

H. RABÉCHAULT

ENCEINTE CLIMATISÉE AMOVIBLE

**POUR LES ÉTUDES
D'ÉCOLOGIE, DE PHYSIOLOGIE
ET DE PATHOLOGIE VÉGÉTALES**

Brevet inter - O.R.S.T.O.M. - n° 939-892

ORSTOM Fonds Documentaire

N° : 29.686 ~~exp-1~~

Cote : B

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

SERVICES SCIENTIFIQUES CENTRAUX - BONDY



ENCEINTE CLIMATISÉE AMOVIBLE
POUR LES ETUDES D'ÉCOLOGIE, DE PHYSIOLOGIE ET DE
PATHOLOGIE VÉGÉTALES

(Brevet international ORSTOM n° 939.892)

Note rédigée par

H. RABÉCHAULT
Chargé de recherches à l'O.R.S.T.O.M.

INTRODUCTION

I - CARACTÉRISTIQUES D'UN BIOCLIMATRON IDÉAL ET SOLUTIONS
ADOPTÉES POUR SA RÉALISATION

- a - Maniabilité
- b - Aération
- c - Conditionnement
- d - Lumière
- e - Système de régulation

II - LE BIOCLIMATRON O.R.S.T.O.M.

- a - Possibilités
- b - Description de l'appareil
 - 1 - Enceinte climatisée
 - 2 - Soubassement et machinerie
 - 3 - Conditionnement de l'air
 - 4 - Equipement électrique, tableau de commandes
 - 5 - Eclairage

ORSTOM Fonds Documentaire

N° : 29.686-1/2

Cote : B

INTRODUCTION

Les études d'écologie, de physiologie et de pathologie végétales ou animales nécessitent l'utilisation d'appareils de plus en plus perfectionnés au fur et à mesure que l'on s'avance vers une connaissance plus approfondie des mécanismes de la vie.

Le milieu dans lequel évoluent les êtres vivants varie constamment dans la nature, ce qui rend l'observation des processus biologiques toujours très difficile. Aussi, pour assurer une précision à ses résultats, ainsi que leur reproductibilité, l'expérimentateur doit pouvoir être maître du milieu dans lequel se développent les sujets en expérience. Et il est évident que plus on désire de précision, plus la régulation des facteurs du climat doit être faite avec rigueur.

Les grandes nations du globe ont compris la nécessité d'une étude de l'effet des climats sur la végétation et ont réalisé à grands frais, selon l'exemple donné par le Professeur WENT à Pasadena (U.S.A.), des bâtiments spécialement aménagés et dans lesquels des laboratoires permettent l'étude de végétaux disposés dans des salles "claires" (exposées au soleil) ou "obscurcs" où l'on peut, en principe, avec toute l'aseptie voulue, réaliser tous les climats.

La plupart des Centres de recherches ne peuvent le plus souvent se payer un tel luxe et depuis quelques années des microphytotrons ont été imaginés.

Dans un ensemble de microphytotrons comme il en existe à Canberra, en Australie, chaque chercheur dispose d'un certain nombre de ces appareils qu'il peut régler à sa convenance. Il est indépendant et ses expériences n'interfèrent pas avec celles de ses collègues. Etant donné leur faible volume ces enceintes sont faciles à climatiser, à déplacer, à modifier; on renouvelle l'air aisément et on a la possibilité d'y introduire des gaz particuliers. On peut y effectuer des cultures en milieu stérile au besoin sans devoir, comme dans les grands phytotrons, désinfecter le chercheur lui-même.

Si l'on voulait étudier dans un phytotron l'incorporation chez les plantes du carbone radioactif à l'aide de CO_2 marqué, ou l'effet sur les végétaux d'air enrichi en azote ou en oxygène ou en gaz carbonique, cela coûterait extrêmement cher, étant donné le volume des salles, et poserait de nombreux problèmes, notamment pour la sécurité des chercheurs.

La simple étude de l'effet de l'altitude sur les plantes, qui nécessite en particulier de travailler au froid et à une pression inférieure à la pression atmosphérique, est pratiquement impossible en phytotron.

Les microphytotrons, non seulement peuvent rivaliser parfois avec les grandes installations, mais comme ils sont petits leur prix est à la portée des budgets modestes. D'ailleurs, l'acquisition d'un groupe de microphytotrons peut être faite par étapes, selon l'extension des programmes de recherches et l'augmentation du nombre des chercheurs.

Les auteurs anglo-saxons désignent aussi ces petits appareils sous le nom de "growth room" (chambre de croissance). C'est un terme très vague qui s'applique aussi bien à l'étuve ou à la salle, dans laquelle on a disposé un éclairage, qu'aux enceintes sub-climatisées plus importantes. Beaucoup sont des installations de fortune destinées à une étude particulière et ne sont pas convertibles ou amovibles. La plupart ont un volume insuffisant et n'ont pas de renouvellement d'air.

Le mot "growth room" ne convient pas, à notre avis, pour désigner des enceintes dans lesquelles on étudie non seulement la croissance, mais aussi le développement et d'autres phénomènes biologiques. Les botanistes sont à l'origine de la création du mot "microphytotron" qui désigne des enceintes qui, nous l'avons dit plus haut, rappellent qu'elles sont plus petites, tout en étant destinées comme les phytotrons à l'étude de la vie des plantes. Aussi, les entomologistes et les phytopathologistes, pour ne pas être en reste, ont imaginé les mots "entomotron" et "pathotron" pour désigner les appareils destinés à l'étude des insectes et des champignons ; les zoologistes pourraient alors utiliser des "zootrons" et les bactériologistes des "bactériotrons" !!

En fait, ce sont les mêmes appareils à quelques détails près. Ceci prouve qu'en réalité les "microphytotrons" peuvent avoir des applications plus étendues et dans ce cas pourquoi ne pas les désigner sous le nom de Bioclimatrons (appareil pour réaliser des climats en vue de l'étude des organismes vivants). Ce sont les caractéristiques d'un microphytotron au mieux d'un bioclimatron idéal que nous voudrions examiner à présent.

I - CARACTÉRISTIQUES D'UN BIOCLIMATRON IDÉAL ET SOLUTIONS ADOPTÉES POUR SA RÉALISATION

Les caractéristiques examinées porteront sur les points suivants : la maniabilité, l'aération, le conditionnement de l'air, l'éclairage et le système de régulation.

a - Maniabilité

L'appareil doit être amovible afin de pouvoir être facilement déplacé d'un laboratoire à un autre ou simplement écarté ou rapproché d'un autre appareil. Aussi les roues doivent être d'un diamètre suffisant, robustes et caoutchoutées de préférence, deux seront directrices.

L'enceinte climatisée doit être assez grande pour permettre l'installation d'expériences assez conséquentes et l'accès à l'intérieur doit être aisé afin de faciliter les observations, le nettoyage, les traitements, la désinfection, etc. Il en est de même de la machinerie qui sera très aérée et d'accès facile afin que les interventions sur tel ou tel organe soient rapides et efficaces.

Si le bioclimatron comporte son propre système de climatisation, il pourra être installé en n'importe quel lieu où l'on disposera du courant électrique nécessaire, d'eau sous pression et au besoin d'air comprimé. Mais si le modèle dépend d'une installation générale de chaleur et de froid distribuée à partir de bouches fixes, la maniabilité du bioclimatron est réduite et son utilisation n'est possible qu'à proximité du centre de climatisation.

b - Aération

L'aération doit être particulièrement soignée, les plantes respirent et photosynthétisent. L'air de l'enceinte doit donc être constamment renouvelé. D'autre part, tout le volume de cette enceinte doit être également aéré. Il y a donc plusieurs problèmes à résoudre : la répartition, la vitesse de l'air et le renouvellement. Le premier problème est le plus difficile ; il a deux solutions

principales : l'aération verticale (de bas en haut) consiste à envoyer l'air par le plancher de l'enceinte, constitué par une grille, et à le récupérer par le plafond ou par des bouches situées en haut des parois latérales. Ce système présente deux inconvénients majeurs : il est très difficile d'assurer une répartition régulière de l'air sur toute la surface de distribution du sol, la vitesse est toujours plus importante au centre, surtout si la buse d'arrivée se trouve sous ce centre. D'autre part, pour assurer une aération homogène il faudrait que la reprise de l'air se fasse par une surface symétrique, en l'occurrence par le plafond. Or, ce dernier est souvent occupé par le système d'éclairage. C'est pourquoi on est obligé de reprendre l'air en haut des parois latérales. Cela crée des courants obliques qui ne permettent pas un balayage de la partie supérieure et centrale du volume. Lorsque des plantes ont des feuilles larges et nombreuses comme c'est le cas du tabac par exemple, seules les feuilles de la base sont aérées, le sommet des plantes exposé à la lumière ne l'est pas, d'où une dissymétrie. Reconnaissons aussi que l'aération par le sol ne se rencontre que très rarement dans la nature.

La deuxième solution est de distribuer l'air par une paroi verticale et de le reprendre par la paroi opposée percée d'autant de trous que la première. Cette disposition rappelle déjà mieux le déplacement de l'air dans la nature. Il permet une aération de toute la masse du feuillage (les feuilles étant horizontales). On peut même aérer plus ou moins la base ou le sommet des plantes en obturant les orifices de distribution du bas ou du haut des parois de distribution de l'air. On a aussi la possibilité d'orienter le passage de l'air. Enfin, on ne gêne pas l'installation des sources de lumière ou le passage de la lumière si les lampes sont extérieures à l'enceinte.

La vitesse de l'air doit être réglable sinon l'air doit se déplacer à une vitesse suffisante pour assurer une bonne photosynthèse, un bon renouvellement de l'air autour des plantes et ne doit pas gêner l'expérience ou blesser le feuillage en l'agitant trop fortement.

c - Le conditionnement adopté pour la climatisation habituelle des locaux d'habitation et qui a été appliqué à la plupart des enceintes climatisées et des phytotrons n'est pas valable ici à notre avis étant donné le faible volume à climatiser et la précision recherchée. Le système consiste à enclencher la production d'air froid lorsque la température s'élève trop dans l'enceinte, puis à commander l'arrivée d'air chaud lorsque la température tend à baisser. On aboutit nécessairement à des variations brusques de la température et à un réglage difficile de l'hygrométrie.

Nous avons pensé au départ adopter un système analogue au Superhétérodyne en radiotechnique. Il suffisait de retrancher toujours une même quantité de calories à l'air à climatiser. En supposant que la température de cet air varie de 23 à 35° C \bar{x} 29° C, soit de $\pm 6^\circ\text{C}$, la différence est de 20,7 % par rapport à la moyenne. Si par un moyen quelconque on prélevait sur cet air les calories nécessaires à une chute régulière de 15° C de toutes les températures, celles-ci seraient donc abaissées et varieraient entre 8 et 20° C, la moyenne serait alors de 14° C, mais la variation toujours de $\pm 6^\circ$ représenterait 42,8 % de cette moyenne, soit la possibilité d'une meilleure régulation. Ce système ne donne malheureusement de bons résultats que lorsque la température finale de l'air exigée est supérieure à 20° C.

Nous avons adopté un système qui s'en rapproche et qui consiste à refroidir l'air à une température standard. L'air entrant dans la gaine de conditionnement passe donc dans un évaporateur froid à ailettes dont la puissance d'absorption est réglée grâce à des thermomètres qui mesurent la température de l'air à la sortie. L'air est ainsi non seulement refroidi mais aussi deshydraté. Il convient donc de le réhumidifier puis d'apporter, grâce à des résistances électriques les calories qui lui manquent pour l'amener à la température souhaitée dans l'enceinte.

Cependant, pour assurer une bonne réhumidification, il faut que la température de l'air sortant de l'évaporateur ne diffère pas trop de la température de l'air exigée dans l'enceinte. Lorsque l'humidificateur présente une certaine inertie, on a avantage à ce que la température de l'air sortant de l'évaporateur suive à peu près celle exigée dans l'enceinte. La différence doit être environ de 2 à 4°C.

Dans notre système les variations de la température finale de l'enceinte sont donc suivies par celles de l'air sortant de l'évaporateur froid, tandis que dans le premier système, genre "superhétérodyne" la marche de l'évaporateur était réglée sur la température de l'air à conditionner.

d - la lumière joue un rôle important dans les études d'écologie et de physiologie végétale. Bon nombre d'échecs sont enregistrés lorsqu'on ne tient pas compte de l'indice héliothermique de l'espèce végétale étudiée ; la température appliquée doit être en général d'autant plus basse que la lumière dispensée est faible à moins que l'espèce étudiée exige un tel déséquilibre.

Pour assurer une bonne photosynthèse et un déroulement normal des principales réactions physiologiques des plantes, il n'est pas toujours nécessaire d'avoir de fortes intensités lumineuses, mais surtout une lumière dans laquelle les radiations de différentes longueurs d'onde soient en proportions identiques à celles de la lumière solaire dans la nature.

Les radiations utiles aux plantes ne sont d'ailleurs pas celles auxquelles l'œil humain est le plus sensible et les appareils de mesure : posemètres, cellules photoélectriques, photomètres, luxmètres, qui ont un maximum de sensibilité, comme l'œil, dans les régions moyennes du spectre visible (560 m μ) sont absolument à déconseiller pour apprécier l'efficacité d'une lampe destinée à l'éclairage des végétaux. Les principaux processus photochimiques des végétaux ont en effet un maximum d'activité dans les régions situées aux deux extrémités du spectre.

Il faut tenir compte aussi de ce que chaque espèce végétale a des exigences particulières en ce qui concerne l'intensité et la composition de la lumière. Il est évidemment inutile de fournir à une plante des sous-bois une lumière identique à celle de la lumière solaire, car dans la nature cette plante exige au contraire de faibles intensités lumineuses et surtout une proportion plus forte de radiations vertes que les autres.

Les sources de lumière ont été souvent installées à l'intérieur des enceintes climatisées. Mais on sait bien que les meilleurs rendements des sources atteignent rarement 50 % et le plus souvent il faut compter que 70 % de l'énergie qu'elles consomment est transformée en chaleur. On a donc, dans ces conditions,

une perturbation importante de la climatisation. De plus, on ne peut augmenter indéfiniment la puissance de la source de lumière dans une enceinte car le système de climatisation devient rapidement insuffisant et ne peut absorber toute la chaleur dégagée.

La solution est donc de mettre les sources de lumière à l'extérieur de l'enceinte, la lumière pénétrant par une paroi transparente. Il faut alors tenir compte de cette paroi dans la transmission des diverses régions du spectre. La chaleur dégagée par la source ne vient plus perturber l'atmosphère de l'enceinte surtout si l'on a soin d'éliminer les radiations rouges et infra-rouges en faisant couler un film d'eau sur la paroi transparente par laquelle la lumière pénètre dans l'enceinte. Selon DORSEY, l'eau est le meilleur filtre pour les radiations de grande longueur d'onde.

Avec une couche d'eau de un centimètre, on élimine 26,97 % de radiations de 600 à 3000 $m\mu$ et seulement 0,01 % de radiations situées entre 200 et 600 $m\mu$, avec une couche d'eau de dix centimètres on élimine 45 % des premières et seulement 0,08 % des secondes.

e - Système de régulation

Pour que la régulation des divers facteurs de la climatisation soit parfaite il faut que l'inertie des appareils de contrôle soit réduite au minimum. En ce qui concerne la régulation de la température l'inertie des thermomètres et des relais doit être d'autant plus faible que la vitesse de l'air dans l'enceinte est plus grande. Pour des vitesses voisinant 23 cm/s, vitesse normale de l'air, l'utilisation de thermomètres ou régulateurs à dilatation (bilame, à détention de gaz, etc..) est à déconseiller. Cependant les thermomètres à contact, à dilatation de mercure qui ont un réservoir assez important pour une colonne de mercure à section très faible, gradués au 1/5 ou au 1/10 de degré assurent une bonne régulation lorsqu'ils sont associés à un relais électronique dont le temps de réponse est de l'ordre de la fraction de seconde.

Lorsque la vitesse atteint le mètre seconde, il faut faire appel aux thermomètres électroniques.

En ce qui concerne l'hygrométrie, aucun appareil à dilatation ne peut convenir parce que, d'une part, ils ne permettent pas une régulation plus précise que $\pm 5\%$ et que d'autre part leur temps de réponse dépasse toujours largement la seconde (hygromètre à cheveu). Il en est de même des hygromètres à point de rosée, un peu plus précis, $\pm 2\%$, mais tout aussi lents.

D'autre part la réponse de ces appareils est toujours différée, ce qui veut dire que non seulement elle tarde à s'établir, mais que le retard n'est pas toujours le même selon la grandeur mesurée.

Le meilleur système que nous possédions est le psychromètre qui utilise un thermomètre à contact au 1/20 de degré à réservoir humidifié ; les thermomètres électroniques à sonde humide et les hygromètres à variation de constante diélectrique. Lorsque la vitesse de l'air dans l'enceinte climatisée est de l'ordre de 23 cm/s, les premiers donnent de bons résultats lorsqu'ils sont bien ventilés et associés à un relais électronique. La précision atteint alors $\pm 1\%$ jusqu'à 25°C et $\pm 2\%$ pour des températures jusqu'à 50°.

II - LE BIOCLIMATRON O.R.S.T.O.M.

a - Possibilités

Nous avons évidemment cherché à réunir les qualités énumérées ci-dessus dans la conception de notre appareil.

Le Bioclimatron O.R.S.T.O.M. que nous présentons offre les avantages suivants :

- 1 - réglage à volonté de la température de l'air (+ 5 à + 45° ± 1/2°C à 1°C) de jour et de nuit sur un cycle de 24 heures ou plus ;
- 2 - réglage à volonté de l'hygrométrie de l'air (+ 15 à + 90 % ± 2 %) de jour et de nuit sur un cycle de 24 heures ou plus ;
- 3 - réglage de l'intensité et de la composition de la lumière ;
- 4 - réglage de la longueur des jours et des nuits, sur un cycle de 24 heures ou plus ;
- 5 - réglage de la vitesse de déplacement, de la distribution et de la composition de l'air ;
- 6 - la circulation de l'air se fait dans le sens horizontal et intéresse donc toute la masse du feuillage. Elle est orientable, peut être rendue hétérogène ;
- 7 - l'appareil est amovible grâce à quatre roues caoutchoutées de grand diamètre (dont deux orientables) ;
- 8 - l'enceinte dans laquelle se développent les plantes peut être fabriquée en Plexiglass (plus transparent que le verre aux UV) ce qui permet d'éclairer et d'observer, de l'extérieur, à tout instant les plantes en expérience ou de travailler avec la lumière solaire ;
- 9 - il est prévu un système automatique d'arrosage pour éviter l'ouverture de l'enceinte en cours d'expériences sur éléments marqués ;
- 10 - le volume de l'enceinte est réglable notamment en hauteur, grâce à l'adjonction de haussières à la partie supérieure de celle-ci ; la surface au sol utilisable est de 1,30 x 1,20.

b - Description de l'appareil (fig. 1)

L'appareil comprend deux parties principales : une enceinte (E), dans laquelle peuvent se développer les plantes en expérience, qui repose sur un sous-bassement (S) dans lequel se trouvent les appareils climatiseurs. Le tout est monté sur quatre roues caoutchoutées, ce qui facilite les déplacements.

1 - Enceinte climatisée (fig. 1, E)

L'enceinte climatisée où se développent les plantes a un volume de 2,5 m³. Ses parois sont entièrement transparentes (Plexiglass) ou peuvent être construites en une autre matière opaque, telle que l'afcodur ou le vulcadur ; elles peuvent également être constituées d'un sandwich fait de deux couches de matière plastique entre lesquelles on a

disposé une couche de polystyrène expansé. Ces différentes fabrications correspondent à des besoins bien déterminés. La première formule est utilisée pour les modèles maintenus en salles déjà grossièrement climatisées à cause des déperditions calorifiques assez importantes du Plexiglass, ou bien pour les études de l'effet des radiations en plein air, et dans ce cas, on utilise une enceinte plus petite avec un groupe climatiseur plus puissant pour réduire des variations qui risquent d'être apportées, notamment pendant la journée.

L'enceinte est de forme cubique ou parallélépipédique, elle est coupée horizontalement à la partie supérieure et peut recevoir une partie formant toit (T), des haussières (H) de même forme, qui s'adaptent exactement grâce à un joint de caoutchouc (J) et des cliquets spéciaux qui maintiennent les éléments bien en place, les uns au-dessus des autres.

On a donc ainsi la possibilité en rajoutant des haussières (H) successives, comme pour une ruche, d'augmenter le volume de l'enceinte en hauteur autant qu'on le désire, et de cultiver des plantes de bonne taille (arbustes). Cependant, seul l'élément de base de l'enceinte comporte des portes (pe) sur deux côtés latéraux opposés. Ces portes, en 2 parties, peuvent glisser ou être appliquées à l'aide de fermetures magnétiques. On a disposé parallèlement aux deux autres côtés verticaux deux fausses cloisons percées de trous (pp) que l'on peut obturer ou non à l'aide de registres. Il est constitué ainsi deux gaines (g) : l'une permet d'amener l'air climatisé et le distribue régulièrement dans tout le volume de l'enceinte où il circule horizontalement, l'autre reprend cet air et le renvoie à la machinerie où il est reconditionné.

Comme les haussières (H) sont de même forme et qu'elles comportent également à leurs extrémités correspondantes de fausses cloisons identiques, les deux gaines d'amenée d'air peuvent donc être prolongées naturellement quand on augmente la hauteur de l'appareil.

Le toit (T) fait corps ou non avec un élément (haussière) et s'emboîte de telle sorte qu'aucune fuite ou entrée d'air ne soit possible. Il est simple ou constitué par le fond d'un bac plat en plexiglass. On a ainsi la possibilité de faire couler sur ce toit un film d'eau qui permet de récupérer une partie des radiations infra-rouges émises par les sources lumineuses situées au-dessus de l'appareil. Afin d'éviter le développement des algues, l'eau est stérilisée à l'arrivée à l'aide d'une lampe germicide à U.V. de 40 W (L.UV).

La sole est également en matière plastique. C'est un plateau avec un léger rebord qui reçoit les cloisons de l'enceinte et qui repose sur le soubassement. Il est renforcé afin de supporter une charge de 500 kg au m² ; la surface utilisable est de 1,30 x 1,20.

2 - Soubassement et machinerie (S)

Le soubassement comporte un bâti métallique de forme parallélépipédique habillé de plaques de matière plastique et de grilles d'aération en métal déplié (gr).

La plaque d'habillage d'une extrémité sert de tableau de commandes car elle supporte les divers appareils de commandes de la machinerie et les interrupteurs. Aux quatre coins sous le bâti on a disposé des roues (ro) caoutchoutées, pivotantes, à roulements à billes ou à aiguilles, susceptibles de supporter 2 000 kg.

La plaque située à l'autre extrémité est percée d'un trou qui laisse passer la buse d'entrée d'air frais (af) et de trous pour le passage du câble électrique d'alimentation générale et des canalisations d'arrivée et de départ de l'eau (e).

Les panneaux latéraux comportent des grilles d'aération et des portes verrouillables pour l'accès à la machinerie.

3 - Conditionnement de l'air

L'air qui arrive par la gaine (g) d'une extrémité de l'enceinte circule dans le sens horizontal dans l'enceinte à raison de 23 cm/s environ. Cette vitesse peut être augmentée ou réduite en agissant sur les ventilateurs (V) du système de climatisation qui sont à vitesse variable.

L'air est repris à l'autre extrémité de l'enceinte, descend dans la gaine de reprise (g), est aspiré par une buse à la partie inférieure de celle-ci et part vers le système de climatisation placé dans le soubassement.

Là se trouve une gaine de climatisation (gc), horizontale, de section carrée, constituée de trois tronçons principaux démontables.

a) un tronçon (1) renferme: un ventilateur à vitesse variable (V) qui aspire l'air de l'enceinte d'une part, et, d'autre part, de l'air frais (1/10) grâce à une prise située en bout de gaine (af) et un évaporateur frigorifique à ailettes (ev) de grande puissance, qui permet la dessiccation de l'air par condensation de l'eau et son refroidissement. Cet évaporateur est alimenté en Fréon C12 ou C22 par un groupe compresseur d'1/2 à 3 CV à refroidissement par air où par eau selon les conditionnements à réaliser. La puissance du groupe de réfrigération peut aller de 1 000 à 10 000 frigories.

L'eau condensée au cours de ce refroidissement est récoltée dans un plateau qui constitue le côté inférieur de l'évaporateur et est renvoyée dans un bac situé sous le tronçon de gaine suivant (2) (humidificateur). Pour éviter le givrage l'évaporateur ne travaille toujours qu'au dessus de 0°C.

b) le deuxième tronçon est celui de l'humidificateur (2) ; il comporte deux thermomètres qui contrôlent la température de l'air à la sortie du tronçon (1) et permettent de régler la marche de l'évaporateur selon le régime de jour (T.fj) ou de nuit (T.fn) choisi dans l'enceinte, puis une résistance grille qui permet un premier réchauffement de l'air si nécessaire. Le côté inférieur du tronçon est percé d'un trou rectangulaire qui donne dans le bac d'humidification placé au-dessous. Dans ce bac, on a disposé

une résistance spéciale de 750 à 2 000 W type chauffe-bain sous tube inox qui porte l'eau à la température nécessaire à sa vaporisation ; afin d'éviter toute inertie il a été prévu deux dispositions du bac :

- le bac est à l'extérieur dans la position (bh, fig. 1) : dans ce cas il est alimenté avec la quantité d'eau juste nécessaire pour former une couche qui recouvre au fond de 1/2 à 1 cm la résistance chauffante .
- le bac est situé à l'intérieur de la gaine et est immédiatement refroidi par l'air frais sortant de l'évaporateur dès que la résistance ne chauffe plus.

Si l'appareil est destiné à des études demandant des climats très humides, on utilise un bac plat à grande surface d'évaporation. Au contraire, pour les climats secs, on utilise un bac étroit et profond.

L'air a été également humidifié dans un autre modèle par atomisation d'eau. Dans ce cas, l'atomisation était commandée par une vanne magnétique qui réglait l'arrivée d'air comprimé.

c) réchauffeur (3)

L'air humidifié est ensuite réchauffé en passant dans le troisième tronçon dans lequel sont disposées des résistances grilles et des résistances bobinées, donnant une puissance totale de 5 000 W.

Chaque résistance est indépendante et alimentée par deux fiches qui traversent les parois latérales de la gaine. Elles peuvent être alimentées indépendamment les unes des autres de manière à obtenir une puissance variant de 250 à 5 000 W. L'air humidifié et réchauffé est rebrassé grâce à un second ventilateur à vitesse variable qui pulse l'air dans une buse alimentant par la base la gaine de distribution de l'enceinte climatisée. Ce deuxième ventilateur n'est pas indispensable et a pu être remplacé dans certains cas par une grille qui freine l'air et provoque son mélange par surpression et turbulence locales. Il faut évidemment tenir compte alors de la perte de charge apportée par cette grille et augmenter d'autant la vitesse du ventilateur d'aspiration vu précédemment, afin de rétablir la vitesse normale de l'air dans l'enceinte.

On a pu recycler l'air d'une enceinte de 2,5 m³ en 50 secondes, en le renouvelant par admission de 1/10 d'air frais à chaque cycle.

4 - Équipement électrique - tableau de commandes

L'énergie dispensée à l'appareil est apportée sous forme de courant 220 V triphasé 17-25 ampères par phase et une terre. La terre est branchée sur le bâti métallique, sur le compresseur du groupe frigorifique et sur la partie métallique de la gaine de conditionnement.

Sur le tableau de commandes, facilement démontable, nous avons réuni : les interrupteurs (général (lg), lumière (ll), chauffage et ventilation (lchv), humidification (lh)), les relais correspondant à la mise en marche des divers organes de climatisation (groupe frigorifique (rf), réchauffeur (rch), humidificateur (rh)). Il faut ajouter un relais (ra) spécial permettant l'arrosage automatique des plantes en expérience ; les horloges permettant l'allumage des lampes (hl) et la réalisation des jours et des nuits, une horloge (ha) permettant la commande de pompes à membrane qui provoquent l'aération des solutions nutritives dans le cas de l'utilisation d'un système de cultures hydroponiques des plantes, et un disjoncteur (dj) protégeant le groupe frigorifique. Enfin, de part et d'autre de l'horloge, il sera placé un programmeur et le système électronique qui lui est associé sur les appareils destinés aux études des variations brusques et indépendantes des facteurs climatiques (ce programmeur spécial fera l'objet d'un autre Brevet).

L'air qui sort du premier tronçon (1) de la gaine de conditionnement (gc) dans lequel se trouve l'évaporateur frigorifique, est maintenu à une température inférieure de 2 à 4°C à celle exigée dans l'enceinte climatisée, grâce à deux thermomètres à contact (Th) (un pour les températures de jour, l'autre pour celles de nuit), placés à la sortie. Ces thermomètres sont branchés sur un relais inverseur qui enclenche un disjoncteur triphasé (dj) commandant le compresseur (cpf). On passe du thermomètre de jour sur le thermomètre de nuit grâce à un contacteur tripolaire à mercure qui bascule en même temps que les contacteurs commandant l'allumage ou l'extinction des lampes (jour et nuit). Le même système commande aussi le passage du régime de jour au régime de nuit et inversement, du réchauffeur et de l'humidificateur en passant sur deux groupes de thermomètres secs ou humides, placés soit dans la gaine de distribution d'air, soit dans l'enceinte même. Ceux qui commandent l'humidificateur ont leur réservoir entouré d'une mousseline imbibée de solution de chlorure de lithium et maintenue constamment humide.

Dans le cas de l'utilisation du programmeur, ces thermomètres peuvent être remplacés par des résistances CTN au germanium ou par une bougie au chlorure de lithium permettant l'évaluation du point de rosée.

5 - Eclairage

L'éclairage est situé au dessus du toit, mais peut également être distribué le long des parois verticales de l'enceinte dans le modèle à parois transparentes.

Le film d'eau circulant sur le toit permet de récupérer une bonne partie de l'infra-rouge émis par les lampes. Le courant d'alimentation des lampes est amené par une ligne qui passe par une des quatre canalisations qui montent le long de chaque côté vertical des gaines. La longueur du jour ou temps d'éclairement peut être réglée sur un cycle de 24 heures ou plus grâce à une horloge. On peut ainsi réaliser, soit des jours longs 24/24 h ou ≥ 12 h, soit des jours courts ≤ 12 h. Enfin,

l'enceinte peut servir à la fois de chambre claire, par exposition au soleil (modèle transparent), ou de chambre noire si elle est entreposée dans un local obscur, ou si l'enceinte est fabriquée en matière plastique opaque (vulcadur noir). Signalons enfin que le "plexiglass" matière choisie pour les enceintes transparentes est deux fois plus transparent aux U.V. que le verre ce qui constitue encore un avantage sur les salles claires des phytotrons recouvertes en verre.

Les intensités lumineuses réalisées dans l'enceinte peuvent aller de quelques lux à 120 000 lux et plus, ce qui dépasse l'intensité fournie par le soleil.

Les éclairages jusqu'à 10 000 lux ne posent pas de problèmes trop ardues. A 50 000 lux, il faut une densité de lampes très importante ou des lampes spéciales, comme les lampes au Xenon. L'installation consomme un nombre d'Ampères d'autant plus important que l'intensité de la lumière demandée est plus grande. Pour 120 000 lux, il faut environ 45 à 50 Ampères en 220 V pour des lampes GER.40. Une lampe au Xenon de 20 000 W a besoin de 45 à 50 Ampères par phase en 220 V. La production de telles intensités est très onéreuse et dangereuse pour les plantes si l'on ne prend pas de grandes précautions pour le refroidissement de l'enceinte et la récupération des radiations nocives et des infra-rouges produites en quantité et qui perturbent la climatisation. C'est pourquoi le toit de l'enceinte est constitué par le fond transparent d'un bac sur lequel on fait couler une pellicule d'eau ; l'eau en effet, selon les travaux de DORSEY, est un excellent filtre pour les radiations de grande longueur d'onde. Nous avons vu qu'avec un centimètre d'eau, 26,97 % des radiations rouges et infra-rouges étaient éliminées, tandis qu'avec 10 cm il en était éliminé 45 %.

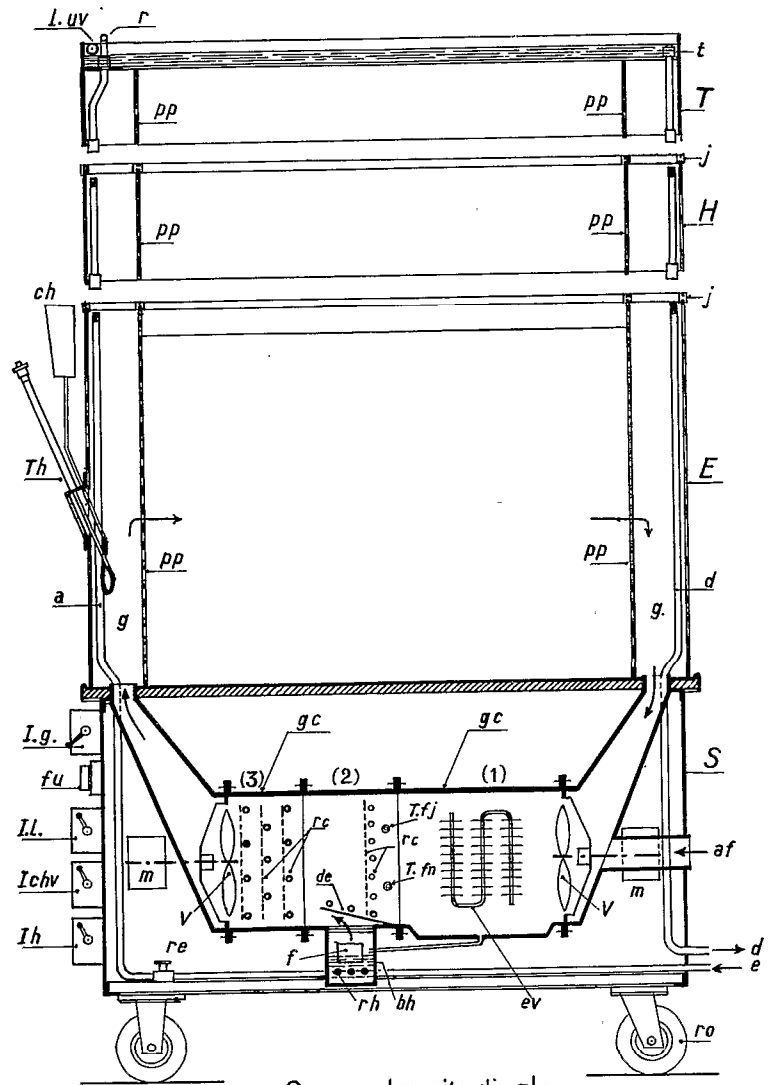
°°

Notre appareil fonctionne depuis un an déjà sans avoir eu besoin d'aménagements nouveaux et de réparations. Bien que nous ayons essayé d'éviter les imperfections des modèles déjà existants, nul doute que nous découvrons à la longue quelques inconvénients.

Dans les années qui viennent nous projetons de l'améliorer encore par un asservissement électronique qui nous permettrait de reproduire de véritables climats avec leurs variations brutales auxquelles les plantes sont si sensibles.

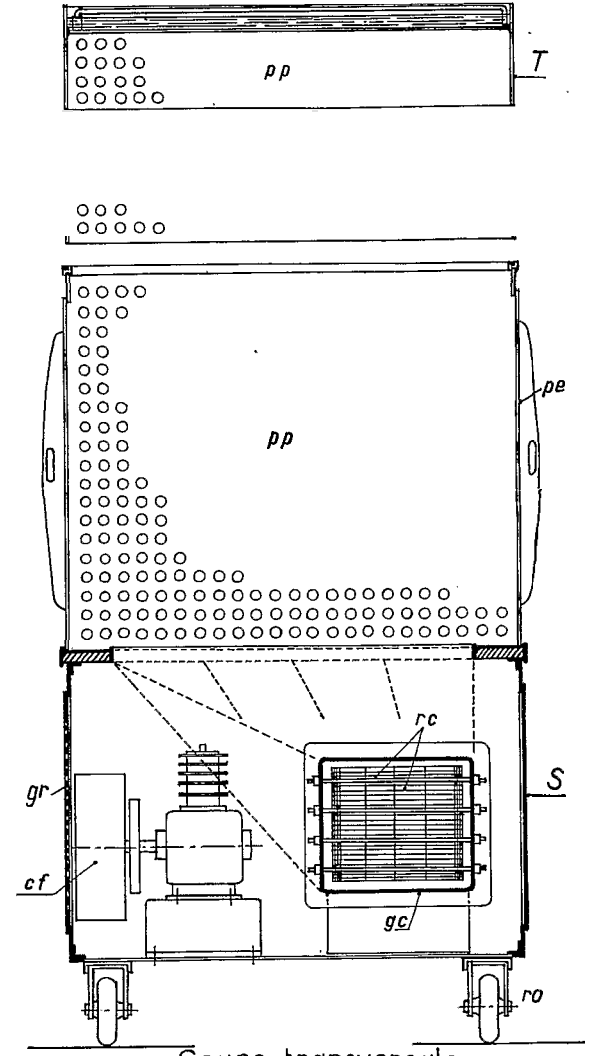
Enfin, nous l'utilisons pour des études d'Ecologie et de Physiologie végétales, mais, ainsi que nous l'avons signalé plus haut, nous pensons qu'il peut également servir à d'autres études : entomologiques, phytopathologiques, etc..

Le prix approximatif 1965 serait de 35 à 40 000 F.

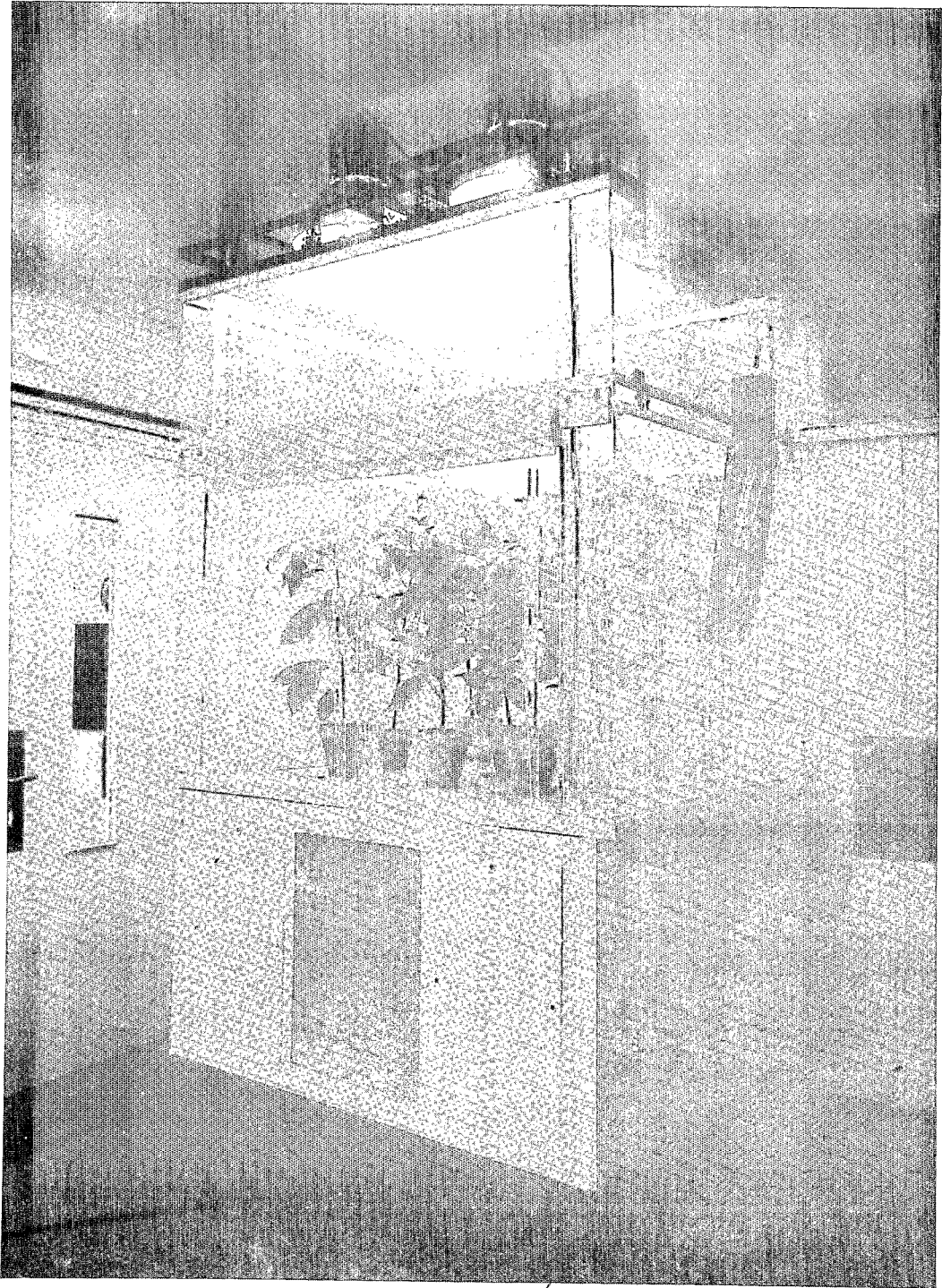


Echelle 1/200

Coupe longitudinale



Coupe transversale



O. R. S. T. O. M.

Direction générale :

24, rue Bayard, PARIS-8^e

Services Scientifiques Centraux ,

Service Central de Documentation :

70-74, route d'Aulnay, BONDY (Seine)