

Un laboratoire spécialisé pour l'étude du matériel destiné aux régions tropicales

INTRODUCTION

Il y a environ un siècle qu'a débuté la mise en valeur des territoires dont le climat excessif éloignait l'Européen ou gênait son établissement. Au fur et à mesure de l'accroissement des grandes collectivités et de la nécessité pour elles d'accroître leur économie, on a cherché à effectuer l'aménagement de contrées souvent très riches du point de vue naturel, mais situées dans les zones tropicales et équatoriales, de façon à permettre l'exploitation par les hommes des climats plus tempérés.

Au début, on s'est contenté de prendre quelques précautions assez arbitraires et acquises par la pratique. Aussi les conditions de vie étaient-elles beaucoup plus mauvaises qu'elles ne le sont actuellement pour l'Européen. Plus tard, les problèmes ont été abordés d'un point de vue plus rationnel.

On s'est d'abord proposé de rechercher les causes des effets désastreux observés tant sur les hommes que sur le matériel, afin de voir si des remèdes pouvaient y être apportés.

Sur l'homme d'abord, les facteurs d'action sont multiples et même, à l'heure actuelle, quelques-uns échappent encore à nos investigations ; néanmoins, on peut dire que les plus importants sont la température, le degré hygrométrique de l'air et la composition du rayonnement solaire.

De nombreux travaux ont montré que le comportement de l'homme était fortement influencé par la température du milieu dans lequel il vit. Si cette température dépasse une certaine limite, des accidents graves peuvent apparaître : abaissement du pourcentage en chlorure de sodium du sang, soit intense, élévation de la température interne du corps.

Évidemment, une certaine autorégulation se produit ; mais il existe malgré cela une température optimum,

d'ailleurs variable suivant les individus, au-dessus de laquelle une activité normale n'est plus possible sans fatigue excessive.

L'humidité contenue dans l'air joue également un rôle très important ; si elle est élevée, l'évaporation de la sueur ne se produit plus, et par suite le phénomène d'autorégulation thermique mentionné plus haut cesse ; d'autre part les processus d'oxydation que constitue la respiration ne se font avec un bon rendement que si le pourcentage d'humidité de l'air inspiré est inférieur à une certaine limite ; dans le cas contraire, la destruction des toxines du sang est imparfaite et la fatigue s'accumule.

Les inconvénients peuvent toutefois être limités si l'individu peut être placé de temps à autre dans une atmosphère qui lui permettra de se reprendre et d'éliminer par exemple pendant la nuit les toxines accumulées pendant la journée. Cette solution peut être mise en pratique depuis un certain nombre d'années grâce à de petits conditionneurs d'air que l'on place dans la chambre à coucher et qui permettent un repos réparateur au colonial fatigué par une journée de travail dans de mauvaises conditions.

Mais il s'agit là d'appareils dont la fabrication est particulièrement délicate. Ils nécessitent une mise au point soignée, car ils doivent fonctionner sans défaillance, placés entre toutes les mains et dans des endroits où une panne peut rester très longtemps sans pouvoir être réparée.

Les mêmes difficultés se présentent pour les appareils frigorifiques assurant la conservation des denrées alimentaires. Largement répandus dans les pays d'outre-mer, on les considère maintenant à juste titre comme une nécessité.

D'une façon générale, il existe un problème immense et extrêmement complexe de l'adaptation des appareils au climat tropical.

Le matériel moderne est en effet souvent très compliqué ; de ce fait même, il est fragile et les conditions variables dans lesquelles il doit travailler influent beaucoup sur sa durée de fonctionnement et sur son rendement. Aussi convient-il de l'essayer dans des conditions aussi proches que possible de celles où il se trouvera travailler.

Du reste, avant de considérer les problèmes posés par le fonctionnement, il convient de réaliser le transport de ce matériel. Or ce transport peut être plus néfaste pour lui que les épreuves qu'il aura à subir par la suite. Les techniciens de l'emballage et du conditionnement ont dû faire face à une série de questions posées tant par les exportateurs désireux d'agrandir leur marché que par les Administrations militaires. Celles-ci doivent en effet assurer un ravitaillement en armes et en maté-

riels divers, sans défaillance. D'autre part, il leur faut constituer des stocks dans des endroits où les conditions climatiques sont quelquefois très dures, pendant des périodes allant jusqu'à dix ans et de telle manière que le matériel soit toujours prêt à servir ; cela avec un personnel réduit au minimum.

Il y a là un problème qui intéresse toutes les techniques et qui se renouvelle à chaque nouvel appareil sorti, à chaque nouveau matériau utilisé.

La nécessité d'études théoriques et de recherches industrielles s'est donc fait sentir rapidement. C'est précisément pour répondre à ce besoin que le laboratoire de Saint-Cyr a été édifié. On a voulu y reconstituer les conditions climatiques tropicales. Tous les appareils destinés à être utilisés dans les climats coloniaux peu-

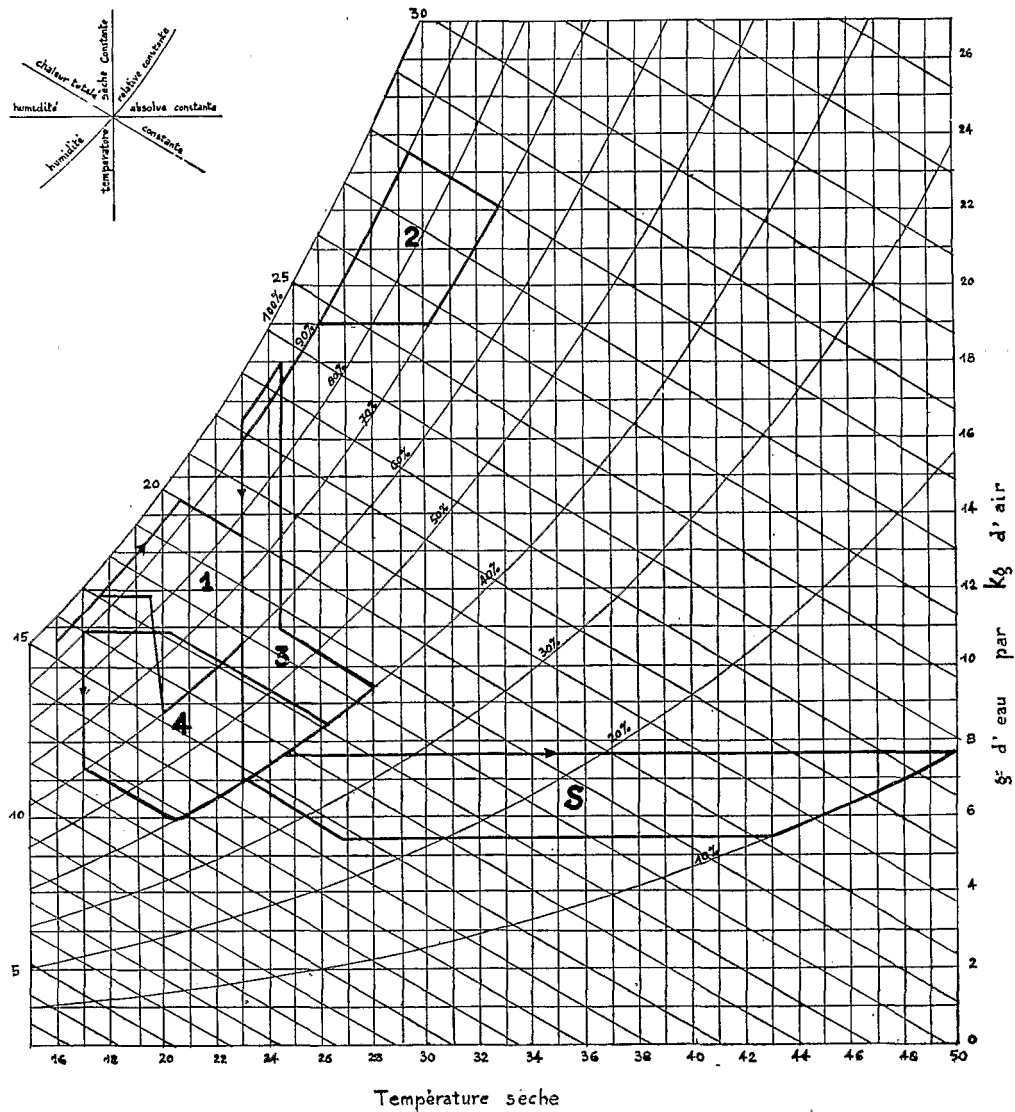


Fig. 1. — Climogramme pour chambre d'essais de matériel, en climat tropical.

vent y être essayés et la plupart des mesures courantes effectuées.

PRINCIPES DE LA RÉALISATION

Il était impossible de reproduire absolument tous les facteurs dont l'ensemble constitue le climat tropical et on s'est borné au début à en considérer les deux principaux : la température et l'humidité. Le dépouillement des relevés fournis par les stations météorologiques a permis, grâce au diagramme psychrométrique de Carrier, de distinguer plusieurs catégories de cli-

1° la température journalière moyenne est égale à celle du climat réel ;

2° les variations des paramètres étant dans la pratique plus importantes que leurs valeurs absolues, les valeurs maximum et minimum sont un peu accentuées pour reproduire les plus grandes différences de température et d'humidité ;

3° les vitesses de variation des paramètres ont été prises égales aux maxima des vitesses de variation réelles ;

4° les cycles reproduisent les queues de condensation qu'on observe à Dakar, et rarement ailleurs.

Insistons tout particulièrement sur un point réalisé

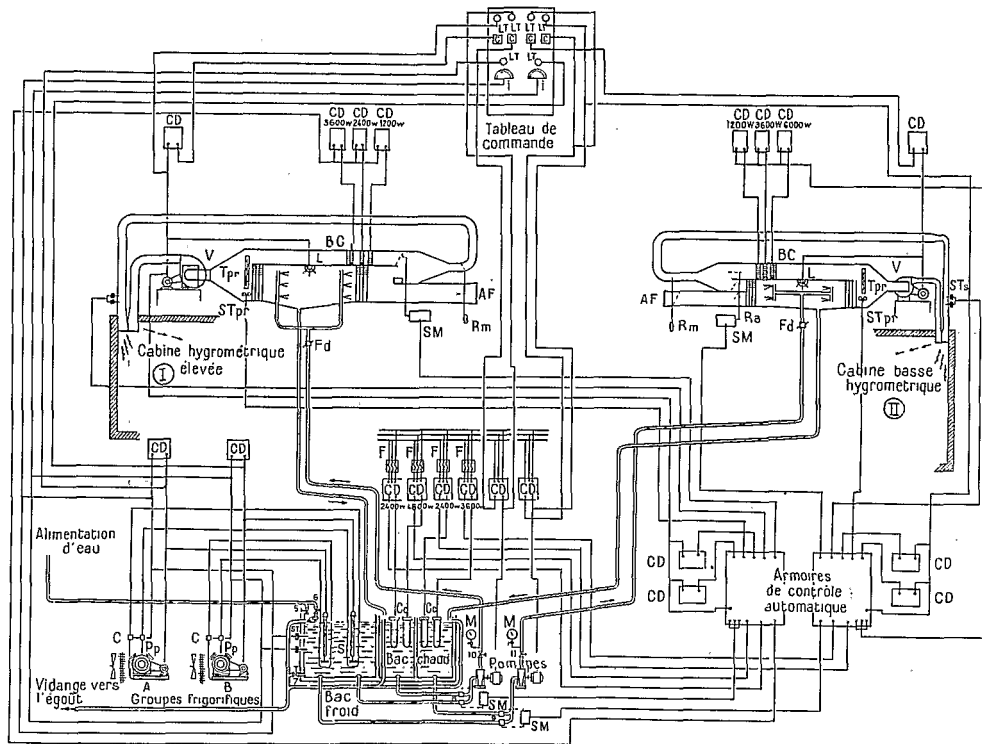


Fig. 2. — Schéma général de l'installation.

mats : les climats chauds et très humides à variation de température assez faible et à humidité relative élevée, les climats très chauds et secs avec de grandes variations de température et peu de variation d'humidité ; entre ces deux types extrêmes, toute une gamme de climats intermédiaires.

La pratique a, du reste, fait apparaître que, dans la reproduction des climats conventionnels types, on pouvait se borner à ceux dans lesquels l'action des facteurs nocifs est maximum, c'est-à-dire le climat chaud et très humide et le climat très chaud et très sec.

Finalement, cinq cycles ont été adoptés d'après les principes suivants :

au laboratoire de Saint-Cyr et qui ne nous semble pas avoir été considéré ailleurs : les conditions reproduites varient cycliquement dans le temps, en suivant l'alternance du jour et de la nuit. Les considérations théoriques et expérimentales nous ont montré que cette variation des paramètres avait une influence capitale sur le comportement des matériaux essayés.

Tel matériel qui a une tenue satisfaisante dans une atmosphère dont l'humidité et la température, même élevées, seront maintenues constantes, est détérioré lorsqu'une suite de variations de température aura provoqué des fendillements imperceptibles permettant une pénétration plus profonde de l'humidité ou lors-

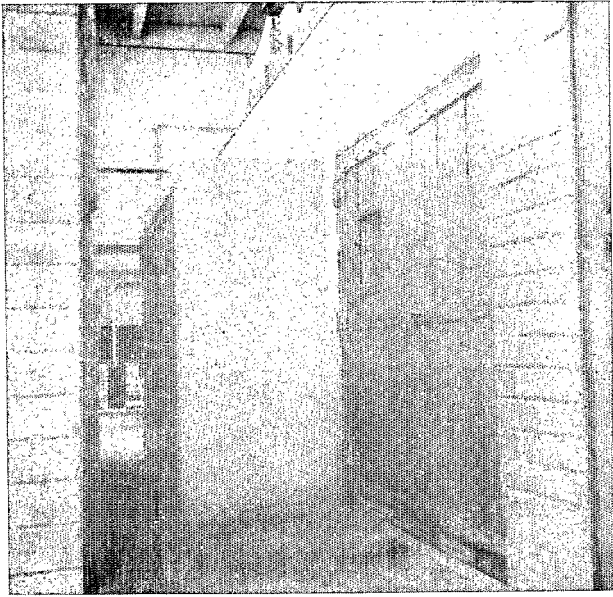


Fig. 3. — Sas donnant accès aux chambres.

que des variations de la tension de vapeur de l'atmosphère auront amené en des endroits imprévisibles des migrations de l'humidité initialement contenue dans le matériau.

RÉALISATION TECHNIQUE

Le laboratoire est situé à Saint-Cyr-l'École dans les locaux du laboratoire de Mécanique Physique de la Faculté des Sciences.

Il se compose essentiellement de deux cellules de 4 m de long, 3,5 m de large et 2,85 m de haut ; ces dimensions ont été choisies de manière qu'un matériel de volume assez important puisse être essayé ⁽¹⁾ en restant dans des limites compatibles avec une répartition homogène des températures et des humidités à l'intérieur de la cellule.

Des ventilateurs placés dans chaque cellule brassent l'air admis et augmentent encore l'homogénéité.

⁽¹⁾ A titre d'indication sur les possibilités, disons qu'une jeep peut y entrer et s'y ranger par ses propres moyens.

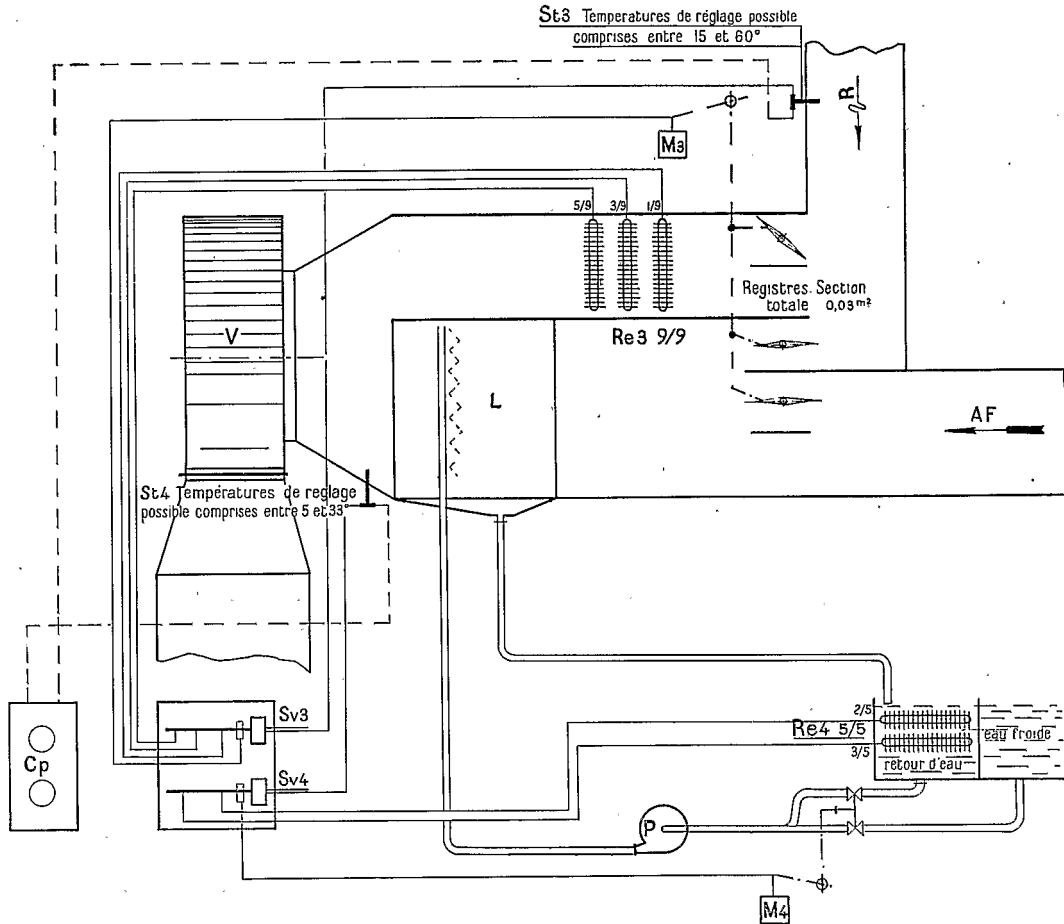


Fig. 4. — Schéma de la régulation de la chambre sèche.

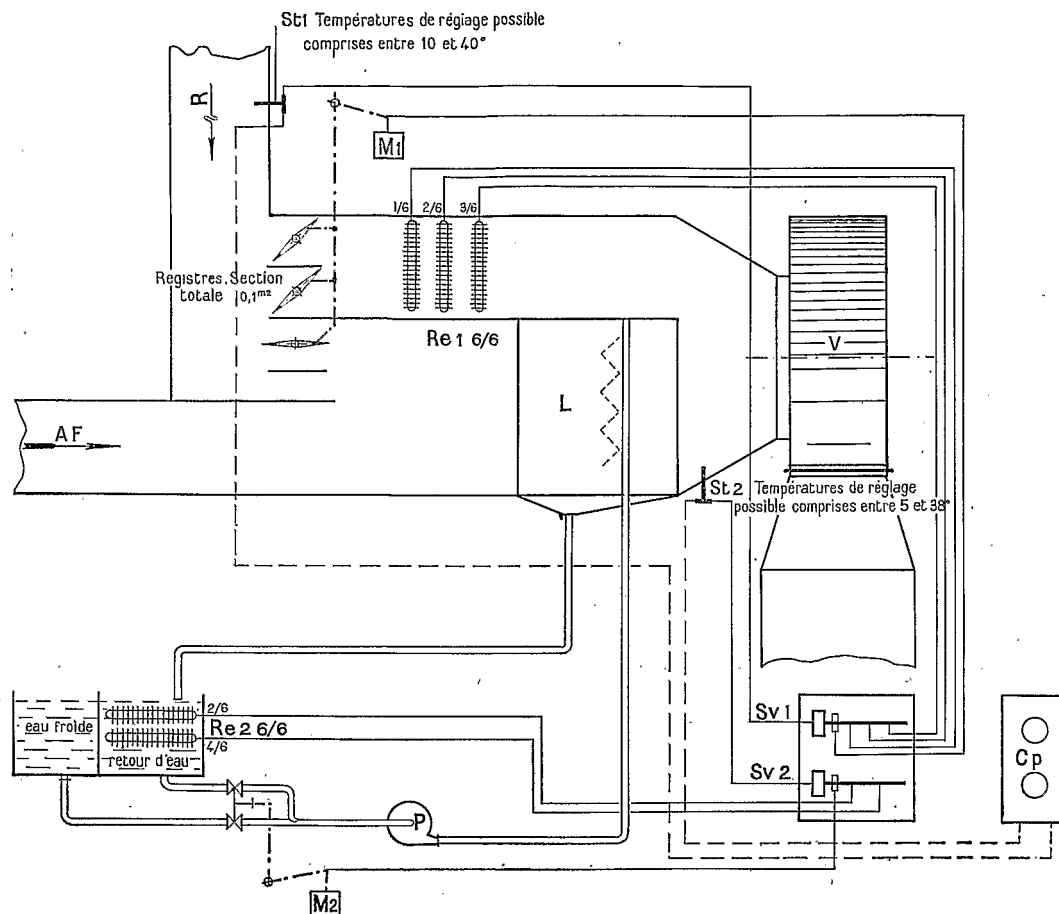


Fig. 5. — Schéma de régulation de la chambre humide.

Dans une cellule on reproduit le climat chaud et sec, dans l'autre, les différents climats chauds et humides. L'accès de chacune des cellules se fait à travers un sas et de grandes portes à double battant permettant l'introduction de gros matériel. La cellule sèche peut atteindre 60 °C avec une humidité de 50 %, la variation de température atteint 45 °C ; la chambre humide va jusqu'à une température de 40 °C avec une humidité de 95 %, l'humidité relative ne descend pas en dessous de 40 %.

Pour que des échanges de chaleur entre le matériel et l'air à l'intérieur de la cellule ne puissent modifier la température ambiante et pour que les montées et descentes en température et en humidité puissent se faire dans les temps prescrits, le débit d'air a été fixé à 1 200 m³/h pour la cabine humide et 600 m³/h pour la cabine sèche.

Dans les cycles usuels, la chaleur totale de l'air varie au maximum de 2 kilocalories par heure, mais la réserve de puissance de l'installation permet des variations beaucoup plus rapides. On a pu obtenir une variation de 15 kilocalories par heure et par kilogramme d'air, ce qui correspond avec une humidité relative

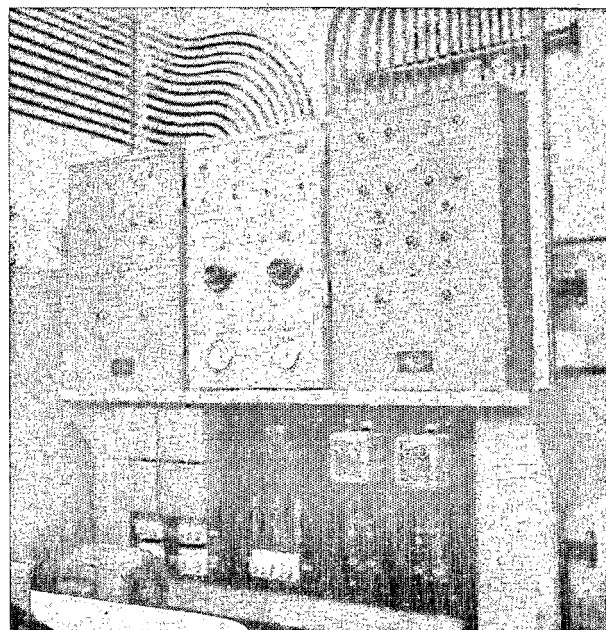


Fig. 6. — Tableau de contrôle.

constante et égale à 90 % à une élévation de 16° à 33 °C dans la chambre humide, ou bien avec une humidité de 30 % à une élévation de température de 26 °C à 49 °C dans la chambre sèche.

Si, au contraire, on maintient la température constante à 50 °C, on peut faire passer l'humidité relative de 10 à 42 % dans la chambre sèche et avec une température constante de 40 °C, de 40 à 92 % dans la chambre humide.

La circulation de l'air a lieu en cycle fermé, ce qui permet d'abord une régulation plus facile et plus souple, l'air recyclé se trouvant toujours dans des conditions assez proches de celles dans lesquelles il est admis dans les cellules. D'autre part, on fait ainsi une grosse économie dans la puissance nécessaire à l'exploitation.

L'air de la cellule dont on veut régler la température et l'humidité est divisé en deux par un registre de by-pass ; une partie est dirigée sur une batterie de résistances chauffantes, l'autre sur une batterie de laveurs d'air à pulvérisation. Les deux facteurs de réglage étant la température des résistances et la température de l'eau amenée aux pulvérisateurs, la température convenable de cette eau est obtenue en mélangeant l'eau contenue dans un bac refroidi par un système frigorifique et l'eau d'un autre bac contenant des résistances chauffantes. Le mélange de ces eaux à différentes températures est effectué par un mitigeur. L'air ainsi amené dans les cellules grâce à un ventilateur est repris et rentre dans le circuit.

Cependant, on peut admettre de l'air extérieur en proportion variable dans la cellule si besoin est ; par exemple, dans le cas d'un moteur à explosion en fonctionnement à l'intérieur.

La puissance moyenne absorbée par le fonctionnement simultané des deux cellules est de l'ordre de 10 à 12 kW.

Le chauffage de l'eau s'effectue à l'aide de deux batteries dont les puissances sont un tiers et deux tiers de la puissance totale. L'air est chauffé par trois batteries de puissance 1/7, 2/7 et 4/7, permettant un échelonnement du chauffage de 1/7 à 1.

Le bac froid est maintenu à 4 °C par deux groupes frigorifiques de 2 800 kilofrigories par heure. Un thermostat placé à l'intérieur du bac commande la mise en marche ou l'arrêt des groupes.

RÉGULATION

Le fonctionnement des cellules devant être entièrement automatique, un soin tout particulier a été apporté à la régulation.

Les deux facteurs réglés, la température et le degré hygrométrique, sont inséparables dans la réalité puisque l'on ne peut faire varier l'un sans l'autre, mais cette séparation des variables est cependant réalisée dans le système de régulation employé et les résultats obtenus satisfaisants.

La température sèche est mesurée dans la gaine de reprise d'air et est comparée à la température sèche désirée ; l'écart, amplifié actionne, par l'intermédiaire de relais, l'ouverture ou la fermeture progressive des batteries chauffantes de l'air et en dernier lieu, le registre de by-pass.

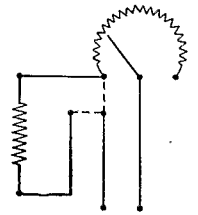


Fig. 7. — Rhéostat de réglage shunté pour dédoubler l'échelle.

La température humide est mesurée à la sortie du laveur d'air et comparée à la température humide désirée.

De même que précédemment, l'écart constaté est amplifié et agit par l'intermédiaire de relais sur les mitigeurs qui règlent le mélange de l'eau du bac froid et du bac chaud, d'une part, et sur les batteries chauffantes de l'eau, d'autre part. En bref, l'écart entre les températures humides commande la température de l'eau envoyée au laveur d'air.

Les températures sèches et humides sont prises avec des sondes thermométriques à résistance qui forment une des branches d'un pont de Wheatstone.

Un galvanomètre placé au milieu du pont et relié convenablement à celui-ci (voir schéma) ne laisse passer aucun courant si le pont est en équilibre. Si, par suite d'une élévation ou d'une baisse de la tempéra-

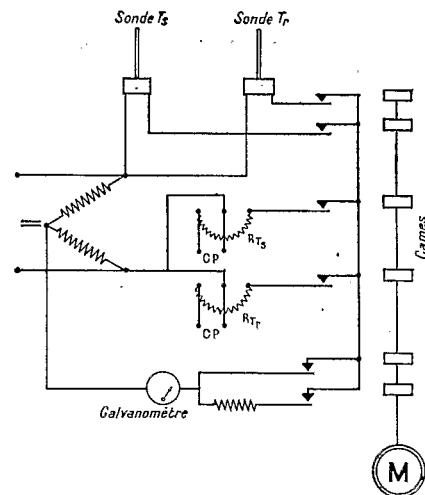


Fig. 8. — Circuit du pont.

- M = moteur de l'arbre à cames.
- RTs = rhéostat de réglage de la température sèche.
- RTr = rhéostat de réglage de la température humide.
- CP = conducteur de programme

ture, la résistance de l'une des branches du pont que constitue la sonde thermométrique vient à changer, un courant passe dans un sens ou dans l'autre dans le galvanomètre et l'aiguille de celui-ci établit un contact avec l'un ou l'autre des relais qui commandent le chauffage des batteries d'air ou le chauffage de l'eau et le mitigeur.

En fait, le courant qui doit passer dans l'aiguille et commander le relais est amené par l'intermédiaire de cames dont nous parlerons plus loin et ne peut passer

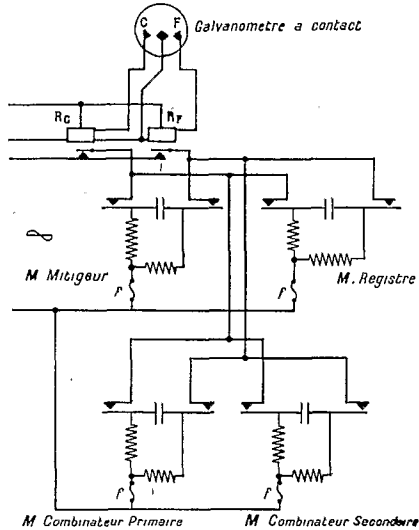


Fig. 9. — Circuit des relais et moteurs commandant le mitigeur, le registre et les combinateurs primaire et secondaire.

- C = contact « trop chaud » du galvanomètre.
- F = contact « trop froid ».
- R_c et R_f = relais.

que lorsque la position de l'aiguille est fixe, de manière à éviter les étincelles de rupture qui finiraient par détériorer les surfaces de contact.

Un moteur qui tourne en permanence (un tour en 2 mn) entraîne un arbre sur lequel sont calées 14 cames de profils convenables qui commandent la mise en circuit alternative des sondes de températures sèches et de rosée, allument et éteignent des lampes signalisatrices, intercalent des résistances dans le circuit du galvanomètre de manière à réaliser plusieurs sensibilités.

Les relais chaud et froid correspondant à deux positions de l'aiguille du galvanomètre ne commandent pas directement le chauffage des divers éléments ; un fonctionnement plus progressif est obtenu grâce à deux combinateurs qui sont constitués par des arbres porteurs de cames du même genre que les précédentes. Le moteur actionnant chacun des arbres est commandé par les relais chaud ou froid au travers de cames temporisatrices. Suivant que ces arbres tournent plus ou moins longtemps, les cames mettent en action un nom-

bre différent d'éléments chauffants, soit pour la batterie de chauffage de l'air, soit pour le chauffage de l'eau.

Bien entendu, tous ces éléments qui fonctionnent en commande automatique peuvent être commandés

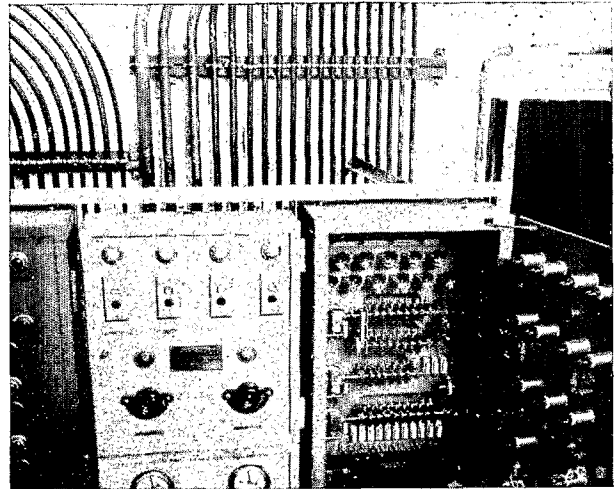


Fig. 10. — Armoire de régulateur ouverte montrant les cames et relais.

également manuellement, soit pour obtenir un réglage plus précis, soit pour obtenir une variation plus rapide de l'un des paramètres.

Ainsi que nous l'avons dit, le climat créé dans les chambres n'est pas constant ; on cherche à obtenir des variations de la température et de l'humidité dans le

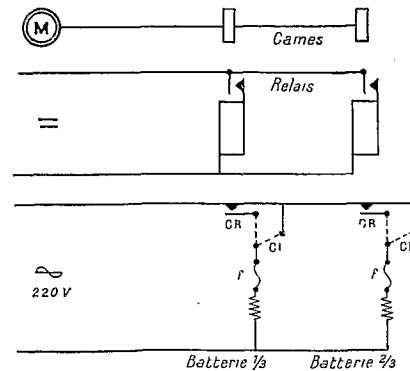


Fig. 11. — Circuit des relais et batteries chauffantes de l'eau chaude. M = moteur de l'arbre à cames du combinateur.

temps. Ceci est obtenu grâce à des conducteurs de programme qui sont constitués par des cames qu'un mouvement d'horlogerie fait tourner d'un tour en 6 h, 12 h, ou 24 h. Ces cames ont un profil différent pour chaque climat, un levier suit ce profil et commande le curseur d'un rhéostat qui est intercalé dans le circuit du pont

de Wheatstone dont nous avons parlé précédemment.

Ce dispositif présente certains avantages, par exemple, celui de pouvoir par un simple réglage du rhéostat obtenir des courbes de température ou d'humidité translatées le long de l'axe des ordonnées.

Grâce à cet ensemble d'appareils, on a obtenu une précision de 0,75 °C sur la température et de 3 %

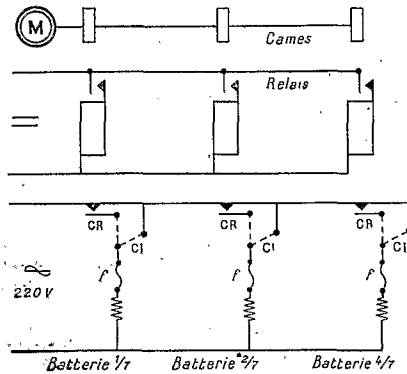


Fig. 12. — Circuit des relais et batteries chauffantes de l'air chaud.
M = moteur de l'arbre à cames du combinateur.

sur l'humidité relative, précision qui est du reste variable pour l'humidité, puisque au-dessous de 90 % elle correspond à une précision de 0,50 °C sur la température humide, alors qu'aux environs de 50 °C avec une humidité de 10 %, elle peut atteindre 1 %.

ESSAIS EFFECTUÉS

De nombreux essais ont été déjà effectués à Saint-Cyr, on peut les diviser en deux grandes catégories :

1° Les essais sur les appareils destinés à modifier la température ou l'humidité de l'atmosphère dans un volume restreint. Signalons dans cette rubrique les essais de conditionneurs pour pays tropicaux humides. Le principe général de ces appareils est connu : l'air de la chambre à conditionner circule sur l'évaporateur d'un circuit frigorifique à compression mécanique, l'humidité contenue dans cet air se dépose et l'air sort de l'appareil moins humide et moins chaud.

Si le principe est fort simple, l'exécution correcte de tels appareils est très délicate, l'évacuation des calories fournies pendant la compression n'est pas très commode dans des appareils de volume très réduit.

Ceux essayés à Saint-Cyr étaient du type « Individuel pour moustiquaire ». Un des plus intéressants avait comme particularité d'être à absorption et de ne pas employer de ventilateur pour diriger l'air, celui-ci descendant par gravité sur la tête du dormeur. Le débit était très petit, mais cependant suffisant pour la

respiration. D'après les derniers essais, la température de l'air à la sortie était la même, mais l'humidité était tombée de 90 à 50 %.

D'autres appareils, cette fois, pour climat chaud et sec, en l'occurrence l'Extrême-Sud marocain, avaient pour rôle d'augmenter l'état hygrométrique de l'air en diminuant sa température.

Ces appareils, de conception très simple et pouvant de ce fait être mis entre toutes les mains, comportent une colonne d'anneaux Raschig poreux maintenus humides par une circulation d'eau assurée par une pompe.

L'air aspiré à 25 % d'humidité passe sur les anneaux et ressort à la partie supérieure de l'appareil avec une humidité de 85 %.

Signalons également, dans le même ordre d'idée, des armoires frigorifiques qui fonctionnaient très correctement dans les climats tempérés et que leur constructeur voulut, avant de les mettre sur le marché colonial, soumettre à une épreuve probante. Or, après quarante-huit heures de séjour dans la chambre chaude et humide, il fut impossible de faire descendre la température intérieure au-dessous de 20 °C.

Il n'y a pas lieu de développer ici les raisons de cet échec ; il convient de souligner cependant que le restant de la série a été dirigé sur le marché européen où il se comporte très honorablement après bientôt trois ans de fonctionnement. Cet exemple suffit à montrer l'intérêt de tels essais pour un constructeur soucieux de satisfaire ses clients.

2° Les essais de revêtements de protection. Ce sont de très loin les plus nombreux. Tous les appareils comportant des pièces métalliques oxydables doivent être protégés par des traitements électrolytiques appropriés, (passivation, oxydation anodique, etc.).

Or il s'agit là d'opérations trop souvent confiées à de petits ateliers façonniers où règne quelquefois un empirisme trop routinier. Rares sont les constructeurs qui savent l'épaisseur de métal inoxydable déposé sur la pièce à protéger et la manière dont le dépôt a été effectué. Il arrive alors que des matériels excellents soient déparés par des détails infimes : nous avons vu des « carrosseries » admirablement laquées où des pièces aux chromes vraiment indestructibles étaient retenues par des vis à têtes rouillées. Bien des mécomptes de ce genre seraient évités par des essais élémentaires.

Éprouvant les peintures, les revêtements, etc., portant sur des échantillons métalliques de forme standard aussi bien que sur des appareillages complexes entièrement montés et prêts au fonctionnement, de tels essais effectués au laboratoire de Saint-Cyr, sur du matériel électrique, par exemple, ont fourni de précieux renseignements.

D'autre part, les problèmes de l'expédition et du stockage de tout l'équipement des pays d'outre-mer ont posé, déjà pendant la guerre pour les militaires et

après la guerre par suite des tentatives de développement de nos exportations, des problèmes très difficiles et très complexes.

L'Institut Français de l'Emballage et du Conditionnement et ses adhérents ont pu aborder un grand nombre de ces problèmes dans les locaux du laboratoire de Saint-Cyr. La perméabilité de divers matériaux barrières a été éprouvée à la vapeur d'eau, housses étanches en chlorure de vinyle, en polythène, toiles thermosoudables, cires microcristallines, etc.

Des emballages entiers, en carton, en caisses bois, ont été essayés d'abord en chambre sèche qui est particulièrement redoutable pour les cerclages, puis en chambre humide où l'action de la vapeur se faisait mieux sentir à travers les fissures survenues pendant le passage en chambre chaude et sèche.

Des matériaux de construction divers, panneaux préfabriqués, béton aérien, agglomérés, etc., ont également été essayés pour voir dans quelle mesure ils pourraient être utilisés dans les pays d'outre-mer.

CONCLUSION

L'exposé précédent a, pensons-nous, montré tout l'intérêt que peut présenter le laboratoire de Saint-Cyr pour tous ceux qui ont l'intention de diriger tout ou partie de leur production vers des marchés d'outre-mer.

La sévérité des essais qu'il permet donne rapidement au constructeur, soit la certitude d'une parfaite adaptation aux conditions tropicales, soit la connaissance précise des points qu'il convient d'améliorer.

Bien souvent, les résultats obtenus ont suggéré aux utilisateurs des solutions absolument inattendues ; citons, par exemple, un essai en chambre sèche qui, en

montrant à l'ingénieur chargé d'une étude la possibilité de réduire à 40 °C la température d'une installation initialement prévue pour 60 °C, a permis à l'entreprise intéressée de réaliser une économie de plusieurs dizaines de millions.

L'industrie française dispose là d'un outil de travail remarquable. Elle se doit d'en tirer le parti maximum.

A. DELRIEU,

*Ingénieur à l'Office de la Recherche scientifique
et technique outre-mer,
Directeur du laboratoire de tropicalisation.*

Un laboratoire spécialisé
pour l'étude du matériel
destiné aux régions tropicales

par

A. DELRIEU

*Ingénieur à l'Office de la Recherche scientifique
et technique outre-mer,
Directeur du laboratoire de tropicalisation.*

EXTRAIT DE
**CHALEUR ET
INDUSTRIE**

REVUE MENSUELLE
DES INDUSTRIES DU FEU

— Avril 1954 —

2, rue des TANNERIES
— **PARIS (13^e)** —

ORSTOM Fonds Documentaire

N° : 29238 ex 1

Cote : B