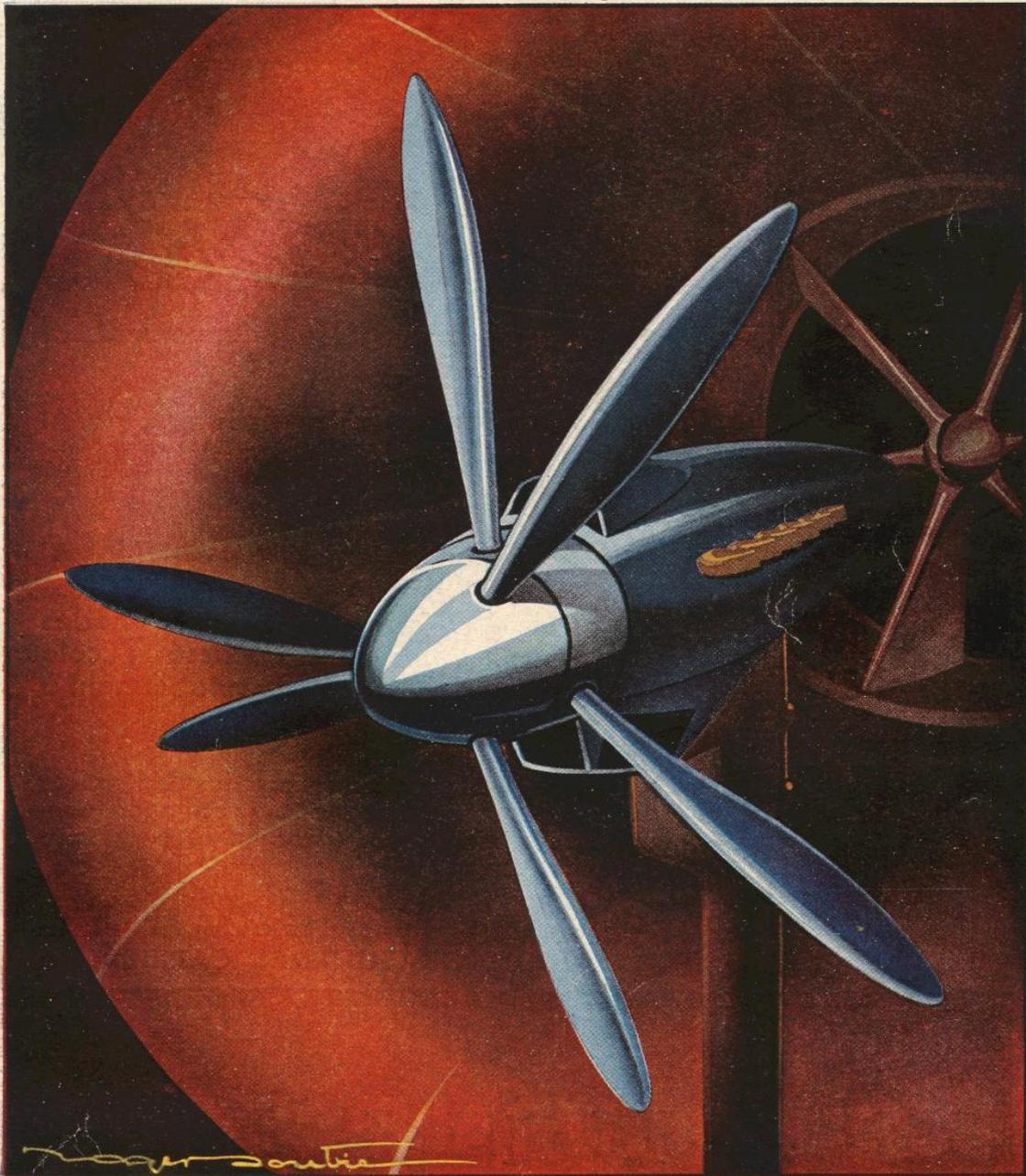


AOUT 1943

N° 312

SCIENCE ET VIE



7 FRANCS

Droits réservés au [Cnam](#) et à ses partenaires



- 24 années de fonctionnement et d'expériences.

- 25 Professeurs-Ingénieurs, parmi lesquels figurent les grands noms de la Radio.



- 24.000 Élèves instruits et placés.

- 1919, depuis cette date, ses Méthodes d'Enseignement, ont classé l'Ecole Centrale de T.S.F., indiscutablement à la 1^{re} Place.



Telles sont quelques-unes des Références que nous vous apportons en zone non-occupée où nous avons créé pour vous une annexe.

Demandez-nous dès aujourd'hui, le "GUIDE GRATUIT DES CARRIÈRES"

ÉCOLE CENTRALE DE T.S.F.
 12 rue de la Lune PARIS 2^e Téléphone Central 78-87
 "Annexe, 8 rue Porte de France - VICHY (Allier)"
 Publicités Réunies

CECI INTÉRESSE

tous les jeunes gens et jeunes filles et tous les pères et mères de famille

Une occasion unique de vous renseigner de la façon la plus complète sur toutes les situations quelles qu'elles soient et sur les études à entreprendre par correspondance pour y parvenir vous est offerte par

L'ÉCOLE UNIVERSELLE par correspondance de Paris

Elle vous adressera gratuitement sur demande celle de ses brochures qui vous intéresse :

- BROCHURE L. 9.633.** — ENSEIGNEMENT PRIMAIRE : Classes complètes depuis le cours élémentaire jusqu'au Brevet supérieur, Classes de vacances, Diplôme d'études primaires préparatoires, Certificat d'études, Bourses, Brevets, Certificat d'aptitude pédagogique, etc.
- BROCHURE L. 9.634.** — ENSEIGNEMENT SECONDAIRE : Classes complètes depuis la onzième jusqu'à la classe de mathématiques spéciales incluse, Bourses toutes séries, Examens de passage, Certificat d'études classiques ou modernes du premier cycle, Diplôme de fin d'études secondaires, Baccalauréats, etc.
- BROCHURE L. 9.635.** — ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR : Licences (Lettres, Sciences, Droit), Professorats (Lettres, Sciences, Langues vivantes, Classes élémentaires des Lycées, Collèges, Professorats pratiques), Examens professionnels, P. C. B., etc.
- BROCHURE L. 9.636.** — GRANDES ÉCOLES SPÉCIALES : Agriculture, Industrie, Travaux Publics, Mines, Commerce, Police, Enseignement, Beaux-Arts, Assistance, etc.
- BROCHURE L. 9.637.** — CARRIÈRES DE L'INDUSTRIE, des MINES et des TRAVAUX PUBLICS : Ingénieur (diplôme d'Etat), Sous-Ingénieur, Dessinateur, Conducteur, Chef de chantier, Contremaître, etc.
- BROCHURE L. 9.638.** — CARRIÈRES DE L'AGRICULTURE et du GÉNIE RURAL, etc.
- BROCHURE L. 9.639.** — CARRIÈRES DU COMMERCE (Administrateur commercial, Secrétaire, Correspondancier, Sténo-Dactylo, Représentant, Services de publicité, Teneur de livres), de l'INDUSTRIE HOTELIERE, des ASSURANCES, de la BANQUE, de la BOURSE, etc.
- BROCHURE L. 9.640.** — ORTHOGRAPHE, RÉDACTION, VERSIFICATION, CALCUL, DESSIN, ÉCRITURE, etc.
- BROCHURE L. 9.641.** — LANGUES VIVANTES (Anglais, Allemand, Italien, Espagnol, Arabe, Annamite), TOURISME (Interprète), etc.
- BROCHURE L. 9.642.** — AIR, RADIO, MARINE : Pont, Machine, Commissariat, T. S. F., etc.
- BROCHURE L. 9.643.** — SECRÉTARIATS, BIBLIOTHÈQUES, JOURNALISME (Rédaction, Administration, Direction), etc.
- BROCHURE L. 9.644.** — ÉTUDES MUSICALES : Solfège, Harmonie, Composition, Piano, Violon, Flûte, Clarinette, Instruments de jazz, Professorats, etc.
- BROCHURE L. 9.645.** — ARTS DU DESSIN : Dessin pratique, Anatomie artistique, Dessin de Mode, Illustration, Composition décorative, Aquarelle, Gravure, Peinture, Fusain, Pastel, Professorats, Métiers d'Art, etc.
- BROCHURE L. 9.646.** — MÉTIERS DE LA COUTURE, de la COUPE, de la MODE, de la LINGERIE, de la BRODERIE : Petite main, Première main, Vendeuse, Retoucheuse, Modéliste, Professorats, etc.
- BROCHURE L. 9.647.** — ART DE LA COIFFURE ET DES SOINS DE BEAUTÉ : Coiffeuse, Manucure, Pédiacre, Masseur, etc.
- BROCHURE L. 9.649.** — TOUTES LES CARRIÈRES ADMINISTRATIVES : Secrétariats d'Etat, Administrations financières, Inspection du Travail, Banques, Magistrature, Police nationale et régionale, P. T. T., Ponts et Chaussées, Chemins de fer, Préfectures, Mairies.
- GRACE AUX COURS PAR CORRESPONDANCE DE L'ÉCOLE UNIVERSELLE, chacun peut acquérir CHEZ SOI, quelle que soit sa résidence, à ses heures de loisir, quelles que soient ses occupations, facilement, quelles que soient ses études antérieures, avec le minimum de frais et dans le minimum de temps, toutes les connaissances utiles pour occuper la situation dont il se sent digne. Ceux des cours par correspondance de l'École Universelle qui préparent aux examens et aux concours publics assurent chaque année à leurs élèves

DES MILLIERS DE SUCCÈS

Outre la brochure qui vous intéresse, demandez tous les renseignements et conseils spéciaux dont vous pouvez avoir besoin. Ils vous seront fournis à titre absolument gracieux et sans aucun engagement de votre part.

ÉCOLE UNIVERSELLE

12 place Jules-Ferry, LYON -- 59 boulevard Exelmans, PARIS



Si vous voulez VRAIMENT apprendre CHEZ VOUS LE DESSIN ET LA PEINTURE

Si vous voulez apprendre *chez vous et sérieusement* à dessiner et à peindre non pas comme un modeste amateur mais comme un *Artiste capable de gagner sa vie*, il faut que vous sachiez ceci :

L'ÉCOLE INTERNATIONALE PAR CORRESPONDANCE DE DESSIN ET DE PEINTURE est actuellement la plus grande École Moderne par correspondance des Arts Graphiques, sa Méthode d'Enseignement "Voir, Comparer, Traduire" est une *vraie méthode, rapide et sérieuse*, l'École Internationale compte le plus grand nombre de Professeurs, tous artistes *connus et réputés*, enfin l'École Internationale réserve à ses élèves des avantages exceptionnels, nombreuses expositions de Peinture, communiqués dans la Presse et à la Radio, appuis de toutes sortes. Voyages *gratuits* sur la Riviera, etc... etc...

Pour recevoir *sans aucun engagement pour vous* un album de renseignements sur les carrières du Dessin et de la Peinture et sur l'ÉCOLE INTERNATIONALE, il vous suffit de découper et d'envoyer le bon ci-dessous aujourd'hui même en y joignant votre nom et votre adresse, ainsi que 4 frs. 50 en timbres, pour frais d'envoi.

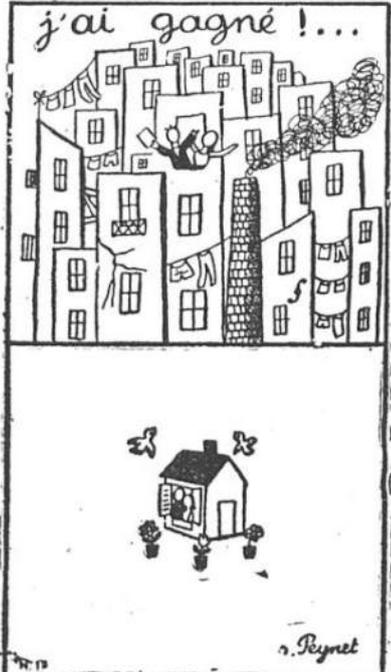
✉ Adressez votre lettre à l'ÉCOLE INTERNATIONALE de DESSIN et de PEINTURE, Service D(Renseignements), 11, Avenue de Grande-Bretagne, Principauté de Monaco.



BON POUR UN ALBUM GRATUIT
sur le DESSIN et la PEINTURE

Réalisez votre rêve....

j'ai gagné !...



Reynet

Grâce à la
LOTÉRIE NATIONALE

Philatélistes Echangistes Spéculateurs

vous avez intérêt à commander
notre **circulaire mensuelle**
(spécimen gratuit)

Nombreuses
occasions
en



France
Colonies
Nouveautés

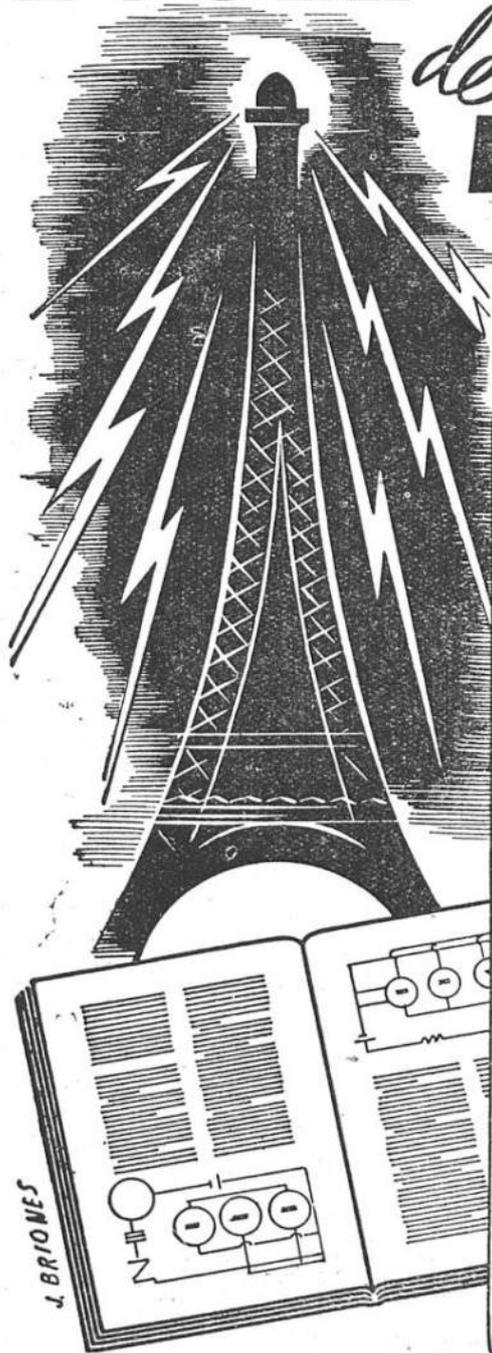
Timbres provenant d'œuvres et d'échanges

Ab. DENIS

LA COQUILLE (Dordogne)

ECOLE SPECIALE

de T.S.F.



COURS PAR CORRESPONDANCE

Depuis 1917, l'E. S. de T. S. F. de Paris prépare sur place et par correspondance à toutes les situations dans la T.S.F.

Durant la guerre, tous les examens sont préparés à Nice par correspondance, c'est-à-dire :

BREVETS D'ETAT DELIVRES PAR LES P.T.T. : Certificat spécial, opérateurs de 2^o et de 1^{re} classe, opérateurs de postes privés, opérateurs radiotéléphonistes.

EMPLOIS ADMINISTRATIFS : opérateurs radios de la Sécurité du territoire, opérateurs-radio du Ministère de l'Air, du Ministère des Colonies, sous-ingénieur des P.T.T., inspecteurs radios de Police.

SITUATIONS INDUSTRIELLES : cours de monteur-dépanneur, d'opérateur technique, de radiotechnicien, de sous-ingénieur et d'ingénieur.

DIVERS : cours d'amateur radio, d'électricien en télévision et cinéma.

ENSEIGNEMENT : les élèves reçoivent des cours très complets et des séries de devoirs qui leur sont corrigés.

Tous les renseignements sont donnés dans une brochure de 44 pages expédiée sur demande. Joindre 5 fr. en timbres pour frais d'envoi.

INSCRIPTIONS : les inscriptions sont reçues à toute époque.

COURS SUR PLACE

Les élèves préparant les brevets de 2^o ou 1^{re} classe des P.T.T. peuvent suivre les cours sur place à l'Ecole privée d'enseignement maritime, 21, boulevard Frank-Pilatte, Nice.

ECOLE SPECIALE DE TSF - 3, RUE DU LYCEE NICE

Si vous pouvez écrire vous pouvez **DESSINER**

CETTE FORMULE, CONNUE AUJOURD'HUI DU MONDE ENTIER, RÉSUME EN QUELQUES MOTS, LA REMARQUABLE MÉTHODE GRACE A LAQUELLE L'ÉCOLE A.B.C. DE DESSIN A PERMIS A 60.000 PERSONNES, RÉPARTIES SUR TOUS LES CONTINENTS, DE GOUTER DEPUIS 24 ANS LES JOIES ET LES AVANTAGES DU DESSIN.

Cette méthode, absolument unique, permet à un simple débutant de réaliser, dès sa première leçon, des croquis **d'après nature**, développant ainsi très rapidement sa personnalité.

Chaque élève de l'Ecole A.B.C. dirigé individuellement selon ses goûts et ses aptitudes, peut acquérir, en peu de temps, le métier, les connaissances techniques d'un professionnel et bénéficier ainsi des nombreux débouchés qu'assurent au Dessin les exigences de la vie moderne.

L'Ecole A.B.C. de Dessin est non seulement la première en date et la plus importante Ecole de Dessin du monde, mais elle reste la plus moderne.

BROCHURE GRATUITE

Écrivez à l'adresse ci-dessous pour demander la brochure de renseignements (joindre 5 fr. en timbres pour tous frais). Spécifiez bien le cours qui vous intéresse : Cours pour enfants ou cours pour adultes.



Croquis de caractère d'un de nos élèves devenu notre collaborateur.

ÉCOLE A. B. C. DE DESSIN (Section C. B. 13)

12, rue Lincoln - PARIS (VIII^e)

6, rue Bernadotte - PAU (Basses-Pyrénées)

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.

LA CÉLÈBRE MÉTHODE DE CULTURE MENTALE DUNAMIS

... permet à chacun, moyennant vingt à trente minutes par jour d'exercices attrayants de développer au maximum son **attention**, son **intelligence**, sa **mémoire**, son **imagination**, sa **volonté**, d'acquérir la **confiance en soi** et selon l'expression d'un éminent pédagogue, de **FORCER LE SUCCÈS EN TOUS DOMAINES**. Elle s'adresse à tous ceux, hommes et femmes, qui veulent non seulement conserver intact, mais encore accroître chaque jour, le trésor de leurs facultés mentales. Demandez la notice gratuite **numéro R. 42**.

LA MÉTHODE PHONOPOLYGLOTTE

... unit les avantages de l'enseignement par correspondance et du **phonographe**, et surclasse tous les autres systèmes actuellement en usage ; professeur impeccable, Phonopolyglotte ne vous fait entendre que des accents parfaitement purs, et vous permet, à la suite d'études agréables, de comprendre, de parler, de lire et d'écrire l'allemand, l'anglais, l'espagnol ou l'italien, selon la langue choisie. Demandez la brochure gratuite **numéro R. 43**.

LE COURS DE DESSIN

... où, pour la première fois dans l'histoire de l'enseignement des arts graphiques, a été appliqué le principe : « **APPRENDRE A DESSINER, C'EST APPRENDRE A VOIR ; QUI SAIT VOIR, SAIT DÉJÀ DESSINER** », vous rendra capable de dessiner **paysages**, **natures mortes** et **portraits** ; en outre, il vous permettra, le cas échéant, de vous spécialiser dans une des nombreuses **carrières ouvertes aux dessinateurs**. Demandez la notice gratuite **numéro R. 44** ou, contre 4 francs en timbres-poste, le magnifique album illustré « Vie nouvelle », **numéro R. 45**.

LE COURS D'ÉLOQUENCE

... vous rendra maître de votre langage, vous affranchira de la funeste timidité ; vous donnera le moyen de vous **exprimer dans les termes les plus choisis et les plus persuasifs** ; vous permettra d'une part, d'improviser compliments, speeches, ou allocutions dans toutes les circonstances de la vie familiale ou professionnelle, et d'autre part, de préparer aisément des conférences ou des discours selon les meilleures et les plus sûres traditions de l'art oratoire. Demandez la notice gratuite **numéro R. 46**.

LE COURS DE PUBLICITÉ

... essentiellement pratique, mettra à votre disposition tous les secrets de la technique publicitaire sous toutes ses formes, et vous permettra soit de vous créer une situation dans la publicité, soit de développer dans des proportions inespérées le volume de vos affaires, qu'elle qu'en soit l'importance actuelle. Demandez la notice gratuite **numéro R. 47**.

ÉCOLE DES SCIENCES ET ARTS

81, Boulevard des Belges, LYON (Rhône)
16, Rue du Général-Malleterre, PARIS (16^{me})

LES COURS PAR CORRESPONDANCE

PARIS, 152, Av. Wagram
en zone libre :
NICE, 3, Rue du Lycée

**DE
L'ECOLE DU GENIE CIVIL**

INDUSTRIE

(INSCRIPTIONS A TOUTE ÉPOQUE)

CONTREMAITRE, DESSINATEUR, TECHNICIEN, SOUS-INGENIEUR, INGENIEUR en Mécanique générale, Constructions aéronautiques, Electricité, Electromécanique, Chimie industrielle, Bâtiment, Travaux publics, Constructions navales, Géomètres.

COMMERCE - DROIT

Secrétaire, comptable et Directeur, capacité en droit, études juridiques, brevet d'expert comptable de l'Etat.

AGRICULTURE

Agriculture générale, Mécanique et Génie agricole, Sylviculture, Industries agricoles.

MATHÉMATIQUES

Enseignement des Mathématiques, Physique, Mécanique, Chimie, Astronomie, à tous les degrés.

Pour les cours ci-dessus, demander le programme n° 7.
Joindre 5 francs en timbres pour frais d'envoi.

MARINE MARCHANDE

Pour la préparation sur place ou par correspondance aux Brevets de la Marine marchande (Pont et Machine), consulter les programmes des Ecoles privées d'Enseignement maritime : Paris, 152, avenue de Wagram; Nice, 21, boulevard Frank-Pilatte. — Joindre 5 fr. pour frais d'envoi.

ADMINISTRATIONS

PONTS ET CHAUSSES ET GENIE RURAL (adjoint technique et ingénieur adjoint); P.T.T. (opérateurs radio, surnuméraires, vérificateurs, dessinateurs, etc.); DIVERS : Tous les concours techniques, géomètres compris, des diverses administrations France et Colonies. Les élèves de nos cours Armée, Air, Marine, pourront se préparer à des Administrations de niveau équivalent.

AVIATION CIVILE

Brevets de navigateurs aériens et de Pilotes. Concours d'Agents techniques et d'Ingénieurs adjoints, Météorologistes. Opérateurs radioélectriciens, Chefs de Poste, Radios et Mécaniciens d'aéronefs.

LYCÉES - ÉCOLES NATIONALES

Préparation à l'entrée à toutes les Ecoles nationales, secondaires, techniques et supérieures et aux Baccalauréats. Brevets Mathématiques générales. Licences. Préparation à l'entrée aux écoles privées d'Enseignement maritime. Envoi du programme n° 10 contre 5 francs en timbres.

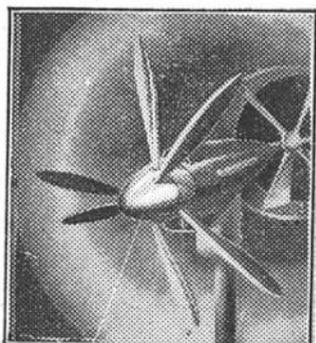
SCIENCE ET VIE

Tome LXIV - N° 312

SOMMAIRE

AOÛT 1943

- ★ Comment les étoiles produisent leur lumière et leur chaleur, par Paul Couderc..... 51
- ★ L'évolution récente de l'hélice aérienne, par J. Ledroit 63
- ★ Du film en couleurs au papier en couleurs, par Jean Lerson. 74
- ★ Les protéines, éléments de base de la matière vivante et la chimie de la vie, par Jean Héribert..... 77
- ★ Les médicaments de remplacement, par Charles Brachet 92
- ★ Les A Côté de la Science, par V. Rubor..... 95



T W 25036

L'obtention de vitesses de plus de 650 km/h, performance courante pour les plus modernes parmi les appareils de chasse, est le résultat d'une série de progrès : cellules affinées, trains d'atterrissage éclipçables, moteurs de puissance accrue, tuyères d'échappement propulsives, etc... Aussi importants ont été les progrès des hélices dont l'évolution suit celle des moteurs vers les grandes puissances, non sans soulever nombre de problèmes ardu. Sous la forme d'hélices multiples à pas variable en vol, elles sont devenues des mécanismes compliqués et précis dont la mise au point et l'adaptation aux cellules demandent des essais minutieux. La couverture du présent numéro représente l'essai en soufflerie d'un fuseau moteur équipé d'une hélice double formée d'éléments tripales tournant en sens inverse, disposition de création récente et qui semble maintenant sortie définitivement du stade expérimental. (Voir l'article page 63 du présent numéro.)

« Science et Vie », magazine mensuel des Sciences et de leurs applications à la vie moderne. Rédaction, Administration, actuellement, 3, rue d'Alsace-Lorraine, Toulouse. - Chèque postal : numéro 184.05 Toulouse. Téléphone : 230-27 Adresse télégraphique : SIENVIE Toulouse. Publicité : 68, rue de Rome, Marseille.

Tous droits de reproduction, de traduction et d'adaptation réservés pour tous pays. *Copyright by* « Science et Vie », août mil neuf cent quarante-trois. Registre du Commerce : Toulouse 3235 B. Abonnements : France et Colonies, un an : quatre-vingts francs.



T W 25042

LA GRANDE NÉBULEUSE SPIRALE MESSIER 33, DANS LA CONSTELLATION DU TRIANGLE.

Cette photographie a été obtenue par G. W. Ritchey avec le télescope de 1,52 m de diamètre du Mont Wilson (Etats-Unis). Ce tourbillon d'étoiles est à environ 900 000 années-lumière du système solaire, et son diamètre est voisin de 17 000 années-lumière. On a pu compter dans les branches de la spirale 26 434 condensations d'apparence stellaire et 217 amas globulaires d'étoiles. En outre, 2 350 étoiles, appartenant à notre système solaire, se trouvent superposées à la nébuleuse, par suite de la perspective. Enfin, la spirale entière est plongée dans un brouillard nébuleux dû aux innombrables millions d'étoiles trop faibles pour être enregistrées séparément.

COMMENT LES ÉTOILES PRODUISENT LEUR LUMIÈRE ET LEUR CHALEUR

par Paul COUDERC

A l'exception du soleil, aucune étoile n'a encore pu être observée sur la terre, à travers aucun instrument d'optique aussi puissant fût-il, sous un autre aspect que celui d'un point. L'infime quantité de lumière qui tombe sur un objectif de lunette ou de télescope, après avoir cheminé à travers le vide immense de l'espace pendant parfois plusieurs centaines de milliers d'années, est le seul message qui nous parvienne et nous parviendra jamais de ces astres. Il nous suffit cependant, depuis qu'on sait le déchiffrer au spectrographe, pour connaître la composition chimique des étoiles, leur température superficielle, la puissance de leur rayonnement et, par des recoupements innombrables, grâce à l'analyse mathématique la plus subtile, leur température interne, leur densité, leur rayon, leur masse et jusqu'au mécanisme intime suivant lequel prend naissance en leur sein le torrent d'énergie qu'elles prodiguent, leur vie durant, sous forme de lumière et de chaleur. Ce dernier problème, une des énigmes, jusqu'ici, de l'astronomie physique, a reçu seulement depuis peu sa véritable solution. Elle fait appel aux conquêtes les plus récentes de la chimie nucléaire, expliquant par un cycle de transmutations graduées la libération énorme et régulière de l'énergie dans ce gigantesque foyer à vingt millions de degrés qu'est le cœur d'une étoile, où tout le combustible, l'hydrogène en l'espèce, se condense progressivement en hélium, véritable cendre inerte, jusqu'à ce que l'étoile dégénérée se transforme en une de ces naines blanches ou noires qui sont les cadavres des astres.

QU'EST-CE qu'une étoile? Pourquoi brille-t-elle? Voilà, sans doute, les premières questions que pose celui qui commence à s'intéresser au ciel. Il est fort surprenant de constater que l'Astronomie, si riche en renseignements de toutes sortes sur les étoiles depuis un siècle, ait été incapable jusqu'à nos jours de nous dire pourquoi elles brillent. Nous savons depuis longtemps que les étoiles sont des sphères énormes de gaz incandescents : nous connaissons en général leur température superficielle, leurs mouvements dans l'espace, les conditions physiques qui règnent dans leurs atmosphères et la nature chimique de leurs matériaux périphériques. Souvent, nous savons calculer leur distance et leur volume, parfois leur masse et leur densité moyenne.

Mais l'origine de leur lumière et de leur chaleur, le mécanisme qui préside à l'émission de tant de rayons, sont restés des énigmes jusque vers 1940.

Comment se pose le problème de l'énergie stellaire

Une réponse fallacieuse à cette question vient d'emblée à l'esprit : les étoiles brillent parce que leur surface est très chaude. Le fait est exact, des plus faciles à observer et à soumettre à la mesure, mais il ne résout nullement le problème, comme nous allons le voir.

La température superficielle — ou température effective — des astres se traduit de prime abord par leur couleur : les étoiles froides

sont sombres et rougeâtres, les étoiles les plus chaudes sont éclatantes, très blanches ou bleuées. On mesure ces températures en étudiant l'intensité et la couleur des rayons que nous recevons de chaque étoile, à l'aide d'instruments appropriés (actinomètres, pyromètres, bolomètres...). Voici, en gros, les résultats : les étoiles les plus froides que nous connaissons ont des températures effectives de 2 000 à 3 000 degrés, ce sont les étoiles rouges ; une étoile jaune comme le Soleil atteint 5 700° — disons 6 000° pour les étoiles jaunes ; les étoiles blanches comme Sirius avoisinent 10 000° ; des étoiles encore plus chaudes, dites de type B, comme la plupart des étoiles d'Orion, ont des températures de 20 000 à 30 000°. Enfin des astres exceptionnels (classe O) vont jusqu'à 50 000°, et l'on pense que les étoiles Wolf-Rayet et les noyaux des nébuleuses planétaires peuvent atteindre ou dépasser 100 000 degrés. Mais l'immense majorité des étoiles normales appartient au domaine 3 000-10 000 degrés.

Nous rappellerons ici que si l'on range les étoiles d'après leur température et d'après leur puissance lumineuse intrinsèque dans un tableau rectangulaire (fig. 1) on obtient un diagramme extraordinaire, établi par Hertzsprung et Russell, qui constitue l'une des acquisitions essentielles de l'Astronomie (au début de ce siècle). Au lieu de garnir uniformément toute l'étendue du rectangle, les points représentant les étoiles viennent se placer schématiquement sur deux lignes : l'une, la branche des naines, ou série principale, suit à peu près une diago-

nale du rectangle — l'autre, la branche des géantes, traverse horizontalement le diagramme à la hauteur de Sirius. Il en résulte que les étoiles rouges, par exemple, appartiennent à deux catégories fort différentes : les naines rouges, qui émettent cent fois moins de rayonnement que le Soleil — les géantes rouges, qui dépassent chacune cent soleils. Nous aurons à utiliser ces résultats.

Mais pourquoi les étoiles sont-elles chaudes en surface? D'où viennent les torrents de lumière et de chaleur sans cesse renouvelés, jetés en permanence dans l'espace vide?

Nous savons bien qu'un fer à repasser, même porté au rouge, se refroidit vite si on n'entretient pas sa chaleur. L'eau en ébullition dans une casserole cesse vite de bouillir si l'on éteint le réchaud sous la casserole. Il en serait de même pour les étoiles, si chaudes soient-elles : leur température baisserait de plusieurs degrés par an, leur éclat baisserait pour ainsi dire sous nos yeux et elles s'éteindraient sans espoir si une source d'énergie formidable n'entretenait en permanence leur température et n'alimentait leur débit. Cette

source existe, car, non seulement nous ne surprenons aucun signe de fléchissement dans leur lumière, mais nous avons des raisons impérieuses de penser que le Soleil, en particulier, maintient son débit actuel depuis au moins un ou deux milliards d'années.

Certains fossiles de l'ère primaire, par exemple, quasi identiques à des animaux ou à des plantes qui vivent encore de nos jours, ont exigé pour prospérer, il y a 400 ou 500 millions d'années, un climat analogue au nôtre. L'apport du Soleil à la Terre est demeuré sensiblement le même (nos périodes glaciaires comportent une explication purement météorologique). On sera sans doute tenté de penser que les étoiles brûlent, c'est-à-dire de faire appel à la chaleur dégagée par des réactions chimiques. Tentative vaine : en admettant que le Soleil fût une masse de carbone pur, et en lui fournissant par surcroît l'oxygène nécessaire à sa combustion totale, il ne pourrait

pourvoir à son rayonnement que pendant six mille ans à peine. La chimie tout entière est donc hors de jeu dans les émissions stellaires et n'expliquerait même pas l'émission du Soleil pendant la durée des temps historiques.

Faut-il croire que les étoiles sont alimentées de l'extérieur, comme les moulins à vent? Pas davantage : l'énergie qu'elles reçoivent par interception de météorites ou de rayons cosmiques, ou par frottement dans un milieu ré-

sistant, est négligeable (sauf peut-être dans certains cas spéciaux) et au surplus, nous allons montrer qu'un apport extérieur d'énergie, même abondant, ne servirait à rien : l'existence même de l'étoile est en jeu, il est nécessaire à son équilibre à chaque instant que l'énergie qui sort vienne du centre de l'astre. Nous allons démontrer que sans des températures croissantes à mesure qu'on s'enfonce au cœur de l'étoile, sans une température centrale de l'ordre de 20 millions de degrés, l'étoile s'écroulerait immédiatement sur elle-même. Or la chaleur va du point le plus chaud vers le point le plus froid — tout comme l'eau s'écoule du haut vers le bas. Nous

serons donc amenés à voir que toute l'énergie rayonnée par les étoiles vient de leur centre : les étoiles ont, pour ainsi dire, une batterie d'accumulateurs en leur sein. Ce sera l'objet principal de cet article d'en dévoiler la nature et le fonctionnement.

Auparavant, il est nécessaire de montrer par quelles voies l'homme a pu connaître l'intérieur des étoiles et décrire avec autorité l'état de la matière au plus profond de ces fournaies, là où aucune observation ni expérimentation ne sont même concevables. La prétention de bien connaître l'intérieur des étoiles paraîtra sans doute surprenante à qui sait les difficultés que l'homme éprouve à pénétrer d'un ou deux kilomètres dans le sous-sol de sa propre planète. Nous possédons cependant sur ce sujet de confortables certitudes, moyennant une seule hypothèse, à savoir : que la matière stellaire en profondeur soit de même nature que celle que nous connaissons sur la

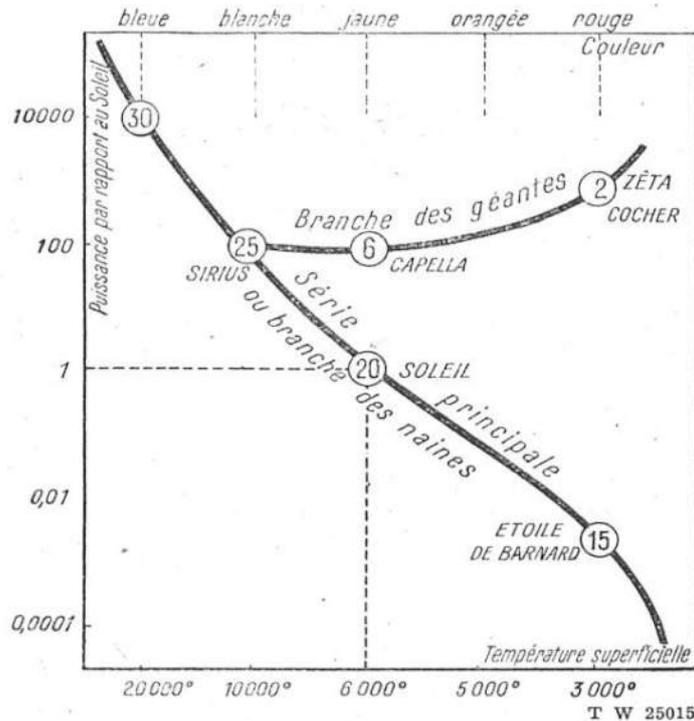


FIG. 1. — LE DIAGRAMME DE HERZSPRUNG-RUSSEL.

Classées d'après leur couleur et leur puissance lumineuse, les étoiles se rangent curieusement sur deux lignes : les plus nombreuses, sur la diagonale descendante du rectangle (naines). D'autres, les géantes sur une ligne à peu près horizontale. Les nombres inscrits dans les cercles indiquent la température centrale, en millions de degrés, calculée comme il est dit dans le texte.

Terre à l'état refroidi, matière qui apparaît d'ailleurs aisément identifiable au spectroscope à la surface des étoiles. Cela admis, mettons en action la machine à sonder les étoiles, qui est l'analyse mathématique appliquée aux données physiques, machine subtile à laquelle Eddington attribue le nom pittoresque de *perforatrice analytique*.

L'intérieur des étoiles

Pression et température

Le premier analyste qui se soit attaqué à cette question fut Homer Lane, dans un mémoire paru en 1869. Lane imagine une sphère de gaz de même volume, de même masse, de même densité moyenne que le Soleil et fait deux hypothèses simplificatrices.

1° Cette sphère est homogène, c'est-à-dire présente la même densité en tous points. Densité 1,4 par rapport à l'eau;

2° Le gaz possède les propriétés d'un gaz parfait (au sens de la physique élémentaire). Cette seconde hypothèse parut inacceptable au point que le mémoire ne fut pas pris au sérieux pendant 50 ans — jusqu'en 1924, pour préciser. En effet, un gaz comprimé assez fortement

pour être plus dense que l'eau n'a plus rien d'un gaz : on doit lui attribuer les propriétés des liquides et il ne suit plus les lois des gaz parfaits. Nous verrons plus loin la physique moderne dissiper cette objection. Suivons donc Lane dans ses recherches.

Les hypothèses faites étant admises, il est très facile de calculer les pressions au sein de la sphère. Les couches de gaz pèsent les unes sur les autres, de proche en proche, et, au centre de la sphère, est atteinte une pression :

$$P = 15 \text{ millions de tonnes par cm}^2.$$

Soumise à cette pression fantastique, la matière devrait se comprimer à l'extrême : or nous avons admis une densité 1,4 seulement, c'est-à-dire une densité peu élevée.

Quelle force entre donc en jeu, capable de résister au tassement de la substance vers le centre? Quel facteur s'oppose à l'écrasement de l'astre sur lui-même, sous l'influence de sa propre gravitation? Ce facteur antagoniste, essentiel à l'équilibre, c'est la *force élastique* du gaz; elle réside dans l'agitation éperdue et perpétuelle des molécules du gaz, sans cesse lancées comme des projectiles, qui s'entre-choquent, rebondissent, se repoussant mutuellement avec une efficacité qui dépend au premier chef de la vitesse des particules. Or la vitesse des particules est liée à la *température* du gaz. Plus le gaz est chaud, plus les molécules vont vite et mieux il résiste à la compression.

On pourrait dire, en d'autres termes, que la notion de température est une résultante de la

vitesse moyenne des particules. La loi précise est la suivante : la température est proportionnelle au carré de la vitesse moyenne des particules.

Cela étant, quelle température faut-il attribuer au gaz pour que, sous la pression P , sa densité ne dépasse pas 1,4?

Il est ici nécessaire de savoir de quel gaz il s'agit, et Lane a fait le calcul dans l'hypothèse (3^e hypothèse) où le gaz serait l'*Hydrogène* à l'état atomique. Travail facile, et qu'un étudiant de première année en Physique pourrait mener à bien. On trouve une température de 11,5 millions de degrés.

Tel fut le résultat de Lane.

Nous allons maintenant voir la Physique écarter les hypothèses restrictives de Lane (ou s'en accommoder) pour s'élever au cas général des étoiles réelles.

La première hypothèse, d'une sphère homogène, ne fut pas longtemps gênante. On appelle *modèle* d'une étoile la façon dont la densité de sa substance croît à mesure qu'on s'enfonce vers le centre. On peut faire diverses suppositions à ce sujet : il est admis aujourd'hui que la densité centrale d'une étoile ordinaire est de l'ordre de 100 par rapport à l'eau. Mais un résultat essentiel, et fort curieux, est apparu en étudiant les diverses distributions raisonnables : la température centrale de l'astre dépend fort peu du modèle. Les divers modèles vraisemblables, substitués à l'astre homogène de Lane, conduisent tous à une température :

$$T = 20 \text{ millions de degrés,}$$

du même ordre de grandeur que la précédente.

Passons à l'influence de la substance. Ces calculs concernent l'*Hydrogène*. Qu'advient-il si ce gaz est remplacé par un autre élément chimique? On doit multiplier T par le poids atomique du corps considéré. Avec le Fer, par exemple (poids atomique 56), la température centrale nécessaire à l'équilibre serait 56 T , de l'ordre du milliard de degrés. Ce résultat ruinait tous les espoirs d'aboutir à une conclusion précise, car les étoiles sont un mélange mal connu de tous les corps, de l'*Hydrogène* à l'*Uranium* (poids atomique 238). L'influence considérable de la composition chimique sur l'ordre de grandeur des températures internes rendait pratiquement indéterminée la valeur de T chez les étoiles réelles.

Ajoutons à cette conclusion décevante, l'in vraisemblance initiale concernant le gaz parfait : on conçoit que ce genre de recherches ait été abandonné, ait sombré dans l'oubli. Or, en 1924, les difficultés ont merveilleusement disparu toutes ensemble et l'ère des recherches véritables sur l'intérieur des étoiles s'est ouverte. Cette révolution est l'œuvre d'Eddington. Voyons comment il y fut conduit.

Il s'intéressait aux étoiles géantes, de décou-

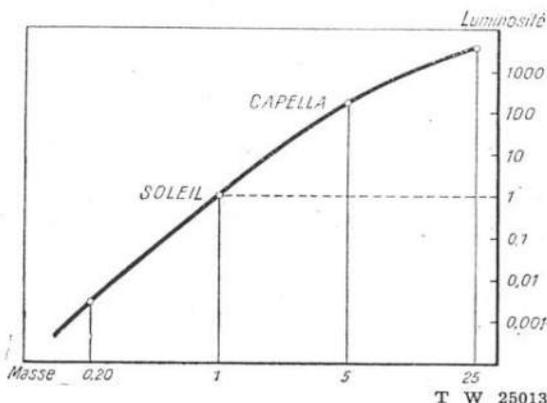


FIG. 2. — LA RELATION MASSE-LUMINOSITÉ

Cette courbe établissait, d'après les travaux d'Eddington, la relation entre la masse et la luminosité des étoiles géantes, peu denses (par exemple Capella). Les étoiles les plus denses suivent cependant la même loi.

verte récente. Ces astres immenses ont des densités moyennes si faibles, qu'ils doivent se comporter en gaz parfaits dans presque toute leur étendue. Pour ces étoiles exceptionnelles, les calculs de Lane pouvaient donc n'être pas trop éloignés de la réalité et Eddington reprit l'étude dans ces conditions nouvelles. Il en déduisit, pour ces astres, une relation très intéressante, dite relation *masse-luminosité*, qui fixe la luminosité quand la masse est connue, et réciproquement (fig. 2).

Eddington eut l'extrême surprise de voir sa relation, établie pour les géantes, s'appliquer aussi bien à toutes les autres étoiles, c'est-à-dire aux naines de la série principale (fig. 1). Ainsi le Soleil, naine jaune, se place sur la courbe d'Eddington (fig. 2). De même, les naines rouges, beaucoup plus denses que lui.

Conclusion : Lane avait raison, les étoiles sont des gaz parfaits malgré leurs densités élevées. Pourquoi? C'est en méditant sur cette apparente anomalie qu'Eddington découvrit le rôle de l'ionisation au sein des étoiles.

L'ionisation

Aux températures terrestres, les atomes se conduisent comme de petits corps rigides, et quand ils arrivent à se toucher, comme dans nos liquides et nos solides, la matière devient pour nous incompressible.

Pourtant chaque atome est un édifice extraordinairement vide. Son apparente rigidité provient de ce qu'il défend efficacement les approches d'un certain domaine qui lui est propre, dont le rayon est de l'ordre de quelques angströms (dix-millionièmes de millimètre). Mais, en fait, à peu près toute la masse de l'atome réside en un *noyau* central minuscule, d'un rayon encore cent mille fois plus petit (ordre de 10^{-12} centimètre). Ce noyau est plongé dans un nuage d'électrons légers (particules d'électricité négative) de dimensions analogues à celle du noyau (1). Pour bien concevoir l'atome, évoquons-en cette image agrandie : une bille de plomb de 1 cm de rayon, entourée de balles de coton de même dimension et dispersées, en petit nombre, dans une sphère de 1 kilomètre de diamètre. On conçoit ainsi pourquoi, au laboratoire, un noyau ou un électron lancés traversent sans choc des centaines de milliers d'atomes à la file. Pour un tel projectile, la matière est pour ainsi dire *transparente*.

L'ionisation, c'est la démolition de l'édifice. Les atomes soumis à des températures très élevées (donc à des chocs mutuels très violents ou à des radiations puissantes) sont mis en pièces, déshabillés, les électrons mis en liberté, le noyau mis à nu, si l'ionisation est totale. Après quoi, il reste un gaz d'électrons et de noyaux, dont la masse n'a pas changé, mais où les éléments constituants sont infiniment plus petits qu'auparavant : des milliards de fois plus petits. *Les bulles atomiques ont éclaté*. Dans ce gaz singulier, électrons et noyaux ont une liberté de mouvements prodigieuse, même quand le gaz comprimé est parvenu à des densités insoupçonnables ici-bas. Un gaz reste *parfait* sous des densités cent fois supérieures à celle du platine (ordre de 2 000 par rapport à l'eau).

C'est pourquoi les étoiles, puissamment ionisées, sont des gaz parfaits jusqu'en leur centre.

Mais l'ionisation fait, en même temps, disparaître l'influence de la substance : l'incertitude sur la valeur des températures centrales va se dissiper.

En effet, dans la résistance à la compression, dans la participation à l'équilibre, un électron léger fait le même travail qu'un noyau lourd. Sous l'influence des chocs mutuels, les particules légères acquièrent de plus grandes vitesses que les particules lourdes et finissent par avoir la même valeur en énergie; c'est l'état bien connu d'*equipartition* de l'énergie. En conséquence, pour le calcul de T, il faudra envisager désormais le poids atomique *moyen* du gaz ionisé, compte tenu du nombre des morceaux obtenus par ionisation. Il est fort intéressant de constater qu'après ionisation ce poids atomique est voisin de 2, quelle que soit la substance considérée.

Exemples :

FER : Poids atomique : 56
26 électrons + 1 noyau = 27 morceaux
56
Poids moyen : $\frac{56}{27}$, environ 2.

SODIUM : Poids atomique : 23
11 électrons + 1 noyau = 12 morceaux
23
Moyenne : $\frac{23}{12}$, environ 2.

OXYGÈNE : Poids atomique 16
8 électrons + 1 noyau = 9 morceaux
16
Moyenne : $\frac{16}{9}$, environ 2.

La seule exception importante concerne l'Hydrogène :

HYDROGÈNE : Poids atomique : 1
1 électron + 1 noyau = 2 morceaux
1
Moyenne : $\frac{1}{2}$.

Conclusion : Hydrogène mis à part, l'ionisation engendre au sein des étoiles un gaz parfait de poids atomique 2. Le Soleil aurait donc une température centrale 2 T, c'est-à-dire 40 millions de degrés, s'il ne contenait point d'Hydrogène — et une température centrale $\frac{1}{2}$ T, c'est-à-dire 10 millions de degrés, s'il

consistait en Hydrogène pur.

Ainsi nous sommes sûrs que la température centrale du Soleil est comprise entre 10 et 40 millions de degrés.

Pour préciser davantage, il faudrait connaître le pourcentage d'Hydrogène interne. Cette connaissance a pu être acquise de la manière suivante :

A masse égale, l'astre hydrogéné, plus froid, brillera moins que l'astre sans Hydrogène. Prenant la masse du Soleil, Strömrgren a calculé le rayonnement qu'il aurait en lui attribuant une série de pourcentages variés d'Hydrogène. Le rayonnement observé du Soleil correspond à une teneur de :

36 % en masse.

Ainsi notre Soleil est composé pour 1/3 environ d'Hydrogène (en masse) et pour 2/3 d'éléments lourds. La température centrale correspondante est de 20 millions de degrés.

Les mêmes calculs, repris pour diverses catégories d'étoiles, donnent (sauf quelques cas singuliers) le même pourcentage d'Hydrogène et montrent que les températures centrales, dans la série principale, s'échelonnent entre

(1) Voir : « Le monde matériel » (*Science et Vie*, n° 258; décembre 1938).

15 et 30 millions de degrés. Les géantes, beaucoup plus rares, sont relativement froides.

Dans la figure 1, les nombres encadrés indiquent ces températures, en millions de degrés, pour quelques étoiles typiques.

Nous voyons ainsi, au terme de cette première partie, comment et pourquoi l'Astronomie prétend connaître l'état intérieur des étoiles. Ces résultats présentent un degré de certitude équivalent à celui des meilleurs résultats de la physique de laboratoire et se trouvent du reste corroborés par la découverte qui nous reste à exposer.

Nous oublierons pour un instant cette étude, tenant seulement pour acquis que la chaleur des étoiles doit naître en leur centre et cheminer peu à peu vers leur surface, avant de s'échapper vers les espaces vides. Nous tournant vers la physique la plus moderne, nous allons maintenant lui demander si elle connaît un mécanisme susceptible de dégager assez d'énergie pour entretenir le rayonnement des étoiles et dans quelles conditions ce mécanisme fonctionne.

Le problème de l'énergie

Les solutions à rejeter : contraction, radioactivité

Pour donner une idée du débit des étoiles en énergie rayonnée, considérons à nouveau le Soleil, connu avec précision et dont le débit est moyen. Le Soleil émet par seconde 4×10^{33} ergs. Ce grand nombre est peu évocateur : deux images concrétiseront cette dépense :

1° Chaque centimètre carré de la surface solaire possède une puissance de 10 ch environ et serait ainsi capable de remplacer le moteur, à perpétuité, d'une automobile moyenne;

2° On peut aussi exprimer en masse l'énergie dégagée, puisque l'énergie est pesante. On

sait que 25 millions de kilowatts-heure pèsent un gramme (on peut remarquer incidemment que les Parisiens paient actuellement leur énergie électrique 50 millions de francs le gramme). Cela étant, le Soleil jette au vide 4 millions de tonnes d'énergie par seconde.

Telle est l'énergie fantastique dont nous devons découvrir la source, à débit constant pendant des milliards d'années.

Nous avons déjà montré l'impuissance totale de la Chimie.

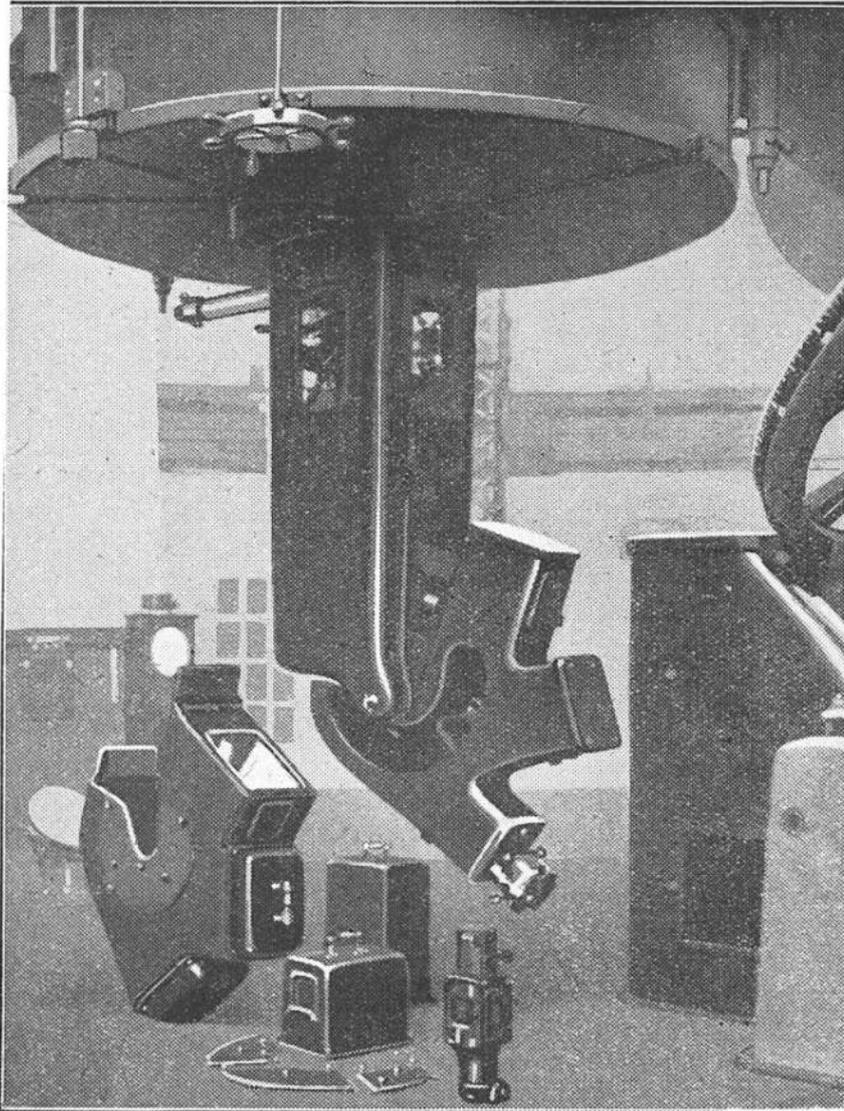
Jusqu'à la fin du siècle dernier, la Physique s'est montrée presque aussi pauvre en ressources. Le processus le plus efficace paraissait être la contraction de l'astre.

Lorsque l'étoile passe de l'état très dilaté de géante à l'état de naine fort condensée, ses

		SYMBOLE	POIDS ATOMIQUE	
Particules élémentaires.	électron...	${}^0_{-1}e$	0,00055	Grain d'électricité négative.
	positon...	${}^0_{+1}e$	0,00055	Grain d'électricité positive.
	neutron...	1_0N	1,00893	
	proton....	${}^1_1H +$	1,00758	Hydrogène ionisé, noyau d'hydrogène.
Atomes stables.	<i>hydrogène..</i>	1_1H	1,00813	Hydrogène lourd.
	<i>deutérium.</i>	2_1H	2,01473	
	<i>hélium....</i>	3_2He	3,01699	
	<i>hélium....</i>	4_2He	4,00386	
	<i>lithium....</i>	6_3Li	6,01686	
	<i>lithium... </i>	7_3Li	7,01818	
	<i>glucinium.</i>	9_4Be	9,01504	
	<i>bore.....</i>	${}^{10}_5B$	10,01631	
	<i>bore.....</i>	${}^{11}_5B$	11,01292	
	<i>carbone....</i>	${}^{12}_6C$	12,00398	
<i>carbone... </i>	${}^{13}_6C$	13,00761		
<i>azote.....</i>	${}^{14}_7N$	14,00750		
<i>azote.... </i>	${}^{15}_7N$	15,00489		
<i>oxygène... </i>	${}^{16}_8O$	16,00000		

TABLEAU I. — LES ACTEURS DU DRAME : LES CORPS SIMPLES QUI JOUENT UN RÔLE DANS LE PROBLÈME DE L'ÉNERGIE STELLAIRE

Dans les symboles chimiques, l'indice inférieur caractérise le corps simple : c'est le numéro atomique. L'indice supérieur est le poids atomique arrondi : c'est le nombre entier de la colonne de droite. Ainsi il y a deux carbones : numéro atomique 6 — l'un d'eux a pour masse 12, l'autre 13. Ils sont dits isotopes. L'isotope abondant est en italique.



T W 25012

FIG. 3. — LE SPECTROGRAPHE RÉVÈLE LA NATURE DES ÉLÉMENTS PRÉSENTS DANS L'ATMOSPHÈRE DES ÉTOILES

On voit ici, fixé à la base de l'instrument, derrière le trou central du miroir, le spectroscopie du grand télescope de 1,83 m de diamètre de l'observatoire de Victoria (Canada). La lumière reçue d'une étoile est étalée en un spectre dont les raies manifestent la présence d'éléments divers dans l'atmosphère stellaire.

matériaux se sont rapprochés du centre, et, dans cette chute générale, une énergie non négligeable se trouve dégagée (c'est cette énergie de gravitation dont nous tirons parti dans les chutes d'eau). Mise en évidence par Helmholtz, cette énergie de gravitation représente au maximum, selon les calculs de Lord Kelvin, la valeur de 30 millions d'années de rayonnement solaire. Au surplus, dans la contraction, une moitié seulement de l'énergie est rayonnée, l'autre moitié est emmagasinée et accroît la température centrale de l'astre.

Ainsi le processus de contraction peut expliquer pourquoi les étoiles sont devenues chaudes; il a pu servir initialement d'allumette; mais il est impuissant à entretenir la luminosité des étoiles pendant des milliards d'années.

Au début du XX^e siècle, la découverte des radioactivités a commencé à éclaircir le mystère en révélant que les noyaux atomiques sont des réservoirs d'énergie extraordinaires. La radioactivité est un phénomène spontané, où se brise un noyau instable; dans l'accident, une petite fraction de la masse disparaît: elle s'est transformée en rayonnement (rayons gamma) que nous pouvons recueillir. La relation entre la masse disparue et l'énergie recueillie est la suivante: L'énergie (en unités c. g. s.) est égale au produit de la masse par le carré de la vitesse de la lumière (en cm/seconde). C'est cette formule (1) que nous avons utilisée pour peser l'énergie solaire et les kilowatts-heure: cette relation est sans doute la mieux vérifiée, la plus sûre, de toute la Physique.

Les angoisses théoriques relatives au rayonnement stellaire prenaient fin: puisque la matière, dans certaines circonstances, se transforme en rayonnement, il devenait évident que les étoiles vivent aux dépens de leur propre substance, en s'amaigrissant. Le Soleil maigrit de 4 millions de tonnes par seconde: si nous pouvions supposer que toute sa matière fût capable de se transformer à régime constant en rayonnement, comme il pèse 2×10^{33} grammes, sa vie lumineuse durerait 15 trillions d'années (15×10^{12} ans): le calcul est aisé. En voilà plus que l'Astronomie n'en demande: c'est mille fois trop, puisque, pour le moment, un passé de quelques milliards d'années lui suffit. (Nous voulons dire que certains phénomènes tels que la rotation des Galaxies, l'expansion de l'Univers, l'évolution des amas, l'âge de la Terre, ne nous permettent pas d'envisager un recul supérieur à quelques milliards d'années: nous aboutissons à un mur infranchissable, en l'état actuel de nos connaissances.)

Par conséquent, au lieu d'envisager l'annihilation totale de la matière, l'Astronomie peut se contenter d'une dématérialisation à 1 pour 1 000. C'est arbitrairement que nous avons envisagé un processus total: rien ne nous apprend qu'il soit possible.

Au contraire, la radioactivité nous donne l'exemple d'une destruction partielle de l'ordre de grandeur souhaité: l'Uranium perd 1/5 000 de sa masse en se transformant en Plomb.

$$(1) W = mC^2.$$

Malheureusement, les radioactivités ne conviennent nullement aux astronomes. On eut vite fait de voir qu'une étoile dont la source d'énergie serait radioactive constituerait un astre instable, voué à l'explosion ou à l'éroulement brutal. En effet, la radioactivité est insensible à la température : la vitesse de désintégration n'est pas plus grande sous un milliard de degrés qu'à zéro degré. (Il est possible, au laboratoire, d'entre-choquer les atomes à des vitesses qui correspondent à une température d'un milliard de degrés.) Or, on montre aisément qu'une source invariable conduit à la catastrophe. Nous nous contenterons de montrer, au contraire, comment une étoile dont le débit dépend fortement de la température est un astre *stable*, qui ajuste automatiquement sa taille à ses autres conditions physiques.

Prenons une étoile normale. Supposons que, pour une raison quelconque, accidentelle, elle se dilate : cette dilatation la refroidit, donc le débit d'énergie se trouve diminué, la poussée intérieure du flux de radiations qui chemine vers la surface est amoindrie, l'astre a tendance à retomber à son état initial.

Si, au contraire, l'astre s'est accidentellement contracté, la compression accroît sa température, donc le débit s'accroît, et sous cette poussée de radiations supplémentaires, l'astre reprend sa taille initiale.

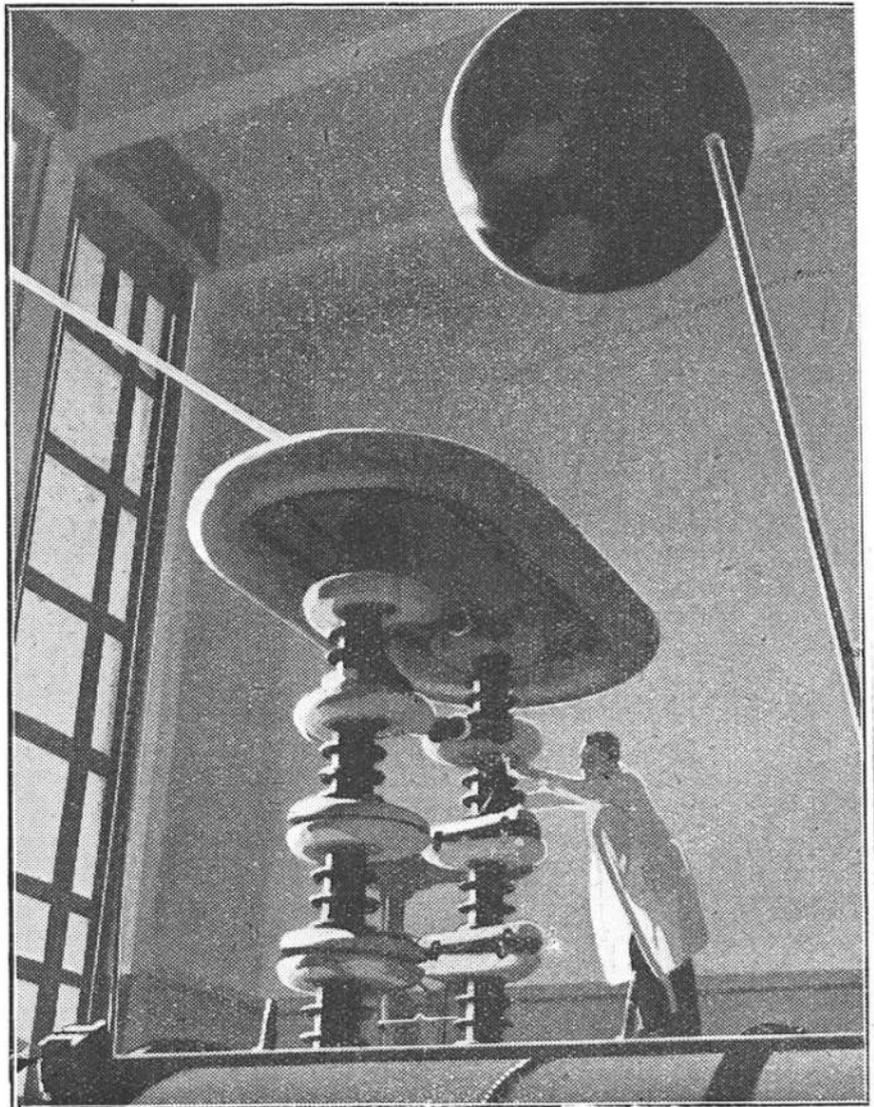
La radioactivité s'élimine ainsi du champ de l'astrophysique, pour des raisons d'équilibre stellaire. Au surplus, elle eût impliqué, chez les étoiles, un pourcentage de corps radioactifs fort invraisemblable *a priori*, et un dosage précis de matière radioactive (en raison de la puissance cinquième de la masse de l'étoile considérée) encore plus invraisemblable.

Nous voici donc à la recherche d'un processus inconnu, libérateur d'énergie, dont l'activité dépende de la température, c'est-à-dire du nombre et de la violence des chocs entre particules.

Depuis 1919 et particulièrement depuis quelques années, nous sommes les témoins — et les agents — au laboratoire, de transformations de cette nature. Il s'agit des *transmutations provoquées*.

Les transmutations provoquées

On se souvient du rêve des vieux alchimistes qui tentaient de transmuter en or des métaux vils. La transmutation, c'est le passage d'un élément chimique à un autre. Une radioactivité est une transmutation spontanée, naturelle. C'est en 1919 qu'a été obtenue, par Rutherford, la première transmutation provoquée; depuis 1934, depuis les découvertes de Frédéric et Irène Joliot-Curie, l'homme a pu,



T W 25011
FIG. 4. — CERTAINES RÉACTIONS NUCLÉAIRES QUI ONT LIEU DANS LES ÉTOILES SONT RÉALISABLES AU LABORATOIRE

Le bombardement des noyaux atomiques à désintégrer s'effectue par des particules électrisées accélérées par des tensions très élevées. Voici, en cours de montage au laboratoire Philips à Eindhoven (Pays-Bas) un générateur ionique de haute tension pour 1 million de volts.

non seulement transmuter par démolition de nombreux éléments, mais encore édifier par synthèse plusieurs centaines d'éléments nouveaux, inconnus auparavant sur la Terre à cause de leur vie brève (radioactivités artificielles à courte période).

Marquons brièvement les étapes du progrès sur ce sujet.

Il y a plus d'un siècle que le médecin anglais Prout a supposé que tous les corps simples étaient des multiples du plus léger d'entre eux, l'Hydrogène. A première vue, en effet, de nombreux éléments ont un poids atomi-

que entier si l'on prend l'Hydrogène $H = 1$. Exemples : Carbone 12, Azote 14, Oxygène 16. La fusion intime de 12 noyaux d'Hydrogène constituerait un noyau de Carbone. Première difficulté : certains corps simples ont des poids atomiques non entiers. Exemple : Chlore 35,5. Mais la découverte des isotopes a écarté l'objection. Le Chlore usuel est un mélange en proportions constantes de trois chlores à poids entiers 35, 37 et 39.

Cependant, compte tenu des isotopes, de légers écarts subsistent : comme ces écarts jouent le rôle essentiel dans la question de l'énergie des étoiles, nous allons en dresser un tableau précis, tout au moins pour les éléments légers jusqu'à l'Oxygène, qui seront les acteurs du drame. Les chimistes ont imposé comme point de départ, l'Oxygène O, et fixé $O = 16$. Avec cette base, le tableau I indique, calculés avec cinq décimales, les poids atomiques des éléments stables principaux les plus légers.

Ainsi l'Hydrogène n'a pas une masse entière : il y a des décimales. Remarquons en particulier que 4 atomes d'Hydrogène ont une masse totale $4H = 4,03252$; leur coalescence doit donner un atome d'Hélium $He = 4,00386$. On constate une différence de 0,00866 : une fraction assez importante, $1/141$, de la masse initiale a disparu.

C'est Langevin qui, en 1911, a expliqué l'écart en le comparant à la chaleur que dégage une réaction chimique : dans la mise en paquet de quatre atomes d'Hydrogène, c'est-à-dire dans l'édification d'un atome d'Hélium, une énergie énorme se dégage, dont la masse est précisément égale à l'écart constaté. On concevra l'énormité de l'énergie rayonnée au cours du processus si l'on se souvient que les réactions chimiques les plus violentes font perdre un milliardième de la masse totale des corps en présence — que les radioactivités naturelles fournissent une énergie équivalant à $1/5\ 000$ de la masse en jeu — tandis qu'ici $1/141$ de la masse considérée est annihilée.

Dès 1919, Jean Perrin avait indiqué que ces transmutations pourraient être la source de l'énergie stellaire : nous sommes en mesure aujourd'hui de confirmer entièrement cette prévision.

Mais comment les transmutations s'opèrent-elles dans la nature? Il est évidemment très improbable que quatre atomes d'Hydrogène (et *a fortiori* un plus grand nombre) s'entrechoquent simultanément avec une violence telle qu'ils se soudent, en un point précis de l'espace. Nous devons envisager une édification des éléments *moellon par moellon*. Que nous apprend à ce sujet le laboratoire?

L'agent le plus actif des synthèses est le neutron, de découverte récente. N'étant pas chargé, il fracture aisément tous les autres noyaux, qui ne le repoussent pas. Mais cette commodité même exclut le neutron des opérations de l'Astronomie, car en moins d'un millième de seconde tous les neutrons, s'il en existait au sein des étoiles, seraient absorbés : il en résulterait une flambée unique, un gigantesque feu d'artifice et tout serait fini (car les réactions qui redonnent des neutrons sont rares). L'émission régulière et constante des étoiles ne provient pas des neutrons.

Nos autres agents sont le proton (noyau d'Hydrogène) et la particule α (noyau d'Hélium). Au laboratoire, on bombarde les noyaux lourds avec ces noyaux légers, auxquels on

communiquent de grandes vitesses en les soumettant à de fortes tensions électriques — associées parfois à des champs magnétiques comme dans le *cyclotron*. Au sein des fournaies stellaires, ce sont les hautes températures seules qui communiquent à ces noyaux élémentaires des vitesses suffisantes pour réaliser des transmutations. Mais en ce domaine le laboratoire possède une supériorité écrasante sur l'étoile, car les tensions électriques sont autrement efficaces que la température. Une simple tension de 2 500 volts communique aux projectiles cités une énergie identique à celle qu'ils auraient (en moyenne) au centre du Soleil sous la température de 20 millions de degrés.

Or, nous utilisons des différences de potentiel de plusieurs millions de volts, qui équivalent à des températures que l'Astronomie ne réalise nulle part. Nous sommes donc bien placés pour juger avec autorité des opérations de cette nature que peut, ou ne peut pas, réaliser une étoile.

Les noyaux chargés positivement se repoussent entre eux. Pour triompher de la répulsion, un choc violent, de front entre noyaux plus rapides que la moyenne, est nécessaire. Mais la particule α possède une charge double de celle du proton : elle sera deux fois mieux repoussée. Une étude précise des collisions efficaces montre que le projectile actif sera le proton : la probabilité d'intervention des particules α est négligeable devant celle des protons.

Ainsi l'Hydrogène est le *combustible* des étoiles : tant qu'il en existera dans leur sein, il sera l'agent de transmutations énergiques. L'expérience montre qu'il peut fracturer tous les noyaux de la table 3 — à l'exception d'un seul, l'Hélium, qui une fois formé, apparaît invulnérable, indestructible. On pourrait comparer l'Hélium aux scories inutilisables de l'industrie : il constitue les cendres du foyer stellaire.

Cela étant, les données de laboratoire et les efforts d'une pléiade de chercheurs, parmi lesquels nous devons citer Gamov, Teller, Ström-gren, von Weizsäcker et Bethe, ont abouti à la reconstitution suivante des réactions à prévoir au sein d'une étoile, histoire dont la mise au point revient en définitive au professeur Bethe, de l'Université de Cornell (U. S. A.).

Histoire d'une étoile

Considérons un mélange quelconque de tous les éléments gazeux répandu dans un immense volume. Nous y supposons l'Hydrogène abondant. La température du milieu est basse : aucune réaction nucléaire ne s'y produit.

Mais la gravitation agit, concentre la matière et l'échauffe. L'astre commence à rayonner. Quand la contraction a amené la température centrale à $400\ 000^\circ$, les protons commencent à attaquer le deutérium et, presque en même temps, l'isotope de masse 3 de l'Hélium ${}^3_2\text{He}$ (I) suivant les réactions I et II de la figure 6.

(1) Rappelons que, dans cette notation, l'indice inférieur marque la charge électrique du noyau de l'atome (donc le nombre de protons qu'il contient, auquel correspond, dans l'atome neutre, un nombre égal d'électrons planétaires; c'est aussi le numéro atomique de l'élément, c'est-à-dire le numéro de la case occupée par l'élément dans la classifica-

Ces réactions dégagent de l'énergie et stoppent pour un temps la contraction puisqu'elles suffisent à alimenter le rayonnement. Le résidu est l'hélium ordinaire ${}^4_2\text{He}$.

Quand le deutérium et l'hélium 3 sont usés, la contraction reprend jusqu'à ce que la température centrale atteigne 2 millions de degrés. A ce moment, les protons attaquent le lithium ${}^7_3\text{Li}$ suivant la réaction III.

La destruction du lithium représente un palier dans la contraction.

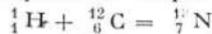
Puis, quand il a disparu, la contraction reprend : dès que la température atteint 3,5 millions de degrés, le glucinium ${}^9_4\text{Be}$ est attaqué à son tour (réaction IV) en produisant l'isotope 10 du Bore.

Après quoi, vers 5 et 9 millions de degrés respectivement, les Bores 10 et 11 sont attaqués (réactions V et VI).

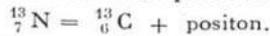
Ces diverses réactions s'observent au laboratoire et conduisent finalement à de l'hélium.

L'étoile aura pu vivre assez longtemps sur ces divers paliers. Néanmoins, ces éléments légers sont plutôt rares dans la nature : après leur disparition totale à l'intérieur de l'étoile, il reste encore beaucoup d'Hydrogène. La contraction va reprendre et porter la température à 15 millions de degrés. Là, va s'amorcer un cycle de réactions, le cycle de Bethe, qui constitue la clef de l'énergie stellaire. Nous allons voir s'élaborer un processus qui transforme en hélium tout le contenu en hydrogène des étoiles, processus capable d'expliquer pendant des milliards d'années, en qualité et en quantité, leur émission de lumière et de chaleur (fig. 7).

Le cycle comporte six étapes :



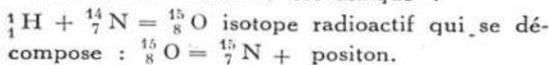
Le carbone est attaqué et donne le radio-azote. Ce dernier se décompose aussitôt :



Cette radioactivité artificielle, où apparaît l'isotope C_{13} , est l'une des mieux connues au laboratoire. On a observé aussi l'attaque du carbone C_{13} suivant la formule :

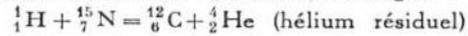


Puis l'azote ordinaire est attaqué :



tion périodique de Mendeleïef; l'indice supérieur indique le poids atomique de l'élément (donc le nombre total de protons et de neutrons formant son noyau).

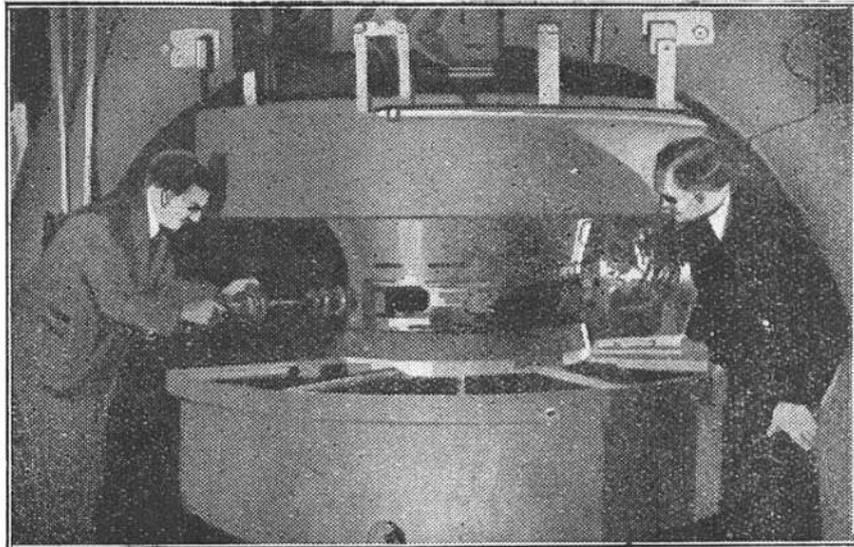
Enfin cet azote 15, soumis à l'assaut des protons, donne vers 18 millions de degrés :



Au bout de ces six étapes, nous retrouvons le Carbone ${}^{12}_6\text{C}$ initial et les 4 protons ${}^1_1\text{H}$ utilisés se sont finalement transformés en hélium. Le carbone retrouvé peut participer à autant de cycles qu'on voudra : il n'a servi que de catalyseur, pour ainsi dire, à la transformation essentielle :



Tant qu'une étoile contiendra de l'Hydrogène, nous savons que vers 18 millions de degrés, tout ce gaz sera peu à peu transformé



I W 25014

FIG. 5. — LE CYCLOTRON EST LE PLUS PUISSANT INSTRUMENT POUR LA TRANS-MUTATION DES ÉLÉMENTS AU LABORATOIRE

Voici le cyclotron de la Columbia University (Etats-Unis), capable de communiquer aux particules-projectiles, agents de transmutation, une énergie de 10 millions d'électron-volts.

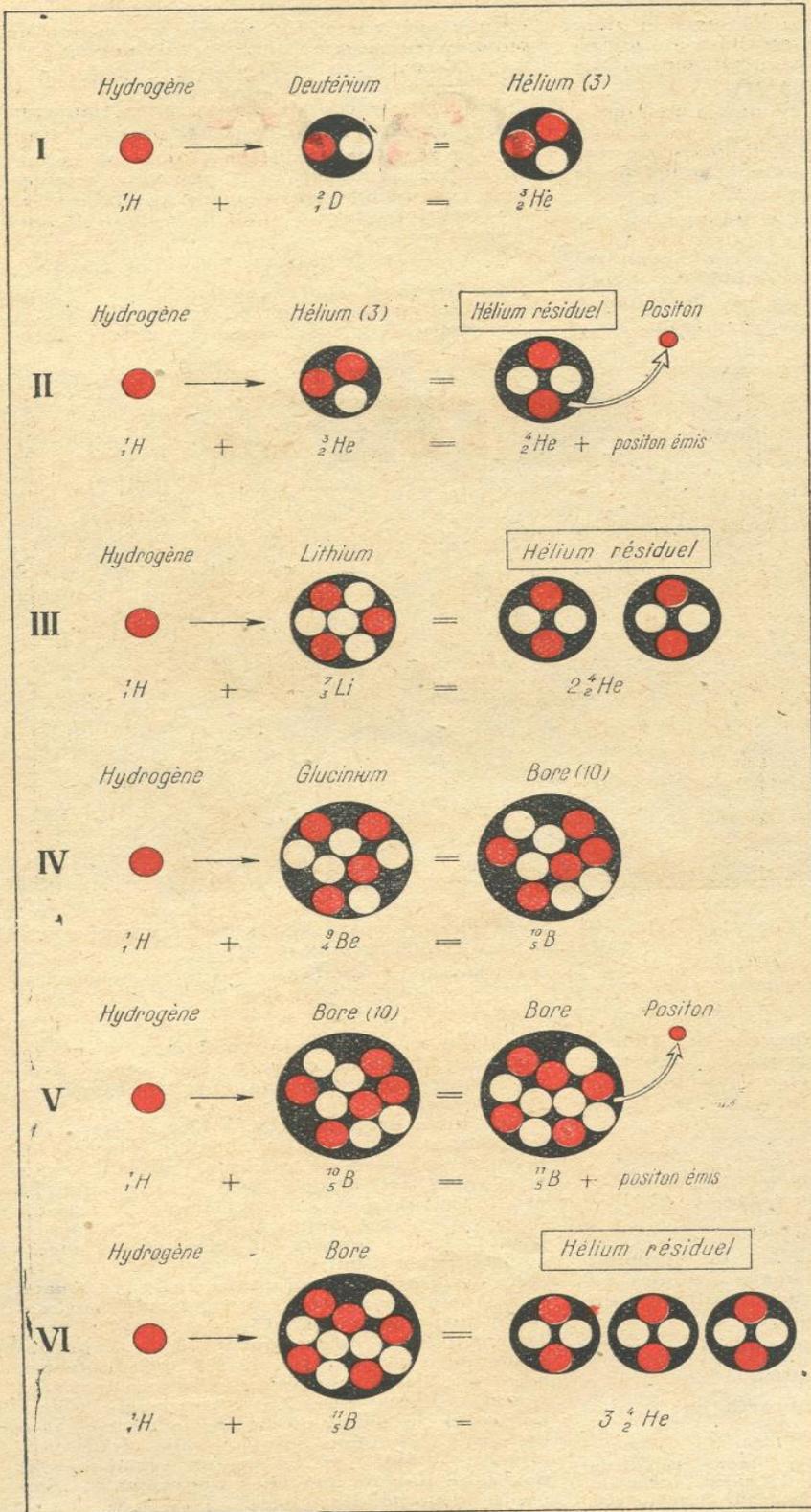
en hélium, en libérant par conséquent les quantités énormes d'énergie prévues : 1/141 de la masse d'Hydrogène sera transformée en rayonnement.

La durée moyenne du cycle et son bilan énergétique suffisent parfaitement bien à expliquer un passé de quelques milliards d'années pour les étoiles et à leur assurer un avenir satisfaisant, quoique limité : ainsi le Soleil, avec son contenu, 36 % d'Hydrogène, pourra briller encore 12 milliards d'années comme aujourd'hui.

Le cycle opère à une vitesse croissante quand la température s'élève : le rendement est centuplé quand la température croît de 15 % seulement. Ainsi s'expliquent les débauches d'énergie que font les étoiles très brillantes, sans que leurs températures centrales soient beaucoup plus élevées que celle du Soleil. La durée du palier qu'impose le cycle de Bethe dans l'évolution des étoiles (les étapes antérieures étant très brèves par comparaison) doit faire prévoir que nous trouverons là l'immense majorité des étoiles.

Or, la première partie de cet article a mon-

8



T W 25016

tre, d'une manière tout à fait indépendante et sans aucune considération d'énergie, que la série principale des étoiles présente des températures centrales de 15 à 30 millions de degrés (condition d'équilibre).

Dans la seconde partie, la Physique moderne, sans données astronomiques, fait prévoir qu'à partir de 15 millions de degrés (et de plus en plus vite quand la température s'élève) tout l'Hydrogène d'un mélange gazeux doit disparaître, se transformer en Hélium, en dégageant des torrents de rayons.

La concordance de ces deux résultats mérite un crédit total. Il n'est pas douteux que soit déchiffré le mystère fondamental de l'astronomie : nous comprenons désormais comment les étoiles fabriquent leur énergie. Au surplus, les développements théoriques fondés sur le cycle de Bethe ont déjà permis des prédictions nombreuses, qui se sont remarquablement vérifiées en pratique : en particulier connaissant la masse et le pourcentage en Hydrogène

FIG. 6. — LES RÉACTIONS NUCLÉAIRES QUI ALIMENTENT LES PREMIÈRES PHASES DE LA VIE D'UNE ÉTOILE

Les deux premières consistent en l'attaque du deutérium et d'un isotope de l'hélium vers 400 000°. La troisième porte sur le lithium vers 2 millions de degrés, la quatrième sur le glucinium vers 3,5 millions de degrés, la cinquième sur un isotope du bore vers 5 millions de degrés et la sixième sur le bore vers 9 millions de degrés. On voit que le terme final est toujours l'hélium, inerte. Sur cette figure, les noyaux atomiques ont été représentés schématiquement. Ils contiennent chacun un certain nombre de particules dont les unes, ici colorées en rouge, représentent les protons (leur nombre correspond aux indices inférieurs des formules) et les autres les neutrons. Le nombre total de ces particules correspond aux indices supérieurs.

d'une étoile, on sait maintenant calculer non seulement sa luminosité, mais aussi son rayon et sa température superficielle. Il apparaît d'ores et déjà que cette découverte est la plus remarquable de l'astrophysique, depuis les travaux initiaux d'Eddington (1924).

Qu'arrivera-t-il quand chaque étoile aura usé son stock d'Hydrogène, quand elle contiendra beaucoup d'Hélium mélangé à des éléments lourds?

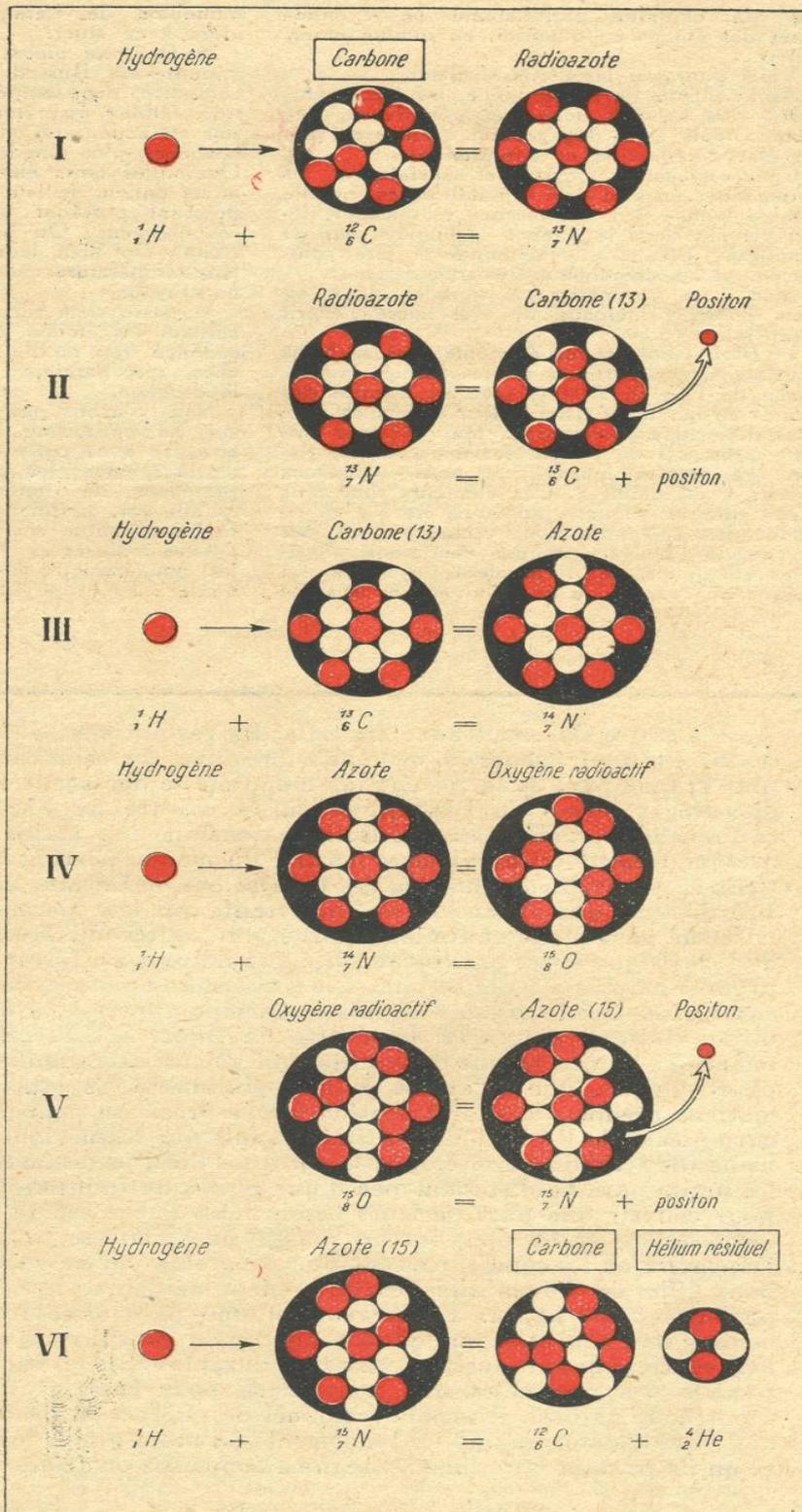
Autant que nous en puissions juger, il ne se passera plus rien. La contraction va reprendre, les températures croîtront, mais ne deviendront jamais suffisantes pour amorcer des réactions entre Hélium et éléments lourds. L'étoile tendra vite vers un état prodigieusement concentré, racorni et de débit énergétique de plus en plus faible : la matière y prendra un état singulier qu'on nomme *dégénéré*. L'astre sera une *naine blanche* ou, pire, une *naine noire*.

Conclusion

L'immense majorité des étoiles possède des températures centrales allant de 15 à 30 millions de degrés. A ces températures, leur Hydrogène, très abondant chez toutes, se transforme en Hélium au cours d'un cycle de réactions, dit cycle de Bethe. Ce cycle s'accompagne d'un dégagement d'éner-

FIG. 7. — LE CYCLE DE BETHE CAPABLE D'ALIMENTER PENDANT DES MILLIARDS D'ANNÉES LA VIE D'UNE ÉTOILE

Les six étapes de ce cycle se répètent jusqu'à transmutation complète de l'hydrogène en hélium, le carbone attaqué dans la réaction I reparaitissant indemne à la fin de la réaction VI. Il a été transformé successivement en radioazote, en un isotope du carbone, en azote ordinaire, en oxygène radioactif, en un isotope de l'azote, pour être restitué enfin identique à ce qu'il était au départ.



T W 25017

gie qui explique parfaitement le rayonnement des étoiles en quantité, en qualité et en durée.

Voilà pourquoi les étoiles brillent.

Après l'usure de l'Hydrogène, les étoiles tendront vers un état dégénéré, très dense, très chaud, mais sans dégagement d'énergie, vers un état d'extinction et de ténèbres.

Cette explication apparaît si satisfaisante, les vérifications en sont déjà si nombreuses, qu'elle semble bien — en son essence — installée définitivement dans la science. Toutefois, sur de nombreux points, elle demande à être complétée, et les chercheurs s'en réjouissent.

Voici, en particulier, à signaler deux ou trois points principaux où elle laisse l'esprit insatisfait.

1° *D'où viennent les éléments lourds?* Nous constatons, sur Terre et sur les étoiles, la présence de Fer, de Platine, etc... L'histoire des étoiles ne fait nulle place à leur édification. Au contraire, nous avons admis leur présence initiale : les 2/3 du Soleil, par exemple, consistent en atomes lourds que nous supposons exister « au début ». Ces éléments sont plus vieux que les étoiles, puisqu'ils ne s'y fabriquent pas. Il faudra donc rechercher un état ancien de l'Univers, et des conditions physiques adéquates, où ils auraient pu naître. La théorie de l'expansion de l'Univers, et le stade

monobloc de Lemaître, suggèrent quelques idées à ce sujet.

2° *De quoi vivent les géantes?* Sur le diagramme de Russell, la branche des géantes comporte des températures centrales faibles, trop faibles assurément pour que le cycle y soit en action. Or elles rayonnent beaucoup : beaucoup plus que le Soleil (Capella, Antares). Usent-elles leurs éléments légers, sur les premiers paliers de leur histoire? Mais alors, elles devaient posséder une quantité inusuelle de ces éléments? Ou bien leur naissance est récente? Ou bien leur modèle est trompeur et leur température centrale plus élevée que nous ne croyons?

Je passe sous silence d'autres énigmes concernant les étoiles les plus lumineuses, à décroissance trop rapide, ou certaines naines blanches, qui paraissent n'avoir pas épuisé leur Hydrogène.

Nous n'avons pas voulu terminer cet article sur un optimisme béat, mais nous pouvons attendre avec patience les futures explications de la science; les ombres au tableau sont la promesse de nouvelles découvertes. Telle qu'elle est, la mise en évidence du cycle de Bethe constitue un progrès extraordinaire, où l'Astronomie et la Physique ont des parts égales, qui témoigne de la vitalité de cette science mixte : l'Astrophysique. Paul COUDERC.

L'histoire du caoutchouc est celle des révolutions brutales : il y a 40 ans ce fut l'effondrement du monopole brésilien du caoutchouc de cueillette, la plus grande part de la production mondiale se déplaçant vers les terres prodigieusement riches de l'Insulinde où la culture de l'hévéa était entreprise rationnellement. En 1942, l'Insulinde tombait aux mains des Japonais et la presque totalité du caoutchouc naturel du monde échappait aux Anglo-Saxons. Ceux-ci ne disposent plus que des plantations de Ceylan, du Congo Belge et du Brésil, ainsi que de stocks très importants qui leur permettront d'attendre la mise sur pied d'une nouvelle industrie du caoutchouc. Mais les nations neutres de l'Amérique et les nations européennes doivent s'efforcer de suffire par leurs propres moyens à leurs besoins. Les précédents ne manquent pas pour une telle entreprise. L'Allemagne a depuis longtemps appris à se passer du caoutchouc d'importation grâce à la découverte du Buna. L'U.R.S.S. produit, en même temps que du caoutchouc de synthèse une gomme extraite du latex de kok-saghyz, plante du Caucase. D'autres plantes produisent un latex qui peut servir de matière première à la fabrication de la précieuse gomme ; le guayule et le curu-picahi de l'Amérique du Sud. Tandis que l'Amérique installe d'immenses usines de synthèse et développe les cultures brésiliennes, c'est au kok-saghyz que les petits pays ne disposant pas d'une puissante industrie chimique font appel pour couvrir une part de leurs besoins. La Suède espère arriver à un rendement de 300 kg/ha dans les 400 à 1 000 ha qu'elle se propose de cultiver. Au Danemark où les conditions sont plus favorables qu'en Suède, on espère obtenir dans l'île de Fünen des résultats bien meilleurs. Les plantations lettones produisent 800 kg/ha. En Argentine, une part assez faible il est vrai des besoins sera couverte par le kok-saghyz et le guayule. Ce nouveau déplacement des centres de production sera-t-il durable? Si le caoutchouc synthétique possède des propriétés qui le rendent, pour certains usages, supérieur au caoutchouc naturel, il semble rationnel de réserver la production de ce dernier aux pays équatoriaux où les rendements à l'hectare sont infiniment supérieurs à ce qu'ils peuvent être dans les régions tempérées ou froides du globe.

L'ÉVOLUTION RÉCENTE DE L'HÉLICE AÉRIENNE

par J. LEDROIT

Les progrès enregistrés ces dernières années par l'aviation ne sont pas dus seulement à l'emploi de moteurs plus puissants et suralimentés et à l'augmentation de la finesse des cellules. Une part importante des résultats obtenus revient sans conteste à l'organe propulseur lui-même, l'hélice, dont la forme et le fonctionnement ont fait, depuis d'ailleurs une douzaine d'années à peine, l'objet d'études très poussées et de réalisations des plus ingénieuses. L'hélice bipale en bois a fait place aux hélices tripales et quadripales en alliage léger ou en matière plastique. Aux pales fixes ont succédé les pales orientables en vol grâce auxquelles, à chaque instant, les conditions de fonctionnement de l'hélice s'adaptent à celles du moteur, conférant ainsi à l'ensemble du groupe motopropulseur le "maximum de souplesse en même temps que de rendement. Chef-d'œuvre de mécanique de précision et d'équilibrage, l'hélice à pas variable automatique fait aujourd'hui partie intégrante de l'équipement de l'avion moderne à performances élevées au même titre que le compresseur à plusieurs vitesses, le train d'atterrissage escamotable et les dispositifs hypersustentateurs.

UNE hélice comprend deux, trois ou quelquefois quatre pales, qui en sont les éléments actifs et qui sont réunies par un moyeu. Ce dernier assure la liaison avec l'arbre moteur, généralement par un intermédiaire cinématique important, mais dont nous ne parlerons pas ici : le réducteur.

Le calage et le pas d'une pale d'hélice

La figure 1 représente schématiquement une pale d'hélice et les sections de cette pale par une série de plans perpendiculaires à l'axe de la pale (1). On remarquera tout de suite que ces sections droites ont toutes des allures différentes, variant d'une manière continue depuis le pied de la pale jusqu'à son extrémité. Leur forme est celle d'un profil d'aile. Leur orientation est définie par l'angle que fait la corde de référence de ce profil avec le plan de l'hélice, angle qui a reçu le nom de *calage*. On voit sur la figure 1 que ce *calage* varie tout le long de la pale, allant en décroissant depuis le pied jusqu'à l'extrémité.

Si l'on considère une section particulière de la pale, définie par sa distance à l'axe de l'hélice et son calage, on met facilement en évidence un des éléments d'importance primordiale liés à cette section : son *pas*. C'est celui de l'hélice géométrique qui aurait même axe que l'hélice considérée et serait tangente à la section considérée, donc serait caractérisée par un angle précisément égal au calage. C'est en somme le pas du filet de vis suivant lequel le profil en question se visserait dans l'air en supposant celui-ci aussi résistant qu'un bloc de bois où pénètre une vis. On voit donc que ce pas, comme tout à l'heure le calage, varie tout le long de la pale, suivant une loi d'ail-

(1) Cet axe peut se définir comme étant, pour les hélices à pas variable (voir plus loin), l'axe de rotation de la pale elle-même; pour les hélices à pas fixe, une droite voisine du lieu géométrique des centres de gravité des différentes sections droites.

leurs différente de celle que suit le calage, car il dépend non seulement du calage, mais aussi de la distance du profil considéré à l'axe de l'hélice.

Cette variation du pas quand on passe d'une section à une autre d'une même hélice n'apparaît pas dans l'expression assez impropre d'hélice « à pas fixe », qui désigne à proprement parler une hélice à *calage fixe* et non une hélice dont le pas serait constant tout le long de la pale. Le qualificatif d'hélice « à pas variable » désigne, dans le langage courant, une hélice dont le calage des différentes sections peut être modifié en vol par un mécanisme approprié. Nous en verrons de nombreux exemples plus loin. L'intérêt de cette catégorie d'hélice est mis en évidence par l'analyse du comportement d'une pale que nous allons maintenant exposer, non rigoureusement, car la théorie du fonctionnement de l'hélice est compliquée et fait appel à un appareil mathématique important qui ne saurait trouver sa place ici, mais en raisonnant par analogie avec les phénomènes aérodynamiques autour d'un profil d'aile classique.

Le principe du fonctionnement d'une hélice

Prenons, en premier lieu (fig. 2), une aile d'avion vue de profil et supposée, pour simplifier, illimitée. Sa corde de référence AB est inclinée de l'angle i sur la direction générale du mouvement de l'aile, marquée par la vitesse V . L'ensemble des actions de l'air sur cette aile équivaut à une force que l'on décompose aisément en deux : une horizontale opposée à la direction du mouvement, et dite *traînée*, l'autre verticale, et dite *portance*. La *traînée* est équilibrée en vol horizontal par la traction du groupe motopropulseur; elle caractérise la résistance du planeur à l'avancement, d'où son nom. La portance équilibre le poids et assure ainsi la sustentation de l'ensemble, d'où également son nom.

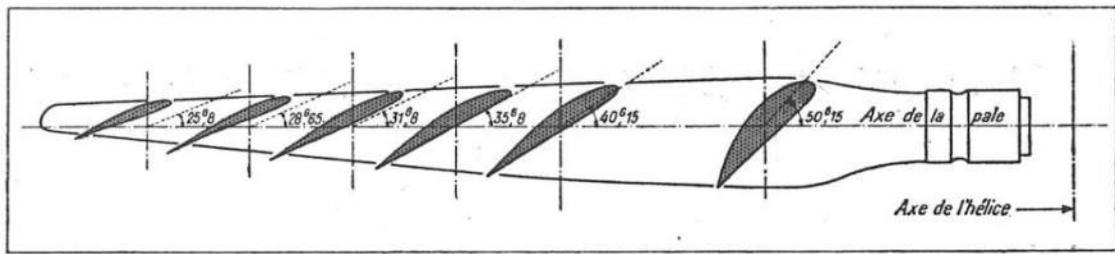


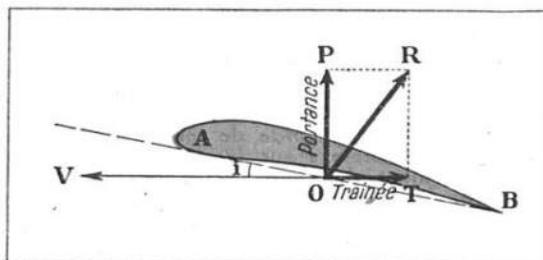
FIG. 1. — UNE PALE D'HÉLICE ET SES DIFFÉRENTS PROFILS

T W 25024

Il s'agit ici d'une pale d'hélice tripale Ratier de 2,30 m de diamètre, à pas variable. Les sections ont été faites par des plans perpendiculaires à l'axe de la pale et rabattues sur le plan de l'hélice, de manière que les bords d'attaque soient tournés vers le pied de la pale. Les angles indiquent les « calages » des différents profils; on voit qu'ils vont en décroissant depuis le pied de la pale jusqu'à l'extrémité.

Revenons maintenant à la pale d'hélice et isolons-en une tranche limitée par des sections très voisines, suffisamment rapprochées pour qu'on puisse admettre que le calage ne varie pas sensiblement d'une section à l'autre. Malgré l'extrême petitesse de son envergure, nous assimilerons ce petit tronçon de pale à une aile. Sa vitesse par rapport à l'air ambiant résulte de la composition de la vitesse générale de translation de l'avion V (fig. 3) et de la vitesse de rotation v , d'autant plus grande que ce tronçon de pale est plus éloigné du moyeu. La résultante de ces deux vitesses est figurée en OW , de sorte que l'on voit apparaître l'incidence comme la différence entre le calage α et un angle β qui ne dépend que du rapport des deux vitesses d'entraînement et de rotation. Pour une valeur donnée de ce rapport, on voit que l'incidence varie exactement comme le calage. C'est là une remarque essentielle et qui a d'importantes conséquences.

Pour un avion de chasse courant, la vitesse V est de l'ordre de 180 m/s (540 km/h). Supposons que l'hélice tourne à 40 tours par seconde (2400 t/mn). A une distance de l'axe égale à 1,50 m, W a pour valeur 360 m/s et β est de l'ordre de 26° ; à 1 m de l'axe, on trouve respectivement 240 m/s et 37° ; à 0,5 m, on a de même 120 m/s et 56° . Le calage de chaque section s'obtient en ajoutant, à chacun de ces angles, l'incidence la plus favorable, compte tenu de la forme du profil et de la vitesse résultante W qui lui correspond. On voit que ce calage doit varier très fortement depuis le moyeu jusqu'à l'extrémité de la pale.



T W 25020

FIG. 2. — LA « PORTANCE » ET LA « TRAINÉE » D'UN PROFIL D'AILE

Le profil AB est incliné de l'angle α (incidence) sur la direction de la vitesse V . Les forces aérodynamiques résultantes sont équivalentes à OT et OP : la trainée qui s'oppose au mouvement, et la portance qui assure la sustentation.

Sur la figure 3, nous pourrions marquer, comme sur la figure 2 la résultante R , des efforts aérodynamiques qui s'exercent sur le tronçon de pale. Nous la décomposerons ici suivant les deux forces composantes T_1 , dans la direction du vol, et N_1 , dans le plan de l'hélice normalement à la pale. T_1 caractérise la « traction » de l'élément de pale. N_1 s'exerçant à une distance de l'axe de l'hélice égale à celle de l'élément de pale se traduit par un couple élémentaire C_1 . Les valeurs de C_1 et T_1 , pour une même vitesse de vol et une même vitesse de rotation de l'hélice varient avec l'incidence, donc, comme nous l'avons vu, avec le calage.

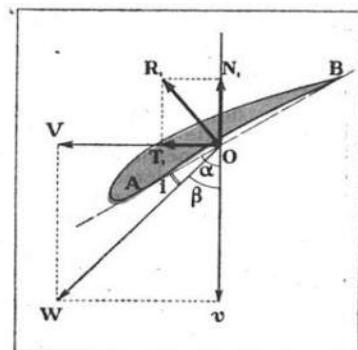
En faisant la somme de toutes les tractions élémentaires, telles que T_1 , et de tous les couples élémentaires tels que C_1 correspondant aux différents tronçons de la pale, nous voyons qu'en définitive l'hélice, par sa rotation, fait apparaître un effort de traction T , somme de tous les efforts T_1 , qui ne sera maintenu qu'à condition d'assurer, par le moteur, la permanence d'un couple C , somme de tous les couples C_1 . Toutes choses égales d'ailleurs, les valeurs de la traction et du couple moteur sont fonction du calage de la pale, remarque qui met déjà en évidence l'intérêt du pas variable, notion que nous allons préciser.

La nécessité du « pas variable » sur les avions modernes

Portons notre attention sur la puissance utile.

FIG. 3. — LA « TRACTION » ET LE « COUPLE RÉ-SISTANT » D'UN ÉLÉMENT DE PALE

Le mouvement de l'élément de pale AB est défini par les deux vitesses : V (d'entraînement) et v (de rotation), qui se composent en W . L'incidence apparaît ainsi en α et le « calage » en β .



T W 25019

Les actions aérodynamiques équivalent à OT , et ON , : traction de l'élément de pale et effort résistant, lequel, s'exerçant à une certaine distance de l'axe de rotation de l'hélice, engendre le couple résistant à vaincre par le moteur.

Elle est égale au produit de l'effort de traction par la vitesse de translation. On voit, puisque cet effort de traction dépend du calage, que toute modification de ce dernier aura une répercussion sur la puissance utile.

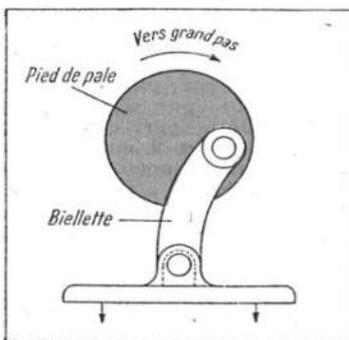
On sait que, jusque vers 1928-1930, les avions en service avaient un faible « écart de vitesse ». Autrement dit, la vitesse maximum en palier, à plein gaz, restait toujours du même ordre de grandeur que la vitesse minimum compatible avec la sustentation. Par exemple, un avion courant avait une vitesse maximum de 180 km/h et une vitesse minimum de 100 km/h.

Au fur et à mesure que les performances s'amélioraient, on a vu apparaître des écarts considérables, tels que la vitesse maximum en palier à pleins gaz et la vitesse minimum avaient des ordres de grandeur nettement différents : aujourd'hui, la vitesse d'un avion de chasse normal peut dépasser 650 km/h, alors que sa vitesse minimum, celle avec laquelle il doit atterrir, n'excède pas 130 km/h. Dans ces conditions, comment va se comporter une hélice à pas fixe? Elle est évidemment calculée pour donner à l'avion la vitesse maximum en vol horizontal à l'altitude d'utilisation. Lorsque la vitesse est faible (au décollage par exemple), on voit, en se reportant à la figure 3, que, d'une part, la vitesse relative de la pale par rapport à l'air diminue et surtout que l'angle d'incidence s'accroît considérablement. Il en résulte une diminution de l'effort de traction et une augmentation du couple de l'hélice. Le moteur ainsi freiné, la vitesse de rotation s'abaisse et le moteur ne peut plus donner sa puissance nominale. L'hélice à pas fixe ne permet donc pas de maintenir le moteur dans ses conditions de fonctionnement nominal. Pour retrouver le régime maximum, il faut réduire le freinage de l'hélice, donc diminuer l'incidence des pales en modifiant leur calage dans le sens d'une diminution du pas (1).

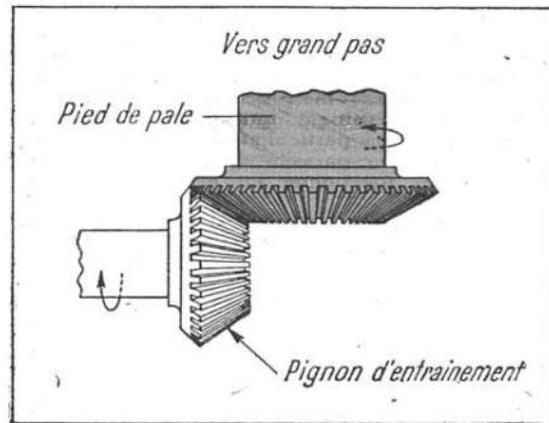
L'hélice à pas variable apparaît donc, sur les avions modernes, comme une véritable nécessité, au même titre que les trains d'atterrissage escamotables et les dispositifs hypersustentateurs.

Les avantages qui découlent de son emploi sont considérables. L'emploi d'un pas réduit au décollage, permettant un effort de traction

(1) Il faudrait, en toute rigueur, modifier non seulement le calage, mais aussi les divers profils des pales et même leur longueur, ce qui est évidemment impraticable. En pratique, l'amélioration du rendement obtenue par une rotation d'ensemble de la pale modifiant tous les calages de la même valeur est considérée comme très suffisante. Cependant, on peut observer que l'obligation d'avoir un diamètre fixe conduit à une adaptation généralement assez mauvaise au décollage (rendement 40 % au lieu de 80 % en « croisière »).



T W 25031
FIG. 4. — SCHÉMA DE PRINCIPE DE LA COMMANDE D'UNE PALE PAR BIELLETTE



T W 25022

FIG. 5. — SCHÉMA DE PRINCIPE D'UNE COMMANDE DE PALE PAR PIGNONS CONIQUES

plus grand, abrège la durée de décollage, autorise les pistes de longueur réduite, et en même temps une charge emportée plus élevée, donc, si ce supplément de charge est reporté sur le combustible, une augmentation du rayon d'action.

La variation continue du pas, permettant l'adaptation de l'hélice à tous les régimes de vol, conduit à des vitesses en palier plus élevées aux différentes altitudes et à une diminution du temps de montée à une altitude donnée par suite de l'augmentation de la vitesse ascendante.

L'évolution des hélices

Les premières hélices, évidemment à pas fixe, furent construites en bois. Une hélice en bois était constituée par un assemblage de lames de 20 mm d'épaisseur moyenne, empilées dans des plans perpendiculaires à l'axe et collées entre elles. Le bord d'attaque était généralement blindé par un revêtement de cuivre ou de duralumin, destiné à protéger l'hélice contre toutes projections (surtout les gouttes de pluie). L'hélice était la plupart du temps monobloc, et le moyeu consistait simplement en deux flasques. Ces hélices sont de moins en moins utilisées. Signalons toutefois que seules les hélices bipales en bois peuvent être montées sur certains avions-école (Morane-Saulnier 230) destinés à la voltige aérienne, les hélices métalliques bipales ayant donné lieu à des vibrations.

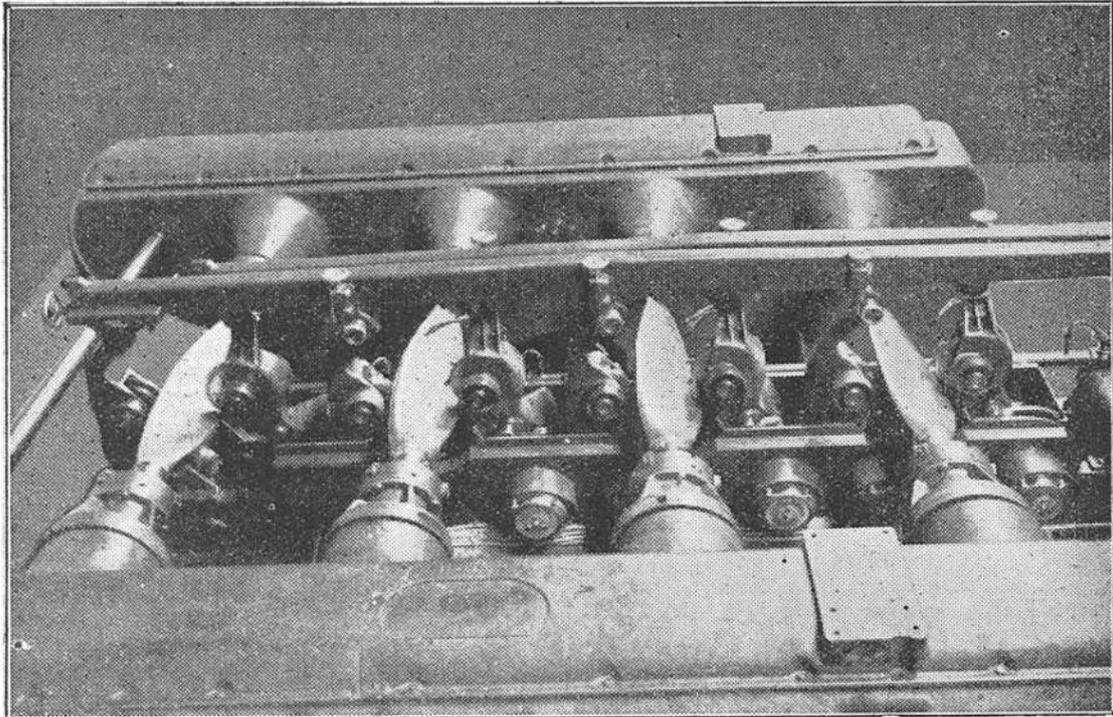
En vue d'assurer une plus grande résistance aux hélices, on les construisit ensuite en métal, généralement en duralumin. Les avantages essentiels du métal sont bien connus : homogénéité, résistance mécanique, résistance à l'usure. Le magnésium est encore assez peu utilisé, car il est assez difficile à obtenir sous une forme parfaitement homogène. De plus, il est très sensible à la corrosion marine et par suite peut difficilement être employé dans l'aéronautique maritime.

Il y a environ une douzaine d'années, les premières hélices à pas variable faisaient leur apparition. Elles comportaient deux positions de pales : un petit pas pour le décollage, et un grand pas pour le régime de croisière.

Très rapidement, on rendit réalisable la mise « en drapeau », c'est-à-dire l'orientation de la

pale dans le lit du vent, bord d'attaque en avant; cette disposition offre l'avantage que, lorsqu'on a en vol une avarie sur le moteur, elle entraîne son arrêt immédiat (1). Outre qu'on évite ainsi, dans bien des cas, de rendre le moteur définitivement inutilisable (par défaut de graissage, en particulier), on supprime l'importante traînée parasite due à la rotation de l'hélice qui fonctionne en effet alors comme

le moyeu et y sont centrées soigneusement par différents procédés. Nous n'entrerons pas dans ces détails de construction et dirons seulement que les divers dispositifs adoptés par les constructeurs d'hélices ont pour but d'assurer un centrage géométrique satisfaisant, de résister à la traction, à la torsion due à la force centrifuge, ainsi qu'à la flexion de la pale et enfin de donner des couples résistants minimes lors



T W 25034

FIG. 6. — LA MACHINE RATIER POUR TAILLER LES PALES D'HÉLICES

Les trois pales à tailler et la pale modèle (à gauche) sont montées sur des axes autour desquels elles pivotent en synchronisme. Un disque « palpeur » suit le profil du modèle et ses mouvements sont reproduits par les trois fraises qui amènent les pales au profil désiré. Cette machine pèse 36 tonnes et est capable d'usiner en trois heures les trois pales d'une hélice de 3 m de diamètre.

frein. Il faut remarquer, à cet égard, que sur un grand nombre de bimoteurs modernes, le vol sur un moteur n'est possible qu'après la mise en drapeau de l'hélice correspondant au moteur stoppé.

On a ensuite cherché à rendre continue l'adaptation de l'hélice au moteur : car c'est là tout le problème. C'est ainsi qu'on a construit les hélices à variation continue de pas, réglables en vol, au gré du pilote : ce fut l'ère du « manuel » ; ce réglage s'effectue d'ailleurs très facilement, par tâtonnements ou, mieux, par approximations successives.

Enfin, et c'est l'ère actuelle de l'automatique, on est arrivé à obtenir des hélices dont le pas s'établit de lui-même à la valeur optimum, correspondant à chaque régime de vol.

Principe général des hélices à pas variable

Dans toute hélice à pas variable, les pales sont ancrées dans des logements ménagés dans

(1) Sans qu'il soit nécessaire d'utiliser un frein d'hélice.

de la manœuvre de changement de pas.

En principe, la rotation de la pale sur elle-même est assurée par une commande actionnée par un système moteur.

Les systèmes de commande les plus employés sont les suivants : commande par bielle (Rotol, Escher-Wyss, Ratier), par pignons coniques (Hydromatic-Hamilton), par vis sans fin (Gnome, Chauvière, Ratier), par crémaillère (Ratier). Les figures 4, 5, 8 et 9 en donnent les principes. Les mécanismes moteurs se rangent en trois grandes catégories : mécaniques, hydrauliques et électriques. Parmi les premiers, nous citerons les hélices Gnome, Chauvière; parmi les seconds, l'Hydromatic-Hamilton. Enfin, on sait que le nom de Ratier est lié au progrès des hélices électriques, dont le mécanisme est commandé par un moteur qui peut être fixe ou, au contraire, participer à la rotation de l'hélice.

Les hélices à commande mécanique

C'est le moteur lui-même qui fournit l'énergie nécessaire pour faire tourner les pales au-

tour de leur axe. Cela est obtenu d'une manière très simple en pratique, en utilisant le mouvement relatif entre le carter du moteur et l'arbre du moteur. Il suffit d'installer un embrayage entre le carter immobile et le dispositif de commande des pales pour provoquer à volonté le mouvement de ce dernier, qui à son tour, par l'intermédiaire de l'un quelconque des systèmes de commande précédemment

de l'huile sous pression se fait par des canalisations ménagées dans l'arbre moteur. Suivant les réalisations, c'est tantôt le cylindre et tantôt le piston qui sont mobiles; la commande peut aussi être à simple effet ou à double effet. Dans le premier cas, la pression d'huile provoque la rotation dans un sens, celui du grand pas par exemple, le rappel dans l'autre sens étant produit en général par la force centrifuge. Ce type

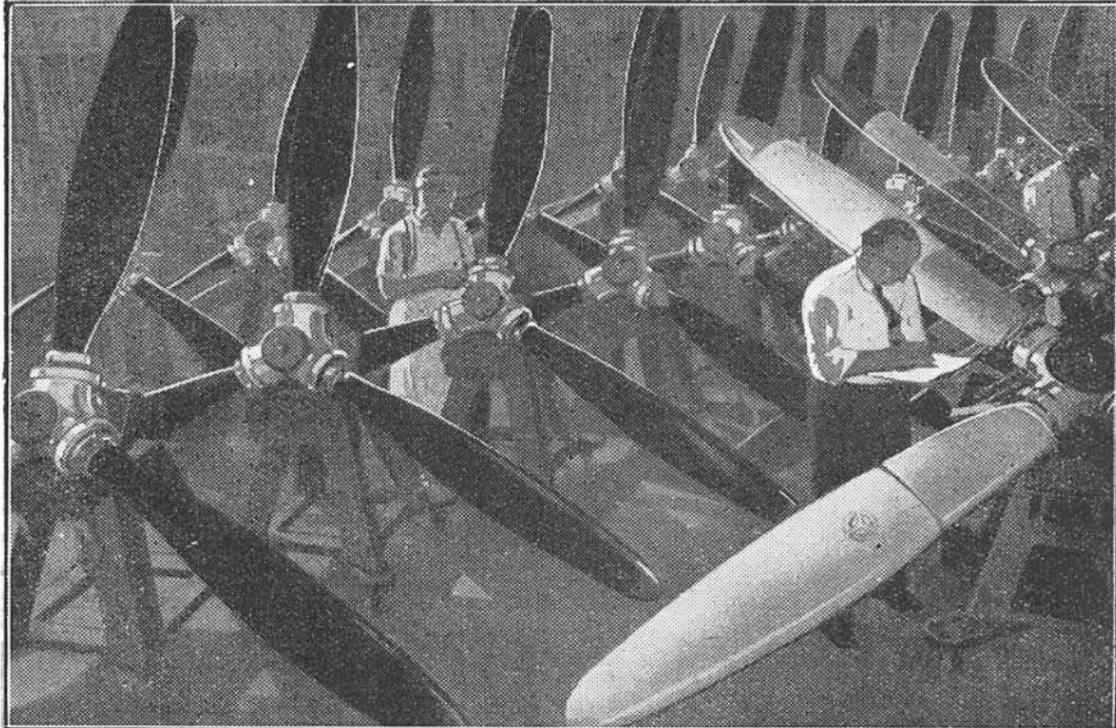


FIG. 7. — L'USINE SPÉCIALISÉE DANS LA FABRICATION DES HÉLICES CURTISS A PAS VARIABLE A CLIFTON (NEW JERSEY, ÉTATS-UNIS)

On voit ici les hélices tripales destinées aux chasseurs Curtiss P-40 « Tomahawk » et « Kittyhawk » et à droite les hélices quadripales destinées aux bombardiers bimoteurs Martin B-26 « Marauder ».

indiqués et avec une démultiplication convenable, agira sur les pales.

La commande de l'embrayage peut s'effectuer à la main à la rigueur, mais plus souvent en faisant appel à des coupleurs pneumatiques ou électromagnétiques.

La figure 10 montre précisément le principe d'un de ces coupleurs électromagnétiques (Chauvière), réalisation particulièrement intéressante, car elle unit aux qualités de la commande mécanique (aucune consommation d'énergie de servitude) la plupart des avantages des hélices électriques, sans en présenter les inconvénients. Ce système est également susceptible de fonctionner en automatique, moyennant l'asservissement à un régulateur.

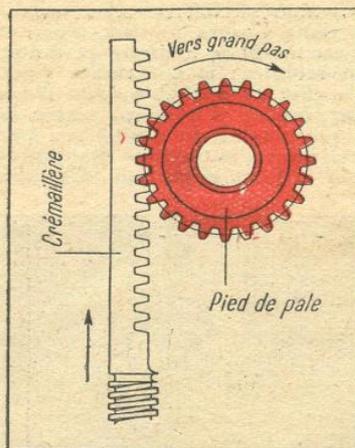
Les hélices à commande hydraulique

Comme la commande mécanique, la commande hydraulique n'entraîne aucune consommation d'énergie de servitude. Le mécanisme est très robuste, puisqu'il comporte seulement en principe un cylindre et un piston, ayant tous deux pour axe l'axe de l'hélice. L'arrivée

d'hélices ne comporte que deux positions définies par des butées et correspondant au petit pas et au grand pas. Au contraire, les hélices double effet permettent un réglage continu. Tel est le cas de l'hélice Hamilton double effet, dite Hydromatic que représente la figure 11. Le dispositif de commande est absolument analogue à celui d'un stylographe à plume rentrante. On voit de plus, dans ce système, que l'ampleur de la rotation de la pale ne dépend que de la longueur du chemin de roulement oblique où se déplacent les galets liés au piston. On conçoit donc qu'il soit possible d'atteindre facilement la mise en « drapeau », résultat qui ne peut être obtenu sur les hélices hydrauliques simple effet qu'avec une installation auxiliaire lourde et encombrante. Enfin, les hélices double effet se prêtent admirablement à la régulation automatique.

Les hélices à commande électrique

Comme il fallait s'y attendre, les constructeurs ne se sont pas fait faute d'utiliser l'incom



T W 25033

FIG. 8. — SCHÉMA DE PRINCIPE D'UNE COMMANDE DE PALE PAR CRÉMAILLÈRE

ment indépendant du moteur. Par ailleurs, la régulation automatique de telles hélices est facile, en même temps que leur mise en drapeau. D'une manière générale, il est facile d'immobiliser les pales dans une position quelconque. Enfin, les hélices électriques présentent une grande souplesse de fonctionnement. La rançon obligatoire de ces avantages se paie par une grande fragilité des mécanismes électriques soumis aux efforts centrifuges, d'une part, et, d'autre part, par la dépense de courant très importante (1) qu'entraînent les grandes vitesses de variation de pas.

Les réalisations d'hélices électriques sont variées. On peut toutefois distinguer deux grandes catégories : les hélices à moteur mobile, placé en bout d'arbre et entraîné par l'hélice dans son mouvement de rotation, auquel le courant doit être envoyé par l'intermédiaire d'un collecteur ; et les hélices à moteur fixe, installé sur le châssis au voisinage de l'arbre moteur.

Dans les deux cas, le principe est le même : le moteur transmet son mouvement de rotation aux pieds de pales par l'intermédiaire d'un réducteur. Étant donnée la vitesse de rotation élevée du moteur électrique, on conçoit que la réalisation de ce réducteur soulève des problèmes délicats. Le taux de démultiplication varie en général entre $1/30\ 000$ et $1/100\ 000$ (c'est-à-dire 100 000 tours de moteur pour un tour complet de la pale), de sorte qu'il est difficile de donner au réducteur un rendement élevé. Le mécanisme doit être irréversible pratiquement de manière que les efforts agissant sur les pales

(1) Le circuit électrique de bord fonctionne, ne l'oublions pas, sous une tension continue de 24 volts. L'utilisation du 110 volts alternatif est à peine en cours d'étude.

ne puissent faire varier leur incidence. En général, pour simplifier la manœuvre, un certain nombre de rupteurs automatiques sont prévus pour arrêter automatiquement les pales au petit pas (pour le décollage), au grand pas (pour le vol de croisière), à l'incidence de montée ou à la position drapeau (moteur arrêté).

Pendant longtemps, on a utilisé uniquement des hélices à moteur tournant, moteur à deux sens de rotation (vers grand pas et vers petit pas), exigeant dans leur construction des précautions spéciales du fait de la force centrifuge. L'axe du moteur étant confondu avec celui de l'hélice, lorsque les sens de rotation sont les mêmes, les enroulements se trouvent soumis à des efforts centrifuges considérables et doivent être renforcés, et soigneusement équilibrés, ainsi que les pièces polaires.

Ces avantages sont d'ailleurs nombreux. Tout d'abord l'emprunt d'une énergie de servitude à une batterie rend le fonctionne-

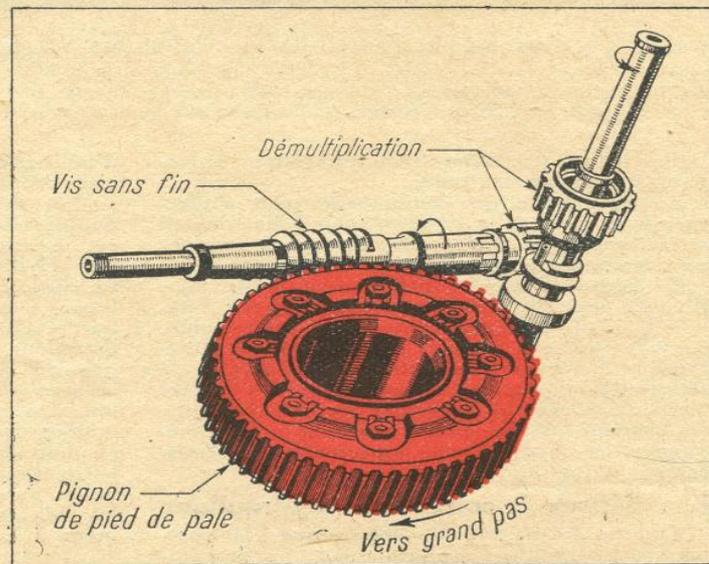
ment indépendant du moteur. Par ailleurs, la régulation automatique de telles hélices est facile, en même temps que leur mise en drapeau. D'une manière générale, il est facile d'immobiliser les pales dans une position quelconque. Enfin, les hélices électriques présentent une grande souplesse de fonctionnement. La rançon obligatoire de ces avantages se paie par une grande fragilité des mécanismes électriques soumis aux efforts centrifuges, d'une part, et, d'autre part, par la dépense de courant très importante (1) qu'entraînent les grandes vitesses de variation de pas.

Les réalisations d'hélices électriques sont variées. On peut toutefois distinguer deux grandes catégories : les hélices à moteur mobile, placé en bout d'arbre et entraîné par l'hélice dans son mouvement de rotation, auquel le courant doit être envoyé par l'intermédiaire d'un collecteur ; et les hélices à moteur fixe, installé sur le châssis au voisinage de l'arbre moteur.

Dans les deux cas, le principe est le même : le moteur transmet son mouvement de rotation aux pieds de pales par l'intermédiaire d'un réducteur. Étant donnée la vitesse de rotation élevée du moteur électrique, on conçoit que la réalisation de ce réducteur soulève des problèmes délicats. Le taux de démultiplication varie en général entre $1/30\ 000$ et $1/100\ 000$ (c'est-à-dire 100 000 tours de moteur pour un tour complet de la pale), de sorte qu'il est difficile de donner au réducteur un rendement élevé. Le mécanisme doit être irréversible pratiquement de manière que les efforts agissant sur les pales

La régulation automatique

A chaque régime de vol correspond, comme nous l'avons vu, une incidence optimum des pales, et c'est le rôle d'un organe important, le régulateur, dont sont munies les hélices les plus perfectionnées, d'assurer à chaque instant la position correcte des pales, sans que le pilote ait à intervenir. Les régulateurs sont le plus généralement du type centrifuge et agissent par l'intermédiaire de relais sur l'organe de commande de variation de pas. Si la vitesse a tendance à augmenter, le régulateur tend à ac-

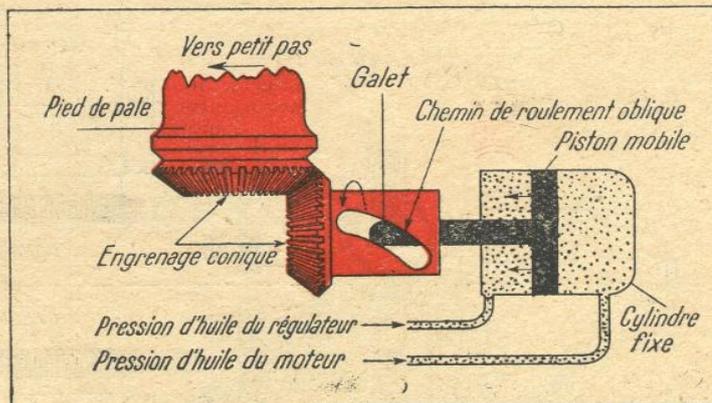


T W 25029

FIG. 9. — EXEMPLE D'UNE COMMANDE DE PALE PAR VIS SANS FIN (GNOME)

croître le pas; si la vitesse a tendance à diminuer, le régulateur tend à réduire le pas (1). Le moteur est ainsi maintenu à un régime de rotation constant, sans être influencé par les variations de vitesse de l'avion. Libéré de la sujétion d'accélération brutales, il aura un fonctionnement plus souple et, en définitive, sa longévité sera accrue. D'autre part, si la vitesse de rotation est judicieusement choisie, le moteur fonctionnera à chaque instant dans les conditions optima d'endurance et de consommation pour la puissance qui lui est demandée.

On aperçoit donc immédiatement toute l'importance, non seulement de la présence d'un régulateur d'hélice, mais surtout de sa liaison avec l'organe de commande du moteur (admission). C'est pourquoi on a essayé de réaliser ce qu'on appelle la commande unique, en asservissant le régulateur d'hélice à la manette des gaz. Cette réalisation n'est d'ailleurs pas encore parfaitement au point. Il semble que

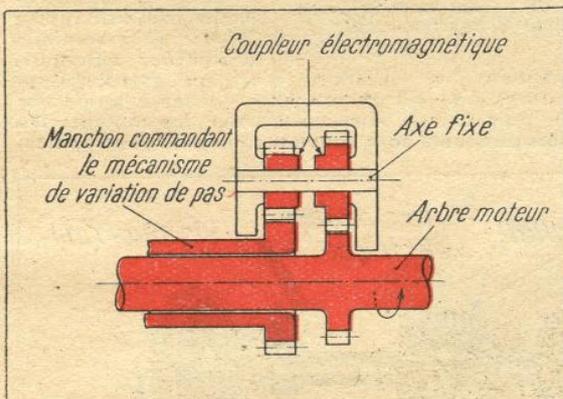


T W 25025

FIG. 11. — SCHÉMA DE PRINCIPE DE LA COMMANDE HYDRAULIQUE DE VARIATION DE PAS

Il s'agit ici d'une commande à double effet (Hydromatic-Hamilton). Le déplacement du piston provoque la rotation du pignon, le galet se déplaçant dans le chemin de roulement prévu pour lui. Il suffit de donner à ce chemin de roulement une longueur convenable pour atteindre sans difficulté la mise en drapeau.

son intérêt se borne actuellement à la suppression d'une commande au poste de pilotage (ce qui n'est pas, sur un avion moderne, un avantage à dédaigner). Il est néanmoins certain que ce dispositif mérite une attention particulière. En effet, la régulation du propulseur et l'admission des gaz sont deux variables dont dépend en définitive la puissance utile. Si on laisse ces variables indépendantes, une puissance déterminée correspondra à tout un domaine de valeurs possibles pour ces variables, entre lesquelles le pilote n'aura guère le loisir de faire un choix judicieux. Au contraire, si on établit au préalable, par la commande unique, une relation entre ces deux variables, le pilote, en agissant sur la seule admission, réglera du même coup son régulateur au fonctionnement optimum. Bornons-nous à indiquer que cette relation entre les deux variables est encore empirique, et qu'elle demande à être précisée.

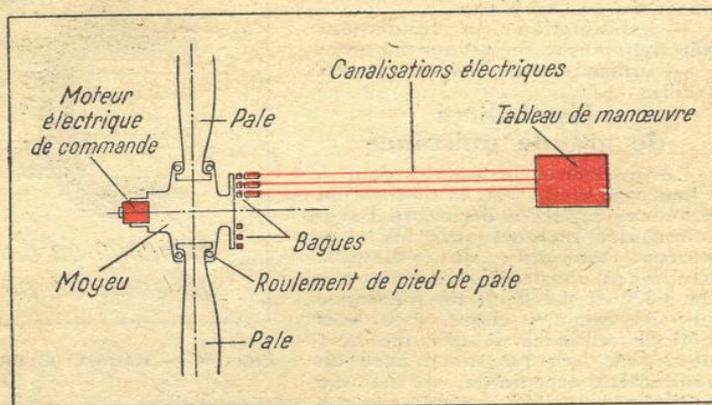


T W 25028

FIG. 10. — SCHÉMA D'UN COUPLEUR ÉLECTROMAGNÉTIQUE (CHAUVIÈRE)

Lorsque le coupleur est excité, rendant solidaires les deux pignons fous montés sur l'axe fixe, la rotation de l'arbre moteur provoque une rotation par rapport à lui-même du manchon commandant le mécanisme de variation de pas. Quand le coupleur est au repos, arbre moteur et manchon tournent à la même vitesse.

(1) Alors que les régulateurs courants des machines motrices ont pour mission de maintenir la vitesse constante en faisant varier la puissance fournie à chaque instant pour l'adapter à l'effort demandé, les régulateurs d'hélices maintiennent la vitesse constante, ainsi que la puissance, en faisant varier l'effort demandé (c'est-à-dire en augmentant ou diminuant le couple résistant par la variation d'incidence des pales).



T W 25021

FIG. 12. — PRINCIPE DE LA COMMANDE ÉLECTRIQUE D'UNE HELICE A PAS VARIABLE A MOTEUR MOBILE

Le moteur électrique est ici placé au bout d'arbre et suit le mouvement de rotation de l'hélice.

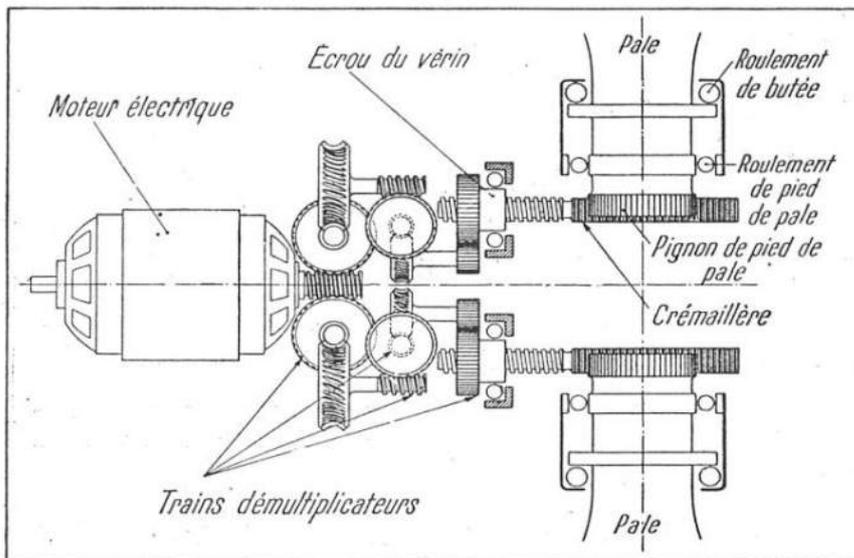


FIG. 13. — EXEMPLE D'UN MÉCANISME DE COMMANDE DE PALES A PAS VARIABLE PAR MOTEUR ÉLECTRIQUE MOBILE ET CRÉMAILLÈRES

La rotation des pales est assurée par un vérin à vis, dont l'éccrou engrène avec le mécanisme réducteur dont on notera la très grande démultiplication.

Les tendances actuelles.

On a pu dire — et il semble bien que l'on doive y songer sérieusement — que l'hélice devra bientôt céder la place au propulseur à réaction, dès que l'on envisagera des vitesses « supersoniques », c'est-à-dire supérieures à la vitesse du son (1). Cependant, nous n'en sommes pas encore là, et il paraît sage d'envisager, avant son remplacement par un propulseur nouveau, les progrès que l'hélice aérienne doit réaliser d'urgence, c'est-à-dire dans le domaine des vitesses actuelles

- accroissement de la puissance absorbée par l'hélice;
- amélioration du rendement aérodynamique du groupe moteur;
- utilisation de l'hélice comme frein.

Les hélices de grande puissance

Le problème le plus urgent à l'heure actuelle est la réalisation d'hélices capables de suivre l'évolution des moteurs vers les puissances toujours plus élevées. Etudier la construction de moteurs de 3 000 et 4 000 ch de puissance unitaire est une chose, créer des hélices adaptées à ces moteurs, absorbant leur puissance avec un rendement acceptable, en est une autre non moins ardue. On ne peut songer, en effet, à augmenter les diamètres, car on arrive

(1) Voir : « L'avion pourra-t-il aller plus vite que le son? » (Science et Vie, n° 225, mars 1936).

normalement les vibrations d'origine gyroscopique (notons que cet avantage se conserve au-dessus de trois pales). Aux Etats-Unis, les moteurs les plus puissants sont souvent munis de quadripales.

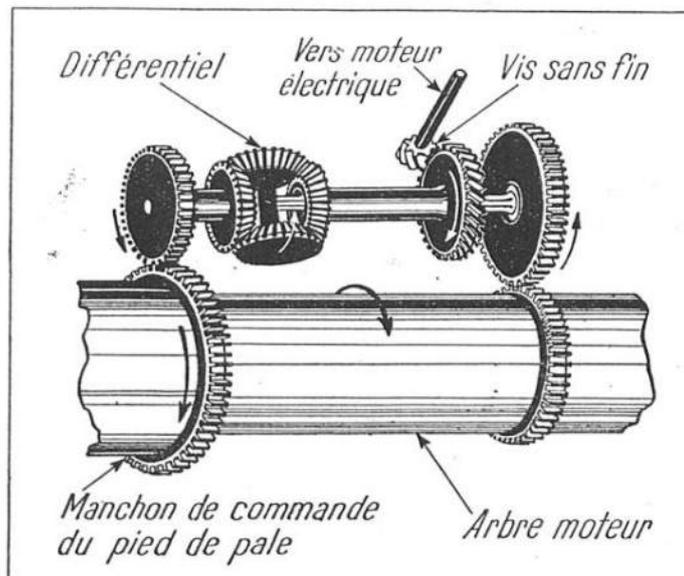


FIG. 14. — SCHÉMA DE PRINCIPE D'UN RÉDUCTEUR A MOTEUR FIXE (HÉLICE N.C. 110)

Normalement, lorsque le moteur électrique n'est pas excité, l'arbre moteur et le manchon de commande de pied de pale tournent à la même vitesse, liés par le train d'engrenage. Quand le moteur électrique fixe agit sur le différentiel par l'intermédiaire de la vis sans fin, le manchon tourne par rapport à l'arbre moteur et agit sur le pied de pale par l'intermédiaire de tout mécanisme convenable, crémaillère ou vis sans fin, par exemple.

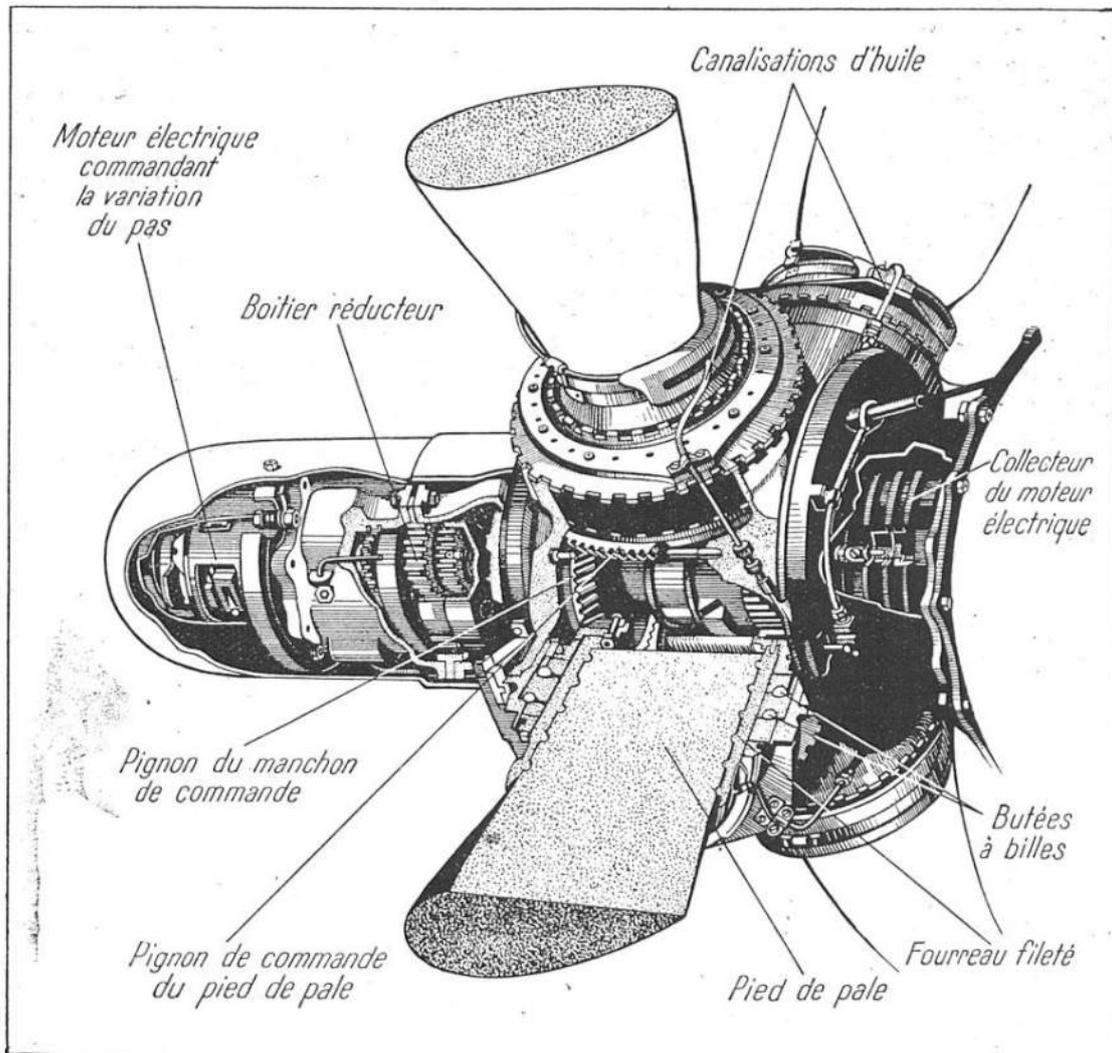


FIG. 15. — COUPE DU MOYEU D'UNE HÉLICE ROTOL ÉLECTRIQUE QUADRIPALE

T W 25023

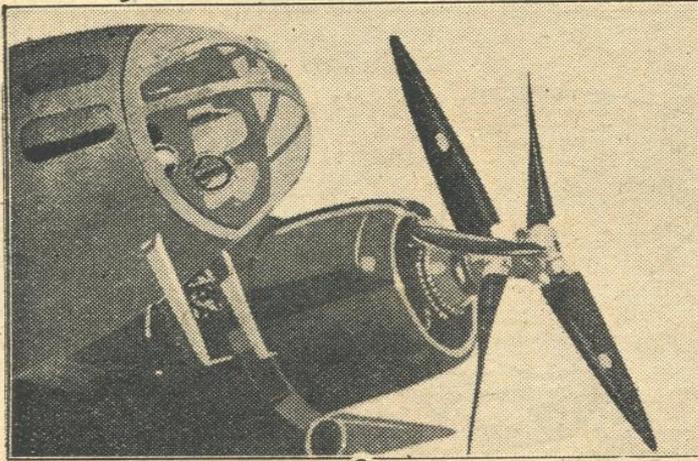
Le moteur électrique qui commande le changement de pas de l'hélice participe à la rotation de l'ensemble. Il entraîne le manchon de commande par l'intermédiaire du boîtier réducteur. Les pignons de commande des pieds de pale engrènent sur ce manchon. Le moteur électrique est alimenté par un collecteur représenté à droite. On remarque les canalisations de graissage sous pression, l'ancrage des pales dans leur fourreau par un filetage.

Si l'on veut poursuivre dans la voie de l'augmentation du nombre de pales, il faut concevoir l'hélice à la façon d'un ventilateur de diamètre relativement faible, enfermé dans une buse, pour éviter les pertes de rendement dues à un souffle excessif. Cette solution, séduisante *a priori*, se heurte à une difficulté qu'on ne saurait toutefois négliger : en augmentant le nombre des pales, on diminue du même coup, pour une puissance totale donnée, la vitesse de rotation, ce qui entraîne une augmentation supplémentaire du couple de renversement (1).

Enfin, une formule d'hélice étant adoptée,

(1) Rappelons que le couple de renversement est le couple de réaction opposé par l'arbre au couple de l'hélice et qui tend à faire tourner l'avion en sens inverse.

on peut multiplier le nombre d'hélices. Le premier stade de cette multiplication, et, à coup sûr, le plus intéressant à l'heure actuelle, est celui de l'hélice double, dont un exemple était déjà fourni par l'avion Macchi de la coupe Schneider. Il s'agissait de deux hélices tournant en sens inverse, chacune étant actionnée par un moteur distinct. La principale difficulté rencontrée réside dans la commande de variation de pas. Par contre, cette solution présente un réel intérêt au double point de vue du rendement et de l'aérodynamique. En effet, la juxtaposition de deux hélices tripales permet une diminution notable du diamètre. En outre, l'hélice arrière, tournant en sens inverse de l'hélice avant, redresse la veine d'air distordue par cette dernière. Il en résulte une diminution



T W 25030

FIG. 16. — HÉLICES COAXIALES Tournant en sens inverse « HAMILTON STANDARD »

Ces hélices tripales, que l'on voit ici à l'essai sur un bimoteur, sont en aluminium forgé. Le pas variable est à commande hydraulique et permet aux pales de prendre la position en drapeau.

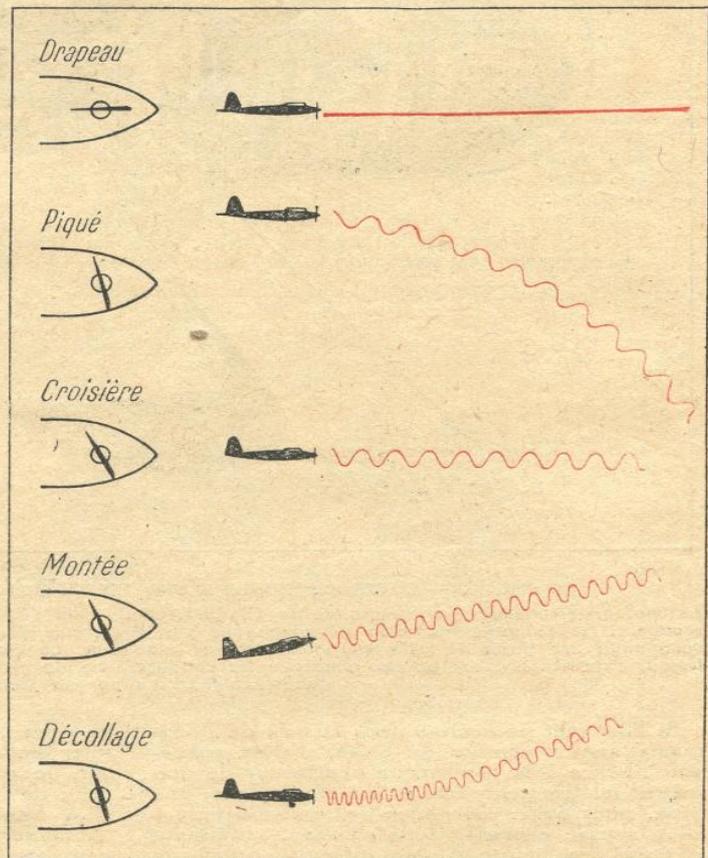
notable de l'énergie dissipée par cette distorsion de la veine soufflée, d'une part, et, d'autre part, une intéressante symétrie des interactions du propulseur et du planeur. Enfin, le couple de renversement est supprimé d'emblée.

L'aérodynamique du groupe moteur

On a songé à améliorer le rendement aérodynamique du groupe moteur par une disposition particulière des transmissions et du réducteur. Une première solution consiste en la séparation de l'hélice et du moteur : celui-ci peut alors être logé dans le fuselage de l'avion et l'hélice est entraînée par un système de transmissions à distance. On obtient ainsi un affinement aérodynamique des fuseaux (pas toujours du fuselage, car un moteur en étoile, par exemple, a encore un maître-couple important) et une réduction notable du maître-couple dans le cas où l'on peut grouper en tandem l'un derrière l'autre, deux moteurs en ligne. Par ailleurs, du point de vue purement aérodynamique, il est bien évident que l'écoulement autour de l'hélice est amélioré par la diminution du diamètre des parties situées immédiatement derrière son plan de rotation. Enfin, cette désolidarisation des moteurs et des propulseurs permettrait une plus grande souplesse de fonctionnement, par la possibilité, en cas d'insuffisance dans la puissance

des moteurs, de grouper deux ou plusieurs moteurs pour actionner une hélice, simple ou double. Toutefois, cette solution est encore à l'heure actuelle prohibitive, en raison des servitudes de poids qu'elle comporte.

Nous avons signalé, au début de cet article, la présence entre le moteur et l'hélice d'un organe particulier : le réducteur. Il peut être intéressant de le doter de deux vitesses, l'une adaptée au vol en palier, l'autre au vol en montée et au décollage (vitesse de l'hélice plus élevée dans ce cas). On obtient ainsi une amélioration du rendement dans les régimes variables et on dispose d'un paramètre supplémentaire pour choisir l'hélice qui réalise le meilleur compromis entre le décollage et le palier.



T W 25027

FIG. 17. — LA VARIATION DU PAS D'UNE HÉLICE DANS LES DIFFÉRENTES PHASES DE VOL

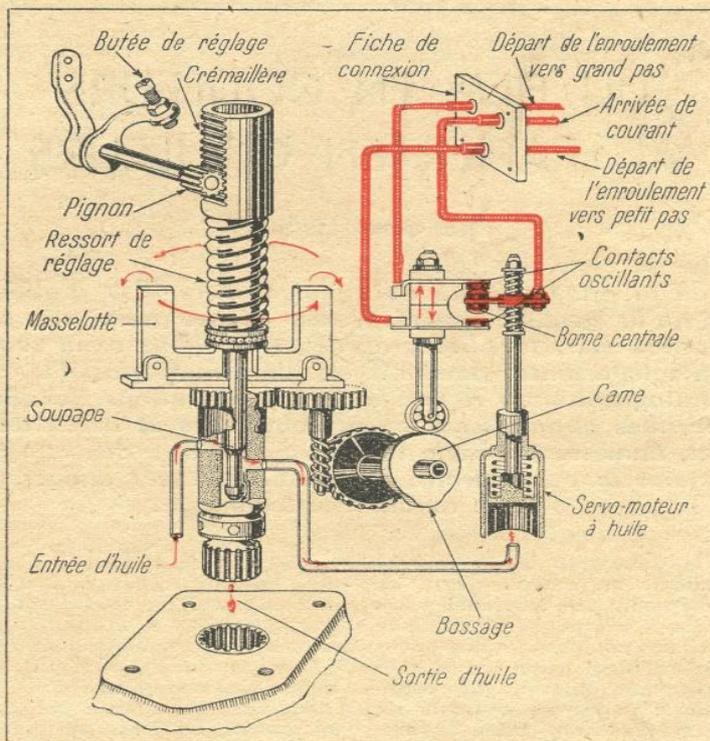
Le calage de la pale représentée ici est le calage dit de référence, soit celui de la section de la pale aux 7/10 de sa longueur. Le calage, comme le pas, augmente quand on passe du décollage au vol de croisière. Il augmenterait encore pour les vols à grande altitude; par contre, les piqués sont exécutés à pas réduit. Le calage atteint son maximum à la position drapeau correspondant à l'arrêt du moteur en vol.

L'hélice frein

Enfin, les hélices peuvent servir de frein. Cette utilisation, qui aurait pu paraître insolite il y a quinze ans, est passée aujourd'hui dans la pratique courante. En particulier, l'hélice participe efficacement, par une révolution très rapide vers le petit pas, au freinage des avions de bombardement en piqué. Nous n'insisterons pas sur les difficultés techniques de ce problème. Indiquons seulement que sa solution est conditionnée par de très grandes vitesses de variation de pas (de l'ordre de 60 grades, ou 54 degrés par seconde). On conçoit que les dispositifs de commande correspondants doivent être particulièrement robustes et ne comporter pratiquement aucune inertie. Signalons en terminant qu'un simple passage à la limite a conduit, pour les gros hydravions multimoteurs, à installer des hélices à pas réversible, qui facilitent grandement les manœuvres à flot.

Conclusion

Telles sont les tendances actuelles de la technique des hélices aériennes. Ce qui précède



T W 25018

FIG. 18. — SCHÉMA DU RÉGULATEUR PROGRESSIF CURTISS

C'est un régulateur hydraulique mis en action par la force centrifuge qui s'exerce sur les deux masselottes pivotantes. Elles sont maintenues par le gros ressort de réglage, plus ou moins comprimé à volonté par l'intermédiaire de la crémaillère visible à la partie supérieure et que déplace le pignon solidaire de la butée de réglage. Si la vitesse s'accroît, les masselottes s'écartent, compriment ce ressort et entraînent la soupape, permettant à l'huile d'accéder au servo-moteur de droite et de déplacer la borne centrale du contact oscillant. Ce dernier est ainsi appelé parce que les deux bornes supérieure et inférieure sont animées d'un mouvement de va-et-vient continu par l'effet d'une came entraînée par le moteur. Normalement, dans ce mouvement, aucune des bornes ne doit toucher la borne centrale. Lorsque celle-ci se déplace, le contact s'opère avec une des bornes et le moteur reçoit une série d'impulsions plus ou moins longues suivant la pression de l'huile. Ce changement est progressif, car la vitesse de rotation du moteur électrique, et donc des pales, est d'autant plus grande que la variation de vitesse à corriger est elle-même plus importante. Le bossage de la came, en particulier, a une forme telle que les contacts d'augmentation de pas sont plus longs que ceux de diminution, l'effort à développer par le moteur étant alors plus considérable pour vaincre l'inertie centrifuge.

que l'hélice aérienne n'a pas encore dit son dernier mot et qu'avant de disparaître, elle donnera sûrement à la sagacité et à l'ingéniosité des constructeurs plus d'une occasion de se manifester.

J. LEDROIT.

montre les progrès prodigieux accomplis par cette technique en quelques années seulement. Il faut voir de près un mécanisme moderne de changement de pas et imaginer que cet ensemble, non seulement tourne vite, mais encore est soumis au cours d'un même vol à des variations de vitesse qui mettent en jeu des efforts d'inertie considérables : c'est alors qu'il est permis de s'extasier devant une telle perfection de conception et de réalisation. C'est alors aussi qu'on est en droit de se demander si l'hélice aérienne est susceptible de nouveaux progrès ou si, au contraire, elle n'est pas près d'avoir atteint le maximum de ses possibilités. C'est la question qui se pose aujourd'hui, de la compatibilité du fonctionnement de l'hélice avec des vitesses constamment croissantes et dépassant notamment la vitesse du son.

Soyons toutefois persuadés

" Science et Vie " est le seul magazine de vulgarisation scientifique et industrielle.

LA TECHNIQUE PHOTOGRAPHIQUE

DU FILM EN COULEURS AU PAPIER EN COULEURS

par Jean LERSON.

Les inventeurs de la photographie s'étonnaient vers 1839 d'obtenir, au lieu des images colorées qu'ils avaient espérées, des clichés noirs sur blanc. Une certaine d'années après eux, la photographie en couleurs vient seulement de recevoir une solution satisfaisante, puisqu'il est désormais possible de fixer l'image sur un papier photographique. A vrai dire, les opérations de développement ou d'inversion successives apparaissent assez complexes et assez délicates, et rares sans doute seront, dans les premiers temps, c'est-à-dire dès que les circonstances redevenues normales le permettront, les amateurs assez audacieux pour aborder cette minutieuse technique.

DEPUIS que la photographie en noir et blanc a atteint un certain degré de perfectionnement, les chercheurs se sont attachés à résoudre le problème de la photographie en couleurs. Mais, pour que puisse être étudiée la question de la couleur, il fallait auparavant obtenir une émulsion qui fût sensible à toutes les couleurs du spectre visible. Cette émulsion, c'est la surface panchromatique. Il y a une quarantaine d'années qu'apparurent les premières photographies en couleurs grâce à la plaque « Autochrome » (1).

On se rappelle que, dans la plaque autochrome, des particules colorées sont incorporées à l'émulsion. Elles servent de filtre de sélection trichrome lors de l'exposition de la plaque, puis, après développement et inversion de la couche panchromatique, d'écran coloré pour l'examen par transparence.

Ce ne fut qu'entre les deux guerres que trois nouveaux procédés virent le jour, le « Technicolor » (2), le « Kodachrome » (3) et l'« Agfacolor ». Nous laissons volontairement en marge le procédé Keller-Dorian ou Kodacolor qui nécessite l'emploi de filtres spéciaux d'objectif, tant à la prise de vue qu'à la projection et qui, de ce fait, ne peut être assimilé aux autres procédés dans lequel la synthèse des couleurs est faite dans l'épaisseur même de la couche émulsionnée.

(1) Voir : « La photographie en couleurs (*Science et Vie*, n° 168, juin 1931).

(2) Le procédé « Technicolor » consiste à prendre trois négatifs séparés au moyen d'écrans jaune, bleu et rouge. Chaque positif tiré de chaque négatif est imprégné de sa couleur (correspondant à celle de l'écran de prise de vue), puis imprimé sur un seul positif. Voir : « Le cinéma en couleurs » (*Science et Vie*, n° 222, décembre 1935).

(3) Voici, très succinctement exposé, le procédé « Kodachrome » : on utilise un film portant plusieurs revêtements sensibles à diverses couleurs avec interposition d'un écran coloré convenable entre les deux premières couches. Au moyen d'une série de développements spéciaux, on arrive à teinter de la couleur convenable chaque image formée sur la couche qui lui est destinée. La projection sur un écran assure la synthèse des couleurs qui reproduit la teinte naturelle de l'objet. Voir : « Les progrès de la photographie » (*Science et Vie*, n° 234, décembre 1936).

Le procédé « Technicolor », qui, à la veille des hostilités, était le seul utilisable industriellement, met en œuvre un processus fort délicat qui n'est à la portée ni de l'amateur ni même du laboratoire photographique habituel.

Le procédé « Kodachrome », d'une technique un peu plus simple, ne pouvait cependant être utilisé que par des laboratoires spécialement équipés, car les couches sensibles ne contenaient aucune matière colorante. La coloration de chacune des trois couches superposées ne se faisait qu'au moment du traitement, ce qui représentait un travail très délicat. Dans les quelques usines où sont traités les films « Kodachrome », les bains sont surveillés en permanence et des diagrammes précis constamment dressés afin de maintenir constante la teneur des bains en colorant.

Dans le procédé « Agfacolor », au contraire, il n'est pas nécessaire de recourir à de telles sujétions. En effet, les couches émulsionnées contiennent en elles-mêmes des substances chromogènes qui, sous l'action d'un révélateur spécial, font apparaître les couleurs.

Le principe du procédé « Agfacolor »

Pour comprendre comment, du film en couleurs, on est parvenu au papier en couleurs, il est nécessaire de reprendre le principe du procédé.

Le film « Agfacolor » est composé de cinq couches superposées, dont trois couches sensibles, un écran coloré et une couche antihalo (fig. 1).

La couche extérieure, celle qui, la première, est frappée par les rayons lumineux, n'est sensible qu'au bleu. Le jaune étant la couleur complémentaire du bleu, c'est dans cette couche qu'en définitive apparaîtront les composants jaunes du positif. La seconde couche est un écran jaune destiné à empêcher les rayons bleus d'atteindre les deux couches suivantes. La troisième couche n'est sensible qu'au vert et donnera naissance à la composante pourpre de l'image positive. Enfin, la dernière couche sensible ne réagit qu'aux radiations rouges et contient la composante bleu-vert de l'image positive. Entre cette couche et le support se trouve la couche antihalo.

Examinons maintenant comment s'opère la sélection trichrome pendant l'exposition. Les rayons bleus n'auront d'effet que sur la couche supérieure et ne provoqueront pas d'image latente dans les deux autres couches sensibles. Par contre, les rayons verts traverseront la première couche sans la modifier, mais engendreront une image latente dans la deuxième couche sensible. Les rayons rouges traverseront la première et la seconde couches sensibles, mais ne produiront une image que dans la troisième. Pour obtenir directement un *diapositif* en couleurs, on se sert du développement dit *par inversion*. Un premier développement, dans un bain révélateur normal, aura pour effet de réduire les sels d'argent ayant été frappés par la lumière et de déposer de l'argent pulvérulent. Ce premier développement étant terminé et le film lavé, on l'expose à la lumière artificielle. De la sorte, tous les points des différentes couches qui n'avaient pas été réduits lors du premier développement sont exposés. On procède alors à un second développement, mais cette fois au moyen d'un révélateur spécial qui agit sur les *substances chromogènes incorporées dans les différentes couches*, et pendant que l'argent pulvérulent se dépose, les colorants se forment dans chaque couche aux points exposés entre les deux développements. A cet instant, si on examine le film, il apparaît noir sur toute sa surface. En effet, tout l'argent contenu dans l'émulsion est réduit. On dissout alors cet argent et il ne reste plus que les colorants. L'image positive en couleurs apparaît alors par transparence.

Si, en principe, ce processus apparaît simple, il n'a pas fallu cependant moins de trente ans pour le faire parvenir au stade actuel. La difficulté résidait essentiellement dans la mise au point des substances chromogènes incolores à l'origine et suffisamment stables pour ne pas diffuser d'une couche dans l'autre ni à l'intérieur d'une même couche, ni *a fortiori* dans le révélateur qui les stimule.

Le négatif en couleurs

Le procédé de positif direct par inversion convient très bien pour les photographies destinées à la projection; il présente cependant l'inconvénient de ne donner qu'une image unique. Pour l'obtention d'images en couleurs sur papier, on recourt donc à un stade intermédiaire qui est le négatif en couleurs complémentaires. Ce négatif est obtenu de la même façon que le positif direct, mais sans inversion.

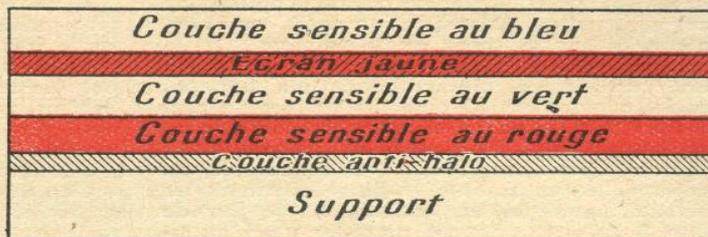


FIG. 1. — COUPE DU FILM AGFACOLOR POSITIF DIRECT

En effet, on commence les opérations par le bain correspondant au deuxième développement du film positif direct. Une nuance cependant. Tandis que, dans le film positif direct, la sélection trichrome est précise dans ses frontières, il n'en va plus de même dans le film négatif en couleurs. Ici, les sensibilités des différentes couches se recouvrent partiellement, autrement dit, l'analyse de la couleur incidente est moins poussée que dans le cas ordinaire. L'image en couleurs provoquée sur le film négatif se présente donc sous l'aspect d'une image complémentaire, un ciel bleu apparaissant jaune, une plante verte se présentant sous l'aspect, violet-magenta, tandis qu'une rose rouge devient d'un bleu vert assez vif.

Le papier « Agfacolor »

Tandis que, dans le film en couleurs, les molécules colorées diffusent la lumière par transparence, dans le papier, elles doivent tout à la fois, se laisser traverser par la lumière pour que cette dernière se réfléchisse sur le fond de papier, et réfléchir elles-mêmes une partie de la lumière, faute de quoi la synthèse chromatique ne se réaliserait pas, ou bien n'apparaîtrait que sous certaines incidences. Pour ces mêmes raisons, l'épaisseur des couches, déjà réduite à 5 millièmes de millimètre dans le cas du film, est encore diminuée de près de moitié pour le papier. La réalisation pratique de couches superposées de cette ténuité pose des problèmes techniques que l'on imagine aisément. Il est, en effet, de la plus haute importance que ces couches soient exactement semblables, les unes aux autres si on veut éviter une synthèse erronée des couleurs par abus ou défaut d'une des fondamentales.

Autre différence avec l'émulsion du film négatif, la sensibilité chromatique des couches est dans le papier nettement sélective, et, au lieu de zones communes de sensibilité nous trouverons, au contraire, des frontières marquées par une solution de continuité dans la sensibilité.

Le papier est exposé, par contact ou agrandissement, puis développé comme le film négatif en couleurs. Toutefois, une correction de couleurs est presque toujours indispensable, car, selon les conditions d'exposition, la teinte dominante, la durée du développement du négatif, des « erreurs » peuvent se produire lors du

Sujet	Négatif	Lumière après filtrage par le négatif	Couleurs engendrées dans les couches du positif	Couleur apparente positive
rouge	bleu-vert	bleu+vert	jaune+pourpre	rouge
bleu	jaune	vert+rouge	pourpre+bleu vert	bleu
vert	pourpre	bleu+rouge	bleu vert+jaune	vert

TABLEAU I. — COULEURS INTERMÉDIAIRES ET COULEURS ENGENDRÉES DANS LE FILM NÉGATIF ET LE PAPIER POSITIF DANS LE PROCÉDÉ « AGFACOLOR »

tirage du positif. Cette correction s'obtient au moyen de filtres colorés, d'intensités variables, interposés sur le trajet de la lumière. De la sorte, et grâce à un jeu complet de filtres, on peut corriger les inexactitudes. Un appareil spécial comprenant 25 objectifs permet de tirer en trois fois 75 images réduites du cliché, chaque image correspondant à un jeu de filtres différent. Parmi ces 75 épreuves miniatures, on choisit celle qui restitue le plus fidèlement les couleurs naturelles et, connaissant le jeu de filtres à utiliser, on peut procéder alors au tirage des épreuves définitives.

La manipulation du papier, une fois exposé, ne présente pas de difficulté plus grande que le développement du film négatif en couleurs, les opérations se faisant en cuvette, et comportant le développement chromogène, le lavage, la dissolution des sels d'argent non réduits par le développement, un nouveau lavage, l'élimination de l'argent réduit, puis de nouveau lavage et fixage avant le lavage final.

L'amateur pourra-t-il procéder lui-même au traitement du papier « Agfacolor » ?

Cette question, qui intéresse au plus haut point les passionnés de la photographie, appelle une réponse un peu normande. Dans le principe, rien ne s'oppose à ce que l'amateur rompu à la photographie se livre aux différentes opérations de traitement du film négatif en couleurs et du papier en couleurs, mais cela implique une installation qui dépasse ce qu'on conçoit habituellement pour un amateur. De plus, une certaine pratique s'avère indispensable, car, dans un procédé mettant en œuvre des phénomènes physicochimiques complexes, il importe de respecter avec une scrupuleuse exactitude, non seulement les temps de traitement, mais aussi les températures des bains, la pureté des eaux, l'exacte dilution des différentes solutions de traitement.

Il ne semble donc pas *a priori* que l'amateur, même « éclairé », soit en mesure de réussir le traitement agfacolor sur papier. Par contre, dès l'instant qu'un laboratoire professionnel dispose d'un équipement suffisant, il lui devient possible de traiter négatifs et positifs avec un minimum d'insuccès sans cependant recourir à une installation nécessitant de grandes immobilisations.

Une autre question se pose : c'est de savoir si les collections existantes de positifs directs pourront être tirées sur papier. Rien ne s'opposera, dans l'avenir, à l'obtention de contre-types négatifs, mais, comme les positifs actuels n'ont pas été obtenus exactement dans les mêmes conditions d'analyse spectrale que les négatifs en couleurs, les résultats ne seront sans doute pas réguliers. Par ailleurs, l'obtention de positifs directs sur papier, d'après un positif en couleurs, ne semble pas devoir recevoir une solution favorable pour le moment. Les chercheurs n'en sont pas moins attachés au problème, et si l'on veut bien considérer le chemin qu'ils ont parcouru depuis le « daguerreotype », on peut leur faire confiance pour l'avenir.

Si, techniquement et industriellement, le problème de la photographie en couleurs sur papier est résolu, les circonstances actuelles s'opposent cependant à la vulgarisation du procédé. Les usines qui produisent ces films et papiers ont actuellement d'autres tâches à assumer et si les savants poursuivent leurs recherches, les produits nécessaires sont employés pour le moment à d'autres fins. Les amateurs sont désormais avertis de ce qu'ils pourront faire après les hostilités, et si une incertitude plane encore sur la date à laquelle ils pourront réaliser l'une de leurs plus anciennes aspirations, ils sont du moins assurés que ce qui était hier encore du domaine du rêve sera demain une agréable réalité.

Jean LERSON.

Des statistiques générales de la production d'énergie électrique en France il résulte que l'année 1942, conjugaison des plus mauvaises conditions hydrauliques et thermiques rencontrées depuis 10 ans, a accusé un déficit de 18 % sur la production électrique totale de 1941, année au contraire excellente du point de vue hydraulique (11,7 milliards de kWh d'origine hydraulique et 6,4 milliards de kWh d'origine thermique). Si aux yeux des usagers le déficit a pu sembler beaucoup plus considérable, c'est que les circonstances économiques générales ont amené au réseau électrique un très grand nombre de nouveaux consommateurs tels que les possesseurs de Diesel ou de moteurs à essence, beaucoup d'industries de remplacement nouvellement créées et même des industries traditionnellement attachées au chauffage au charbon telles que la verrerie et la céramique. La centralisation de la commande des usines productrices et la marche sur programme arrêté 24 heures à l'avance ont par contre permis d'atteindre une exploitation presque parfaite. Celle-ci peut se caractériser par les pertes d'eau par déversement au-dessus des barrages, exprimées, soit directement en mètres cubes d'eau, soit ce qui est plus précis en kilowatts-heure déversés, estimation qui tient compte de la hauteur de chute utile entre deux retenues. Plus ces pertes inévitables sont faibles, plus l'exploitation est satisfaisante. Elles ont atteint, en 1942, 3 % seulement de la production, ce qui semble bien près de la perfection, si l'on songe à la complexité du système des retenues et à la difficulté de prévoir à l'avance le régime climatique des diverses régions.

LES PROTÉINES, ÉLÉMENTS DE BASE DE LA MATIÈRE VIVANTE, ET LA CHIMIE DE LA VIE

par Jean HÉRIBERT

A mesure que progressent les diverses disciplines dont la réunion constitue ce que Carrel appelle la « Science de l'Homme », l'attention des chercheurs est attirée vers des problèmes chaque jour plus complexes qui ne peuvent être résolus que par des hommes ayant acquis une somme considérable de connaissances dans leur spécialité. Ce n'est que dans des cas exceptionnels que ces hommes ont le moyen et le temps d'étudier d'une manière approfondie les disciplines connexes de la leur. Il apparaît ainsi que des travaux de synthèse, ayant pour objet une sorte de « mise au point », soient nécessaires dans tous les domaines où la science n'a pas quitté de beaucoup le stade descriptif, afin qu'il soit ensuite possible, en rappelant à leur tour les résultats de ces travaux, d'approfondir nos connaissances au lieu de chercher uniquement à les étendre. Il semble que la biochimie offre un domaine d'application particulièrement propice à cette méthode de travail, car, alors que la somme des connaissances que nous avons sur les divers constituants de l'organisme vivant s'accroît sans cesse, et qu'il n'est pas de jour que ne soit annoncée une nouvelle découverte relative aux vitamines, aux hormones, etc..., le mystère le plus profond continue de planer sur les relations qui existent entre ces divers constituants et les phénomènes vitaux qui y sont liés. L'étude ci-dessous se propose de dégager ce que, dans l'état actuel de la science, il est possible de connaître de ces relations en ce qui concerne les éléments de base de la matière vivante : les protéines (1).

Les protéines

La classe des protides

P ARMI les constituants chimiques de l'organisme vivant, les substances azotées ou *protides* occupent une place d'une importance toute spéciale.

Tandis qu'en effet les *lipides* et les *glucides* ont un rôle presque exclusivement énergétique (2) (soit qu'ils soient destinés à fournir à bref délai les calories qu'absorbe le fonctionnement du « moteur » de l'organisme, soit qu'ils soient stockés sous forme de substances de réserve), au contraire les *protides*, en particulier les *protéines*, constituent la substance même de la cellule vivante et ont avant tout un rôle plastique. Si l'on fait abstraction de l'eau qu'elle contient, la cellule vivante est en effet composée en moyenne de 90 % de protéines, de sorte qu'il n'est pas exagéré de dire que ces

dernières constituent le véritable substratum de la vie.

C'est pourquoi leur étude a été depuis longtemps l'objet de nombreuses recherches, car les biochimistes ont pensé y trouver l'explication de tel ou tel phénomène vital particulier, sinon celle du mécanisme même de la vie. Avant de voir dans quelle mesure une telle conception se justifie, et quelle place occupent réellement les protides dans l'échelle des valeurs biochimiques, il est nécessaire de remettre en mémoire leurs principaux caractères.

On sait que le nom d'*aminoacides* est réservé aux corps organiques présentant simultanément une fonction acide et une fonction amine (1). On appelle en particulier *α-aminoacides* ou *monopeptides* ceux d'entre eux qui présentent ces fonctions liées à deux atomes de carbone voisins. Ce sont là les plus simples des protides, les autres étant constitués par la combinaison entre elles de molécules d'un ou plusieurs monopeptides. On a ainsi les *polypeptides* qui à leur tour se combinent entre eux pour donner les *protéines*. Mono-peptides, polypeptides et protéines constituent donc la grande classe des protides, que l'on peut définir comme substances dont l'hydrolyse aboutit

(1) On remarquera le nombre élevé de renvois que nous faisons à des études antérieurement parues dans nos colonnes, qui montre bien combien multiples et importants sont les problèmes scientifiques à l'ordre du jour auxquels la présente étude touche de près.

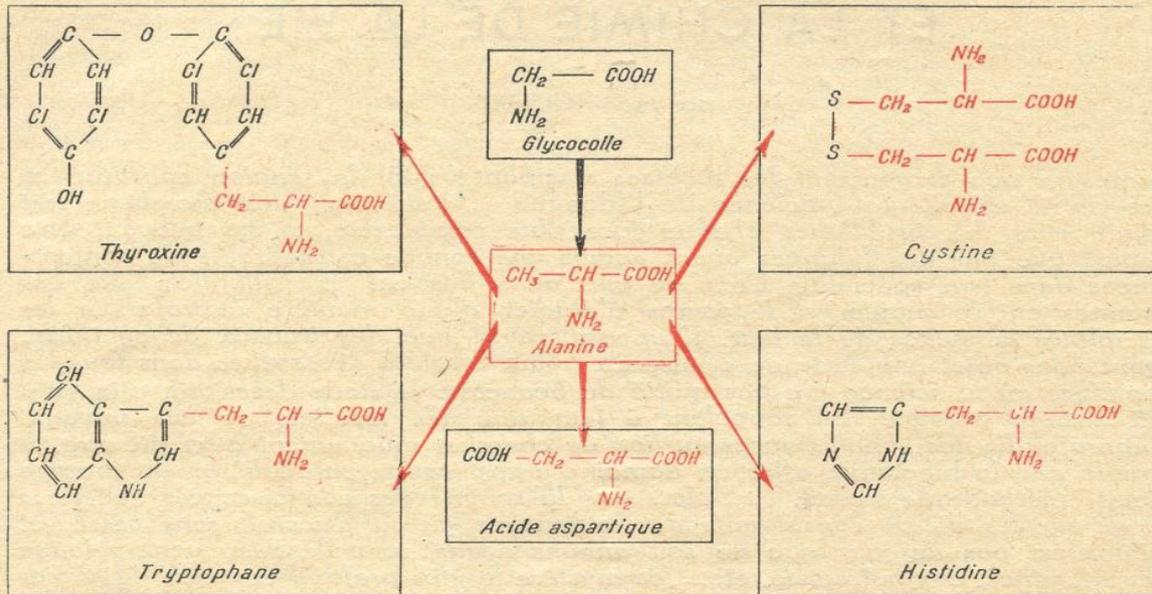
(2) Rappelons que les termes *protides*, *lipides* et *glucides* remplacent aujourd'hui les anciennes appellations de matières azotées, matières grasses et hydrates de carbone (sucres et féculents).

(1) Les amines dérivent en principe de l'ammoniaque par substitution partielle ou totale de radicaux organiques divers aux atomes d'hydrogène liés à l'azote.

tit à l'obtention d'amino-acides. Les protides ont en outre comme propriétés communes d'être en général solubles dans l'eau en donnant des solutions colloïdales et optiquement actives (1). Enfin la présence simultanée de groupements fonctionnels acides et aminés confère à tous les protides un double caractère acide et basique leur permettant de réagir différemment

où on ne les rencontre jamais tous simultanément (1). Plusieurs des plus importants contiennent du soufre; tel est, par exemple, le cas de la *cystine*, constituant de la kératine de la laine (2). La *thyroxine*, elle, est un mono-peptide polyiodé (c'est l'hormone de la glande thyroïde).

Les propriétés chimiques des aminoacides



T W 24626

FIG. 1. — LES PRINCIPAUX TYPES DE MONOPEPTIDES

On voit qu'on peut les faire dériver tous de l'alanine par substitution, à un atome d'hydrogène, d'une chaîne aliphatique ou d'un noyau aromatique, hétérocyclique ou mixte.

selon l'acidité ou l'alcalinité du milieu : ce sont des *ampholytes*.

Peptides et protéides

Les plus simples des membres de la classe des protides sont évidemment les aminoacides. Parmi ces derniers, les uns, tel le *glycocolle* (le plus simple de tous les protides), qui est un constituant de la gélatine, appartiennent à la série aliphatique (carbones en chaîne simple), alors que les autres, comme le *tryptophane* (figure 1), ont des noyaux aromatiques (cycliques) ou hétérocycliques. Trente aminoacides différents se rencontrent dans la nature, combinés entre eux en polypeptides et en protéines

(1) Elles font tourner dans un sens déterminé le plan de polarisation d'un faisceau de lumière polarisée. On rencontre en chimie organique des corps (isomères) de formule identique, mais non superposables (comme la main gauche est identique à la main droite, mais non superposable à celle-ci), qui possèdent un pouvoir rotatoire égal, mais de sens contraire. Pasteur avait remarqué que les seules synthèses naturelles aboutissent à l'obtention directe d'un seul des isomères optiques, alors qu'au laboratoire il fallait toujours passer par le « racémique », mélange optiquement inactif, constitué en parties égales de chacun des isomères droit (dextrogyre) et gauche (lévogyre), puis séparer les isomères optiques. Il voyait dans cette propriété un caractère essentiel de la matière vivante.

sont naturellement à la fois celles découlant de la présence des groupements fonctionnels acides et aminés. En particulier, la plus importante consistera précisément dans l'interaction de ces deux sortes de groupements, de manière à réaliser les *liaisons peptidiques* par lesquelles plusieurs molécules d'acides aminés s'unissent pour former un polypeptide (fig. 2).

Parmi les polypeptides naturels, certains, comme la *carosine* ou le *glutathion*, sont bien connus, et l'on a pu établir de façon exacte leur formule de constitution. Les plus simples d'entre eux (oligopeptides) ont pu être synthétisés, ainsi même que quelques-uns des plus complexes. Malheureusement, ceci n'est pas le cas pour celui dont la synthèse eût présenté le plus d'intérêt : et qui est l'*insuline*, hormone pancréatique hypoglycémiant (3) dont la sécrétion insuffisante provoque le *diabète* (4) (ta-

(1) Le dernier en date (1940) est l' α -oxytryptophane, isolé d'un des poisons que contient l'amanite phalloïde.

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

(3) C'est-à-dire ayant pour effet d'abaisser le taux de glucose dans le sang.

(4) Faute de savoir faire la synthèse de l'insuline, on utilise actuellement en thérapeutique des extraits pancréatiques d'animaux (opothérapie). Voir : « L'industrie des produits opothérapiques » (*Science et Vie*, n° 309, avril 1943).

bleau I). Remarquons au passage que l'insuline contient de la cystine, mono-peptide soufré, par les liaisons « disulfure » duquel il semble qu'elle agisse sur la glycémie.

Plus complexes encore que celles des polypeptides sont les molécules des protéines ou protéides. En effet, si l'hydrolyse totale de ces derniers conduit, comme pour les premiers, à des acides aminés, leur hydrolyse ménagée conduit à des polypeptides, qu'il faut donc considérer comme composés intermédiaires entre les mono-peptides et les protéides. Ici, la complexité des molécules devient telle qu'il est impossible de séparer des espèces pures, en raison du nombre élevé d'isomères présents simultanément, et dont les propriétés sont si proches qu'elles entraînent la syncrystallisation (homéomérie). D'ailleurs, les chaînes peptidiques, dont l'existence réelle a pu être confirmée par l'exploration aux rayons X (1), sont ici tellement longues que, comme dans le cas de celles des textiles synthétiques, il est impossible qu'elles aient une longueur fixe (2). Dans ces conditions, il ne saurait être question de déterminer leurs poids moléculaires autrement que sous forme de moyenne. La valeur de ces derniers est toujours très élevée et peut atteindre plusieurs millions (tableau II).

La complexité si grande des molécules protéiques fait que nos connaissances sur leur structure chimique sont encore très incomplètes. Nous connaissons bien leurs constituants, mais on pourrait dire avec Henri Poincaré : « Un naturaliste qui n'a étudié l'éléphant qu'au microscope peut-il croire qu'il connaît cet animal ? ». En fait, on ne connaît bien une espèce chimique que lorsqu'on sait en faire la synthèse, et nous en sommes encore loin en ce qui concerne les protéines. Ces édifices si compliqués sont forcément extrêmement fragiles, et nous n'avons pas encore de procédés suffisamment délicats pour arriver à les restituer à partir de leurs constituants. Aussi bien cette synthèse

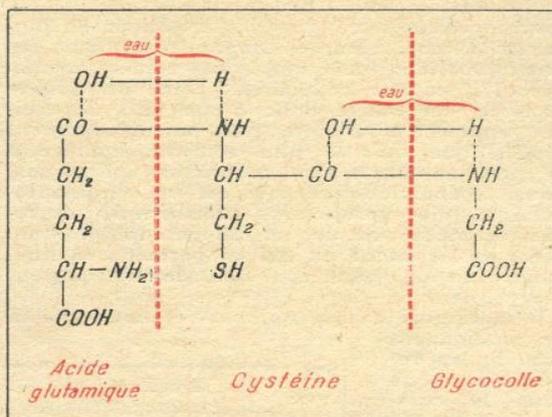
(1) Voir : « Les rayons X et la structure de la matière » (*Science et Vie*, n° 239, mai 1937).

(2) Voir : « Les textiles synthétiques » (*Science et Vie*, n° 296, avril 1942).

Monopeptides	%
Tyrosine	12
Cystine	12
Acide glutamique	21
Arginine	3
Histidine	8
Lysine	2
Leucine	30
Non dosé	12
	100

TABEAU I. — COMPOSITION DE L'INSULINE

Jusqu'ici, la présence de molécules de sept acides aminés différents dans la molécule d'insuline est démontrée. Il reste encore 12 % de cette dernière dont on ignore en quelle proportion ils sont composés de ces mono-peptides. Mais même lorsque leur composition sera établie, la synthèse de l'insuline sera encore une impossibilité matérielle : comment, en effet, diriger cette synthèse de manière à obtenir précisément celui des quelque 5 030 isomères possibles qui a le pouvoir hormonal recherché?



T W 24622

FIG. 2. — FRACTIONNEMENT PAR HYDROLYSE DE LA MOLÉCULE DE GLUTATHION RÉDUIT

On a ici un exemple de tripeptide montrant qu'il est constitué par l'union de trois mono-peptides au moyen de liaisons peptidiques dont l'hydrolyse provoque la rupture. Le glutathion est un constituant important de la substance des levures.

serait-elle possible que l'on ferait alors des protéines et non une protéine déterminée. Le nombre d'isomères possibles est en effet tellement élevé qu'il ne peut y avoir pratiquement aucune chance de tomber juste sur l'isomère ou le groupe d'isomères visé, à moins d'opérer avec des méthodes absolument nouvelles et aujourd'hui encore insoupçonnées. Pour le moment, force est donc de considérer comme irréalisable la synthèse d'une protéine déterminée et, si cette impossibilité n'est pas métaphysique, mais d'un ordre statistique, il n'en reste pas moins que du point de vue pratique le résultat est identique.

Comme tous les protides, les protéines sont des ampholytes, c'est-à-dire, ainsi que nous l'avons vu, qu'elles jouissent, selon l'acidité du milieu, de propriétés physicochimiques différentes leur permettant de jouer le rôle de tampons s'opposant à une variation brusque du degré d'acidité (pH) des liquides physiologiques (ainsi les protéines que contient le sang à raison de 200 g/l contribuent au maintien de son équilibre acido-basique).

Enfin, une propriété capitale des protéines est leur coagulabilité sous l'influence de la chaleur, de l'alcool, des acides ou de certains sels minéraux (c'est pourquoi l'on utilise le chlorure ferrique pour arrêter les hémorragies). La coagulation est un phénomène irréversible, dénaturant la structure physicochimique de la molécule.

Si les mono et polypeptides sont extrêmement importants comme intermédiaires dans le métabolisme des protides, c'est sous forme de protéines que ceux-ci se rencontrent presque exclusivement à l'état statique, soit sous forme d'holoprotéides (ne donnant à l'hydrolyse que des acides aminés), comme les albumines et globulines du sérum sanguin, l'ovalbumine du blanc d'œuf, la lactalbumine du lait, ou la gélatine, soit sous forme d'hétéroprotéides dans lesquels des éléments non protidiques sont combinés aux peptides. Dans les phosphoprotéides, cet élément est constitué par l'acide phosphorique (caséine du lait, vitelline du jaune d'œuf); dans les

chromoprotéides, ce sont des molécules de pigments (hémoglobine, chlorophylle) et dans les *nucléoprotéides*, ce sont des acides nucléiques (1) (noyaux cellulaires). Dans un hétéroprotéide, on trouve donc d'une part des acides aminés, et d'autre part un *groupement prosthétique* qui, le plus souvent, confère à la protéine totale ses propriétés spécifiques. Ainsi l'hémoglobuline, qui est un chromoprotéide, a pour groupement prosthétique un radical composé de fer et de protoporphyrine. C'est ici l'élément fer qui va permettre à l'hémoglobine de jouer son rôle de transporteur d'oxygène.

Remarquons encore qu'holo- et hétéroprotéides contiennent tous du soufre, c'est-à-dire que dans la composition de la molécule protéidique entrent toujours une ou plusieurs molécules d'acides soufrés.

Le métabolisme des protides

C'est principalement sous forme d'aliments d'origine animale que les protides dont nous avons besoin sont habituellement introduits dans l'organisme humain. A l'intérieur de ce dernier, nous pouvons suivre leurs transformations au moyen de la méthode des isotopes (emploi de l'hydrogène lourd et de l'azote lourd) qui a permis d'élucider tout le mécanisme de l'assimilation.

Au cours de la digestion, les protéines ingérées sont successivement soumises aux actions hydrolysantes des diastases contenues dans les divers sucs digestifs, actions qui aboutissent finalement à l'obtention d'acides aminés à partir desquels les tissus, et en particulier le foie, synthétiseront les protéines spécifiques dont l'organisme a besoin (fig. 3). Un certain nombre d'acides aminés peuvent être eux-mêmes synthétisés dans l'organisme à partir de l'azote fourni par d'autres mono-peptides (phénomène de la transamination), mais dix d'entre eux doivent être introduits sous forme de protides les contenant tels quels (2).

D'autre part, la quantité de protéines spécifiques à fournir à l'organisme est réalisée par l'ancienne « loi du minimum » de Liebig, qui dit que la valeur de la ration est déterminée par l'acide aminé le moins abondamment présent. On conçoit donc que l'alimentation en

protides peut être mal équilibrée non seulement par carence d'acides aminés indispensables, mais encore par un rapport dysharmonique entre eux, entraînant un véritable gaspillage d'azote. Pour l'alimentation humaine, essentiellement variée et abondante en temps normal, ce point de vue n'importe qu'en période de disette, mais, dans l'élevage rationnel du bétail, il importe toujours d'obtenir la croissance et l'engraissement des animaux avec une dépense minimum d'aliments azotés, ceux-ci étant d'un coût élevé.

Les acides aminés indispensables étant en général plus rares et surtout plus inégalement répartis dans les végétaux que dans les ani-

maux, il est nécessaire, pour supporter un régime purement végétarien, de doser dans l'alimentation les végétaux les contenant, en se basant sur des données rigoureusement scientifiques plutôt que philosophiques (1).

Il est même permis de penser que l'état actuel de la science n'est pas assez avancé pour permettre d'établir un régime différent du régime empirique traditionnel de l'homme et qui lui réussisse aussi bien dans

Protéines	Poids moléculaires
Lactalbumine (vache).....	37 800, soit env. 2 unit. Svedberg
Insuline (porc)	35 100 — 2 —
Hémoglobine (cheval)	68 000 — 4 —
Sérunglobuline (cheval)	150 000 — 8 —
Edestine (prot. végétale)	303 000 — 16 —
<i>Pigments respiratoires :</i>	
Hémocyanine (poulpe)	2 785 000
Erythrocyanine	3 140 000
Hémocyanine (escargot)	6 630 000
<i>Virus protéines</i>	17 000 000 à 25 000 000

TABLEAU II. — POIDS MOLÉCULAIRES DE QUELQUES PROTÉINES (D'APRÈS D. JORDAN-LLOYD ET A. ET J. ROCHE)

Ces poids moléculaires extrêmement élevés ne peuvent être déterminés qu'approximativement au moyen de méthodes délicates, telles que mesures de pression osmotique, de diffusibilité ou méthode d'ultra-centrifugation (Svedberg) dérivée de la méthode de sédimentation de Perrin. On constate que leur valeur est en général voisine d'un multiple de 17 000, nombre qui constitue l'« Unité Svedberg ».

tous les cas.

Quoi qu'il en soit, les acides aminés hydrolysés dans le tube digestif passent du chyle dans le sang qui les amène vers les « ateliers de montage » des divers tissus, et en particulier du foie, où ils serviront à pourvoir au remplacement des protéines spécifiques détruites par *autolyse* des cellules mortes. On sait, en effet, que l'organisme renouvelle constamment ses cellules et que chacune d'elles contient les diastases spécifiques qui serviront à « désarticuler » les molécules de ses protéines afin de permettre leur élimination. C'est la présence de diastases autolysantes spécifiques dans la chair des gros poissons non comestibles directement, qui rend praticable le procédé par lequel on transforme cette chair indigeste en protéines moins complexes dont l'hydrolyse pourra s'achever dans notre tube digestif (2). L'autolyse est d'ailleurs un phénomène très général qui, outre son rôle dans l'organisme sain, provoque l'amaigrissement des malades et permet la décomposition des cadavres. Dans certains cas particuliers, elle a une importance toute spéciale. C'est ainsi que les saumons du Rhin, pendant les trois ou quatre mois qu'ils mettent à remonter le fleuve, ne mangent absolument

(1) Voir note précédente.

(2) Voir : « Les Ersatz alimentaires » (*Science et Vie*, n° 304, décembre 1942).

(1) Les acides nucléiques sont composés d'acide phosphorique, d'un sucre et d'une base purique ou pyrimidique, groupés en « nucléotides » dont l'ensemble forme la molécule d'acide nucléique.

(2) Voir : « L'alimentation végétale rationnelle » (*Science et Vie*, n° 272, février 1941).

rien, mais subissent une fonte musculaire corrélatrice à une production très importante des cellules sexuelles : les protéines musculaires ont été autolysées en acides aminés à partir desquels les tissus nouveaux ont été synthétisés. C'est également l'autolyse qui permet à la lactation des mammifères de continuer à se produire malgré un jeûne total : la caséine et la lactalbumine qui constituent 2,3 % du lait de femme et 3,5 % du lait de vache (1) sont alors fabriquées aux dépens des tissus autolysés. L'autolyse joue enfin un rôle capital dans les *métamorphoses* des animaux, en particulier dans l'apparition et la disparition d'organes éphémères au cours de la vie embryonnaire.

Dans le cas général, l'autolyse des tissus

alimentation exclusivement azotée ne serait cependant guère avantageuse, quand bien même nous n'admettrions pas l'existence, à laquelle croient certains auteurs (1), d'un besoin minimum de lipides. Les bactéries de l'intestin transforment en effet une partie des aminoacides — et singulièrement lorsque ceux-ci se trouvent en excès — en substances basiques appelées ptomaines et dont les noms évocateurs (putrescine, cadavérine, etc.) donnent déjà une idée de la toxicité. Il peut aussi se former un excès d'acide urique, dont l'élimination est délicate. Enfin, l'action dynamique spécifique des protides les rend moins avantageux au point de vue énergétique que les glucides et les lipides, surtout au-dessus d'une certaine limite.

Tissus	Protides en % par rapport à la substance totale	Protides en % par rapport à la substance sèche	Humeurs :		
			1. Sang : 200 g/l protides totaux		
Tissu musculaire	16-21	75-80	150 g protides globulaires		
— osseux	12	25	sérum albumine	+	sérum globuline
— nerveux	8-10	50			
(subst. grise)	8-10	30-35	35 g protides sériques.		
— nerveux	8-10	60-65	2. Lymphe : 35 g/l protides totaux (environ 80 % de la matière sèche).		
(subst. blanche)	13-16	75-80			
— hépatique	15-16				
— rénal					

TABLEAU III. — TENEUR EN PROTIDES DE QUELQUES TISSUS ET HUMEURS

Les chiffres donnés sont susceptibles d'importantes variations et ne constituent que des moyennes. En ce qui concerne les humeurs notamment, il va de soi qu'elles charrient des quantités bien plus considérables de protides au moment de la digestion, lorsqu'elles véhiculent les aliments digérés de l'intestin vers le foie et les divers tissus de l'organisme.

aboutit à des acides aminés que le rein et le foie *désaminent* en les dédoublant en ammoniac qui participera dans le foie à la formation de l'urée, éliminée par l'urine, et en sous-produits qui seront dirigés sur le foie qui les transformera en glucose (on verra plus loin l'importance du rôle *énergétique* des protides).

Le renouvellement des protéines peut aussi se faire sans remaniement *total*. La dislocation des chaînes polypeptidiques, qui constituent l'épine dorsale de la molécule protéique, donne lieu à un échange continu d'acides aminés, que l'on a appelé *transpeptidation*, et on peut imaginer que cet échange donne parfois lieu à la substitution d'un acide aminé par un autre, d'où la possibilité d'une mutation graduelle des propriétés de la protéine initiale (Polonovski).

Enfin, l'excès des acides aminés digérés qui ne sont plus nécessaires à la synthèse des protéines tissulaires subit aussi la désamination dans les reins et le foie, et la partie non azotée de la molécule rentre, avec celle des acides aminés venant de l'autolyse des tissus, dans le cycle du métabolisme des glucides par l'intermédiaire du foie qui la transforme en glucose lequel sera finalement brûlé en donnant de l'énergie. Les protéines sont donc des aliments plastiques et énergétiques à la fois. Indépendamment du besoin irréductible en hydrates de carbone, une

(1) Voir : « Le lait » (*Science et Vie*, n° 280, décembre 1940).

Localisation et rôle des protéines (2)

Ce sont avant tout les constituants essentiels du protoplasme cellulaire, noyau et cytoplasme. En effet, d'une part le *cytoplasme* est composé d'holoprotéides auxquels sont mêlées quelques molécules de lipides, et d'autre part le *noyau* est presque exclusivement composé de nucléoprotéides. La chromatine, dont le rôle est si important dans la division cellulaire, se compose de nucléoprotéides. Le tableau III donne la teneur en protéides des principaux tissus et humeurs.

Une particularité importante distingue les protéines des autres constituants de l'organisme. C'est l'impossibilité dans laquelle se trouve celui-ci de les stocker autrement que sous forme de ses tissus eux-mêmes : tout l'azote non assimilé est éliminé par l'urine. L'organisme humain ayant besoin d'un minimum de 20 à 30 g de protéines par jour, on voit que sa défense contre le jeûne total (ou partiel avec carence absolue de protides) ne peut consister qu'en sa propre destruction, laquelle amène la mort à bref délai (lorsque 25 à 30 % des pro-

(1) Il s'agirait d'un besoin en lipides indépendant du besoin en vitamines liposolubles (c'est-à-dire que l'on trouve dans les matières grasses ou lipides).

(2) Les protéines étant les seules formes sous lesquelles on trouve les protides dans l'organisme à l'état statique, nous pouvons nous conformer à l'usage et employer indifféremment les deux termes lorsque, comme ici, cela ne prête pas à confusion.

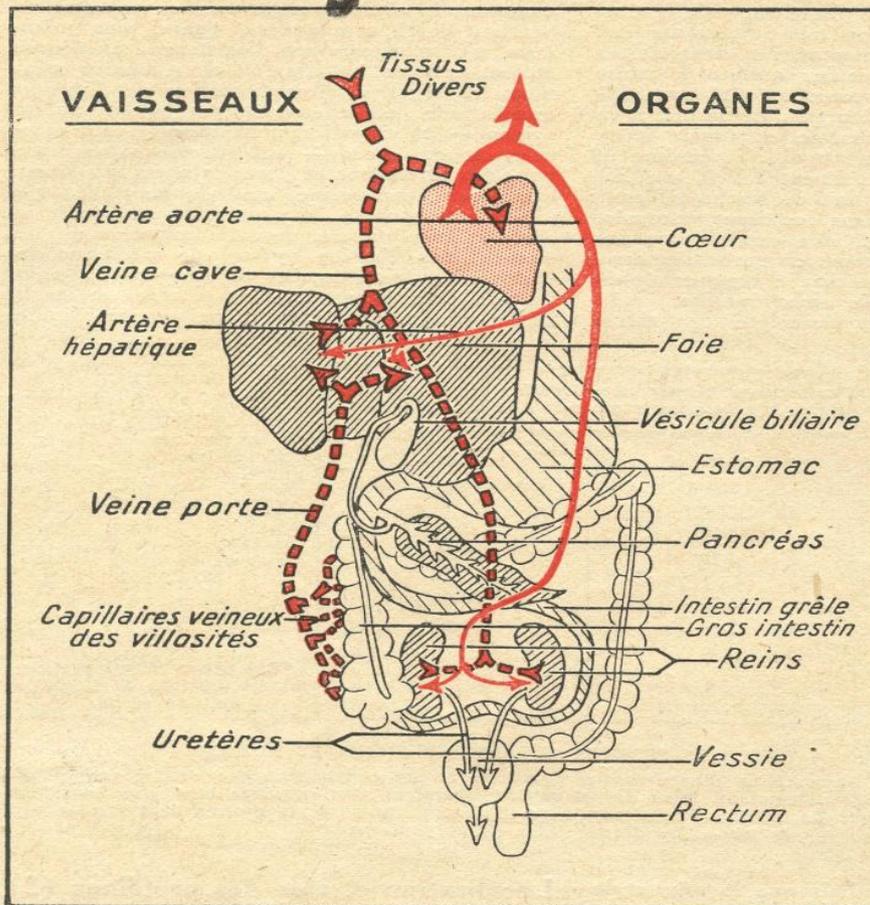


FIG. 3. — SCHÉMA DU MÉTABOLISME DES PROTIDES CHEZ L'HOMME

Les protéines ingérées sont dédoublées en polypeptides par la pepsine du suc gastrique et la trypsine du suc pancréatique, puis en acides aminés par l'érepsine du suc intestinal. Ces aminoacides passent, par les villosités intestinales (où leur recombinaison en protéines spécifiques commence déjà), à la veine porte qui les conduit au foie où s'élaborent les protéines sanguines; elles parviennent de là aux divers tissus de l'organisme qui synthétiseront chacun ses protéines spécifiques. L'élaboration de ces dernières a pour but de remplacer les protéines détruites par autolyse dans les tissus. Les acides aminés auxquels aboutit l'autolyse sont conduits par l'artère aorte au foie et aux reins où, sous l'influence d'une diastase, s'effectue leur désamination. L'ammoniaque ainsi formée dans les reins revient, par la circulation générale, au foie où se forme exclusivement l'urée (éliminée par voie urinaire). Les sous-produits (acides cétoniques et acides-alcools) sont réintroduits par la veine cave dans le circuit du métabolisme général des glucides. L'urée se décomposant en sels ammoniacaux qu'absorbent les plantes dont nous nous nourrissons et dont se nourrissent les animaux que nous mangeons, on voit que le métabolisme des protides entre dans le cadre général du cycle biologique de l'azote.

téines tissulaires ont disparu). De ces considérations découle une règle pratique bien connue pour les époques de disette : il vaut mieux échelonner régulièrement les aliments dont on dispose sur un intervalle de temps déterminé que de suivre un régime abondant au début pour se rationner sévèrement par la suite, ce qui serait gaspiller les aliments protéiques, bien plus encore que les glucides et lipides.

Le rôle des protéines dans l'organisme est, on le voit, capital. C'est avant tout un rôle plastique qui confère toutes leurs propriétés mécaniques (résistance, élasticité, etc.) aux cellules vivantes et par conséquent aux tissus dont

elles font partie. Les protéines sont présentes aussi bien dans les tissus de soutien (conjonctifs, adipeux, cartilagineux, osseux) que dans les tissus musculaires, nerveux, glandulaires, etc... Partout, elles sont intimement liées aux processus de la reproduction, de la croissance et de la vie végétative, car elles constituent en quelque sorte les matériaux de construction de l'édifice représenté par l'organisme.

Mais dans ce rôle, les protéines ne se bornent pas à être des matériaux inertes : des découvertes récentes nous induisent à penser qu'elles sont à la base même de l'élaboration de la matière vivante.

Virus-protéines et gènes

S'il est un phénomène mystérieux et caractéristique de la vie, c'est bien cette propriété étonnante que possèdent les êtres vivants d'accroître leur propre substance aux dépens de la nourriture qu'ils absorbent. Or, nous savons à présent de façon certaine que certaines molécules protéidiques ne possédant pas tous les caractères d'êtres vivants organisés sont douées de cette propriété : ce sont les virus-protéines (1).

Il est même, nous le verrons, permis de croire aujourd'hui que croissance et assimilation sont toujours sous la dépendance directe de molécules protéiques. Rien d'extraordinaire alors à ce qu'il n'y ait point de phénomène vital sans support protéique. On pourrait même dire, si l'expérience n'imposait la plus grande prudence en matière de phénomènes vitaux, dont l'essence toujours mystérieuse se dérobe constamment à nos investigations, que la vie elle-même n'est, en dernière analyse, qu'une propriété chimique spéciale de la molécule protéique, dans certaines conditions étroitement définies.

(1) Voir : « Les virus-protéines » (*Science et Vie*, n° 306, janvier 1943).

nie de dispersion et de milieu.

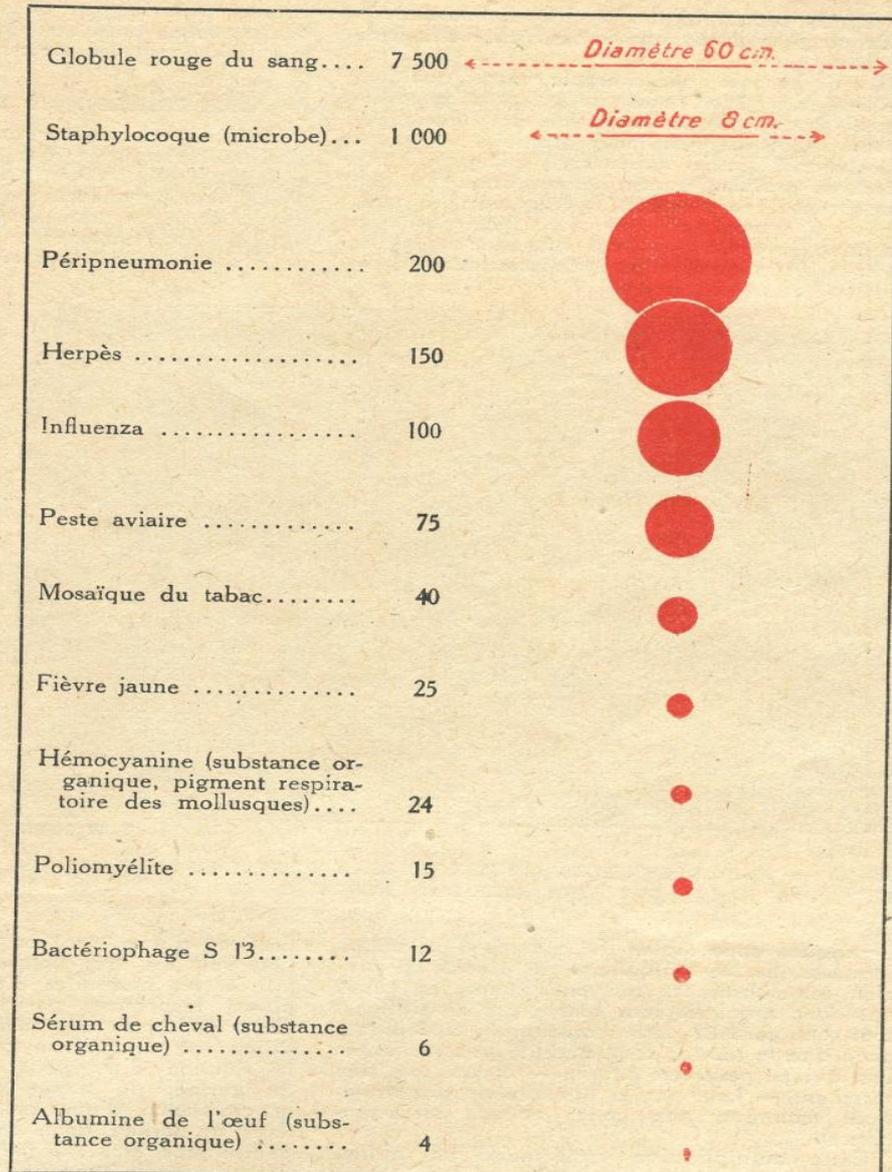
Ayant simplement souligné l'importance philosophique des faits dont il est ici question, nous devons à présent nous demander dans quelle mesure l'assimilation d'un virus-protéine est identique à celle d'un véritable être vivant. Or, leur étude montre que, contrairement aux êtres vivants qui se nourrissent de substances inanimées ou mortes, les virus-protéines ne se multiplient qu'aux dépens de cellules vivantes, puisque, jusqu'ici, on n'est arrivé à en réaliser aucune culture sur milieu inerte.

Une autre différence consisterait en ce que la cellule vivante synthétise un grand nombre de protéines différentes; le virus-protéine une seule. Mais rien ne s'oppose à ce que, dans la cellule vivante, chaque protéine augmente individuellement sa propre masse, l'effet global étant une augmentation de la masse cellulaire dans toute sa complexité.

Le complexe protéidique qui constitue le protoplasme est encore trop mal connu pour qu'aucune expérience puisse trancher la question. Mais il est un cas typique relatif à des individus définis biologiquement, sinon chimiquement, et qui semble présenter de grandes analogies avec celui des virus-protéines : c'est celui des gènes et du phénomène que d'aucuns ont cru devoir appeler « réduction convariante » (Timofieff-Ressovski).

On sait (1) que dans la division cellulaire par mitose (ou caryocinèse), la chromatine qui constitue essentiellement le noyau cellulaire se partage, sous forme de petits bâtonnets appelés chromosomes, en deux lots rigoureusement

(1) Voir : « L'hérédité » (*Science et Vie*, n° 279, novembre 1940).



T W 24620

FIG. 4. — DIAMÈTRES COMPARÉES DE QUELQUES VIRUS-PROTÉINES

Les diamètres réels donnés par les chiffres de la colonne centrale sont indiqués en millimicrons (millionièmes de millimètre). A titre de comparaison figurent sur ce tableau (grossissement 80 000) un globule rouge du sang, un microbe et quelques molécules de substances purement organiques. Les deux premiers sont seuls visibles au microscope ordinaire. Le microscope à lumière ultraviolette permet de reculer la limite de visibilité, mais seul l'ultramicroscope électronique permet de discerner la plupart des ultravirus. Les diamètres ici indiqués ont été évalués par ultrafiltration ou ultracentrifugation.

égaux dont chacun est dévolu à l'une des cellules filles. D'après la théorie chromosomique de l'hérédité, qui voit dans les chromosomes le support des caractères héréditaires, chacun des dits caractères serait lié à une partie individualisée du chromosome appelée gène, qui ne peut être observée directement, mais dont la localisation exacte sur le chromosome a pu être établie dans beaucoup de cas

(« cartes géographiques » des chromosomes). Chaque gène aurait une individualité chimique précise.

L'œuf humain, par exemple, reçoit quelques milliers de gènes, tous de constitution différente (fig. 7). Or, au cours de son développement, la cellule germinale primitive se multiplie jusqu'à donner naissance à quelque 20 trillions de cellules dont quelques-unes, les cellules sexuelles, peuvent, à leur tour, se multiplier à travers de nouveaux individus. Or, chacune de ces cellules contient exactement les mêmes gènes que l'œuf, les chromosomes étant

tous les matériaux au détriment de l'élaboration des protéines normales, jusqu'à ce que la cellule finisse par en mourir.

Assimilation et multiplication

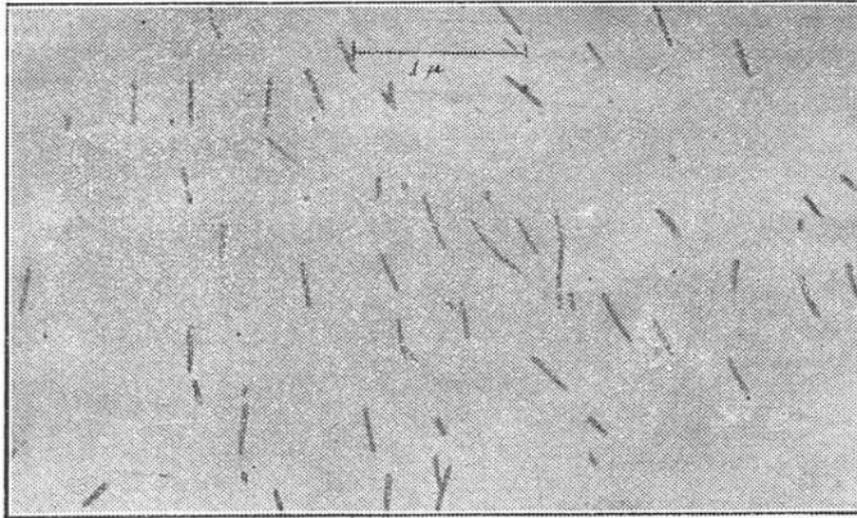
C'est donc le même phénomène de « contagion métabolique » qui permet aux virus et aux gènes d'accroître indéfiniment leur masse d'une manière anarchique pour les uns, ordonnée pour les autres. Cette contagion métabolique se retrouve encore dans les phénomènes de l'induction embryonnaire (1), et l'on a ainsi

le même chimisme fondamental, tantôt étalé dans le temps et reliant les générations cellulaires, tantôt intensifié dans l'embryon au niveau des zones d'induction, tantôt enfin permettant la reproduction indéfinie d'un parasite inframicroscopique.

Suivant quel mécanisme se font l'assimilation, la croissance et la multiplication de ces substances semi-vivantes? Il semble que l'on puisse admettre qu'elles sont douées de propriétés *autocatalytiques*, c'est-à-dire qu'elles stimulent par leur présence les réactions aboutissant à leur propre synthèse. Pour préciser cette notion, on peut rapprocher cette synthèse de la cristallisation d'une solution saturée d'alun, où l'on voit les ions potassium, aluminium, sulfate et les molécules d'eau se ranger à leurs places respectives par le jeu des attractions électrostatiques. De même que cette cristallisation est déterminée par l'introduction dans la solution d'un petit cristal d'alun servant de germe, de même on pourrait concevoir la croissance d'une molécule-germe protéique dans un milieu riche en aminoacides, chaînes peptidiques, etc..., la nature du germe introduit déterminant le type des protéines ainsi synthétisées.

Cette conception n'est cependant pas encore universellement admise, et d'aucuns voient encore dans la matière vivante basale l'agent mystérieux et exclusif de toutes les synthèses, cherchant ainsi à rester en accord avec les idées traditionnelles. Il devient en effet difficile de ne pas en heurter quelques-unes, et c'est ainsi que certaines maladies d'origine inconnue, comme l'anémie et le cancer, ne s'expliquent pas au moyen des virus-protéines, leur origine extérieure ne pouvant toujours être admise. On tente actuellement de tourner la difficulté en

(1) On désigne ainsi l'action d'un « organisateur », territoire de l'embryon qui détermine, au moyen d'agents chimiques, la différenciation des cellules qui l'environnent, et la dirige dans un sens déterminé, conduisant à la formation des divers tissus spécifiques de l'organisme.



T W 24628

FIG. 5. — MOLÉCULES EN BATONNETS DU VIRUS DE LA MOSAÏQUE DU TABAC, GROSSIS VINGT MILLE FOIS ENVIRON

identiques dans toutes les cellules d'un même individu. En se dédoublant de proche en proche, les substances qui constituent les gènes ont donc multiplié leur masse par 20 trillions, tout en gardant leur constitution spécifique, ainsi que le montre leur stabilité presque absolue, qui ne peut être altérée — encore que très rarement — que par le phénomène des *mutations* (commun aux gènes et aux virus-protéines).

Cette multiplication moléculaire en milieu vivant constitue une importante analogie entre les gènes et les virus-protéines. Une autre réside dans la nature même de leurs molécules (dont les dimensions sont également du même ordre de grandeur, c'est-à-dire variant du centième au quart de micron). On se représente, en effet, un chromosome comme un faisceau de molécules protéiques liées entre elles par une trame de molécules d'acides nucléiques (fig. 8). Cette longue chaîne porterait latéralement des molécules très diverses qui ne seraient autres que les gènes et dont le peu que nous savons nous permet de penser qu'elles sont de nature protéique.

Rien ne semble donc différencier le comportement des gènes de celui des virus-protéines, si ce n'est un facteur purement quantitatif : leur capacité d'assimilation, qui semble limitée pour les gènes, illimitée pour les virus. Le virus introduit dans une cellule en accapare en effet

supposant que sous certaines influences nerveuses, métaboliques ou météorologiques (telles que les rayons cosmiques), une molécule douée de propriétés virulentes pourrait se former au sein de l'organisme, se multipliant aussitôt et entraînant dans un sens défavorable le métabolisme cellulaire en donnant naissance à la maladie. On est donc ainsi amené à reprendre en quelque sorte la théorie de la génération spontanée, il est vrai à propos de formes de la vie si primitives qu'elles méritent à peine d'être rangées parmi les phénomènes vitaux.

Les considérations précédentes suffisent à montrer l'intérêt que l'on doit attacher aux recherches portant sur les gènes, les virus et le chimisme de la molécule protéique. Il serait cependant imprudent d'en tirer des conclusions trop hâtives, car les théories nouvelles qui s'ébauchent donneront bientôt lieu à des expériences susceptibles de les confirmer ou de les infirmer en nous induisant à préciser ou à modifier les idées actuelles, que nous n'avons pas encore le droit de considérer autrement que comme des hypothèses.

Les substances directrices du chimisme vital

Ainsi que nous l'avons vu, les protéines constituent les matériaux de construction de l'organisme. Elles ne jouent pas seulement le rôle des briques d'une maison, mais encore celui des conduites d'eau, de gaz, d'électricité, de chauffage central, etc... Elles entrent aussi dans la composition des robinets, des interrupteurs, des compteurs, des égouts, des lampes, des portes, des fenêtres. Elles jouent même un rôle primordial dans les humeurs qui circulent dans les conduites de cet organisme, en contribuant à régler le degré d'acidité du sang, transportant l'oxygène, etc... Enfin, propriété fondamentale, ces matériaux sont probablement susceptibles de se former et de s'entretenir par eux-mêmes.

Devant l'importance de ce rôle, nous pourrions être tentés de croire que ces mêmes corps qui constituent en quelque sorte la matière vivante

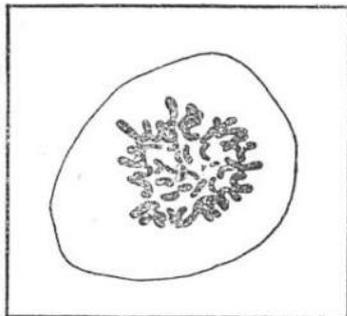


FIG. 6. — LES CHROMOSOMES GROUPÉS DANS UNE CELLULE D'HOMME

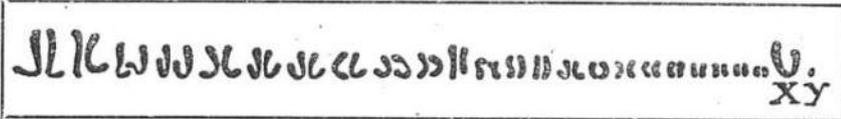


FIG. 7. — LES 24 PAIRES DE CHROMOSOMES CONSTITUANT L'ÉQUIPEMENT CHROMOSOMIQUE DE L'HOMME

Les milliers de gènes constituant notre patrimoine héréditaire sont groupés en 24 paires de chromosomes. La dernière à droite représentée ici est la fameuse paire déterminant le sexe; elle est constituée soit de deux chromosomes de taille égale XX, chez la femme, soit de deux chromosomes inégaux XY, chez l'homme.

bité par d'autres substances qui, bien que présentes en proportion de poids aussi faible qu'un homme devant un gratte-ciel, sauront comme lui allumer et éteindre les interrupteurs, ouvrir et fermer les fenêtres, faire fonctionner les monte-charge et les chasses d'eau, bref provoquer le déclenchement des phénomènes vitaux proprement dits.

Les découvertes biochimiques de ces dernières décades nous montrent en effet que les substances chimiques qui sont à la base du dynamisme vital ne sont qu'exceptionnellement de nature protéidique. Et lors même que ces substances possèdent une protéine dans leur molécule, ce n'est jamais elle qui confère à la molécule totale ses propriétés biochimiques spécifiques.

Ergones et ergines

Chacun sait aujourd'hui que les plus importantes parmi ces substances directrices des fonctions vitales sont les vitamines, les hormones et les diastases. On sait également qu'il existe entre ces corps une certaine similitude de mode d'action, sinon de constitution chimique, qui a d'autant plus contribué à les faire grouper dans une même catégorie que des découvertes récentes faisaient en partie perdre leur signification aux définitions que l'on avait primitivement énoncées. C'est ainsi que la distinction généralement admise entre les vitamines et les hormones reposait sur leur origine exogène chez les unes, endogène chez les autres. Or, il est à présent démontré, ainsi que nous le verrons, que l'organisme est capable de réaliser lui-même la synthèse de certaines vitamines et que, d'autre part, il a besoin de certains éléments d'origine exogène pour réaliser la synthèse des hormones.

Si, jusqu'en 1920, vitamines, hormones et diastases n'avaient d'autre trait commun que le mystère de leur nature et la puissance de leur action, le premier, Mouriquand, faisait leur rapprochement cette année. Hopkins en 1923, puis M^{me} Randoïn en 1929, considéraient ensuite les vitamines comme « hormones externes ». En 1936, von Euler réunit sous le nom d'ergones les vitamines et les hormones. Plus récemment encore, Drischel définit comme ergines l'ensemble des vitamines, des hormones et des diastases, auquel Polonovski préfère l'appellation de biocatalyseurs qui semble devoir être adoptée généralement.

Quels sont au juste les motifs qui ont induit à ce rapprochement? D'abord, ainsi que nous l'avons vu, les raisons de séparer les différentes catégories de biocatalyseurs ont souvent beaucoup diminué de netteté. Ensuite et surtout, il y a le fait que vitamines, hormones et diastases agissent toutes par voie catalytique : elles se trouvent dans l'organisme à des taux très faibles excluant tout rôle plastique ou énergé-

tique, ont une action disproportionnée avec ce taux, et rendent possibles dans l'organisme certaines réactions qui, si on voulait les reproduire au laboratoire sans leur présence, nécessiteraient des conditions de température, de concentration et de pression incompatibles avec la vie.

Enfin, l'étude des effets physiologiques des biocatalyseurs, qui avait déjà montré que certaines hormones ont des actions antagonistes, de l'équilibre desquelles dépend celui de l'organisme (1), a récemment montré que vitamines et hormones agissent très souvent soit en *synergie* c'est-à-dire que la présence simultanée des deux catalyse plus fortement une réaction que celle de chacune des deux séparément, soit en *antagonisme* (effet contraire). Le tableau IV donne quelques exemples de ces actions antagonistes ou concordantes.

Les biocatalyseurs ont donc un certain nombre de traits communs, qui leur donnent droit à une place spéciale dans l'échelle des valeurs biochimiques. Nous allons à présent examiner dans quelle mesure leur structure et leur action procèdent de la chimie des protides.

Les vitamines

Ce sont, on le sait (2), des substances dont la présence à l'état de traces dans la ration alimentaire est indispensable à la vie animale. Leur carence cause des troubles graves des fonctions de l'organisme, ou avitaminoses.

Chimiquement, les vitamines appartiennent à des groupes de corps extrêmement hétéroclites. Ce caractère, en quelque sorte négatif, qu'elles ont en commun avec les hormones, n'a pas été un des facteurs les moins déterminants de leur rapprochement avec ces dernières, d'autant plus qu'il existe une grande parenté chimique entre certains membres des deux groupes, vitamine D et hormones sexuelles par exemple (3). Rappelons également que certaines vitamines peuvent être synthétisées par l'organisme. Ainsi tous les animaux, à l'exception du chat et du rat, peuvent fabriquer les vitamines A₁ et A₂ à partir du carotène (carbure polycyclique dont elles dérivent) ou des caroténoïdes. Tous réalisent également la synthèse de la vitamine D à partir des stérols et sous l'influence de certaines radiations. Enfin, tous les animaux, sauf ceux des pays chauds et l'homme, peuvent synthétiser l'acide ascorbique ou vitamine C, qui constitue donc une hormone pour certains animaux, une vitamine pour les autres.

(1) Voir : « Hormones et système nerveux » (*Science et Vie*, n° 305, janvier 1943).

(2) Voir : « Restrictions et vitamines » (*Science et Vie*, n° 233, avril 1937, et n° 280, décembre 1940).

(3) Voir : « La Synthèse des hormones » (*Science et Vie*, n° 295, mars 1942).

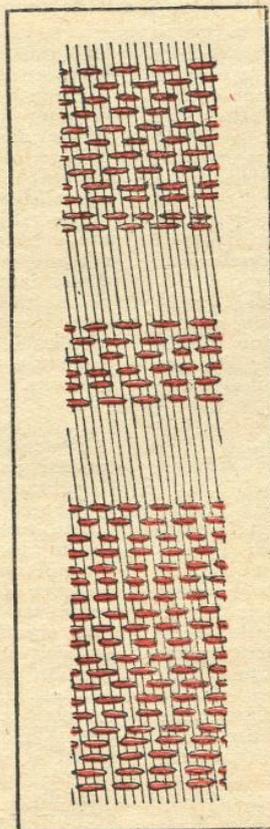
Parmi les vitamines, les unes sont *liposolubles* (1), les autres *hydrosolubles*. La seule ressemblance de structure chimique que l'on ait jusqu'ici pu trouver à divers groupes de vitamines est que toutes les vitamines liposolubles (A, D, E, K (2) ont un squelette que l'on peut faire dériver par synthèses et cyclisations d'un même carbure, l'isoprène (3). Néanmoins, les vitamines appartiennent aux catégories les plus diverses de corps organiques : dérivés du carotène (A), des stérols (D), de noyaux hétérocycliques (B), de l'acide nicotinique (P.P.), etc...

Cependant, la confrontation des formules des diverses vitamines ne peut manquer d'attirer l'attention sur le fait qu'aucune d'entre elles n'est de nature protidique : la chimie des protides et celle des vitamines n'ont aucun point commun.

Les hormones

Ce sont les produits de sécrétion de certaines glandes dites *endocrines* parce que privées de canal extérieur et richement vascularisées; elles déversent directement dans le sang qui les irrigue les substances qu'elles sécrètent. Les hormones, agissant à distance sur certains organes, exercent une action spécifique, excitatrice ou inhibitrice sur les fonctions dont ces organes sont le siège, et conditionnent ainsi la santé, le tempérament, la reproduction de l'organisme. Elles jouent donc un rôle coordinateur parallèle à celui des systèmes nerveux végétatif et volontaire.

Comme les vitamines, les hormones appartiennent à des groupes chimiques extrêmement disparates. C'est ainsi que la thyroxine dérive d'un aminoacide, la tyrosine, tandis que les hormones sexuelles et corticosurrénales dérivent des stérols et que l'insuline, ainsi que les hormones parathyroïdienne et hypophysaire sont de nature protidique. Nous voyons donc qu'à la différence des vitamines, les hormones peuvent être des aminoacides (thyroxine) ou des polypeptides (insuline) (4). C'est ce qui explique qu'alors que les vitamines peuvent être introduites dans l'organisme avec les aliments, ceci n'est pas possible pour les hormones de nature protidique (5) qu'attaqueraient et hydrolyseraient



T W 24623
FIG. 8. — DISPOSITION
DES PROTÉINES DANS LA
CHROMATINE

Les lignes obliques représentent les polypeptides en fibres, les barres transversales les molécules d'acide nucléique (d'après Wrinch).

(1) C'est-à-dire solubles dans les graisses.

(2) A l'intérieur d'un même groupe désigné par une lettre de l'alphabet on réunit les vitamines d'effet physiologique semblable, même si leur constitution chimique est assez différente, comme c'est le cas pour les vitamines K₁ et K₂.

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

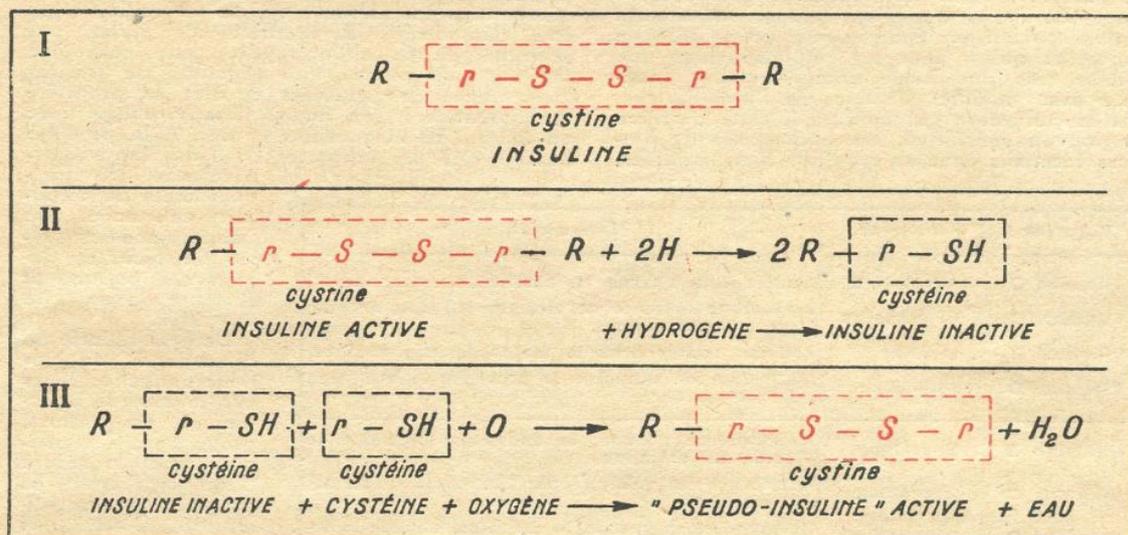
(4) Nous ne parlons pas des hormones parathyroïdienne et hypophysaire dont l'étude n'a guère dépassé le stade physiologique et dont la biochimie est encore par trop imprécise.

(5) C'est pour cette raison que l'insuline s'administre par piqûres aux diabétiques.

les sucs digestifs. D'ailleurs, d'une façon générale, les hormones sont plus fragiles que les vitamines et doivent être continuellement remplacées à mesure de leur destruction, tandis que les vitamines peuvent être ingérées sous forme de fortes doses espacées, et ne sont donc pas aussi rapidement détruites; on peut voir en cela un des aspects qui différencient le mieux ces deux catégories de biocatalyseurs.

Dans quelle mesure les propriétés des hor-

leur action, puisque les diastases président à toutes les réactions chimiques de l'organisme et qu'il n'est pas un phénomène de la vie qui ne soit soumis à l'intervention des catalyseurs spécifiques dits « diastases cellulaires », grâce auxquels l'organisme vivant peut croître, remplir ses fonctions et finalement s'autolyser. C'est la présence des diastases, appelées aussi *ferments solubles* ou *enzymes* qui permet aux réactions qui ont leur siège dans l'organisme



T W 24624

FIG. 9. — L'ACTIVITÉ DE LA MOLÉCULE D'INSULINE

On peut admettre pour l'insuline une formule telle que I, où r désigne les deux demi-restes de la molécule de cystine (voir tableau I) et R le radical constitué par les autres acides aminés entrant dans la composition de l'insuline. Si nous hydrogénons l'insuline suivant la réaction II, la molécule perd son activité du fait de la transformation de la liaison « disulfure » ($-S-S-$) en liaison « thiol » ($-SH$). Si maintenant nous mettons en présence, en milieu oxydant, une telle molécule inactivée et une quantité suffisante de cystéine également inactivée, nous aurons la réaction III qui donne une « pseudo-insuline » différente de la molécule primitive (par le défaut d'un radical R) et cependant également active (Freundenberg et Wegemann). L'insuline doit donc son action spécifique non à sa nature protidique, mais à la présence dans sa molécule de deux atomes de soufre unis en formant une liaison disulfure.

mones protidiques sont-elles liées à leur nature protidique? Pour la *thyroxine* (tableau I), il est prouvé qu'elle doit uniquement son action spécifique aux atomes d'iode qu'elle contient. En effet, d'autres combinaisons iodées similaires, comme la di-iodotyrosine, exercent également une action sur le développement de l'embryon, tandis que le corps thyroïde des nouveau-nés, qui ne renferme pas d'iode, est inactif.

En ce qui concerne l'insuline, son activité semble dépendre essentiellement des atomes de soufre que contient la cystine qui entre dans sa composition (fig. 9) : comme la thyroxine, l'insuline doit son action spécifique non à sa nature protidique, mais à la présence dans sa molécule d'atomes métalloïdiques spéciaux que supporte un squelette protéique.

Les diastases

La définition de cette catégorie d'« ergines » qu'on admet généralement est la suivante : ce sont des catalyseurs solubles, colloïdaux, organiques, produits par les organismes vivants (Haldane et Oppenheimer). L'importance de leur rôle dans la digestion des aliments est bien connue de chacun. Mais là ne se limite pas

vivant d'avoir lieu aussi rapidement dans des conditions de température et de concentration aussi défavorables que celles réalisées en son sein. Ainsi une molécule de catalase peut décomposer en une seconde 100 000 molécules d'eau oxygénée à température ordinaire (R. Kuhn) (1).

Le mode d'action des diastases est mieux connu que celui des autres biocatalyseurs. En effet, il est possible ici de l'étudier *in vitro*, les ferments solubles étant caractérisés par rapport aux autres ergines par le pouvoir de fonctionner en dehors de la cellule ou de l'organisme qui les a produits, exactement comme des catalyseurs artificiels.

D'après Gabriel Bertrand, toute diastase serait formée d'une partie douée d'action catalytique, la *complémentaire active*, et d'un support colloïdal ou *complémentaire activante*. La première, à la faible concentration où elle se trouve, n'agirait, seule, qu'avec une extrême lenteur. La seconde, dépourvue d'action chimique sur le milieu réactionnel (ou *substrat*)

(1) Cette réaction est celle que l'on observe lorsque de nombreuses petites bulles gazeuses (d'oxygène) se dégagent de l'eau oxygénée répandue sur une plaie.

interviendrait par sa structure en *adsorbant* (1) substrat et substance active et rapprochant ainsi les molécules de l'un et de l'autre, et aussi en déterminant des déformations et « torsions » intramoléculaires qui rendent plus fragiles certaines liaisons. Cette conception est généralement acceptée aujourd'hui, et l'on nomme à présent la complémentaire active *codiastase* (ou coenzyme), la complémentaire activante *apodiastase* (ou apoenzyme), en réservant à la diastase totale le nom d'*holodiastase* (ou holoenzyme) (2). Alors que l'apodiastase, de nature le plus souvent protéidique, n'a qu'un rôle de support et qu'on peut la remplacer dans une diastase par une autre complémentaire activante sans modifier l'action de l'holodiastase, c'est la codiastase qui confère à cette dernière son pouvoir spécifique. Les codiastases de plusieurs ferments sont aujourd'hui bien étudiées,

commande des réactions ayant leur siège dans l'organisme échapper aux protéines, qui ne jouent qu'un rôle de support, tout aussi important néanmoins puisque également indispensable.

Les antigènes

Il existe encore d'autres substances qui jouent un rôle de tout premier plan dans les phénomènes vitaux, et dont la nature non protéidique, tout au moins pour la partie biochimiquement prépondérante de la molécule, a pu être démontrée. Il faudrait ici parler par exemple de la chlorophylle, cette substance capitale qui permet aux végétaux de réaliser la synthèse des glucides et doit sa propriété fondamentale à son noyau tétrapyrrolique avec un atome de magnésium et non à la protéine banale qui le supporte (1). Nous nous bornerons à dire quelques mots de certaines substances de l'importance desquelles de récentes découvertes permettent à peine de se faire une idée.

Dans la théorie de l'immunité, on appelle *antigènes* (2) les substances qui, injectées à un animal, provoquent l'apparition dans le sérum d'*anticorps* ayant la propriété de les précipiter. C'est ainsi que les *toxines* microbiennes provoquent, par le mécanisme de l'autodéfense de l'organisme, la création d'*anticorps* qui les neu-

Vitamine	Hormone	Interaction
Vitamine C	Adrénaline	L'adrénaline s'oxyde en absence de vitamine C.
Vitamine C	H. sexuelles	Le scorbut (carence de vitamine C) fait avorter les femelles pleines.
Vitamine B ₂	Insuline	Activent toutes deux le métabolisme glucidique.
Vitamine D	Folliculine	L'injection de vitamine D provoque le rut chez le rat castré.
Vitamine A	Thyroxine	La première abaisse, la deuxième augmente le poids des animaux.
Vitamine C	Thyroxine	Le scorbut est précipité par l'ingestion d'extraits thyroïdiens.
Vitamine D	Folliculine	La première augmente, la deuxième abaisse la teneur en calcium du sang.

TABLEAU IV. — ANTAGONISMES ET SYNERGIES ENTRE HORMONES ET VITAMINES
Les quatre premiers exemples sont des cas de synergie, les trois derniers d'antagonisme.

et leurs formules chimiques exactement connues. Si nous les confrontons, nous remarquons qu'en aucun cas la structure chimique des codiastases n'est de nature protéidique et qu'elle se résume souvent, par exemple, à celle d'un composé phosphorique d'une vitamine, combiné ou non avec d'autres molécules encore. Ainsi la cocarboxylase est un ester phosphorique de la vitamine B₁, la cozymase un composé phosphorique de vitamine P.P., d'un sucre et d'une base azotée, etc... (3).

Ainsi, ici encore, nous voyons les leviers de

trahissent, et l'on peut donc lutter contre certaines maladies par l'injection du sérum, riche en anticorps, d'un animal ayant subi la maladie en question et s'en étant guéri (sérothérapie). Or, on sait aujourd'hui que ces antigènes possèdent une structure analogue à celle des diastases, c'est-à-dire qu'ils sont formés par la combinaison d'une partie non protéique, appelée *haptène* et correspondant à la codiastase, et d'une protéine. Il est également établi que ce n'est pas la protéine mais uniquement l'haptène qui confère une spécificité souvent extrêmement étroite aux actions immunologiques. Isolé, l'haptène peut se combiner aux anticorps, mais non les faire apparaître.

Les pneumocoques fournissent un exemple classique de cette spécificité des haptènes. Entre les trois types de pneumocoques connus (types I, II et III), la différenciation ne peut être faite par les méthodes bactériologiques ordinaires, mais repose sur les réactions d'immunité. Ces pneumocoques ont une enveloppe constituée par un sucre (un polyside) qui est différent pour chaque type microbien et possède, comme l'a montré Heidelberger, la pro-

(1) On sait que l'adsorption est le phénomène de surface qui consiste en la fixation sur certains solides de molécules gazeuses ou dissoutes du milieu gazeux ou liquide qui est au contact de ces solides, sans qu'il y ait réaction chimique entre les phases solide et fluide. L'adsorption a donc pour effet d'augmenter la concentration de substances dissoutes au voisinage de la surface du corps adsorbant.

(2) Voir : « Chimie et thérapeutique » (*Science et Vie*, n° 297, mai 1942).

(3) La constatation de la présence de molécules vitaminiques dans les codiastases a permis de préciser dans certains cas quel est le mode d'action de la vitamine en question. Il est ainsi établi que le rôle de la vitamine B₂ est de participer à la synthèse de la cocarboxylase qui s'attaque à l'acide pyruvique, produit intermédiaire du métabolisme des glucides. Dans un pigeon carencé en vitamine B₂, la teneur du sang en acide pyruvique présente une augmentation notable. On voit ici encore combien sont étroites les relations qui lient entre eux les divers biocatalyseurs.

(1) Nous ne parlerons non plus des auxines et hétéro-auxines (*Science et Vie*, n° 280, page 289) auxquelles s'appliqueraient également les idées développées dans la présente étude. Mais nous nous limitons aux phénomènes intéressants le monde animal.

(2) Les antigènes n'ont rien de commun avec les gènes dont il a été question plus haut.

priété de se combiner aux anticorps; c'est donc un haptène. Si l'on combine artificiellement une protéine *quelconque* à ce polyside, les corps résultant possèdent toutes les propriétés des antigènes pneumococciques microbiens avec la spécificité correspondant au type où l'on a pris le polyside (1). Ce n'est donc pas la protéine, mais l'haptène qui différencie les antigènes des pneumocoques I, II et III, et ici, comme dans le cas des diastases, la protéine semble ne jouer qu'un rôle secondaire de support.

L'organisine et les substances mito-inhibitrices

On connaît beaucoup moins bien la nature chimique de la substance hypothétique que Dalcq appelle « *organisine* » et qui produirait dans l'œuf les phénomènes dits d'« induction embryonnaire ».

On sait, depuis la découverte de Speemann (2), que certaines parties de l'embryon possèdent la propriété de forcer les tissus voisins à constituer les ébauches d'organes spécialisés. Cette action inductrice n'est pas spécifique, puisqu'une lèvre dorsale d'embryon de grenouille aux premiers stades de son développement agit sur un œuf de triton, et inversement, et que, de plus, les inducteurs ne perdent pas leur activité lorsqu'on les a tués par broyage, chauffage, congélation, etc... Au contraire, beaucoup de tissus d'origine totalement étrangère, inactifs à l'état vivant, font preuve d'une activité remarquable une fois morts. Enfin, un certain nombre de substances synthétiques (dérivées d'acides nucléiques, d'hydrocarbures cancérigènes et œstrogènes, etc...) ont aussi une action organisatrice et toutes n'induisent pas la formation des mêmes organes. On ignore encore à quoi sont dues ces actions dissemblables et, quoique l'idée d'une substance active spécifique semble s'évanouir, on doit admettre cependant qu'il y en a une, physiologique, dont les divers corps inducteurs ne feraient qu'imiter plus ou moins l'action. Cette substance semble ne pas être de nature protidique, comme l'indique le fait qu'elle est thermostable et n'est pas altérée par les réactifs qui provoquent la coagulation des protéines. Néanmoins, certains embryologistes, se basant sur des faits d'une autre nature dans le détail desquels nous ne pouvons entrer, ont émis l'hypothèse, non confirmée d'ailleurs, qu'il s'agirait d'une substance protidique possédant le groupement sulfhydryle ($-SH$). L'organisine n'ayant pas été isolée, il n'est guère possible de faire autre chose que des suppositions. Quoi qu'il en soit, ce ne serait en tout cas pas une protéine, mais un reste protéique supportant un groupement actif spécial.

Pour terminer, quittons le domaine des phénomènes physiologiques *naturels* pour dire quelques mots de l'action des substances *mito-inhibitrices*. On groupe sous cette appellation des substances d'origine diverse, telles que la colchicine (3) (un alcaloïde), l'acénaphthène (un hydrocarbure) ou l'éthyl-phosphate de mercure, qui permettent de provoquer artificiellement sur des végétaux des modifications tellement extra-

ordinaires dans les rouages essentiels de la vie que c'est à des phénomènes analogues à ceux qu'elles produisent qu'on essaie actuellement de rattacher l'origine de l'évolution des espèces. Ces substances bloquent les mitoses et permettent d'obtenir des plantes polyploïdes, c'est-à-dire possédant un nombre de chromosomes deux ou quatre fois supérieur à la normale (1). D'après Dalcq, c'est par la polyploïdie spontanée qu'on pourrait expliquer, tout au moins en partie, les phénomènes de l'évolution, et spécialement de l'ontogénèse, c'est-à-dire l'enrichissement progressif du patrimoine héréditaire sans perte des avantages déjà acquis. Les végétaux polyploïdes présentent généralement des caractères de gigantisme, mais ne constituent que des variétés, très différenciées il est vrai, de l'espèce originelle. Par contre, si l'on hybride des individus polyploïdes, les chances de viabilité, de fécondité et de stabilité sont réunies mieux que dans tout autre croisement : le danger de déséquilibre entre chromosomes d'origines différentes disparaît; des interactions nouvelles produisent l'apparition d'un type nouveau et stable. Ce ne sont pas là que des vues de l'esprit, car des généticiens ont réalisé ces hybrides et, ce qui est plus remarquable, on a pu constater que certaines espèces *naturelles* doivent également leur origine à un tel processus.

Ces notions ne sont jusqu'à présent valables que pour les végétaux, mais des découvertes récentes font penser que la polyploïdie expérimentale ne doit pas être impossible chez les animaux et permettent ainsi de faire, de l'hybridation polyploïde, avec le mutationnisme et la sélection, les assises d'une théorie satisfaisante de l'évolution. Nous voyons donc l'importance qu'il faut attacher au fait que la chimie cellulaire, basé sur les protéines, puisse être altéré par ces substances mito-inhibitrices (qui n'ont aucun point commun avec la chimie protidique) au point de donner lieu à des phénomènes d'une signification biologique si capitale que nous pouvons d'ores et déjà considérer les anticipations d'un Wells ou d'un Huxley comme sorties du domaine des impossibilités « absolues ».

Conclusion

Les cénapses

Nous avons vu successivement le rôle immense que jouent les protéines chez les êtres vivants et, d'autre part, ce fait extraordinaire, et que l'on n'aurait pas soupçonné quelques décades plus tôt, qu'elles obéissent toujours, dans un automatisme aveugle, aux injonctions d'autres corps de structure bien plus simple, mais doués de groupements fonctionnels plus puissants, qui déclenchent ou arrêtent les processus vitaux qu'exécutent les protéines. On pourrait dire que les protéines sont les manœuvres dans une hiérarchie où ces autres substances fournissent les techniciens et les cadres ou donnent aux manœuvres le moyen de devenir des ouvriers spécialisés.

Les plus récentes découvertes ne font que confirmer ce résultat remarquable, à tel point que, dans tous les cas où une action spécifique de direction est encore attribuée à une protéine, on se demande aujourd'hui s'il ne faut

(1) On voit ici que les progrès de l'immunologie permettent de penser que les problèmes thérapeutiques auxquels elle se heurte pourront un jour prochain être résolus de façon purement chimique.

(2) Voir : « L'embryologie moderne » (*Science et Vie*, n° 225, mars 1936).

(3) Voir : « La sélection les plantes » (*Science et Vie*, n° 280, décembre 1940). Cf. note suivante.

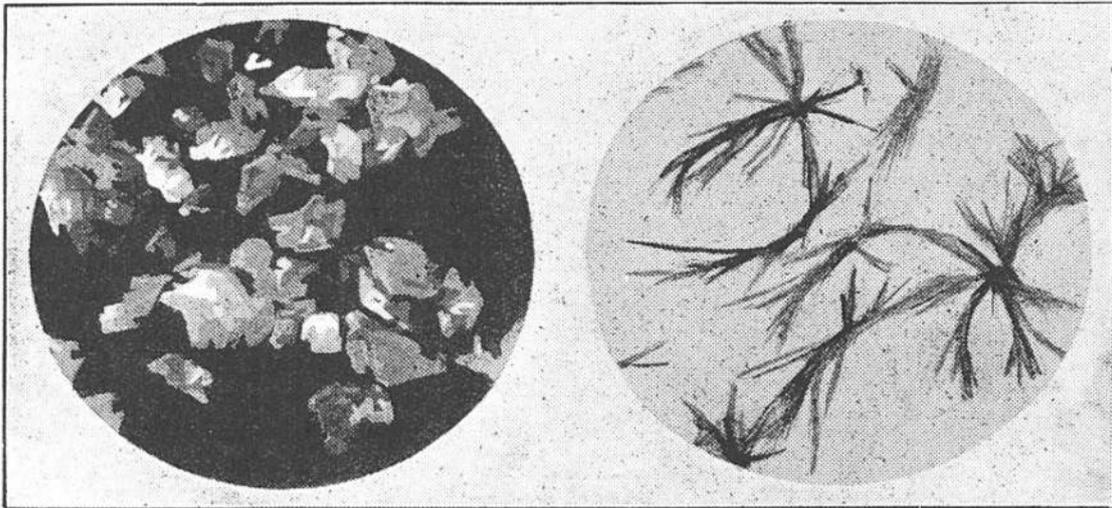
(1) Voir : « La stimulation végétale » (*Science et Vie*, n° 260, février 1939, et n° 280, déc. 1940).

drait pas plutôt l'attribuer à un certain groupement prosthétique qu'elle aurait adsorbé et dont la masse, insignifiante par rapport à celle de la protéine, le ferait passer inaperçu à l'analyse. On sait, en effet, que la purification des protéines est extrêmement délicate et que même la cristallisation ne saurait être considérée comme critérium de pureté absolue. On ne peut être certain qu'une protéine prétendue pure ne porte pas encore une petite molécule accolée dont ni cristallisation, ni sédimentation, ni centrifugation n'ont pu la séparer.

Ces complexes protéines-groupements prosthétiques ont reçu le nom général de *cénapses*, et ils peuvent présenter tous les degrés de stabilité, les liaisons pouvant varier du type chi-

nièse ou mitose. Nous savons aussi que la chlorophylle et l'hémoglobine (1) sont des hétéroprotéides dont l'action spécifique ne dépend pas de l'élément protéinique. La même remarque s'applique aux pigments respiratoires des invertébrés (hémocyanines, hémérythrine, cruorines) et des algues (phycocyanines et phycoérythrine).

Enfin, si nous passons en revue les divers tissus actifs de l'organisme (en laissant donc de côté les tissus de réserve), et si nous considérons en même temps leur hiérarchie organique, nous voyons que c'est le tissu nerveux, le plus élevé dans cette hiérarchie, qui contient le moins de protéines (tableau III) — si l'on excepte le cas, évidemment spécial, du tissu osseux.



T W 24625

FIG. 10. — L'ASPECT MICROSCOPIQUE DE DEUX VITAMINES CRISTALLISÉES

A gauche, la vitamine A ($C_{20}H_{30}O$), obtenue par distillation de l'huile de foie de poisson et également présente dans le beurre, les œufs, les carottes, etc. Elle dérive d'un carbure d'hydrogène complexe, le carotène ($C_{40}H_{56}$). A droite, l'acide nicotinique ($C_6H_5O_2N$) ou vitamine PP (pellagra préventive).

mique (dont les hétéroprotéides fournissent des exemples que nous avons étudiés) au type purement physique (que l'on rencontre dans l'association des codiastases et apodiastases). Les *cénapses* protidolipidiques, qui jouent un grand rôle dans le sérum sanguin (Machebœuf) et dans le protoplasme cellulaire, sont particulièrement importants.

Ces notions permettent d'élargir le champ de nos considérations antérieures : les virus-protéines et les gènes ne seraient-ils pas, eux aussi, des *cénapses* et ne devraient-ils pas leurs propriétés particulières à un groupement prosthétique encore masqué à nos yeux ? Nous n'en savons rien, et le supposer serait imprudent. Par contre, lorsque nous voyons la chromatine nucléaire jouer un rôle essentiel dans l'hérédité (1) et dans toutes les fonctions cellulaires, nous pouvons déjà pressentir l'importance particulière des acides nucléiques, et effectivement l'on a pu constater que la synthèse de l'acide thymonucléique marchait de pair dans l'embryon avec le processus cardinal de la caryo-

Tout ce que nous avons dit se résume donc en cette conclusion générale : les protéines n'exercent pas de fonctions directrices.

La diffusion des substances actives dans l'organisme

Imaginons un moment qu'il n'en soit pas ainsi et que les vitamines, les hormones, les diastases, les auxines, bref tous les corps que nous avons passés en revue, appartiennent au groupe des protéines. Nous serions certes parvenus à établir les notions d'hormone, de diastase, de vitamine, mais la biochimie de ces corps nous serait restée presque inconnue. Aucune possibilité de distinguer les diastases autrement que par leur action, aucune possibilité de synthétiser des hormones, des vitamines, ne se seraient présentées. Nous en serions réduits en thérapeutique à l'huile de foie de morue, au jus de citron et aux extraits glandulaires, et les avantages innombrables que nous offre la possibilité de synthèse de ces

(1) On sait que le rôle du cytoplasme dans l'hérédité n'est pas nul (Hachorn), mais presque négligeable.

(1) Qui doit son pouvoir de transporteur d'oxygène à un groupement prosthétique contenant du fer et un noyau protoporphyrinique.

corps seraient perdus. Si nous pouvons obtenir la vitamine D par irradiation du cholestérol, si l'on a pu résoudre le problème du pain blanc et de la carence en vitamines B₁ par l'addition à la farine blutée d'aneurine cristallisée, si les comprimés vitaminiques sont entrés dans la pratique courante, c'est grâce à la simplicité relative de ces corps, qui nous a permis de connaître à fond leur structure et de réaliser leur synthèse. Félicitons-nous donc de cet état de choses, sans toutefois nous laisser aller à des conclusions finalistes, car il est peu probable que les choses soient ainsi disposées à seule fin de satisfaire nos besoins d'hommes « civilisés ».

Un motif plus plausible pourrait être invoqué pour expliquer le fait que ces substances directrices ne sont pas des protéines : du fait de leur masse moléculaire élevée, les protéines sont des colloïdes, corps peu diffusibles dont le mouvement est toujours difficile. Or, il faut précisément qu'une diastase puisse se former au lieu où son besoin se fait sentir (1) qu'une vitamine ingérée puisse arriver aux coins les plus reculés de l'organisme, que l'organisme puisse exercer son action au travers d'un embryon encore dépourvu de système circulatoire. Il faut, en un mot, des substances facilement diffusibles qui puissent traverser la membrane cellulaire, bref, il faut que ce ne soit pas des protéines.

L'individu et l'espèce

Le nombre des espèces animales qui peuplent notre planète, multiplié par le nombre d'individus de chaque espèce, atteint un total astronomique, et pourtant l'on sait bien qu'il n'existe pas, même dans une même variété d'une même espèce, deux individus absolument identiques au point de vue morphologique. Or, les différences morphologiques ne peuvent être fondées que sur des différences d'ordre chimique, et il faut en conclure que chaque individu possède quelque chose d'unique, de personnel, au point de vue chimique. Et que pourrait-ce être, sinon

(1) De tels cénapses se synthétisent sur les lieux de leur action à partir d'un groupement prosthétique diffusible et d'une protéine prise sur place.

les protéines, ces groupes de substances dont les possibilités d'isomérisation sont tellement immenses qu'elles dépassent l'imagination? C'est un fait établi que chaque espèce animale possède ses protéines particulières et que, dans une même espèce, parmi la variété quasi infinie de protéines très semblables, chaque individu a les siennes qu'il ne partage avec personne. Et il ne faut pas oublier qu'à l'intérieur même d'un individu, chaque organe, chaque tissu a ses protéines spécifiques.

Ce fait, impossible pour toute autre classe de substances, nous permet d'expliquer à la fois les différences morphologiques et les ressemblances fonctionnelles des êtres, les premières, puisqu'on leur attribue ainsi une base chimique, les secondes puisque nous avons vu que l'individualité des protéines n'empêche pas l'identité des substances directrices qui leur sont liées. Ainsi nous voyons, par exemple, que, pour l'hémoglobine, le groupement prosthétique, l'hématine, est le même chez tous les vertébrés, tandis que la protéine, la globine, varie d'une espèce à une autre et même, en toute rigueur, d'un individu à un autre. Chaque individu a donc son hémoglobine particulière (1), mais celle-ci accomplit la même fonction chez tous les vertébrés.

La réalité est donc bien plus compliquée que ne pourrait le faire supposer une analyse sommaire, et pousser trop loin une hiérarchisation des constituants de l'organisme ferait aboutir à une grossière simplification.

Nous avons vu le rôle capital que jouent les protéines et leur situation simultanée de dépendance vis-à-vis de substances incomparablement plus simples. La chimie des protéines et des cénapses protéiques est en plein développement et participe activement aux constants progrès de la biochimie. Il est permis d'espérer que les nombreux points d'interrogation, dont l'esprit scientifique nous oblige à émailler les hypothèses que nous faisons aujourd'hui, céderont dans un avenir prochain la place à des certitudes solidement étayées par des faits expérimentaux.

Jean HÉRIBERT.

(1) Sauf les poissons cyclostomes, qui n'ont pas d'hémoglobine.

La récupération des calories perdues dans les installations industrielles a fait, notamment en Suisse, l'objet d'essais intéressants pour le séchage des légumes et des fruits au moyen de l'air chaud ayant servi à la ventilation des générateurs de courant électrique. Ainsi, à Wittingen, à la centrale Limat, des claies furent disposées dans le canal de ventilation des alternateurs en vue de recevoir les produits à déshydrater. En 1941, 70 tonnes de légumes et de fruits ont été traitées; en 1942, ce chiffre a atteint 200 tonnes. On a pu constater d'ailleurs que la présence de ce dispositif ne gênait en rien la réfrigération par l'air des machines électriques. A la centrale Aue de la ville de Baden, pour satisfaire les demandes urgentes des services municipaux, on a placé des caisses contre la paroi externe des machines ou même suspendu simplement des sacs ou des paniers dans le courant d'air chaud qui s'échappe au-dessus des générateurs. Si le temps de l'opération s'est révélé un peu plus long, les résultats se sont montrés équivalents. Il va de soi que, comme avant tout traitement de conservation, les fruits doivent être soigneusement triés.

LES MÉDICAMENTS DE REMPLACEMENT

par Charles BRACHET

La pénurie générale que nous imposent le blocus et la guerre revêt un caractère particulièrement angoissant quand elle atteint les médicaments. Après la défaite française, le problème du remplacement s'est posé de toute urgence pour un grand nombre de produits pharmaceutiques, depuis les plus communs, comme la teinture d'iode et la glycérine, jusqu'aux alcaloïdes les plus rares. Heureusement, la science pharmacologique se trouvait préparée à les résoudre, accoutumée qu'elle était dès le temps de paix à rechercher des substances toujours plus actives contre la maladie et moins nocives pour le malade, et à établir les relations entre le pouvoir curatif et la constitution chimique des corps pour la synthèse de nouveaux médicaments. C'est surtout, pourrait-on dire, à la frontière de la pharmacie et des industries alimentaires, pour la présentation des produits, que le manque de corps gras spéciaux, de sucres, d'antiseptiques, d'excipients, etc., a posé à l'industrie pharmaceutique les problèmes les plus embarrassants par les quantités mises en jeu, et l'a obligée à mettre au point des solutions nouvelles parfois supérieures aux anciennes.

LA « guerre-blocus » que nous vivons nous a valu maints « produits de remplacement », alimentaires et vestimentaires. Voici maintenant les *ersatz pharmaceutiques*.

Leur histoire présente n'est qu'une répétition de leurs avatars d'autrefois, du temps du blocus continental de Napoléon et même des guerres plus anciennes, au cours desquelles la marine la plus puissante isolait l'adversaire, ce qui fut le cas lors de la guerre d'indépendance des Etats-Unis. En remontant plus haut, toutes les guerres apparaissent, d'ailleurs, avec les mêmes effets de « blocus ». Etant donné les pauvres moyens de communication de l'époque, les troubles civils ou militaires paralysaient en effet d'autant plus aisément les transports que ces derniers étaient fort précaires. C'est pourquoi la question du remplacement est fort ancienne dans l'histoire de la pharmacie, aussi ancienne que la pharmacie elle-même. Car la pharmacie a son histoire et même son historien, le docte M. Bouvet (1), qui nous a révélé le nom générique *pro-quo* des produits de remplacement. Au XVI^e siècle, on les appelait *qui-pro-quo*, autrement dit : « ceci à la place de cela ».

Qu'étaient les « ceci » nouveau venu et le « cela » disparu ou épuisé ?

Ceci, c'était, par exemple, le *rhapontic*, produit végétal d'importation qui remplaçait, à s'y méprendre, la *rhubarbe*. Mais *cela*, la *rhubarbe*, si aisément cultivable dans tous les coins de France, n'était pas absent pour cause d'épuisement des stocks. La *rhubarbe* disparaissait tout simplement sous l'effet d'agiotage des importateurs de *rhapontic*. Et comme *ceci* ne correspondait pas du tout à *cela*, du point de vue médicamenteux, il n'était pas indifférent de surveiller de très près les remplacements de ce genre. M. Bouvet rapporte qu'un

apothicaire du XVIII^e siècle fut convaincu de n'avoir pas emmagasiné une once de *rhubarbe* en trente ans d'exercice et, par conséquent, de vente de *rhubarbe*, sans qu'aucun client eût protesté. Le Conseil d'Etat interdit donc, en 1732, l'importation du *rhapontic*. C'était simple. Mais cet exemple montre combien le remplacement peut se révéler un frère complaisant pour la fraude.

De très bonne heure, d'ailleurs, grâce à la vieille institution des corporations, des listes de produits indispensables avaient été établies « dans nombre de villes jurées » avec une réglementation du *qui-pro-quo* de ces produits. Ce règlement est officiellement rédigé par la Faculté de Médecine, sur l'injonction du Parlement, en 1536, avec des sanctions qui en soulignaient le côté sérieux : « 100 marcs d'argent d'amende » pour les fraudeurs, amende aggravée, suivant le cas, de punitions corporelles et même de pendaison ! A l'abri de telles sanctions l'*origan* fut autorisé à remplacer l'*absinthe*, la *mauve* à tenir lieu de *guimauve*, la *graisse de belette* à rivaliser avec la *graisse de renard*, et le sucre enfin, à remplir la fonction dévolue, jusqu'alors, au miel.

Aujourd'hui le miel prend sa revanche ! Mais il ne faut pas oublier que le sucre lui-même doit son triomphe aux pharmaciens. Le premier *glucose*, isolé du raisin, a bien été préparé par le chimiste Proust, mais ce sont des pharmaciens, Parmentier, Serulles et Astier, qui ont industrialisé cette découverte, dès avant l'apparition du sucre de betterave dont les raffineries furent dirigées, la plupart du temps, par des pharmaciens. Une lettre-rapport adressée par Parmentier au Préfet de la Seine sur les sirops de raisin (travaux de 1810 et 1811) aurait pu être écrite de notre temps.

Telle est, brièvement empruntée aux travaux de M. Bouvet, l'origine historique du « remplacement » en matière pharmaceutique.

Nous allons, maintenant, suivre un autre

(1) Bouvet, *Histoire de la pharmacie française*.

pharmacien éminent, M. Aunis, dans son exposé de l'état actuel de la même question (1).

Les causes actuelles de la déficience d'un grand nombre de médicaments se trouvent résumées dans un rapport présenté par M. le professeur Goris à l'Académie de Médecine. Les voici, dans l'ordre même de leur énumération.

Les matières premières, d'origine exotique pour la plus grande partie, n'arrivent plus. C'est le cas du bismuth, de la vaseline, de la quinine. Quant aux produits indigènes, leur récolte est insuffisante par suite du manque de main-d'œuvre.

Les stocks existant en 1939, réquisitionnés trop abondamment par le Service de Santé, sont devenus « prises de guerre » au détriment des officines qui auraient pu et dû en recevoir une grande quantité. Lesdites officines ont été, de surcroît, vidées au cours de l'exode.

Les difficultés communes à toutes les branches de la chimie industrielle (pénurie de transport, de combustible, de solvants, de récipients) ont encore raréfié la production.

Au premier rang des produits dont la pénurie se fait le plus durement sentir, il faut classer les *excipients pour pommades* et puis la *glycérine*, après quoi viennent le *bismuth*, la *teinture d'iode*, la *farine de moutarde* et leurs succédanés. Ce sont là les produits de base des préparations « galéniques » vieilles comme... Galien, le savant ancêtre des pharmaciens.

Les pommades

Un bon excipient pour la fabrication des pommades doit être onctueux, en même temps qu'absorbant du produit médicamenteux caractérisant la pommade.

L'*axonge*, matière grasse retirée, par fusion, des tissus adipeux qui recouvrent les reins du porc; la *lanoline*, ou graisse provenant du suint de la laine; la *vaseline*, enfin, obtenue par la distillation fractionnée et le raffinage de certains pétroles américains, remplissent les conditions exigées. Conditions dont l'empirisme n'est sans doute pas aussi fantaisiste que le laisserait croire, à première vue, l'interchangeabilité discutée jadis entre la graisse de renard et celle de belette. Les apothicaires d'antan devaient avoir leurs raisons, que nos contemporains n'ont pas eu à connaître. Car c'est l'immense accroissement des besoins qui obligea d'être moins difficile et de recourir aux produits de base énoncés ci-dessus. Ceux-ci n'étant, d'ailleurs, que le résultat d'une sélection datant à peine de cinquante ans (la vaseline et la lanoline ne furent découvertes qu'en 1882) et qui ne dédaigna pas d'essayer le suif, le beurre et bien d'autres matières grasses. Ceci, pour marquer la difficulté qualitative du remplacement — sans insister sur la difficulté quantitative : les graisses de porc, raréfiées, sont retenues par l'alimentation; la vaseline américaine ne franchit plus l'océan.

Et les hôpitaux, les cliniques ne peuvent attendre...

Heureusement, ici comme en beaucoup d'autres compartiments, la synthèse avait préparé la voie. Les chimistes avaient en effet spontanément recherché l'accroissement du *coefficient d'absorption* des excipients déjà connus :

(1) M. Aunis : *Les produits de remplacement dans l'industrie pharmaceutique* (Centre de documentation chimique).

les Allemands avaient découvert que l'addition de 10 % d'alcool cétylique permet à l'axonge d'absorber plus de 100 % de son volume d'eau. L'Américain Atkins avait perfectionné dans le même sens l'excipient officiel de la pharmacopée suisse, mélange savant de vaseline, d'huile d'olive, de saindoux et d'alcool cétylique. L'Italien Ferrario avait montré que vaseline et lanoline pouvaient être remplacées par un *stéarate* de triéthanolamine, avec cette nuance que l'addition de cholestérol accroissait encore énormément le coefficient d'absorption d'eau. L'huile de ricin hydrogénée fut promue au rôle d'excipient par l'Américain Fiero, un excipient qui ne rancissait pas, comme l'axonge, assurant mieux, par conséquent, la conservation des produits médicamenteux. Mais l'un des produits de remplacement les plus sensationnels, découvert en France, fut le *gel de silice*.

La silice et l'argile transformées en pommades

En voici la recette, livrée pour la première fois, en 1937, par MM. Peronnet et Genet.

On fait tomber, goutte à goutte, une solution de silicate de sodium dans de l'acide chlorhydrique concentré. La masse vitreuse ainsi obtenue est triturée, après lavage, avec, comme liant, le quart de son poids de glycérine. Et cela donne un produit équivalent physiquement à la vaseline.

Ce nouvel excipient est remarquablement absorbant pour les composés oxygénés, à l'exception des autres. Il absorbe aisément les huiles et les matières colorantes. Il est miscible à un grand nombre de substances, sauf les carbures d'hydrogène. Tant et si bien que les pommades à l'acide borique, au camphre, à l'oxyde de zinc, deviennent parfaites avec le gel de silice. Excellentes encore, celles qui exigent le ferrocyanure ou le bichromate de potassium, le bleu de méthylène, l'éosine. Seuls l'iode, certains sels de mercure et les hydrocarbures marquaient une incompatibilité avec le gel en question.

Peu coûteux, lavable à l'eau fraîche, n'entraînant aucune irritation de la peau (contrairement à la lanoline), le gel de silice inaugurerait une véritable révolution dans l'art des pommades pharmaceutiques.

Le gel de silice étant un colloïde minéral, il ne pouvait monopoliser ses qualités. L'*argile*, prise elle aussi à l'état colloïdal, était en effet produite, quelques semaines plus tard, par M. Griffon pour remplir le même office. Il s'agit évidemment d'une argile choisie : la « bentonite » du Wyoming, qu'on peut réduire à l'état de poudre impalpable. La solution colloïdale de cette poudre est fort stable, ressemble à la vaseline et ne perd ses propriétés physiques qu'au delà de 400° de température. Avantage immense, puisqu'il permet de *stériliser* le produit préparé avec un tel excipient.

Comment remplacer la glycérine

L'emploi pharmaceutique de la glycérine n'engage jamais la totalité de ses propriétés physiques et chimiques. Les propriétés utilisées dans chaque cas spécial peuvent donc suffire à définir un produit de remplacement correspondant.

Trois cas sont à envisager, dans cet esprit. La glycérine intervient pour *masquer le mau-*

vais goût de certains ingrédients. Elle remplit la fonction de *conservateur*. Elle est utilisée comme *solvant*.

Dans le premier cas, on pense tout de suite, comme produit de remplacement, au sucre ou au glucose sacchariné puisque c'est uniquement la saveur sucrée de la glycérine qu'il s'agit de remplacer. Il ne reste donc que la saccharine comme ultime ressource. Et, dès lors, si le public normal « n'aime pas beaucoup » la saccharine, vous pensez que le public malade doit, sous l'œil du médecin, l'absorber avec une parcimonie encore plus étudiée. Aussi bien, depuis que l'emploi de la saccharine a été autorisé (décret du 4 septembre 1940), ses effets physiologiques ont-ils fait l'objet de thèses savantes et même de discussions passionnées. Les unes et les autres peuvent être considérées comme se résumant dans un article très complet du *Journal de Pharmacie de Belgique* (20 avril 1941), et dans la thèse « Saccharine et sucre » soutenue la même année par le Dr Roland Lemarié devant la Faculté de Paris.

De cette dernière étude, il résulte que :

1° La saccharine n'a aucune valeur alimentaire ;

2° Son emploi, même prolongé, sous forme de « saccharine neutralisée » avec les aliments et les boissons, est sans inconvénient notable chez les individus sains, pourvu que la dose ne dépasse pas 10 centigrammes par jour ;

3° Son emploi chez la femme enceinte ou chez la nourrice doit être limité et médicalement surveillé ;

4° Le nourrisson ne doit jamais en recevoir ;

5° Les dyspeptiques, les porteurs d'ulcères gastriques, les néphrétiques, ne doivent en user qu'avec prudence ;

6° A défaut de sucre du commerce, les glucoses saccharinés paraissent constituer le produit de remplacement le plus recommandable.

Dans le cas où la glycérine est utilisée comme *conservateur*, on est beaucoup plus à l'aise pour lui trouver des remplaçants. On peut lui substituer, par exemple, les éthers de l'acide para-oxy-benzoïque dont le pouvoir antiseptique très élevé s'accompagne de ces qualités physiques remarquables, d'être incolore, insipide et nullement toxique. Les para-oxy-benzoates de méthyle et de propyle sont antiseptiques à une dose cinquante fois moins élevée que leur dose toxique. Voilà donc des « conservateurs » tout indiqués pour les sirops, l'extrait de malt (1,5 g pour 1 000) et les graisses dont ils retardent le rancissement.

En tant que *solvant*, la glycérine est plus malaisée à remplacer. Un seul solvant lui équivalant a pu être retenu, c'est le *propylène-glycol*. C'est le seul, dans la catégorie des glycols, qui présente une toxicité acceptable. Il faut se garder de le confondre avec n'importe quel autre « glycol ». C'est pour être tombé dans cette confusion, pour avoir utilisé comme solvant un diéthylène-glycol toxique, au lieu du propylène-glycol inoffensif, que survinrent en 1939, aux Etats-Unis, les accidents tristement fameux dans l'application des sulfamides. Naturellement, les responsables incriminèrent les sulfamides. Le poison n'était autre cependant, en l'occurrence, que le solvant utilisé pour les présenter en élixir.

La toxicité du *propylène-glycol* a fait, naturellement, l'objet d'études approfondies. Les doses mortelles se sont révélées à 15 grammes par kilogramme d'animal, administrés par injection intramusculaire et à 23 grammes par

la voie sous-cutanée, alors que la glycérine devient mortelle à 7,6 g et 15 g par kg.

On conçoit donc aisément l'accueil fait au propylène-glycol comme solvant remplaçant la glycérine. En parfumerie, il sert à dissoudre de nombreuses essences de fleurs.

En pharmacie, il est utilisable pour dissoudre pareillement de nombreux alcaloïdes : les solutions obtenues se diluent éventuellement dans l'eau sans précipiter.

Le propylène-glycol dissout encore, sans les détruire, quelques vitamines, notamment la vitamine D cristallisée.

Les *barbiturates* (somnifères) s'y dissolvent également. Et l'on signale qu'une solution de paraldéhyde dans le propylène-glycol constitue un précieux anesthésique pour soulager la souffrance dans l'accouchement.

Du bismuth au kaolin

Utilisé en thérapeutique comme médicament antisyphilitique, en même temps que pour les pansements gastro-intestinaux, le bismuth est un produit européen fort rare. Il n'en existe de gisements intéressants qu'en Saxe. En fait, il nous provenait surtout d'Australie, du Pérou et du Chili. Etant donné son caractère de médicament spécifique dans la chimiothérapie de la syphilis, sa raréfaction par le blocus a contraint les différentes pharmacopées nationales à réserver les stocks existants pour cet usage, où il s'avère irremplaçable.

Par contre, comme pansement gastro-intestinal, on a mis en avant le kaolin dont l'utilisation en addition au bismuth était, du reste, pratiquée depuis longtemps, autant en vue d'abaisser les prix de revient du médicament que pour en accentuer certains caractères thérapeutiques.

Le kaolin, silicate d'alumine hydraté, se trouve en France, dans la Haute-Vienne, dont les gisements réputés ont donné naissance à l'industrie de la porcelaine.

Sa constitution chimique a incité les inventeurs d'ersatz à essayer tout simplement un hydrate d'alumine. Une nouvelle thérapeutique gastro-intestinale s'est donc établie sur cette base : l'*hydrate d'alumine colloïdal*. Ce produit fixerait l'acide chlorhydrique sans le neutraliser. En absorbant l'excès d'acide dans les cas d'hyperchlorhydrie, l'hydrate d'alumine protège *ipso facto* la muqueuse intestinale. Il se formerait un mucilage colloïdal en présence de l'excès de suc gastrique. Ce mucilage entraînerait ensuite les éléments fermentescibles et les entérotoxines de l'intestin.

Les succédanés de la teinture d'iode

Un litre de teinture d'iode comporte 10 g d'iode bisublimé et 4 g d'iodure de potassium.

L'iode consommé en France provenait, jusqu'en 1939, en partie du Chili et du Pérou, où il est extrait à grand rendement de eaux mères des nitrates et en partie, beaucoup plus faible, du traitement des algues marines récoltées sur nos côtes.

Actuellement, les stocks disponibles pour les civils sont tellement réduits que les attributions allouées aux laboratoires pharmaceutiques n'atteignent pas 10 % des besoins normaux.

La question du remplacement n'est, d'ailleurs, pas sans analogie avec celle du bismuth, puisque l'iode est, par les iodures, retenu lui aussi comme un spécifique irremplaçable du

traitement antisyphilitique. Spécificité à laquelle il faut en ajouter une seconde : l'iode ne peut être remplacé comme facteur du diagnostic « lipo-iodique » dans la radiologie de la glande thyroïde.

Le décret du 7 juin 1941 est intervenu pour réserver à la seule fabrication de l'iode les laminaires incluses dans les goémons, épaves jusqu'alors librement récoltées par les cultivateurs côtiers pour l'engrais de leur terre et même la nourriture des animaux. De plus, au lieu d'incinérer préalablement ces goémons, avant traitement, l'extraction directe à partir de l'algue est ordonnée comme étant d'un rendement supérieur. En outre, les médecins se sont préoccupés de déterminer le taux minimum d'iode à insérer dans les teintures, compatible avec leur efficacité. Toutes ces mesures conservatrices étant prises, la question des succédanés n'en reste pas moins entière.

Trois sortes de produits chimiques semblent pouvoir remplacer la teinture d'iode : le *mercurochrome*, les *sulfamides* et divers mélanges.

Le *mercurochrome* (sel sodique de la dibromo-oxymercurifluorescéine) contient 26 % de mercure, autre métal rare par le temps qui court. Soluble dans l'eau, il constitue, comme d'autres colorants chimiques, un antiseptique énergétique, en solution acide de 1 à 2 %. Cette solution peut donc servir très efficacement à désinfecter la peau et les muqueuses.

Mais c'est aux sulfamides qu'échoit le tout premier rang comme succédanés de l'iode. On peut même dire que, dans l'avenir quel qu'il soit, les sulfamides confirmeront leur suprématie sur la teinture d'iode dans l'antisepsie chirurgicale. La *para-amino-sulfamide* révèle une action bactéricide *in vitro*. Mais appliquées *in vivo*, à l'occasion de certaines affections des muscles, de la peau, des muqueuses, du tissu osseux, les sulfamides font merveille. C'est une véritable *sulfamidothérapie locale* qui est en train de prendre naissance. En chirurgie de guerre, la *para-amino-sulfamide* est appliquée avec succès dans le traitement des traumatismes ouverts, infectés ou non.

En Allemagne, les praticiens étudient, comme succédanés de la teinture d'iode, divers mélanges. C'est ainsi que le *bromo-rhodanate de fer*, associé, en solution alcoolique, à des

phénols halogénés, s'est montré efficace comme antiseptique non corrosif.

Les révéulsifs succédanés de la farine de moutarde

La moutarde noire (*Brassica Nigra*) se cultive en Flandre, en Picardie, en Alsace. Mais, pratiquement, cette plante annuelle est incapable de pourvoir aux besoins réels du pays. Avant 1939, la France importait des Indes jusqu'à 40 000 tonnes par an de graine de moutarde. La Sicile nous fournissait également. On juge de la restriction que nous impose le blocus.

Ici la consommation pharmaceutique trouve une concurrente farouche dans la consommation culinaire, c'est-à-dire par les industries du condiment.

La solution du problème pharmaceutique semblerait de remplacer la farine de moutarde par l'essence synthétique de moutarde. Mais la synthèse de 30 kg d'essence exige 100 kg de glycérine comme matière première. Et d'où sortir cette glycérine? Nous venons d'en constater la rareté...

Une solution plus rationnelle serait de remplacer la farine de moutarde par un corps synthétique muni de propriétés physiologiques équivalentes. Ce corps semble devoir exister dans le *benzylidène-cétone*. Les propriétés irritantes de ce composé vis-à-vis de l'épiderme sont incontestables : les ouvriers qui en exécutent la préparation les ont éprouvées sous la forme d'eczémas caractérisés. Mais les essais d'ordre pharmaceutique — touchant notamment ses différentes solutions titrées utiles — sont demeurés insuffisants.

Un autre succédané de la moutarde ne serait autre que le cresson de fontaine (*Nasturtium officinale*). Le cresson renferme un *hétéroside*, dont l'hydrolyse fournit une essence de l'*isothiocyanate de phényléthyle* laquelle exerce sur la peau une action irritante prononcée. Qu'il y eût tant de chimie savante dans cette humble salade, peu de profanes s'en doutaient. Mais ici encore plus que sur le rayon de la moutarde, la concurrence alimentaire risque fort d'entraver les projets pharmaceutiques.

Charles BRACHET.

LES A COTÉ DE LA SCIENCE INVENTIONS, DÉCOUVERTES ET CURIOSITÉS

par V. RUBOR

La valeur alimentaire de la pomme de terre

PARTOUT où la consommation des légumes et des fruits frais est réduite, c'est-à-dire, dans les pays tempérés, en hiver et surtout au printemps, la

pomme de terre est une des sources les plus générales de vitamine C (1). On sait que l'absence de vitamine C dans l'alimentation provoque le scorbut; sa présence en quantité insuffisante prédispose à contracter des maladies infectieuses en abais-

(1) L.-M. Sandoz : Etude générale sur la teneur de quelques aliments en vitamines. *Revue Médicale Suisse*, n° 3, 1942.

sant le pouvoir bactéricide du sang. La pomme de terre, de ce point de vue, constitue une ressource alimentaire de premier ordre. Il importe cependant d'observer que les quantités de vitamine C (acide ascorbique) présentes dans les tubercules au moment de la récolte sont pour la plus grande partie détruites au moment de la consommation, tant du fait de la

conservation au cours de l'hiver que des préparations culinaires qui précèdent leur ingestion. On peut admettre, en effet, que la teneur en acide ascorbique (1) oscille entre 20 et 30 mg par 100 g de pommes de terre récoltées en septembre; en avril, elle est tombée à 7 ou 8 mg par 100 g. Elle diminue régulièrement, même lorsque les tubercules sont conservés dans les conditions optima, au fur et à mesure de la progression de l'hiver, sous l'action des oxydases qu'ils contiennent. Cette chute semble plus rapide dans les premières semaines. C'est ainsi qu'on a pu mesurer (Ollivier) que les pommes de terre nouvelles perdent entre 60 et 70 % de leur vitamine C au cours de leur conservation pendant 21 jours à la température ambiante, ou 32 jours à 0° C. Au printemps, quand s'élève la température, la destruction de l'acide ascor-

(1) 100 g de pommes de terre apporteraient en plus 0,12 mg d'aneurine (vitamine B 1), 0,01 mg de vitamine B 2, 25 unités-rat d'adérmine (vitamine B 6).

bique se trouve accélérée. D'autre part, les méthodes de préparation culinaire entraînent des pertes supplémentaires très importantes de vitamines. L'acide ascorbique s'altère en effet très rapidement lorsqu'il est chauffé en solution aqueuse, et l'eau de cuisson en entraîne de notables quantités par extraction des sucres cellulaires. Le fractionnement des tubercules accroît les pertes en favorisant doublement l'oxydation et l'extraction. Il en résulte que le mode de préparation le plus rationnel des pommes de terre est la classique cuisson en robe de chambre, à la vapeur. Dans ces conditions, les pertes de vitamine C ne sont que de 20 à 30 %, alors que, en autocuiseur, elles atteignent entre 50 et 90 %. La consommation tardive de pommes de terre cuites depuis quelque temps, de même que le maintien d'une température assez élevée pendant de longues heures rend illusoire tout apport en vitamines. C'est précisément le cas trop souvent dans les collectivité-

tés. Tous les sujets recevant une nourriture trop cuite ou mal cuite se trouvent placés en état d'hypovitaminose avec risque de dépression, sensation de fatigue, rhumatisme articulaire, moindre résistance aux infections, etc... On peut admettre comme minimum théorique des besoins d'un homme sain entre 50 et 60 mg par jour (1). Mais tout accroissement de l'activité physique ou pathologique obligent à majorer ces chiffres. Il importe de considérer en particulier les cas de grossesse, d'allaitement, de croissance, les efforts physiques prolongés et d'envisager d'une manière générale, pendant les périodes où le ravitaillement en légumes et fruits est déficient, un apport complémentaire quotidien de vitamine synthétique.

V. RUBOR.

(1) La Commission fédérale suisse pour l'alimentation de guerre estime que 500 g de pommes de terre par jour représentent la ration convenable (théoriquement) pendant les mois de février, mars et avril.

TARIF DES ABONNEMENTS

Envois simplement affranchis..... 1 an..... 80 fr.
Envois recommandés 1 an..... 110 fr

La table générale des matières (1913-1922, n° 1 à 186) est en vente à nos bureaux. Envoi franco 25 francs.

Tous les règlements doivent être effectués exclusivement par chèque postal. — Tout changement d'adresse doit être accompagné de la somme de 2 francs en timbres-poste.

Rédaction et Administration : actuellement : 3, rue d'Alsace-Lorraine - Toulouse (H^e-G.) Chèques Postaux : Toulouse 184.05

BULLETIN D'ABONNEMENT (311)

Nom (en majuscules) et prénoms :

Adresse :

Declare m'abonner pour un an, au prix de (tarif ci-dessus), que je vous adresse par Chèque postal 184-05 Toulouse. Le premier numéro à envoyer sera le n°



LE BON D'ÉPARGNE

par les avantages qui lui sont attachés : intérêt 3 % net d'impôts sur les valeurs mobilières, facilités de remboursement anticipé, etc...

**Constitue le placement
le plus avantageux et
le plus commode.**

Placez vos disponibilités
en

BONS D'ÉPARGNE



"LE DESSIN FACILE"
INSTITUTION FRANÇAISE

VOUS INVITE A PARTICIPER JUSQU'AU 15 OCTOBRE 1943 A SON GRAND

Concours de dessin

ouvert à tous les amateurs, adultes et enfants,
inscrits ou non à cette célèbre Ecole du Dessin.

Poursuivant inlassablement sa croisade, en vue de répandre le goût et l'amour du dessin dans toutes les classes sociales et de découvrir les talents qui s'ignorent, Marc SAUREL, créateur de la nouvelle méthode du DESSIN FACILE et initiateur en France de l'enseignement du dessin par correspondance, a décidé d'instituer cette exceptionnelle compétition



PLUS de 50.000 FR/ de PRIX
Les meilleurs envois seront exposés pendant un mois dans une galerie d'art du centre de Paris.

● Vous qui aimez le dessin, saisissez cette occasion unique de connaître votre valeur et vos possibilités.

Envoyez-nous aujourd'hui la somme de 20 francs en timbres vous donnant droit :

1° à participer au Concours du Dessin Facile et à en recevoir le règlement.

2° à la leçon spécialement créée à cette occasion par Marc SAUREL.

BON de participation (S V 36) : à remplir très lisiblement ou à recopier et à nous envoyer avec 20 francs en timbres-poste.

NOM et Prénom _____

Adresse _____

"LE DESSIN FACILE" - 11, r. Kepler, PARIS 16°

LE DURISOL

rival
de l'acier

Bois lamellé comprimé à hautes résistances mécanique, diélectrique et physique, trouve son application dans TOUTES LES BRANCHES DE L'INDUSTRIE MODERNE.

Notice des qualités S. & K. et échantillons

M. R. HOUDIN
AGENT GÉNÉRAL EXCLUSIF
6, Rue du Piaulaud, 6
LIMOGES (Hte-Vienne)

Production de la Société
des Etabl. CADOUX
BEAUCHAMP (Seine-et-Oise)

LA RADIO

manque

DE SPECIALISTES !

JEUNES GENS !...

Pour répondre aux besoins sans cesse grandissants de la Radio française en cadres spécialisés, nous conseillons vivement aux jeunes gens de **s'orienter délibérément** vers les carrières de la I. S. F.

AVIATION CIVILE ET MILITAIRE, INDUSTRIE, MARINE MARCHANDE ET MARINE NATIONALE, COLONIES, MINISTERES ET ADMINISTRATIONS

Ces carrières réaliseront les aspirations de la jeunesse moderne, puisqu'elles joignent à l'attrait du scientifique celui de travaux manuels importants.

PRÉPAREZ CES CARRIÈRES
en suivant nos cours spécialisés

PAR CORRESPONDANCE

conçus d'après les méthodes les plus modernes de l'enseignement américain.

INSCRIPTIONS

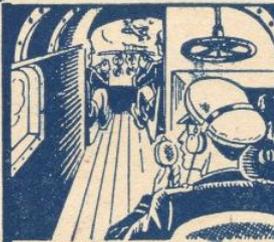
à toute époque de l'année.

TOUS NOS COURS COMPORTENT DES EXERCICES PRATIQUES A DOMICILE.

PLACEMENT

A l'heure actuelle, nous garantissons le placement de tous nos élèves opérateurs radiotélégraphistes **DIPLOMÉS**.

L'Ecole délivre des **CERTIFICATS DE FIN D'ÉTUDES** conformément à la loi du 4 août 1942.



RADIO VOLANT



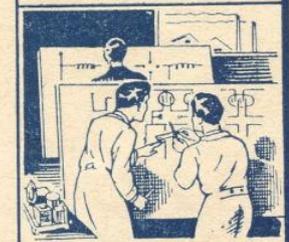
SOUS-INGENIEUR



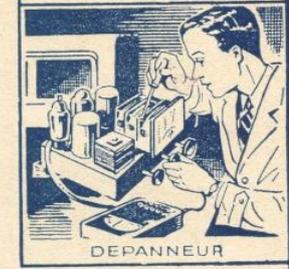
CHEF-MONTEUR



MARINE MARCHANDE



INGENIEUR



DEPANNEUR

Demandez nos notices envoyées

gratuitement sur demande

ECOLE PROFESSIONNELLE RADIOTECHNIQUE

RUE DU MARECHAL LYAUTEY-VICHY-(ALLIER)

Adresse de repli

Publicité R. DOMÉNACH M.C.S.P.

NITROLAC

LA GRANDE MARQUE DE PEINTURE



TOUS LES PROBLÈMES DE PEINTURE

NITROLAC

98, ROUTE D'AUBERVILLIERS-ST. DENIS (SEINE)-PLAINE+1655