Ref

BIML

Description

- P 1 Mano-baromètre étalon à colonne de mercure pour connexion à une enceinte extérieure de mesure, exactitude  $\pm 5$  Pa (0,05 mbar) ou approchant, étendue de mesure 0 à 110 kPa (1100 mbar), convenant à l'étalonnage d'autres baromètres ou manomètres. Lecture à deux stations sur une échelle graduée de la position des niveaux de mercure à  $\pm 0,05$  mm près, diamètre intérieur du tube manométrique minimum 11 mm. A fournir avec certificat d'étalonnage d'un institut officiel.
- P 2 Enceinte d'étalonnage pour connexion au poste P1 comprenant une chambre pour l'installation des baromètres à mercure ainsi que des baromètres anéroïdes à fonctionnement vertical et horizontal ainsi que d'autres jauges et capteurs de basse pression. Equipée de pompes de pression et de vide, valves de régulation de la pression et fournie avec tous les accessoires nécessaires tels que huile, fusibles, etc. Pour branchement électrique monophasé de ... V ... Hz.
- P3 Baromètre étalon secondaire, exactitude  $\pm 20$  Pa (0.2 mbar) ou approchant, permettant la connexion/des enceintes d'essai, étendue de mesure 2,5 à 120 kPa (1200mbar). Equipement transportable du type digital à équilibrage de forces ou équivalent.
- P4 Jauge à vide à colonne de mercure graduée en mm et équipée d'une deuxième échelle graduée en kPa. A fournir avec les adaptateurs suivants : ( 1/4" - 3/8" - 1/2" BSP - M 20 x 1,5 et connecteur à angle droit). La jauge doit être fournie avec une pompe à main ou électrique ainsi que des valves à pointeau. Le branchement à une enceinte de vide doit également être possible.
- P5 Jauge de pression à colonne de mercure, étendue 0 à 150 kPa (1,5 bar) fournie avec pompe à main et les adaptateurs suivants : ( 1/4" - 3/8" - 1/2" BSP - M 20 x 1,5 et connecteur à angle droit).

P6 Manomètre à piston rotatif pour l'étalonnage des manomètres en utilisant l'air ou un gaz, exactitude  $\pm 0,05$  %, étendue de mesure 10 à 1000 kPa (0,1 à 10 bar) ou valeurs approchantes, fourni avec certificat d'un laboratoire national de métrologie ainsi qu'avec tous les adaptateurs comme suit :

( 1/8" - 1/4" - 3/8" - 1/2" BSP et connecteur à angle droit ainsi que 1/4" - 1/2" NPT et M 12 x 1,5 et M 20 x 1,5 ainsi que 5 jeux de joints).

P7 Installation d'étalonnage de jauges de pression, exactitude  $\pm 0,05$  %, comportant deux manomètres à piston rotatif ayant une étendue de mesure de 0,1 à 6 MPa (1 à 60 bar) et 1 à 60 MPa (10 à 600 bar) ou valeurs approchantes

(Un manomètre à piston double permettant de couvrir la même gamme est également acceptable)

L'ensemble doit être fourni avec un certificat officiel d'un laboratoire national de métrologie et avec les mêmes adaptateurs et joints que pour le poste P 6 .

P 8 Séparateur huile/eau pour utilisation avec le poste P 7 en particulier

pour l'étalonnage de jauges à oxygène. A fournir avec tous les adaptateurs nécessaires. Etendue d'utilisation jusqu'à 40 MPa (400 bar).

P 9 2 séries de jauges de pression de vérification type Bourdon, exactitude 0,25 %, diamètre 150 mm comportant les étendues suivantes :

0 - 400 kPa (0-4 bar) pour l'air, connexion 1/2" BSP

0 – 1 MPa ( 0-10 bar) " "

0 – 2,5 MPa ( 0-25 bar) pour l'huile "

0 –6 MPa ( 0-60 bar) " "

0 –10 MPa ( 0 - 100 bar) " "

0 –60 MPa ( 0-600 bar) " "

Toutes les jauges doivent être fournies sans plateaux de montage et dans des boites de transport individuelles.

Si nécessaire ;

P 10 Manomètre portatif à piston rotatif, étendue de mesure 20 à 1 000 kPa

(0,2 à 10 bar), exactitude 0,1 %, fourni avec certificat d'un laboratoire national de métrologie, pour étalonnages utilisant de l'air (ou l'azote), comprenant les adaptateurs nécessaires (pour 1/8" - 1/4" - 3/4" - 1/2" BSP M 20 x 1,5 ainsi que des jeux de joints).

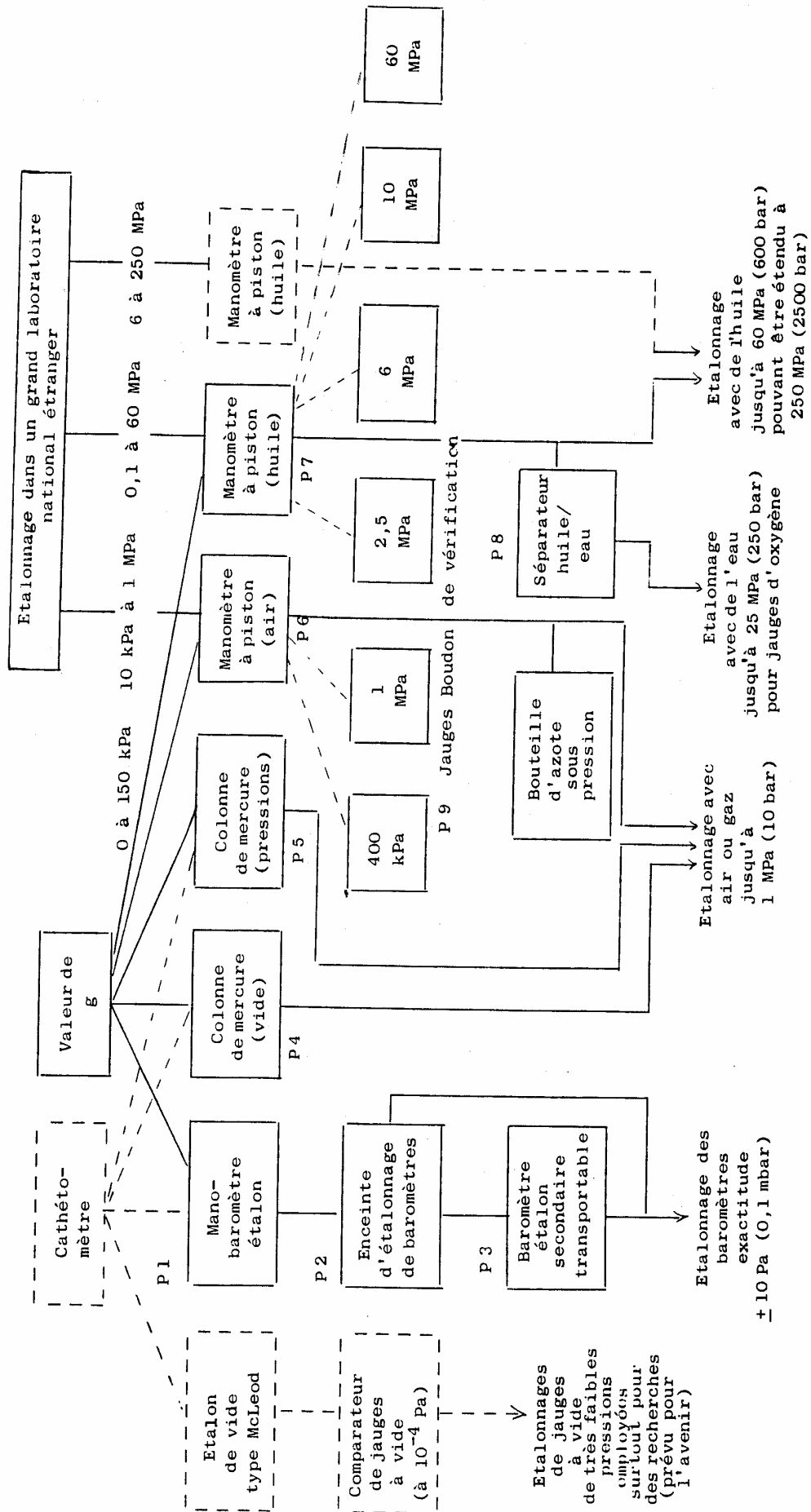
P 11 Manomètre portatif à piston rotatif, utilisant de l'huile, étendue de mesure 100 à 6000 kPa ( 1 à 60 bar), exactitude 0,1 %. Fourni avec certificat d'un laboratoire national de métrologie et comprenant les adaptateurs nécessaires (pour 1/8" - 1/4" - 3/8" - 1/2" BSP -M 20 x 1,5 ainsi que des jeux de joints).

CONNEXIONS A FILETAGE  
POUR JAUGES DE PRESSION METRIQUES

Connections avec pas de vis			
Diamètre	Allemagne *	Angleterre	France
50 mm	M 12 x 1,5 ou BSP 1/4"	BSP 1/8"	M 10 x 1 (ou BSP 1/8")
63	"	BSP 1/4"	"
80	M 20 x 1,5 ou BSP 1/2"	BSP 1/4"	M 10 x 1, BSP 1/2 (ou BSP 3/8") M 20 x 1,5
100	"	BSP 3/8" ou 1/2"	"
150	"	"	"
200	"	"	"
250	"	"	"
300	"	"	"

- Remarques :
- Le filetage M correspond au nouveau filetage fin de l'ISO
  - Le filetage BSP est la désignation du filetage Withworth pour tubes
  - La désignation de BSP est  
                                   en Allemagne R  
                                   en France G

Aux Etats Unis d'Amérique les connections normalisées sont 1/8 -27 NPT, 1/4 - 18 NPT et 1/2 - 14 NPT. La désignation NPT représente "American Standard Taper Pipe Thread", qui est différent de BSP et qui ne s'adapte pas au filetage BSP. Il faut par conséquent faire attention à ne pas détruire le filetage de jauges ayant les mêmes diamètres que les jauges à filetage BSP.... )



SCHEMA SYNOPTIQUE DE L'EQUIPEMENT D'ETALONNAGE DE PRESSIONS

Etalonnages de jauges à vide de très faibles pressions employés sur tout pour des recherches (prévu pour l'avenir)

Etalonnage des baromètres exactitude  $\pm 10$  Pa (0,1 mbar)

## MESURAGE DE TEMPERATURES

Un Service de métrologie légale peut couramment être sollicité pour effectuer des vérifications de températures ou étalonnages de thermomètres dans l'étendue de - 50 à + 250 °C. Les besoins industriels peuvent aussi s'étendre à la vérification de thermocouples allant jusqu'à 1200 °C et exceptionnellement on peut demander au service de vérifier des pyromètres à filament disparaissant.

Il est nécessaire de préciser que beaucoup d'autres dispositifs de contrôle de températures utilisés dans l'industrie ne peuvent être correctement étalonnés en laboratoire sans y réaliser toutes les conditions exactes d'utilisation et que par conséquent il serait difficile de donner un caractère légal à de tels contrôles.

Le Service peut cependant être demandé pour effectuer des contrôles de températures sur place en utilisant son instrumentation propre (thermomètres à dilatation ou à résistance, thermocouples ou pyromètres optiques).

Dans les suggestions de matériel qui suivent nous nous sommes limités à un matériel strictement "technique" laissant de côté ceux des points fixes de l'échelle pratique de températures qui demandent des soins "scientifiques" ou des matériaux très purs en attendant que des points fixes secondaires de maniement simple soient adaptés et commercialisés.

Nous avons cependant jugé utile d'y inclure le point triple de l'eau à cause de son caractère fondamental et son maniement relativement peu difficile. Ce point (0,01 °C) est utilisé pour déterminer indirectement la résistance R<sub>Q</sub> des thermomètres à résistance. Pour les besoins courants on peut cependant reporter son achat et simplement déterminer R<sub>0</sub> directement à l'aide du point de congélation de l'eau.

L'étalonnage de thermomètres au-dessus de 250 °C est peu fréquent sauf en ce qui concerne des ensembles comportant des thermocouples. On utilise alors généralement un four tubulaire horizontal ou vertical avec un bloc métallique égaliseur de la température et la comparaison s'effectue à l'aide d'un thermocouple étalon mis en contact thermique avec le thermomètre à étalonner. Le four d'étalonnage de thermocouples que nous avons inclus est généralement conçu pour l'étalonnage précis de thermocouples, soit nus, soit protégés par une mince gaine de métal. Des thermomètres industriels (thermocouples ou thermomètres à résistance) protégés par une gaine épaisse en céramique ou en métal ne peuvent être vérifiés qu'approximativement, soit par le procédé indiqué, soit en utilisant un bain de sel (jusqu'à 600 °C) ou un bain de sable soulevé par soufflerie (jusqu'à 800 ou 1000°C). L'étalonnage des thermocouples industriels complets demande en général une étude pratique sur place des diamètres et longueurs de gaine, étendues de températures, précision nécessaire, etc... Comme les bains de sel sont corrosifs et que l'on ne trouve pas facilement dans le commerce des fours à large diamètre ayant l'uniformité et la régulation de températures nécessaires, nous avons dans la liste proposé comme compromis un bain de sable pneumatique dont la conception, bien que nouvelle, commence à être courante.



Le point automatique de congélation d'eau à frigistor T 16 s'avère en général d'un emploi commode pour l'étalonnage de thermocouples qui, du fait de l'inertie des fours ou des bains, demande un certain temps. Il est cependant également possible d'utiliser à sa place le bain de glace point T 7. Le potentiomètre point T 17 a été inclus pour permettre des vérifications très précises des plus faibles tensions de thermocouples. Il peut également servir à vérifier le microvoltmètre digital T 15 (et T 22). Si ce dernier instrument est suffisamment sensible et fiable, le potentiomètre peut sur le plan usage être combiné avec l'équipement de laboratoire d'étalonnage électrique de façon à réduire la dépense totale de l'équipement.

La nécessité de procurer le matériel d'étalonnage pour des pyromètres optiques à filament disparaissant peut également faire l'objet d'une étude préliminaire mais il s'agit toutefois d'un équipement pas très onéreux.

### Bibliographie

Certaines méthodes d'essais et d'étalonnage de thermomètres et thermocouples ainsi que l'équipement sont décrits dans les normes nationales qu'il est conseillé de consulter (ASTM, BS, DIN, GOST etc..). Pour l'étalonnage des thermomètres et en particulier les thermomètres à dilatation de liquide et thermocouples, il est nécessaire de connaître leur comportement sous diverses conditions. On peut à cet effet utilement consulter les ouvrages suivants :

Barber C.R. - The Calibration of thermometers,

Her Majesty's Stationary Office, 1970

Coates P.B. - The Design of Measurement Standards Laboratories : Temperature,

NPL report TSZ 1 (28/11/78), National Physical Laboratory, Teddington,  
Middlesex, U.K.

PTB-Prüfregeln - Flüssigkeits- Glasthermometer 14.0.1-67

NBS Monograph 150 - Liquid-in-glass thermometry, 1976

NBS Circular 590 - Methods of Testing Thermocouples and Thermocouple

Materials, 1958

NBS Monograph 126 - Platinum résistance thermometry, 1973

NBS Monograph 41 - Theory and Methods of Optical Pyrometry, 1962

Benedict, R.P. - Fundamentals of Temperature, Pressure and Flow measurements, Wiley,  
1977

Réf

BIML

Description

- T1 2 (ou 3) cellules à point triple contenant de l'eau de composition isotopique telle que spécifiée pour la réalisation du point thermodynamique fondamental et le point de l'échelle internationale pratique de température de 0,01 °C avec une exactitude de  $\pm 0,2$  mK. Un container Dewar convenant aux cellules doit également être fourni
- T 2 Pont de résistance de haute précision pour mesures sur thermomètres à résistance de platine à quatre conducteurs ( $R_0=25\text{ohm}$ ) permettant un pouvoir séparateur d'au moins 1 mK à 0 °C. Le pont doit également permettre des mesures à l'aide de thermomètres à résistance de  $R_0 = 100$  ohm et doit être livré avec un détecteur de zéro permettant le branchement d'un potentiomètre enregistreur graphique. Le détecteur doit fonctionner soit sur piles sèches, soit . branché sur une alimentation de réseau de ... V ... Hz. Le pont doit être utilisé avec un commutateur interne ou externe pour branchement d'au moins deux thermomètres à résistance (voir poste T 14).
- T 3 Enregistreur graphique portable de table du type universel pour laboratoires, basé sur le principe du potentiomètre à équilibrage automatique et ayant des étendues de mesure commutables de 1 mV à 1 V pour 250 mm de voie de papier. Vitesses de déroulement du papier commutables de 1 mm/s à 30 mm/h ou valeurs approchées. L'enregistreur doit être fourni pour branchement sur un réseau alternatif de ... V ... Hz et avec un stock de papier de 30 rouleaux et de 20 cartouches d'encre.
- T4 Bain thermostaté pour l'étalonnage de thermomètres médicaux à pilotage électronique pour deux points de température ajustables. Exactitude de températures 0,01 K, étendue de réglage 34 à 43 °C. Emplacement prévu pour au moins 100 thermomètres.
- T5 2 (ou 3) thermomètres à résistance de platine du type étalon primaire, résistance au point de congélation de l'eau 25 ohm, longueur du tube en quartz minimum 400 mm. Les thermomètres doivent être munis chacun d'un étui de transport et fournis avec des tableaux d'étalonnage établis par un service national de métrologie et basés sur des étalonnages au point d'ébullition d'oxygène, au point triple de l'eau et aux points de congélation de l'étain et du zinc.
- T 6 Bain thermostaté pour basses températures de - 70 °C à la température ambiante. Profondeur d'immersion minimum 300 mm, diamètre disponible pour l'immersion 70 à 120 mm. Le bain doit être équipé de réfrigération mécanique et comporter une agitation dans sa partie inférieure. La température doit être réglée à partir d'un capteur à résistance et d'un dispositif de réglage ayant un pouvoir séparateur de 0,1 K permettant d'obtenir une stabilité meilleure que 0,01 K. L'homogénéité de température dans la zone d'immersion doit être meilleure que 0,005 K à la température ambiante. Le bain doit du point de vue sécurité, être construit de façon à permettre l'emploi de liquides inflammables tels que l'alcool. Le bain doit être fourni avec des supports convenant à la fixation de thermomètres à dilatation et d'un thermomètre étalon à résistance de platine.

- T7 Point de fusion de la glace (congélation de l'eau) pour l'étalonnage de thermomètres à dilatation de liquide et de thermomètres électriques, profondeur d'immersion minimum 300 mm, diamètre utilisable pour l'immersion 70 à 120 mm, équipé d'un dispositif à agitation d'air pour obtenir le maximum de saturation d'air dans le mélange de glace-eau. Exécution de préférence sous forme de dewar en verre. Doit être fourni avec des supports pour thermomètres.
- T8 Bain thermostaté à basse température pour l'étalonnage de thermomètres à dilatation de liquide et thermomètres électriques dans l'étendue de - 30 à + 100 °C utilisant de l'huile de silicone ou de l'eau (entre + 2 et + 95 °C), profondeur d'immersion minimum 300 mm, diamètre utilisable pour l'immersion 70 à 120 mm. Le bain doit être équipé de réfrigération mécanique et comporter une agitation dans sa partie inférieure. La température doit être réglée à partir d'un capteur à résistance et d'un dispositif de réglage ayant un pouvoir séparateur de 0,1 K et permettant d'obtenir une stabilité de la température de 0,01 K. L'homogénéité de la température dans la zone d'immersion doit être meilleure que 0,005 K à la température ambiante. Le bain doit être équipé de supports de thermomètres.
- Si disponible, ce bain doit également être fourni avec un programmeur permettant une élévation très lente de la température.
- T9 Bain d'huile thermostaté pour l'étalonnage de thermomètres à dilatation de liquide ou thermomètres électriques dans l'étendue de + 50 à + 250 °C ayant autrement les mêmes spécifications générales que celles du poste T8 mais sans dispositif de réfrigération. La stabilité et l'homogénéité de la température doivent être meilleures que 0,05 K. Un liquide d'étalonnage (huile de silicone ou similaire) doit également être fourni dans la quantité correspondant à au moins 5 pleines charges du bain.
- T 10 Bain pneumatique pour l'étalonnage de thermomètres de laboratoire ou industriels dans l'étendue de 100 à 800 °C utilisant un sable d'alumine (ou un autre produit). Diamètre utilisable pour l'immersion 100 mm, profondeur d'immersion 500 mm ou plus. La régulation et la stabilité de la température doivent être meilleures que 0,1 K à 500 °C. Le bain doit être fourni avec un bloc égalisateur de la température convenant à l'insertion de thermomètres. Le compresseur et le régulateur électronique doivent être prévus pour branchement sur un réseau monophasé de ... V ... Hz.
- T 11 3 thermomètres étalons à alliage de platine - 10 % rhodiumplatine de première qualité selon l'échelle internationale pratique de température de 1968, montés dans des tubes à bouts ouverts de céramique (alumine) à double alésage, diamètre des fils 0,5 mm, longueur 1,5 m, longueur totale du tube 600 mm. Chaque thermocouple doit être fourni dans des étuis séparés et avec un certificat d'étalonnage établi par un laboratoire national de métrologie selon l'échelle internationale pratique de température de 1968.

- T12 (a) - 2 thermocouples secondaires en platine - 10 « rhodium platine selon l'échelle internationale pratique de température de 1968, longueur des fils 2 m, diamètre 0,5 mm. Fournis nus sans tube de protection.
- (b) - 2 thermocouples de platine avec gaine de métal composé de l'alliage 10 % rhodium platine, longueur 1 m, diamètre de la gaine 1,6 mm comportant un manchon ajustable et prise de contact
- (c) - 2 paires de fils de compensation prévues pour le poste (b) avec prise de contact, longueur 3 m.
- (d) - 100 pièces de céramique en alumine à double alésage, longueur 5 cm convenant aux fils de 0,5 mm de diamètre.
- (e) - 20 pièces de tubes de céramique en alumine à bout fermé pour le poste (d), longueur 600 mm.

T 13 Four pour la comparaison des thermocouples, stabilité de la température  $\pm 1$  K, étendue de température jusqu'à 1 400 °C minimum, profondeur de la chambre de mesure minimum 400 mm, de préférence 600 mm, diamètre minimum 25 mm. Le four doit être livré avec un thermocouple pilote et une alimentation réglable et stabilisée pour branchement sur un réseau monophasé de ... V ... Hz.

T 14 Commutateurs pour thermocouples à faible forces parasites thermoélectriques (moins que 0,1  $\mu$ V), contacts en cuivre ou en métal ayant une très faible force Thermoélectrique par rapport au cuivre.  
Livré en boîtiers avec bornes de connexion en cuivre ou en cuivre doré.

4 de 12 positions, 2 voies

2 de 24 " 2 "

2 de 4 " 4 voies (pour thermomètres à résistance).

T 15 Voltmètre digital convenant à l'étalonnage des thermocouples et

pour usages généraux de laboratoire, équipé de bornes de connexion à faible force Thermoélectrique par rapport au cuivre et à zéro ajustable de l'extérieur, 5 digits, pouvoir séparateur 1  $\mu$ V (ou mieux), étendue de mesure la plus faible 0,1 V, la plus élevée 100 V (ou plus). Linéarité et exactitude garantie (6 mois) de 0,005 %. Doit comprendre un dispositif d'ajustage permettant l'étalonnage à partir d'une source étalon extérieure telle que pile Weston ou potentiomètre compensateur, sans nécessité d'autres équipement spécialisés. Doit de préférence également être fourni avec en option un dispositif de mesure de résistances dans l'étendue de 10 megohm à 0,01 ohm avec une exactitude de 0,01 % (pour l'utilisation sur des capteurs à résistance). Sortie isolée pour connexion à une imprimante digitale. L'équipement doit être prévu pour branchement sur un réseau d'alimentation de ... V, ... Hz.

Si nécessaire :

Fourni avec imprimante digitale à cadence d'impression automatique réglable de 30 secondes à 30 minutes comprenant également la fourniture d'une quantité suffisante de matériaux nécessaires à l'impression (papier, etc.).

T 16 Point automatique de fusion de la glace, exactitude  $\pm 0,01$  K comprenant un tube d'immersion pour thermomètres et thermocouples de diamètre 15 à 30 mm et de profondeur minimum 200 mm. Ce point doit comporter un soufflet dilatable et fermé contenant de l'eau distillée réfrigérée à l'aide d'un frigistor commandé par un contact mobile fixé sur le soufflet. Le point de glace doit fonctionner sur un réseau d'alimentation de ... V, ... Hz.

T 17 Ensemble comportant un détecteur de zéro et un potentiomètre compensateur à 5 (ou 6) décades montés en cascade. Le potentiomètre doit avoir une résistance interne faible de façon à permettre l'étalonnage de thermocouples et autres instruments avec une résolution de  $0,1 \mu\text{V}$ . Trois étendues de mesure de 0,015 - 0,15 - 1,5 V ou valeurs approchées.

L'ensemble doit être fourni avec une alimentation stabilisée du courant de mesure et connexion à une pile étalon externe. La linéarité du potentiomètre doit être au minimum de 0,01 % et le potentiomètre doit être prévu pour ajustage ou étalonnage de la linéarité sans utilisation d'un équipement supplémentaire compliqué.

T 18 Pyromètre optique de précision (exactitude  $\pm 2$  K à  $1000^\circ\text{C}$ ) convenant à l'étalonnage d'autres pyromètres basés sur le principe du rayonnement. Fourni avec support à trépied, alimentation sur piles sèches ou accumulateur et lampe à filament disparaissant, étalonnée ainsi que deux lampes d'échange étalonnées.

T 19 Lampes à ruban de tungstène pour l'étalonnage de pyromètres à filament comportant 3 lampes à vide pour l'étendue de 700 à  $1400^\circ\text{C}$  3 lampes à gaz pour l'étendue de 1000 à  $2300^\circ\text{C}$

Les lampes doivent être fournies avec deux supports de montage et des certificats d'étalonnage en fonction du courant d'alimentation établis par un laboratoire national de métrologie en accord avec l'échelle internationale pratique de température de 1968

T 20 Alimentation stabilisée en courant continu, stabilité du courant 0,01 %, courant maximal 30 A, tension maximale 50 V. Régulation par shunt à quatre bornes incorporées, avec dispositif de sécurité de surcharge incorporé (en utilisation comme source de tension constante) Le réglage du courant (ou de tension) doit comporter au moins deux potentiomètres, dont un permettant un réglage fin jusqu'à 10 mA. L'alimentation doit être prévue pour branchement sur un réseau monophasé de ... V ... Hz.

T21 Deux shunts à quatre bornes, exactitude 0,01 %, courant nominal

10 A et 30 A. La tension de sortie doit de préférence être de 100 mV pour 10 A et 30 mV pour 30 A de façon à permettre l'évaluation aisée du courant à l'aide d'un voltmètre digital connecté aux bornes du potentiel.

T 22 (Cet instrument est le même que celui décrit au poste T 15 . Il peut convenir de commander deux unités de façon à éviter des inconvénients en cas de panne).

- T 23 Déminéralisateur d'eau à échange d'ions avec dispositif de régénération permettant d'obtenir au moins 10 litres d'eau pure par heure, fourni avec tous accessoires nécessaires et un mesureur de la conductibilité fonctionnant sur piles du type CEI R 20 ou R 14.
- T 24 Dispositif produisant des cubes de glace, capacité 20 kg/jour ou plus et fonctionnant sur ... V, ... Hz.
- T 25 Machine à produire de la glace pilée (ou à râper de la glace), du type ménage ou restaurant, fournie avec lames de rechange et pour un fonctionnement sur ... V, ... Hz.
- T 26 Equipement d'observation de thermomètres comportant une lunette montée sur support à trépied et avec distance de lecture pouvant être réduite jusqu'à 300 mm. Egalement : supports à trépied pour fixation de thermomètres et thermomètres à résistance ainsi qu'une ou plusieurs loupes d'observation.

Autres instruments nécessaires pour usages généraux dans les laboratoires de métrologie ou dans les services mobiles :

Thermomètres à mercure de précision pour usages généraux de laboratoire (selon les spécifications des normes ASTM, BS, DIX ou GOST), à immersion totale avec étendues de mesure typiquement de

- 0,5 à + 50 °C, divisées en 0,1 °C

- 1 à + 150 °C, " 0,5 °C

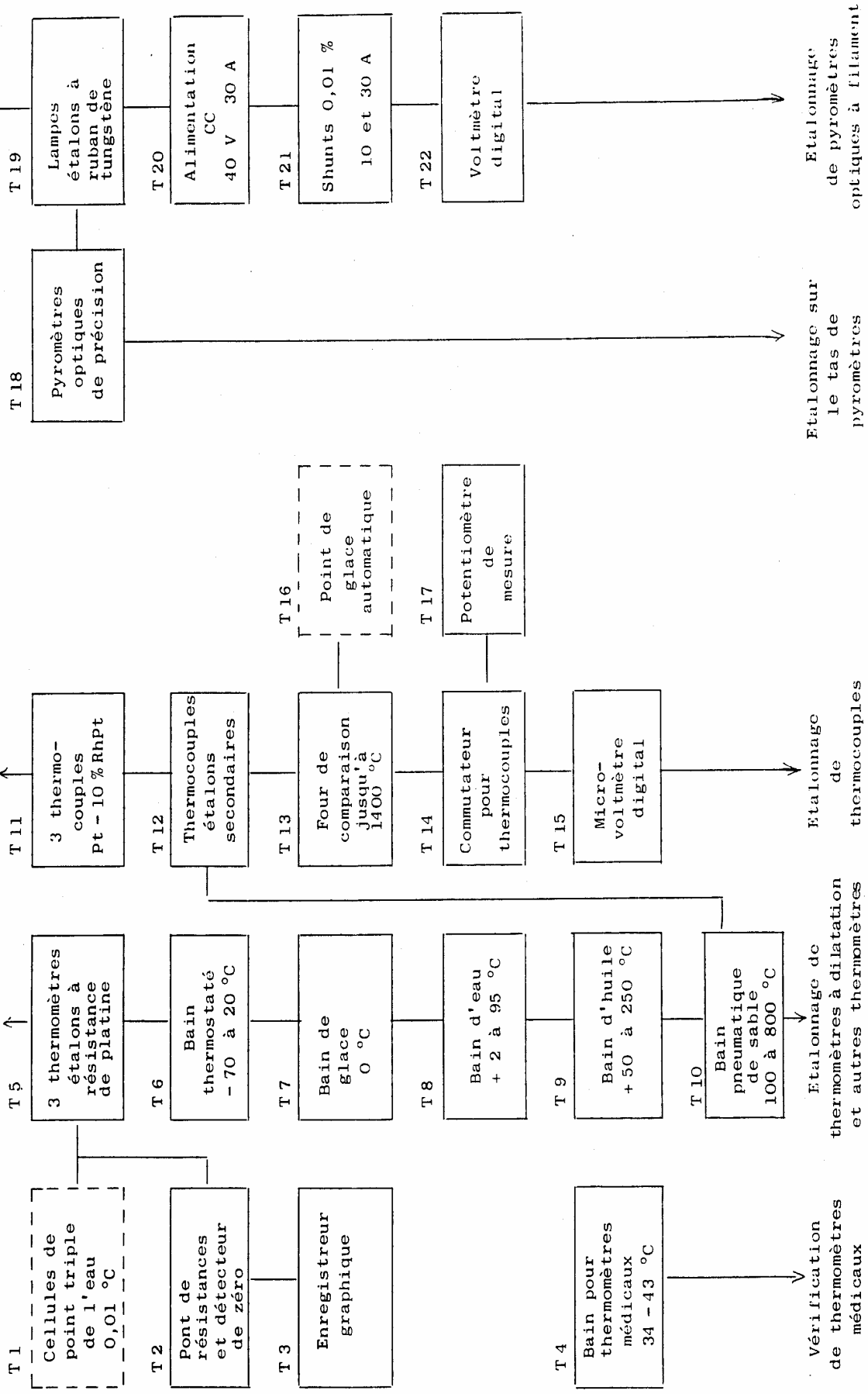
- 5 à + 250 °C, " 1 °C

Fil double de thermocouple, isolation à fibre de verre, en particulier fer-constantan de 0,5 mm de diamètre

Voltmètre-thermomètre digital fonctionnant sur pile ou alimentation de réseau prévue pour l'utilisation avec des thermocouples fer-constantan (ou millivoltmètre analogique)

Potentiomètre portable pour vérification de thermocouples (comportant un dispositif de mesure des résistances).

Etalonnage par rapport à l'Echelle Internationale Pratique de Température (de 1968)



SCHEMA SYNOPTIQUE DE L'EQUIPEMENT D'ETALONNAGE DE THERMOMETRES

## MESURAGES ELECTRIQUES

L'équipement nécessaire pour l'étalonnage et les essais d'instruments électriques demande probablement une étude plus approfondie des conditions locales que pour d'autres activités où la technologie évolue plus lentement.

Des instruments à lecture digitale ayant une résolution bien plus élevée que précédemment sont maintenant en usage courant, ce qui réclame une augmentation de l'exactitude des moyens d'étalonnage. Certains types d'instruments électroniques demandent également une vérification plus fréquente par des méthodes indépendantes.

Le résultat de ces études, en tenant compte également de possibilités de réparation et maintenance, montre en général que les services de métrologie doivent être pourvus d'une certaine quantité d'équipement "passif" qui reste très fiable avec le temps et qui peut facilement être étalonné par rapport aux étalons des grands laboratoires nationaux ou du BIPM.

En même temps le service de métrologie peut pour des raisons de commodité de travail avoir besoin d'instruments électroniques du type "actif" en vue notamment d'accroître la rapidité de travail.

Il convient dans ce but d'utiliser simultanément au moins deux types d'instruments comme par exemple une source de tension étalonnée conjointement avec un voltmètre digital étalonné malgré que strictement un seul de ces deux instruments soit nécessaire.

Cette forme de duplication ou redondance de l'instrumentation peut donner une bonne garantie métrologique en particulier lorsque ces instruments sont vérifiés régulièrement par rapport aux étalons de référence du type "passif". Une autre possibilité de se prémunir contre des pannes consiste à acquérir des duplicata de certains types d'équipement électronique. Il est d'ailleurs dans cet esprit préférable de sélectionner un seul modèle commun de certains types d'instruments (comme par exemple un voltmètre digital) de façon à permettre l'échange facile dans un même laboratoire ou même entre laboratoires.

Dans certains pays le laboratoire électrique doit également effectuer des essais de matériaux et d'équipement électrique. Ces essais peuvent comprendre des essais d'isolement, de résistance à la chaleur et à l'humidité ainsi que des essais mécaniques de plus ou moins grande durée selon les prescriptions nationales de sécurité électrique. Les spécifications pour ces appareillages d'essais dépassent le cadre de ce mémoire mais on peut en général les trouver dans les recommandations correspondantes de la Commission Electrotechnique Internationale (CEI). Il est cependant conseillé de séparer ces essais du laboratoire des étalons électriques avec l'exception de l'étalonnage de transformateurs encombrants de mesure de tension ou de courant qui peut généralement s'effectuer dans une halle de machines servant en même temps à d'autres activités d'essais.

La température ambiante des laboratoires d'étalonnage électrique doit généralement être tenue à  $23 \pm 1$  °C, de préférence en utilisant des climatiseurs de précision indépendants du système de climatisation générale du bâtiment.

Dans les listes qui suivent nous avons essayé d'embrasser les gammes les plus courantes d'étalonnage en tension, courant, résistance et rapport de transformation. Nous avons volontairement omis l'équipement spécialisé nécessaire aux mesures acoustiques ou en télécommunication et nous nous sommes limités au courant continu et aux fréquences d'alimentation des réseaux d'énergie jusqu'à une tension de 1 000 V malgré que l'extension à une tension de distribution plus élevée (jusqu'à 35 kV) peut pour certains services de métrologie être nécessaire en ce qui concerne les transformateurs de mesure.



Dans le but de satisfaire aux demandes des petits pays, nous suggérons d'abord un schéma restreint d'équipement (EQUIPEMENT D'UN LABORATOIRE LOCAL) dont l'exactitude permet d'atteindre 0,01 % pour des mesures en courant continu et 0,1 % pour des mesures en courant alternatif. Cet équipement peut ensuite être complété de façon à satisfaire au second schéma (EQUIPEMENT D'UN LABORATOIRE CENTRAL) qui doit permettre d'atteindre une exactitude moyenne de 0,002 % pour des mesures en courant continu et 0,02 % pour des mesures en courant alternatif.

Dans des pays plus grands le premier schéma peut aussi être utilisé comme modèle pour un laboratoire subsidiaire ou laboratoire local qui dépend techniquement des services d'un laboratoire central de métrologie établi selon le second type de schéma (Si l'exactitude nécessaire est plus grande ou si les services à fournir doivent être encore plus étendus, nous entrons pratiquement dans la phase d'un laboratoire de métrologie scientifique, ce qui n'est pas considéré ici).

#### Quelques conseils en ce qui concerne l'acquisition d'instruments électroniques

Il n'est en général pas possible de commander des jeux complets de pièces de rechange pour les instruments électroniques et si cela est le cas, le coût atteint souvent une somme bien plus élevée que l'instrument même. Le fabricant doit par conséquent être demandé à fournir seulement les pièces qui peuvent facilement être endommagées ou usées, telles que fusibles, lampes, etc. Ces pièces doivent comprendre également tous les fusibles de protection qui sont installés sur des plaquettes de montage à l'intérieur de l'appareil !!

Les instruments électroniques sont souvent livrés avec un dispositif de changement de la tension d'alimentation. Cependant certains types d'équipement tels que voltmètres digitaux, enregistreurs et alimentations stabilisées peuvent ne pas fonctionner correctement s'ils ne sont pas conçus spécialement pour la fréquence locale d'alimentation du réseau (50 ou 60 Hz). Dans ces cas il est nécessaire de spécifier et de souligner la fréquence lors de la commande.

Certains types d'équipement peuvent inclure des piles sèches d'un type qui n'est pas courant dans le pays destinataire.

Nous avons rappelé ces points dans les spécifications pour certains types d'équipement.

EQUIPEMENT D'ETALONNAGE EN COURANT CONTINU D'UN  
LABORATOIRE LOCAL

E 1 Enceinte portable thermostatée étalon de tension comportant quatre piles Weston spécialement sélectionnées du type saturé et mécaniquement réversible. L'enceinte doit être munie d'une alimentation interne de réserve à accumulateur fonctionnant pendant au moins 48 heures en l'absence d'alimentation de la tension du réseau, La température du thermostat doit être réglée à 32 °C et cette température doit pouvoir être mesurée au moyen de deux méthodes indépendantes ayant une résolution de 0,01 °C.

E2 Détecteur de zéro pour l'utilisation avec ponts et potentiomètres

avec étendues de mesure de  $\pm 500$  mV à  $\pm 10$   $\mu$ V ou valeurs approchantes. Le détecteur doit supporter des surcharges d'entrée jusqu'à 100 V et avoir une sensibilité maximale d'au moins 0,1 / $\mu$ V par division pour une résistance de la source d'entrée de 5 kohm (minimum 1 $\mu$ V pour une résistance de source de 50 kohm). L'instrument doit être conçu pour fonctionner sur une alimentation du réseau de ... V ... Hz ou sur des piles normalisées de type courant CEI R 14 ou R 20).

E 3 Diviseur de tension convenant à la vérification rapide des alimentations stabilisées étalonnées en tension continue par comparaison à une pile Weston. Exactitude et stabilité à long terme égale ou meilleure que 0,01 %. Résistance maximale 1 kohm/V. La tension nominale de sortie doit être de 1 V pour les tensions d'entrée suivantes : 1000, 500, 200, 100 et 50 V . (Un diviseur commutable prévu pour une tension de sortie de 1,5 V et ayant les étendues d'entrée de 1500, 750, 300, 150 et 75 V donnera également les rapports de division souhaités).

Pupitre d'étalonnage d'instruments en courant continu

Les postes E4 à E il ci-dessous destinés à l'étalonnage d'instruments à cadre mobile ou à fer mobile aussi bien que des instruments digitaux, doivent probablement être achetés séparément et installés sur un pupitre ou sur des tables roulantes appropriées en tenant compte des exigences de la sécurité humaine. Cet équipement sera plus fréquemment utilisé que les instruments E 1 à E 3 et E 12, E 13 qui eux sont surtout destinés à l'étalonnage des instruments incorporés dans le pupitre.

E4 Source de tension de précision pour étalonnages, modèle à six décades avec étendues de réglages typiques de 0-1100 V, 0-110 V, 0-1,1 V, courant de sortie minimal de 50 mA sur les étendues de 1100 et 110 V de façon à permettre l'étalonnage d'instruments à fer mobile ou électrodynamométriques. Exactitude et stabilité de la tension de sortie mieux que 0,005 %. Toutes les étendues doivent être ajustables à l'aide d'un équipement extérieur comportant un diviseur de tension et un potentiomètre compensateur de mesure.

E5 Voltmètre digital pour mesures très précises de tensions continues, 5 digits (ou plus), étendues de mesure 1100, 110, 11, 1,1 et 0,11 V. Linéarité et exactitude  $\pm 0,005$  Te garanties pendant six mois. Le voltmètre doit être protégé contre des surtensions et équipé pour ajustage de l'étalonnage en utilisant simplement une pile Weston extérieure (ou un potentiomètre ou autre source de tension) sans nécessité d'autres équipements spécialisés.

Choix de commutation automatique et manuelle des étendues de mesure. Sortie isolée de la terre pour branchement d'imprimante digitale. Doit de préférence être livré avec un dispositif de mesure de résistances de 100 ohm à 10 megohm (étendues de mesure) avec une exactitude de 0,01 % sur les étendues les plus faibles. Tension d'alimentation ... V ... Hz.

E6 Si nécessaire (pour faciliter les étalonnages) :

Imprimante digitale prévue pour branchement sur le voltmètre digital poste E 5 comportant une commande manuelle et automatique de l'impression. Egalement : fourniture de 100 rouleaux de papier et 10 rubans d'encrage. L'imprimante doit être livrée avec tous câbles de connexion nécessaires y compris un câble de commande de 1,5 à 2 m comportant un connecteur s'adaptant sur le voltmètre digital poste E 5 .

E7 Source d'étalonnage de courant ayant des étendues de réglage de 100  $\mu$ A à 20 A, résolution  $10^{-5}$  au mieux. Stabilité et exactitude en général minimum 0,01 %,• 0,1 % sur l'étendue la plus élevée. (Peut éventuellement être combinée avec l'instrument da poste E4).

E8 Boite de shunt à quatre terminaisons pour courant continu.

Commutation de courants par fiches. Etendues de mesure de 100  $\mu$ A à 10 A pouvant être augmentées à 100 A (par shunt séparé), exactitude minimale 0,01 %, sur l'étendue 100 A : 0,05 %.

E 9 Alimentation stabilisée en courant pourvue d'un réglage très fin

du courant et utilisable comme source pour l'étalonnage d'ampèremètres et de shunts. Sortie variable de 1 à 100 A. Tension de sortie maximale de 8 V. Stabilité du courant de sortie de 0,02 % au mieux. Pour branchement sur ... V ... Hz monophasé.

E 10 Boite (ou jeu de boites) de résistances à décades, destinée à l'étalonnage d'ohmmètres analogiques ou digitaux ainsi que des ponts de résistance de précision moyenne. La boite (ou les boites) doit avoir des bornes de connexion ayant un très faible couple thermoélectrique par rapport au cuivre. Exactitude et stabilité à long terme dans les gammes médianes (10 ohm à 100 kohm) : 0,01 % ou mieux. Etendue de réglage de la boite (ou des boites connectées en séries) : 10 x ( 1, 10, 100 ohm, 1, 10, 100 kohm, 1 Mohm ) .

- E 11 Jeu de résistances étalons à quatre terminaisons convenant à l'utilisation soit dans l'air, soit dans un bain d'huile, exactitude de l'ajustage 0,005 % ou mieux, comportant les valeurs suivantes :

<u>Résistance nominale</u>	<u>Courant maximal</u>
100 ohm	0,1 A dans l'air
10	0,3 "
1	1 "
0,1	3 "
0,01	30 "
0,001	300 "

- E 12 Jeu de résistances étalons à deux (ou quatre) terminaisons ayant un très faible coefficient de température (inférieur à  $5 \cdot 10^{-6}/K$ ). Exactitude d'ajustement et stabilité sur une année : 0,005 % ou mieux. Valeurs : 1 Mohm, 100 kohm, 10 kohm, 1 kohm.

- E 13 Combinaison de pont de Wheatstone et de Kelvin pour mesures de

résistances avec une exactitude d'au minimum 0,01 % (sur les gammes médianes).

Utilisable avec résistances étalons extérieures. L'ensemble doit être livré complet avec un détecteur de zéro fonctionnant sur piles sèches d'un type courant (CEI type R 14 ou R 20).

Etendues de mesure :

Wheatstone (à deux connexions) 1 ohm à 100 Mohm Kelvin (à quatre connexions)  
 $10^{-5}$  à 100 ohm.

Ref  
BIML

Description

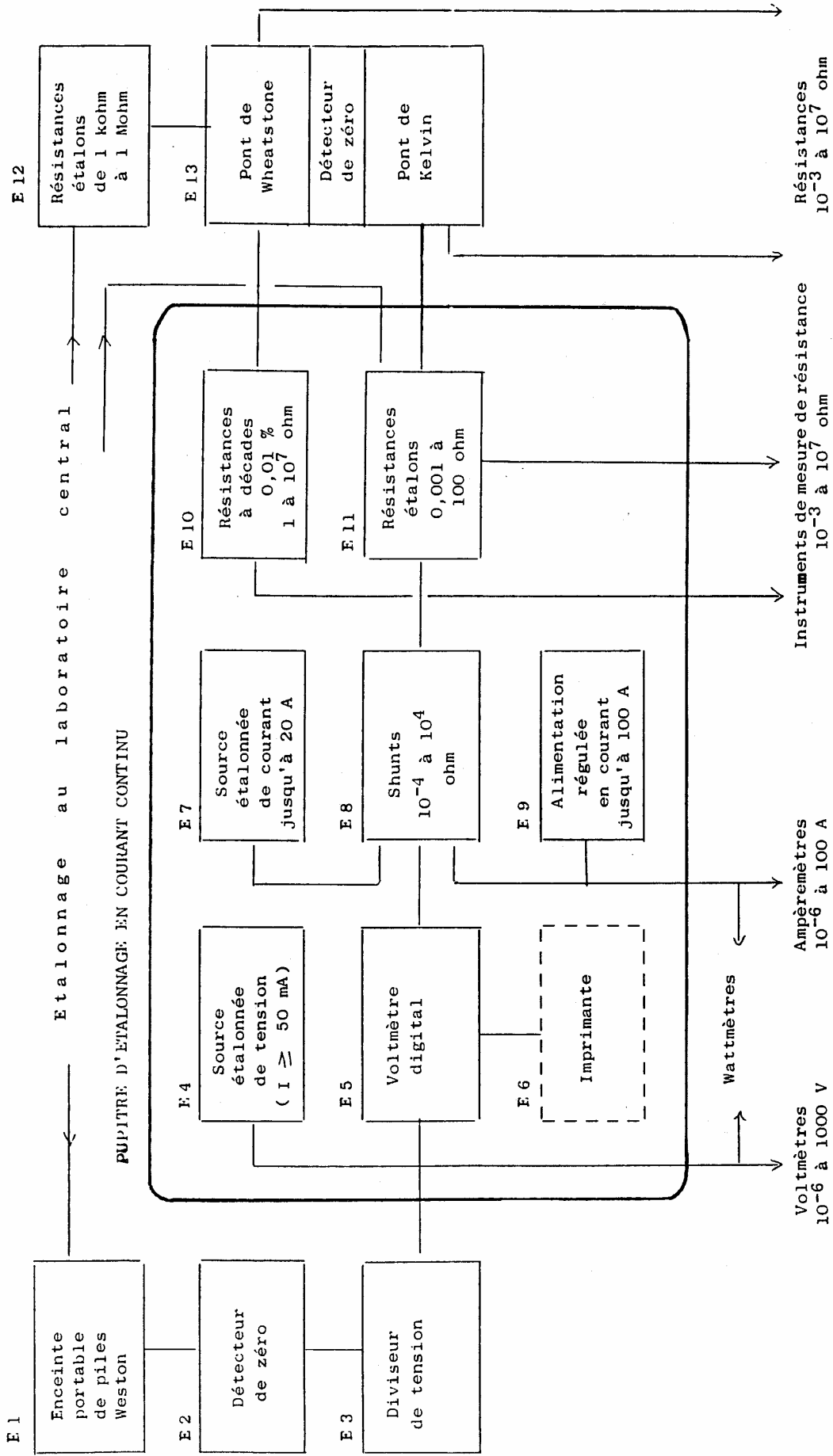
## EQUIPEMENT D'ETALONNAGE EN COURANT ALTERNATIF D'UN LABORATOIRE LOCAL

Le pupitre d'étalonnage en courant alternatif composé des instruments E 14 à E 21 est typiquement utilisé dans des laboratoires locaux d'étalonnage ou dans des usines etc. Il peut probablement être acquis en forme d'une unité complète ou assemblée à partir d'instruments achetés séparément. Dans ce cas il est conseillé de ne pas utiliser du fer ou des matériaux magnétiques dans les meubles et d'installer les alimentations qui contiennent des transformateurs aussi loin que praticable de l'endroit où se trouvent les étalons ou les instruments à étalonner. Le schéma synoptique indique l'utilisation d'un déphaseur qui peut ne pas être nécessaire si l'on n'envisage pas de vérifier des instruments tels que cosphimètres ou Var-mètres. Malheureusement on ne trouve plus qu'avec difficulté des instruments analogiques pour courant alternatif, de la classe 0,1, pouvant être étalonnés en courant continu. Ces instruments représentent cependant un moyen très simple et fiable pour le transfert du courant continu.

- E 14 Déphaseur, capacité énergétique 1,5 kW. Cet appareil consiste en général en un ensemble assimilable à un moteur à trois phases dont le rotor est bloqué par un dispositif à engrenages. La tension induite dans le rotor dépend de la position angulaire de celui-ci. Ce dispositif peut, avec quelques difficultés, probablement être livré par un constructeur spécialisé dans la fourniture de moteurs ou de transformateurs variables. Il faut spécifier la tension du réseau triphasé ainsi que la fréquence,
- E 15 Deux alimentations stabilisées de tension alternatif (monophasé), capacité 1 kW à régulation électronique, stabilité de la tension de sortie  $\pm 0,05$  % pour une variation de  $\pm 10$  % de la tension du réseau. Les tensions nominales de sortie et d'entrée doivent être égales à la tension du réseau ... V ... Hz (ces alimentations doivent s'adapter sur la sortie du déphaseur du poste E 14 ).
- E 16 Alimentation variable de tension alternative avec entrée connectable à une alimentation stabilisée de tension ... V ... Hz, comportant un ensemble de transformateurs fixes et variables permettant le réglage de la tension avec une résolution meilleure que 0,01 %. La sortie doit être entièrement isolée par l'utilisation d'un transformateur ayant un bobinage écran connecté à la terre. La tension de sortie minimale doit être de l'ordre de 10 mV et la tension la plus élevée de l'ordre de 750 V. Le courant de sortie doit pouvoir atteindre au minimum 200 mA.
- E17 Alimentation variable de courant alternatif avec entrée connectable à une alimentation stabilisée de tension ... V ... Hz, puissance maximum 1 kW, comportant un ensemble de transformateurs (et résistances) fixes et variables permettant le réglage du courant de sortie avec une résolution de 0,01 %. Les connections de sortie doivent être entièrement isolées de la terre. Le courant de sortie minimal doit être de 20  $\mu$ A et le courant maximal 200 A. La tension de sortie doit être au minimum 3 V à 200 A.

- E 18 Un (ou plusieurs) voltmètres de classe 0,1 pour courant continu et courant alternatif, couvrant les étendues de mesure de 3 V à 600 V, consommation de courant maximum 50 mA. De préférence muni de lecture à spot lumineux. Doit être livré avec transformateur pour la lampe et ampoules de rechange.  
Ce type de voltmètre doit être d'un type de construction (à fer mobile ou électrodynamique) tel que son étalonnage soit identique en courant continu et en courant alternatif dans la gamme de fréquences de 45 à 65 Hz.
- E 19 Wattmètre pour courant continu et courant alternatif type électro-dynamométrique, classe 0,1 à large échelle et à spot lumineux ayant un étalonnage identique en courant continu et en courant alternatif dans la gamme de 45 à 65 Hz, comportant au minimum 3 branchements de tension de façon à couvrir les étendues suivantes :
- 75 à 150 V  
150 à 300 V  
300 à 600 V
- Connexion du courant : 5 A, Doit être fourni avec transformateur pour la lampe et des ampoules de rechange.
- E 20 Transformateur de mesure de courant classe 0,02 comportant au primaire des étendues commutables de 0,1 à 50 A, courant de sortie 5 A (convenant au branchement d'un ampèremètre de la classe 0,1 et d'un wattmètre de la classe 0,1 en série).
- Si nécessaire : également un transformateur classe 0,05 pour 200 A au primaire et 5 A au secondaire, minimum 25 VA.
- E 21 Ampèremètre de référence classe 0,1 à courant continu et courant alternatif à échelle large et à spot lumineux, étendue de mesure 5 A. L'étalonnage doit être identique en courant continu et courant alternatif dans la gamme de fréquences de 45 à 65 Hz.
- E 22 Compteur électronique universel pour la mesure de périodes, fréquences et comptage d'impulsions comportant un oscillateur incorporé à quartz, exactitude minimum  $10^{-6}$ . Ce compteur sera utilisé pour des mesures de périodes dans la gamme de fréquences de 10 Hz à 20 kHz utilisant un dispositif d'échantillonnage à cadence réglable. Il sera également utilisé pour indication directe de fréquences dans la gamme de 10 kHz à 10 MHz (ou plus). Le niveau de déclenchement du comptage doit être réglable à partir de 0,1 V de tension d'entrée. L'atténuateur de la tension d'entrée doit être prévu pour des tensions allant jusqu'à 300 V. Il doit également être possible d'employer cet instrument comme compteur d'impulsion en utilisant deux entrées séparées pour les impulsions de départ et d'arrêt. Une sortie doit être prévue pour la fréquence de l'oscillateur. Le compteur doit de préférence également être pourvu d'une sortie BCD pour branchement de la même imprimante que celle du poste E 6 de façon à permettre par exemple des contrôles de la fréquence du réseau d'alimentation.
- E 23 Compteur d'énergie électrique étalon secondaire, classe 0,2 (ou mieux), convenant à la vérification des compteurs domestiques monophasés ou triphasés.  
Remarques : Les tensions et système du réseau (étoile ou delta) ainsi que la fréquence doivent être spécifiés selon les conditions locales.  
Comme les circuits de courant et de tension peuvent être séparés, il doit être possible de vérifier ce compteur à un wattmètre et (par conséquent à des étalons de courant continu) en utilisant le pupitre d'étalonnage en courant alternatif pourvu que la stabilisation de la tension et du courant soit satisfaisante.

Les conceptions récentes de compteurs étalons sont fréquemment du type électronique, cependant le type électromécanique convient dans la plupart des cas. Il convient de préciser, lors de la commande, que la construction de l'instrument doit être telle qu'une vérification de l'étalonnage de l'instrument en branchement monophasé doit également être valable pour le branchement en triphasé de façon à simplifier des contrôles périodiques.

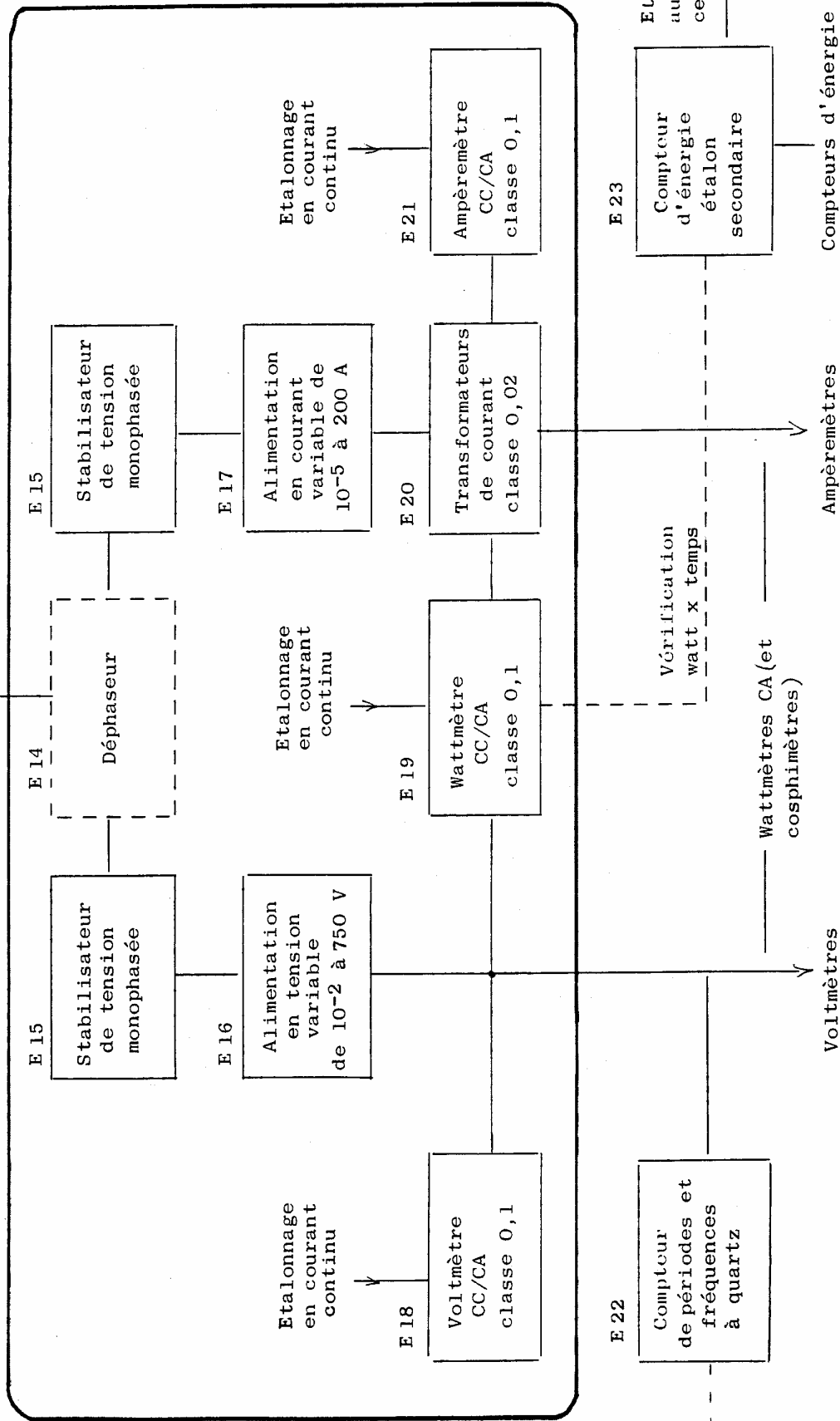


EQUIPEMENT D'ETALONNAGE EN COURANT CONTINU D'UN LABORATOIRE LOCAL



PUPIÈRE D'ÉTALONNAGE EN COURANT ALTERNATIF

Alimentation provenant du réseau triphasé



EQUIPEMENT D'ÉTALONNAGE EN COURANT ALTERNATIF D'UN LABORATOIRE LOCAL

## EQUIPEMENT D'ETALONNAGE EN COURANT CONTINU D'UN LABORATOIRE CENTRAL

Ref	Description
E 101	(Cet instrument est identique au poste E 1 du schéma pour un laboratoire local).
E 102	<p>Groupe national de référence de force électromotrice comportant</p> <p>10 (ou plus) piles Weston du type saturé et mécaniquement réversible enfermées dans une enceinte à air thermostaté pouvant être connecté à la tension de ... V ... Hz et branché sur accumulateur de 12 V à l'aide d'un dispositif de changement automatique en cas d'interruption du courant.</p> <p>L'enceinte doit de préférence être munie de deux dispositifs indépendants de mesure de la température, l'un comportant par exemple d'une part un pont à thermistance ayant une résolution de 0,005 K et d'autre part un capteur sélectionné type Pt 100 de modèle miniature robuste pour branchement sur un pont de résistance (extérieur). (Ce dernier capteur doit de préférence être amovible de l'enceinte pour vérification de la résistance du point de glace). Les piles Weston doivent seulement être certifiées en usine. Le thermostat doit être réglé à 32 °C et avoir une stabilité de 0,01 K.</p>
E 103	<p>Ensemble de potentiomètre de mesure comportant un potentiomètre à six décades, un détecteur de zéro de sensibilité 0,01 <math>\mu</math>V et une alimentation stabilisée de courant.</p> <p>Etendues de mesure :</p> <p style="padding-left: 40px;">0 à 1,6 (ou 2) V, résolution 1 <math>\mu</math>V 0 à 0,16 (ou 0,2) V, résolution 0,1 <math>\mu</math>V 0 à 16 (ou 20) mV, " 0,01 <math>\mu</math>V</p> <p>L'ensemble doit être fourni sans pile étalon (on utilisera comme source-étalon extérieure par exemple l'enceinte E101). Le branchement d'entrée du potentiomètre doit être du type flottant permettant de lier soit le pôle positif, soit le pôle négatif à la masse. De préférence équipé de deux entrées de tension commutables. La résistance interne du potentiomètre ne doit en aucun cas dépasser 5 kohm et son exactitude et sa linéarité doivent être ajustées à 0,001 % ou mieux. Le potentiomètre doit être prévu pour l'utilisation des moyens très simples pour l'étalonnage ou l'ajustage de la linéarité.</p> <p>Le détecteur de zéro doit également être utilisable au besoin avec d'autres instruments.</p>
E 104	<p>Diviseur de tension, comportant des dispositifs permettant l'étalonnage des rapports et ayant une tension de sortie de 1 V (ou 1,5 V) pour des tensions d'entrée allant jusqu'à 1500 V et réparties de façon à inclure au moins les tensions suivantes : 150, 300, 400, 600 et 750 V ou valeurs approchantes. La stabilité annuelle d'étalonnage doit être de <math>10^{-5}</math> en valeur relative. Les connections au-dessus de 100 V doivent être équipées d'anneaux de garde. (Ce diviseur doit si possible être ajustable en utilisant les instruments E 4 et le détecteur de zéro de E 103).</p>
E 105	<p>Diviseur résistif de haute tension, tension de sortie nominale 1 V</p> <p>pour une tension d'entrée de 30 kV (courant compris entre 0,1 et 1 mA) Ce diviseur doit être muni d'un dispositif à anneaux de garde et être construit de façon à respecter les conditions essentielles pour la sécurité humaine. L'exactitude doit être de 0,1 % à pleine tension.</p>

(Ce diviseur est de préférence utilisé simultanément avec un voltmètre électrostatique servant de moniteur mais dont l'exactitude requise n'est que de  $\pm 3\%$ ).

#### Pupitre d'étalonnage en courant continu

Cette partie comprend les mêmes instruments E4 à E11 décrits plus haut pour le laboratoire local.

E 106 Ces instruments doivent être choisis en fonction de l'équipement nécessaire pour l'étalonnage du pont de résistance, voir poste E109.

a. Dans leur forme la plus simple ils comportent une série de résistances étalons similaires au poste E 12 mais ayant une exactitude et une stabilité annuelle d'au minimum  $2 \cdot 10^{-5}$ .

b. En plus, si l'on désire une exactitude très élevée, on peut conseiller l'utilisation de boîtes de résistance spéciales de multiplication ayant des prises individuelles comme suit :

Rapport de multiplication	Résistances individuelles	Type de boîte
1 à 100 ohm	11 x 10 ohm	Résistances à quatre connecteurs pour branchement série et parallèle selon Hamon
0,1 à 10 kohm	11 x 1 kohm	- " -
1 à 100 kohm	11 x 10 kohm	- " -
0,1 à 1 Mohm	10 x 100 kohm	Résistances à deux connecteurs, branchement en série
1 à 10 Mohm	10 x 1 Mohm	- " -
10 à 100 Mohm	10 x 10 Mohm	- " -

E 107 Résistances-étalons nationales comportant

a. 1 résistance-étalon à quatre connections, comportant un fil de manganin spécialement vieilli et protégé hermétiquement, valeur 1 ohm, stabilité de la résistance  $1 \cdot 10^{-6}$  par an pour l'utilisation dans un bain d'huile avec une dissipation de 100 mW. Cet étalon doit être muni d'un certificat d'étalonnage du BIPM.

b. 1 (ou 2) résistance-étalon à quatre connections, valeur nominale 10 kohm, comportant un fil vieilli en alliage ayant un très faible coefficient de température, stabilité  $10^{-6}$  par an ou mieux, ajustée à 23 °C et incluse dans une boîte transportable pour l'utilisation dans l'air. Cet étalon doit être muni d'un certificat d'étalonnage du BIPM.

Note : La première résistance-étalon permet d'effectuer l'étalonnage de la partie à basse résistance de l'ensemble de ponts de mesure et la seconde l'étalonnage de la partie à haute résistance, voir poste E109.

Les postes E 106 a. et b. permettent l'intercomparaison de ces deux étalons, ce qui peut donner une certaine garantie aux mesures.

E 108 Megohmmètre ou teraohmmètre de référence pour utilisation entre  $10^6$  et  $10^{15}$  ohm dans le but de l'étalonnage d'autres instruments de mesure de résistance d'isolement, etc. L'exactitude doit être d'au minimum 1 % entre  $10^6$  et  $10^{12}$  ohm. L'instrument doit comporter une source de tension stabilisée ayant une tension continue commutable jusqu'à 500 V (valeur normalisée). Il doit également être fourni avec une série de résistances stables prévues pour 500 V et ayant des valeurs comprises entre  $10^8$  et  $10^{12}$  ohm.

E 109 Ensemble de ponts ou comparateurs de résistances de grande précision fonctionnant en courant continu, résolution  $10^{-6}$  en valeur relative, complet avec détecteur de zéro. Etendues de mesure :

100 ohm à 100 Mohm branchement à deux conducteurs

$10^{-6}$  à 1 kohm branchement à quatre conducteurs.

L'exactitude sur la comparaison de deux résistances en rapport 1 : 10 doit généralement être meilleure que  $10^{-5}$  ou 10 microohm selon le cas.

Note : Cet ensemble peut être une combinaison d'un pont de Wheatstone et d'un point de Kelvin ou un pont spécial basé sur le principe du comparateur de courant magnétique en utilisant des moyens appropriés pour l'extension des étendues de mesure et pour l'étalonnage en utilisant les résistances décrites au poste E 106.

E 110 Bain d'huile pour étalonnages de résistances avec système de réfrigération incorporé pour fonctionnement entre 0 ° et 60 °C à la température ambiante extérieure de 23 °C. Contrôle de la température par capteur à résistance (Pt 100 ou thermistance), température réglable à  $\pm 0,01$  °C. Stabilité à long terme  $\pm 0,02$  °C. Place disponible dans le bain 40 x 60 cm, profondeur 20 cm. Ce bain doit être livré avec 5 charges d'une huile isolante spécialement prévue.

## **EQUIPEMENT D'ETALONNAGE EN COURANT ALTERNATIF D'UN LABORATOIRE CENTRAL**

- E 111 Voltmètre de transfert de courant alternatif à courant continu,  
étendue de mesure 0,5 à 1000 V, 5 Hz à 500 kHz, exactitude 0,01 % dans la région de 5 Hz à 20 kHz. Equipé de détecteur de zéro pour fonctionnement sur une tension de réseau de ... V, ... Hz et prévu pour branchement de shunts pour mesures de courant utilisant un commutateur spécial, voir poste E 112 .
- E112 Jeu de shunts pour courant alternatif et courant continu convenant à l'utilisation avec poste E 111. Etendues de mesures de 1 mA à 20 A.
- E113 Voir description au poste E 22 .
- E 114 Générateur biphasé à fréquence variable de 1 à 100 000 Hz ou plus, tension de sortie minimale 3 V (sur maximum 600 ohm), variable de façon continue. Deux sorties à phase variable jusqu'à 360°. Sortie sinusoïdale à très faible distorsion. Stabilité de la tension de sortie 0,02 %.
- E 115 Source étalonnée de tension alternative, gamme de fréquences 40 à 500 Hz (minimum) du type amplificateur stabilisé à oscillateur incorporé mais également prévu pour connexion à un oscillateur externe. Stabilité de la tension de sortie 0,02 %. Six étendues de réglage de la tension de 1 mV à 1000 V, chacune ayant une résolution de réglage de 0,01 % au minimum. Puissance de sortie 50 VA (sur les étendues les plus élevées. Doit être livrée avec accessoires et pièces de rechange pour fonctionnement sur ... V ... Hz.
- E 116 Source étalonnée de courant alternatif, variable de 1 mA à 50 A, gamme de fréquence 40 à 500 Hz (ou plus), résolution des réglages 0,01 %, stabilité du courant 0,02 %, prévue pour pilotage par un oscillateur externe. Puissance de sortie 40 VA au minimum (Cet appareil peut également être constitué par des transformateurs connectés à la source de tension décrite au poste E115).
- E 117 Wattmètre de précision, étendues de tension 100, 250 et 500 V, étendue de courant 5 A, convenant au transfert de l'étalonnage en puissance du courant alternatif au courant continu. Résolution minimum 0,05 % à 50 Hz. Du type électrodynamométrique ou électronique à déviation de spot lumineux ou à compensation. (Si l'on ne trouve pas ce type de wattmètre, on peut utiliser un wattmètre à spot lumineux de la classe 0,1, voir poste E 19) .
- E118 (Ce transformateur de courant est identique du point de vue spécifications à celui du poste E 20 pour un laboratoire local).
- E 119 Installation d'étalonnage de compteurs d'énergie électrique monophasés à et triphasés pour des systèmes de réseau de .../... V, ... Hz  
à
- E 122 (ainsi que pour des compteurs utilisés avec transformateur, de tension ayant au secondaire 100 V ou 110 V). L'installation sera utilisée pour des essais de modèle et des vérifications d'étalonnage par échantillonnage.

L'installation doit également convenir à l'étalonnage des compteurs portables du type étalons de travail et comprendre la fourniture de

- étalon électronique, exactitude 0,05 %
- pupitre de commande comprenant circuits d'alimentation en tension et en courant jusqu'à 200 A ainsi qu'un déphaseur gradué
- compteur d'impulsions branché sur l'étalon électronique et dont le départ et l'arrêt sont commandés par une tête photoélectrique installée devant le compteur d'énergie à étalonner
- banc d'essai pour montage d'au moins 10 compteurs d'énergie.

Si nécessaire également :

Dispositifs additionnels et étalon pour vérification de compteurs d'énergie réactive.

Important : L'étalon électronique doit avoir des connections telles qu'il peut être vérifié par rapport à des autres étalons en utilisant par exemple un wattmètre de transfert (wattmètre qui peut être étalonné en courant continu). Il doit également être possible de connecter les circuits d'alimentation de l'étalon électronique à un stabilisateur de tension monophasé afin de pouvoir utiliser la méthode d'intégration "Watt x temps".

En plus l'équipement à acquérir doit comporter au moins un compteur portable d'énergie type étalon secondaire ainsi qu'un compteur portable d'énergie réactive.

E 123 Ensemble d'étalonnage de transformateurs de mesure de courant pour la fréquence

de ... Hz comportant •£127 ~ circuits d'alimentation en courant

- transformateur étalon ou comparateur de courant fourni avec certificat d'un laboratoire national de métrologie
- circuits de mesure à compensation de rapport et de phase
- détecteur de zéro à composantes réelle et quadratique
- charges de référence normalisées selon les recommandations de la Commission Internationale Electrotechnique (CEI).

Les étendues de	courant doivent être
primaire :	0,1 à 4000 A (ou minimum 2000 A)
secondaire :	5 (et 1) A

L'exactitude des mesures doit être au minimum 0,01 % pour les rapports et au minimum 1 minute pour les écarts de phase.

Si nécessaire :

E 128 Installation d'étalonnage et d'essai de transformateurs de mesure à de tension ayant des tensions au  
à primaire jusqu'à 22 (ou 35) kV<sub>E</sub> et une tension au secondaire de 100 V (et 110 V si nécessaire),  
132 fréquence ... Hz.

Cet équipement comporte généralement

- une alimentation de tension variable
- un transformateur de tension étalon ayant des prises selon besoins et étalonné dans un laboratoire national étranger ou en alternative : une capacité étalon à haute tension
- des circuits de mesure par compensation de rapport et de phase, ou dans le cas de l'alternative comportant des mesures à capacité : un pont comparateur de courant ou un pont de Schering
- détecteur de zéro à oscilloscope (composantes réelle et quadratique)
- charge de référence selon CEI correspondant au transformateur à étalonner.

Cet équipement doit être installé dans une halle prévue pour des essais à haute tension et doit de préférence être combiné avec une installation pour essais d'isolement électrique à des tensions bien plus élevées telles que nécessaire pour l'essai de modèle de transformateurs de mesure de tension aussi bien que pour certains transformateurs de mesure de courant.

Comme un tel équipement, selon la puissance disponible, peut également être utilisé pour des essais sur des câbles, isolateurs, capacités, etc., il est conseillé d'étudier les problèmes et nécessités afférentes à l'acquisition avec les organisations de distribution d'électricité et d'autres experts afin d'éviter des duplications inutiles et coûteuses.

- E 133 Enceinte climatisée pour l'essai d'influence de la température et de l'humidité sur des compteurs d'énergie électrique et d'autres instruments électriques. Etendue de contrôle de la température - 20 à +80 °C, exactitude du réglage  $\pm 0,5$  °C, de l'humidité de 10 à 95 % (selon l'étendue de température mais au minimum entre 10 et 60 °C), exactitude de réglage d'humidité  $\pm 4$  %. Dimensions intérieures utiles de l'enceinte 0,5 x 0,5 x 0,5 m. L'enceinte doit être équipée de deux ouvertures (côté gauche), diamètre 30 mm ou plus, équipée de bouchons en matière isolante et permettant le passage de câbles de mesure et d'alimentation, fils de thermocouples etc.

L'enceinte doit être prévue pour l'alimentation par un réseau monophasé de ... V ... Hz.

#### Équipement d'étalonnage en capacitance, inductance et impédance

- E 201 L'équipement nécessaire pour un laboratoire central, à l'étalonnage à d'impédances en  
à basse fréquence est indiqué avec assez de détails dans le schéma synoptique  
E 206 correspondant où nous avons inclus seulement des instruments couramment disponibles sur le marché. A cet occasion nous devons rappeler qu'il est en général très peu fréquent d'étalonner des inductances. (On doit rappeler aux fabricants de détecteurs et amplificateurs associés aux ponts d'impédance que les piles sèches d'alimentation doivent être d'un type couramment disponible dans le pays).

#### Autre équipement généralement nécessaire

Le laboratoire central aura probablement aussi besoin de

- un oscillographe à deux faisceaux à mémoire (bande passant de 0 à 2 MHz, sensibilité 1 mV à 5 V/div)
- enregistreur graphique pour enregistrement des variations de la tension d'alimentation du réseau muni de moteur à ressort ou à accumulateur
- transformateurs variables
- alimentations stabilisées de courant alternatif et courant continu
- plusieurs centaines de câbles de connexion (10 A) avec fiches bananes du type moulé sur le câble (longueur 50, 100 et 150 cm)
- câbles d'interconnexion ayant des prises coaxiales type BNC

-résistances variables de ballasts, par exemple deux de chacune des valeurs suivantes :

0,1 ohm	100 A
1 ohm	30 A
10 ohm	10 A
25 ohm	6 A
50 ohm	4 A
250 ohm	250 V
1 kohm	500 V
5 kohm	500 V

- boîtes de résistances à décades pour courant continu et courant alternatif (ayant des connecteurs et commutateurs à faible force électromotrice), ajustées à 0,1 %, par exemple

4 de 10 x (0,1 à 1000 ohm)

4 de 10 x (10 à 100 000 ohm)

(Le courant et la tension maximum doivent être marqués sur chaque décade)

- deux (ou plus) multimètres pour courant continu et alternatif type analogique ou digital

- instruments CA/CC classe 0,5 à fer mobile comme par exemple

3 milliampèremètres jusqu'à 600 mA à quatre étendues de mesure

3 ampèremètres " 6 A "

3 voltmètres " 600 V "

- des shunts pour courant élevé (utilisés avec batteries d'accumulateurs) ayant une tension de sortie de 100 ou 30 mV, exactitude 0,1 %, étendues de mesure 30, 60, 150, 300, 750 et 1500 A

- un stock de composants électroniques tels que

20 de chaque valeur de résistances vitrifiées 10 W, exactitude 2 %

dans la série de valeurs E6 (CIE) de 1 ohm à 10 kohm

100 de chaque valeur de résistances à couche de carbone 1/2 W,

exactitude 2 %, dans la série de valeurs E6 (CIE) de 4,7 ohm à 10 Mohm

20 de chaque valeur de capacités à isolant mylar dans la série de valeurs E3 (CIE) de 100 pF à

2,2 uF bornes de connexion (30 et 100 A), pinces crocodile et pinces de batterie, récepteurs femelle à banane, fils de connexion, matériaux de soudure

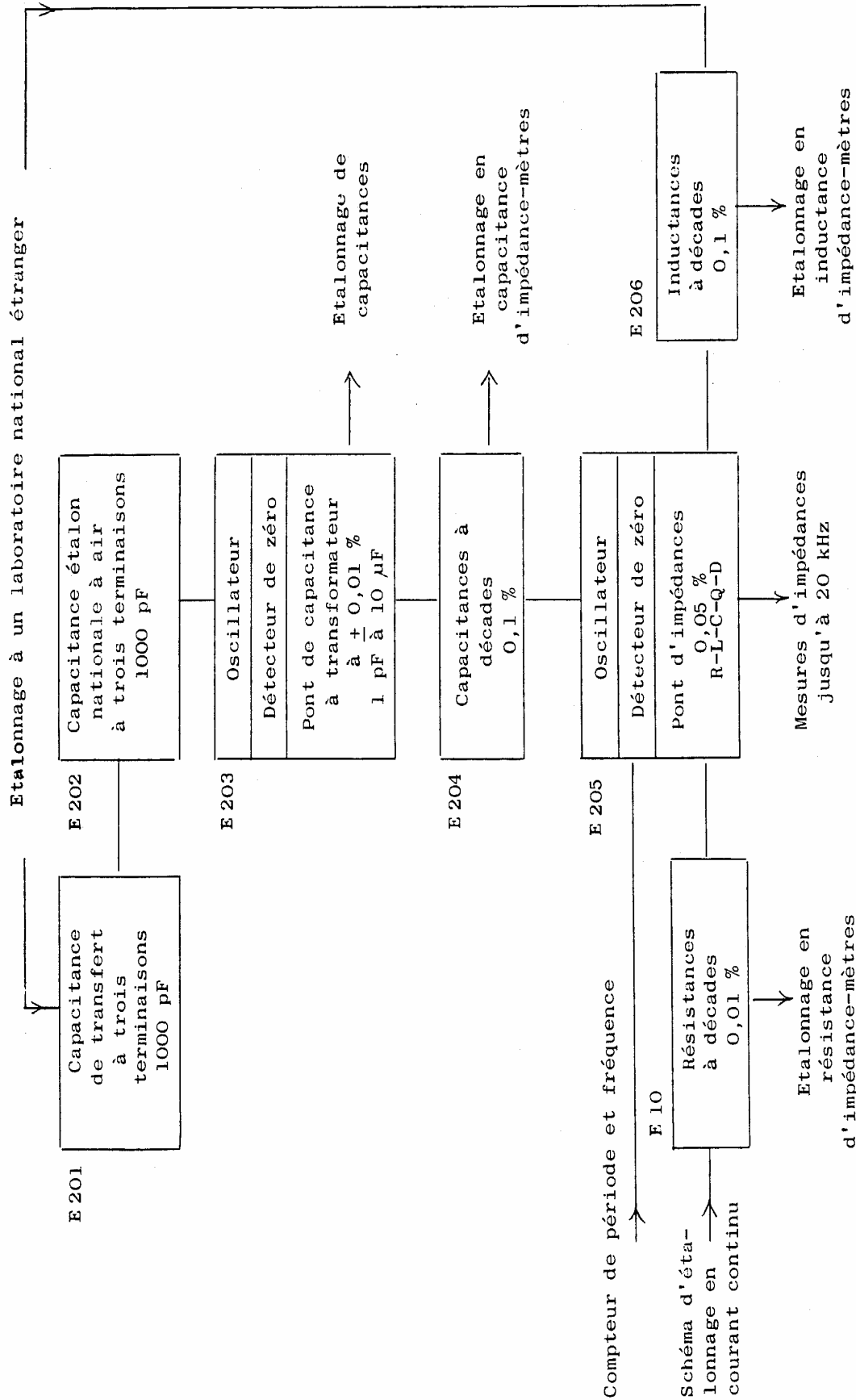
- boîtes d'outils

etc.

D'autres équipements peuvent être utilisés en commun avec le laboratoire de thermométrie ou sinon commandés en commun avec ce laboratoire, tels que commutateurs pour thermocouples (qui peuvent aussi être utilisés pour commuter des piles étalons, circuits de mesure etc.) Ceci tient également pour des enregistreurs graphiques, thermocouples et thermomètres à mercure.

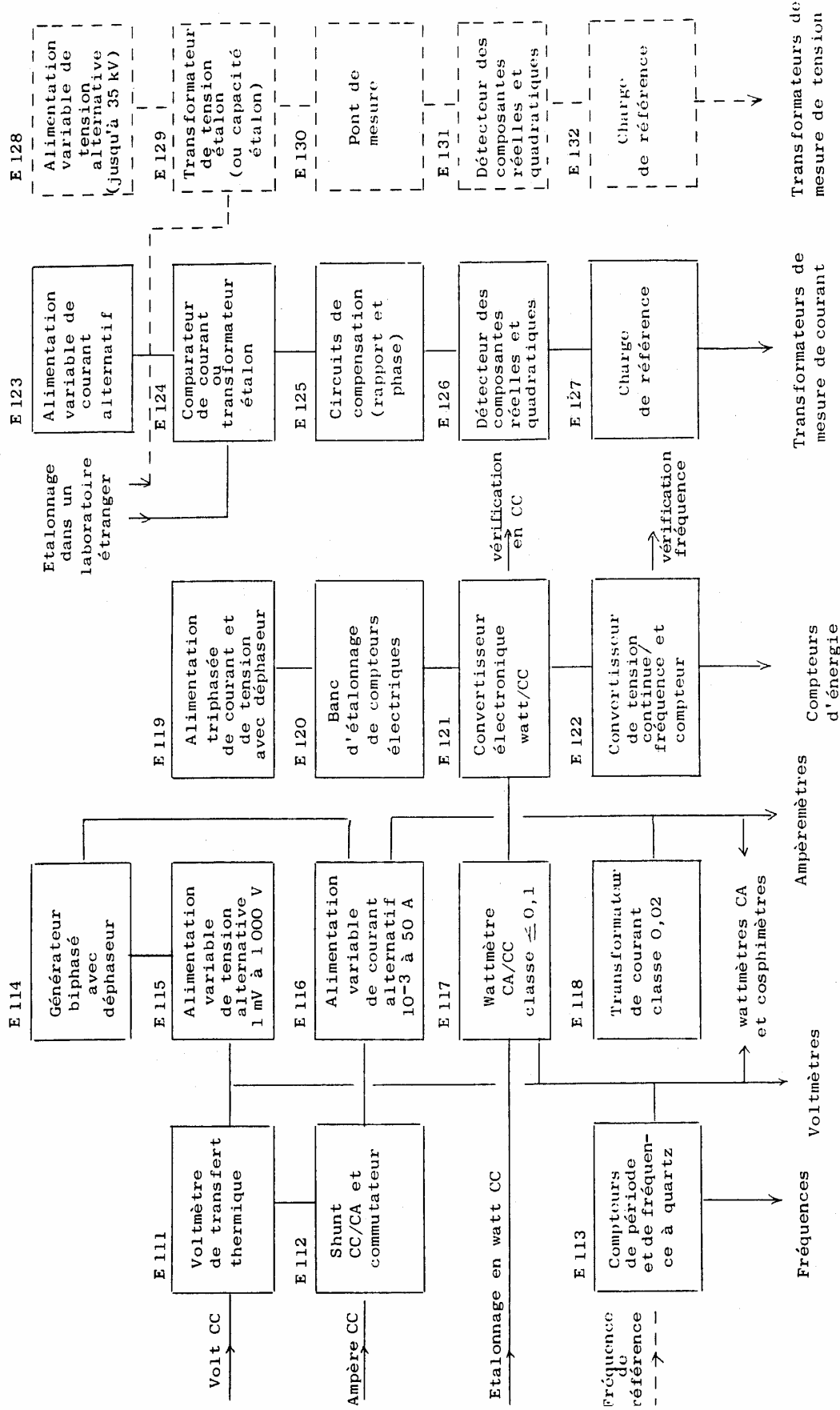


Etalonnage à un laboratoire national étranger



SCHEMA D'ETALONNAGES EN BASSE FREQUENCE DE CAPACITANCE, INDUCTANCE ET IMPEDANCE





EQUIPEMENT D'ETALONNAGE EN COURANT ALTERNATIF D'UN LABORATOIRE CENTRAL

## MESURAGE DE FREQUENCE ET DU TEMPS

Nous nous limitons sur ce chapitre à quelques remarques afin de clarifier les problèmes pratiques.

### FREQUENCE

Il faut d'abord préciser qu'il n'y a aujourd'hui pas de problème majeur pour un laboratoire central même relativement modeste à réaliser une très grande exactitude en ce qui concerne l'étalon de fréquence.

L'oscillateur incorporé dans le compteur de fréquences et périodes (voir le poste E 22 dans la liste d'équipements électriques) permet en général déjà d'atteindre une exactitude de 10 en valeur relative, la fréquence de sortie dépend des constructions mais elle peut être de 1,5 ou 10 MHz.

D'autres oscillateurs à quartz ayant une très faible dérive sont disponibles sur le marché, cependant si l'on désire atteindre une exactitude meilleure que  $10^{-6}$ , on constate souvent que l'équipement et la méthodologie d'étalonnage périodique de ces oscillateurs coûtent bien plus cher en temps et en argent que l'oscillateur et qu'il peut alors mieux convenir d'acquérir une version commerciale d'un oscillateur stabilisé par jet atomique de caesium qui, lui, assurera toujours une exactitude de  $10^{-11}$  par rapport à la définition de la seconde. Ces oscillateurs à caesium ne sont comparativement pas très coûteux mais le tube à jet atomique a une durée de vie limitée de 3 à 6 ans en fonctionnement ininterrompu.

### TEMPS

La conservation et la dissémination de l'échelle de temps posent des problèmes plus ardues, du moins si l'on exige une grande exactitude. Les signaux horaires reçus par certaines stations d'onde courte sont soumis à des variations dues aux conditions ionosphériques mais sont en général utilisables avec une exactitude mieux que 0,1 s.

Une très grande exactitude peut être obtenue en utilisant une horloge à caesium (oscillateur avec diviseur de fréquence et compteur incorporé) qui peut être étalonnée au Bureau International de l'Heure à Paris ou dans un autre observatoire et transportée par avion en état de marché à la destination. Cependant, d'autres horloges atomiques et équipements de synchronisation sont nécessaires de façon à assurer la continuité de l'échelle du temps en cas de panne de l'horloge principale. Ces dernières années il est aussi devenu possible de synchroniser des horloges atomiques sans les transporter en utilisant une émission par satellite nécessitant cependant une antenne et un récepteur spécial.

La dissémination des signaux horaires à l'utilisation locale est encore un autre problème dont la solution appropriée dépend des distances et des besoins d'exactitude. Encore une fois il est possible de transmettre des signaux horaires avec une exactitude meilleure que 0,1 s en utilisant les stations locales de radio. Un système utilisant les signaux de synchronisation de télévision permet d'atteindre une plus grande exactitude. Si l'on se limite à une diffusion d'étendue limitée à l'horizon, la modulation par des signaux horaires des émissions dans la gamme des VHF et UHF peut également donner une grande exactitude.

Un autre moyen pour relier le laboratoire central avec d'autres laboratoires dans le pays sans être gêné par des problèmes de variations de propagation, consiste à utiliser des petites horloges stabilisées par une raie d'absorption de rubidium, qui sont synchronisées au laboratoire central et facilement transportées aux divers points du pays. Ces horloges sont en général moins sujet à des dérives et des sauts de fréquence pendant le transport que ne le sont les horloges à quartz.

La dissémination de signaux horaires est sans doute un problème qui demande dans chaque cas une coopération entre les experts des différentes administrations concernées (radiodiffusion, télécommunications, navigation et industrie électronique).

Il peut aussi être instructif de consulter un ouvrage qui a été publié assez récemment :

Kartaschoff P.        - Frequency and Time  
                                 Académie Press, 1978.

## PHOTOMETRIE

La photométrie ne fait, sur le plan national, souvent pas partie de la métrologie légale bien que certains aspects comme par exemple l'éclairage minimal aux lieux de travail ou dans les rues peuvent faire partie des dispositions légales.

Dans bien des pays on vérifie par échantillonnage les lampes et en particulier les lampes incandescentes en vue d'un contrôle de la qualité imposé par le gouvernement ou dans le cadre de la protection des consommateurs,

Afin de compléter les listes d'équipement pour un service national de métrologie, nous avons par conséquent inclus une liste restreinte d'équipement photométrique surtout en vue de permettre l'essai de lampes en accord avec les recommandations de la Commission Electrotechnique Internationale (CEI) (en laissant toutefois de côté les aspects de sécurité électrique). Cet équipement peut plus tard être étendu à d'autres mesures optiques, telles que couleur, pouvoir de réflexion, etc. selon besoins.

Nous avons également dans le schéma synoptique indiqué la possibilité de vérifier des mesureurs d'illuminance (et luminance) en utilisant des lampes étalons d'intensité lumineuse. Cependant l'étalonnage complet de tels instruments doit normalement comprendre la détermination de leur réponse spectrale en utilisant un spectrophotomètre ou plus simplement des filtres à bande très étroite et un récepteur de comparaison ayant une réponse spectrale connue. Ces mesures et calculs quelque peu scientifiques débordent habituellement de la métrologie pratique. Cependant les illuminance-mètres (aussi appelés luxmètres) conservent en général leurs caractéristiques spectrales alors qu'ils peuvent montrer une dépendance de la température ambiante et des effets de fatigue qui résultent en une diminution de la réponse globale qu'il convient par conséquent de vérifier régulièrement. Il est pour cela utile de se procurer quelques lampes étalons d'intensité lumineuse et un support ajustable pour l'alignement du filament de ces lampes dans le plan vertical et en rotation. Ce support peut être monté sur un banc optique relativement simple de façon à permettre plus aisément les vérifications d'illuminance-mètres (et de luminance-mètres).

Si des illuminance-mètres (luxmètres) de précision sont procurés par le service de métrologie, ceux-ci doivent être certifiés en ce qui concerne leur réponse spectrale par un laboratoire national reconnu.

Afin d'éviter dans toute la mesure du possible l'influence des divergences de la réponse spectrale des récepteurs photoélectriques utilisés, il est préférable de choisir la température de couleur des lampes étalons de façon à approcher autant que possible celles des illuminants à mesurer.

Les lampes à filament pour éclairage domestique sont habituellement remplies de gaz et fonctionnent à une température de couleur supérieure à 2800 K. Les lampes incandescentes à vide ont une plus grande stabilité pour l'utilisation en tant qu'étalons mais leur température de couleur ne peut atteindre que 2400 K et leur rendement lumineux est bien inférieur.

Il convient de dire quelques mots au sujet de la sphère intégrante type Ulbricht et le photomètre qui doit y être joint. Les comparaisons de flux sont effectuées par substitutions successives entre la lampe étalon et la lampe dont on doit déterminer le flux. La caractéristique essentielle du récepteur photoélectrique est d'abord d'avoir une réponse spectrale aussi proche que possible de celle de la vision diurne de l'oeil humain ou plutôt de la courbe conventionnelle  $V_\gamma$  déterminée par la Commission Internationale d'Eclairage (CIE). En plus la réponse globale doit être linéaire sur toute l'étendue utile de mesure afin de permettre l'établissement des rapports corrects d'illuminance.

Les dimensions de la sphère d'Ulbricht doivent être choisies de façon à accommoder aisément des lampes fluorescentes. L'exactitude avec laquelle une lampe fluorescente peut être comparée à un étalon incandescent dépend en grande partie de l'adaptation des caractéristiques spectrales du récepteur à la courbe de  $V$  ainsi que de la sélectivité spectrale de la fenêtre de la sphère et de sa peinture externe.

#### Conseils concernant la peinture de la sphère d'Ulbricht

La peinture interne appliquée par les constructeurs de sphères intégrantes n'est que rarement conforme aux besoins pour l'étalonnage des lampes et en particulier des lampes fluorescentes. Il est pour cela, dans la plupart des cas, nécessaire de refaire la peinture sur place et de répéter cette opération tous les 2 à 3 ans selon les conditions qui prévalent en ce qui concerne l'humidité et la poussière.

Les calculs de l'influence spectrale montrent que si le coefficient de réflexion ne dépasse pas 87 %, l'effet des divergences de "blancheur" de la peinture peut être tenu dans des limites raisonnables. Si par contre le coefficient de réflexion est inférieur à environ 80 %, ceci peut ne pas suffire pour les lampes ayant une répartition géométrique très irrégulière.

Si l'intérieur de la sphère à la livraison montre des taches de corrosion, elle doit d'abord être nettoyée, poncée et repeinte avec une peinture blanche protégeant contre la corrosion. La peinture suivante peut ensuite être appliquée par pistolet à projection (selon les expériences du BIPM et plusieurs autres laboratoires):

Trois couches d'un mélange de 100 g  $\text{TiO}_2$ , 5g CMC, 500  $\text{cm}^3$   $\text{H}_2\text{O}$

(Ces couches très blanches doivent complètement couvrir la peinture du fond).

Deux couches de 100g  $\text{ZnO}$  (médicale), 5g CMC, 500 $\text{cm}^3$   $\text{H}_2\text{O}$

Trois couches de 100g  $\text{ZnO}$  (médicale), 3g CMC, 350 $\text{cm}^3$   $\text{H}_2\text{O}$

CMC = Carboxyméthylcellulose (un liant très courant).

On peut espérer que le coefficient de réflexion, après ce traitement, sera approximativement à l'intérieur des limites indiquées ci-dessus.

#### Remarques en ce qui concerne les priorités

Le hasard seulement veut que le schéma synoptique indiqué pour l'équipement commence par les étalons d'intensité lumineuse. Nous devons cependant souligner que la raison pour laquelle l'unité d'intensité lumineuse fait partie des unités de base du SI est plutôt d'ordre historique. Dans l'équipement nécessaire pour la photométrie, il faut comme cela a déjà été expliqué, reléguer l'équipement de mesure d'intensité lumineuse au second plan par rapport aux équipements de mesure de flux lumineux.

En troisième lieu, il convient de considérer l'acquisition d'équipement pour la mesure physique (objective) de couleurs qui demande un personnel bien entraîné en vue d'une interprétation correcte des résultats.

## Bibliographie concernant la photométrie et la colorimétrie

Peu de livres de photométrie physique sont toujours disponibles en librairie et les meilleures sources d'information sont probablement les diverses publications de la Commission Internationale de l'Eclairage qui peuvent être obtenues à l'adresse suivante :

Bureau Central de la CIE  
52 Bd Malesherbes  
75008 Paris  
France

Les publications suivantes de la CIE ont directement trait à des méthodes et équipements d'étalonnage :

CIE 16 (1970) International lighting vocabulary

CIE 18 (1970) Principles of light measurements (en anglais)

CIE 41 (1978) Light as true Visual quantity : principles of measurement

CIE 25 (1973) Procedures for the measurements of luminous flux of discharge lamps and for their calibration as working standards (en anglais)

CIE 13.2 (1974) Method of measuring and specifying colour rendering of light sources



Ref  
BIML

Description

R 1 Lampes étalons d'intensité lumineuse à remplissage de gaz, à haute stabilité et basse tension (moins de 50 V). Ces lampes doivent être employées avec une tension telle que leur température de couleur approche 2850 K.

Quantité :

10 (dont 5 doivent être choisies pour constituer le groupe étalon national)

Note : Alternativement ou en plus, on peut commander des lampes à vide du même type afin d'obtenir une plus grande stabilité mais ceci au détriment de l'intensité. La température de couleur doit alors être ajustée à 2350 K.

Toutes les lampes doivent être adressées au Bureau International des Poids et Mesures, 93210 Sèvres, France, pour formation et étalonnage. Elles seront ensuite transportées au destinataire en bagage accompagné à la main.

R2 Lampes étalons de travail d'intensité lumineuse (Ces lampes sont incluses dans le poste RI et comprennent les exemplaires qui n'ont pas été choisis pour constituer le groupe de référence national).

R 3 Alimentation stabilisée en tension et en courant continu, tension de sortie réglable de 0 à 50 V, courant maximal 30 A, permettant un réglage très fin de la tension, résolution 0,002 V ou approchant. Stabilité de la tension de sortie meilleure que 0,01 % pour une variation de la tension d'alimentation du réseau de 15 %. Prévu pour branchement sur ... V ... Hz monophasé. Doit être fourni avec fusibles de rechange et toutes les pièces détachées pouvant être consommées, telles que lampes de voyants, etc.

(L'acquisition doit porter sur 2 unités, la deuxième unité étant utilisée comme rechange en cas de panne de la première).

R4 Banc optique de précision moyenne comportant 3 supports mobiles, longueur du banc 4 (k 6) m, comportant une échelle à graduation métrique et convenant à la photométrie physique. Un des supports doit être prévu avec un support pour recevoir une lampe étalon d'intensité qui peut être incliné pour ajustement vertical et tourné afin de permettre l'alignement de la direction du plan du filament. Le support de la lampe doit accommoder le culot des lampes du poste R 1 et doit être muni de quatre sorties de courant de façon à permettre des mesures de la tension directement sur le culot.

Les deux autres supports mobiles doivent être munis de dispositifs pour le montage des grosses pièces optiques et permettre un ajustage vertical et rotationnel. Le banc doit en plus être fourni avec trois supports pour diaphragmes de grandes dimensions.

R 5 Alimentation stabilisée en tension continue réglable de 0 à 250 V, courant maximal 5 A et équipée d'un réglage très fin de la tension, résolution 0,01 V ou approchant. Stabilité de la tension meilleure que 0,01 % pour une variation de 15 % de la tension d'alimentation du réseau. Protégée contre court-circuits. Branchement sur ... V ... Hz monophasé. Doit être fournie avec fusibles de rechange et toutes pièces détachées consommables.

(L'acquisition doit porter sur 2 unités, la deuxième unité étant utilisée en cas de panne de la première).

R 6 Jeu de résistances étalons à quatre bornes et à refroidissement par air, précision d'ajustage  $\pm 0,01$  %, valeurs

0,001 ohm 50 A

0,01 ohm 10 A

0,1 ohm 3 A

(Ces résistances sont utilisées comme shunts pour la vérification des courants des lampes).

R7 Commutateur bipolaire à deux positions, isolation 1500 V continu, comportant des contacts en cuivre, argent ou alliage d'argent, fourni en boîtier avec bornes de connexion. La commutation doit s'effectuer sans continuité de contact. Capacité de courant 1 A. Ce commutateur doit convenir à brancher alternativement un voltmètre digital aux prises de potentiel d'un shunt pour la mesure de courant et aux prises de potentiel sur le support d'une lampe pour la mesure de tension.

R 8 Voltmètre digital pour mesures précises de tension continue, 5 digits (ou plus), étendues de mesure commutables de 1000 V, 100 V, 10 V et 0,1 V. La linéarité et l'exactitude doivent être garanties à 0,005 % ou mieux pendant 6 mois. Le voltmètre doit être protégé contre des surtensions par rapport à la terre (allant jusqu'à 500 V) et équipé d'un ajustage d'étalonnage facile par l'utilisation d'une pile Weston extérieure (ou d'un potentiomètre) sans nécessité d'autres équipements.

L'appareil doit être prévu pour branchement sur un réseau de ... V ... Hz. (Il est préférable de commander deux unités pour prévenir les pannes).

R 9 Lampes étalons de flux lumineux, à remplissage de gaz et avec

filament soudé et ampoule claire, puissance électrique 200 W, tension de travail 100 V (ou 220 V). Ces lampes doivent être envoyées au Bureau International des Poids et Mesures, 92310 Sèvres, France, pour formation et étalonnage. Elles seront ensuite transportées au destinataire en bagage accompagné à la main.

Quantité : 25 (dont 10 seront sélectionnées après formation et essais de stabilité par le BIPM pour constituer le groupe national de référence de flux lumineux, ajusté à la température de couleur de 2850 K).

R 10 Lampes étalons secondaires de flux lumineux.

(Ces lampes sont incluses dans le poste R 9 et comprennent les lampes qui n'ont pas été choisies pour constituer le groupe national de référence).

R 11 Lampes étalons de travail de flux lumineux, de 25 à 500 W choisies parmi les meilleures lampes à usage général existant sur le marché local. Elles doivent de préférence être du même type et de mêmes dimensions que les lampes qui doivent être mesurées.

R 12 Sphère intégrante d'Ulbricht, diamètre 2,5 m, fournie en quatre

parties à assembler sur place et peinte en utilisant une peinture de base protégeant contre la corrosion. La fourniture doit comprendre les accessoires pour le montage de tous les types courants de lampes à filament ou à fluorescence. Les supports des lampes incandescentes doivent être équipés de connections à 4 fils de façon à permettre la mesure de la tension directement sur le support. La sphère doit être équipée d'une fenêtre dépolie en verre neutre. Elle doit également être munie d'une ouverture d'observation et d'un boîtier pour lampe auxiliaire permettant la détermination de l'absorption de lumière par les lampes ou luminaires en vue de la correction due à leurs dimensions géométriques.

R 13 Photomètre digital comportant une cellule photoélectrique au silicium munie de filtres correcteurs de façon à obtenir une réponse spectrale correspondant à la courbe  $V^{\lambda}$  établie par la Commission Internationale de l'Eclairage. Ce photomètre doit avoir plusieurs étendues de mesures commutables de façon à permettre son utilisation aux niveaux élevés et faibles correspondant à l'utilisation, soit lorsque le récepteur est attaché à une sphère d'Ulbricht pour la comparaison des flux lumineux, soit monté sur un banc optique pour des comparaisons d'intensité lumineuse ou des mesures d'illuminance. Le récepteur photoélectrique doit être muni d'un câble de mesure de 3 m et équipé pour branchement sur ... V ... Hz.

R 14 Alimentation stabilisée de tension alternatif, stabilité 0,01 %

pour une variation du réseau d'alimentation de  $\pm 10$  %. Limite inférieure de fonctionnement : tension nominal d'alimentation moins 15 %. Puissance de sortie 1 kVA, tension de sortie nominale ... V ajustable avec une grande résolution. Fréquence d'alimentation et de sortie ... Hz.

R 15 Ballasts (selfs) étalons pour essais des lampes fluorescentes, fournis avec certificats d'étalonnage.(Le choix de types doit être fait selon les types et wattages de lampes fluorescentes à étalonner)

R 16 Coffret de mesure de précision (0,2 %) pour courant alternatif

comportant deux voltmètres, un ampèremètre et un wattmètre, tous à très faible consommation et insensibles à la forme de l'onde, convenant à la mesure et au contrôle des lampes fluorescentes. Les étendues de mesure du wattmètre doivent comporter les gammes de 50 à 500 W avec une résolution de 0,01 W sur l'étendue la plus faible.

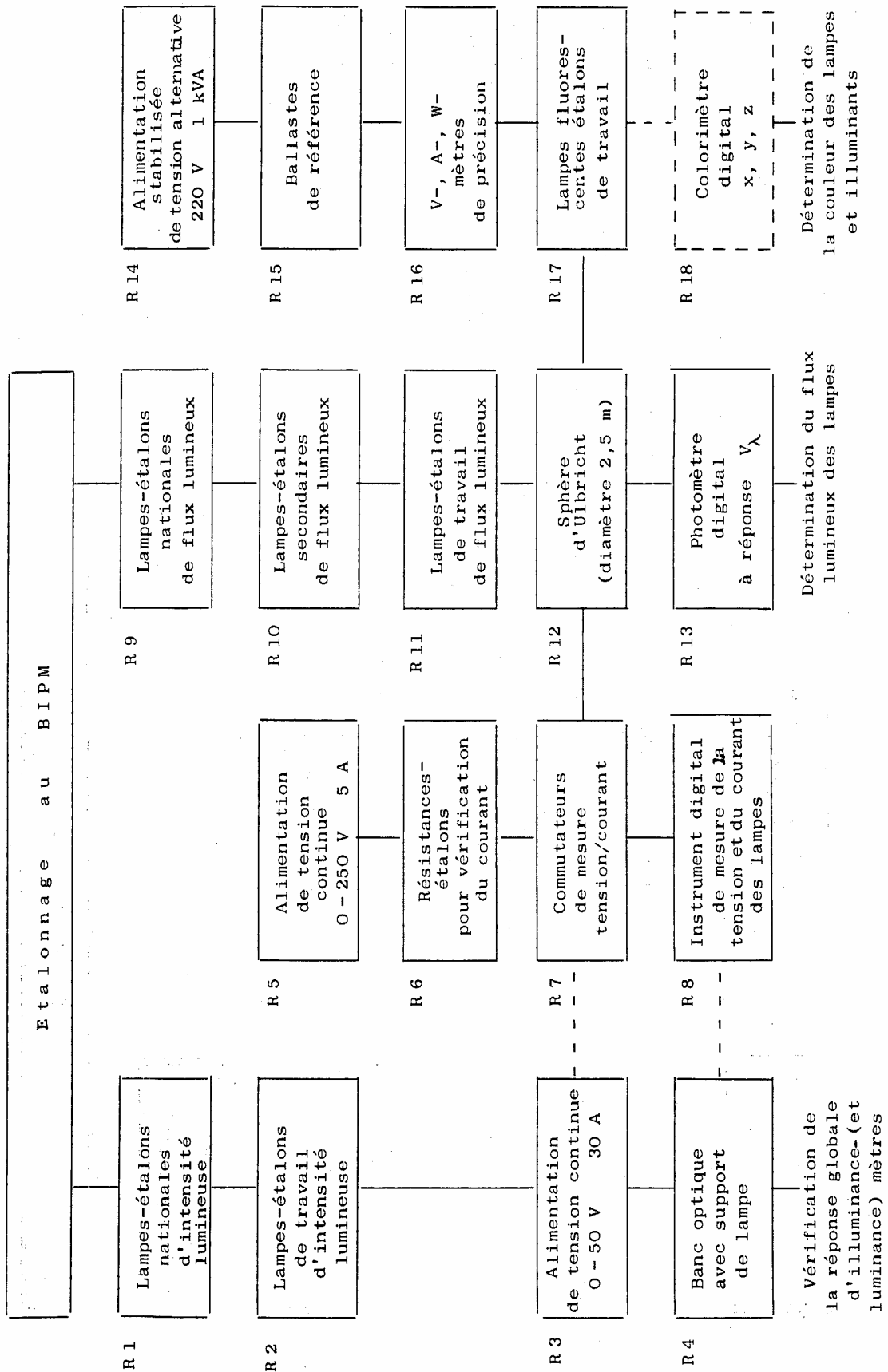
R 17 Lampes fluorescentes étalons de travail. Celles-ci peuvent probablement être sélectionnées à partir de la production disponible sur le marché local. Les types choisis doivent être les mêmes que ceux des lampes usuelles à mesurer (dimensions, wattage et couleur).

Si nécessaire pour des mesures de couleur :

R 18 Colorimètre digital convenant à l'évaluation des couleurs en trois coordonnées selon les spécifications de la Commission Internationale de l'Eclairage, en particulier pour la mesure sur des sources lumineuses telles que lampes fluorescentes, etc. Cet instrument doit également être livré avec tous accessoires disponibles pour des mesures sur d'autres sources telles que des surfaces éclairées, etc.

Si nécessaire pour des essais de durée de vie des lampes, en plus :

- 3 alimentations stabilisées en tension alternative, similaires au poste R 14 mais avec une puissance de sortie de 10 kVA
- 3 voltmètres avec étendue de mesure commutable de 50 à 600 V, classe 0,5 % du type à fer mobile
- 3 ampèremètres à étendue de mesure commutable de 0,3 à 6 A, classe 0,5 % du type à fer mobile
- 1 wattmètre pour 220 V, courant max. 6 A et 1 A, classe 0,5 % avec transformateur de courant extérieur à branchement multiple de 0,1 à 50 A.



SCHEMA SYNOPTIQUE D'UN EQUIPEMENT D'ETALONNAGE PHOTOMETRIQUE