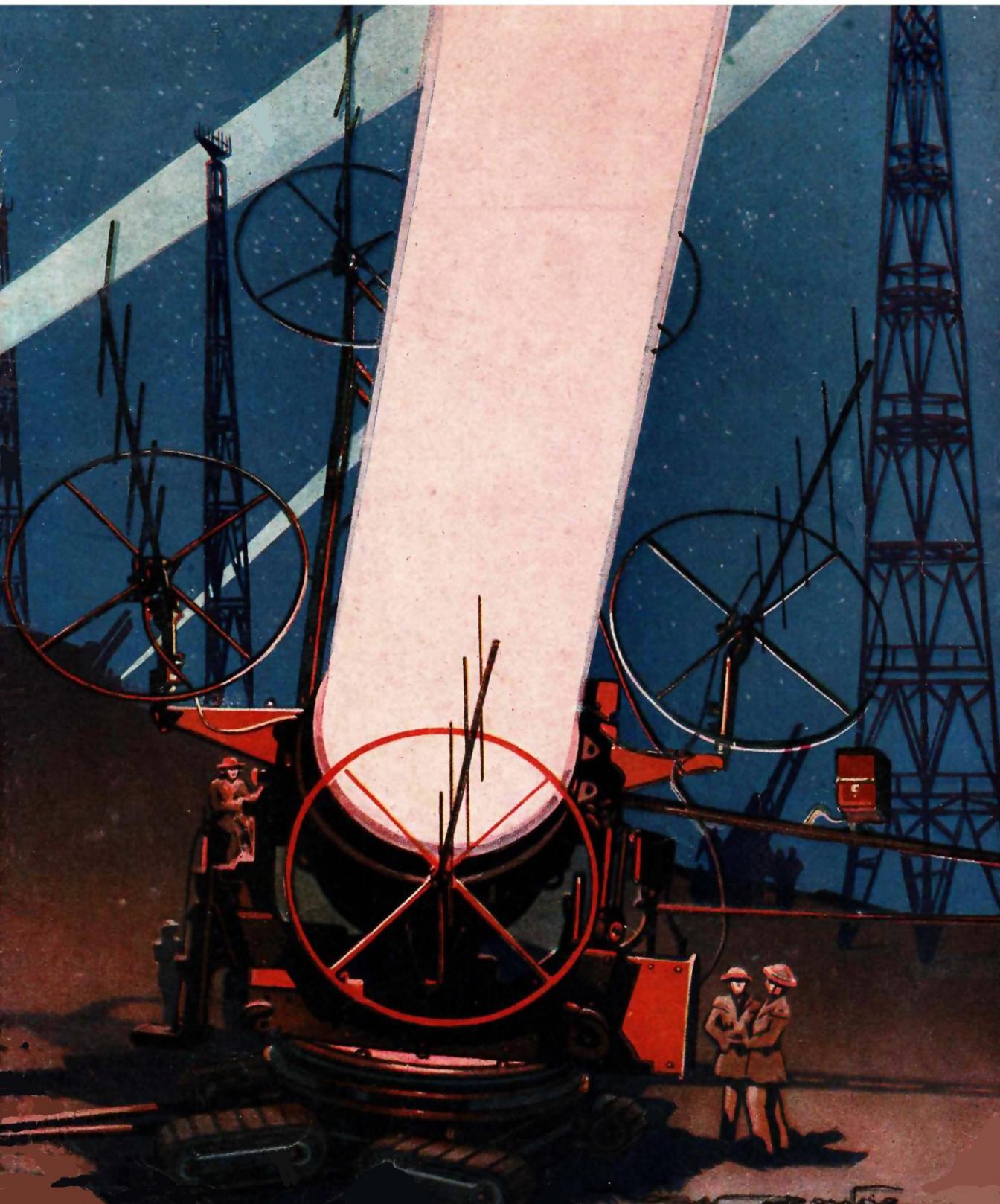


SCIENCE ET VIE

NOVEMBRE 1945

N° 338

20 FRANCS



Des possibilités illimitées

PUBLICITES SEVERES



S'OFFRENT A VOUS, quelles que soient les situations civiles et militaires auxquelles vous aspirez.

Plus de 70% des candidats reçus aux **examens officiels** sont des élèves de l'E.C.T.S.F.

IL N'EXISTE PAS D'AUTRE ÉCOLE POUVANT VOUS DONNER LA GARANTIE D'UN PAREIL COEFFICIENT DE RÉUSSITE.

ÉCOLE CENTRALE DE T.S.F.

12, RUE DE LA LUNE - PARIS

COURS DU JOUR, DU SOIR OU PAR CORRESPONDANCE

Demandez le Guide des Carrières gratuit

'LE DESSIN FACILE'

enseigne PAR CORRESPONDANCE
tous les genres de dessin



pour les adultes

■ "LE DESSIN FACILE" — Croquis, paysage, portrait, nu académique, perspective, anatomie, caricature, etc... magnifiques planches photographiques inédites accompagnant les leçons.

■ "LA PEINTURE FACILE" — Mélanges et harmonies de couleurs. Technique de l'aquarelle la gouache et la peinture à l'huile avec planches hors-texte en couleurs.

pour les enfants

"JE DESSINE" Ce petit cours amusant et instructif pour les enfants de 6 à 12 ans donne au petit élève le goût du dessin

■ Charmante carrière pour les femmes et jeunes filles la mode offre des débouchés lucratifs dans la figurine, le catalogue, la création de modèles, etc...

dessin d'illustration

■ Cours spécial préparant au métier très attrayant d'illustrateur de livre, revues, journaux, etc.

■ Affiche, catalogue, imprimé, annonces de journaux, tels sont les multiples débouchés offerts au dessinateur publicitaire.

dessin animé

■ Ce cours, le premier du genre en Europe, enseigne à fond le dessin animé de cinéma.

★ Tous ces cours sont conçus suivant les principes qui ont valu tant de succès à Marc SAUREL, le véritable créateur de l'enseignement du dessin par correspondance qu'il pratique depuis 24 ans. Les témoignages enthousiastes de ses élèves prouvent chaque jour leur efficacité.

Demandez la brochure de renseignements illustrée en indiquant le genre qui vous intéresse ; envoyez ou recopiez le bon ci-contre. Joindre 6 francs en timbres.

BON

SV-66

"LE DESSIN FACILE"

11, RUE KEPPLER - PARIS - 16°

LE DESSIN INDUSTRIEL

MÉTIER D'AVENIR

Chez vous, à temps perdu, apprenez par correspondance le **DESSIN INDUSTRIEL** par les célèbres méthodes de l'École du "Dessin Facile". Outre les principes du dessin industriel l'enseignement comporte les applications à la mécanique, architecture, topographie, chemin de fer, électricité, aviation, etc. Aucune connaissance scientifique n'est exigée, aucun talent n'est nécessaire pour tirer un profit complet du Cours de Dessin Industriel. Il ouvre l'accès aux bureaux d'étude de toutes les industries et permet d'obtenir des situations très intéressantes et bien payées.

Demandez la Notice-programme SV 67 (Section dessin industriel) 11 rue Keppler, Paris-16° (Joindre 6 frs en timbres)

AU SERVICE DE LA FRANCE



... et fabrique
aujourd'hui

les milliers de camions
indispensables à la
reprise économique
et à l'équipement de
l'Armée

Demain

grâce à son puissant
outillage, elle reprendra
la production en
grande série des voi-
tures de tourisme éco-
nomiques, dont la qua-
lité fit la réputation de

RENAULT
L'AUTOMOBILE DE FRANCE

RÉGIE NATIONALE DES USINES RENAULT - BILLANCOURT (SEINE)

" DESSINEZ "

rapidement et exactement,
même sans savoir dessiner, grâce au :

DESSINEUR (chambre claire simplifiée)

Envoi gratuit du catalogue n° 12

D'un seul coup Agrandissement d'un dessin.
d'œil, sans
connaissance du
dessin, cet
appareil permet
d'agrandir,
réduire,
copier
d'après nature
et d'après
documents :
Photos, paysages,
plans, dessins,
portraits, objets
quelconques, etc.



P. BERVILLE, 18, rue Lafayette, PARIS-IX^e

Les cours par correspondance DE L'ÉCOLE UNIVERSELLE

permettent à ses élèves d'effectuer le maximum de progrès dans le minimum de temps. Ceux de ces cours qui préparent aux examens et aux concours publics conduisent chaque année au succès plusieurs milliers d'élèves.

Vous pouvez faire CHEZ VOUS, QUELLE QUE SOIT VOTRE RÉSIDENCE, sans déplacement, sans abandonner l'emploi qui vous fait vivre, en utilisant simplement vos heures de loisirs, avec le MINIMUM DE DÉPENSES, quel que soit votre âge, en toute discrétion si vous le désirez, toutes les études que vous jugerez utiles pour compléter votre culture, pour obtenir un diplôme universitaire, pour vous faire une situation dans un ordre quelconque d'activité, pour améliorer la situation que vous pouvez déjà occuper ou pour changer totalement d'orientation.

L'École Universelle vous adressera gratuitement, par retour du courrier, celle de ses brochures qui vous intéresse et tous renseignements qu'il vous plaira de lui demander.

BROCHURE L. 83.860. — ENSEIGNEMENT PRIMAIRE : Classes complètes depuis le cours élémentaire jusqu'au Brevet supérieur, Bourses, Brevets, etc.

BROCHURE L. 83.861. — ENSEIGNEMENT SECONDAIRE : Classes complètes depuis la onzième jusqu'à la classe de mathématiques spéciales incluse, Bourses, Examens de passage, Baccalauréats, etc.

BROCHURE L. 83.862. — ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR : Licences (Lettres, Sciences, Droit), Professorats.

BROCHURE L. 83.863. — GRANDES ÉCOLES SPÉCIALES.

BROCHURE L. 83.864. — POUR DEVENIR FONCTIONNAIRE : Administrations financières, P. T. T., Police, Ponts et Chaussées, Génie rural, etc...

BROCHURE L. 83.865. — CARRIÈRES DE L'INDUSTRIE, des MINES et des TRAVAUX PUBLICS, Certificats d'aptitude professionnelle et Brevets professionnels.

BROCHURE L. 83.866. — CARRIÈRES DE L'AGRICULTURE et du Génie rural.

BROCHURE L. 83.867. — COMMERCE, COMPTABILITÉ, INDUSTRIE HOTELIÈRE, ASSURANCES, BANQUE, BOURSE, etc... Certificats d'aptitude professionnelle et Brevets professionnels.

BROCHURE L. 83.868. — ORTHOGRAPHE, RÉDACTION, CALCUL, ÉCRITURE.

BROCHURE L. 83.869. — LANGUES VIVANTES, TOURISME, Interprète, etc...

BROCHURE L. 83.870. — CARRIÈRES de L'AVIATION MILITAIRE et CIVILE.

BROCHURE L. 83.871. — CARRIÈRES de la MARINE de GUERRE.

BROCHURE L. 83.872. — CARRIÈRES de la MARINE MARCHANDE (Pont, Machines, Commissariat).

BROCHURE L. 83.873. — CARRIÈRES des LETTRES (Secrétariats, bibliothèque, etc...).

BROCHURE L. 83.874. — ÉTUDES MUSICALES : Solfège, Harmonie, Composition, Piano, Violon, Chant, Professorats.

BROCHURE L. 83.875. — ARTS DU Dessin : Professorats, Métiers d'art, etc...

BROCHURE L. 83.876. — MÉTIERS DE LA COUTURE, de la COUPE, de la MODE, de la LINGERIE, de la BRODERIE, etc...

BROCHURE L. 83.877. — ARTS DE LA COIFFURE ET DES SOINS DE BEAUTÉ.

BROCHURE L. 83.878. — CARRIÈRES DU CINÉMA.

ÉCOLE UNIVERSELLE
PARIS, 59, boulevard Exelmans, PARIS

LA MÉTHODE A. B. C. MET LE DESSIN A LA PORTÉE DE TOUS



Croquis
d'élève,

" Il suffit de savoir écrire. "

Car l'écriture, c'est déjà du dessin et, par la curieuse méthode créée par l'École A. B. C., on se sert justement de l'habileté graphique, que vous avez acquise en apprenant à écrire, pour vous enseigner le dessin.

Dès la première leçon, cette méthode permet aux élèves de réaliser des croquis rapides, d'après nature, vivants et expressifs, et peu à peu, guidés par leurs professeurs individuels, de prendre conscience de leurs capacités, d'aborder des études plus poussées et d'acquiescer les techniques de véritables professionnels.

En dehors de l'enseignement général du dessin, l'École A. B. C. permet à chaque élève, selon son goût et selon le but qu'il poursuit, de se spécialiser dans l'illustration, le dessin humoristique, la décoration, la mode, le paysage, le dessin de publicité, etc..., etc..., et ceci sans aucun supplément de prix.

C'est donc à vous que nous nous adressons en vous disant : quels que soient votre âge, votre situation, votre résidence, et même si vous n'avez jamais tenu un crayon, vous pouvez apprendre très rapidement à dessiner grâce à la Méthode A. B. C., et c'est dans les deux premières heures de vos études que vous apprendrez comment on dessine.

Un album luxueusement édité, contenant de nombreux croquis et dessins faits par les élèves, montre le résultat qu'ils obtiennent, donne le programme et tous les renseignements désirés sur le fonctionnement des cours et les conditions d'inscription.

Demandez cet album offert gracieusement. (Veuillez joindre 6 fr. en timbres-poste pour frais d'envoi.)



Remarquable portrait à la plume exécuté par un de nos élèves.

BON

pour une
brochure C. B. 37.

ÉCOLE A. B. C. DE DESSIN
12, rue Lincoln, PARIS-8^e

AUTOMOBILE - AVIATION - CINÉMA - COMMERCE - VENTE
ET PUBLICITÉ - CUISINE - DESSIN - DICTIONNAIRES ET
ENCYCLOPÉDIES - ÉLECTRICITÉ - ÉLEVAGE - ENSEIGNEMENT
GÉNÉRAL - FINANCE - BOURSE - JARDINAGE
JEUX DE SOCIÉTÉ - MAGNÉTISME - ASTRONOMIE - MARINE
ET YACHTING - MÉTÉOROLOGIE - HYGIÈNE
MENUISERIE - MODELES REQUISITS - PÊCHE - PHILATÉLIE
RADIO - RADIO - PHOTO - PHYSIQUE ET CHIMIE
RADIESTHÉSIE - RADIO - TÉLÉVISION - TRAVAUX
D'AMATEURS - SCIENCES NATURELLES - ARTISANAT

**TOUS LES
OUVRAGES
DE
TECHNIQUES ET DE
VULGARISATION
SCIENTIFIQUE**

SCIENCES ET LOISIRS

17, AV. DE LA RÉPUBLIQUE, PARIS (XI^e)

CATALOGUE GÉNÉRAL CONTRE 10^{FRS} EN TIMBRES

Chez vous

sans quitter vos occupations actuelles vous apprendrez



la RADIO

C'est en forgeant qu'on devient forgeron...
C'EST EN CONSTRUISANT VOUS-MÊME DES POSTES que vous deviendrez un radiotechnicien de valeur. Suivez nos cours techniques et pratiques par correspondance.

Cours de tous degrés :
du Monteur-Dépanneur à l'ingénieur.

DOCUMENTATION GRATUITE

INSTITUT PROFESSIONNEL POLYTECHNIQUE
11, RUE CHALGRIN A PARIS (XVI^e)

ÉCOLE SPÉCIALE DES TECHNIQUES MODERNES



Jeunes gens et jeunes filles apprenez la radio par correspondance

Sans modifier vos occupations et sans connaître les mathématiques

VOUS POUVEZ :

- les jeunes (garçons et filles), vous faire une situation, entrer dans les Transmissions de l'Air ;
Programme spécial approuvé par le Ministère de l'Air
- à tout âge, devenir monteurs, dépanneurs, artisans,
- les amateurs, comprendre sans effort le fonctionnement de votre récepteur radio, en suivant nos **COURS RADIO, mis à la portée de tous.**

Demandez programme détaillé et tous renseignements à

L'ÉCOLE SPÉCIALE DES TECHNIQUES MODERNES

14, rue Volta, TOULOUSE

LES MEILLEURES ÉTUDES PAR CORRESPONDANCE

se font à l'ÉCOLE DES SCIENCES ET ARTS, où les meilleurs maîtres, appliquant les meilleures méthodes d'enseignement par correspondance, forment les meilleurs élèves.

ÉTUDES PRIMAIRES OU SECONDAIRES. — Des centaines de brillants succès au B. E., au B. E. P. S., au *Baccalauréat*, établissent la haute efficacité des méthodes de l'École des Sciences et Arts. — Brochure gratuite n° R 18900.

NOS COURS D'ORTHOGRAPHE ET DE RÉDACTION vous assureront une connaissance solide de votre langue maternelle, un style correct, clair, élégant. — Notice gratuite n° R 18901.

LES COURS DE FORMATION SCIENTIFIQUE vous permettront de compléter vos connaissances en Mathématiques, Physique, Chimie, etc. — Notice gratuite n° R 18902.

DESSIN INDUSTRIEL. — Préparez-vous à un Certificat d'aptitude professionnelle, ou directement à l'exercice de la profession de Dessinateur dans l'Industrie et le Bâtiment. — Notice gratuite n° R 18903.

CARRIÈRES COMMERCIALES. — Nos *Cours de Commerce* et de *Comptabilité* constituent la meilleure des préparations à ces carrières comme aux Certificats d'aptitude professionnelle commerciaux. — Notice gratuite n° R 18904.

LA CÉLÈBRE MÉTHODE DE CULTURE MENTALE « DUNAMIS » permet à chacun de développer toutes ses facultés, d'acquiescer la confiance en soi et de « forcer le succès ». — Notice gratuite n° R 18905.

LE COURS DE DESSIN ARTISTIQUE, en vous

apprenant d'abord à voir, puis à interpréter votre vision personnelle, vous donnera la formation complète de l'artiste et l'accès aux plus brillantes carrières. — Notice gratuite n° R 18906.

PHONOPOLYGLOTTE vous apprendra, par le phonographe, à parler, à comprendre, lire, écrire l'Anglais, l'Espagnol, l'Allemand, l'Italien. — Notice gratuite n° R 18907.

LE COURS D'ÉLOQUENCE vous mettra en mesure d'improviser une allocution émouvante, de composer un discours persuasif. — Notice gratuite n° R 18908.

LE COURS DE PUBLICITÉ vous permettra soit de vous assurer dans cette branche un brillant avenir, soit de donner à vos affaires le maximum de développement. — Notice gratuite n° R 18909.

LE COURS DE FORMATION MUSICALE fera de vous un musicien complet, capable de déchiffrer n'importe quelle œuvre, non seulement maître de la technique musicale, mais averti de toutes les questions d'histoire et d'esthétique. — Notice gratuite n° R 18910.

LE COURS D'INITIATION AUX GRANDS PROBLÈMES PHILOSOPHIQUES est le guide sûr de tous ceux qui veulent savoir comment se posent et comment peuvent être résolus les grands problèmes de la liberté humaine, de l'immortalité de l'âme, etc. — Notice gratuite n° R 18911.

FONCTIONS PUBLIQUES. — Nous vous recommandons les situations de l'Administration des P. T. T.: *Commis masculin* ou *Commis féminin*, *Contrôleur stagiaire*. — Notice gratuite n° R 18912.

ÉCOLE DES SCIENCES ET ARTS

16, rue du Général-Malleterre, PARIS (16^e). - 81, boulevard des Belges, LYON.

JEUNES GENS !

Occupez vos loisirs en suivant par correspondance les cours qui feront de vous, en peu de temps, des hommes de valeur. Faites-vous une situation d'avenir dans l'une des branches suivantes :



DESSIN INDUSTRIEL

Situations agréables dans toutes les industries sans exception : Aviation, Automobile, Constructions mécaniques et électriques, Travaux publics, Grandes Administrations d'État. Partout, il y a place pour des milliers de dessinateurs, hommes et femmes.



AVIATION

Le développement formidable que prendra l'Aviation demain offrira de nombreuses et excellentes situations à un personnel spécialisé. L'Aviation vous attire ? Alors devenez à votre choix Électro-Mécaniciens ou pilotes.



RADIOÉLECTRICITÉ

Industrie à l'avenir illimité, qui, avec ses actuelles applications du Cinéma sonore et de la Télévision, fait appel à des techniciens de tous grades : du monteur à l'ingénieur, elle réserve à ces techniciens un travail aussi passionnant que bien rémunéré.

TRAVAUX PRATIQUES

Avec le matériel que l'École mettra **GRATUITEMENT** entre vos mains et quelle que soit votre résidence, vous deviendrez un **TECHNICIEN VRAIMENT COMPLET**

Notre documentation illustrée vous sera adressée **GRATUITEMENT** sur simple demande (Bien spécifier la branche choisie)

ÉCOLE PROFESSIONNELLE SUPÉRIEURE

51, boulevard Magenta, PARIS (10^e)

AU SERVICE DE L'ESPRIT



Les stylos

AGAP

Bien français



ANALPEN

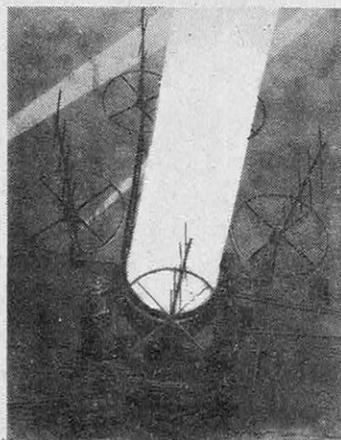
SCIENCE ET VIE

Tome LXVIII - N° 338

Novembre 1945

SOMMAIRE

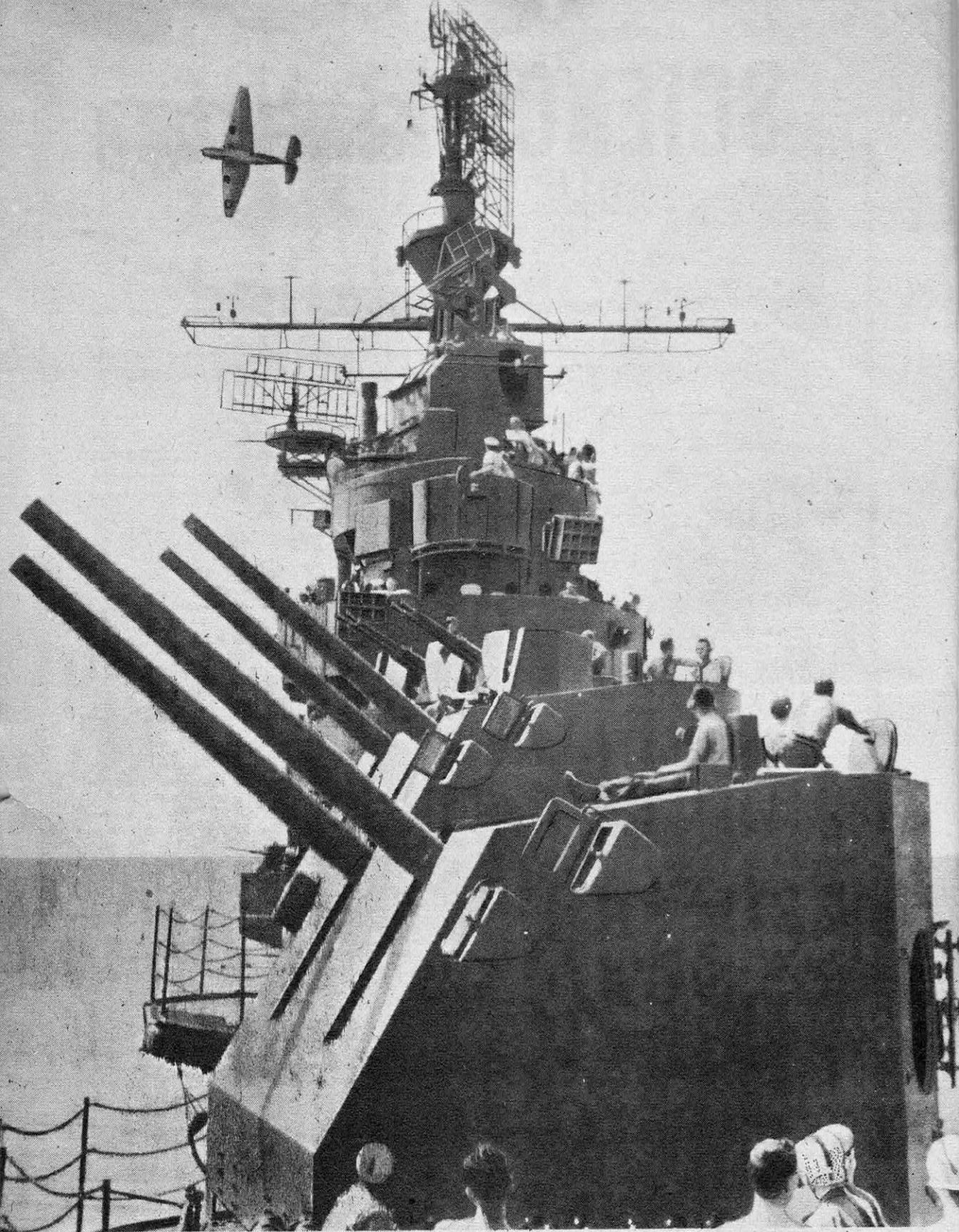
- * Le radar, par R. Leprêtre..... 179
- * A la recherche des constituants intimes de la matière vivante, par Jean Labadié..... 191
- * Les planètes, leurs atmosphères et les conditions de vie à leur surface, par Charles Fabry..... 201
- * La prise en remorque d'un planeur par un avion en vol, par H. F..... 213
- * Comment on essaie scientifiquement les insecticides agricoles, par L. Bonnemaïson..... 214
- * Les A-Côté de la Science, par V. Rubor..... 223



Pendant les premières années de la seconde guerre mondiale, on a pu croire que celle-ci serait relativement peu fertile en armes inédites. Après la fin sensationnelle de la guerre contre le Japon, la levée du secret qui couvrait les nouveautés techniques a montré qu'il n'en était rien. Dès 1940, c'est à une invention nouvelle, le « radar », que la Royal Air Force doit d'avoir pu gagner la bataille d'Angleterre. C'est un véritable œil électrique qui permet de localiser avec sûreté les avions, les navires, la terre, les obstacles. Le radar a une portée bien supérieure à celle de l'œil humain et « voit » à travers le brouillard et la nuit. Ses applications militaires sont multiples. La couverture du présent numéro représente un projecteur guidé par radar et qui, après avoir suivi, sans se révéler, un avion ennemi, le prend brusquement dans son faisceau et le désigne aux coups de la chasse de nuit. (Voir l'article page 179 de ce numéro.)

« Science et Vie », magazine mensuel des Sciences et de leurs applications à la vie moderne. Administration, Rédaction, 5, rue de La Baume, Paris (VIII^e). Téléphone : Élysées 26-69; Publicité 24, rue Chauchat Paris (IX^e). Téléphone : Provence 70-54. Chèque postal : 91-07 Paris. Tous droits de reproduction, de traduction et d'adaptation réservés pour tous pays. Copyright by « Science et Vie », Novembre mil neuf cent quarante-cinq. Registre du Commerce : Toulouse 3235 B.

ABONNEMENTS. — Affranchissement simple : France et Colonies, 200 francs; Étranger, 350 francs. — Affranchissement recommandé : France et Colonies, 270 francs. Étranger, 450 francs. — Seuls, les règlements par chèques postaux (mandats roses ou virements) au Compte chèque postal 91-07 PARIS sont acceptés. — Tout changement d'adresse doit être accompagné de 5 francs en timbres et de la dernière bande d'envoi.



UN PORTE-AVIONS AMÉRICAIN DE 27 000 TONNES, ARMÉ DE CANONS DE 120 MM, DONT LE TIR EST COMMANDÉ PAR LES RADARS. ON APERÇOIT LES AÉRIENS QUI SE DÉTACHENT SUR LE CIEL EN TÊTE DE MAT ET EN BOUTS DE VERGES

LE RADAR

par R. LEPRÊTRE

Ancien élève de l'École Polytechnique, Ingénieur E. S. E.

Le secret vient d'être partiellement levé par les censures alliées sur le radar, l'une des inventions qui ont le plus contribué à changer la physionomie des opérations de guerre sur mer et dans l'air. Le radar constitue à la fois un phare hertzien, émettant des radiations invisibles, mais très voisines de la lumière, et un « œil » qui observe les objets illuminés par ce phare. Il porte beaucoup plus loin que l'œil humain, même aidé par les instruments d'optique les plus perfectionnés, et n'est gêné ni par la nuit, ni par le brouillard. De plus, il mesure la distance qui le sépare de l'objet examiné avec plus d'exactitude que la meilleure télémétrie optique. Grâce au radar, la surprise est, dans une large mesure, éliminée des combats sur terre, sur mer et dans les airs. De plus, il a complètement renouvelé les méthodes de tir des canons de marine et de D. C. A., les procédés de bombardement de l'aviation, ainsi que la navigation maritime et aérienne. Après avoir vu pendant cinq ans se multiplier ses applications militaires, le radar est certainement appelé en temps de paix à rendre d'incalculables services dans tous les domaines de la locomotion.

L'invention qui a sauvé l'Angleterre

Au mois d'août 1940, la Luftwaffe engageait dans le ciel de Londres une bataille aérienne dont l'enjeu était la maîtrise de l'air au-dessus de l'Angleterre, prélude indispensable à l'invasion de l'île. La situation était en apparence désespérée pour la Royal Air Force qui n'avait que 640 chasseurs à opposer aux 1 100 chasseurs, 1 000 bombardiers et Stukas innombrables allemands. Pourtant, à la fin du mois de septembre, non seulement l'aviation anglaise n'avait pas été détruite, mais l'usure de la Luftwaffe avait pris des proportions tellement catastrophiques que les Allemands devaient renoncer aux attaques aériennes de jour. L'Angleterre était sauvée.

Comme le déclara plus tard M. Churchill : « Jamais un si grand nombre d'individus n'avait dû son salut à un si petit nombre ». Formule qui ne prend toute sa valeur que si l'on connaît la raison déterminante de la victoire de la Royal Air Force. Car, si les pilotes britanniques ne furent pas écrasés, ils le furent aux recherches de quelques savants qui, juste avant la guerre, avaient trouvé le moyen de repérer les avions à grande distance. Cette invention a permis aux services de détection anglais de signaler les escadres longtemps avant leur arrivée dans le ciel d'outre-Manche, et, par conséquent, aux chasseurs de la défense de ne prendre l'air que peu avant l'arrivée des formations assaillantes, dont l'importance et la position étaient connues en permanence. Sans ce procédé de repérage, l'aviation anglaise aurait usé rapidement ses formations par des patrouilles permanentes et son rendement aurait été nettement inférieur.

Un tel procédé de repérage était à l'étude dans la plupart des grands pays : les Français l'appelaient *Détection électromagnétique* (D. E. M.), les Anglais *Radiolocation* ; quand les États-Unis et l'Angleterre eurent mis en commun leurs connaissances techniques pour la conduite

de la guerre, c'est le nom américain *radar* (*Radio Detection and Ranging* : détection et télémétrie par radio) qui fut adopté par tous. Quant aux Allemands, ils étaient si loin en 1940 de la solution de ce problème technique qu'ils mirent plusieurs années à comprendre la raison pour laquelle ils trouvaient, à chaque raid sur Londres, des patrouilles de chasse prêtes à les accueillir.

Le principe du radar

Longtemps avant la guerre de 1939, on s'était aperçu que les ondes courtes (supérieures cependant à une dizaine de mètres de longueur d'onde) se réfléchissent sur les couches supérieures de l'atmosphère terrestre. Ce qui explique les portées considérables de ces ondes.

Pour étudier ces couches réfléchissantes, qui ont rendu célèbres les noms d'Heaviside et d'Appleton, et pour suivre leurs variations d'altitude avec l'heure de la journée et la saison, on imagina d'émettre pendant un temps très court un signal hertzien. Celui-ci se réfléchissant sur la couche étudiée revenait donner dans un récepteur un écho que l'on enregistrait. La mesure de l'intervalle de temps qui séparait le signal de son écho permettait de mesurer l'altitude de la couche en question. Ce temps est toujours extrêmement court, de l'ordre du millième de seconde, car les ondes hertziennes se propagent à la vitesse de 300 000 km/s, qui est la vitesse commune à toutes les ondes électromagnétiques, en particulier celles de la lumière, et les couches réfléchissantes se situent à une altitude d'une centaine de kilomètres. On s'aperçut par la suite que les communications radioélectriques entre deux bateaux étaient interrompues par la présence d'un autre bateau situé entre ceux-ci. Le principe de la détection électromagnétique était trouvé.

Un radar se compose donc essentiellement d'un poste émetteur-récepteur qui envoie un

signal extrêmement court, appelé *pulse*, dont la durée est de l'ordre du millionième de seconde, dans une direction donnée de l'espace (les ondes très courtes employées peuvent en effet être dirigées comme un faisceau lumineux), signal puissant (plusieurs centaines de kilowatts), permettant des portées de plusieurs centaines de kilomètres. La brièveté des signaux fait que, malgré la valeur élevée de la puissance de « crête », la puissance moyenne de consommation est assez faible, ce qui autorise l'emploi de lampes de petites dimensions, pas plus grandes que celles des postes radiodétecteurs classiques.

Le faisceau rencontrant le corps que l'on veut repérer (navire, avion, iceberg, etc.) revient à son point de départ où il est capté par le récepteur (fig. 1). Signal émis et écho sont tous deux mis en évidence sur l'écran d'un oscilloscope (1) cathodique (fig. 2) sous la forme de deux pointes en V renversé, séparées par une certaine distance qui représente le temps mis par le *pulse* pour faire le trajet d'aller et retour. Divers procédés sont utilisables pour en déduire la distance du radar à l'objet repéré.

Le plus couramment utilisé consiste à superposer au phénomène précédent sur l'écran de l'oscilloscope une onde carrée dont on peut faire varier continuellement la durée et qui est étalonnée avec grande précision par comparaison avec les oscillations d'un quartz (fig. 3). Sur certains écrans (écrans panoramiques dont nous parlerons plus loin, par exemple), on affiche directement l'échelle en distances rondes données par le quartz ; mais la précision est moindre du fait de la nécessité d'interpoler. Pour repérer le but en direction, l'aérien directif est mobile de sorte que l'axe du faisceau hertzien émis peut explorer tout l'espace, tandis que

(1) Nous adoptons ici l'appellation d'oscilloscope, pour l'appareil appelé jusqu'ici en France « oscillographe ».

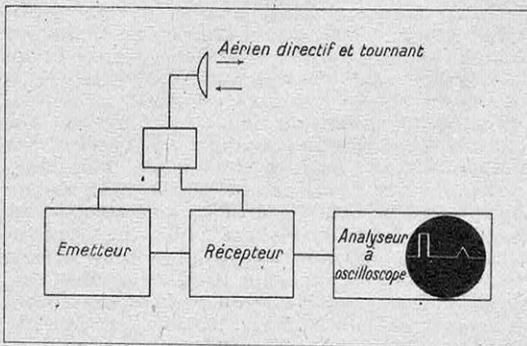


FIG. 1. — SCHÉMA DE PRINCIPE DU RADAR

Un poste émetteur-récepteur envoie dans la direction d'un avion ou d'un navire un faisceau mince d'ondes hertziennes. Le signal émis est très bref (de l'ordre du millionième de seconde). Les ondes se réfléchissent sur l'appareil repéré et donnent un écho qui est reçu par le radar. Signal émis et écho s'inscrivent sur l'oscilloscope, ce qui permet de mesurer la durée du trajet aller-retour de l'onde. Si t est cette durée exprimée en microsecondes, la vitesse des ondes hertziennes étant de $0,3 \text{ km}$ par microseconde ($300\,000 \text{ km}$ par seconde), le chemin parcouru par l'onde a été de $0,3 \text{ km} \times t$, et la distance du radar au but détecté est la moitié de ce chemin. Il est utile de se rappeler en radiodétection que la microseconde correspond à 150 m .

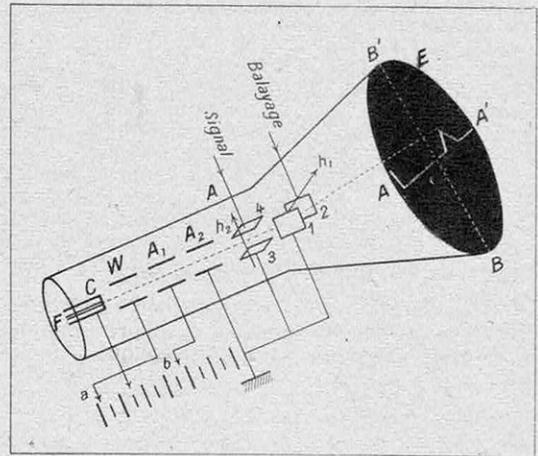


FIG. 2. — LA RÉCEPTION D'UN ÉCHO RADAR SUR L'ÉCRAN D'UN OSCILLOSCOPE CATHODIQUE

Le tube cathodique se compose d'une ampoule A, généralement vidée, parfois remplie d'un gaz à la pression de 5.10^{-3} mm de mercure. A l'intérieur de cette ampoule se trouve une cathode C à chauffage indirect, qui émet des électrons. En avant de la cathode se trouve un petit cylindre W appelé cylindre de Wehnelt, qui joue le rôle de diaphragme. Sa polarisation, qui peut être réglée par le curseur a, est négative par rapport à la cathode. Il concentre les électrons, et le réglage de a permet de commander l'intensité du faisceau électronique qui va frapper un écran fluorescent E placé au fond du tube et donner une image lumineuse ou « spot ». En avant du cylindre de Wehnelt se trouvent deux autres cylindres qui sont les anodes accélératrices A1 et A2, portées à des potentiels différents positifs par rapport à la cathode. Elles forment lentilles électroniques. Le réglage du curseur b, qui fixe la tension de la première anode A1, permet de commander la concentration du faisceau électronique au point d'impact avec l'écran. Entre la deuxième anode et l'écran se trouvent quatre petites plaques déviatrices. Deux des plaques sont verticales (1 et 2). Si on applique une tension « en dents de scie » entre elles, elles créent un champ électrique h_1 qui dévie le faisceau de telle sorte que le spot décrit d'un mouvement uniforme une ligne droite AA' sur l'écran, de la gauche vers la droite, puis est rappelé très rapidement à sa position de départ à gauche de l'écran. Le mouvement ainsi réalisé est appelé « balayage horizontal ». Les deux autres plaques sont horizontales (3 et 4). Un signal radar appliqué sur ce système de plaques (champ h_2) dévie le faisceau électronique verticalement, parallèlement à BB'. En définitive, sur l'écran de l'oscilloscope est inscrite normalement une ligne lumineuse AA' accidentée de dents représentant les échos. Le signal de départ coïncide avec le début du balayage. Certains oscilloscopes sont basés sur un principe légèrement différent : les déviations horizontales et verticales sont obtenues par des champs magnétiques produits par des bobines déstectrices.

l'émission des signaux se renouvelle plusieurs dizaines ou plusieurs centaines de fois par seconde. Le déclenchement du balayage de l'oscilloscope est produit au même instant que l'émission des signaux afin que les « spots » d'émission et d'écho se forment aux mêmes points de l'échelle pour une même valeur de la distance radar-objet repéré. En raison de la persistance de la fluorescence de l'écran, ces deux spots semblent donc immobiles dans ces conditions. Les déplacements de l'objet repéré se traduisent par des déplacements correspondants de la pointe d'écho.

Quand le faisceau ne rencontre aucun obsta-

cle, on ne décèle sur l'écran de l'oscilloscope que le signal d'émission. Quand un obstacle surgit dans le faisceau du radar, l'écho apparaît avec une intensité d'abord faible, puis qui augmente et passe par un maximum quand le faisceau est exactement centré sur l'objet repéré. Quand cet objet est un avion, il convient de balayer non pas un angle plan comme c'est le cas pour la recherche des navires, mais un angle solide. On déplace le faisceau à la fois autour d'un axe vertical et dans le plan vertical passant par cet axe, de façon à obtenir l'intensité maximum de l'écho.

Dans tous les cas, le radar fournit instantanément la distance exacte (à 150 m près pour les appareils les moins précis, à quelques mètres près pour les plus perfectionnés), et la direction du but détecté (avec une précision pouvant atteindre quelques minutes d'arc.)

La représentation de toute la zone explorée sur l'écran panoramique du radar

Lorsqu'il s'agit d'assurer en permanence la surveillance d'un secteur étendu, pouvant aller même jusqu'au tour d'horizon complet, il est intéressant de pouvoir observer une représentation panoramique complète et permanente des obstacles que rencontre le faisceau explorateur tournant. Ceci peut s'obtenir à l'aide d'artifices simples :

1° Le début du balayage d'un oscilloscope appelé par les Américains P. P. I. (*Plan Position Indicator*) coïncide avec le centre de l'écran cathodique. De cette façon le spot ne balaié plus qu'un rayon de l'écran au lieu d'un diamètre.

2° Les deux systèmes de plaques déflectrices du rayon cathodique (1-2 et 3-4 sur la figure 2) sont rendus mobiles autour de l'axe du tube, ce qui est assez facile à réaliser : l'entraînement de ces plaques pourra se faire à travers le verre du tube par un inducteur fixe convenable engendrant un champ tournant et entraînant

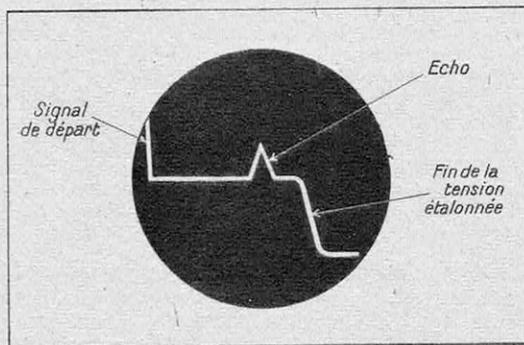


FIG. 3. — COMMENT ON LIT SUR L'OSCILLOSCOPE CATHODIQUE LA DISTANCE D'UN AVION REPÉRÉ PAR LE RADAR

On superpose au phénomène décrit sur la figure 2 une tension E donnant un spot de forme carrée et parfaitement étalonée. On règle cette tension de façon à faire coïncider sa partie terminale avec le spot de l'écho sur le but dont on veut mesurer la distance. On lit cette dernière sur un cadran dont le mouvement est lié à la commande de E.

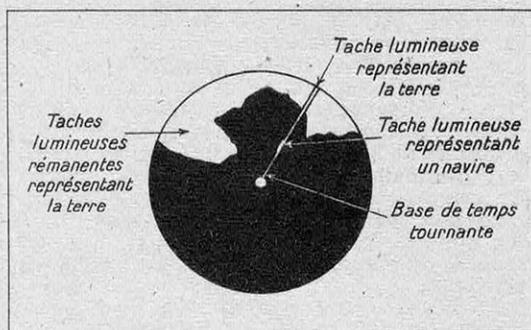


FIG. 4. — COMMENT LE RADAR DONNE LA « CARTE » DES OBSTACLES RENCONTRÉS PAR LE FAISCEAU ÉLECTRO-MAGNÉTIQUE

Le spot lumineux de départ se trouve toujours au centre de l'écran, la distance de l'écho au centre est proportionnelle à la distance du radar à l'obstacle. Le rayon balayé par le spot tourne à la même vitesse angulaire que le faisceau émis par le radar.

ainsi un rotor solidaire des plaques. Dans ces conditions, les plaques tourneront d'un mouvement uniforme dont on rendra la vitesse angulaire égale à celle de l'aérien, c'est-à-dire du faisceau rayonné. Quand le faisceau rencontre un obstacle, le spot lumineux enregistre un écho, d'où, à cet endroit, une fluorescence plus vive. Les obstacles s'inscrivent donc sous forme de taches qui seront à une distance du centre proportionnelle à leur distance au radar. On réalise ainsi sur l'écran une véritable carte, à une échelle que l'on évalue facilement. Un géomètre dirait que les obstacles et leurs images sont définis par leurs coordonnées polaires (fig. 4).

La production des ondes décimétriques et centimétriques

Nous avons déjà dit que le principe de la radiodétection par impulsion, celui même qui est à la base de la technique radar actuelle, était connu bien avant la guerre. A partir de ce moment, tout le progrès technique a consisté à réaliser des émetteurs d'ondes de plus en plus courtes, émettant des signaux très brefs et très puissants. Les Français, qui avaient commencé d'étudier la radiodétection par la méthode des battements (travaux de M. David), poussèrent avant la guerre l'étude des ondes très courtes (travaux de la Société Française Radioélectrique sur l'emploi des ondes de 16 centimètres) (1).

Néanmoins, c'est le grand mérite des spécialistes anglais d'avoir les premiers réalisés des appareils sur ondes métriques qui ont fait leurs preuves en 1940. C'est aussi le grand mérite des spécialistes américains d'avoir mis au point la technique des impulsions sur ondes centimétriques et décimétriques et d'avoir sorti en grande série des appareils qui sont les meilleurs appareils de radiodétection qui existent depuis trois ans.

L'importance des ondes très courtes (inférieures à 10 m) en radiodétection est due principalement à la nécessité d'obtenir une émission très dirigée, ce qui est d'autant plus facilement

(1) Voir : « Les ondes très courtes dirigées » (*Science et Vie*, n° 169, juillet 1931, n° 201, mars 1934 et n° 231, septembre 1936).

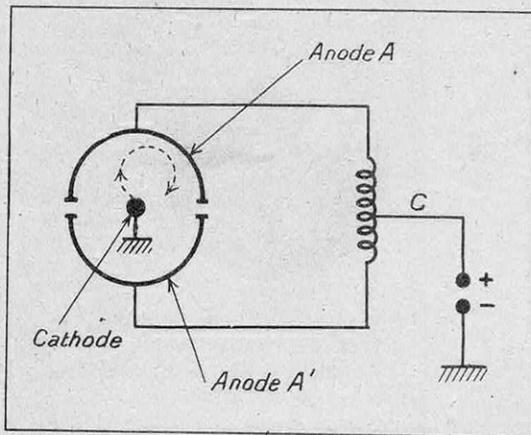


FIG. 5. — SCHÉMA DE PRINCIPE D'UN MAGNÉTRON

Le magnétron est un tube électronique composé essentiellement de deux anodes demi-cylindriques dans l'axe desquelles se trouve une cathode (filament chauffé). On établit un champ intense dans l'axe du cylindre en portant les anodes à un potentiel très élevé (une dizaine de milliers de volts). Dans ces conditions, les électrons émis par la cathode décrivent, sous l'action des champs magnétiques et électriques régnant dans le tube, des trajectoires courbes. Dans ces conditions, on peut observer dans le circuit aperiodique C des oscillations de très grandes fréquences, correspondant à des longueurs d'ondes centimétriques. Le magnétron ci-dessus est capable de produire des émissions de plusieurs centaines de kilowatts sur 10 cm de longueur d'onde pendant une durée extrêmement courte. Généralement, les ondes produites dans le tube en sont extraites par l'intermédiaire d'un petit crochet et envoyées dans le circuit d'antenne.

réalisable que la longueur d'onde est courte (aérien peu encombrant).

Une autre considération importante est celle de la grandeur relative des dimensions du but et de cette longueur d'onde.

Dans le cas de la détection d'avions, la théorie montre que la longueur d'onde ne doit pas être trop courte pour des questions de sécu-

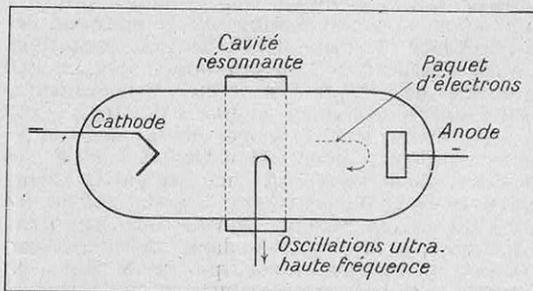


FIG. 6. — LE KLYSTRON, TUBE A MODULATION DE VITESSE

Le klystron, ou tube de MacNelly, est composé de deux électrodes : cathode chauffée par un filament et anode portée à un potentiel négatif. Une cavité résonnante réglable se trouve au milieu de ces deux électrodes. Les électrons sont repoussés par l'anode vers la cavité résonnante et y entretiennent des oscillations d'ultra-haute fréquence.

rité de détection (une longueur d'onde métrique convient le mieux).

Dans le cas de la détection de bateaux ou d'objets au ras de l'eau tels que périscoopes, bouées, etc., la théorie montre que la longueur d'onde doit être centimétrique, car, théoriquement, au ras de la surface de la mer, le champ hertzien est nul et il croît avec l'altitude d'autant plus rapidement que la longueur d'onde est courte.

Les Allemands n'ont jamais compris comme les Américains l'importance des ondes centimétriques et ne sont jamais descendu au-dessous de 0^m,50.

Pour réaliser des émissions centimétriques, il a fallu évidemment renouveler l'arsenal des

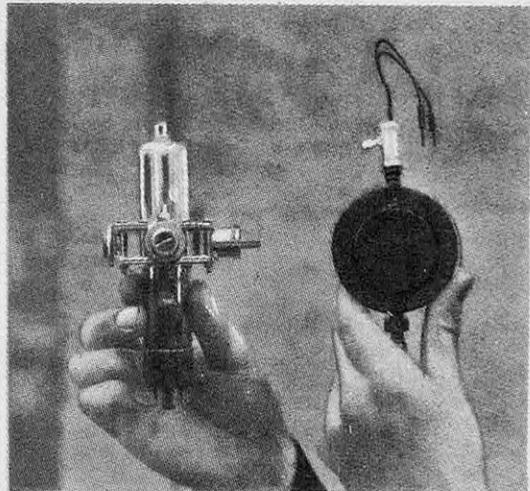


FIG. 7. — DEUX TUBES ÉLECTRONIQUES SERVANT A LA PRODUCTION DES ONDES CENTIMÉTRIQUES : LE MAGNÉTRON (A DROITE) ET LE KLYSTRON (A GAUCHE)

tubes électroniques. Les Américains ont réalisé des magnétrons (fig. 5) très puissants, de plusieurs centaines de kilowatts (1).

On emploie également pour la production des ondes centimétriques des tubes à modulation de vitesse ou klystrons (2), ou tubes de Mac Nelly (fig. 6). Ces tubes sont, par exemple, employés dans les récepteurs de certains appareils pour produire une onde à mélanger avec l'onde de retour en vue de produire la moyenne fréquence.

Enfin, pour la réception dans certains appareils radar, les valves sont remplacées par des détecteurs à cristal (fig. 8) (contact fil de tungstène-silice) fonctionnant d'une manière analogue au détecteur à galène des anciens postes récepteurs.

Nous ne faisons ici qu'effleurer une technique de fabrication dans laquelle l'industrie française a évidemment beaucoup à apprendre.

(1) Voir : « L'émission d'ondes ultracourtes » (*Science et Vie* n° 255, septembre 1938).

(2) Voir : « Qu'est ce qu'un klystron ? » (*Science et Vie* n° 307, mars 1943).

Le radar et la défense des Iles Britanniques

Revenons aux premières manifestations sensationnelles du radar.

En 1935, une première station radar fut installée à Orfordness sur la côte anglaise pour la détection des avions et des navires. En 1940, au moment de l'offensive aérienne allemande, l'Angleterre était entièrement ceinturée d'une chaîne de stations radar capables de donner l'alerte et d'indiquer à l'aviation de chasse la position, l'altitude et l'importance des formations ennemies (fig. 9). Ces stations radar décelaient l'ennemi sous la forme d'arcs lumineux se rapprochant de plus en plus de l'écran à mesurer au fur et à mesure que les avions s'approchaient de la station.

Quand l'Angleterre fut sauvée de l'offensive aérienne de jour et que les Allemands lancèrent leurs offensives de nuit (parmi lesquelles les attaques sur Coventry et Manchester sont restées tristement célèbres), le radar joua un rôle encore plus important qu'auparavant. Il permit de guider malgré la nuit et parfois malgré la brume les obus et les projecteurs de la D. C. A. et les chasseurs de nuit vers l'ennemi.

On mit alors au point le système appelé G. C. I. (fig. 10) (abréviation de *Ground Controlled Interception* : interception commandée de la terre). Les stations radar de G. C. I. suivaient à la fois les formations ennemies et les chasseurs amis, et, par radio, guidaient ceux-ci vers celles-là. Quand les chasseurs de nuit étaient à moins de 3 kilomètres de leurs cibles, ils recevaient l'ordre de faire fonctionner un radar de bord qui explorait l'espace situé devant eux. Ce radar guidait alors le chasseur vers la cible et celui-ci, s'approchant sans être repéré, pouvait à loisir lancer ses rafales de mitrailleuses. La statistique des avions allemands descendus par la chasse de nuit anglaise au début de 1941 illustre très éloquemment l'efficacité du G. C. I.

Janvier 1941.....	4 avions abattus.
Février.....	1 avion abattu.
Mars.....	24 avions abattus.
Avril.....	52 avions abattus.
Mai.....	102 avions abattus.

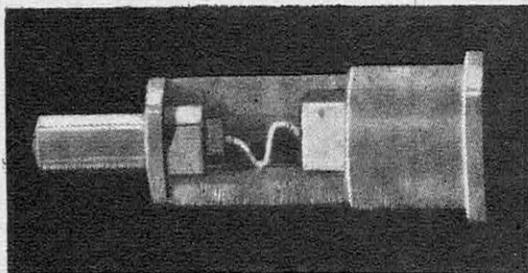


FIG. 8. — COUPE D'UNE VALVE A CRISTAL SERVANT A LA RÉCEPTION DES ONDES ULTRACOURTES

C'est une valve dont le principe est le même que celui du détecteur à galène employé dans le début de la radio. Pour les ondes ultracourtes de tels détecteurs donnent un rendement meilleur que les tubes thermoioniques classiques. Elle est composée d'un cristal de silice sur lequel s'appuie la pointe d'un fil de tungstène appelé « catwhisker » (moustache de chat). Le tube est scellé hermétiquement dans un tube d'argent et protégé ainsi contre les impuretés et les chocs.



FIG. 9. — LE DÉVELOPPEMENT PROGRESSIF DE LA CHAÎNE PROTECTRICE DE STATIONS RADAR LE LONG DES CÔTES ANGLAISES

En 1935, la station anglaise d'Orfordness était capable de repérer des avions à une altitude de 5 000 m et jusqu'à une distance de 65 km environ. En septembre 1938 (au moment de Munich), la « portée » du radar était passée à 260 km couvrant entièrement l'estuaire de la Tamise et une petite portion du continent. En septembre 1939, toutes les côtes de l'est et une grande partie de celles de la Manche étaient protégées. En septembre 1941, le radar élevait contre les avions ennemis un mur protecteur qui couvrait entièrement les Iles Britanniques.

Après cette date, les attaques aériennes sur l'Angleterre faiblirent, puis disparurent complètement.

Le radar a fait également merveille dans la défense d'une autre position insulaire britannique qui a défié plus de mille attaques aériennes, qui, sans lui, auraient bénéficié à chaque fois d'une surprise complète. Alors que l'équipement radar de la métropole était encore très insuffisant, les Anglais ont équipé l'île de Malte, position-clé en Méditerranée, de façon à pouvoir la protéger efficacement par une aviation de chasse peu nombreuse, mais employée avec un excellent rendement.

Le radar devait trouver un champ d'applications extrêmement large dans l'artillerie de D. C. A. Il décele les avions par n'importe quel temps, bien avant que les lunettes puissent les repérer, et détermine leurs coordonnées avec une précision très supérieure à celle des meilleurs télémètres. Ayant décelé ces avions, il en transmet automatiquement les coordonnées au *fire director*, appareil chargé du calcul de tous les éléments du tir (1) (fig. 11). Dans le courant de l'été 1944, l'efficacité de la D. C. A. anglaise

(1) Voir : « Le Fire director, cerveau de la batterie contre avions » (*Science et Vie*, n° 233, novembre 1936).

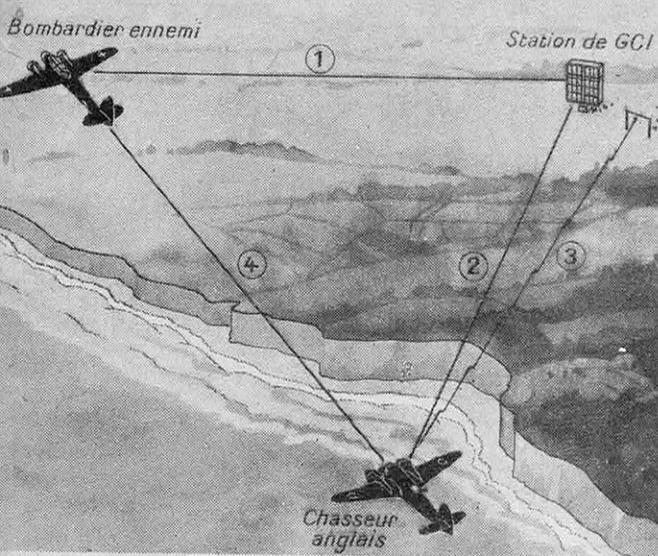


FIG. 10. — LE PRINCIPE DU DISPOSITIF DE COMMANDEMENT DE LA CHASSE DE NUIT A PARTIR DES STATIONS TERRESTRES (G. C. I.).

La station G.C.I. suit l'avion ennemi (1) et le chasseur ami (2) reconnaissable grâce à son système d'identification I. F. F. (voir note page 185). Par radio (3) elle dirige le chasseur de nuit vers le bombardier. Quand le chasseur est à proximité du bombardier, il met son radar de bord (4) en action et rejoint le bombardier qu'il attaque.

était devenue telle que 80 % des avions qui entraient dans son rayon d'action étaient abattus. Bien que ce système puisse fonctionner aussi bien de nuit que de jour, et que, par conséquent, il rende les projecteurs inutiles, on a cependant équipé des projecteurs de telle sorte qu'un radar, centré sur l'axe du faisceau lumineux, permette de diriger à chaque instant cet

axe sur l'avion ennemi. De cette manière, on n'allume le projecteur que quelques secondes avant d'avoir besoin de rendre l'appareil visible, par exemple au moment où il va être attaqué par un chasseur de nuit qui l'a rejoint dans l'obscurité. De cette manière, la surprise est complète, et l'attaque plus dangereuse.

En 1944, un nouveau danger menaçait l'Angleterre, sous la forme de l'arme terroriste appelée V1, bombe planante propulsée à réaction et volant à une vitesse très grande. Là encore, le radar put guider les avions les plus rapides alors en service vers les V1, qui étaient bien souvent détruits avant d'avoir atteint leur but ou qui tombaient dans la campagne. Il permit également à la D. C. A. de détruire des cibles de très petites dimensions et de très grande vitesse telles que les V1 dans de grandes proportions. Il convient de noter que, pour atteindre une telle précision, la D. C. A. s'était enrichie de deux systèmes radar nouveaux : l'un donnant la vitesse instantanée de la cible par la mesure de la différence de fréquence de l'onde incidente et de l'onde réfléchie (effet Doppler-Fizeau) et l'autre équipant une fusée d'obus explosant quand l'obus est suffisamment près de la cible pour que son explosion soit dangereuse (fig. 12).

La construction de dispositifs de radar d'aussi petites dimensions permet de mesurer les progrès accomplis en cinq ans par la technique radioélectrique.

La guerre sur mer

Dans la guerre sur mer, les moyens dont dispose un navire pour explorer la mer autour de lui, ses « yeux » pourrait-on dire, sont aussi

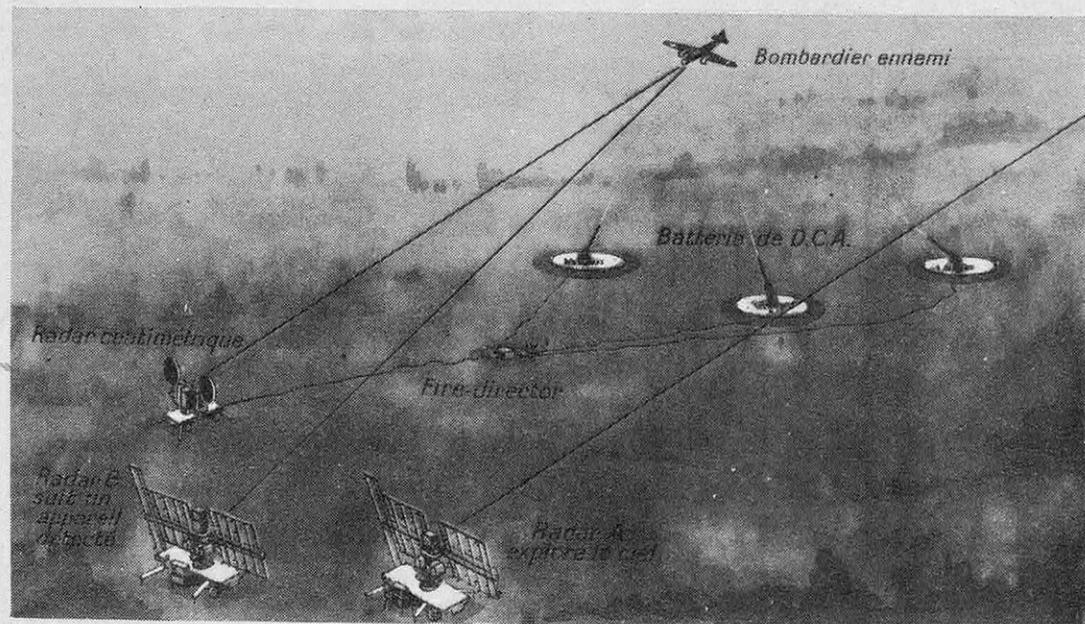


FIG. 11. — UNE BATTERIE DE D. C. A. COMMANDÉE PAR RADAR

Le radar A, dont la mission est d'explorer constamment le ciel, a détecté un avion. Celui-ci est suivi par le radar B qui, quelque temps avant qu'il entre dans le champ d'action de la D. C. A., le signale au radar centimétrique. Celui-ci remplace le télémètre optique des anciennes batteries. Il détermine avec précision les coordonnées de l'avion et sa vitesse et les passe automatiquement au fire director, instrument de calcul des éléments du tir des batteries.

importants que ses canons. Ils lui permettent de se diriger, de repérer ses ennemis (avions, navires de surface, sous-marins) et de les attaquer. Au début de cette guerre, les yeux du navire, c'étaient essentiellement les yeux de son équipage, renforcés de tous les appareils d'optique (lunettes, télémètres) destinés à en améliorer le rendement. Mais, si haut qu'on plaçât les postes de guet, d'observation et de télémétrie dans les superstructures du bâtiment, et si perfectionnés que fussent ces appareils, la courbure de la terre limitait, dans les cas les plus favorables, la portée de ces appareils et surtout la nuit et la brume les rendaient complètement inutilisables ou en limitaient considérablement l'efficacité.

Le radar a doté les navires d'un « œil » électrique qui, d'abord employé pour remédier aux défaillances de l'œil humain, a de plus en plus tendance à se substituer à lui et est en train de bouleverser les méthodes de la navigation, comme il a bouleversé celles du combat naval.

Les Américains ont lancé à juste titre dans une certaine mesure le slogan suivant : « Avec le radar, il fait toujours beau temps », car le rayon radar se propage à peu près dans les mêmes conditions la nuit ou le jour, par temps brumeux ou par temps clair. Ainsi, la veille sur la passerelle et dans le nid de pie semble actuellement périmée. L'ancienne chambre à cartes est devenue vraiment la chambre de navigation, car c'est là que se trouve l'officier de quart, enfermé entre quatre murs de tôle, mais parfaitement renseigné sur ce qui se trouve dans un rayon de plusieurs dizaines de milles sur mer et de plusieurs centaines de milles dans les

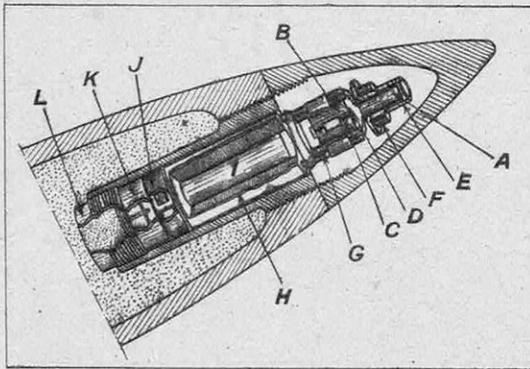


FIG. 12. — COUPE SCHEMATIQUE D'UNE FUSÉE RADAR DE D. C. A.

Cette fusée est constituée par un minuscule poste émetteur-récepteur dont on aperçoit les divers éléments : A, B, C, D lampes, E antennes, F circuit oscillant, G résistances et condensateurs. Au départ du coup, le choc brise l'ampoule I contenant un électrolyte, la batterie d'alimentation H du poste se trouve amorcée et l'émission commence. Après un parcours suffisant, le dispositif de sécurité J cesse d'empêcher le fonctionnement prématuré de la fusée. La fusée émet dans un cône très ouvert autour de l'obus un signal qui, lorsque l'obus passe près de sa cible, se réfléchit; l'écho est détecté et provoque l'explosion du détonateur L et de l'obus. Si l'obus manque sa cible, un dispositif d'auto-destruction K provoque l'explosion de l'obus au sommet de sa trajectoire. L'installation radio est noyée dans une masse de cire qui remplit complètement l'espace libre du nez de la fusée.

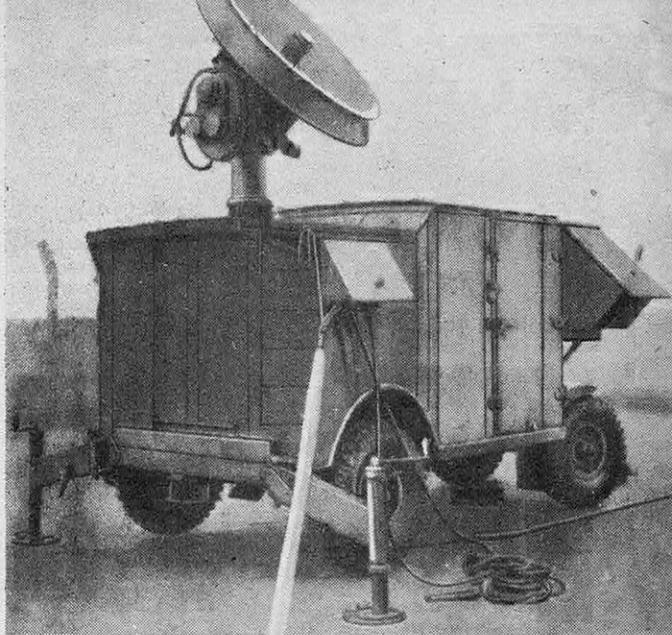


FIG. 13. — UN RADAR TÉLÉMETRIQUE SERVANT AU RÉGLAGE DE TIR DE D. C. A.

On aperçoit sur le toit de la voiture l'antenne munie de son réflecteur qui sert à diriger l'émission du radar en un faisceau parallèle vers l'avion dont il s'agit de déterminer les coordonnées.

airs (1). Il a, en effet, sous ses yeux, les « scopes », c'est-à-dire les écrans de ses radars qui sont pour le commandement des yeux électriques quasi infallibles (2).

Ainsi est née une nouvelle manière de naviguer. Les États-Unis, qui ont créé « une marine champignon », ont eu aussi à former des officiers et des équipages. Ceux-ci, pris dans n'importe quelle fonction civile, ont acquis cette connaissance de la nouvelle navigation en un temps très court et ont obtenu des résultats brillants puisque l'on ne peut citer dans la marine américaine aucun dommage dû à l'ignorance ou l'impéritie. Beaucoup de commandants de bateaux (anciens avocats, libraires, etc.) qui n'avaient jamais navigué, ont fait la traversée de l'Atlantique sans encombre, en « suivant le navire de file ». Les des-

(1) Cette différence de portée est due à la longueur d'onde employée. Nous avons vu que, pour la détection sur mer, il fallait employer une longueur d'onde centimétrique. Or les ondes centimétriques ne se propagent qu'en ligne droite comme la lumière. On est donc limité en portée par la courbure de la Terre.

(2) Il y a lieu de signaler ici la mise au point d'appareils automatiques d'identification, qui ont reçu au cours de la guerre une très grande diffusion, aussi bien dans la marine que dans l'aviation. Leur prototype est l'appareil désigné par les lettres I. F. F. (Identification Friend or Foe). Atteint par le faisceau d'une station radar, l'unité (navire ou avion) répond par un signal hertzien codé. Ainsi peuvent être évitées des méprises au cours de rencontres nocturnes sur mer, ou bien de la part des stations de guet de la D. C. A. De même pour les débarquements aériens, le gros des troupes aéroportées était le plus souvent précédé d'équipes de reconnaissance lancées par parachutes, chargées de déterminer les endroits les plus favorables au débarquement des planeurs ou des parachutistes. Ces troupes étaient munies d'un appareil dérivant de l'I. F. F. et appelé Eureka Rebecca qui, aussitôt en marche, balisait le terrain pour l'escadre aérienne de débarquement et permettait aux bombardiers de soutien de connaître les positions conquises et d'éviter de les bombarder.

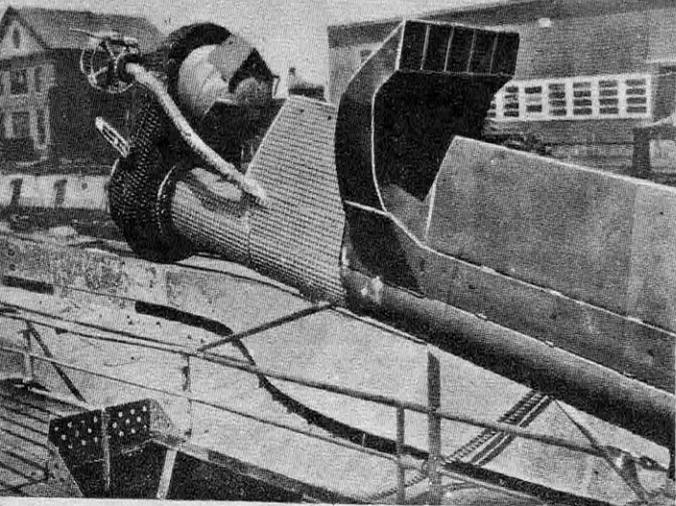


FIG. 14. — LE « SCHNORKEL », TUBE EN MATÉRIAU NON MÉTALLIQUE QUI PERMETTAIT AUX SOUS-MARINS ALLEMANDS DE « RESPIRER » SANS REVENIR À LA SURFACE

A l'extrémité du « Schnorkel », on remarque la prise d'air et l'équipement radar qui permet au sous-marin de repérer éventuellement les avions ou les navires ennemis.

trouers-escorteurs, seuls munis de radars, sont là pour faire la navigation, pour détecter l'ennemi et le battre, comme les chiens de berger qui conduisent le troupeau et le défendent (1). On a même doté chaque convoi d'un porte-avions d'escorte et le destroyer a vu son rôle se confiner dans la défense rapprochée de ce porte-avions vulnérable et du convoi proprement dit, l'aviation étant employée à la défense éloignée.

Dans la lutte contre le péril sous-marin, des hydravions (les Short « Catalina ») munis de radars furent employés à la patrouille en mer. Leurs observations, permettant de repérer l'ennemi dans un rayon de 500 à 600 km quelle que fût la visibilité optique, et même la nuit, ont été des plus funestes pour la flotte sous-marine allemande.

Les U-Boote qui faisaient surface la nuit pour recharger leurs accumulateurs étaient repérés de très loin, par radar, soit

(1) Si un bateau du convoi quitte son poste de convoi ou s'égare, les escorteurs qui le suivent sur leur écran s'en aperçoivent et le rappellent à son poste en lui indiquant sa route.

par les « Catalina » soit par les destroyers d'escorte.

Même en plongée, le sous-marin qui attaqué un convoi pouvait être détecté par son périscope.

Pour échapper à cette détection, on sait que les Allemands utilisèrent le « Schnorkel » (fig. 14), sorte de manche à air, en matériel non métallique pour ne pas être détectable (1). Mais les résultats furent médiocres, car le rendement des sous-marins se trouva diminué de moitié au moins.

Les U-Boote, réduits à la défensive, furent même construits, vers la fin, de manière à résister à des pressions énormes et pouvoir se réfugier à des profondeurs d'une centaine de mètres. A cette profondeur, le sous-marin qui était touché était complètement disloqué par l'effet de la pression sous-marine. Après l'explosion, la mer était couverte de débris humains, restes de l'équipage projetés des profondeurs.

A partir de la fin de 1943, les convois ont pu ainsi traverser l'Atlantique avec un minimum de pertes grâce au système de protection radar. La bataille de l'Atlantique était définitivement gagnée. Pour cela, l'Amérique n'avait pas équipé moins de 500 destroyers d'escorte avant le milieu de 1944.

(1) Voir : « De l'air frais pour les sous-marins en plongée » (Science et Vie, n° 330, mars 1945).

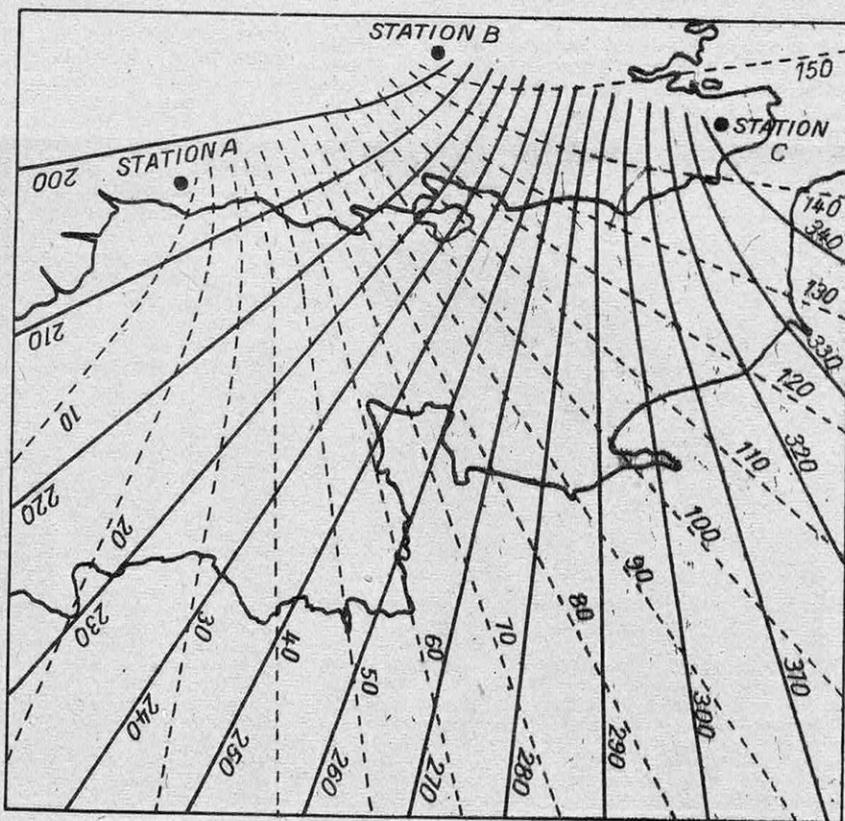


FIG. 15. — LE PRINCIPE DU SYSTÈME DE NAVIGATION GEE

Les stations A, B, C émettent simultanément un signal pulsé, mais, comme elles ne se trouvent pas à la même distance du radar récepteur placé à bord de l'avion, les signaux ne lui arrivent pas en même temps et leurs traces sur l'oscillographe cathodique sont distinctes sur l'échelle des temps. La mesure du décalage apparent des trois signaux donne les différences des distances de l'avion à A, B et C. Ces trois nombres permettent de faire sur des cartes spécialement carroyées le point exact de l'appareil.

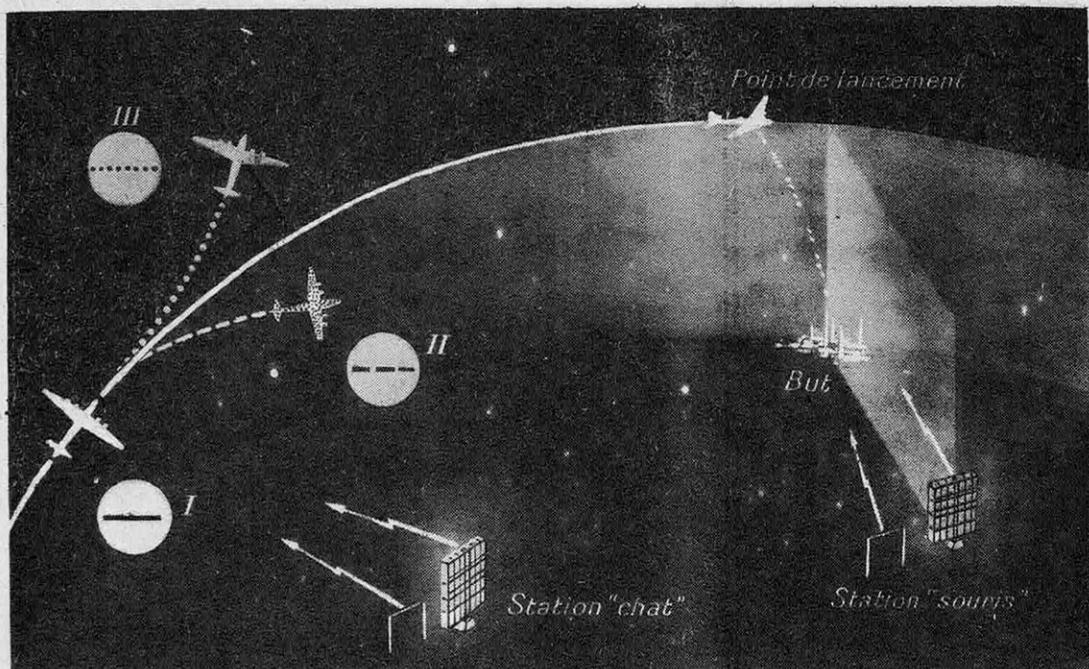


FIG. 16. — LE SYSTÈME OBOE DE NAVIGATION ET DE BOMBARDEMENT SANS VISIBILITÉ

Une station radar appelée station « chat » mesure de façon permanente la distance qui la sépare d'un appareil de bombardement et veille à ce que cette distance reste constante. Pour cela, elle envoie un certain signal (I) tant que l'avion suit un cercle dont elle est le centre et qui passe par le but. S'il vient à s'en écarter elle émet deux autres signaux II et III qui avertissent l'avion qu'il est soit à droite, soit à gauche du cercle et lui permet ainsi de revenir sur sa trajectoire. L'avion est ainsi acheminé au-dessus du but qu'il doit bombarder. Quand il va atteindre le but, une deuxième station, station « souris », émet un signal l'avertissant de se préparer au largage des bombes. Puis, quand il passe au point de lancement, elle lui donne l'ordre de larguer.

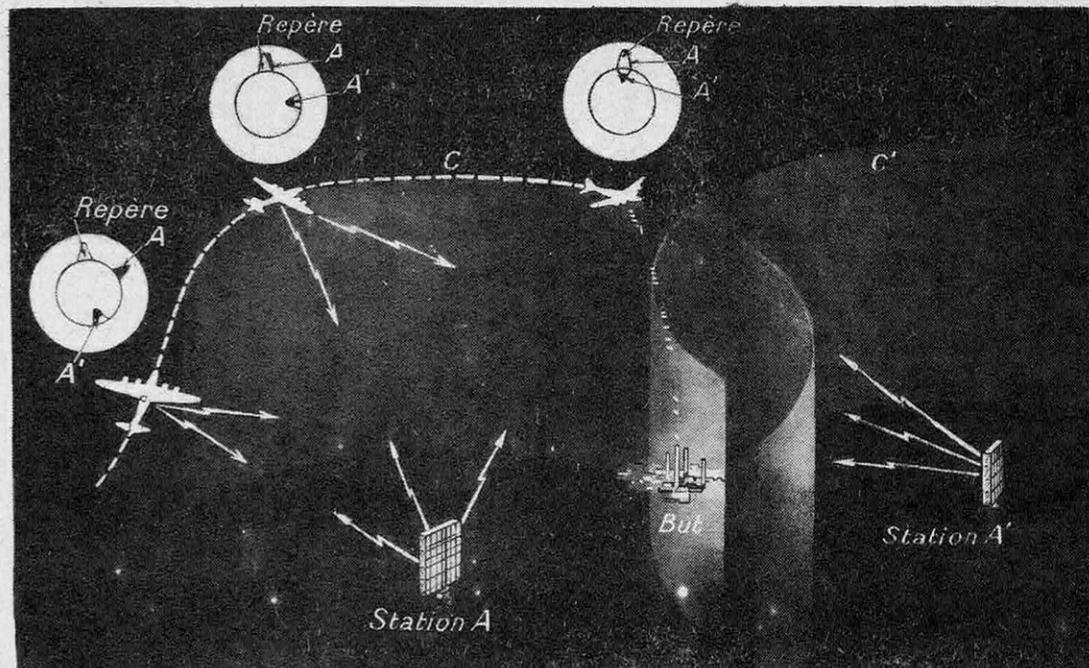


FIG. 17. — LA NAVIGATION ET LE BOMBARDEMENT SANS VISIBILITÉ PAR LE SYSTÈME SHORAN

L'avion émet un signal radar qui déclenche la réponse de deux stations A et A'. Les réponses s'inscrivent séparément sur une échelle circulaire. Le temps mis par les réponses pour revenir à l'avion mesure sa distance aux deux stations. Le but à bombarder est défini comme l'intersection de deux cercles C et C' ayant respectivement pour centre ces deux stations. L'avion décrit le cercle C et largue ses bombes quand il arrive à l'intersection de C et C' ou peu avant. Pour décrire le cercle C, l'avion fait coïncider le signal correspondant à la réponse de la station A avec un index fixe. Quand il arrive sur C', le signal correspondant à la réponse de A' vient lui aussi sur l'index: l'avion lâche alors ses bombes.

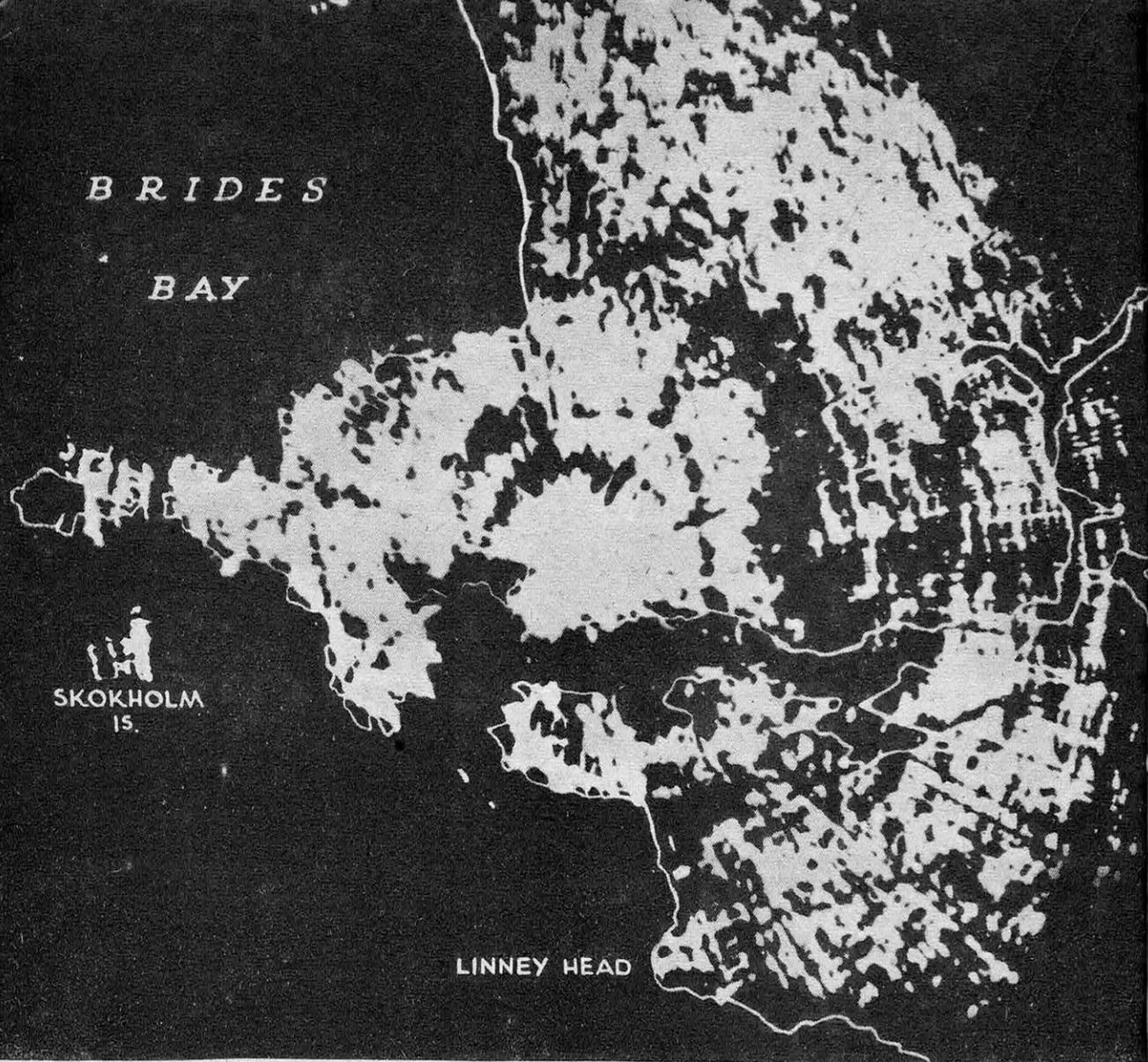


FIG. 18. — LA PHOTOGRAPHIE EN « LUMIÈRE HERTZIENNE » D'UN PORT ANGLAIS OBTENUE AVEC UN APPAREIL H 2 S
 On s'est contenté de marquer d'un trait, sur le dessin obtenu, les contours de la côte tels qu'ils apparaissent sur une carte. On voit que, pour un observateur entraîné, l'image est assez précise pour permettre des bombardements sans visibilité.

De l'exploration, le rôle du radar ne tarda pas à s'étendre à la télémétrie de précision. Tandis que les radars de reconnaissance ne donnent qu'une précision de 150 m environ, les radars de télémétrie, nettement plus lourds et plus encombrants et dont seuls sont dotés les gros navires, donnent une précision de 10 à 50 m comparable à celle de la meilleure télémétrie optique. Si l'on songe qu'un peu de brume suffit à mettre les télémètres classiques hors d'état de servir et que, d'autre part, le détecteur radar garde sa précision pour des portées supérieures à celle des dispositifs optiques, on comprendra que ceux-ci soient condamnés à céder la place aux radars : en combat naval, en effet, le navire qui frappe le premier au but est déjà plus qu'à moitié victorieux.

C'est à l'année 1935 que remonte l'emploi du radar dans le combat naval. Les premiers radars furent installés à bord du *Rodney* et du *Shef-*

field dans le but de détecter les avions. Mais on s'aperçut que les installations du *Sheffield* permettaient aussi bien de détecter les navires de surface, et on reconnut que cette nouvelle invention serait d'une importance vitale dans le combat de nuit en mer. La première démonstration éclatante de l'efficacité du radar eut lieu en Méditerranée ; en juin 1942, la flotte anglaise de la Méditerranée attaqua en pleine nuit une force italienne très importante et lui coula ses plus beaux croiseurs lourds avant que ceux-ci eussent pu s'apercevoir de la présence de l'ennemi (bataille du cap Matapan) (1).

Dans ses actions contre le *Scharnhorst* et le *Bismarck*, la flotte anglaise est également redevable d'une grande part de son succès au radar.

Dans le Pacifique, les Américains, disposant

(1) Voir : « La bataille de la mer Ionienne » (*Science et Vie*, n° 286, juin 1941).

cependant de moyens réduits, mais obtenant de leur aviation embarquée le rendement maximum, purent compenser ainsi leur infériorité numérique dans les batailles de la mer de Corail et de Midway et assener ainsi en 1942 les coups d'arrêt à l'invasion nipponne vers le sud et l'est. Puis ce furent les victoires des îles Salomon-Guadalcanal (novembre 1942) obtenue la nuit, des Mariannes (février et juin 1944) et enfin la plus grande de toutes, celle des Philippines (octobre 1944) qui coûta aux Japonais 4 porte-avions, 3 cuirassés, 8 croiseurs et 20 destroyers coulés ou fortement endommagés. Diminuée par ces échecs et incapable d'échapper à la surveillance des « yeux électriqués » de l'aviation navale américaine, portait à plusieurs centaines de milles, la marine japonaise dut se terrer dans les ports de la mer Intérieure où elle fut détruite par les attaques aériennes. De la même façon, l'artillerie de côte a vu la précision de ses tirs s'améliorer notablement par l'emploi du radar télémétrique : pendant la dernière nuit de l'évacuation du port de Boulogne par les Allemands, l'artillerie côtière de Douvres réussit à couler sans les voir 11 des 18 navires qui essayèrent de quitter le port.

Le radar dans l'offensive aérienne contre l'Allemagne et le Japon

Après avoir subi en 1940-1941 les bombardements allemands, l'Angleterre entreprit dès 1942 de prendre sa revanche et d'écraser l'Allemagne sous un déluge de bombes. Et ce furent les raids de puissants quadrimoteurs et de rapides Mosquitos qui martelaient inlassablement les villes allemandes.

L'organisation d'un raid d'un millier de bombardiers qui doivent, pour arriver en formation sur le but, suivre un itinéraire extrêmement précis avec un horaire strict, parfois dans des conditions météorologiques défavorables, est une opération très compliquée, et qui eût été beaucoup plus difficile encore sans le radar. Nous allons donner brièvement le principe des dispositifs de navigation et de visée réalisés à bord des bombardiers.

Le système *Gee* (Angleterre) ou *Loran* (Amérique) est un procédé de navigation qui consiste

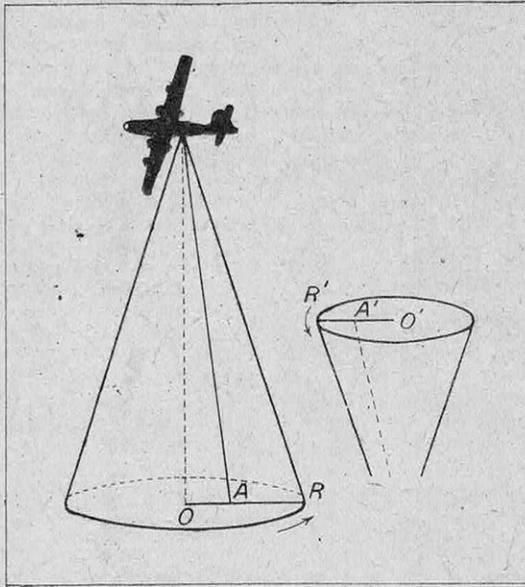


FIG. 19. — LE PRINCIPE DE LA BOITE GEN OU H 2 S

Un pinceau d'ondes hertziennes balaie un cône dont la base est la zone à explorer. Le balayage de ce cône s'effectue de telle sorte que l'extrémité du pinceau décrit le rayon OR , un rayon légèrement décalé, et ainsi de suite. La vitesse de rotation du rayon balayé OR est d'environ 50 1/mn. Les ondes réfléchies par le terrain sont reçues par le radar et régissent l'intensité du pinceau électronique du tube cathodique, lequel balaie l'écran radar de telle sorte que le spot décrive le rayon $O'R'$ pendant que le pinceau hertzien décrit le rayon OR . Le rayon $O'R'$ tourne sur l'écran radar à la même vitesse que le rayon OR autour de l'axe du cône exploré. Dans ces conditions, on obtient de chaque point A du terrain une image A' plus ou moins lumineuse suivant que les ondes réfléchies atteignant A ont une intensité plus ou moins grande. Grâce à la persistance de la fluorescence sur l'écran, on obtient une image complète du terrain exploré.

à enregistrer sur un même écran à bord d'un avion des signaux émis simultanément à une microseconde près environ de deux points des côtes d'Angleterre, et à mesurer le temps qui sépare l'arrivée de ces deux signaux, ce qui donne immédiatement la différence des distances de l'avion aux deux stations émettrices. Le lieu des points tels que cette différence ait une valeur donnée est une hyperbole. Avec une troisième station émettrice, on obtient un deuxième réseau d'hyperboles coupant les premières. Des cartes spéciales existent qui sont carroyées en de tels réseaux d'hyperboles. A chaque instant, le navigateur peut déterminer sa position sur la carte par l'observation des signaux émis de trois stations côtières (fig. 15). Ce procédé de navigation a d'ailleurs été employé dans le débarquement en Normandie, toute l'Armada des navires de combat, des péniches de débarquement et des caissons de ports artificiels se plaçant aussi bien de jour que de nuit par cette méthode.

Le système *Oboe* (Angleterre) (fig. 16) consiste à guider l'avion sur le but qu'il doit atteindre, sans qu'il lui soit nécessaire de voir son objectif. Le bombardement peut se faire à travers les nuages sans perdre de sa précision. Pour cela, le but est défini par l'intersection d'un cercle ayant pour centre une première station avec une droite passant par la deuxième. L'avion est averti par deux signaux sonores différents s'il s'écarte à droite ou à gauche de sa trajectoire circulaire. Il est averti quelques instants avant de lancer sa bombe qu'il va passer sur le but. Enfin, il reçoit le signal du largage quand il passe sur l'objectif. C'est ce système qui a permis par exemple la destruction de 94 p. 100 de la ville d'Elberfeld en trente minutes par 518 bombardiers alliés.

Avec le système *Shoran* (Amérique) (fig. 17) l'appareil emmène un émetteur radar qui déclenche la réponse de deux stations placées à terre. En faisant coïncider la réponse reçue d'une première station avec un index fixe, on guide l'avion sur un cercle ayant cette station pour centre. En faisant coïncider la réponse venue de la deuxième station avec le même index fixe, on amène l'avion à l'intersection du cercle parcouru avec un cercle ayant pour centre la deuxième station. Le point obtenu

est extrêmement précis et permet le bombardement à travers les nuages.

Enfin, sous l'indicateur H_2S , on a réalisé un dispositif permettant d'obtenir sur l'écran du radar une vue du terrain survolé.

On fait balayer en site et en azimut par un faisceau conique très fin l'angle solide sous lequel le paysage est vu de l'avion. Il s'agit d'une sorte de « télévision en lumière hertzienne » (1). Le balayage est plus lent qu'en télévision, mais, grâce à la rémanence de l'écran, on réalise la photographie du terrain (fig. 19). En effet, le rayonnement du faisceau est absorbé s'il rencontre une rivière et réfléchi avec plus ou moins d'intensité suivant qu'il rencontre un terrain plat ou un terrain bâti. Ce rayonnement traverse les nuages et perce les camouflages les plus soignés.

Le bombardement sans visibilité avec un radar H_2S est réalisé par projection sur son écran d'un cercle lumineux : le lâcher doit s'effectuer lorsque l'image du but arrive sur ce cercle, dont le rayon dépend de la vitesse de l'avion, de son altitude, etc.

Ces exemples montrent la variété des applications du radar à bord des avions de bombardement. Sur les Superforteresses qui allaient bombarder le Japon, il n'y avait pas moins de cinq dispositifs radar différents.

Signalons enfin que, contre les escadres de bombardement, les Allemands avaient mis au point à leur tour un système de radar contre lequel les bombardiers alliés ont eu à se défendre. Ils l'ont fait en lâchant des « nuages » faits de bandes de papier métallisé réfléchissant les ondes du radar et brouillant les indications de cet appareil. Ces bandes de papier ont longtemps recouvert les campagnes et les villes du Nord de la France.

L'avenir du radar

A bord de tous les moyens de locomotion que la technique moderne a mis au point une inattention du pilote ou des conditions atmosphériques défavorables peuvent entraîner des accidents graves : le radar pourra éviter d'une façon automatique un grand nombre de ces

(1) Il y a correspondance entre le faisceau et l'écran comme dans le cas d'une représentation panoramique ordinaire (voir page 181).

accidents. On ne connaîtra plus de navires heurtant des icebergs ou d'avions heurtant les montagnes par temps de brouillard. On peut concevoir une signalisation hertzienne des chemins de fer qui leur permettrait de conserver leur vitesse même par temps de brouillard. Les perturbations atmosphériques, comme les typhons, sont déjà décelées par radar.

La navigation sur mer se trouvera transformée quand les côtes et les récifs seront balisés de phares hertziens et paraîtront sur l'écran du radar de bord. Le même radar donnera l'emplacement exact du navire par rapport aux environs immédiats d'un port dont le « plan » s'inscrira sur l'écran luminescent. Enfin, en pleine mer, les dispositifs de navigation analogues à ceux décrits pour les bombardements pourront servir à diriger les navires.

Et, si, par malheur, les bombes-fusées de l'avenir devaient de nouveau semer la mort sur notre globe, ce serait, dans l'état actuel de la technique, à des dispositifs radar que l'on ferait appel pour diriger vers ces bombes, avant qu'elles n'atteignent leurs buts, les engins capables de les détruire en l'air.

Il est encore trop tôt pour prévoir toutes les applications que le radar, après avoir révolutionné un grand nombre de techniques militaires, va nous offrir dans la paix. Ici, comme dans beaucoup d'autres domaines, la France, après avoir été une des initiatrices de la nouvelle technique (les travaux de M. David et ceux de la Société Française de Radio-électricité sont parmi les tout premiers sur cette question) s'est laissé distancer. Ce sont des radars anglais et américains qui équipent ses navires et ses avions, et tandis que, dans les laboratoires américains, des centaines d'ingénieurs travaillent en équipe à perfectionner sans cesse ces nouvelles inventions, tandis que l'industrie anglaise de la radio a vu son importance multipliée par cinq pendant cette guerre, et que ces industries parfaitement équipées se préparent à lancer sur le marché des appareils de radio et de télévision ultra-modernes, notre industrie repart presque à zéro.

Un gros effort doit être fait pour que la France retrouve le rang plus qu'honorable qu'elle occupait avant la guerre dans ce domaine.

R. LEPRÊTRE.

Très prochainement sera mis en vente le NUMÉRO HORS SÉRIE que "SCIENCE ET VIE" va consacrer à L'ARTILLERIE ATOMIQUE et à ses plus récentes applications aux armes de guerre aussi bien qu'aux techniques de paix, industrielles, biologiques et médicales. Il mettra à la portée de tous les principes sur lesquels reposent les techniques ultramodernes d'accélération des particules électrisées (électrons, protons, deutons, ...) et de libération des neutrons. Les applications pratiques de ces projectiles sont déjà très nombreuses : production des rayons X, microscopes électroniques, fabrication de radioéléments artificiels, neutronthérapie, bombes atomiques. Elles sont appelées à prendre, dans un avenir prochain, une extension considérable. Nul ne peut les ignorer.

NUMÉRO HORS SÉRIE Prix de vente : 60 francs franco.
Prix spécial aux abonnés : 50 fr. (1).

Seuls les règlements par chèque postal sont acceptés (formule rose ou virement)
5, rue de La Baume, Paris (VIII^e). C/C. postal 91-07 Paris.

(1) Rappeler le numéro de l'abonnement sur le talon du chèque postal.
Pour les lecteurs non abonnés, mentionner "numéro hors série" sur le talon du chèque postal, en ayant soin d'écrire lisiblement le nom et l'adresse de la personne à qui nous devons adresser le numéro hors série.
Inutile de nous envoyer une lettre.

A LA RECHERCHE DES CONSTITUANTS INTIMES DE LA MATIÈRE VIVANTE

par Jean LABADIÉ

Dans son exploration méthodique de l'Univers, le savant est bien souvent amené à postuler l'existence d'« êtres de raison », molécules, atomes, électrons, astres invisibles, etc., qui échappent à son observation, mais dont l'existence est nécessaire pour l'explication de certains phénomènes. Pourtant, quel que soit le degré de probabilité que prennent ces hypothèses, rien n'est aussi satisfaisant pour l'esprit que de voir ces êtres ou les isoler et agir sur eux. Dans l'étude des phénomènes de la vie, il existait encore, il y a quelques années, un domaine complètement inexploré, séparant les plus petites bactéries visibles à l'ultramicroscope des molécules de la chimie organique que nous ne verrons jamais, mais que nous savons reproduire par synthèse. Dans ce domaine, on situait les ultravirus (virus filtrants), les bactériophages et les gènes (facteurs de la transmission des caractères héréditaires), ainsi que les molécules protéiques géantes dont est constituée la matière vivante. La découverte du microscope électronique a permis de voir un certain nombre de ces êtres et même de les filmer (bactériophages, virus). Enfin, trois techniques différentes permettent de les isoler, de les peser et de calculer leurs dimensions. Ces trois techniques, qui commencent seulement à porter leurs fruits, permettent une véritable dissection de la substance vivante. Grâce à elles, on peut espérer, dans les prochaines années, pénétrer toujours plus avant les secrets de la vie, de ses mécanismes et de ses origines.

APRÈS tous les échecs subis dans leurs tentatives d'isoler au moyen de filtres les virus inaccessibles à leurs microscopes, tels ceux de la rage et de la vaccine, ni Pasteur, ni Chamberland, ni leurs successeurs immédiats ne pouvaient prévoir qu'un « filtre » immatériel aurait finalement raison de microbes invisibles que nous appelons aujourd'hui des « ultravirus », et que ce filtre serait un *champ de forces*.

Électriques ou gravifiques suivant le cas, les champs de forces sont devenus aujourd'hui de puissants moyens d'analyse aux mains des biologistes. Soucieux d'isoler sans détruire — tout l'art de la dissection — les biologistes *disloquent* en effet littéralement les milieux qui les intéressent (par exemple le sang et ses sérums normaux, infectés ou immunisés) en dispersant leurs constituants biologiques et même chimiques par l'ultracentrifugation, ou encore l'électrophorèse.

Sous l'action différentielle soit des forces centrifuges, soit des forces électriques auxquelles les divers éléments opposent des inerties différentes, ceux-ci se séparent suivant une échelle de grandeurs qui peut atteindre jusqu'à la molécule — du moins les molécules géantes qui, des albumines aux nucléoprotéines, sont l'objet des recherches des biologistes. La masse de ces molécules dépasse immensément les valeurs familières de la chimie minérale (18 pour la molécule d'eau), puisque, débutant à 40 000 avec l'oval-

bumine, elle atteint les nombres de 2 à 300 millions avec les molécules des protides qui constituent notamment les noyaux cellulaires, les « nucléoprotéines » auxquelles on assimile aujourd'hui les ultravirus.

Les dimensions correspondant aux divers degrés de cette échelle moléculaire s'étagent sur une diversité de diamètres qu'on évalue à 10 m μ (millimicrons) pour la molécule d'ovalbumine, à 17 m μ pour la molécule hémoglobine du cheval, jusqu'à 175 m μ pour le virus de la vaccine, 275 m μ pour celui de la *psittacose*, les plus proches de la visibilité à l'ultramicroscope. Ce sont encore des naines relativement au *bacillus prodigiosus*, dont la taille est de 750 m μ et la masse, comptée toujours dans le même système, de 173 milliards, chiffres d'ailleurs assez modestes si on les compare à la taille d'un vulgaire *globe rouge sanguin* qui est de 7 500 m μ avec une masse à l'avenant : 173 trillions.

Telle est l'échelle des grandeurs à « filtrer ».

L'ultrafiltration par des membranes aux pores de dimensions moléculaires

N'allons pas croire, toutefois, que le filtre classique, à membrane, soit abandonné. Bien au contraire, on l'a perfectionné jusqu'à lui faire tamiser des ultravirus (fig. 1).

Les porcelaines les plus fines des bougies Chamberland ne sont qu'écumoirs grossières si on compare leur porosité à celle d'un feuillet

de cellophane ou de collodion. Car ce sont là de véritables tamis à l'échelle moléculaire. Les molécules dont il s'agit ici sont de cette espèce linéaire dont nos lecteurs ont déjà fait connaissance à propos des textiles synthétiques (1). Leur enchevêtrement constitue, dans le collodion, un véritable feutrage. On ne saurait, en conséquence, pousser très loin l'analogie d'un tamis dont les « trous » seraient figurés par des interstices ménagés entre fibres. Appelons donc ces interstices des « pores », ce qui les rapproche du langage biologique sans rien changer d'ailleurs à l'irrégularité de leur nature « feutrée » et de leur inégalité dont il faut s'accommoder pour le calcul du calibre théorique d'un tel filtre. Il est, en effet, évident que le filtre idéal présenterait des pores qui seraient tous de même calibre. Ainsi les particules en suspension dans le liquide à filtrer seraient exactement séparées en deux catégories ; celles de dimensions supérieures au calibre des pores, qui seraient arrêtées par le filtre, et celles de dimensions inférieures au calibre des pores, qui passeraient toutes à travers la membrane filtrante.

L'irrégularité des pores des filtres réels introduit la notion de deux diamètres d et D ex-

(1) Voir : « Les molécules géantes » (*Science et Vie*, n° 303, novembre 1942).

trêmes, entre lesquels se répartissent au hasard, suivant la loi statistique de Gauss, les dimensions des pores. Entre ces deux diamètres se trouve la zone de « dispersion » du filtre. Si toutes les particules de diamètre inférieur à d traversent la membrane, et si toutes les particules de dimensions supérieures à D sont arrêtées, les particules dont les dimensions sont comprises entre d et D sont tantôt arrêtées, tantôt laissées libres de passer, et cela dans une proportion qui dépend, entre autres facteurs, de leurs dimensions. C'est une zone dans laquelle le filtre est inutilisable. Cette zone est appelée la dispersion du filtre. Il est bien évident qu'il y a intérêt à ce qu'elle soit la plus faible possible.

Dans la pratique, on définit les caractéristiques d'un filtre par la valeur moyenne des diamètres des pores et par la valeur de la dispersion. Pour un même filtre, ces deux données varient quand on fait varier la pression à laquelle s'effectue la filtration. La courbe de la première est appelée la courbe de perméabilité du filtre. Elle est obtenue en étudiant la vitesse de filtration de l'eau distillée. La courbe de dispersion (fig. 2) est plus délicate à obtenir. On doit pour cela faire appel aux lois de la capillarité.

Muni de ces courbes, caractérisant chacune une membrane ou un lot de membranes, le physi-

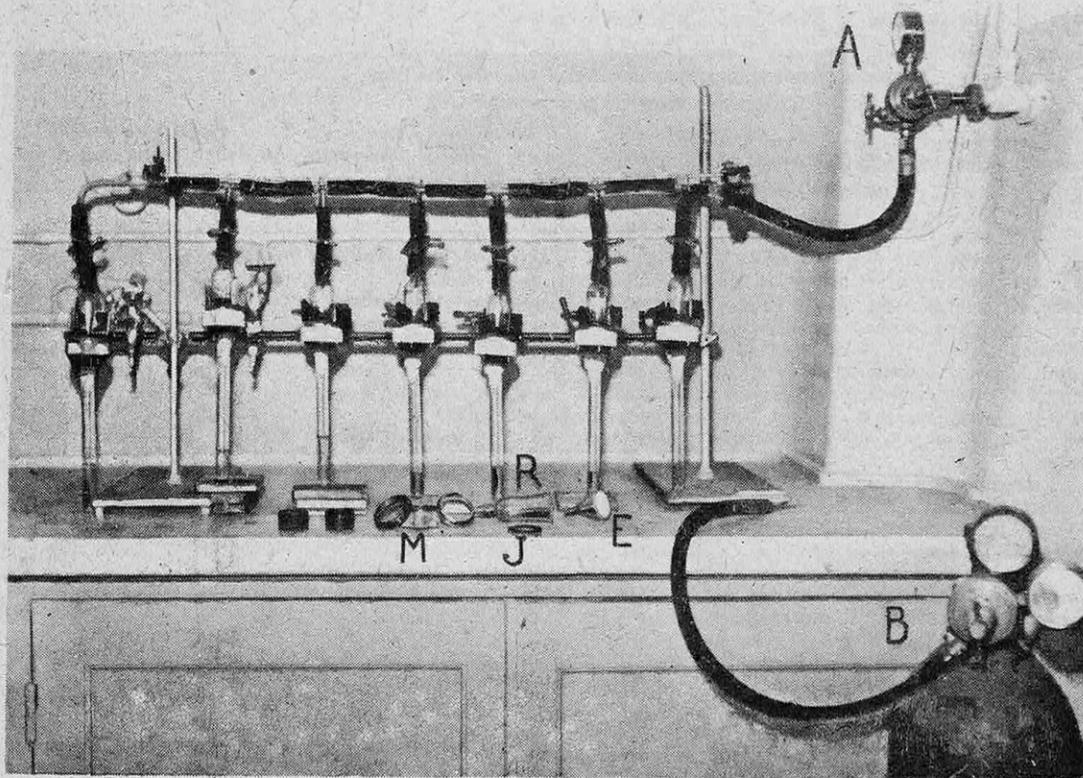


FIG. 1. — UNE BATTERIE D'ULTRAFILTRES DE GRABAR

Cette batterie est spécialement établie pour isoler certains bactériophages. Le liquide à filtrer est soumis à une pression d'air (fournie par la conduite d'air comprimé A) ou d'azote (réservoir B). La pression le force à traverser la membrane de collodion placée sur un entonnoir en verre poreux. Le liquide est recueilli dans un tube à essai. On a placé sur le bord de la table les éléments qui constituent un filtre de la batterie : R, réservoir en cloche contenant le liquide à filtrer ; E, entonnoir en verre poreux qui supporte la membrane de collodion ; J et M, joints et manchon de caoutchouc qui assurent l'étanchéité de l'ensemble, et bagues de serrage.

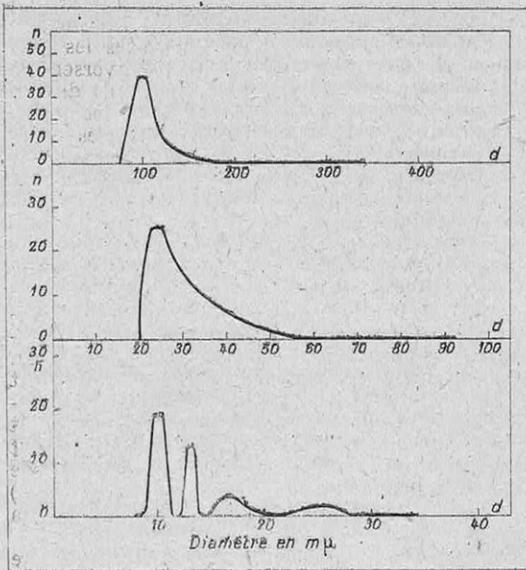


FIG. 2. — COURBES CARACTÉRISANT LA « DISPERSION » DES PORES DE DIVERSES MEMBRANES FILTRANTES

Ces courbes correspondent à des membranes de porosité décroissante. L'ordonnée de chaque courbe représente le nombre n des pores par unité de surface dont le diamètre d , calculé d'après certaines lois statistiques, est donné par l'abscisse correspondante. On voit sur ces graphiques que la répartition du nombre des pores suivant les différentes valeurs du diamètre est d'une irrégularité croissante à mesure que décroît la porosité. Toute la difficulté est donc d'obtenir des membranes de moins en moins poreuses et fournissant néanmoins des pores d'une répartition suffisamment régulière pour être utilisables.

On est en mesure d'opérer ce qu'il nomme des « ultrafiltrations fractionnées ».

La courbe de dispersion afférente à la membrane utilisée (indiquant le nombre des pores classés par rang de taille) lui permet de calculer les diamètres maxima des éléments identifiés dans le filtrat. Mais il suffit de l'existence de quelques « grands pores » s'écartant de la moyenne authentique plus que ne l'autorise la loi statistique de Gauss (loi des écarts d'après laquelle est construite la courbe) pour que le résultat soit faussé. D'autre part, l'affinité d'adsorption du collodion choisi pour tel ou tel des éléments que l'on veut isoler influence la sélection recherchée. A quoi il faut ajouter le colmatage des pores par accumulation des plus gros éléments non filtrables qui fausse *ipso facto* la notation du « point terminal », c'est-à-dire du point où, en principe, il ne reste plus rien, en amont, de la substance recueillie en aval, et où on peut, par conséquent, considérer l'opération comme terminée.

La préparation minutieuse des membranes filtrantes

Les quelques indications précédentes montrent à quel degré de subtilité s'est élevée la technique du filtre et tout ce qu'on en peut attendre, aux conditions près d'une expérience qui dépend finalement de l'habileté de l'expérimentateur. Il n'est pas surprenant que cette habileté ait à se manifester, pour commencer, dans la préparation des membranes.

D'après l'un des meilleurs techniciens de l'ultrafiltration, M. P. Grabar, de l'Institut Pasteur, donnons un aperçu des conditions dans lesquelles il prépare ses membranes de collodion.

Et, d'abord, de quel collodion s'agit-il ?

Si l'on destine le filtre à des solutions aqueuses, la membrane sera de nitrocollodion (nitrocellulose) ; si on destine le filtre à d'autres solutions, grasses, on utilisera l'acétate de collodion (acétocellulose). Les précautions chimiques étant prises, la préparation physique commence. On étale la dissolution à la manière d'une crêpe sur un plateau de verre optiquement plan et dont l'horizontalité parfaite est assurée par trois vis micrométriques. L'évaporation dont le résidu sera la membrane dépend du solvant utilisé. L'éther serait, dans ce rôle, trop volatil, l'alcool amylique risquerait de précipiter la cellulose en grumeaux, etc. Un couvercle à double fond (tôle, buvard) et fenêtres latérales d'observation, posé sur le plateau, ralentit l'évaporation, tandis que la chambre-laboratoire est maintenue à température constante et qu'un hygromètre surveille la tension de vapeur am-

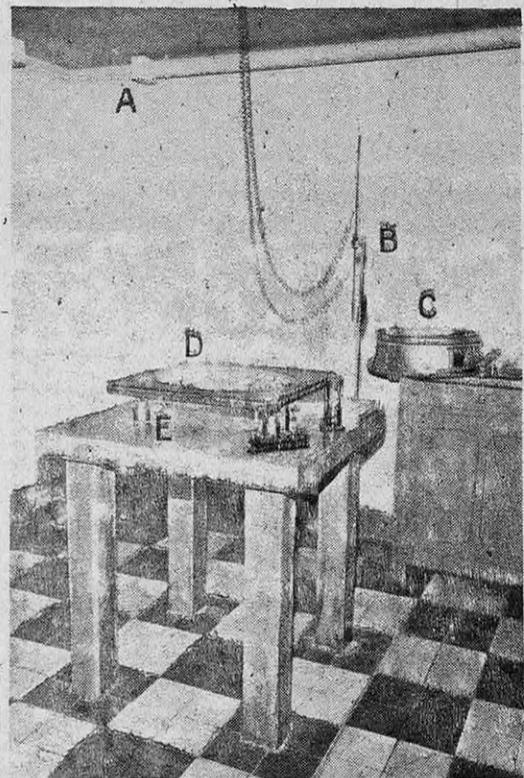


FIG. 3. — LA PRÉPARATION DES MEMBRANES DE COLLODION SERVANT A L'ULTRAFILTRATION

Elle s'effectue dans une pièce dont la température est maintenue constante par un thermostat B. Celui-ci règle le chauffage d'un radiateur A situé au plafond pour éviter les courants de convection ascendants. Le collodion dissous dans un solvant convenable est versé sur la surface D optiquement plane et maintenue rigoureusement horizontale grâce à trois vis calantes micrométriques E. Un niveau de précision F sert à vérifier l'horizontalité de cette surface. L'évaporation du solvant s'effectue sous un couvercle C à double fond qui la ralentit et protège la surface du collodion. Elle peut être surveillée par un regard latéral.

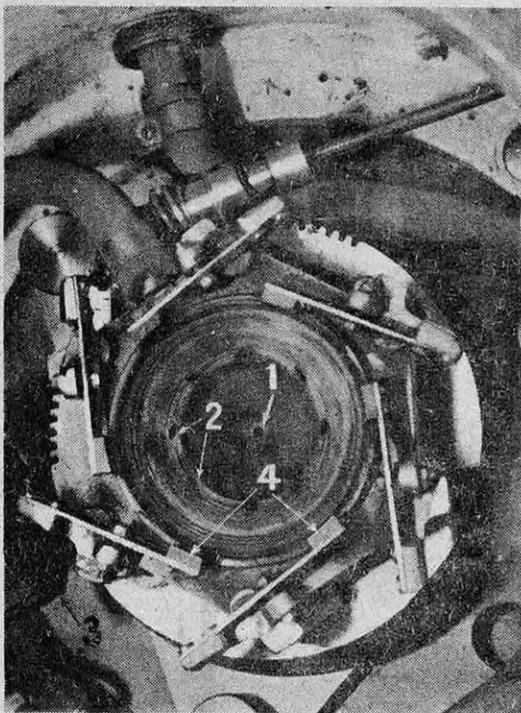


FIG. 4. — VUE DU STATOR DE L'ULTRACENTRIFUGEUSE HUGUENARD-HENRIOT, MODIFIÉE PAR P. LÉPINE A L'INSTITUT PASTEUR

L'orifice central (1) est l'arrivée du jet d'air sustentateur. Les huit orifices périphériques (2) sont les arrivées des jets d'air moteurs. La bobine induite (3) (voir fig. 7) est visible latéralement. Les deux canalisations d'air (en caoutchouc) débouchent à gauche sur le pourtour du stator. Disposés en hexagone, six freins (4) sont fixés à un plateau dont le secteur à crémaillère est actionné par une vis sans fin. Ces freins sont destinés à maintenir le rotor (enlevé sur la figure).

biante (fig. 3). Au prix de tant de raffinements, il se pourra qu'au bout de quatre heures d'évaporation lente la fine pellicule détachée de son plateau natal et confiée à un berceau non moins préparé pour la recevoir, enclose dans un carter étanche, réponde aux espérances, plus exactement aux calculs de l'opérateur. Mais il n'en aura la certitude qu'après les essais méthodiques dont nous avons parlé, aboutissant aux courbes caractéristiques.

Enfin, parvenu à pied d'œuvre, au laboratoire d'ultrafiltration, il convient d'appliquer à la membrane certain coefficient de correction qui tiendra compte, relativement à la grandeur des pores calculés, de la nature des préparations à filtrer. Par l'effet d'adsorption, la membrane tendra à retenir dans ses pores les molécules d'une certaine dimension ; il ne faut pas que ce soient celles que, précisément, on désire filtrer ; mais, même si celles-ci passent, l'effet d'adsorption aura agi comme si les pores s'étaient rétrécis de 50 à 33 %.

Toutes les corrections faites, alors seulement on pourra définir en *millimicrons* (de 10 à 20 $m\mu$) les diamètres des nucléoprotéines qui auront traversé la membrane.

Utilisant enfin toutes les données, le savant osera passer outre à la simple notion d'un « diamètre de particules supposées sphériques », pour essayer de trouver par le calcul la forme plus ou moins allongée des dites particules. De cet allongement dépend en effet l'aisance avec laquelle les macromolécules « prennent la file » devant les pores de l'ultrafiltre. Nous verrons tout à l'heure quel parti l'ultrafiltration tire de la même hypothèse, mais déjà l'ultrafiltre fournit de précieuses indications.

En présence d'un tel perfectionnement, nous sentons bien que les possibilités de la méthode du filtre ont atteint leur limite.

Et voici d'autres moyens d'investigation.

L'ultracentrifugation

Soumettons la matière fluide qu'il s'agit de différencier à un champ de forces centrifuges.

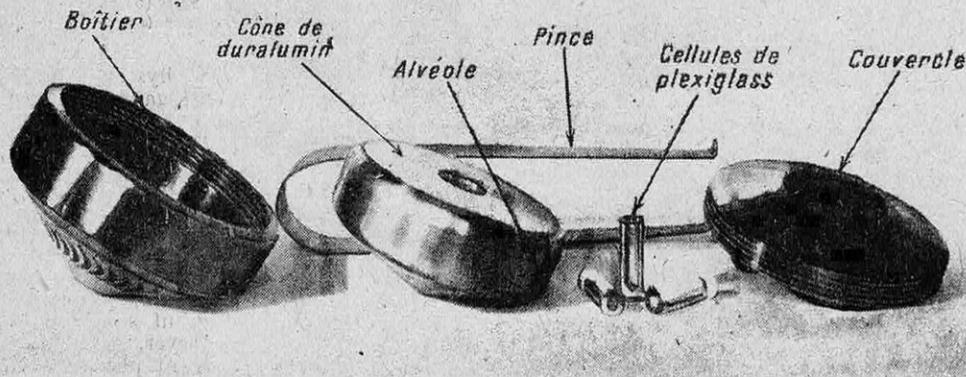


FIG. 5. — LE ROTOR DE LA SUPERCENTRIFUGEUSE HUGUENARD-HENRIOT MODIFIÉE PAR P. LÉPINE

Spécialement établi pour les expériences de l'Institut Pasteur, ce rotor comprend : 1° un boîtier conique en acier, portant à sa face externe inférieure, et taillées dans sa masse, de véritables aubes de turbine, sur lesquelles viendront frapper les jets d'air moteurs du stator. Le boîtier se ferme par un couvercle d'acier qui se visse dans sa masse ; 2° un cône massif de duralumin qui prend place dans le boîtier. Il est percé de trois alvéoles dont les axes sont disposés suivant les rayons du rotor, et dans lesquelles on insère la préparation à centrifuger soit au moyen de tiges métalliques du même calibre perforées de tubes capillaires, soit de cellules de plexiglass telles que celle qu'on aperçoit sur la photographie. La pince vue au second plan sert au montage et au démontage de l'ensemble.

Si la structure en est homogène et la pureté parfaite, l'application du champ de forces n'aura d'autre effet que de la tasser. Il ne se formera aucun dépôt à la périphérie du dispositif centrifugeur. Mais, comme la substance analysable est hétérogène par définition, les éléments particuliers en suspension dans le liquide vont se mettre en mouvement dans le sens des forces mécaniques avec une accélération uniforme. La résistance visqueuse opposée par le milieu contrarie cette accélération en raison directe de la surface des particules et en raison inverse de leur densité. Une loi, formulée mathématiquement par Stokes, permet de calculer dans ces conditions la vitesse prise par chaque espèce de particule. En fonction de ces données, cette vitesse est proportionnelle à l'intensité du champ de forces, au carré du diamètre de la particule supposée sphérique et à la différence de densité entre cette particule et le liquide.

Quand le champ de forces qui agit sur les particules en suspension dans le liquide est le champ de la pesanteur, ce champ étant de faible intensité et agissant sur des particules de faibles dimensions et de densité voisine de celle du liquide, les vitesses de chute de ces particules ont une valeur pratiquement négligeable, et leur sédimentation au fond du vase demanderait un temps infiniment long. Mais, si le champ de forces devient plusieurs milliers de fois celui de la pesanteur, il n'en est plus de même, et la sédimentation tend à se produire, les particules les plus rapides se séparant des plus lentes.

L'ultracentrifugation nous offre plusieurs possibilités. Si nous pouvons identifier aux divers moments de l'opération les diverses molécules parvenues à une distance donnée du centre de rotation, si nous connaissons la viscosité du milieu, la densité de la matière constituant les molécules, nous pouvons immédiatement déduire leur grandeur à partir de la formule de Stokes. Si nous connaissons leur taille, obtenue par d'autres procédés (notamment par ultrafiltration), nous pouvons inversement déduire leur densité et par là même leur masse. Lorsque ces particules sont monomoléculaires et que cette masse est évaluée avec l'unité convenable (la masse de l'atome d'oxygène étant prise égale à 16), cette masse est la masse moléculaire de la substance étudiée.

On aperçoit donc que le nouveau procédé ne supplante pas le précédent. Les deux techniques se complètent. Passons maintenant aux centrifugeuses chargées de fournir les champs de forces en question.

Les deux ultracentrifugeuses de l'Institut Pasteur (Service du Dr Lépine)

Ces machines utilisent presque toutes aujourd'hui la technique remarquable inventée en 1928 par Huguenard et Henriot pour obtenir des rotations ultrarapides. La principale difficulté était de fournir à ces rotations un pivot matériel, en raison des efforts très spéciaux (effets gyroscopiques, vitesses critiques) qu'elles

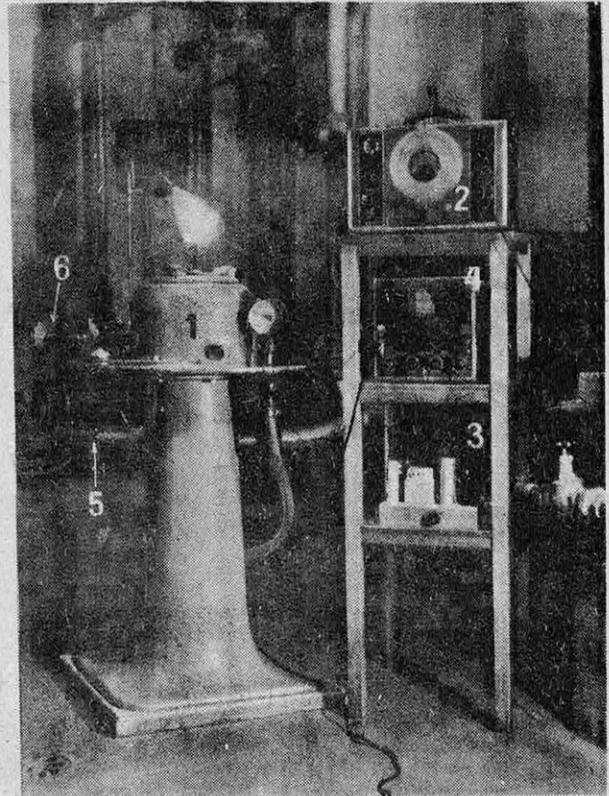


FIG. 6. — L'ULTRACENTRIFUGEUSE ÉTABLIE A L'INSTITUT PASTEUR PAR LE D^r PIERRE LÉPINE SUR LE PRINCIPE DE HUGUENARD ET HENRIOT

L'appareil tournant (dont le fonctionnement est détaillé dans les figures ci-jointes) est enfermé dans un épais carter de fonte hermétiquement clos (1) qui servirait de bouclier protecteur dans le cas d'une explosion du rotor, tout en permettant de raréfier l'atmosphère dans laquelle tourne le rotor. On reconnaît sur cette photo les appareils: hétérodyné (2), amplificateur (3) et oscillographe cathodique (4) servant à évaluer la vitesse de rotation de la centrifugeuse (voir fig. 7 et 8). On aperçoit à gauche le compresseur d'air (5) et la vanne de réglage d'air comprimé (6).

infligent à l'axe. Nos physiciens tournèrent la difficulté en créant l'élégante turbine que nos lecteurs connaissent (1), dont le rotor flotte librement sur le jet aérien qui, de par ailleurs, le fait mouvoir.

Taillé en forme de toupie dont le cône est sillonné de cannelures calculées à la manière des aubes de turbines, le rotor Huguenard-Henriot épouse un stator creux, de profil inverse, duquel s'échappent, à l'incidence voulue, de puissants jets d'air comprimé. Le système évoque la coquille d'œuf soutenue par le jet d'eau qui la fait tourner, mais la figure réalisée ici est singulièrement plus riche d'applications. Si, en effet, l'intervalle séparant le rotor du stator est suffisamment réduit, il se produit un effet bien connu en mécanique des fluides: au lieu que l'injection d'air repousse verticalement le rotor, comme il semblerait naturel à première vue, le tourbillon d'air qui se forme en

(1) Voir: «La turbine qui doit tourner à un million de tours par minute» (*Science et Vie*, n° 98, août 1925).

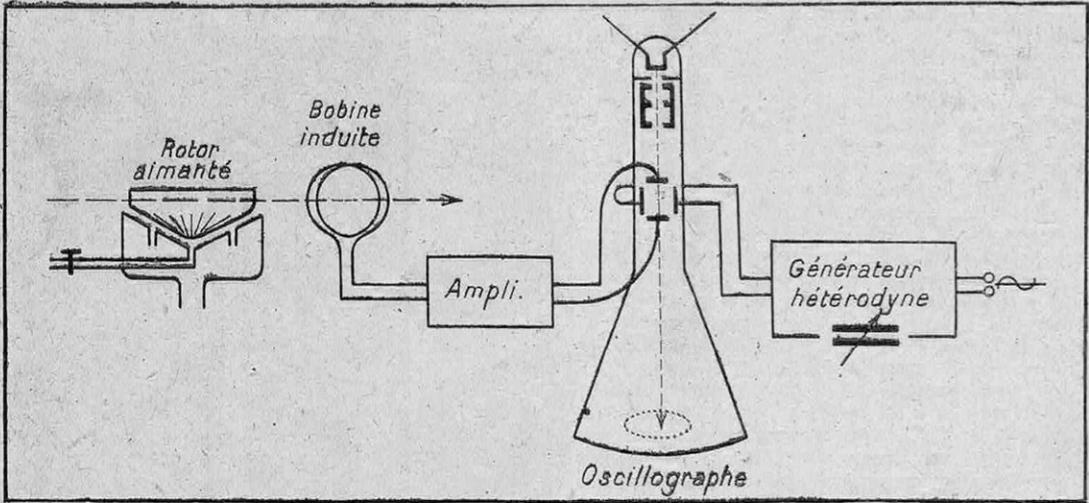


FIG. 7. — SCHÉMA DU « COMPTE-TOURS » DE L'APPAREIL DE LÉPINE

A gauche, le rotor de l'ultracentrifugeuse, aimanté suivant l'un de ses diamètres, induit dans la bobine latérale un courant alternatif de même fréquence que sa rotation. La tension induite, convenablement amplifiée, est appliquée à l'une des deux paires de plaques de l'oscillographe, dont l'autre paire est reliée à un générateur hétérodyne à fréquence réglable. La composition de deux fréquences impose au faisceau électronique de l'oscillographe (trait interrompu) un mouvement tel que le spot lumineux qui marque son impact sur l'écran décrit une courbe de Lissajous. En particulier (fig. 8), si les deux fréquences sont égales, la courbe est un cercle, une ellipse ou un segment de droite.

dessous de l'axe du rotor présente en son centre un vide relatif. Ce vide a tendance à attirer le rotor, et cela jusqu'à ce que celui-ci atteigne une position d'équilibre extrêmement rapprochée du stator. Ainsi, la liaison mécanique du rotor et du stator se trouve assurée beaucoup mieux que par un axe rigide.

L'appareil établi sur ce principe, à l'Institut Pasteur, par le Dr Pierre Lépine, comporte un curieux perfectionnement (fig. 4) : un jet d'air supplémentaire, purement sustentateur, y est appliqué verticalement au rotor, concurremment aux jets obliques, moteurs. Ce jet supplémentaire a pour effet d'augmenter la vitesse en évitant les effets de cavitation qui se produiraient avec des très hautes vitesses de rotation, et de permettre le démarrage et l'arrêt du rotor sans contact solide avec les parois du stator, ce qui permet d'éviter tout remous dans le matériel centrifugé.

La difficulté propre au laboratoire de biologie consiste dans l'installation des substances étudiées à l'intérieur des rotors qu'il faut établir, en conséquence, aussi volumineux que possible, tout en n'oubliant pas que la force centrifuge appliquée croît en même temps que le rayon du rotor et qu'elle risque à la fin de faire éclater celui-ci.

La figure 5 montre en ses pièces détachées le rotor construit par le Dr Lépine ; il se compose d'un boîtier en acier muni d'un large couvercle à vis ; un cône de duralumin massif, perforé radialement de trois excavations cylindriques, s'insère exactement dans cette toupie d'acier. La substance à centrifuger est placée, en tubes capillaires, dans les excavations ra-

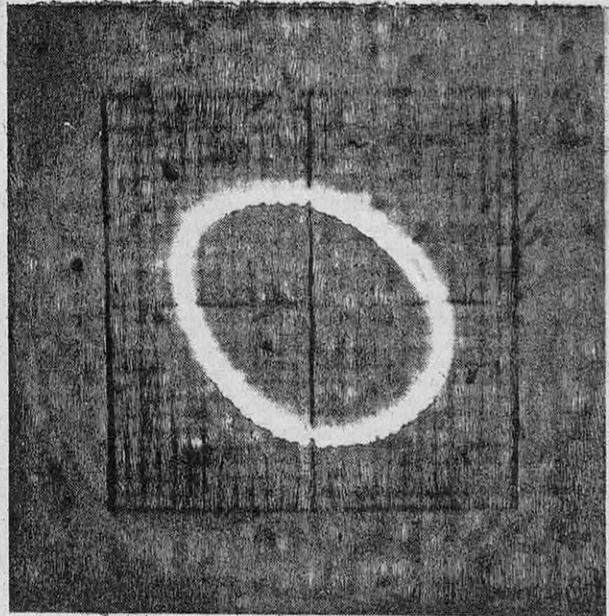


FIG. 8. — UN ASPECT DES COURBES DE LISSAJOUS, QUI, SUR L'ÉCRAN FLUORESCENT DE L'OSCILLOGRAPHÉ, PERMETTENT DE COMPARER LES PÉRIODES DE DEUX VIBRATIONS

La courbe est ici une ellipse, ce qui correspond à deux vibrations de périodes égales. Si les deux périodes étaient extrêmement peu différentes, la courbe se déformerait lentement, à mesure que varierait le déphasage des deux vibrations, passant successivement par toutes les formes de l'ellipse, du cercle au segment de droite, puis de nouveau au cercle, et au segment de droite perpendiculaire au premier. On s'aperçoit qu'on a réalisé l'égalité parfaite de deux fréquences quand la courbe cesse de se déformer,

diales. La centrifugation s'effectue sous un carter protecteur (fig. 6), ce qui permet de relâcher un peu les coefficients de sécurité touchant une explosion, toujours possible, du système tournant (les matériaux soumis par les métallurgistes à l'épreuve centrifuge se sont révélés plus résistants que ne le laissaient prévoir les coefficients théoriques obtenus par les méthodes ordinaires, de traction).

Au terme de l'expérience, le savant prélève successivement les couches stratifiées dans les capillaires et fixées par l'effet de capillarité.

La mesure, très essentielle, de la vitesse angulaire est fournie, à tous les instants de l'expérience, d'une manière fort simple (fig. 7) : le rotor d'acier, préalablement aimanté suivant l'un de ses diamètres, provoque dans une bobine fixe qui lui est latérale la naissance d'un courant alternatif de même période que sa rotation. La fréquence (80 000 tours par minute : 1 333 tours/seconde) de ce courant est assez élevée pour qu'il excite utilement un oscillographe cathodique monté en « hétérodyne ». Le courant venant de l'appareil excite l'une des paires de plaques qui, dans l'oscillographe, guident les mouvements du rayon cathodique : l'autre paire de plaques de l'oscillographe est excitée par un courant alternatif

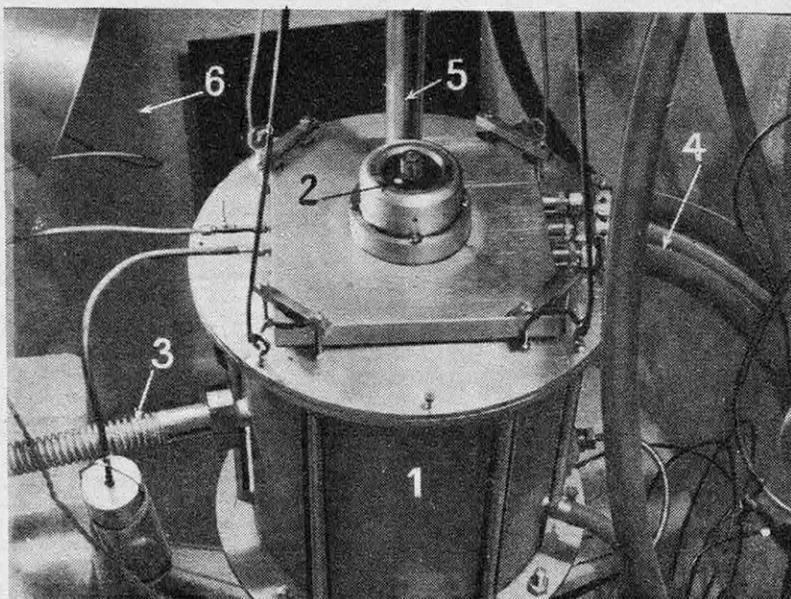


FIG. 9. — L'ULTRACENTRIFUGEUSE DE SVEDBERG EN PLACE DANS LES CAVES DE L'INSTITUT PASTEUR

Le cylindre étanche (1) contient le rotor d'expérience (voir fig. 10) qui, suspendu par une corde à piano à l'appareil mécanique proprement dit (2), tourne dans une atmosphère d'hydrogène raréfié entretenue grâce à la canalisation (3). L'étanchéité est assurée par un joint à huile que traverse la corde à piano. En (4) on aperçoit les tubes amenant l'air comprimé à l'appareil moteur. Le tube vertical (5) est destiné aux visées à travers les alvéoles du rotor d'expérience selon le principe décrit à la figure 11. La paroi (6) est le mur de la chambre bétonnée dans laquelle est enfermé l'appareil et qui protège l'opérateur contre un éclatement possible du rotor.

extérieur parfaitement étalonné et de fréquence réglable. Le mouvement du rayon cathodique et, par conséquent, le mouvement du spot sur l'écran est la composante de deux vibrations perpendiculaires. La tache décrit donc une courbe dite de Lissajous, qui peut être infiniment compliquée si les périodes des deux vibrations n'ont aucune commune mesure,

VIRUS OU BACTÉRIOPHAGES	ULTRACENTRIFUGATION			ULTRAFILTRATION		
	Poids moléculaire.	Dimension en m. μ .	Année de la mesure.	Dimension en m. μ .	Poids moléculaire.	Année de la mesure.
Vaccine	2300×10^6	—	—	125-175	2200×10^6	—
Influenza	—	80-120	—	100-150	—	—
Sarcome de Roux.....	130×10^6	70	1940	70-100	—	1935
Bactériophage staphylococcique...	$200-300 \times 10^6$	61	1937	50-75	—	1932
Fièvre jaune.....	—	18-70	—	18-27	—	1933
Mosaïque 3 et 4 du concombre....	43×10^6	—	1938	75	170×10^6	1937
Mosaïque du tabac.....	$43-52 \times 10^6$	16 x 300 environ	1937	15	$1,5 \times 10^6$	1935
Ring-Spot du tabac.....	$7,4 \times 10^6$	—	1937	19	$2,8 \times 10^6$	1935
Rabougrissement de la tomate....	$8,8 \times 10^6$	13,7	1938	15-20	—	1939

TABEAU I. — DIMENSIONS COMPARÉES DE QUELQUES VIRUS ET BACTÉRIOPHAGES

Ces dimensions ont été calculées par Grabar et Lépine, d'après les résultats de l'ultracentrifugation et de l'ultrafiltration (travaux de Stanley et Loring).

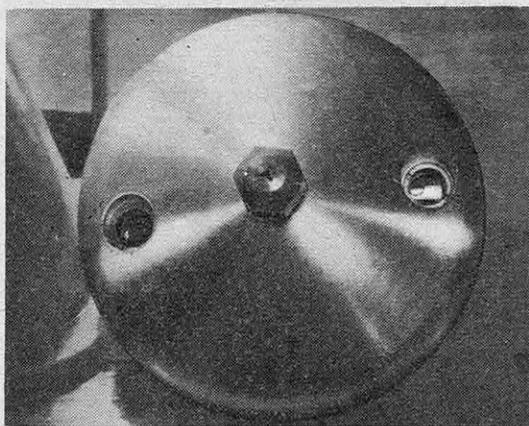


FIG. 10. — LE ROTOR DE L'APPAREIL SVEDBERG

On aperçoit au centre l'érou de serrage par lequel le rotor est lié à sa corde de suspension. Les alvéoles latérales contiennent l'un (à gauche) une éprouvette d'eau distillée, et l'autre (à droite) l'éprouvette contenant la substance expérimentée. Le même faisceau lumineux confrontera les contractions apparentes de l'échelle optique insérée dans le circuit, en fonction des réfractions de son image: 1° à travers la substance à analyser; 2° à travers l'eau distillée, cette dernière image étant prise comme zéro de la mesure.

mais qui devient une courbe simple si les périodes sont dans un rapport simple : cercle, ellipse ou segment de droite si les deux vibrations ont la même période (fig. 8), courbe en forme de 8 si les deux vibrations ont des périodes dans le rapport 1/2.

En réglant l'hétérodyne, on peut se placer dans un de ces cas et, par conséquent, mesurer exactement le nombre de tours effectués par seconde par le rotor.

L'ultracentrifugeuse Svedberg et Pedersen

L'ultracentrifugeuse originale de Svedberg et Pedersen, utilisée à l'Institut Pasteur, comme à Oxford, constitue l'appareillage le plus perfectionné existant à l'heure présente (fig. 9). Elle peut tourner à 600 000 tours par minute et produire de la sorte une accélération centrifuge égale à 90 000 g (g , accélération de la pesanteur). Voici les particularités de l'appareil construit à l'Institut Pasteur par le Dr Lépine, qui utilise le principe optique de Svedberg combiné à des détails de construction d'appareils américains adaptés à un but analogue.

Suspendu par une corde à piano à une turbine du type Huguenard, le rotor de Svedberg tourne dans une chambre cylindrique spéciale, dans une atmosphère raréfiée d'hydrogène, ce qui a pour effet de diminuer les frottements.

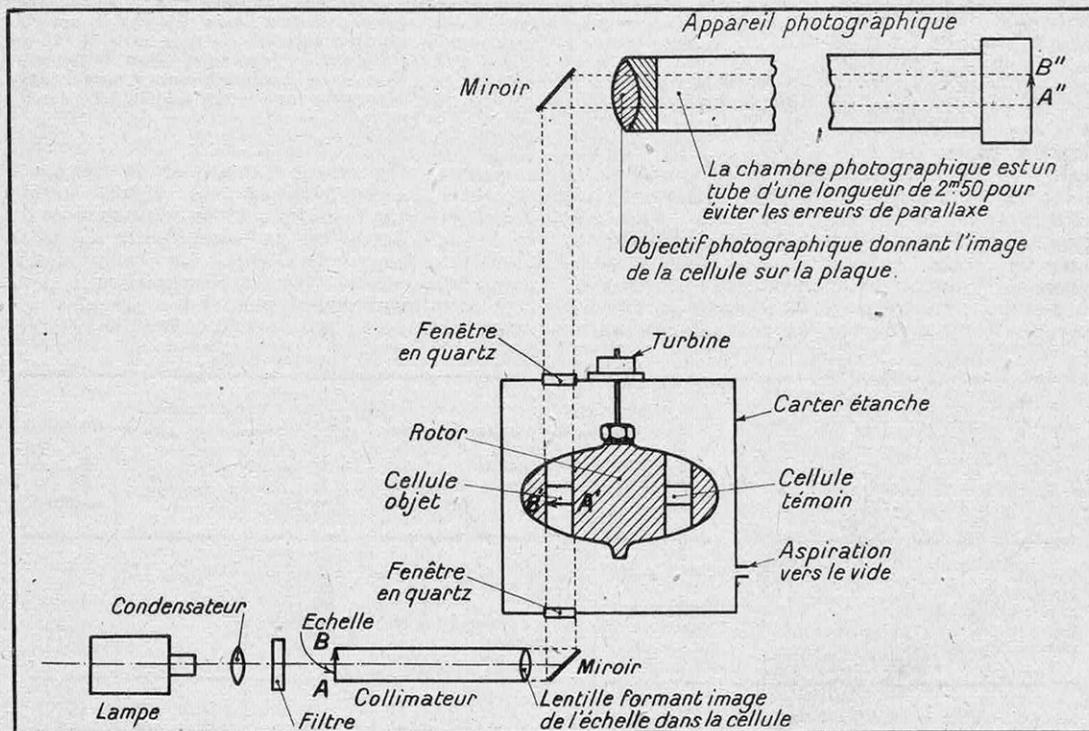


FIG. 11. — COMMENT ON SUIT LA MIGRATION DES MOLÉCULES SOUS L'ACTION DE LA FORCE CENTRIFUGE DANS L'APPAREIL DE SVEDBERG-PEDERSEN

Le liquide à étudier est placé dans la cellule objet entre deux lames de quartz. Du point de vue optique, il se présente donc comme une lame à faces parallèles. Sous l'action de la force centrifuge, il se produit deux effets distincts : une compression du liquide, qui est d'autant plus forte que l'on s'éloigne de l'axe du rotor. Enfin, les molécules se séparent par sédimentation, et il en résulte, quand on s'éloigne de l'axe du rotor, des bandes d'indices différents. Ces deux effets déforment l'image photographique d'une graduation $A'B'$ observée à travers la lame à faces parallèles. Pour délimiter la position des variations d'indice, on compare l'image déformée de la graduation avec l'image obtenue dans les mêmes conditions à travers une cellule témoin contenant de l'eau distillée.

La corde transmetteuse du mouvement traverse un joint étanche, à huile, pour rejoindre la turbine fonctionnant nécessairement hors de la chambre du rotor. Celui-ci (fig. 10) comporte deux alvéoles périphériques, cylindriques, qui le traversent de part en part, perpendiculairement au plan de rotation. C'est dans ces alvéoles que se placent les éprouvettes contenant la substance à centrifuger; ce sont de petits cylindres en matière plastique transparente (plexiglass), dont l'axe coïncide, une fois mis en place dans l'alvéole du rotor, avec le rayon de celui-ci.

Un système optique d'observation et de mesure photographique est agencé de telle manière qu'à chaque tour le rotor présente ses alvéoles cylindriques verticaux à un faisceau éclairant également vertical qui, après avoir traversé l'éprouvette transparente et son contenu, apporte directement l'image de la sédimentation en son état actuel, soit à l'œil, soit à la plaque photographique installée au terme du trajet optique (fig. 11 et 12).

Avec un montage aussi ingénieux, l'expérimentateur peut choisir entre deux méthodes d'analyse. Dans la première, il vérifie le processus de sédimentation par son ombre portée, c'est-à-dire suivant l'absorption de la lumière par les différents niveaux en raison de leur densité, modifiée par l'effet centrifuge; le choix de la lumière ultraviolette apporte alors des contrastes particulièrement précis en raison de son absorption par les matières organiques, mais les éprouvettes doivent être, dans ce cas, en quartz.

Une seconde méthode consiste à mesurer les variations de l'indice de réfraction aux différents niveaux du sédiment, puisque cet indice est lui-même influencé par la densité du milieu traversé par la lumière. La mesure de l'indice de réfraction est effectuée en observant, sur les clichés photographiques, la distorsion apparente d'une échelle micrographique bien étalonnée, dont l'image est insérée dans le circuit lumineux, distorsion dont on suit le déplacement au cours de la centrifugation.

Si séduisante qu'elle paraisse, la méthode photographique comporte des inconvénients. Elle exige que la substance soumise à la centrifugation soit extrêmement pure, sinon les renseignements optiques n'auraient de valeur qu'après l'identification des différentes couches sédimentaires. Or celles-ci se

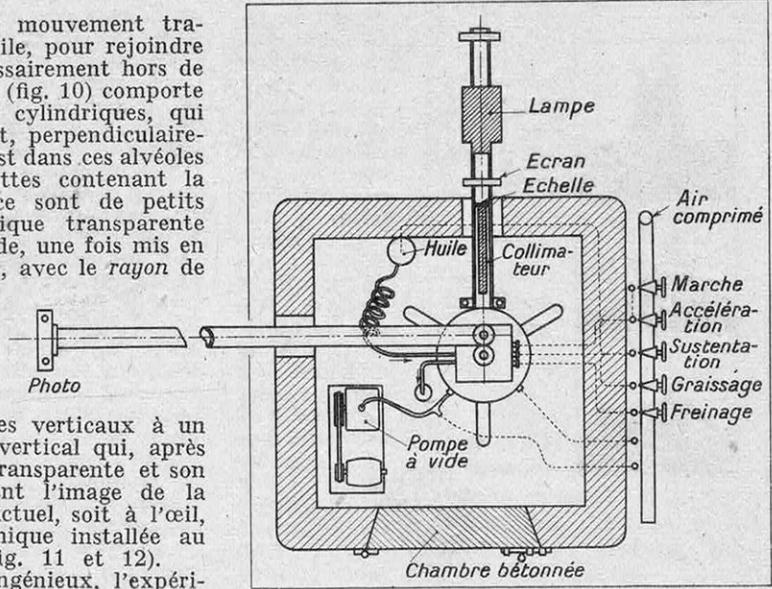


FIG. 12. — L'APPAREIL DE SVEDBERG-PEDERSEN VU PAR-DESSUS

On aperçoit à l'intérieur de la chambre bétonnée de protection le carter circulaire contenant le rotor. Les diverses commandes viennent toutes aboutir en dehors de la chambre. Enfin, le dispositif optique décrit à la figure 11 se retrouve vu en projection verticale et coudé par une rotation de 90° de l'appareil photographique par rapport au collimateur.

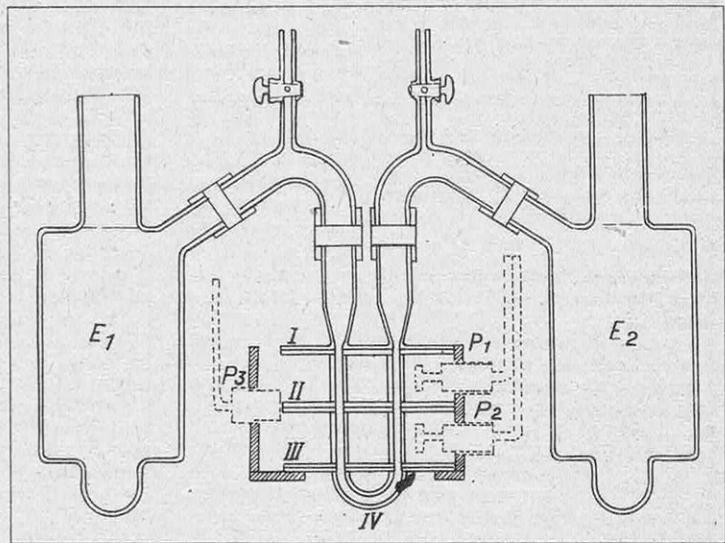


FIG. 13. — COUPE SCHÉMATIQUE DE L'APPAREIL A ÉLECTROPHORÈSE DU PROFESSEUR TISELIUS

L'ensemble de l'appareil est rempli d'une solution saline dite « tampon » dont le pH, exactement mesuré, uniformise celui de la substance soumise à l'électrophorèse. Cette substance est placée dans le tube en U central. Les électrodes impolarisables, très volumineuses, sont plongées dans les récipients E₁ et E₂. Le courant électrique entraîne vers l'une des électrodes les colloïdes, dont les divers éléments prennent des vitesses différentes et se classent donc dans leur marche vers l'électrode suivant un certain nombre de pelotons situés les uns derrière les autres. Pour étudier ces différences de marche, on peut ou bien opérer des prélèvements aux différents niveaux du liquide, ou analyser optiquement le liquide. La première méthode se réalise au moyen de sectionnements préparés d'avance sur le tube en U: I, II, III et IV, et que l'expérimentateur met hors circuit, le moment venu, au moyen de commandes pneumatiques P₁, P₂, P₃ schématisées sur la figure. La seconde se réalise par une photographie transversale du tube, de préférence en lumière ultraviolette (fortement absorbée).

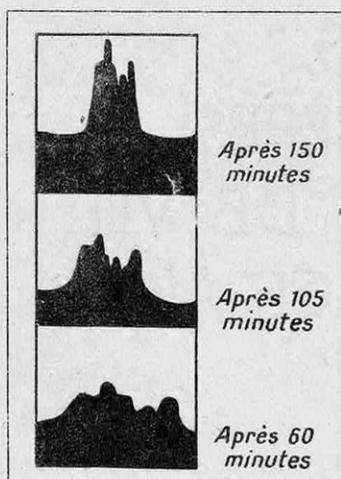


FIG. 14. — LES INDICATIONS DU FRONT MOUVANT DE L'ÉLECTROPHORÈSE

Le front de marche sur lequel se dissocient les divers éléments du colloïde « cataphorisé » est illuminé par un faisceau normal au tube en U (schéma précédent), ce qui permet d'en obtenir une photographie qui présente alors des bandes transversales correspondant aux indices de réfraction des diverses substances placées dans le champ électrique. Mais, par un système optique assez complexe (de lentilles cylindriques), on obtient que cette bande stratifiée horizontalement se transforme en une silhouette aux dénivellations verticales dont chaque pointe correspond dès lors aux éléments cherchés, et dont la hauteur est proportionnelle à la teneur de la solution en substance. Les autres se différencient d'autant mieux que le temps d'application du courant d'électrophorèse est plus long, par suite des vitesses de migration différentes.

minces dont chacune révèle son contenu à l'examen microscopique, telle une préparation histologique.

Nous comprenons maintenant à quel point de précision subtile sont parvenues les méthodes d'analyse de ces ultravirus que, il y a seulement vingt ans, tout le monde croyait devoir rester à jamais « invisibles », « insaisissables ». On les voit, on les saisit, on les soupèse. Et déjà le microscope électronique permet de distinguer leur comportement au sein des milieux biologiques où ils remplissent tantôt leur fonction pathogène destructrice, et tantôt leur fonction immunigène, celle de vaccins créateurs d'antitoxines.

Il est inutile d'insister sur l'importance des révélations que ces méthodes permettent d'espérer, touchant d'aussi profondes énigmes.

L'électrophorèse

Après l'ultrafiltre, complété et dépassé par l'ultracentrifugeuse, il semblerait que le biolo-

détruiront fatalement durant les quinze minutes nécessaires pour obtenir l'arrêt complet de la machine, en utilisant les freins.

L'expérimentateur, qui ne doit jamais être pris de court, se tire de la difficulté en confiant à des matières absorbantes (buvard, gels spéciaux) la mission de recueillir, sur le culot des tubes centrifuges, les corps élémentaires, virus ou protéines, objets de sa recherche. Une solution plus audacieuse consiste à congeler, le moment venu, la préparation et les tubes du plexiglass qui la contiennent par un jet d'air liquide. Une fois la machine stoppée, les tubes et leur contenu solidifiés sont tranchés en coupes

giste n'ait plus rien à désirer comme matériel d'analyse et de préparation. Il n'en est rien. La méthode scientifique suit tous les chemins convergeant vers le même but. C'est pourquoi les biologistes utilisent encore le phénomène d'électrophorèse pour isoler les protéines et les ultravirus.

Les substances de la chimie organique qu'étudie le biologiste ne sont pas des électrolytes. Pourtant elles ne sont pas électriquement neutres et présentent au contraire, tout comme les ions, une polarité électrique qui dépend du plus ou moins grand degré d'acidité ou d'alcalinité du liquide dans lequel elles baignent. Cet état s'exprime par le pH de la solution considérée (1). Pour une certaine valeur du pH appelée point isoélectrique, la solubilité de la substance est minimum. Pour les valeurs inférieures ou supérieures, la solubilité augmente, la substance prend une polarité.

La raison pour laquelle la matière étudiée ne se comporte pas exactement comme un électrolyte est l'énorme dimension de ses molécules — qui ne peuvent se déplacer à une vitesse comparable à celle des ions de la chimie minérale pour gagner les électrodes. Pourtant, sous l'action du champ électrique, le mouvement est amorcé et les molécules se mettent en mouvement vers les électrodes (vers l'électrode positive si le pH est alcalin et vers l'électrode négative si le pH est acide) à une vitesse qui, ici encore, est fonction de leurs dimensions et de la force qui leur est appliquée, ce qui va permettre de les séparer (fig. 13).

Cette caravane constitue un « front » — *boundary*, disent les Anglo-Saxons — sur lequel les divers éléments se séparent, comme fait un peloton de coureurs se disputant le poteau. La photographie d'une coupe de ce front mouvant doit donc mettre en évidence chacun des éléments qui le composent, puisque aucun d'eux n'a la même vitesse.

L'installation photographique, transversale à la branche montante du tube en U dans laquelle progresse le front mouvant en question, n'offre aucune difficulté. Par contre, c'est la distinction des différents strates à l'intérieur de ce front qui devient malaisée. Un « truc » d'optique, qu'il sera superflu de détailler ici (emploi de lentilles cylindriques), permet de transformer les ombres des strates horizontales en ondulations verticales dont les sommets correspondent à la largeur de la bande stratifiée (fig. 14). Chacune de ces bandes figure donc, en l'espèce, l'un des éléments recherchés.

Mais l'électrophorèse apporte au biologiste d'autres espoirs : en sus du contrôle qualitatif toujours intéressant, il espère obtenir quelque jour des appareils d'électrophorèse suffisamment importants pour sélectionner en quantités massives les éléments qui l'intéressent. Il obtiendrait de la sorte des solutions biologiques à l'état pur et dans les quantités qu'exige leur bonne expérimentation au laboratoire.

Jean LABADIÉ.

(1) Le pH d'une solution est fonction de sa concentration en ions H (hydrogène), dont dépend l'acidité ou l'alcalinité de la solution. La neutralité correspond à pH égal à 7, l'acidité aux pH inférieurs à 7, l'alcalinité aux pH supérieurs à 7.

LES PLANÈTES, LEURS ATMOSPHÈRES ET LES CONDITIONS DE VIE A LEUR SURFACE

par Charles FABRY
de l'Académie des Sciences

Les planètes, de beaucoup nos plus proches voisins parmi tous les astres, ont joué un rôle éminent dans le développement de nos connaissances scientifiques générales. Les Anciens en connaissaient cinq : Vénus, Jupiter, Mars, les plus brillants de tous les astres (le Soleil et la Lune mis à part), Saturne et Mercure, encore de « première grandeur ». Elles se distinguent des étoiles par leurs déplacements à travers les constellations qui présentent, pour un observateur ordinaire, un ensemble de forme immuable. Toute l'astronomie, jusqu'à une époque relativement récente, fut l'astronomie planétaire qui conduisit à cette formidable découverte que la Terre n'est pas le centre du monde et fit admettre, avec Copernic, que les planètes, y compris la Terre, tournent autour du Soleil. Le perfectionnement des instruments d'optique permit de découvrir certains accidents de leur surface, quelques-uns de leurs satellites, la forme en croissant de Vénus, puis de Mercure à certains moments de leur course, enfin des planètes trop lointaines (Uranus, Neptune, Pluton) ou trop petites (les « petites planètes », dont 1 500 sont actuellement connues) pour être visibles à l'œil nu. Pourtant cette astronomie planétaire connut une certaine défaveur par la suite à cause des quelques déceptions auxquelles donna lieu l'étude physique de leur surface. Certes, dans un grand télescope, Jupiter avec ses « bandes de nuages » ; Mars, avec ses particularités qui ressemblent à des mers et des continents, voire même à des « canaux » ; Saturne, entouré de ses anneaux et escorté de ses satellites, offrent de magnifiques spectacles. Mais que recouvrent ces décors ? La surface de ces astres, frères de la Terre, ressemble-t-elle à celle de notre planète ? La vie y existe-t-elle ou même y est-elle possible ? Questions éternellement posées auxquelles on ne répondait que par des œuvres littéraires dont on était un peu las. Mais voici qu'au cours de ces dernières années la question a changé d'aspect. Mettant en œuvre toutes les ressources de la physique, comme on l'avait fait avec succès pour l'étude des étoiles, les astronomes sont parvenus à des résultats d'une précision remarquable et parfois inattendus.

Géométrie et mécanique des planètes

RAPPELONS ces données qui restent à la base de l'étude des planètes. Tout d'abord, la mesure de la parallaxe (1) d'une planète par l'écart des positions apparentes qu'elle occupe dans le ciel pour deux observateurs différemment placés sur la Terre fait connaître la distance de cette planète à la Terre au jour de l'observation ; toutes les autres distances à tous les instants s'en déduisent par les lois de la mécanique céleste, et dès lors on peut tracer un dessin « à l'échelle » représentant la marche des planètes autour du Soleil.

Une fois connue la distance, la simple mesure du diamètre apparent du disque d'une planète permet de trouver, par un calcul élémentaire, son diamètre vrai et, par suite, son volume.

(1) Voir : « Les dimensions de l'Univers » (*Science et Vie*, n° 318, février 1944).

D'autre part, la mécanique céleste permet de calculer la masse de chaque planète par l'action qu'elle exerce sur un corps voisin, satellite quand il y en a, corps plus éloigné pour les planètes qui en sont privées. Du volume et de la masse on déduit la densité moyenne, donnée importante pour essayer de deviner de quoi la planète est faite.

Les deux groupes de planètes

Les données ci-dessus (voir tableau I) montrent que les planètes se divisent nettement en deux groupes : les denses et les légères. Les premières (densité entre 3,8 pour Mars et 6,2 pour Mercure) sont les plus proches du Soleil et sont les moins grosses. La Terre (densité 5,5) en fait partie. Les planètes légères sont les plus grosses et les plus éloignées du Soleil. Parmi elles Saturne a une densité (0,7) à peine supérieure à celle du liège (fig. 1).

	Distance moyenne au Soleil		Durée de la révolution en années	Durée de la rotation	Diamètre (2)	Masse (3)	Densité par rapport à l'eau
	En unités astronomiques (1)	En millions de kilomètres					
Mercure ...	0,39	57	0,24 an	0,24 an	0,37	0,05	6,2
Vénus	0,72	108	0,62	?	0,97	0,82	5,0
La Terre ..	1,00	150	1,00	23 h 56 mn	1,00	1,00	5,5
Mars	1,52	228	1,88	24 h 37 mn	0,54	0,11	3,8
Jupiter	5,20	778	11,86 ans	9 h 50 mn	11,1	318	1,4
Saturne ...	9,55	1 425	29,46	10 h 14 mn	9,4	95	0,7
Uranus	19,21	2 868	84,02	10 h 7 mn	4,0	14	1,3
Neptune ...	30,11	4 494	164,77	15 h 8 mn	4,3	17	1,2
Lune (4) ...	0,0050	0,38	27 jours	27 jours	0,27	0,0123	3,3
Soleil.....				26 jours	109	333000	1,4

TABLEAU I. — DONNÉES NUMÉRIQUES RELATIVES AU SYSTÈME SOLAIRE

(1) En prenant comme unité le demi-grand axe de l'orbite terrestre, sensiblement égal à la distance moyenne de la Terre au Soleil.

(2) En prenant comme unité le diamètre de la Terre.

(3) En prenant comme unité la masse de la Terre.

(4) La distance et la durée de la révolution sont prises par rapport à la Terre.

Cette grande différence de densité révèle certainement une profonde différence de structure et de composition chimique sur laquelle nous reviendrons un peu plus loin.

Les atmosphères

Bien que représentant une infime partie de la masse d'une planète (un millionième pour la Terre), son atmosphère (composition, température, mouvement) constitue un élément important, car elle conditionne l'aspect et les propriétés de la surface, de même que les possibilités de vie pour laquelle un milieu gazeux ou liquide est nécessaire (1). D'autre part, c'est l'atmosphère, avec ce qu'elle peut contenir, qui s'offre directement à notre étude. Ce n'est qu'à travers elle que nous pouvons voir la surface et les nuages qui peuvent y flotter.

Mais ici se pose une question préalable : pourquoi l'atmosphère, par exemple celle de la Terre, dont nous ne pouvons pas douter qu'elle existe, ne s'échappe-t-elle pas par le haut, où rien ne la retient, puisqu'un gaz occupe tout le volume qui lui est offert ? Simple question de mécanique céleste, où

chaque molécule joue le rôle d'un minuscule astéroïde soumis à l'attraction exercée par la planète.

En l'absence de tout choc entre les molécules, cas le plus favorable pour la libération, un corps animé d'une faible vitesse retombe sur la planète après avoir décrit un arc d'ellipse ; si la vitesse est grande, le petit corps décrit un arc d'hyperbole et ne retombe pas. Sur la Terre, la vitesse critique qui sépare ces deux cas est d'environ 11 km/s. Or aucune molécule, même d'hydrogène, n'atteint cette vitesse (1) ; aucune molécule ne peut donc s'échapper. Il n'en est pas de même sur Mercure et sur la Lune, où la vitesse critique est beaucoup plus faible et où d'ailleurs, en certaines régions, la température est bien plus élevée que sur la Terre. Les petits astres n'ont pas la force de retenir leur atmosphère.

Ainsi nous comprenons que certaines planètes ne puissent avoir d'atmosphère, mais ceci ne nous apprend rien sur la nature chimique et sur les conditions de celles qui existent. Les recherches ont porté sur l'ana-

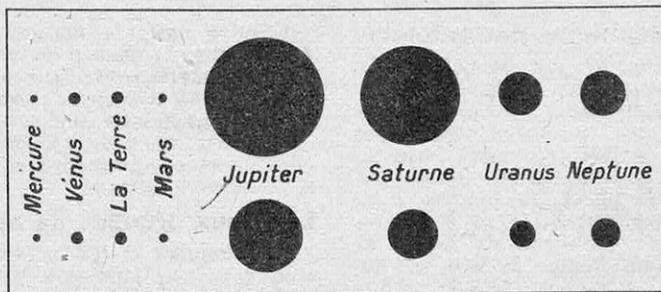


FIG. 1. — DIAMÈTRES COMPARÉS DES PLANÈTES

Sur la ligne du haut, les planètes sont représentées avec les proportions réelles de leurs diamètres. Sur la ligne du bas, les diamètres sont représentés tels qu'ils seraient si, conservant les masses des planètes, on les ramenait toutes à la même densité. Cette opération aurait pour effet d'atténuer les écarts entre les diamètres, les planètes les plus grosses étant celles dont la densité est la plus faible.

(1) Avec la vapeur qu'il émet et qui forme donc une atmosphère.

(1) Les molécules des gaz, en dehors des chocs qui se produisent au hasard, ont des vitesses continuellement variables, mais, pour un gaz donné et une température donnée, il y a une vitesse.

lyse chimique et sur la température, celle-ci donnant d'ailleurs des indications pour l'étude chimique (1). Commençons donc par la température.

Température des planètes

De prime abord insoluble, cette question peut cependant être abordée soit par le calcul, soit par l'observation.

Le calcul repose sur une base très simple : une planète, dans son ensemble, ne peut recevoir de chaleur que du rayonnement solaire, et n'en peut perdre que par son propre rayonnement, dont les lois sont bien connues, au moins lorsque la surface est un corps noir. On obtiendra la température d'équilibre en exprimant que la perte est égale au gain. On ne peut évidemment trouver ainsi qu'une température moyenne portant sur le jour et la nuit et sur l'ensemble des climats de la planète. Appliquée à la Terre, cette méthode un peu simpliste donne une température de + 10° C, ce qui n'est pas absurde pour une moyenne, comprenant la nuit comme le jour, les régions tropicales comme les régions polaires.

Le tableau II résume les résultats du calcul que ce qui précède nous autorise à considérer comme une température moyenne des planètes. On y remarque d'abord l'abondance des valeurs extrêmes. Mercure est torride, et encore le calcul donne-t-il une moyenne qui n'existe pas, car Mercure montre toujours la même face au Soleil. Si l'on fait le calcul pour le milieu de cette face, point où le Soleil est toujours au zénith, on trouve + 370° C ; l'autre face, qui ne reçoit jamais un rayon solaire, doit être à une température extrêmement basse, qu'il n'est pas possible de calculer ni pratiquement de mesurer. A partir de Jupiter, avec ses - 148°, on tombe dans la région des grands froids. Les conditions n'y ressemblent en rien à celles que nous trouvons sur la Terre, et en particulier l'eau ne peut y exister qu'à l'état solide. Il ne peut y être question de nuages formés de gouttelettes liquides, ni même de particules solides provenant de la condensation d'une vapeur qui n'existe pas.

Entre ces extrêmes, Vénus, la Terre et Mars sont les seules où existent des températures habitables compatibles avec l'existence, en certains points, d'eau à l'état solide, liquide et gazeux.

Toutefois, ces calculs, nous ne l'avons pas caché, sont un peu sommaires ; une mesure,

moyenne parfaitement constante. Pour de l'oxygène à 0° C, elle est de 460 m/s. Les molécules les plus légères sont les plus rapides, de sorte que l'énergie cinétique est la même pour toutes. Pour l'hydrogène, elle est 1 840 m/s à 0° et de 5 300 m/s à 2 000° C.

(1) Il est, par exemple, inutile de chercher de la vapeur d'eau ou du gaz carbonique dans une planète dont la température est à quelque 200° C au-dessous de zéro, où ces deux gaz n'existent pas.

même grossière, serait la bienvenue et pourrait donner des indications sur les températures locales pendant le jour, au lieu des moyennes que donne le calcul.

S'il ne peut être question de porter un thermomètre sur Mars ou sur la Lune, nous savons que les pyromètres (thermomètres à rayonnement) permettent de mesurer à distance les températures élevées des fours industriels. Le physicien américain W. W. Coblentz (spécialiste des mesures énergétiques de rayonnement) a résolu le problème pour les basses températures.

Supposons qu'au jour de pleine Lune on veuille mesurer la température du sol lunaire en un point situé au centre du disque.

Le rayonnement que nous recevons de la Lune se compose de deux parties : l'une est

formée de lumière solaire réfléchie, l'autre provient de radiations émises par la Lune à cause de sa température (1).

On mesure la somme de leurs énergies en projetant l'image de la Lune sur une minuscule pile thermo-électrique reliée à un galvanomètre très sensible. On sépare ensuite ce qui revient à chacun de ces rayonnements au moyen d'un filtre, tel qu'une cuve contenant de l'eau, qui laisse passer l'un des rayonnements et absorbe l'autre. La figure 2 représente le « thermo-

mètre à rayonnement », qui se place au foyer d'un grand télescope où se projette l'image de l'astre étudié.

C'est sur Mars que les résultats ont été les plus intéressants : comme sur la Terre, la température y varie de l'équateur au pôle et également au cours de la journée. Lorsque Mars est en opposition par rapport au Soleil, qu'il nous apparaît sous forme d'un disque rond entièrement éclairé, la partie centrale du disque qui a le Soleil au zénith atteint + 5°. Ce n'est pas encore très chaud pour une région « tropicale » à midi martien ; c'est que Mars ne reçoit que la moitié du rayonnement reçu par la Terre. C'est cependant habitable. Mais Mars, comme la Terre, tourne sur lui-même ; il y a donc un lever et un coucher du Soleil. Du premier côté la température est de - 45° C, du deuxième, de 0° C environ (2).

Naturellement la température s'abaisse quand on s'éloigne des régions « tropicales ». C'est ainsi que les deux régions polaires sont occupées par deux calottes blanches attribuées avec juste raison à de la neige. On y trouve des températures de - 70°, nettement inférieures à

(1) La première a une composition analogue à celle du rayonnement solaire direct ; les radiations visibles et celles du commencement de l'infrarouge y dominent ; ce sont des ondes courtes entre 0,4 microns et 3 microns. La deuxième comprend des ondes beaucoup plus longues entre 6 et 15 microns, radiations infrarouges invisibles.

(2) Ces grands écarts de température sont dus à la ténuité de l'atmosphère de Mars qui est loin de jouer le rôle de *matelas* que remplit la nôtre.

Mercure	+ 182°
Vénus	+ 64°
La Terre	+ 10°
Mars	- 42°
Jupiter	- 148°
Saturne	- 141°
Uranus	- 208°
Neptune	- 220°

TABLEAU II. — TEMPÉRATURES MOYENNES CALCULÉES POUR LES PRINCIPALES PLANÈTES (DEGRÉS CENTÉSIMAUX)

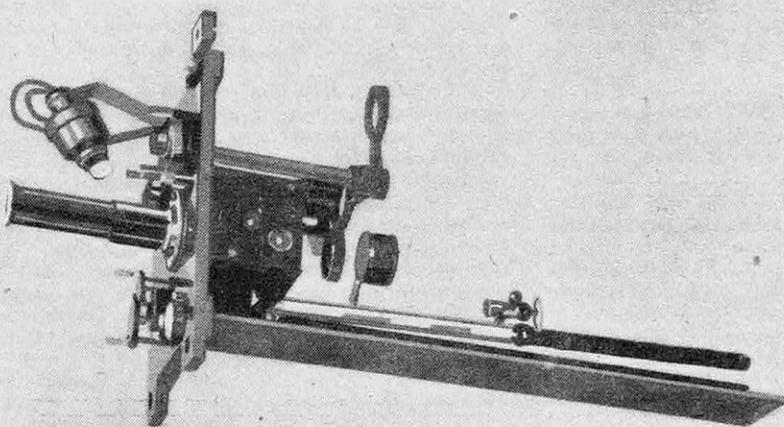


FIG. 2. — RADIOMÈTRE DE COBLENTZ DESTINÉ À L'ÉTUDE DU RAYONNEMENT DES ASTRES ET EN PARTICULIER DES PLANÈTES, POUR ÉVALUER LEUR TEMPÉRATURE

L'organe sensible est une soudure thermo-électrique, composée de deux fils très fins, l'un de bismuth, l'autre d'argent, reliés à un galvanomètre de haute sensibilité. La soudure est placée dans le plan focal d'un grand télescope (non représenté). L'observateur regardant par l'oculaire voit l'image de la planète sur laquelle se projette la soudure thermo-électrique. Il voit ainsi quel est le point du disque auquel se rapporte la mesure qu'il va faire.

celles de nos régions arctiques pendant la nuit polaire alors que la température observée sur Mars est celle du jour. En résumé: températures plus basses que sur la Terre, mais non prohibitives pour la vie.

Les observations sur la Lune, sans atmosphère et certainement sans vie, sont à la fois plus faciles et moins intéressantes. La Lune présente toujours la même face à la Terre, mais non au Soleil. Par rapport à ce dernier, sa rotation est lente, environ vingt-sept jours. Il faut donc s'attendre à des écarts de température considérables. On trouve, en effet, + 120° C au centre du disque de la pleine Lune, où le Soleil est au zénith, et cela concorde avec le calcul. Dès que le Soleil est couché, la température s'abaisse, comme on s'en aperçoit en visant le bord obscur, par exemple au dernier quartier. On a risqué le chiffre de - 100° C pour le côté dans l'ombre, et cela n'a rien d'in vraisemblable.

Sur Vénus, dont nous ne voyons pas la surface, on n'obtient pas de résultats certains, tandis que, sur Jupiter et sur les autres planètes froides, le rayonnement est si faible que les mesures ne donnent rien.

L'analyse chimique des atmosphères

L'analyse des atmosphères des planètes, problème con-

sidéé comme insoluble par Auguste Comte, a été cependant résolu grâce à l'analyse spectrale.

La lumière des planètes étant de la lumière réfléchie, on trouve dans son spectre toutes les particularités du spectre solaire, spectre continu parsemé de nombreuses raies noires dues à l'absorption dans la lumière solaire, et cela ne nous apprend rien de nouveau. Mais, avant de nous parvenir, la lumière a traversé deux fois l'atmosphère de la planète; si les gaz de cette atmosphère absorbent certaines radiations, celles-ci n'existent plus ou sont affaiblies dans la lumière que nous re-

cevons; leur place reste noire dans le spectre et sera marquée par une bande sombre: on obtient un spectre d'absorption. La place des bandes peut servir à caractériser le gaz absorbant. Remarquons tout de suite que certains gaz ne manifestent aucune absorption dans la région spectrale accessible aux observations astronomiques, comme l'hydrogène, l'azote, l'argon, et ne peuvent être caractérisés par cette méthode. Mais, dès qu'une bande d'absorption existe, elle correspond à un gaz que l'on doit pouvoir identifier. Voyons ce que l'on sait, en commençant par les grosses planètes froides.

Ces quatre grosses planètes qui sont, par ordre de distances croissantes au Soleil: Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune, montrent des spec-

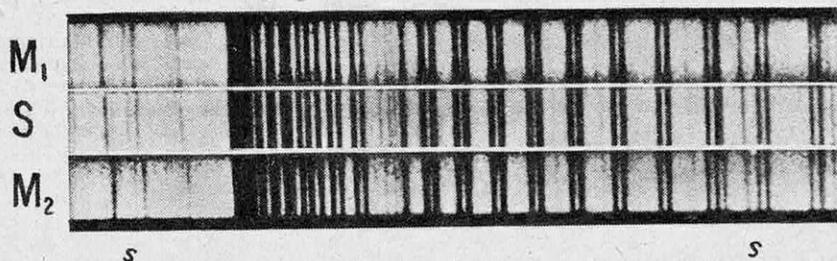


FIG. 3. — RECHERCHE DE L'OXYGÈNE DANS L'ATMOSPHÈRE DE MARS, EN UTILISANT LE DÉPLACEMENT DES RAIES SPECTRALES DU A LA VITESSE RADIALE DE LA PLANÈTE PAR RAPPORT A LA TERRE

Les trois spectres montrent la belle bande d'absorption de l'oxygène (bande B) dans le rouge (commencement à gauche, à la longueur d'onde 6 867 angströms), due à l'absorption dans l'atmosphère terrestre et éventuellement dans celle de Mars. Le spectre du milieu (S) est celui de la lumière solaire directe, les deux extrêmes (M₁ et M₂) sont des spectres de Mars, mais en M₁ la planète s'approche de la Terre à raison de 13,75 km/s tandis qu'en M₂ elle s'éloigne de 12,42 km/s. S'il y avait de l'oxygène dans Mars, les raies de l'oxygène seraient déplacées, à gauche dans l'un des spectres et à droite dans l'autre, par rapport au spectre S. Cet effet de déplacement se voit bien sur des raies marquées s, qui sont des raies d'origine solaire du nickel et du fer. L'effet de déplacement ne se produit pas pour les lignes d'absorption de l'oxygène; ce gaz n'existe pas, ou n'existe qu'en quantité très faible dans l'atmosphère de Mars.

tres avec d'énormes bandes d'absorption, principalement dans l'orangé et le rouge. Signalées depuis 1864 par l'astronome britannique Huggins, leur véritable explication ne fut donnée qu'en 1932 par R. Wildt; elles sont dues à deux gaz bien connus, mais que l'on ne s'attendait pas à trouver avec une pareille abondance : le gaz ammoniac et le méthane. Les bandes mystérieuses furent reproduites au laboratoire en faisant passer la lumière d'une lampe à travers un long tube rempli de l'un ou de l'autre de ces gaz. Ces conclusions furent confirmées en 1933 par Dunham, qui réussit à résoudre les larges bandes en une multitude de lignes fines aussi bien dans le spectre de la planète que dans celui obtenu au laboratoire. Enfermant le gaz dans un tube de 40 m de long, il montra la concordance parfaite des deux spectres.

L'ammoniac NH_3 , et le méthane CH_4 étant riches en hydrogène (H), et le premier en azote (N), il est probable que ces deux gaz existent en fortes proportions dans les atmosphères des grosses planètes, mais ils ne produisent aucune bande d'absorption et le spectrographe est impuissant à les déceler.

Parmi les petites planètes chaudes et denses, il en est une qui, elle aussi, a conduit à un résultat inattendu; c'est Vénus, dont l'atmosphère est composée surtout de gaz carbonique (CO_2), dont les bandes d'absorption, voisines de l'infrarouge, n'ont pu être explorées qu'après d'importants progrès dans la sensibilisation des plaques photographiques. Découvertes en 1932 par Adams et Dunham à l'observatoire du mont Wilson, elles ne purent être reproduites au laboratoire qu'en 1934 par Slipher et Adel, en

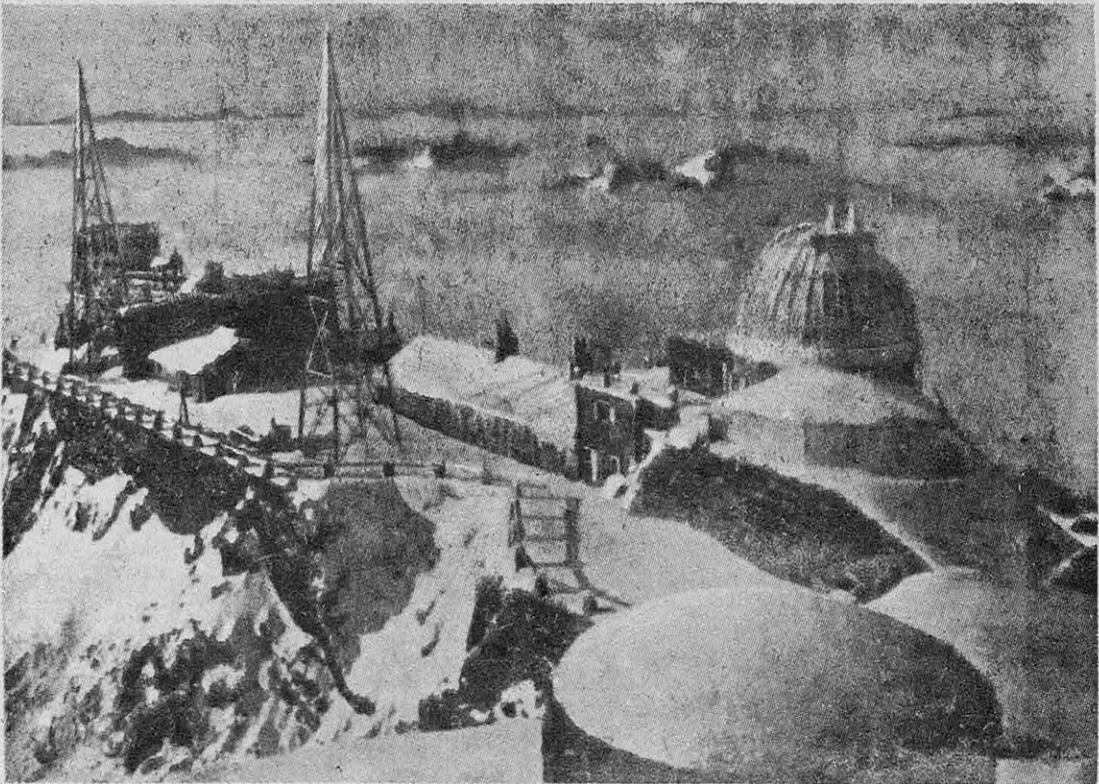


FIG. 4. — VUE DE L'OBSERVATOIRE DU PIC DU MIDI PRISE LE 29 JUIN 1937

Bien qu'on fût déjà en été, la neige qui couvrait le pic était loin d'être fondue. On remarque la mer de nuages, d'où émerge le pic et quelques sommets voisins. Le Pic du Midi s'est révélé comme le meilleur endroit du monde pour l'étude de la surface des planètes.

Mais les deux gaz ne se montrent pas sur les quatre planètes dans les mêmes proportions. L'atmosphère de Jupiter est riche en ammoniac, celle de Saturne beaucoup moins; ce gaz est presque absent sur Uranus et il fait complètement défaut sur Neptune (1).

(1) Ces différences s'expliquent immédiatement si l'on considère les propriétés de l'ammoniac, gaz facilement liquéfiable, complètement gelé à l'état solide aux très basses températures avec une tension de vapeur pratiquement nulle. Le méthane, au contraire, le plus simple des hydrocarbures, le chef de file des hydrocarbures saturés, qui forment un élément important des combustibles, résiste sans prendre l'état solide aux très basses températures et conserve une forte tension de vapeur.

enfermant le gaz dans un tube de 45 m de long sous une pression de 47 atmosphères, ce qui équivaut à une longueur de 2 km de gaz à la pression atmosphérique, et en analysant la lumière d'une lampe après qu'elle a traversé cette épaisse colonne. Nous verrons que, dans l'atmosphère de Vénus, on n'a pu découvrir ni oxygène ni vapeur d'eau.

Oxygène et vapeur d'eau

Antérieure à la découverte des gaz inattendus (NH_3 , CH_4 , CO_2), l'idée de rechercher l'oxygène et la vapeur d'eau sur Mars et sur Vénus était bien naturelle, car ces gaz existent dans

l'atmosphère terrestre, ils sont nécessaires à la vie telle que nous la connaissons, et d'autre part ils possèdent des bandes d'absorption bien connues. Mais une grave difficulté se présente, provenant justement de l'existence de ces gaz dans notre atmosphère. Ainsi, le spectre de Mars montre les bandes de l'oxygène, puisque sa lumière nous parvient à travers notre atmosphère; le problème est de savoir si, en l'absence de notre atmosphère, ces bandes subsisteraient. L'idée la plus simple est de comparer le spectre de Mars avec celui d'un autre corps céleste d'où l'oxygène est absent, les deux astres étant à la même hauteur au-dessus de l'horizon pour que l'épaisseur d'air terrestre traversé par la lumière soit la même dans les deux cas. Si l'atmosphère de Mars contient de l'oxygène, les bandes de ce gaz doivent être plus marquées dans son spectre que dans celui de l'astre de comparaison. La Lune est tout indiquée pour jouer le rôle de témoin. Or, en 1894, Campbell n'a trouvé aucune différence appréciable entre le spectre de Mars et celui de la Lune. Il estime donc que, s'il y a de l'oxygène sur Mars, cela ne peut être qu'en faible quantité. Le résultat est le même pour la vapeur d'eau. Et cependant l'eau existe dans Mars, comme le montrent les *calottes polaires*, qui ne peuvent être que de la glace. Mais, comme l'atmosphère de Mars est très froide, la pression

de la vapeur ne peut y être que très petite (1). Plus récemment, une autre méthode très remarquable a été mise en œuvre par les astronomes du mont Wilson; elle est fondée sur l'effet Doppler-Fizeau (2), dû au mouvement relatif de la planète et de la Terre.

Les raies spectrales d'origine terrestre ne sont aucunement affectées par la vitesse radiale qui résulte de ce mouvement, tandis que cette vitesse déplace légèrement les raies produites dans l'atmosphère de la planète et écarte légèrement de sa position normale la raie composite résultant de l'ensemble des deux absorptions. Le résultat de l'expérience s'exprime ainsi: s'il y a de l'oxygène dans l'atmosphère de Mars, sa masse n'y atteint pas, à surface égale, la millièmes partie de ce qu'elle est sur la Terre (fig. 3).

La même méthode appliquée à l'étude de Vénus a conduit au même résultat. Nous verrons plus loin les réserves qu'il faut faire sur l'interprétation de ce résultat, qui probablement n'est relatif qu'à une faible épaisseur de l'atmosphère située au-dessus du plafond des nuages qui nous cachent la surface de Vénus.

Pour la vapeur d'eau, les observations sont plus difficiles; sans risquer un chiffre, on peut dire que la vapeur d'eau n'existe sur Mars qu'en faible quantité et cependant l'absence complète

de vapeur d'eau y est inadmissible comme nous le montrerons. Sur Vénus, le spectre ne révèle pas de vapeur d'eau, mais il faut faire les mêmes réserves que pour l'oxygène.

L'observation directe, visuelle ou photographique

Les méthodes précédentes, qui utilisent tous les raffinements de la science du physicien, ne nous dispensent pas d'examiner directement la surface des planètes. Ce que nous a appris la physique nous aidera à interpréter, à comprendre ce que nous voyons.

Tout d'abord, que pouvons-nous espérer discerner? Pour Mars, par exemple, séparé de nous par 56 millions de kilomètres dans les conditions les plus favorables, et dont le

(1) A -50° C, la pression maximum de la vapeur d'eau n'est que de 1/20 000 d'atmosphère.

(2) Voir: « Les dimensions de l'Univers » (Science et Vie, n° 318, janvier 1943).

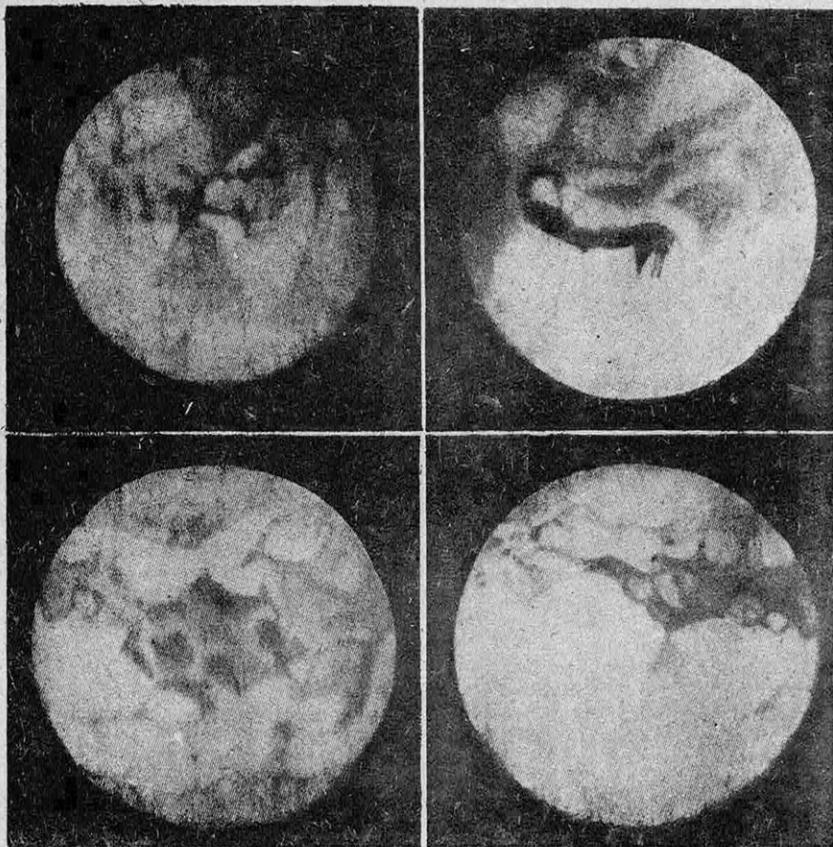


FIG. 5. — DESSINS DE LA PLANÈTE MARS, PAR M. GENTILI

Ces dessins ont été faits au Pic du Midi, en 1941, à une époque où la distance de la planète à la Terre n'était que de 61 millions de kilomètres. Tous les détails ont été vérifiés par M.M. Lyot et Camichel. Sur chaque dessin on aperçoit en haut la calotte polaire, très faible parce que, sur le pôle visible, c'est le commencement de l'été.

diamètre apparent n'est que $25''$ (à peu près celui d'un disque de 12 cm vu à 1 km), les objets isolés, même les plus grands monuments, seraient invisibles, mais une Méditerranée, un continent pourraient certainement être vus.

Malheureusement, l'efficacité des instruments est bien loin de croître en proportion de leur diamètre. Un objectif de 12 cm parfaitement construit doit permettre de distinguer sur Mars un objet rond (lac par exemple) se détachant en noir sur fond brillant, s'il

a environ 200 km de diamètre. Un objectif de 2,50 m devrait montrer des objets dix fois plus petits, comme un fleuve très large. Or il n'en est rien ; la lunette de 83 cm de l'observatoire de Meudon ne montre pas beaucoup plus de détails qu'un objectif de 40 cm, et on en voit presque autant avec une lunette de 20 cm.

Cette imperfection provient non de la construction des instruments, que les opticiens savent établir à un état de perfection remarquable, mais des mouvements des couches d'air d'inégale température que la lumière doit traverser. De ce point de vue, chaque lieu d'observation a ses défauts propres. Le Pic du Midi, que l'on avait condamné sans jugement, justement parce que c'est un *pic*, s'est révélé au contraire exceptionnellement favorable, ainsi qu'il résulte des observations de M. Lyot et de ses collaborateurs, M. Camichel et M. Gentili. Mais, même en cette situation favorable, les grands instruments n'ont pas leur pouvoir théorique, par suite des mouvements de l'air dans le tube même de l'instrument, dont les diverses parties ne sont pas à la même température. M. Lyot a eu l'idée hardie de construire un télescope dont le tube sera fermé aux deux bouts, en bas par le miroir, en haut par une lame de verre à faces exactement planes, et de faire de cet espace clos un véritable thermostat. Les premiers essais sont très encourageants et on peut espérer arriver à un instrument *parfait* qui montrera sur chaque planète des détails beaucoup plus fins que ceux actuellement connus.

L'emploi de la photographie a donné lieu aussi à quelques déceptions pour l'étude des planètes, où elle n'a pas obtenu les mêmes magnifiques succès qu'en astronomie stellaire. Une plaque sensible parfaite devrait en effet posséder une extrême sensibilité et un *grain* d'émulsion extrêmement fin, conditions pour le moment incompatibles. MM. Lyot, Camichel et Gentili ont utilisé une très ingénieuse méthode pour faire disparaître le grain de la plaque, méthode utilisée déjà par M. Lyot dans ses études de la couronne solaire, et qu'il a appelée *photographie composite*. Sur la plaque, on prend un certain nombre d'images photographiques, par exemple neuf, en un temps assez

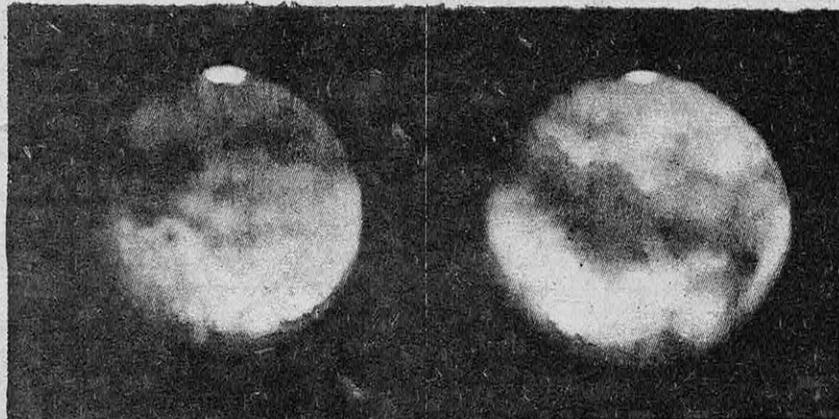


FIG. 6. — PHOTOGRAPHIES « COMPOSITES » DE MARS OBTENUES AU PIC DU MIDI EN 1941

Ces photographies résultent de la superposition de 15 images pour l'une et de 11 images pour l'autre (voir le texte). Remarquez la calotte polaire qui, sur la photographie des gauches, s'étend autour du pôle sur un cercle d'environ 1 000 km de diamètre.

court pour que la rotation de la planète n'introduise pas de changement appréciable. On fait de cet ensemble un agrandissement unique, en projetant successivement ces images exactement à la même place sur la plaque à grain très fin servant à la reproduction, en posant chacune $1/9$ de la pose totale. Les grains, qui sont disposés au hasard, disparaissent dans l'ensemble et l'on obtient une image unique, très fine et très contrastée. La méthode, appliquée récemment au Pic du Midi, a donné des résultats remarquables (fig. 6 et 8).

Mercure

Quittant le domaine des généralités, voyons maintenant ce que l'on sait sur chacune des planètes (examinons-les dans l'ordre de leurs distances croissantes du Soleil).

Sur Mercure, la plus proche du Soleil et la plus petite et la plus dense des anciennes planètes, on ne voit à peu près rien. Les astronomes ont cru y discerner quelques taches vagues qui leur ont permis de penser que sa rotation est lente et que la planète tourne toujours la même face vers le Soleil, comme la Lune vers la Terre. Le calcul donne 370°C pour la température du point où le Soleil est toujours au zénith, tandis que l'hémisphère qui est toujours dans l'ombre doit être très froid. Le spectrographe n'y révèle aucune atmosphère, et cela n'est pas surprenant, étant donné la faible valeur de la pesanteur à la surface et la température élevée qui règne en certains points. Mercure n'aurait pas la force de retenir une atmosphère.

Vénus

Vénus reste la grande énigme. Elle se présente dans les plus grands instruments et aux yeux des meilleurs observateurs comme une surface uniformément blanche, tantôt en croissant, tantôt en disque presque rond, selon les positions respectives de la planète, du Soleil et de la Terre. Mais sur cette blancheur uniforme on ne distingue rien, si bien qu'on ne sait même pas comment elle tourne. On a tendance à penser, d'après des observations spectroscopiques incertaines, que sa durée de rotation est de dix à quinze jours ; l'effet des marées a freiné la rota-

tion, mais pas assez pour obliger la planète à tourner toujours la même face au Soleil.

Quant à l'aspect uniformément blanc de la surface, il fait penser à la *mer de nuages* que l'on voit souvent en montagne ou en avion. La surface de la planète nous serait entièrement cachée et nous ne verrions que des nuages par en dessus. Les études de M. Lyot sur la polarisation de la lumière de Vénus (dont on parlera plus loin) sont en bon accord avec cette théorie, à la condition que ces nuages soient formés de très fines gouttelettes d'eau, d'un diamètre d'environ 2 microns, ce qui n'a rien d'in vraisemblable. On devrait donc trouver de la vapeur d'eau au-dessus et on n'en trouve pas. Peut-on risquer la théorie suivante pour expliquer cela ? Les nuages en question seraient à très grande hauteur, mettons 15 ou 20 km ; ce seraient des cirrus, formés de très fines particules de glace, de 2 microns de diamètre, à très basse température, par exemple à -50°C . La pression de vapeur de la glace est alors extrêmement faible et il n'y a pratiquement pas de vapeur d'eau dans les couches d'atmosphère accessibles à nos études ; la vapeur d'eau, très abondante, serait au-dessous, entièrement cachée à nos regards par un plafond de cirrus. Reste à savoir si un cirrus vu par-dessus donnerait les effets de polarisation qu'observe M. Lyot sur les nuages de Vénus ; de nouvelles expériences seraient nécessaires.

Quant à l'absence d'oxygène et à la présence de quantités énormes de gaz carbonique, ce sont deux particularités qui s'accordent bien ensemble. Les éléments carbone et oxygène se sont d'abord combinés sous forme de CO_2 , comme le suppose avec raison M. Dauvillier dans

ses belles études sur la chimie des planètes. La Terre a dû passer par ce stade et Vénus serait en retard sur nous. Beaucoup plus tard, le gaz carbonique sera décomposé par des actions chimiques et photochimiques et le monde végétal achèvera de produire l'oxygène qui existe dans notre atmosphère, tandis que le carbone sera mis en réserve dans le sol. Ces phénomènes se produiront vraisemblablement sur Vénus dans quelques millions de siècles. Pour le moment, Vénus n'est pas habitable, sauf peut-être par des végétaux très inférieurs.

La Terre

Si tous les secrets de la surface de la Terre nous sont connus, il est intéressant de se demander comment nous la verrions de l'extérieur avec les moyens dont nous disposons pour examiner les autres planètes.

Le spectacle serait bien autrement varié et animé que celui que nous offre n'importe quelle autre planète. Choisissons un point de vue situé à la distance à laquelle se trouve Mars. La séparation de la surface en mers et continents sauterait aux yeux, les grands lacs comme ceux de l'Amérique du Nord ou de l'Afrique centrale, les grandes îles comme l'Irlande ou la Grande-Bretagne seraient parfaitement visibles, les mouvements des grandes masses nuageuses seraient un phénomène d'un haut intérêt, ainsi que la formation et la disparition saisonnières des neiges. Mais il y a plus : les changements de teinte des grandes forêts ou des grands espaces cultivés comme la Beauce seraient visibles. Il est certain que la Terre est un centre vital autrement actif que n'importe quelle autre planète.

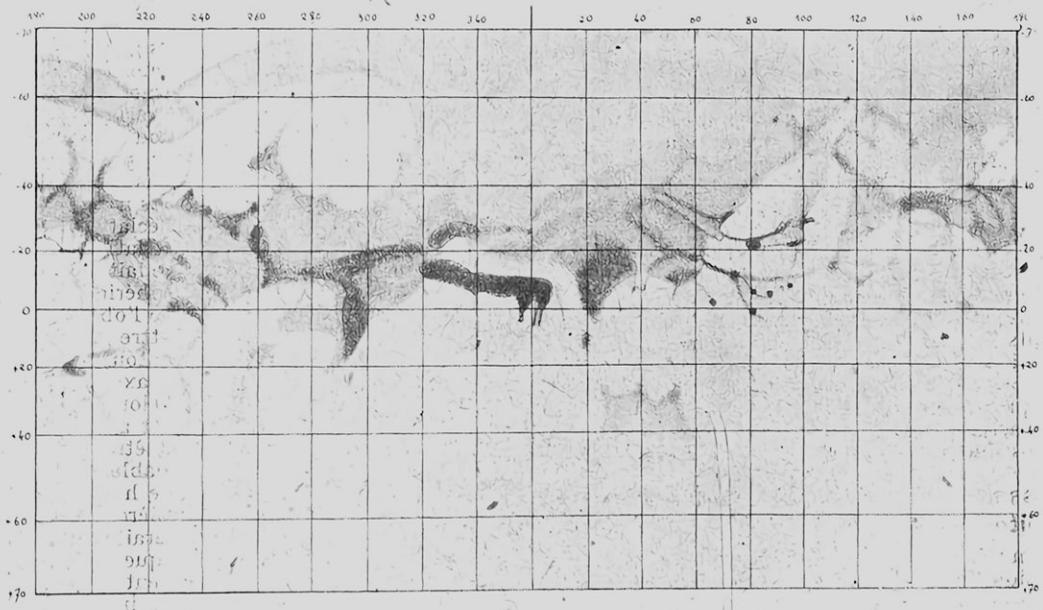


FIG. 7. — PLANISPHÈRE DE MARS RÉSULTANT DE TOUTES LES OBSERVATIONS VISUELLES ET PHOTOGRAPHIQUES FAITES AU PIC DU MIDI EN 1941

Ce planisphère est tracé suivant la projection de Mercator, souvent employée pour les cartes marines. Juste au milieu de la carte, on voit une formation bizarre qui rappelle un bec de canard ; la longueur du bec est d'environ 300 km, ce qui fixe l'ordre de grandeur de l'échelle. La carte s'étend jusqu'à 70° de latitude de part et d'autre de l'équateur.

Mars

C'est la planète que nous connaissons le mieux, dont la surface ne nous est pas cachée par son atmosphère très peu dense. Certes, les astronomes ne sont pas toujours parfaitement d'accord pour interpréter les nombreux détails que nous y voyons. La règle devrait être de considérer comme réels seulement les objets ou les formes qui ont été vus ou dessinés de la même manière par plusieurs observateurs indépendants, ou, mieux, qui ont été fixés aussi par la photographie ; malheureusement, la plaque sensible n'est pas encore en état d'enregistrer tout ce que montre l'observation visuelle à l'oculaire de la lunette.

Ce sont ces règles de prudence qui ont été suivies au Pic du Midi par MM. Lyot, Camichel et Gentili. La figure 5 donne des dessins montrant les diverses régions de Mars et la figure 6 reproduit deux *photographies* composites de la planète. De tout cela on a fait un planisphère de Mars (fig. 7), qui est probablement la meilleure image et la plus sûre qui ait été obtenue ; d'autres sont plus détaillées, mais peut-être trop. Toute une science topographique martienne, qui a ses fanatiques, s'est constituée. La moindre tache reçoit un nom latin, parfois très alléchant. De nombreux points noirs, d'aspect circulaire reçoivent en latin le nom de *fons* (fontaine ou source) ; un des derniers découverts par M. Gentili a reçu le nom de *fons sapientiae* (fontaine de la sagesse). Que ne l'a-t-on découverte sur la Terre !

Si nous ne savons pas interpréter ce que nous voyons, il est néanmoins intéressant d'en observer les changements qui peuvent nous mettre sur la voie d'une explication juste.

Certains changements sont certains. Les plus remarquables sont les transformations des grandes taches blanches qui s'étendent autour des pôles et varient en étendue à chaque pôle avec les saisons (fig. 6). Ce sont certainement des calottes de glace ou de neige. On a révoqué en doute cette explication, vu le peu de vapeur d'eau contenu dans l'atmosphère de Mars. L'objection n'est pas valable : il ne faut pas beaucoup d'eau pour blanchir d'immenses espaces sous une mince couche de givre ou de neige. D'ailleurs, on voit assez souvent des brumes qui cachent les détails du sol : l'observation de Mars exige le beau temps sur la Terre et sur la planète.

On ne sait rien sur la nature des détails observés et les noms de *mers*, de *fontaines*, de *fleuves* n'ont qu'une utilité mnémonique. Par contre, une chose certaine est que des changements se manifestent dans la forme et la couleur de certains détails. On est tenté de les attribuer à des phénomènes de végétation, sans rien qui prouve une activité animale.

Concluons en disant : la vie ne paraît pas impossible, ni même improbable sur Mars.

L'essaim des astéroïdes entre Mars et Jupiter

Il n'y a presque rien à dire sur la constitution physique de ces 1 500 « petites planètes » dont les orbites se situent, pour la plupart, entre celles de Mars et de Jupiter. On sait cependant qu'elles sont vraiment très petites ; la plus grosse, *Cérès*, n'a que 650 km de diamètre, donc un volume 8 000 fois plus petit que celui de la Terre ; les plus petits de ces astéroïdes n'ont que quelques kilomètres de diamètre. On ne sait rien de certain sur leur masse : on peut

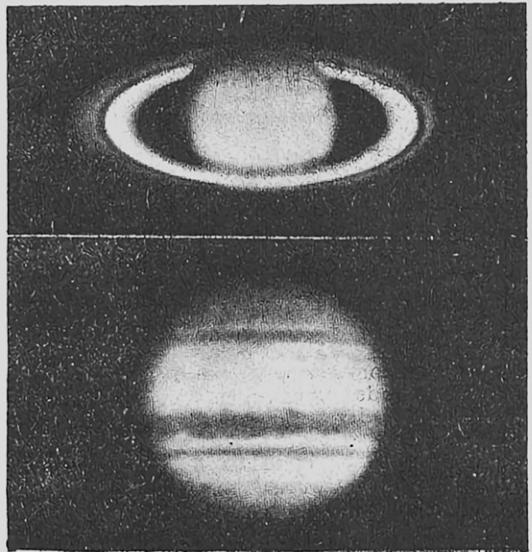


FIG. 8. — PHOTOGRAPHIES « COMPOSITES » DE JUPITER ET DE SATURNE

On voit que l'anneau de Saturne est en réalité composé de deux anneaux concentriques, séparés par un intervalle. L'anneau intérieur est beaucoup plus brillant que l'extérieur ; l'analyse polarimétrique montre qu'ils n'ont pas la même constitution.

supposer que leurs densités sont celles des planètes lourdes et admettre que la masse totale de l'essaim ne dépasse pas quelques millièmes de la masse de la Terre.

Il est très probable que d'aussi petits corps n'ont pas eu la force de retenir une atmosphère.

Seuls les plus gros présentent un diamètre apparent perceptible dans les plus grands instruments, mais leur surface ne montre aucune tache qui permette de voir tourner la planète. Il y a cependant un cas où une variation périodique d'éclat décèle une rotation ; c'est celui de la planète Éros, intéressante parce qu'elle passe, à certaines époques, plus près de la Terre que toute autre planète. Éros montre d'importantes et rapides variations d'éclat, avec une période d'environ 5 h, et une variation dans le rapport de 1 à 4,8. On explique ce fait en admettant que la planète n'est pas sphérique ; dans un travail récent, M. Caillaite, de l'observatoire de Nice, a été conduit à admettre qu'Éros a la forme d'un cigare tournant autour d'un axe perpendiculaire à sa longueur, axe qui peut d'ailleurs subir des oscillations. Selon la position de l'observateur par rapport à cet axe, l'amplitude des variations d'éclat peut être petite ou grande. Cette forme bizarre, probablement assez irrégulière, fait penser à la vieille hypothèse de Olbers, d'après laquelle la poussière de petites planètes que nous connaissons serait le résultat de l'explosion d'une planète unique ayant possédé leur masse totale. Les fragments détachés à l'état solide pourraient être fort irréguliers et donner lieu aux variations d'éclat constatées sur Éros.

Jupiter

Nous entrons maintenant dans le domaine des grosses planètes de faible densité, qui est aussi celui des basses températures et, dans le cas de

Jupiter, des très hautes pressions, car la pesanteur à la surface étant 2,5 fois celle que nous trouvons sur la Terre, une même quantité de matière produit une pression 2,5 fois plus forte que chez nous. Il faut, en entrant dans ce domaine, abandonner toute idée préconçue, tout espoir d'explication par analogie avec ce que nous voyons sur la Terre, être décidé à ne s'étonner de rien, par exemple de nuages qui sont des îles d'ammoniac solide flottant sur un océan de méthane liquide, qui lui-même flotte sur de l'azote gazeux. La physicochimie de ce monde étrange a été abordée avec hardiesse par M. Dauvillier.

On se souvient que Jupiter offre un disque sur lequel se détachent des bandes de « nuages » qui se modifient, très lentement, d'année en année. Le spectrographe montre la présence des gaz ammoniac et méthane ; dans les conditions physiques où l'on se trouve, l'ammoniac est solide et le méthane liquide, mais avec des tensions de vapeur importantes, surtout pour le méthane. Il y a, d'autre part, de bonnes raisons de penser que le gros de l'atmosphère est formé d'hydrogène et d'azote, donnant une pression très élevée. Il ne peut être question de vapeur d'eau ni d'eau liquide, ni, par suite, de nuages, formés par condensation de vapeur d'eau ; l'eau est à l'état solide, et peut entrer en forte proportion dans le noyau de la planète. L'oxygène libre n'y existe pas, ou très peu ; il se combine soit à l'hydrogène, soit au carbone pour former du gaz carbonique solide, de la carbo-glace, qui est aussi dans le noyau.

Il est donc probable que les nuages de Jupiter sont en réalité d'immenses glaçons d'ammoniac flottant sur un océan de méthane liquide. M. Dauvillier va jusqu'à admettre que ce liquide, qui est très léger, flotte lui-même sur de l'azote comprimé, qui ne peut se solidifier parce que sa température est supérieure à celle de son point critique.

Sur bien d'autres points, M. Dauvillier apporte des hypothèses hardies mais vraisemblables pour expliquer les diverses particularités observées. Quant à la vraie surface solide, nous ne la voyons pas ; nous ne voyons pas le sol, qui d'ailleurs n'existe pas.

Saturne

Saturne a une composition chimique analogue à celle de Jupiter, mais la tension de vapeur de l'ammoniac solide y est presque nulle. La très faible densité de la planète (0,7 par rapport à l'eau) s'explique par les propriétés particulières de l'azote au voisinage de son point critique.

On ne peut parler de Saturne sans dire un mot de son anneau, ou plutôt de ses anneaux qui sont un des beaux spectacles du ciel. Ces anneaux ne sont évidemment pas des objets rigides, qui tournent chacun tout d'une pièce ; le spectrographe montre que la vitesse périphérique diminue à mesure que le rayon grandit. Ce sont des essaims de particules indépendantes,

qui gravitent comme des satellites autour de la planète. Nous donnerons un peu plus loin quelques indications, déduites de l'observation des effets de polarisation, sur la nature de ces particules.

Uranus et Neptune

Uranus et Neptune offrent des températures de plus en plus basses. L'ammoniac y est entièrement à l'état solide ; le gaz n'est qu'à l'état de traces sur Uranus ; il est complètement absent sur Neptune. Sur cette planète, il ne faudrait plus parler de gaz ammoniac, mais d'une poudre cristalline ressemblant à du sel fin. Le méthane est un liquide formant une mer qui couvre probablement toute la surface de la planète, avec une tension de vapeur encore assez forte.

Dans tout cela, on voit qu'à partir de Jupiter nous trouvons une chimie qui ne ressemble en rien à celle de notre atmosphère et de notre sol ; il ne semble pas y avoir la moindre place pour une vie présente, passée ou future.

La polarisation de la lumière

La lumière qu'envoie le Soleil et qui éclaire les planètes n'est pas polarisée, semblable en cela à celle de la plupart de nos lampes. Il faut entendre par ces mots « lumière non polarisée » une lumière dont chaque rayon a la symétrie de révolution autour de lui-même, de

telle sorte que tous les plans passant par le rayon aient exactement les mêmes propriétés et ne se distinguent pas les uns des autres. Lorsque le rayon est polarisé, même partiellement, cette symétrie totale n'existe pas, il n'y a plus que deux plans de symétrie rectangulaires, dont l'un s'appelle le plan de polarisation. Ce passage de la lumière non polarisée à la lumière polarisée peut se faire de bien des manières, en particulier par réflexion : dans le cas de la réflexion vitreuse, c'est-à-dire de la réflexion suivant la loi classique de l'optique sur une surface polie transparente, le plan de polarisation n'est autre que le plan d'incidence, qui contient à la fois le rayon incident et le rayon réfléchi. Mais les objets qui nous entourent, comme la surface des planètes, n'ont pas de surfaces vitreuses ; les réflexions sont en réalité des réflexions diffuses ; pour un rayon incident donné, il y a une infinité de rayons réfléchis, la notion de normale à la surface disparaît, et les phénomènes sont plus complexes. Nous y reviendrons dans un instant, mais il est évident qu'ils doivent dépendre de la nature de la matière qui forme le diffuseur, qu'ils ne doivent pas être les mêmes pour la lumière diffusée par un tas de cailloux, par une terre labourée, un champ couvert de maïs ou par un nuage. La comparaison entre ce qu'on observe sur la surface d'une planète avec ce que nous donne un sol artificiel donnera des indications précieuses sur l'état physique de la planète et de ses diverses parties.

L'idée d'employer la polarisation de la lumière comme méthode d'analyse des astres est loin

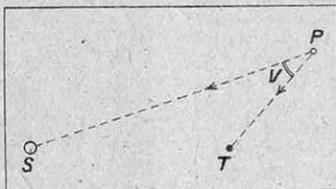


FIG. 9. — DÉFINITION DE L'ANGLE DE VISION

Le Soleil étant en S, la Terre en T et la planète en P, le plan STP est le plan de vision ; l'angle V que le rayon PT allant de la planète à la Terre fait avec le rayon solaire qui éclaire la planète, pris en sens inverse, s'appelle l'angle de vision. Cet angle joue un rôle capital dans toutes les expériences sur la polarisation de la lumière des planètes.

d'être nouvelle. Arago, en 1811, peu après les découvertes de Malus (1808) et ses propres découvertes sur les propriétés de la lumière polarisée, eut l'idée d'appliquer cette méthode. Mais, faute de moyens d'analyse assez délicats de la lumière polarisée et faute d'avoir confronté le résultat de ses observations sur les astres avec les propriétés des différents matériaux, les résultats ne furent pas très importants. C'est seulement avec les travaux de M. Lyot, publiés en 1929, que des résultats vraiment intéressants ont été obtenus. Voici le principe de la méthode et les principaux résultats.

Définissons d'abord les données géométriques d'une observation. Soit (fig. 9) S le Soleil, T la Terre, P la planète. Le plan qui contient ces trois points s'appellera le *plan de vision* et l'angle V que fait le rayon PT allant à la Terre avec le rayon incident SP pris en sens inverse est l'*angle de vision*; c'est cet angle qui est la quantité variable définissant chaque observation. Dans les expériences de laboratoire où S est une lampe et P un corps que l'on veut étudier, rien n'est plus facile que de faire varier cet angle. Dans les observations célestes, nous devons attendre que les mouvements de la Terre et de la planète le fassent varier; les éphémérides astronomiques permettent de le calculer à chaque instant.

La polarisation n'est que partielle, et le plus souvent le plan de polarisation se confond avec le plan de vision; cependant, pour les petites valeurs de l'angle de vision, le plan de polarisation est perpendiculaire au plan de vision.

Chaque observation doit faire connaître la proportion de lumière polarisée que contient la lumière reçue par l'observateur; cette proportion est considérée comme négative lorsque le plan de polarisation est perpendiculaire au plan de vision. La figure 11 donne un exemple de la courbe caractéristique de polarisation où les abscisses sont les valeurs de l'angle V et les ordonnées les proportions de lumière polarisée; cette courbe est relative à la Lune; nous y reviendrons. On y voit que le *point d'inversion* pour lequel le plan de polarisation change de 90° a lieu pour $V = 23^\circ$.

Pour les analyses de la lumière partiellement polarisée, M. Lyot a construit un *polarimètre* qu'il fixe au bout de la grande lunette de l'observatoire de Meudon, dont l'objectif a 83 cm de diamètre et la longueur focale 16 cm. La figure 10 donne la coupe du polarimètre. B est un tube qui prolonge celui de la lunette. L'oculaire est en O suivi d'un polariscope de Savart P, derrière lequel on place l'œil; si la lumière de la planète est polarisée, le polariscope donne sur l'image de

la planète un système de franges; il s'agit de mesurer avec précision la proportion de lumière polarisée et de déterminer l'orientation du plan de polarisation. A cela servent les deux lames transparentes L_1 et L_2 , en verre mince ou, mieux, en cellulose, épaisses de 0,01 mm, qui toutes deux peuvent être inclinées à volonté. Pour cela L_1 peut tourner autour de l'axe DE et son angle d'inclinaison est lu par l'aiguille F sur le secteur gradué G. La lame L_2 peut tourner autour de l'axe HI, qui peut prendre deux orientations définies par des butées: dans l'une, il est parallèle à DE, dans l'autre, il est perpendiculaire, et l'on passe instantanément de l'une des positions à l'autre en poussant du doigt la tige K. La mesure se fait en modifiant les angles jusqu'à ce que le passage d'une position à l'autre ne change pas l'aspect des franges. On arrive à déceler et mesurer des proportions de lumière polarisée bien inférieure à 3/1 000; comme preuve de la précision des mesures, on peut voir sur le diagramme (fig. 11) avec quelle précision les points se placent sur la courbe qui résume les observations faites sur la Lune pendant plusieurs années.

Ayant tracé la *courbe caractéristique* de polarisation d'une planète ou d'une petite région de son disque, ce qui exige des mois et parfois des années d'observations, il reste à découvrir quelque chose de terrestre, sol, nuage artificiel, etc., qui ait les mêmes propriétés, c'est-à-dire qui donne une courbe caractéristique exactement superposable à celle de la planète ou de la portion de la surface qui a été étudiée. L'étude de l'objet terrestre se fera au laboratoire avec le même polarimètre, en remplaçant la lumière solaire qui éclairait la planète par celle d'une lampe et la surface planétaire par une surface artificielle convenablement préparée.

Voyons quelques-uns des résultats obtenus:

Le cas le plus facile est celui de la Lune, à cause de son grand diamètre apparent et de l'absence totale d'atmosphère. Il n'y a pas d'autre inconnue à faire intervenir que la nature du sol. En fait, la courbe de polarisation de la lumière lunaire (fig. 11) est à très peu près la même pour toute la surface de notre satellite. Elle ressemble à celle de beaucoup de minéraux terrestres non transparents, de couleur brune, tels que les laves, les basaltes, etc.; il y a toutefois de petites différences dans la forme des courbes qui excluent l'hypothèse d'une surface lunaire formée uniquement d'un de ces minéraux. Comme substance ayant exactement les propriétés de la surface lunaire, M. Lyot a trouvé seulement certaines cendres volcaniques et il conclut que cette surface doit être entièrement

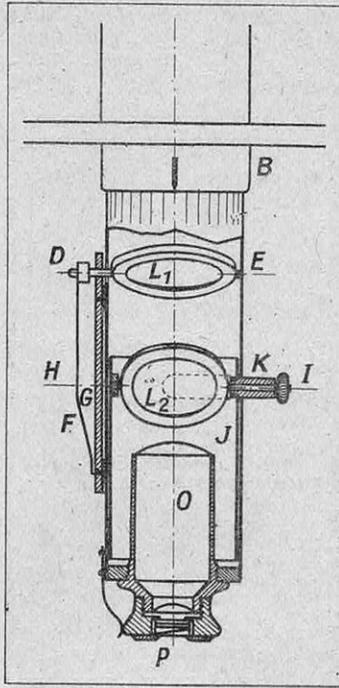


FIG. 10. — POLARIMÈTRE DE LYOT

Ce petit appareil se place au bout de la grande lunette de l'observatoire de Meudon (diamètre 83 cm; longueur focale, 16 m). L'oculaire O est suivi d'un polariscope de Savart P, qui fait apparaître des franges sur l'image de la planète si la lumière de celle-ci est polarisée. Les deux lames transparentes L_1 et L_2 en cellulose très minces (épaisseur, 0,01 mm) servent à déterminer la proportion de lumière polarisée (voir le texte).

couverte de telles cendres, peut-être en couche mince. La couleur légèrement brune de ces cendres s'accorde bien avec ce que l'observation banale nous apprend : la lumière lunaire est plus rouge que celle du Soleil et, d'autre part, le pouvoir réflecteur de la surface de la Lune est faible, car seulement la fraction 0,14 des radiations visibles est réfléchi, le reste étant absorbé.

Mercure donne exactement les mêmes résultats que la Lune, les deux astres ont perdu leur atmosphère et n'ont plus trace d'eau ; la constitution de leur surface est la même.

Mars est plus compliqué. Une grande partie de sa surface donne les mêmes résultats que la Lune ; on sait d'ailleurs, que Mars se voit à l'œil nu comme une étoile rouge, dont la couleur ressemble beaucoup à celle de la Lune. Mais la surface est beaucoup moins uniforme que celle de la Lune, et, d'autre part, la présence d'une légère atmosphère complique les phénomènes observés. Les taches blanches des pôles donnent une polarisation variable, comme s'il y avait fréquemment de la brume dans ces régions. Enfin, même en l'absence de brume, l'atmosphère de Mars doit nous envoyer, par diffusion moléculaire, de la lumière polarisée ; de ce que l'on observe, ou plutôt de ce qui ne se produit pas, on peut déduire une limite de la densité de cet air. On trouve que la masse d'air sur Mars n'atteint pas 1/15 de la quantité analogue, à surface égale, sur la Terre ; et comme la pesanteur à la surface de Mars n'est que la fraction 0,37 de celle qui agit sur nous, la pression de l'air à la surface de Mars ne peut dépasser 1/40 d'atmosphère. On voit que tout concorde pour indiquer que Mars n'est pas dénué d'atmosphère ni d'eau, mais que cette atmosphère est extrêmement ténue.

Les observations sur les planètes éloignées, à partir de Jupiter, ne peuvent donner des résultats très complets : l'angle de vision V (fig. 9) reste toujours petit ; sur Jupiter, il ne dépasse pas 11° et sur Neptune il n'atteint pas 2° , si bien que l'on ne peut tracer qu'une faible partie de la courbe de polarisation. Sur Jupiter, les résultats sont difficiles à interpréter, à cause de la présence de matières dont les propriétés sont mal connues et à cause de l'influence d'une atmosphère dense.

Cependant des résultats ont été obtenus sur les anneaux de Saturne. Comme on le sait, l'anneau est divisé en deux anneaux concentriques, dont l'intérieur est le plus brillant (fig. 8). Les propriétés optiques de celui-ci sont celles d'une collection de minuscules satellites, analogues aux fragments irréguliers d'un minéral que l'on aurait grossièrement concassé ; cela confirme la théorie d'après laquelle l'anneau est formé de fragments indépendants. Quant à l'anneau extérieur, il donne lieu à des phénomènes de polarisation bizarres, jusqu'ici inexplicables.

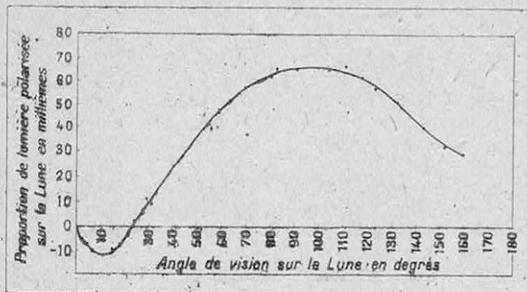


FIG. 11. — COURBE DE POLARISATION DE LA LUMIÈRE DE LA LUNE.

La valeur de l'angle de vision V (voir fig. 9) est portée en abscisse ; cette valeur varie de jour en jour au cours de la lunaison. En ordonnée, on porte la valeur de la proportion de lumière polarisée. On remarquera la précision avec laquelle les points se placent sur la courbe. Le maximum a lieu pour $V = 100^\circ$ (près du premier ou du dernier quartier) et la proportion de lumière polarisée est alors de 0,065. L'inversion se produit pour $V = 23^\circ$; pour les valeurs de V inférieures, la polarisation est négative et atteint -0,012. Ce phénomène de l'inversion et les circonstances qui l'accompagnent sont intéressantes pour définir la nature de la surface planétaire.

ne peut être que sous une forme végétale rudimentaire. La décomposition du gaz carbonique en oxygène et produits hydrocarbonés par les végétaux est-elle commencée ? On serait plutôt porté à admettre que Vénus en est encore au stade purement photochimique qui, d'après M. Dauvillier, doit précéder le stade biologique. Les végétaux, et peut-être les animaux, viendront plus tard. Quant à Mars, bien que les indices font penser à l'existence d'une vie végétale ayant une certaine activité, mais la ténuité de l'atmosphère, l'absence d'oxygène, la rareté de l'eau rendent probable un état biologique assez maigre. C'est notre Terre qui reste le seul centre actif de la vie et, parmi tous les êtres vivants, l'homme, en dépit de ses imperfections et de ses tares, reste le grand chef-d'œuvre de la création. On peut regarder comme certain qu'aucun autre exemple analogue n'existe dans le système solaire, et comme très probable que cette réussite est extrêmement rare dans l'ensemble de l'Univers.

C. FABRY.

La vie sur les planètes

On voit quelle variété de techniques il a fallu mettre en œuvre pour arriver à une connaissance des planètes qui est loin d'être complète, mais qui n'est plus une œuvre de pure imagination.

Comment peut-on conclure en ce qui concerne la vie ? De la manière la plus évidente, la vie est un phénomène exceptionnel et certainement aucun astre du système solaire n'offre une intensité et une variété de vie, un grouillement d'êtres vivants comparables à ce que nous voyons sur notre Terre. Les seules autres planètes sur lesquelles la vie est possible sont Vénus et Mars. Sur Vénus, si la vie existe, ce

LA PRISE EN REMORQUE D'UN PLANEUR PAR UN AVION EN VOL

La guerre dans les jungles de la Birmanie et des îles du Pacifique, où bien souvent aucun aérodrome ne pouvait être aménagé et où pourtant l'envoi de renforts, de ravitaillement et l'évacuation des troupes se faisait par la voie des airs, a exigé de l'avion des tâches tout à fait extraordinaires, entraînant parfois des manœuvres acrobatiques. L'une d'entre elles est maintenant de pratique courante : c'est la prise en remorque de planeurs par un avion en vol. Cette opération permet l'évacuation des blessés par la voie des airs, là où un avion ne pourrait pas se poser ni décoller à nouveau.

Les photographies ci-dessous représentent la capture d'un planeur Waco « Hadrian II » par un avion de transport Douglas « Dakota » dans un camp d'entraînement anglais.

Les deux problèmes qu'il faut résoudre dans la prise en remorque sont l'accrochage du câble de remorquage avec le câble de capture, et, d'autre part, la répartition de l'accélération nécessaire au décollage du planeur sur une période de temps suffisante, faute de quoi il se produirait un véritable choc qui pourrait rompre le câble ou provoquer des accidents dont seraient victimes soit le planeur, soit l'avion remorqueur, par suite d'une brusque perte de vitesse.

La solution du premier problème ne présentait pas de difficultés ; la capture au vol de certaines charges, en particulier du courrier, est de pratique courante dans l'aviation commerciale.

Le remorquage du « Waco » s'effectue à l'aide d'une corde de nylon (qui possède une certaine élasticité) de 70 m de longueur. A l'extrémité de cette corde se trouve une boucle triangulaire dont on accroche deux sommets à l'extrémité de deux poteaux de 4 m de hauteur et distants de 7 m environ. Cette boucle sera saisie par l'avion remorqueur à son passage.

Le dispositif de capture installé à bord du « Dakota », pèse au total 590 kg.

Il comprend un câble d'acier de 350 m de longueur, enroulé sur un tambour freiné et à l'extrémité duquel se trouve le crochet qui saisira la boucle du planeur. Pour la capture du planeur, ce câble d'acier est légèrement déroulé, et le crochet est guidé par un bras métallique éclipseable placé au-dessous de l'avion. Après accrochage de la boucle par le crochet, l'effort de traction qui s'exerce sur les deux câbles provoque le déroulement du câble d'acier. Ainsi le choc qui se produirait si l'attelage était rigide se trouve amorti, et le planeur est progressivement accéléré.

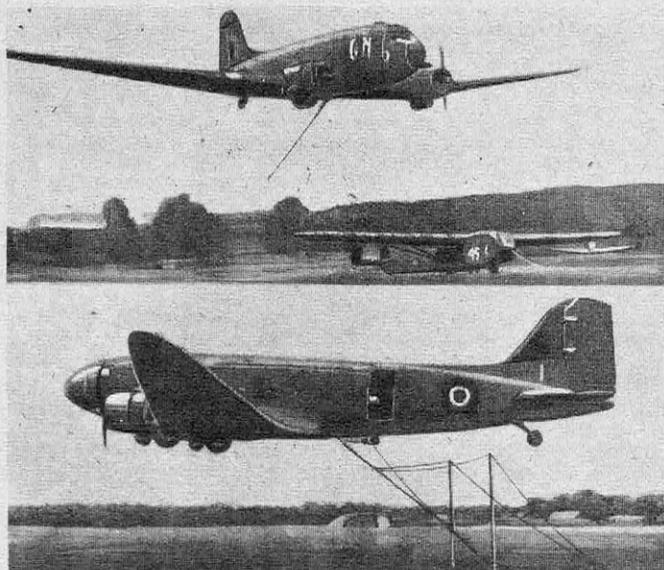
Le Douglas « Dakota » est un avion de 16,5 t en pleine charge, muni de 2 moteurs de 1 200 ch. Le planeur Waco « Hadrian II » pèse 3 600 kg. La vitesse à laquelle vole normalement le « Dakota » au moment de la prise en remorque est de 160 à 200 km/h, mais le « Waco » décolle à partir de 115 km/h. Le décollage s'effectue

en 70 m environ. Dans ces conditions, si l'on admet que le mouvement du planeur est uniformément accéléré, l'accélération est de l'ordre de 6 m/s et la traction exercée sur le câble serait de l'ordre de 2 200 kg, compte non tenu du freinage exercé par le sol sur le planeur. De toute façon, cette traction ne dépasse pas normalement 3 000 kg.

Le câble d'acier est ensuite enroulé de nouveau sur son tambour grâce à un petit moteur électrique de 2,5 ch.

Des sécurités sont prévues pour le cas où, pour une cause

quelconque, un des deux appareils se trouverait en difficulté. Le câble de nylon présente en effet un point faible dont la rupture se produit quand la traction vient à dépasser la valeur de 7 t. Enfin, il est possible de couper instantanément le câble d'acier à l'aide d'une petite charge d'explosif dont on commande la détonation si le tambour du câble vient à fonctionner de façon défectueuse.



LA CAPTURE DU CÂBLE DE REMORQUAGE D'UN PLANEUR WACO « HADRIAN II » PAR UN AVION DE TRANSPORT DOUGLAS « DAKOTA »

En haut, l'avion arrive en passant à côté du planeur. En bas, la boucle qui termine le câble de remorquage est saisie par le crochet qui l'attellera à l'avion.

COMMENT ON ESSAIE SCIENTIFIQUEMENT LES INSECTICIDES AGRICOLES

par L. BONNEMAISON

Chef du Laboratoire de Chimiothérapie
à la Station Centrale de Zoologie Agricole

Les insectes constituent pour l'homme une menace permanente, soit qu'ils transportent les germes de maladies infectieuses, soit qu'ils s'attaquent à ses cultures, à ses réserves alimentaires et même à son habitation. Les dégâts occasionnés par les insectes grèvent chaque année l'agriculture française de 20 milliards de francs. Un tel chiffre suffit à mesurer l'importance de la lutte contre ces animaux. Depuis quelques années, la gamme des insecticides s'est considérablement étendue, et l'on a découvert des produits satisfaisant de mieux en mieux aux conditions extrêmement variées qui leur sont imposées, toxicité vis-à-vis des insectes, innocuité pour l'homme et les plantes, persistance de l'action. Le choix de ces produits parmi les centaines de milliers que nous offre la chimie nécessite des essais nombreux et méthodiques effectués parfois pendant des années tant au laboratoire qu'aux champs.

Les diverses sortes de produits insecticides

Les insectes exercent leurs dégâts de diverses manières. Certains, comme le Doryphore, les Chenilles, rongent les feuilles sur toute leur épaisseur ; d'autres ne s'attaquent qu'à l'épiderme supérieur ou inférieur de celles-ci (larve de la Tenthredo, Limace du Poirier).

Les Punaises, les Pucerons, les Thrips se nourrissent d'une manière différente : leurs pièces buccales, transformées en minuscules lames chitinisées, appelées stylets, perforent les tissus végétaux et permettent à ces insectes d'aspirer le contenu des cellules végétales.

Chez d'autres insectes, les femelles déposent leurs œufs à la surface ou dans de petites anfractuosités, préparées à l'avance, des feuilles (Pégomye de la Betterave), des rameaux (Cèphe du Poirier), des fleurs (Anthonyme du Pommier, Hoplocampes), des fruits (Carpocapse, Mouches des Cerises) ou des troncs (Scolytes). Les larves qui émergent de ces pontes pénètrent le plus souvent directement à l'intérieur des tissus de la plante.

Suivant le mode d'alimentation de l'animal, on sera amené à employer :

— Soit des substances toxiques qui, réparties sur les plantes, seront absorbées par l'insecte en même temps que les tissus végétaux et amèneront la mort de celui-ci par empoisonnement (*insecticides d'ingestion*, par exemple : arsenicaux) ;

— Soit des substances qui seront projetées sur les plantes afin d'être mises directement en contact avec les parasites (*insecticides de contact*) ; ceux-ci agissent de diverses manières : en recouvrant l'insecte d'une mince pellicule qui obture les orifices respiratoires ou stigmatés de l'insecte (huiles minérales, animales et végétales) ; en pénétrant à l'intérieur du corps par l'intermédiaire des stigmatés ; en traversant les téguments au niveau des parties amincies (base des pores d'où émergent les poils sensoriels, membranes intersegmentaires) ;

— Soit des matières qui dégagent des gaz toxiques (*insecticides gazeux*) : acide cyanhydrique, sulfure de carbone, oxyde d'éthylène, bromure de méthyle, etc...) ; leur emploi est limité à la désinfection des matières végétales entreposées, du sol, des arbres et arbustes fruitiers des serres ;

— Soit des produits que l'on mélange aux grains et qui amènent la mort des insectes en diminuant la teneur de leurs tissus en eau (*insecticides déshydratants*).

On peut ajouter à cela les substances dites « *insectifuges* » qui dégagent des odeurs déplaisantes à l'insecte et qui en provoquent l'éloignement.

A vrai dire, les insecticides déshydratants mis à part, la distinction entre le mode d'action des divers insecticides est bien délicate : il a été constaté depuis peu que des insecticides d'ingestion aussi typiques que les arsenicaux exerçaient également une action toxique par contact.



FIG. 1. — LA CHENILLE DU BOMBYX NEUSTRIEN (Photo Le Charles)

Composition chimique et pouvoir insecticide

La sensibilité des insectes aux insecticides d'ingestion et de contact est des plus fantaisiste; ce phénomène s'observe fréquemment pour des substances même très simples (arsénicaux): deux produits de composition chimique identique et ayant une teneur en arsenic équivalente peuvent faire preuve d'une efficacité très différente (fig. 2). De même, des substances plus complexes et de nature chimique très voi-

sine peuvent avoir une action très variée. C'est ainsi que, chez trois substances isomères, telles que l'ortho, le méta et le paradichlorobenzène (fig. 3), l'ortho est aussi peu toxique que le méta, alors que le para a fait preuve, dans certains cas, d'un bon effet insecticide.

Il n'est donc pas possible de juger de la valeur insecticide, même approximative, d'une substance d'après sa composition chimique.

Il y a quelques années encore, les produits insecticides de base étaient en nombre très limité: arsénates de plomb et de chaux, fluo-

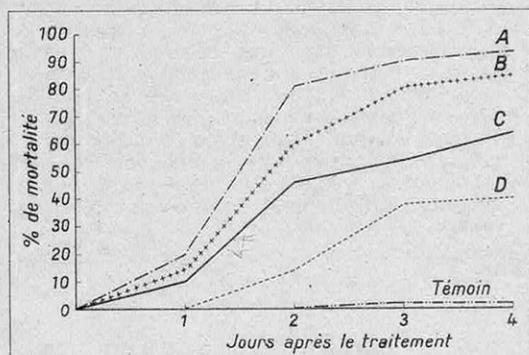


FIG. 2. — EFFICACITÉ COMPARÉE DE QUATRE ARSÉNIATES DE PLOMB

Les quatre produits, de marques A, B, C et D, ont la même teneur en arsenic. On les fait agir tous les quatre sur des élevages « standard » de *Doryphore* et on compte à la fin de chaque journée qui suit l'application du poison le pourcentage des insectes morts. Un élevage témoin (auquel on n'administre pas d'arséniate), placé dans les mêmes conditions que les quatre premiers élevages, sert à vérifier que la mort est bien imputable à l'insecticide. On voit sur les courbes A, B, C, D que la teneur en arsenic n'est pas le seul facteur déterminant la toxicité du produit. Celle-ci ne pouvait pas être prouvée d'après la formule chimique et doit être déterminée expérimentalement.

silicate de baryum, fluosilicate de soude, nicotine, bouillie sulfocalcique, huile d'anthracène.

Depuis peu, leur nombre s'est accru d'une manière prodigieuse par l'utilisation de matières d'origine minérale (huiles), végétale (roténone, pyréthre) et surtout de composés organiques réalisés par voie de synthèse (hexachlorocyclohexane, dinitrocyclohexylphénol, tioldiphénylamine, dichlorodiphényltrichloréthane ou D. D. T., etc. (1)). On conçoit aisément que le nombre de substances que l'on peut réaliser de la sorte est pour ainsi dire illimité : le chimiste peut ainsi accumuler des corps de nature chimique variée, mais dont on ignore tout de leur pouvoir insecticide. Celui-ci ne pourra être déterminé que par l'expérimentation directe du produit sur les insectes.

L'essai du pouvoir insecticide

En raison de la petite quantité de matière active dont on dispose et des difficultés techniques soulevées par l'application directe de la substance présumée insecticide, sur une culture fortement infestée, les essais sont généralement réalisés en trois échelons, les deux premiers étant des essais de laboratoire et le troisième ayant lieu en plein air (essai de plein champ).

Les essais de laboratoire portent toujours sur un petit nombre d'insectes ; or, la résistance de ceux-ci aux substances insecticides varie dans de très fortes proportions suivant l'espèce d'insecte, et, pour une même espèce, suivant l'état de développement des individus, leur âge, leur vigueur, etc.

Pour que les essais soient vraiment comparables, on a donc été amené à n'opérer que sur

(1) Voir : « Le D. D. T., formidable moyen de destruction des insectes nuisibles » (*Science et Vie*, n° 335, août 1945).

quelques espèces d'insectes soigneusement choisies en vue d'un but déterminé et que l'on désigne sous le nom d'« insectes-standard ». Cela ne suffit pas. Il est indispensable que tous les animaux mis aux essais soient sains, rigoureusement identiques en âge, en taille, en poids, si possible frères et sœurs, c'est-à-dire qu'ils appartiennent à la même lignée germinale.

Le ramassage des insectes d'une même espèce dans la campagne ne permet pas de satisfaire à ces diverses conditions.

Il est indispensable d'avoir recours à l'élevage artificiel des « insectes-standard », ce qui permet, en outre, d'obtenir des insectes à contre-saison et de hâter par conséquent la réalisation des essais de laboratoire.

L'élevage artificiel des insectes

L'élevage artificiel des insectes semble être une opération d'une extrême simplicité, alors qu'en réalité il requiert des soins attentifs et aboutit fréquemment à des échecs complets.

Dans la nature, l'insecte peut se déplacer facilement et rechercher l'aliment qui lui convient le mieux, l'habitat qui lui paraît le plus judicieux. Élevé dans un local, l'insecte est placé dans des conditions d'« ambiance » tout à fait différentes et ne reçoit plus qu'une nourriture de nature parfois éloignée de celle qu'il a l'habitude de consommer et d'un état de fraîcheur qui laisse toujours à désirer : il n'est donc pas étonnant que son organisme supporte mal ces nouvelles conditions d'existence.

Les insectes sont élevés dans une pièce bien éclairée, orientée est-ouest si possible.

Des tables ou des planches posées sur des tréteaux sont disposées à l'intérieur de ce local et supportent les cages d'élevage. Celles-ci peuvent être de forme variée : le plus souvent, ce sont des parallélogrammes rectangles revêtus d'un fin grillage sur la plupart de leurs grandes faces. Une vitre coulissante dans des rainures fait office de porte (fig. 4).

Les insectes ne peuvent vivre qu'entre certaines limites de température (températures minimum et maximum de développement). Entre ces deux extrêmes se trouve une température optimum variable suivant les espèces, mais qui, pour les insectes les plus courants, est comprise entre 22° C et 28° C.

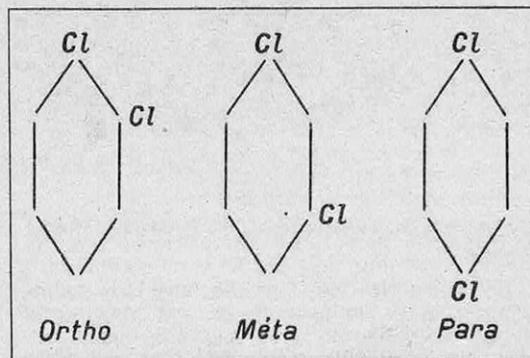


FIG. 3. — LES TROIS ISOMÈRES DU DICHLOROBENZÈNE

De ces trois corps de formule très voisine, seul le paradichlorobenzène a un pouvoir insecticide appréciable.

Cette température est obtenue par le chauffage modéré des salles et par la mise en place d'une ou deux lampes électriques à l'intérieur de chaque cage; ces lampes élèvent de quelques degrés la température de la cage par rapport à celle de la salle et, par leurs radiations, favorisent le développement de l'insecte.

Nous prendrons comme exemple d'élevage celui du Doryphore qui, en raison des déprédations qu'il commet, de sa prolificité, de sa grande résistance aux maladies cryptogamiques et à virus, de sa quasi-immunité vis-à-vis des parasites animaux, constitue un sujet de choix.

Des Doryphores adultes sont récoltés au printemps, dans les champs de Pommes de terre, et mis en observation au laboratoire pendant quelques jours; on constitue ensuite des lots de dix couples et l'on place un lot par cage.

L'alimentation est assurée par des rameaux feuillus de Pommes de terre placés dans des flacons à large ouverture; ces flacons sont remplis d'eau et l'on dispose un tampon de coton tout autour des rameaux afin d'éviter la noyade des Doryphores. Les rameaux sont renouvelés tous les jours ou tous les deux jours afin d'assurer aux insectes une nourriture suffisamment fraîche (fig. 5).

En plein air, les Doryphores se tiennent sur les touffes de Pommes de terre, c'est-à-dire dans un « microclimat » à très haut degré hygrométrique; l'atmosphère des salles d'élevage et des cages est toujours trop sèche, et il est indispensable de veiller à ce que l'humidité relative des cages soit au moins de 80 à 90 %.

On y parvient en disposant dans les salles d'élevage de grands bacs renfermant de la sciure mouillée ou des « humidificateurs » sur les radiateurs de chauffage central, en arrosant fréquemment le sol, en pulvérisant deux ou trois fois par jour de l'eau en un fin brouillard à l'intérieur des cages, en plaçant dans celle-ci une cuvette renfermant de l'eau recouverte d'une mousseline.

La ponte moyenne d'un Doryphore est d'environ 500 œufs; ces œufs longs de 1,2 mm, jaune vif, sont déposés sur les feuilles par petits paquets de 50 à 60. Les folioles porteuses d'une ponte sont coupées et placées dans un petit cristalliseur; on y ajoute quelques folioles de Pomme

de terre afin de maintenir une humidité satisfaisante dans le fond du récipient. Les cristalliseurs sont placés dans une « élèveuse », simple caisse de bois munie de deux portes vitrées présentant plusieurs étages à claire-voie et chauffée par une ou deux lampes électriques de 50 à 60 W.

Les œufs éclosent au bout de six à dix jours, selon la température; les jeunes larves sont alors transférées à l'aide d'un petit pinceau dans un autre cristalliseur dont le fond est tapissé de

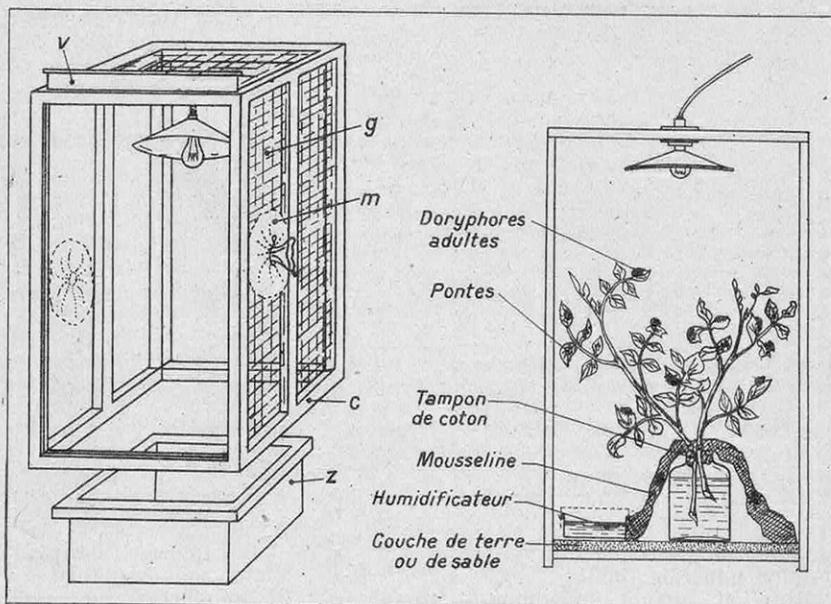


FIG. 4 ET 5. — L'ÉLEVAGE ARTIFICIEL DES INSECTES AU LABORATOIRE

A gauche: cage verticale pour élevage des insectes en local isolé (Trouvelot). Cette cage qui enferme les plantes nourricières des insectes est fermée sur quatre faces par un grillage métallique (g) à mailles fines et, sur une de ses faces verticales, par une vitre coulissante (v). La cage s'encastre à sa partie inférieure sur un cadre de zinc (z) que l'on enfonce dans la terre d'une serre ou d'un gros pot de fleurs. Deux ouvertures fermées par des manchons de mousseline (m) permettent de prendre commodément les insectes. La cage est éclairée et légèrement chauffée par une lampe à sa partie supérieure. A droite: cage d'élevage contenant dix couples de Doryphores. Les insectes sont élevés sur des rameaux de Pommes de terre baignant dans l'eau d'un flacon. L'atmosphère de la cage est humidifiée et réchauffée artificiellement (lampe électrique) pour donner aux insectes des conditions de développement comparables à celles qu'ils rencontrent dans la nature. Les pontes sont récoltées tous les jours.

deux ou trois feuilles de papier buvard destiné à absorber les gouttelettes d'eau et les déjections; l'alimentation est assurée par quelques folioles de Pomme de terre.

Les larves grossissent rapidement; elles « muent » trois fois avant d'atteindre leur taille maximum, c'est-à-dire qu'à trois reprises elles rejettent leur vieille enveloppe pour en revêtir une nouvelle qui leur permet d'atteindre une plus grande dimension.

Arrivées au terme de leur croissance, les larves ne mangent plus; c'est le moment où, normalement, elles vont en terre pour se « nymphoser », c'est-à-dire pour se transformer en adulte. Au laboratoire, ces larves sont placées dans de grands cristalliseurs renfermant plusieurs épaisseurs de papier buvard légèrement humidifié; les larves se nymphosent sans difficulté dans le papier qu'elles ont au préalable déchiqueté. L'adulte apparaît huit à dix jours plus tard.

Des techniques différentes sont employées

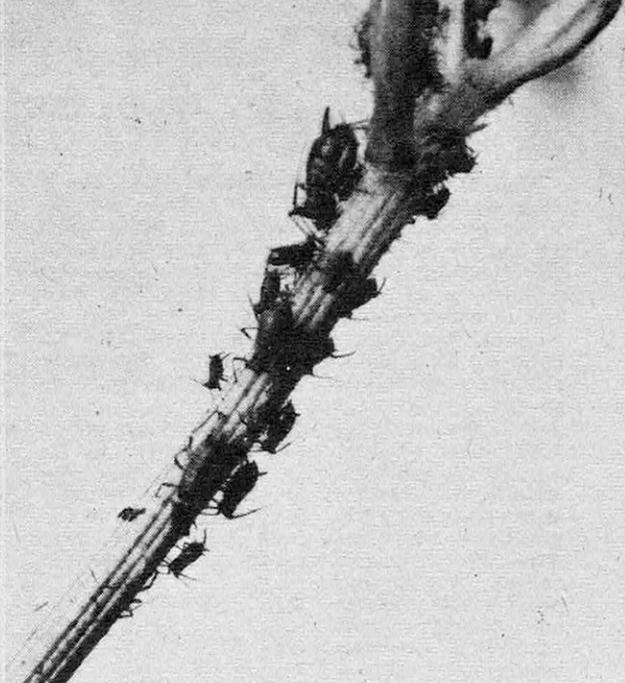


FIG. 6 ET 7. — LE DORYPHORE A GAUCHE ET LE PUCERON NOIR DE LA FÈVE A DROITE (Photo Le Charles)

pour l'élevage d'autres insectes-standard ; toutes s'inspirent du mode de vie normal de l'insecte dans la nature.

Les insectes-standard varient d'ailleurs suivant les pays. Les Anglo-Saxons utilisent de préférence le Puceron noir de la Fève, la larve de la Mouche domestique, la Blatte, les Bruches du Haricot et du Pois, le Charançon du Riz, la Punaise des lits, les Poux pour les essais d'insecticides de contact, la chenille du Ver à soie pour les insecticides d'ingestion.

Les Allemands se servent de la larve du Moustique commun pour les insecticides de contact, de la chenille du Bombyx neustrien et d'un Orthoptère exotique (*Dixippus morosus* Br.) pour ceux d'ingestion.

En France, les essais de poisons d'ingestion sont faits avec la larve de Doryphore et la chenille de la Piéride du Chou, les essais d'insecticides de contact avec diverses espèces de Pucerons.

Les essais de laboratoire et les micro-essais

Les essais de laboratoire comportent deux échelons.

Au premier échelon, on cherche à déterminer la toxicité intrinsèque du produit vis-à-vis d'un insecte-standard (essais toxicologiques). On y parvient en expérimentant directement et comparativement sur des lots comprenant un petit nombre d'insectes obtenus par l'élevage artificiel.

Les techniques varient suivant que l'on a affaire à des insecticides de contact, d'ingestion, déshydratants ou gazeux. Toutes visent à opérer les différents essais dans des conditions rigoureusement similaires : insectes de même espèce, de même âge, même quantité d'insectes-tests, de liquide ou de poudre pour tous les essais, pression identique, égale distance de l'orifice du pulvérisateur ou de la poudreuse, température et humidité relative de l'air identiques.

Pour l'étude des insecticides de contact, l'appareil de Tattersfield est un des plus employés (fig. 8).

Il consiste en un cylindre de verre supportant à sa partie supérieure un jet spécial

assurant une très fine pulvérisation de l'insecticide ; ce dernier est placé dans un petit tube gradué. Une pression toujours égale est assurée par une bouteille à air comprimé munie d'un détendeur et d'un manomètre. Les insectes, le plus souvent des Pucerons, sont placés dans une petite cupule de verre. Une parfaite horizontalité de l'appareil est obtenue au moyen de vis de réglage.

Les résultats obtenus avec cet appareil sont excellents ; ils permettent de comparer l'action insecticide de divers produits soumis aux essais et de dresser la courbe de toxicité d'un produit à diverses concentrations.

Une autre méthode consiste à placer par lots de dix les insectes dans des tubes que l'on réunit ensuite dans une salle ou une étuve à température constante. Les divers insecticides sont alors versés dans les tubes que l'on bouche à l'aide d'un tampon de coton afin qu'aucun insecte ne surnage. Au bout d'un certain temps, les tubes sont vidés dans un large récipient et les insectes sont transférés à l'aide d'un petit pinceau sur des feuilles de papier filtre qui absorbent l'excès de liquide. On note ensuite le pourcentage de mortalité.

La courbe de toxicité peut être déterminée :
1° Soit en utilisant l'insecticide à une concentration variable et en immergeant les tests pendant un temps constant ;

2° Soit en immergeant les tests pendant un temps variable dans une solution insecticide à concentration constante (fig. 9).

Des difficultés particulières se présentent pour les essais avec des poisons stomacaux : il est indispensable de connaître la quantité de poison ingérée par les insectes-tests pour pouvoir en déduire le taux de toxicité.

On a tout d'abord eu l'idée de verser, à l'aide d'une microburette, une quantité précise d'une solution toxique sur les pièces buccales des insectes-tests ; cette technique est d'une réalisation délicate et manque de précision.

Beaucoup d'insecticides sont employés sous forme de poudres ; les essais de laboratoires sont réalisés le plus souvent avec des appareils dérivant de celui de Campbell (fig. 10).

Un poids connu de poudre est placé dans le réservoir *r* obturé par une boule de paraffine *b*. Le réservoir est obturé par un bouchon percé de deux petits tuyaux ; la pression est donnée par une bouteille à air comprimé qui projette violemment la poudre dans la cloche. Les particules les plus lourdes se déposent rapidement alors que les légères flottent dans la cloche. Au bout de dix secondes, la cloche est enlevée et placée sur une plaque de verre recouverte d'un papier ; sur celui-ci, on a disposé des rondelles de feuilles, ainsi que des lamelles de verre pesées à l'avance et ayant la même surface que les rondelles. La poudre fine se dépose d'une manière suffisamment homogène sur les lamelles et les rondelles de feuilles. Par la pesée en fin d'opération des lamelles, on déduit la quantité d'insecticide déposé sur chaque rondelle. On découpe par ailleurs d'autres rondelles de feuilles non traitées ; une face de ces rondelles est enduite de colle et appliquée sur la partie recouverte de poudre insecticide ; de cette manière, la couche de substance toxique se trouve maintenue entre les deux feuilles. On obtient ainsi un « sandwich » qui est donné aux insectes utilisés comme tests. La quantité de feuille empoisonnée consommée par chaque sujet est déterminée par la photographie ou le décalque sur un papier millimétrique des sandwiches avant et après l'opération. ■

En divisant la quantité de produit toxique ingérée par le poids du ou des insectes, on détermine la dose minimum mortelle du poison par gramme de l'insecte en expérience. Cette méthode donne en réalité des chiffres trop élevés, car l'insecte consomme un poids de substance toxique (à condition que celle-ci n'exerce pas un effet répulsif) supérieur à la dose mortelle, le poison n'agissant généralement que plusieurs heures après son ingestion.

Il est plus logique, quand cela est possible, de doser directement la quantité de poison existant dans le corps des animaux tués ; mais on rencontre un certain nombre de difficultés dues à de grandes différences de sensibilité entre les insectes d'une même espèce et de même âge et aussi au rejet par les sujets

d'une partie du poison qui les a intoxiqués.

Les essais de laboratoire au premier échelon ne visent qu'à opérer une sélection très sommaire parmi les produits à expérimenter : ils sont faits sur un très petit nombre d'individus standard choisis plutôt en fonction de leur commodité d'obtention que de leur importance économique ; ils permettent seulement de préciser les propriétés pharmacodynamiques des produits aux essais.

Ce qu'il importe de fixer, c'est la valeur insecticide pratique qui est d'une détermination beaucoup plus délicate, car elle dépend de facteurs complexes : toxicité intrinsèque du produit, causticité vis-à-vis des végétaux, facilité de préparation des suspensions, persistance d'action, etc...

Les essais au deuxième échelon seront donc réalisés sur des insectes nuisibles à l'agriculture ; ils porteront sur un plus grand nombre d'espèces et une plus grande quantité d'individus que les essais au premier échelon : l'action des produits sur les végétaux sera spécialement étudiée, ainsi que la durée de leur efficacité et l'influence des agents climatiques ; ils seront tous réalisés en comparaison avec un *lot-témoin* qui n'aura reçu aucun traitement et un *lot-étalon* sur lequel on aura appliqué un insecticide rigoureusement dosé, dont l'action insecticide pratique est bien connue.

Ces essais seront de deux ordres : les uns seront réalisés au laboratoire suivant des techniques très analogues à celles employées dans les essais toxicologiques, les autres consisteront

dans l'étude de l'action de l'insecticide en plein air sur de très petites surfaces de cultures (micro-essais).

Les essais comparatifs de laboratoire portent pour des lots de dix à cent insectes de même âge et de même provenance. Pour augmenter la précision des essais, il est nécessaire de les répéter, soit dans les mêmes conditions de milieu, soit dans des conditions nettement différentes. L'action des insecticides varie, en effet, d'une manière considérable suivant la température, l'humidité de l'air, etc... : les produits fluorés, par exemple, se montrent nettement plus actifs

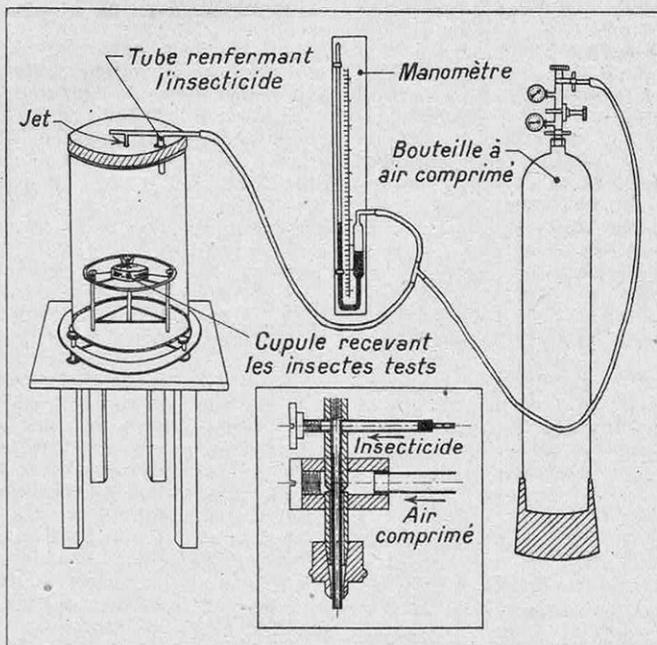


FIG. 8. — L'APPAREIL DE TATTERSFIELD POUR LES ESSAIS D'INSECTICIDES LIQUIDES DE CONTACT

Les insectes sont placés dans une cupule sous le pulvérisateur des produits insecticides. Les produits comparés sont pulvérisés en quantités égales et sous une pression constante indiquée par le manomètre, ce qui donne des gouttelettes de liquide identiques. On compte le pourcentage des insectes tués par chaque produit (fig. 2). En coupe, la coupe du pulvérisateur de l'appareil.

par temps chaud que par temps froid ; il en est de même, quoique à un moindre degré, pour les arsénates.

Raucourt, Trouvelot et Bégulé ont mis récemment au point une technique qui utilise les larves de Doryphores. Chaque lot comprend dix larves au troisième âge qui sont soumises pendant vingt-quatre heures avant l'essai à un contrôle de vigueur et d'alimentation, ce qui permet d'éliminer les individus malades ou consommant moins que la normale ; ceux-ci sont remplacés par des larves tenues en réserve et également soumises au contrôle.

Si nous avons, par exemple, six produits à expérimenter, la série comprendra huit lots : six constitués pour les produits, un lot-témoin, un lot-étalon ; il faudra donc 80 larves.

Des parcelles de Pommes de terre sont traitées avec les insecticides à essayer et l'insecticide étalon ; chaque larve est placée dans une petite boîte de verre (boîte de Petri) et reçoit une foliole provenant d'un rameau prélevé dans chaque parcelle. Toutes les vingt-quatre heures et pendant quatre jours de suite, les folioles consommées sont remplacées par des folioles fraîches provenant des mêmes parcelles. Au moment du remplacement des folioles, on note la surface foliacée consommée par les larves et le nombre de larves mortes. Les résultats sont alors reportés sur un graphique (1). Afin de tenir compte de la mortalité des larves dans le lot témoin, on retranche du nombre des animaux morts empoisonnés le nombre des animaux morts de mort naturelle dans le lot témoin.

La détermination du pourcentage de mortalité des insectes-tests n'est pas toujours chose aisée ; quelques espèces peuvent simuler la mort pendant plusieurs jours ; la petitesse de certaines d'entre elles rend les comptages extrêmement délicats.

On a cherché à tourner la difficulté par divers subterfuges. Plusieurs espèces de Cochenilles (petits insectes recouverts d'un « bouclier » long de 0,5 à 5 mm leur donnant

(1) Afin de tenir compte de la mortalité des larves dans le lot-témoin, on applique aux chiffres obtenus la formule d'Abbot : $\frac{y-x}{y} \times 100$, où y représente le nombre d'insectes restant vivants dans le lot témoin et x le nombre d'animaux vivants dans le lot traité à la fin de l'expérience.

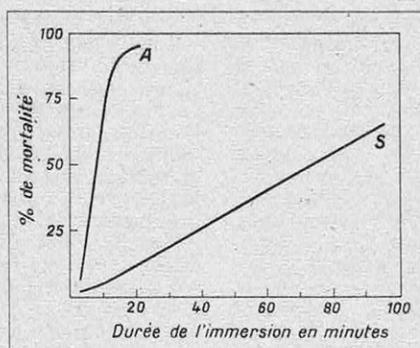


FIG. 9. — COURBES DE MORTALITÉ DU PUCERON DE LA FÈVE PAR IMMERSION DANS DEUX SOLUTIONS DE NICOTINE

La courbe (A) est obtenue en immergeant les Pucerons dans la nicotine alcaloïde, et la courbe (S) en les immergeant dans le sulfate de nicotine, les deux solutions ayant la même richesse en nicotine.

proportionnelle au nombre de Cochenilles vivantes ; l'efficacité des insecticides sera donc inversement proportionnelle au nombre de gouttelettes de miellat émises en un temps donné. Le comptage des gouttelettes est facilité en plaçant un papier noir sous la plaque de verre ou en projetant une poudre colorée sur celle-ci.

L'innocuité pour la plante

Un nombre assez important de produits chimiques ont la propriété, même à une très faible concentration, de provoquer sur les plantes des lésions parfois bénignes (mouchetures), mais parfois aussi extrêmement graves, pouvant aller jusqu'à la chute totale du feuillage ou la stérilisation des fleurs : on dit que le produit « brûle ».

La détermination de la causticité des insecticides à l'égard des plantes est très délicate : elle dépend, en effet, de plusieurs facteurs :

— de l'espèce végétale considérée : la Pomme de terre est peu sensible aux brûlures, ainsi que le Poirier, le Cerisier ; au contraire, le Pommier, le Pêcher, le Haricot sont des plantes très délicates ;

— de l'état de développement de la plante : les très jeunes feuilles qui possèdent un revêtement pileux et les feuilles âgées sont moins sensibles que les feuilles en pleine croissance ;

— des conditions climatiques existant au moment du traitement ou dans les heures qui suivent : la nicotine appliquée par temps ensoleillé « brûle » fréquemment.

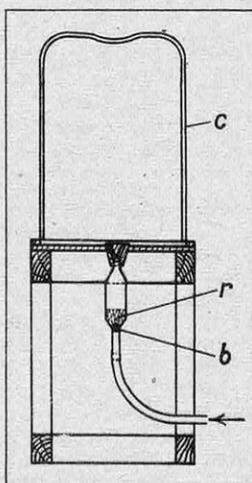


FIG. 10. — L'APPAREIL DE CAMPBELL POUR LES ESSAIS DE TOXICITÉ DES INSECTICIDES EN POUVRE

Les insectes qui servent à l'essai des poudres insecticides sont placés dans une cage de verre (c). Dans le plancher de cette cage débouche un tube de verre dont un renflement (r) renferme la poudre insecticide de poids connu. Le renflement est obturé à sa partie inférieure par une boule de paraffine (b). On insuffle dans ce tube un courant d'air qui soulève la boule (b) et entraîne la poudre dans la cage (c).

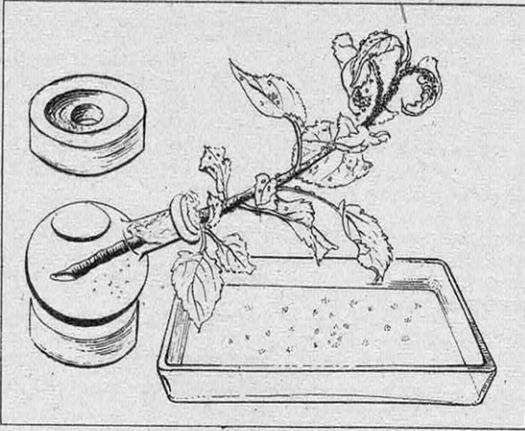


FIG. 11. — UNE ÉVALUATION INDIRECTE DU NOMBRE DE COCHENILLES VIVANT SUR UN RAMEAU (GRADOJEVIC)

Les Cochenilles vivantes secrètent des gouttelettes d'un liquide sucré (miellat) qu'on recueille sur un plateau et qu'on met en évidence en le saupoudrant d'un produit coloré. En comptant avant et après l'application du produit le nombre de gouttelettes de miellat produites dans le même temps, on obtient le pourcentage des insectes tués.

Les micro-essais consistent à pulvériser ou à saupoudrer avec l'insecticide une plante ou un fragment de végétal. Il n'est pas nécessaire de traiter une grande surface, mais il est bon de répéter l'essai sous diverses conditions climatiques (temps chaud, couvert, pluvieux...).

Les adjuvants

C'est à ce stade qu'il convient d'essayer les adjuvants destinés à assurer l'émulsion (au sens

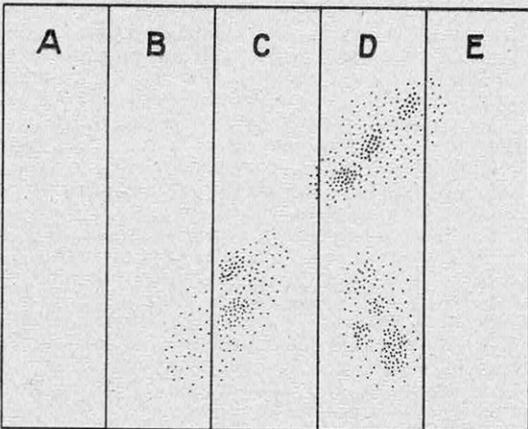


FIG. 12. — LA RÉPARTITION INÉGALE DES INSECTES DANS LES CULTURES, SOURCE D'ERREUR DANS LES ESSAIS AUX CHAMPS

Les insectes (figurés par des pointillés) sont fréquemment répartis par « taches » dans les champs. Si on se contente d'appliquer cinq insecticides différents A, B, C, D, E, sur les parcelles correspondantes, on conclura à tort que les produits A et E sont excellents, puisqu'il ne reste plus d'insectes vivants dans ces parcelles.

large du mot) de l'insecticide au sein de l'eau ou à délayer la matière active dans une substance inerte afin de l'utiliser sous forme de poudrage.

Pour être de bonne qualité, une bouillie insecticide doit faire preuve d'un bon pouvoir d'étalement, c'est-à-dire qu'elle doit s'étaler en une pellicule extrêmement mince et continue et non rester à la surface des végétaux en gouttelettes relativement grosses qui finissent par tomber sur le sol.

Les bouillies préparées spécialement en vue de la destruction d'insectes dont le corps est revêtu d'une matière cireuse devront renfermer des composés ayant la propriété de dissoudre cette cire afin de mettre l'insecticide au contact direct des téguments.

Les insecticides doivent aussi adhérer à la plante, c'est-à-dire rester fixés au support végétal en dépit du vent et de la pluie.

Bien que l'on parle couramment de produits adhésifs, en réalité très peu de substances améliorent l'adhérence (il serait préférable de dire la « ténacité » des bouillies.

Le choix des adjuvants, leur dosage néces-

T	1	2	T	3	E	T	1	2	T	3	E	T
T	1	2	T	3	E	T	1	2	T	3	E	T

FIG. 13. — LA MESURE DE L'EFFICACITÉ D'UN INSECTICIDE PAR LA MÉTHODE DES COUPLES

Pour éliminer l'erreur provenant de l'inégale répartition des insectes dans le champ, on divise celui-ci en un grand nombre de parcelles de même dimension auxquelles on applique un certain traitement, soit 1, 2, 3 avec les produits à étudier et E avec le produit-étalon. Un certain nombre de parcelles-témoins sont laissées sans aucun traitement. Dans la méthode des couples, le nombre de parcelles-témoins est tel que toute parcelle 1, 2, 3, E est contiguë à une parcelle T et peut lui être comparée. La précision est très satisfaisante.

sitent des essais d'ordre chimique et physique et finalement des essais biologiques particuliers destinés à vérifier l'amélioration de la qualité des bouillies consécutive à l'addition des divers adjuvants.

Les émulsifs les plus utilisés sont l'albumine du sang, le caséinate d'ammoniaque, la glu, le lait desséché, la gomme arabique, la bentonite (1).

Les mouillants sont des savons de soude et de potasse, des sels biliaires, des éthers sulfuriques d'alcools supérieurs, des savons de résine.

Les essais de plein champ

Les essais de plein champ constituent les essais au troisième échelon; ils ont pour but d'opérer la sélection ultime parmi les quelques produits dont les essais au deuxième échelon ont démontré la valeur.

(1) La bentonite est une argile colloïdale possédant de remarquables propriétés adsorbantes, émulsifiantes et détersives et qui est aussi un agent gélifiant de grande valeur. On l'emploie en savonnerie et comme excipient pour la fabrication de certaines pommades.

T	1	2	3	E	T	1	2	3	E	T
T	1	2	3	E	T	1	2	3	E	T

FIG. 14. — LES ESSAIS D'EFFICACITÉ D'INSECTICIDES PAR LA MÉTHODE DU RANG

Les parcelles recevant les produits à essayer 1, 2, 3 et le produit-étalon E, ainsi que la parcelle-témoin T sont disposées les unes à la suite des autres et toujours dans le même ordre, ce qui simplifie la réalisation des expériences. La méthode du rang, si elle est d'une application plus aisée que celle des couples, est d'une précision très inférieure.

Ces essais sont réalisés sur des cultures normalement infestées, d'une superficie assez considérable. Outre l'action insecticide et l'action sur les végétaux, ils permettront de connaître divers facteurs qui n'avaient pu être estimés jusque-là ou connus seulement d'une manière incomplète : facilité de préparation de la bouillie et d'épandage, mouillabilité, persistance d'action, prix de revient.

Les insectes ne sont pas répartis uniformément dans les cultures, mais souvent groupés en de petits flots ; on conçoit que, si l'on procède à un simple essai comparatif comme le représente la figure 12, les résultats obtenus seront erronés.

Les chances d'erreurs sont diminuées en effectuant des essais suivant des techniques particulières.

Comme pour les essais de laboratoire, les

T	1	2	3	E	T	1	2	3	E	T
E	3	T	2	1	T	1	2	T	3	E

FIG. 15. — LA MÉTHODE DE L'ÉCHIQUIER

Le nombre de témoins est ici le même que dans la méthode du rang, mais la disposition est différente. Les parcelles-témoins sont, en général, contiguës sur leurs quatre faces à des parcelles non témoins et par conséquent servent de référence à un nombre deux fois plus grand de ces parcelles.

essais de plein champ comporteront une parcelle-témoin, ne recevant pas de traitement, ou une parcelle-étalon traitée avec le produit-étalon. Chaque fois que cela sera possible, les essais comporteront à la fois une parcelle-témoin et une parcelle-étalon.

Il existe différentes méthodes d'essais :

1° La méthode dite « des couples » ne peut être employée que lorsque l'on dispose de surfaces étendues (fig. 13).

2° La « méthode du rang » évite la répéti-

tion trop fréquente des témoins (fig. 14), mais donne des résultats imprécis.

Ces deux méthodes, d'une réalisation facile, sont à recommander pour les essais de démonstration destinés à la vulgarisation.

3° Une amélioration est apportée par la « méthode de l'échiquier » qui réduit considérablement l'erreur systématique existant dans la méthode du rang (fig. 15).

4° La dernière méthode, dite du « carré latin », repose sur les conclusions des travaux du statisticien anglais R.-A. Fisher ; elle est d'une très grande précision, mais d'un emploi délicat (fig. 16).

FIG. 16. — LA MÉTHODE DU CARRÉ LATIN

Dans un carré divisé en autant de rangées et de colonnes qu'il y a de traitements plus une (prévue pour les parcelles-témoins), on place les numéros 1, 2, 3, qui désignent les divers produits à essayer et la lettre T qui désigne les parcelles-témoins de telle sorte que les signes soient disposés au hasard dans les rangées et dans les colonnes et qu'ils ne s'y répètent pas. On supprime ainsi l'erreur qui pourrait provenir d'une inégalité systématique de la répartition des insectes dans les champs d'expériences.

T	3	2	1
2	1	T	3
3	T	1	2
1	2	3	T

Les résultats des traitements sont notés par le comptage du nombre de fruits attaqués, de boutons parasités, etc. Par le calcul et l'emploi de tables, on vérifie si les résultats peuvent être retenus et ensuite si les différences d'efficacité obtenues dans les essais sont significatives.

Presque toujours des essais portant seulement en un endroit ne suffisent pas ; il est bon de répéter ces essais de plein champ en diverses localités et, dans la mesure du possible, pendant deux ou trois ans ; il arrive fréquemment, en effet, qu'un produit supérieur à un autre dans la plupart des cas se révèle inférieur à celui-ci dans certaines conditions particulières qu'il importe de connaître.

Les méthodes d'essais qui viennent d'être indiquées ont permis d'améliorer d'une manière sensible la qualité des produits antiparasitaires à usage agricole ; cela s'est traduit tout d'abord par une économie de substances pour l'obtention d'un résultat équivalent contre les insectes nuisibles, puis, par le remplacement d'insecticides toxiques pour l'homme, et, de ce fait, d'un emploi très limité, par des produits nouveaux inoffensifs pour notre organisme et bien plus actifs contre un grand nombre d'espèces.

L. BONNEMAISON.

LES A-COTÉ DE LA SCIENCE

INVENTIONS, DÉCOUVERTES ET CURIOSITÉS

par V. RUBOR

A propos de l'éclipse de Lune du 18 décembre 1945

Voici quelques précisions sur l'aspect que présentera en France la prochaine éclipse totale de Lune que nous avons signalée dans notre dernier numéro (1). Si le temps est clair, les observateurs qui n'hésiteront pas à se lever au

de nos pendules d'une heure a été abrogé récemment, il faut majorer d'une heure les temps indiqués pour s'accorder à l'heure civile.

La pleine Lune aura passé au méridien de Paris à 22 h 38 mn. Donc, pour toute la France, l'éclipse s'observera pendant que la Lune descendra vers l'horizon ouest.

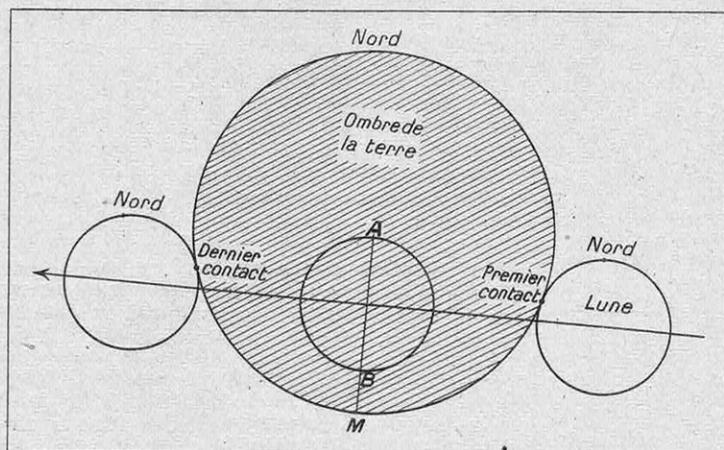
La grandeur de l'éclipse sera 1,348, c'est-à-dire que le bord de la Lune passera très sensiblement par le centre de l'om-

L'école des saumons

La construction de barrages sur le cours de certains fleuves compromet dangereusement la reproduction du saumon. On sait, en effet, qu'un instinct mystérieux oblige le saumon à revenir au lieu de sa propre naissance pour pondre ses œufs. C'est ainsi que le grand saumon Chinook, qui naît dans les affluents du cours supérieur du fleuve Columbia et vit dans le Pacifique (où l'on en pêche 17 000 t par an), remonte le Columbia pour aller se reproduire dans les Montagnes Rocheuses où il est né. La construction en 1937 du barrage de Bonneville, haut de 52 m, rendait déjà ces migrations fort difficiles. Toutefois, un certain nombre de saumons s'arrangeaient pour passer par les échelles et éleveurs aménagés à côté du barrage, de sorte que la propagation de l'espèce restait assurée. Il n'en fut plus de même lorsque fut édifié, à 720 kilomètres en amont du précédent, le barrage de Grand Coulee qui a 168 m de haut. La population salmoïenne du fleuve se trouva coupée en deux zones séparées par une ligne de démarcation infranchissable.

C'est alors que les services piscicoles des États-Unis mirent au point un plan d'« éducation » des saumons. Il s'agissait de faire perdre à ceux-ci le souvenir de leur pays natal et de les amener à se reproduire dorénavant en aval de la zone des barrages. Une première expérience, réalisée sur une échelle réduite, montra que la chose était possible.

En 1939, pendant la construction du barrage de Grand Coulee, des experts du service piscicole tendirent des pièges aux saumons qui remontèrent la rivière, et amenèrent par camion ceux qu'ils capturèrent à Leavenworth (Washington), où fut établi ce



TRAJECTOIRE DE LA LUNE A TRAVERS L'OMBRE PORTÉE PAR LA TERRE AU COURS DE L'ÉCLIPSE PROCHAINE

milieu de la nuit pourront voir le disque de la pleine Lune envahi peu à peu par l'ombre portée par la Terre de 0 h 37 mn à 1 h 40 mn ; l'éclipse sera totale pendant plus d'une heure (1 h 37 mn à 3 h 2 mn) ; enfin la Lune sortira de l'ombre entre 3 h 2 mn et 4 h 3 mn.

Ces heures sont naturellement indiquées en *temps universel* et auraient été valables si nos horloges avaient marqué, comme prévu, l'heure normale d'hiver qui coïncide avec ce temps universel. Comme le décret qui prévoyait le retard

de la Terre (le rapport AM : AB étant de 1,35 ; voir fig.). On en déduit facilement que la durée de la totalité sera de 1 h 20 mn environ.

On sait que, même en pleine éclipse totale, la Lune ne disparaît pas complètement : l'atmosphère terrestre réfracte assez de lumière pour éclairer encore, plus ou moins, notre satellite. Les variations de teinte de la Lune sont belles et instructives : on la voit passer, selon le cas, du jaune-paille au cuivre clair ou au marron foncé. En réalité, ces teintes correspondent à l'état, pendant l'éclipse, de l'atmosphère terrestre plus ou moins nuageuse, transparente ou quasi opaque aux rayons du Soleil.

(1) Voir : « Eclipses de Soleil, éclipses de Lune » (*Science et Vie*, n° 337, octobre 1945).

qu'on appelle « l'école des poissons d'oncle Sam ». Là, loin de leur pays natal, les saumons furent reproduits artificiellement, en ouvrant les femelles pour en sortir les œufs et en répandant sur ceux-ci la laitance des mâles. Une fois éclos, les jeunes saumons furent marqués (en rognant une nageoire), puis lâchés en liberté en aval des barrages du Columbia, d'où ils gagnèrent le Pacifique.

Les saumons atteignent l'âge adulte en quatre ans. Aussi les guetta-t-on anxieusement le long du Columbia en 1943. Comme on l'espérait, ils renoncèrent à franchir les barrages, et déposèrent leurs œufs à l'endroit même où ils avaient été lâchés dans le fleuve quatre ans plus tôt.

La sensibilité de l'oreille à l'intensité des sons

UNE des propriétés les plus remarquables de l'oreille humaine est d'être également sensible à des sons d'intensités extrêmement différentes. Un violon joué avec douceur ne dissipe en ondes sonores qu'une puissance de quatre millièmes de watt, tandis qu'un orchestre au complet rayonne environ 80 watts, soit vingt millions de fois plus. Et, pourtant, les auditeurs, dans la même salle, goûtent un égal plaisir à l'un et à l'autre son.

L'oreille humaine est sensible aux sons s'étendant sur une gamme d'intensités allant de zéro à 130 phones. Une voix chuchotante correspond à environ 10 phones, une voix basse à 20 phones. Les sons habituels ont des intensités de 30 à 80 phones. Ainsi le cri d'un nourrisson correspond à 60 phones.

Le phone étant un repère physiologique et non une unité physique, l'intensité totale de deux sons égaux émis simultanément n'a pas, exprimée en phones, une valeur double de celle d'un seul de ces sons. Ainsi, alors que le cri du nourrisson a une intensité de 60 phones, le cri simultané de deux nourrissons n'atteint que

63 phones. Pour atteindre la limite des sensations sonores audibles (130 phones), il faudrait réunir deux millions de nourrissons criant ensemble. Au delà de cette limite, les sensations sonores font place à des sensations douloureuses.

Semences par avion

LES pays où les exploitations agricoles, au lieu d'être morcelées à l'extrême comme en France, sont au contraire de très grande étendue justifient l'emploi d'instruments de culture à très gros rendement. L'avion lui-même est parfois utilisé pour répandre les engrais, les insecticides, etc. Pour les semences de certaines graines lourdes, l'emploi de l'avion ne présente pas de difficulté : c'est le cas du riz, par exemple. Au contraire, avec des graines légères et qui tombent sur un sol plus consistant que celui des rizières, la semence ne pénètre pas dans le sol et reste exposée aux intempéries et aux animaux destructeurs. De plus, le vent introduit des inégalités dans leur répartition à la surface des terres.

Un Américain, le Dr Lytle Adams, a eu l'idée d'enrober les graines dans des boulettes de boue ou d'argile, qui sont peu sensibles à l'action du vent et, en raison de la vitesse qu'elles acquièrent au cours de leur chute, facilitent la pénétration de la graine dans le sol. La graine est protégée par son revêtement d'argile qui se désagrège ensuite et ne nuit pas à la germination de la graine. La distribution des boulettes peut être réglée avec précision de telle sorte qu'on distribue exactement la quantité de graines nécessaires par hectare ; elle s'effectue par un distributeur inventé par le Dr Adams. C'est une sorte de roue sans jante dont les rayons sont creux et répandent les boulettes d'argile. Ce procédé permet d'ensemencer 8 000 hectares à l'heure avec un seul appareil et on comprend qu'en raison de sa rapidité et du peu de main-d'œuvre qu'il nécessite il soit beaucoup plus économique que tous les moyens classiques.

La toilette des mammifères

LES mammifères sont tous dotés de dispositifs anatomiques plus ou moins perfectionnés leur permettant d'entretenir leur dentition et leur pelage dans un état de propreté d'un degré généralement élevé. Le professeur Wood Jones s'est particulièrement intéressé aux « objets de toilette naturels » des mammifères et leur a consacré une étude approfondie.

Les dents de la plupart des mammifères sont maintenues propres par de petites proéminences tapissant l'intérieur des joues et le pourtour de la langue. Ces aspérités frottent contre les dents pendant la mastication et empêchent les fragments d'aliments d'y adhérer. L'homme seul est dépourvu de ce dispositif et doit y suppléer par des instruments de sa fabrication. On le trouve toutefois à l'état rudimentaire chez les enfants en bas âge.

La propreté du pelage est généralement assurée par léchage : l'humidité de la langue et les aspérités dont elle est garnie en font un instrument fort bien approprié à cet usage chez les animaux de petite taille. Certains d'entre eux, comme le lièvre sud-africain, ont même la face inférieure de leur langue munie de poils longs et durs lui permettant d'exercer un effet de brosse. D'autres, comme le lémur et le galéopithèque, ont leurs dents disposées en forme de peigne et peuvent s'en servir pour nettoyer leur fourrure.

Du point de vue du grattage, qui joue un rôle important dans la toilette des mammifères, on peut classer ceux-ci en deux catégories, selon qu'ils se grattent avec l'extrémité des membres postérieurs (chien, chat) ou avec les doigts de la main (singe, homme). D'une façon générale, on remarque que la direction dans laquelle sont plantés les poils correspond à celle dans laquelle agissent les organes de nettoyage, de façon à assurer à ceux-ci un maximum d'efficacité.

V. RUBOR.

Apprenez l'ANGLAIS

C'est aujourd'hui plus que jamais votre devoir, à l'heure où la Victoire resserre encore davantage les liens qui nous unissent à nos Alliés et que nos relations d'amitié reconnues indispensables deviennent chaque jour de plus en plus étroites.

Apprenez l'anglais, c'est aussi votre intérêt, car bientôt, dans tous les domaines, commerce, tourisme, sport, politique, diplomatie, etc... nous aurons besoin de l'anglais, et celui qui ne saura pas cette langue sera terriblement handicapé.

Mais apprendre l'anglais, c'est encore acquérir des joies nouvelles, d'abord celle de mieux connaître la vie anglaise, les grands journaux, les magnifiques magazines de Londres, d'écouter et de comprendre les concerts de la radio; enfin le plaisir de goûter dans la langue originale les bons films qui, « doublés », perdent la moitié de leur valeur.



Sachez maintenant que, par la Méthode LINGUAPHONE, quelques mois suffisent pour apprendre l'anglais. A

l'aide de disques et de livres, par le son, par l'image et par le texte, cette méthode de réputation mondiale vous enseigne chez vous la langue parlée et la langue écrite. Votre accent est parfait et vous écrivez correctement après seulement quelques semaines; vous êtes très vite étonné de pouvoir vous débrouiller avec des Anglais ou des Américains.

La preuve... il vous suffit de nous demander notre brochure C. B. 9 qui vous donnera tous renseignements sur notre méthode (joindre 6 frs en timbres pour tous frais) ou mieux, si vous habitez Paris, venez à notre Institut, nous vous ferons une démonstration personnelle.

LINGUAPHONE

Service CB11, 12, rue Lincoln (Champs-Élysées), PARIS

DEVENEZ REPORTER

SPORTIF - THÉÂTRAL - CINÉMA
INFORMATION-CRIMINEL-VOYAGES, etc.

OU

CORRESPONDANT DE PRESSE

SI VOUS AIMEZ

LE DESSIN LE CROQUIS

SUIVEZ NOTRE COURS DE CARICATURISTE

selon la formidable méthode

René MANDEROY

DESSIN PUBLICITAIRE, MODE et ARTS

**TOUS CES COURS PEUVENT
ÊTRE SUIVIS SANS QUITTER
VOS OCCUPATIONS HABITUELLES**

COURS PAR CORRESPONDANCE

SITUATIONS D'AVENIR
INDÉPENDANTES ASSURÉES

Pour tous renseignements gratuits, écrire à l'

ÉCOLE TECHNIQUE
DE REPORTAGE
8, boulevard Michelet, 8
TOULOUSE

LES INVENTIONS mathématiques LAFAY rendent tout calcul facile

Breveté S. G. D. G.
Les plus belles ré-
compenses aux con-
cours d'Inventions

En voie de développement, elles s'étendent déjà à de vastes domaines des mathématiques appliquées. Elles s'adressent à tous : Écoliers, Commerçants, Ingénieurs, etc... Aux examens comportant des calculs numériques, leur emploi augmente de beaucoup les chances de réussite. Contre 15 francs, intéressantes notices avec tables facilitant déjà bien des calculs.

Parmi ces inventions, les HÉLICES A CALCUL donnent des résultats instantanés, avec une précision bien supérieure à celle des meilleures règles à calcul. Nombreux modèles dont 3 pour calculs courants : N° 1. Modèle de poche, prix franco : 170 francs. N° 2. Très précis. Échelles log. de 2^m,50 sur cylindre, 4 centimètres de diamètre, 20 centimètres de haut, prix : 310 francs. N° 2 bis. Mêmes dimensions et prix que le n° 2. Très lisible, convient aux débutants, sa prise de connaissance étant beaucoup plus facile que celle de la règle à calcul. Sa précision correspond à celle d'une règle de 1^m,25.

Les commandes, accompagnées de leur montant, sont à adresser à :

A. LAFAY, mathématicien à Neuville-sur-Saône (Rhône) - C. C. Postal Lyon 73.10

Se recommander de « Science et Vie ».

**L'ÉCOLE
CHEZ SOI...
POUR SOI...**
EN SUIVANT LES NOUVEAUX COURS
PAR CORRESPONDANCE DE L'

ÉCOLE DES SCIENCES INDUSTRIELLES

DESSIN TECHNIQUE - RADIO
ÉLECTRICITÉ - ADMINISTRATION, etc.

ASSUREZ VOTRE AVENIR,
EN PRÉPARANT, SANS
QUITTER VOTRE EMPLOI,
PAR NOS ÉTUDES TECHNIQUES
VOTRE SITUATION DANS:
L'INDUSTRIE - L'AVIATION
L'ARMÉE - LA MARINE, etc.

POUR TOUS RENSEIGNEMENTS, ÉCRIRE EN
SPÉCIFIANT LA SPÉCIALITÉ CHOISIE
AU CENTRE DE DOCUMENTATION :
38, RUE DULONG, PARIS (17^e)

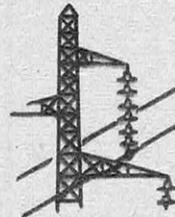


**INSTITUT
ELECTRO-RADIO**
6, RUE DE TÉHÉRAN, PARIS 8^e
prépare
PAR CORRESPONDANCE
à toutes les carrières de
L'ÉLECTRICITÉ :
**RADIO
CINÉMA - TÉLÉVISION**
**VOTRE AVENIR
EST DANS CE
LIVRE**
**L'ÉLECTRICITÉ
ET SES
APPLICATIONS**
IER
L'INSTITUT ELECTRO-RADIO
6, RUE DE TEHERAN, PARIS 8^e

GRATUITEMENT
Demandez-nous notre documentation et le
livre qui décidera de votre carrière

APPRENEZ L'ÉLECTRICITÉ

PAR CORRESPONDANCE
sans connaître
les mathématiques



Tous les phénomènes électri-
ques ainsi que leurs applica-
tions industrielles et ménagères
les plus récentes sont étudiées
dans le cours pratique d'électri-
cité sans nécessiter aucune con-
naissance mathématique spéciale.

Chacune des manifestations de l'électricité est
expliquée à l'aide de comparaison avec des phéno-
mènes connus par tous et toutes les formules de
calcul sont indiquées avec la manière de les utiliser.
En dix mois vous serez à même de résoudre tous
les problèmes pratiques de l'électricité industrielle.

Ce cours s'adresse aux praticiens de l'électricité, aux
radio-électriciens, aux mécaniciens, aux vendeurs de ma-
tériel électrique et à tous ceux qui sans aucune étude
préalable désirent connaître réellement
l'électricité, tout en ne consacrant à ce
travail que quelques heures par semaine.

**COURS
PRATIQUE
D'ÉLECTRICITÉ**

BON
pour la docu-
mentation 51 B
(joindre 6 frs
en timbres).

222, Boulevard Pereire - PARIS-17^e

LA RADIO

à la portée de tous !

JEUNES GENS

INQUIETS DE L'AVENIR

TRANQUILLISEZ - VOUS

DEVENEZ RADIO-TECHNICIENS !

USAGERS DE LA RADIO

votre récepteur est ancien ou fonctionne mal
MODERNISEZ-LE, DÉPANNEZ-LE

PENDANT VOS LOISIRS

SUIVEZ LES COURS DE

L'ÉCOLE PRATIQUE D'APPLICATIONS SCIENTIFIQUES

39, rue de Babylone, PARIS (VII^e)

Enseignement par correspondance
Renseignements gratuits sur demande

APPAREILS DE MESURE DE CONTRÔLE ET DE DÉPANNAGE



Hétérodynes modulées type service ■ Oscillographes cathodiques type super-service ■ Modulateurs de fréquence type B 143 permettant l'alignement des circuits MF et HF à l'oscillographe ■ Ponts à impédance type F 44 ■ Lampemètres Full floating 44

Notice technique générale de nos fabrications contre 5 francs en timbres

Pour chacun de ces appareils une notice technique très détaillée comprenant le mode d'emploi est adressée contre 10 francs en timbres par appareil

RADIO-ELECTRICAL MEASURE

3 bis, rue Roussel à PARIS (XVII^e)

**Devenez
DESSINATEUR
et PEINTRE!**



Renseignez-vous aujourd'hui même sur l'ÉCOLE INTERNATIONALE et sur les lucratives et passionnantes carrières auxquelles vous pourrez prétendre lorsque vous

sauvez dessiner. L'ÉCOLE INTERNATIONALE vous offre gratuitement un très bel Album qui vous expliquera comment vous pouvez apprendre rapidement et agréablement, chez vous, à dessiner et à peindre. Pour recevoir cet Album, sans aucun engagement pour vous, il vous suffit de découper le bon ci-dessous, d'y joindre 5 Frs. à votre gré, ainsi que votre nom et adresse, et d'adresser aussitôt votre lettre à

L'ÉCOLE INTERNATIONALE

PAR CORRESPONDANCE

DE DESSIN ET DE PEINTURE

SERVICE DX _____ PRINCIPAUTÉ DE MONACO



L'école DU CRAN

On confond souvent le cran avec la témérité, mais, si l'audace est à la base d'étonnantes réussites, elle entraîne aussi des échecs retentissants alors que le cran, synthèse de plusieurs qualités complémentaires, détermine toujours une plus grande valeur de l'action. Le cran assure au succès un climat favorable. Le cran exige des qualités étendues de l'intelligence et du caractère : compétence, confiance en soi, maîtrise qui se refuse à faiblir, extrême rapidité de décision, sens aigu du réel, inflexible ténacité, courage qui va jusqu'au mépris de la mort. Voilà qui confère une forte personnalité et vous impose. Or ces qualités ne sont pas les prérogatives de quelques privilégiés : elles se développent vite si l'on dispose d'une bonne méthode d'entraînement. Livré à votre seule initiative, il vous faudra des années d'expériences pénibles et des échecs renouvelés pour obtenir les résultats que quelques mois d'application de la **MÉTHODE PELMAN** vous vaudront à coup sûr.

La **MÉTHODE PELMAN** ? C'est une méthode basée sur la psychologie appliquée qui permet un rapide développement des qualités de l'intelligence et du caractère. L'Institut Pelman l'enseigne par correspondance depuis cinquante-quatre ans dans le monde entier. Il s'y consacre exclusivement et pour toutes les questions de psychologie pratique son expérience est inégalée. La **MÉTHODE PELMAN** vous permet une meilleure orientation de toutes vos qualités innées autant qu'acquises et fertilise ainsi le meilleur de vous-même. La **MÉTHODE PELMAN** est aussi... Mais, si vous voulez tout savoir, demandez la documentation VI 4 à l'Institut Pelman, 176, bd Haussmann, Paris (8^e).

LONDRES AMSTERDAM NEW-YORK CALCUTTA
DUBLIN STOCKHOLM MELBOURNE DELHI

Electricité, Radio, dessin industriel, photocopie, photographie industrielle

offrent aux spécialistes de nombreuses situations parmi les mieux rémunérées ; et la reconstruction du pays, en créant de nouveaux et vastes besoins en cadres, accentuera encore ces avantages.

Devenez donc rapidement un technicien averti et expérimenté.

Pour que votre préparation à ces fonctions s'entoure des meilleurs éléments de succès, et se trouve guidée par des méthodes ayant fait leurs preuves, accordez votre confiance à un enseignement qui totalise depuis des années de brillants résultats, et documentez-vous gratuitement auprès de l'

INSTITUT FRANÇAIS D'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE

62, Boulevard Sébastopol, Paris (3^e)

Cours du soir • Cours par correspondance

Préparation aux emplois civils, de l'Armée,
de l'Aviation, de la Marine.

JEUNES GENS !

assurez votre avenir en devenant

RADIO-TECHNICIEN DESSINATEUR D'ETUDES COMPTABLE-AGRÉÉ

sans quitter votre emploi

COURS PAR CORRESPONDANCE

inscription à toute époque de l'année

RENSEIGNEMENTS GRATUITS

ÉCOLE TECHNIQUE DE RADIO - ÉLECTRICITÉ ET DE SCIENCES APPLIQUÉES

2, rue du Salé, TOULOUSE

Chez vous

sans quitter vos occupations actuelles vous apprendrez



le DESSIN INDUSTRIEL

méthode d'enseignement
INÉDITE, EFFICACE et RAPIDE
Préparation au C. A. P.
de dessinateur et au
**BACCALAUREAT
TECHNIQUE**
nouvellement institué

Placement des élèves
dans l'industrie assuré

Luxeuse documentation
illustrée gratuitement sur
demande.

INSTITUT PROFESSIONNEL POLYTECHNIQUE
11, RUE CHALGRIN A PARIS (XVI^e)



AVEC VOUS
jusqu'au succès final!

RADIO-CINÉMA-AVIATION

JEUNES GENS... JEUNES FILLES...
 Ces carrières modernes répondent bien à vos aspirations... PRÉPAREZ-LES
PAR CORRESPONDANCE

Notre organisation spécialisée sera tout entière avec vous jusqu'au succès final. Elle groupe sous la direction d'une élite de professeurs les ÉCOLES suivantes :

ÉCOLE GÉNÉRALE RADIOTECHNIQUE
 (Monteurs-dépanneurs, dessinateurs, opérateurs, sous-ingénieurs et ingénieurs.)

ÉCOLE GÉNÉRALE CINÉMATOGRAPHIQUE
 (Opérateurs photographes, de projection, de prise de vue, du son, script-girls, assistantes, ou de production.)

ÉCOLE GÉNÉRALE AÉRONAUTIQUE
 (Pilotes, navigateurs, radios, mécaniciens, techniciens.)

EXERCICES PRATIQUES A DOMICILE
 Documentation S.V. contre 10 fr.



CENTRE D'ÉTUDES TECHNIQUES & ARTISTIQUES DE PARIS
 69, RUE VALLIER - LEVALLOIS (SEINE)

ENSEIGNEMENT PAR CORRESPONDANCE

ÉCOLE DU GÉNIE CIVIL
 152, avenue de Wagram-Paris (17^e)

MATHÉMATIQUES Les Mathématiques sont accessibles à toutes les intelligences, à condition d'être prises au point voulu, d'être progressives et d'obliger les élèves à faire de nombreux exercices. Elles sont à la base de tous les métiers et de tous les concours.

Candidats, apprenez les Mathématiques par la méthode de l'École du Génie Civil.

Cours à tous les degrés, de même que pour la Physique, la Chimie, l'Astronomie.

MÉCANIQUE ET ÉLECTRICITÉ De nombreuses situations sont en perspective dans la Mécanique générale, les Constructions aéronautiques et l'Électricité. Les cours de l'École s'adressent aux élèves des lycées, ces écoles professionnelles, ainsi qu'aux apprentis et techniciens de l'Industrie.

Les cours se font à tous les degrés : Apprenti, Monteur, Technicien, Dessinateur, Sous-ingénieur et Ingénieur.

AVIATION CIVILE Brevets de navigateurs aériens de Mécaniciens d'aéronefs et de Pilotes. Concours d'Agents techniques et d'Ingénieurs adjoints, Météorologistes.

Envoi de programme contre 10 francs en timbres.

ÉCOLE DE T. S. F.
 3, rue du Lycée - Nice

JEUNES GENS !

Les meilleures situations, les plus nombreuses, les plus rapides, les mieux payées, les plus attrayantes...

sont dans la RADIO

P. T. T., AVIATION, MARINE, NAVIGATION AÉRIENNE, COLONIES, DÉFENSE DU TERRITOIRE, POLICE, DÉPANNAGE, CONSTRUCTION INDUSTRIELLE, TÉLÉVISION, CINÉMA.

COURS SCIENTIFIQUES, TECHNIQUES, PRATIQUES, PAR CORRESPONDANCE

Les élèves reçoivent des devoirs qui leur sont corrigés et des cours spécialisés. Enseignement conçu d'après les méthodes les plus modernes, perfectionnées depuis 1908.

Tous nos cours comportent des exercices pratiques chez soi : lecture au son, manipulation, montage et construction de poste.

Envoi de programme contre 10 francs en timbres.



*Pour Monsieur,
Pour Madame...*

L'ENSEMBLE
Edacoto 87

*fait
ultra chic!*



CH. LEMONNIER 214

Edacoto

USINES : 104, BOUL^o ARAGO. PARIS ET ORLÉANS.