

# SEPTIÈME CONGRÈS INTERNATIONAL DU CHAUFFAGE, DE LA VENTILATION ET DU CONDITIONNEMENT

SEPTEMBRE 1947



COMMUNICATION DE M. A. DESPLANCHES

*Ingénieur A. et M.*

## Les chambres d'essais climatiques

Sous le vocable général de chambres d'essais climatiques on désigne deux genres de locaux d'une construction particulière, dotés d'une installation de conditionnement d'air et permettant de réaliser :

- 1° Soit un climat fixe généralement assez voisin d'un climat tempéré.
- 2° Soit des climats extrêmes, fixes ou variables.

Ces deux types de chambre diffèrent entièrement en tant que construction de génie civil et du genre d'installation de conditionnement destiné à les équiper.

Cette double classification répond également à des besoins distincts.

Le premier type, à climat fixe modéré, a pour objet des essais et des mesures en vue de maintenir des normes d'une fabrication. Dans de nombreux cas, il faut en effet que les caractéristiques d'un matériel, afin d'être comparables, soient toujours rapportées à certaines conditions fixes de climat et dont la variation pourrait grandement influencer sur leur valeur absolue.

Le deuxième type, à climats extrêmes, fixes ou variables, a pour but de soumettre ce matériel aux conditions extrêmes de climat dans lesquelles il est susceptible de se trouver à un moment donné pour son stockage, son transport ou son utilisation; il est indispensable en effet de connaître les réactions d'un matériel en face de conditions qui peuvent varier de plus de 100° centigrades et depuis une ambiance de siccité presque totale jusqu'à la saturation, ceci afin de pouvoir garantir sa bonne utilisation et améliorer une fabrication d'après les renseignements qui découlent d'essais pratiqués dans des climats limites.

Etant donné que ces essais doivent s'appliquer à toutes les fabrications depuis la montre jusqu'au camion en passant par le ciment, le bois, le textile, etc., on conçoit qu'il y a là une technique toute nouvelle qui ouvre au conditionnement de l'air un champ presque illimité.

L'emploi de ces installations s'avère indispensable à toute industrie qui veut atteindre la classe internationale, sinon elle risque fort de se trouver un jour fortement handicapée vis-à-vis d'entreprises mieux outillées.

## CLIMATS A RÉALISER

Les climats que l'on peut avoir à réaliser pour essayer les divers matériels peuvent se classer en 5 types : <sup>r</sup>

1° *Climat désertique* (chaud et sec) pouvant aller jusqu'à + 60° avec une humidité relative de 5 %.

Certaines normes imposent une température d'essai de 80 et même 90°, ce qui peut sembler excessif par rapport aux conditions naturelles; toutefois il faut se rappeler que pour certains matériels dont spécialement le matériel électrique et Radio, il faut connaître le fonctionnement à la température interne maximum des appareils et qui peut atteindre 20 à 30° au-dessus de l'ambiance.

D'autre part, une température plus élevée que celle que le matériel doit subir accélère la formation de certains défauts.

2° *Climat équatorial*. — (Chaud et humide) peuvent aller jusqu'à 40° et 95 % d'humidité relative.

3° *Climat tempéré*. — Depuis — 10° et sec jusqu'à + 35 et 60 %.

4° *Climat arctique*. Minimum — 50°.

5° *Conditions d'altitude*. — Les progrès foudroyants de l'aviation ont reculé les limites imposées par ce type de climat; pour étudier la tenue du matériel à des conditions identiques auxquelles il sera soumis en service, il faut admettre que ces conditions peuvent varier depuis + 60° et 5 % ou 40° et 95 % à la pression atmosphérique et vent nul :

jusqu'à — 60°, à la pression de 120 mm. de mercure et dans un vent de l'ordre de 1.000 km/heure, conditions que réalise un avion moderne à 13.000 mètres d'altitude : cette variation peut d'ailleurs se produire dans un laps de temps très court, ce qui conduit à des variations de température qui peuvent être de 5° par minute et à des variations de pression de 10 mm. de mercure par seconde : un essai ne sera d'ailleurs concluant que si l'on peut reproduire cycliquement ces variations. Bien que ces conditions paraissent passablement dures elles ne sont qu'une étape et peuvent à bref délai, être remplacées par d'autres encore plus draconiennes.

## TYPES DE CHAMBRES

L'étude préliminaire de ces climats permet de classer les principaux types d'installations qui permettent de les réaliser en cinq types principaux.

1° *La chambre à climat tempéré*, dont le type est dit : chambre à température constante (ou à température et humidité constante).

2° *La chambre chaude* pour l'obtention des climats désertiques et équatoriaux.

3° *La chambre froide* pour réaliser le climat arctique.

4° *La chambre tous climats*, qui est une combinaison des trois premières avec en plus, possibilité d'alternances.

5° *Le caisson d'altitude*.

— Dans les trois premiers types de chambres, on peut, outre les conditions de température et d'humidité à obtenir, avoir besoin de réaliser soit :

- un vent relatif (en général maximum de 30 à 50 m./seconde.
- des précipitations d'eau douce rappelant la pluie.
- des précipitations d'eau salée (embruns),
- de la poussière ou du vent de sable.

Toutefois, ces essais accessoires n'influencent pas sur le système de conditionnement d'air.

### CHAMBRES A CLIMATS FIXES MODÉRÉS

Le prototype de ces chambres est la chambre à température constante pour métrologie à  $20^{\circ} \pm 0,1$ , température internationale de contrôle. Bien que dans ce cas, on n'ait en vue que le réglage de la température avec une certaine précision, il s'avère indispensable de maintenir en été, l'humidité relative à un certain maximum sinon, on serait voisin de la saturation pour le plus grand dommage du matériel; on est donc conduit à pouvoir régler l'humidité si bien que les chambres à température ou à humidité constante sont du même type.

Les chambres à température constante pour la métrologie connaissent actuellement un essor surprenant; en effet leur emploi devient une nécessité dans beaucoup de fabrications mécaniques en raison de l'étroitesse des tolérances des pièces interchangeable et dont les calibres de vérification sont établis avec une précision extrême; ces calibres doivent eux-mêmes de temps à autre être comparés à des calibres étalons dont la précision doit être de l'ordre du  $\frac{1}{10}$  de micron.

Il est illusoire de vouloir travailler avec une semblable précision si les variations de température sont de nature à occasionner des variations de dimensions plus importantes que les tolérances admises.

Sur une pièce en acier d'un diamètre de 250 mm., s'il subsiste seulement un écart de  $5^{\circ}$  entre la pièce et le calibre, l'erreur due à la dilatation atteint 12 microns.

L'emploi de l'aluminium a encore aggravé le problème du fait que le coefficient de dilatation de ce métal est environ le double de celui de l'acier du calibre. En reprenant l'exemple d'une pièce de 250 mm. en aluminium et d'un calibre en acier, même si le calibre et la pièce sont tous deux à la même température, la différence de dilatation des deux métaux conduit à une erreur de 30 microns si la mesure se fait à  $40^{\circ}$  ou  $30^{\circ}$ ; soit  $10^{\circ}$  d'écart d'avec la température d'étalonnage du calibre.

Parmi les machines devant travailler à température constante on peut citer :

— bancs de mesure, interferomètres, machines à projeter les filets machines à pointer, à rôder les calibres, etc...

### RÉALISATION DES CHAMBRES A TEMPÉRATURE CONSTANTE

Pour réaliser économiquement ce genre d'installation, il faut que ce local soit parfaitement adapté à sa fonction; il est recommandé de le choisir aussi bien isolé que possible au point de vue thermique et à l'abri de la radiation solaire directe; un sous-sol est en général ce qui convient le mieux car on peut alors se dispenser de l'isoler thermiquement. Si la chambre doit être installée dans un atelier, comme c'est souvent le cas, le moyen le plus économique consiste à construire une chambre en bois, à double parois, dans l'intervalle desquelles sera prévu une isolation en laine de verre.

La surface vitrée agencée en double vitrage sera réduite au strict nécessaire et l'éclairage artificiel est à conseiller. La hauteur de plafond doit être proportionnée au volume de la salle et aux machines à implanter; une trop grande hauteur augmente inutilement les échanges calorifiques par parois et un plafond trop bas risque d'occasionner des difficultés de soufflage et un mouvement d'air sensible pour les occupants. La porte, du type à feuillure, étanche, sera munie d'un sas.

Il convient naturellement de réduire la charge calorifique interne du local au minimum possible et pour cela :

— Limiter le volume au minimum.

Nombre d'occupants strictement nécessaire aux travaux.

— Ne prévoir que les travaux pour lesquels la constance de température est indispensable.

Eclairage général réalisé par tubes luminescents, ce système économise 60 % de la chaleur apportée par des lampes à filaments métalliques.

La puissance des moteurs électriques utilisés dans le local sera déterminée exactement et au besoin par mesure directe au wattmètre; leur puissance nominale est souvent surabondante par rapport à la puissance réellement absorbée par la machine : d'autre part, il convient d'apprécier aussi correctement le facteur d'utilisation. Par exemple, il est tout à fait improbable que tous les différents moteurs d'une machine à pointer travaillent tous à leur puissance maximum pendant 60 minutes.

#### APPAREIL DE CONDITIONNEMENT (fig. 1).

La caractéristique d'une chambre de métrologie doit être avant tout la sécurité de marche et de permettre un fonctionnement permanent de jour, de nuit et même de fin de semaine; en effet on n'aura pas en général la possibilité d'attendre la remise à température des pièces et des machines pour travailler.

L'appareillage peut être du type classique : registre de mélange air neuf-air de reprise, laveur-séparateur batterie de chauffe, ventilateur.

L'emploi du laveur est recommandé pour plusieurs raisons :

— Il dépoussière complètement l'air en circulation, ce qui est précieux pour des ateliers de précision.

— Il permet de régler aisément l'hygométrie avec précision et d'autre part la masse d'eau en circulation dans le laveur est un facteur très important de la stabilité du réglage de la température.

La régulation sera électrique ou pneumatique; cette dernière paraît avoir l'avantage d'éviter toute oscillation de température instantanée. Le réglage de l'humidité sera avantageusement réalisé par le système dit du point de rosée.

L'équipement frigorifique peut être d'un type quelconque, mais il convient d'utiliser l'eau comme fluide intermédiaire avec un évaporateur calculé avec un très faible écart de température.

Etant donné que les besoins calorifiques d'une semblable installation sont faibles et que l'on peut les satisfaire aisément avec de l'eau à une température modérée, on utilisera la machine frigorifique en pompe de chaleur, en faisant tourner l'eau du condenseur en circuit fermé; ceci évite toute source de chaleur extérieure à l'installation et qui pourrait faire défaut la nuit, en fin de semaine ou l'été.

Par ce système, en hiver on produit des calories avec un rendement d'au moins 200 % par rapport au chauffage électrique : en été, la chaleur est entièrement gratuite et on supprime toute consommation d'eau au condenseur; on y gagne également en simplicité et l'installation prend un aspect où la production et l'utilisation de la chaleur et du froid sont disposés symétriquement.

La distribution de l'air dans la chambre doit être particulièrement soignée, car son but est de réaliser une température précise à environ 2 ou 3/10 de degrés près dans tout le plan horizontal de travail (généralement 1 m. 25); on y parvient en éjectant l'air à la partie supérieure, à une certaine vitesse permettant par induction, l'aspiration de l'air du local, qui mélangé à l'air de soufflage, homogénéise la température dans toute la salle.

Ce schéma d'installation convient pour des chambres de 15 à 25° avec ou sans réglage précis de l'humidité relative.

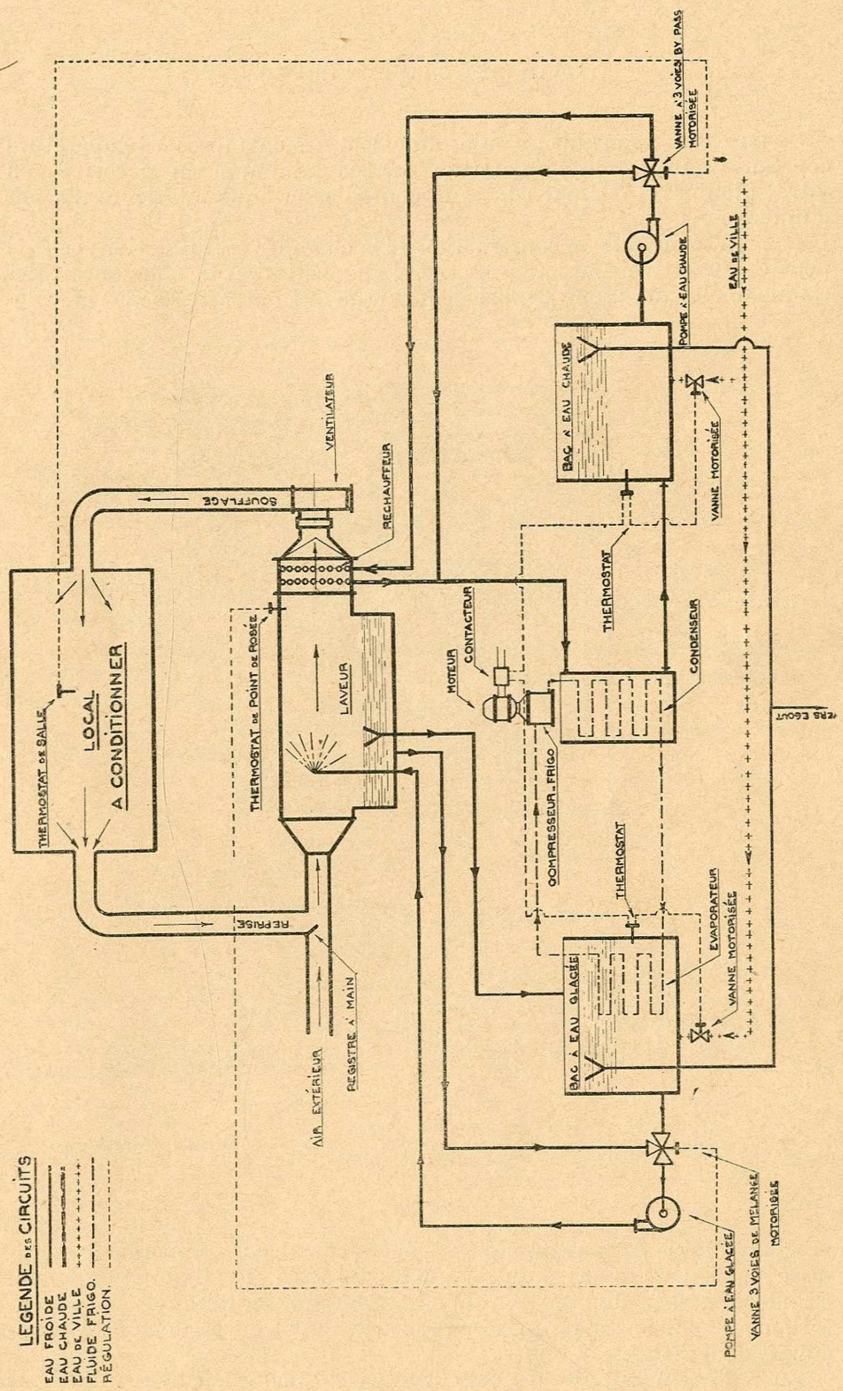


FIG. 4

Schéma de conditionnement d'une chambre à température et à humidité constante avec chauffage thermodynamique

CHAMBRES CHAUDES (fig. 2).

Ce que nous avons dit au sujet du calcul des chambres à température constante subsiste intégralement; surface minimum en parois et en vitres (doubles) mais par contre la charge calorifique intérieure n'a pas d'influence.

Le point capital de la construction de la chambre est l'isolation; celle-ci peut être relativement modérée, car l'augmentation de puissance calorifique de l'installation est plus économique que l'investissement en calo-

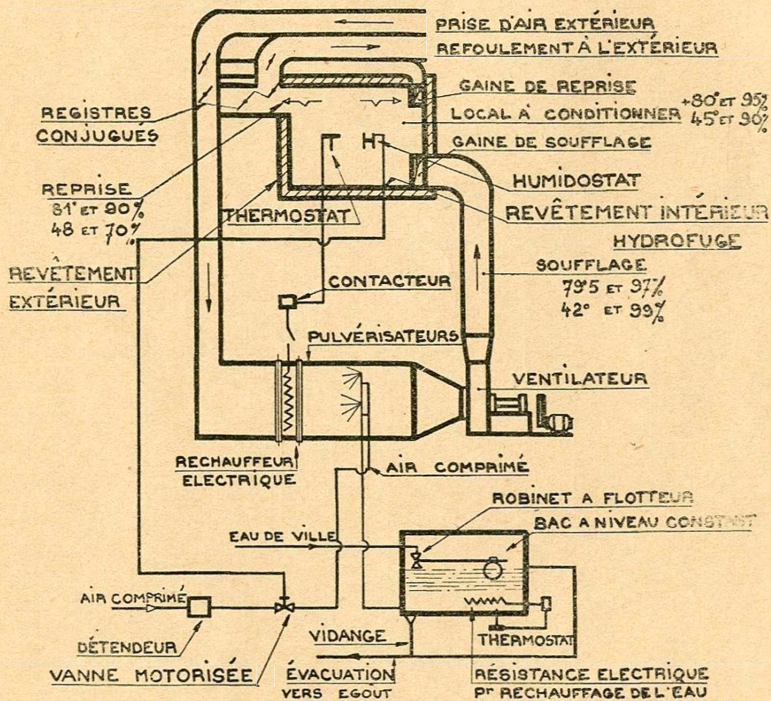


FIG. 2

Schéma du conditionnement pour chambre d'essais pour climats désertiques et équatoriaux.

refuge (la durée de marche n'étant généralement pas un facteur à considérer) mais il est essentiel qu'elle puisse résister à l'humidité et au besoin à l'alternance du climat sec et du climat humide en raison de la condensation provoquée sur les parois. La construction devra donc être particulièrement soignée.

En règle générale, le plancher devra être incliné ou avec une rigole pour évacuer l'eau de condensation. Une porte isothermique du commerce avec joint caoutchouc peut suffire.

En ce qui concerne les murs, l'extérieur pourra être en brique avec enduit et à l'intérieur, l'isolation en liège expansé sera placée entre deux

couches de bitume de façon à réaliser l'imperméabilité totale. L'emploi de la laine de verre paraît être à déconseiller car on connaît mal sa tenue à l'humidité prolongée.

Les passages de câbles électriques seront particulièrement soignés et exécutés avec des boîtes à bornes étanches et très largement dimensionnés.

Le matériel de conditionnement sera entièrement extérieur à la chambre, parfaitement calorifugé et soigneusement traité dans toutes ses parties contre la rouille, de préférence par cadmiage. Les gaines peuvent être en duralumin ou aluminium au manganèse.

Le schéma peut être le suivant :

En tête d'appareillage de conditionnement, un triple registre à commande conjuguée permet soit de reprendre totalement ou partiellement l'air de reprise et d'admettre la quantité d'air extérieur froid, soit pour permettre le réglage automatique d'une façon simple et toujours dans le même sens, soit pour refroidir la chambre : une résistance électrique blindée, subdivisée en plusieurs éléments assure le chauffage. En dérivation se trouve placé l'humidificateur, qui peut être constitué par un caisson à niveau d'eau constant dans lequel plonge une résistance électrique; des vannes automatiques étanches permettent d'isoler l'humidificateur; le ventilateur de préférence à commande par courroies aspire l'air et le refoule dans le conduit de soufflage placé à la partie supérieure (bien qu'il paraîtrait avoir sa place en bas) en raison de ce qu'il faut tenir le plafond assez chaud pour éviter la condensation et qu'il ne pleuve dans la chambre.

Le contrôle peut être à main ou automatique; dans ce dernier cas le thermostat commande tout ou partie de la résistance et l'humidostat commande les vannes automatiques d'isolement de l'humidificateur et la résistance de chauffage de l'eau. La difficulté est de sélectionner des appareils ayant bonne tenue aux humidités élevées.

#### CHAMBRES FROIDES

Dans le calcul de ces chambres, on devra estimer à sa juste valeur la charge calorifique s'il y a lieu, des appareils essayés.

Les panneaux vitrés pour examen à l'intérieur de la chambre auront des vitres triples; d'ailleurs ils recouvrent souvent de givre ou de condensation empêchant toute visibilité, on peut toutefois prévoir des cartouches séchantes entre les panneaux vitrés sous réserve que ceux-ci seront démontables.

Les portes doivent être étudiées de près : bloquées par le givrage, elles doivent posséder un système d'arrachement pour permettre une ouverture qui ne soit pas fastidieuse; on réduira au minimum les parties métalliques, tuyaux, câbles, etc. traversant l'isolation de part en part.

Contrairement aux chambres chaudes et étant donné le prix élevé d'installation des frigories, on a intérêt à prévoir une isolation importante, comme par exemple 24 cm. de liège expansé pur, ou de la laine de verre.

En raison des condensations, on prévoira un enduit intérieur étanche (ciment ou bitume) ou un revêtement métallique (aluminium).

Le matériel de conditionnement sera avantageusement placé à l'intérieur; des ventilateurs hélicoïdes obligent l'air à passer sur l'échangeur (détente directe ou saumure).

Somme toute, la technique de ces chambres froides ne diffère sensiblement pas de celles utilisées dans l'industrie frigorifique, mais souvent avec des températures plus basses.

CHAMBRES TOUS CLIMATS AVEC ALTERNANCE (fig. 3)

Il apparaît qu'il n'est pas recommandé de réaliser des chambres réalisant toutes les variétés de climats pour les raisons suivantes :

1° *Facteur isolation.* — Nous avons vu que l'isolation des chambres chaudes et froides ne sont pas du même type, il faudra donc surdimensionner soit les appareils producteurs de chaleur, soit les appareils producteurs de froid.

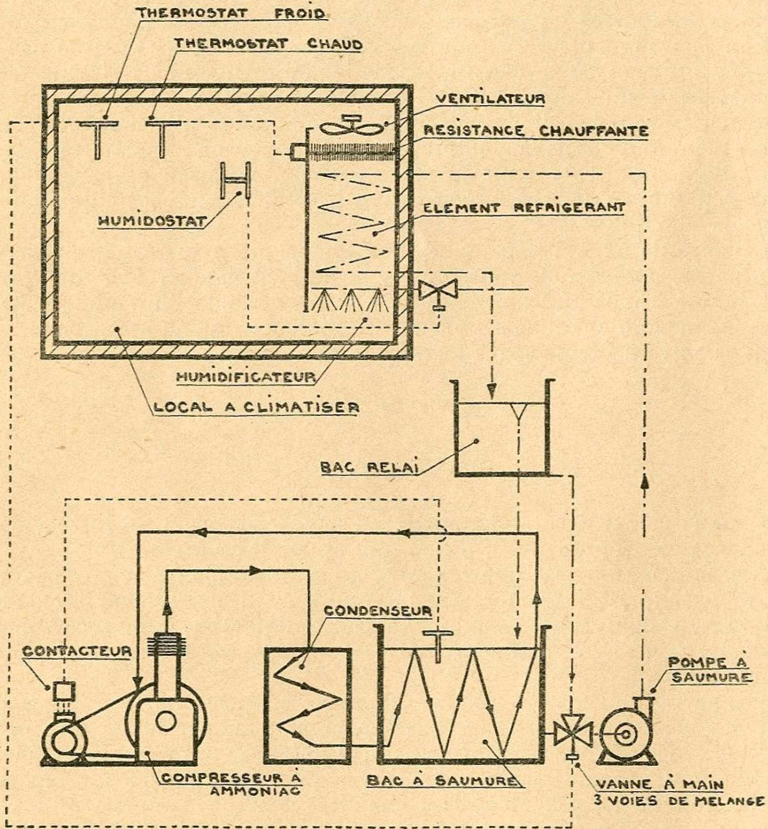


FIG. 3

Schema de conditionnement pour chambre tous climats

2° *Facteur construction.* On conçoit qu'il est difficile de réaliser une construction mixte, brique, enduit, isolation, revêtement étanche, tout en conservant une tenue satisfaisante avec des écarts rapides de température atteignant parfois 140° et une condensation abondante sur



les parois, lors des périodes de refroidissement rapide. Ces chambres ayant souvent des dimensions importantes, l'humidité, la dilation et la contraction de matériaux hétérogènes, fini par ruiner la structure la mieux établie et en fait, ces chambres ne peuvent prétendre à une longue durée.

3° *Facteur froid.* Si l'installation est en détente directe, il ne pourrait être question de porter le fluide frigorigène au delà d'une certaine température, car la pression de ce fluide augmente rapidement avec la température et conduirait à des taux inadmissibles, mettant en danger les tuyauteries et la machine elle-même; il faut donc que le froid soit transmis par un fluide auxiliaire ce qui complique l'installation; il faut encore veiller à ce que pendant la période de climat chaud, ce fluide ne puisse transmettre de la chaleur à l'agent frigorigène pour éviter l'élévation de sa pression, ce qui conduit à vidanger l'échangeur pendant cette période.

En conclusion, on évitera dans la mesure du possible l'utilisation de ces chambres et on prévoira une chambre chaude et une chambre froide. On peut d'ailleurs remarquer que lorsque l'on passe cycliquement d'un climat extrême à un autre, on passe obligatoirement par une température tempérée; on peut profiter de ce passage pour opérer le transfert du matériel en essai d'une chambre à une autre, sans qu'il subisse l'influence des conditions atmosphériques régnant dans le local, à condition d'opérer rapidement.

Si néanmoins, on désire construire une chambre à climats extrêmes alternés on tiendra compte des observations suivantes :

*Calculs.* — Pour les variations cycliques, intervient dans le calcul un nouveau facteur qui est l'inertie des parois; il est évident que l'on doit rechercher un compromis entre la plus forte isolation possible et une inertie la plus faible, sinon, les appareils producteurs de froid et de chaleur risquent de nécessiter une puissance considérable.

Il apparaît qu'une isolation réalisée en Alfo trouvera ici sa place. Dans le cas de nécessité de variations très rapides, on peut se libérer de la sujétion de l'inertie des parois en faisant une double paroi à circulation d'air que l'on peut refroidir ou réchauffer par une installation auxiliaire à grande puissance instantanée (accumulation).

Si on ne peut utiliser cette méthode et que l'on doit utiliser des parois pleines, il est de toute nécessité de tracer la courbe d'influence de cette paroi pour déterminer les surpuissances nécessaires. Ce tracé est d'ailleurs indispensable toutes les fois qu'il s'agit d'abaisser ou d'augmenter la température du local d'un grand nombre de degrés dans un temps déterminé, problème qui revient fréquemment dans ce genre d'installation.

La détermination de la surpuissance frigorigène pose ici un problème particulier du fait que contrairement à une source chaude qui a en général une puissance constante, la source froide a une puissance variable, fonction de la température d'évaporation d'un fluide frigorigène donné; cette température d'évaporation dépend elle-même de la température de l'air sur l'échangeur.

Une fois que l'on aura déterminé la courbe de la puissance frigorigène nécessaire en fonction du temps, il faudra s'assurer qu'elle est réalisable avec la machine frigorigène prévue, en y comparant la courbe de puissance de cette machine en fonction de la température d'évaporation elle-même également fonction du temps.

Ces calculs demandent à être examinés de très près, afin de ne pas risquer de dépasser les durées autorisées pour les variations de climats et d'autre part, ne pas utiliser des machines surpuissantes et très onéreuses dans le cas du froid. Pour ces raisons, il est souvent intéressant de prévoir des installations à accumulation.

CAISSONS D'ALTITUDE (fig. 4).

Si les conditions de basses pressions ne sont pas indispensables, les essais peuvent être faits à l'aide de chambres chaudes et froides des types précédemment décrits.

S'il est nécessaire de réaliser ces cycles à basse pression il faut prévoir de ce fait des sujétions particulières.

Le fait que la différence de pression sur les deux faces de la chambre pouvant presque atteindre 1 kg. par  $\text{cm}^2$ , élimine entièrement l'emploi des chambres construites suivant le mode habituel. Il faut prévoir ici

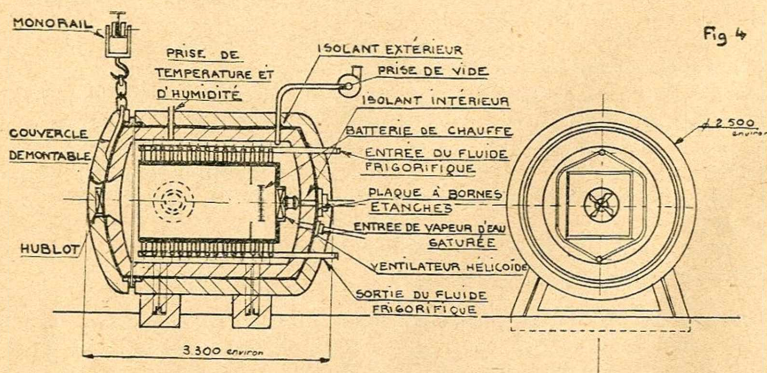


FIG. 4

Caisson d'altitude tous climats de  $+60^\circ$  et 5% A +  $40^\circ$  et 90% et  $-60^\circ$  pression 120 mm Hg

de véritables caissons en tôle forte, du genre de ceux utilisés dans les caissons pour air comprimé et calculés pour résister à la pression; ce caisson, de préférence de forme circulaire sera parfaitement calorifugé, la porte, en général très lourde, nécessitera un appareillage spécial pour la manœuvrer.

Les passages de gaines, tubes, fils seront soigneusement étudiés au point de vue pression et transmission de chaleur et c'est un problème délicat.

Dans le calcul des ventilateurs, échangeurs, gaines, on tiendra compte de la faible densité de l'air à la pression de 125 mm. de mercure, ce qui obligera en général à de grandes dimensions et à calculer les appareils en dehors des normes habituelles

L'obtention du vide ne présente pas de difficultés particulières et sera réalisé par une petite pompe à vide, car le volume à extraire n'est généralement pas considérable.

Pour hâter la mise en régime, il est recommandé de l'effectuer à pression normale et de ne faire le vide qu'une fois les conditions obtenues.

SOUFFLERIES CONDITIONNÉES (fig. 5)

Si en plus des conditions de température, humidité, pression, on désire réaliser un vent relatif, il faut opérer en soufflerie conditionnée.

Pour tenir compte des observations précédentes on décomposera la soufflerie en deux branches de retour; l'une contenant les appareils

producteurs de chaleur et d'humidité et l'autre les appareils de froid, ces deux branches pouvant être aisément isolées.

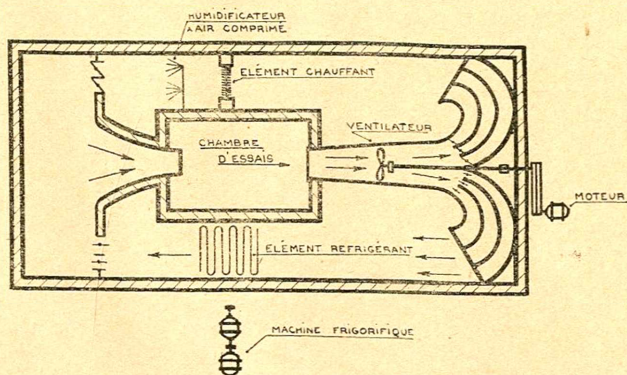


FIG. 5

Schéma d'une soufflerie à double retour, conditionnée pour tous climats

Le moteur de commande du ventilateur sera naturellement placé à l'extérieur de la soufflerie, mais néanmoins, sa puissance sur l'arbre est entièrement dissipée en chaleur dans la soufflerie et grèvant par là considérablement les besoins de froid.

#### CONCLUSIONS

Ce rapide aperçu du problème des chambres d'essais climatiques montre l'importance et la diversité des installations auxquelles elles conduisent et la complexité des problèmes à résoudre.

Une récente installation à Eglin Field, aux Etats-Unis paraît être une des plus importantes du genre.

Il s'agit d'un hangar d'avion, pour y expérimenter le comportement d'un avion sous toutes conditions de climat. Ce hangar mesure 60 m. × 75 m. avec une hauteur variant de 10 à 21 m. à la clef.

Il est agencé en chambre tous climats permettant de passer de + 35° extérieur à - 50° intérieur en 48 heures.

et de - 4° extérieur à + 74° intérieur en 16 heures.  
conditions maintenues malgré le fonctionnement d'un moteur de 2.500 CV

L'isolation en laine de verre a environ 1/3 de mètre d'épaisseur, donc grande isolation et faible inertie.

Sans rechercher dans l'immédiat des installations aussi colossales, il faut admettre que nous y serons conduits un jour prochain et qu'il convient dès maintenant de hausser notre technique à ces niveaux jamais atteints.

