

Conditions d'utilisation des contenus du Conservatoire numérique

1- [Le Conservatoire numérique](#) communément appelé [le Cnum](#) constitue une base de données, produite par le Conservatoire national des arts et métiers et protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle. La conception graphique du présent site a été réalisée par Eclydre (www.eclydre.fr).

2- Les contenus accessibles sur le site du Cnum sont majoritairement des reproductions numériques d'œuvres tombées dans le domaine public, provenant des collections patrimoniales imprimées du Cnam.

Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n° 78-753 du 17 juillet 1978 :

- la réutilisation non commerciale de ces contenus est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur ; la mention de source doit être maintenue ([Cnum - Conservatoire numérique des Arts et Métiers - http://cnum.cnam.fr](#))
- la réutilisation commerciale de ces contenus doit faire l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.

3- Certains documents sont soumis à un régime de réutilisation particulier :

- les reproductions de documents protégés par le droit d'auteur, uniquement consultables dans l'enceinte de la bibliothèque centrale du Cnam. Ces reproductions ne peuvent être réutilisées, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.

4- Pour obtenir la reproduction numérique d'un document du Cnum en haute définition, contacter [cnum\(at\)cnam.fr](mailto:cnum(at)cnam.fr)

5- L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

6- Les présentes conditions d'utilisation des contenus du Cnum sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

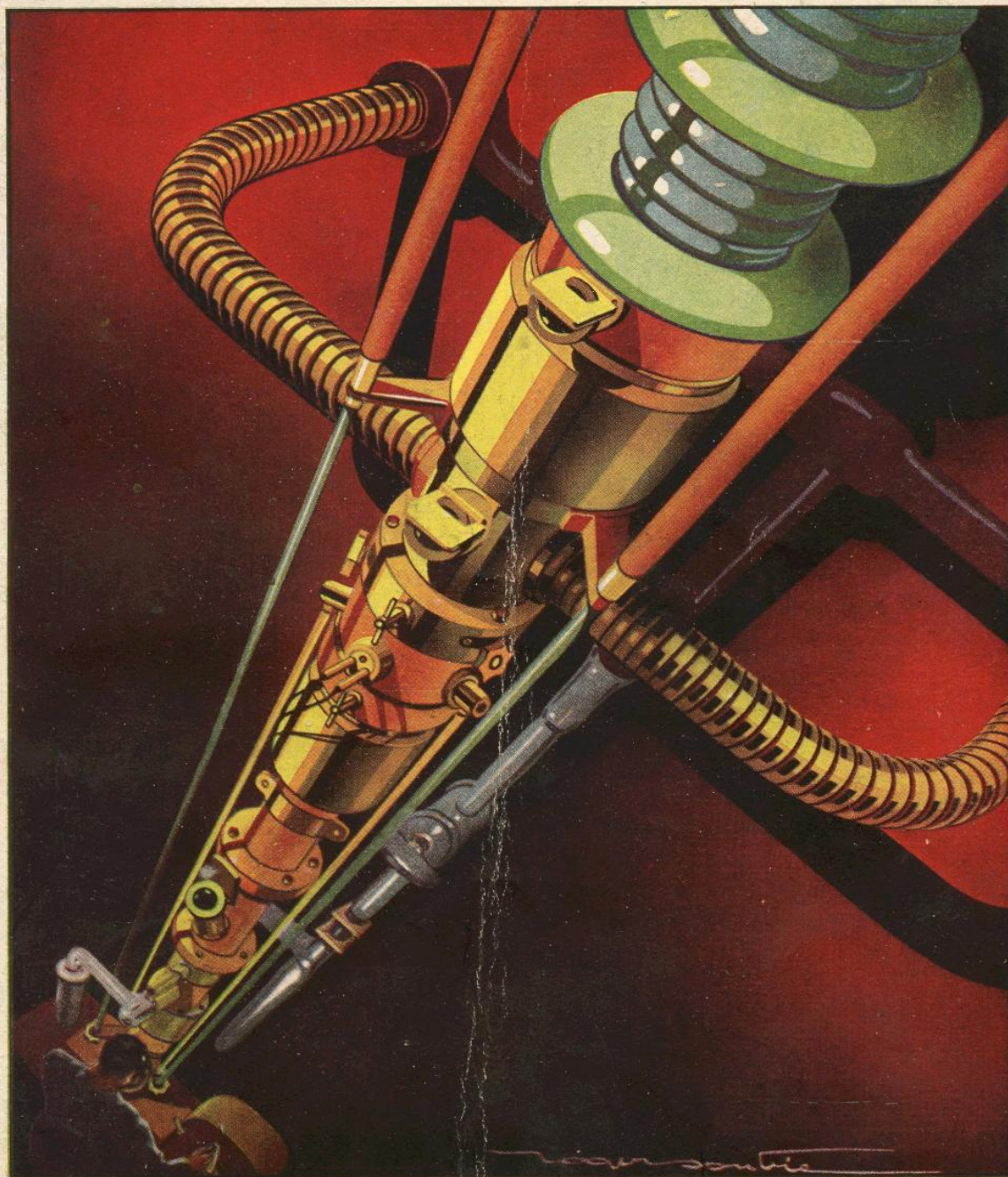
Notice de la Revue	
Auteur(s) ou collectivité(s)	La science et la vie
Auteur(s)	[s.n.]
Titre	La science et la vie
Adresse	Paris : La science et la vie, 1913-1945
Collation	339 vol. : ill. ; 24 cm
Cote	SCI.VIE
Sujet(s)	Sciences -- Vulgarisation Culture scientifique et technique Presse scientifique
Note	À partir de février 1943, le titre devient "Science et Vie". La bibliothèque du Cnam ne possède pas de collection, la numérisation a été faite grâce au prêt de la collection privée de M. Pierre Cubaud.

Notice du Volume	
Auteur(s) volume	[s.n.]
Titre	La science et la vie
Volume	Tome 64. n. 314. Octobre 1943
Adresse	Paris : La Science et la Vie, 1943
Collation	1 vol. (VIII p.-p.[145]-192) : ill., couv. ill. en coul. ; 24 cm
Cote	SCI. VIE 314
Sujet(s)	Sciences -- Vulgarisation Culture scientifique et technique Presse scientifique
Thématique(s)	Généralités scientifiques et vulgarisation
Typologie	Revue
Langue	Français
Date de mise en ligne	10/12/2019
Date de génération du PDF	05/12/2019
Permalien	http://cnum.cnam.fr/redir?SCVIE.314

OCTOBRE 1943

N° 314

SCIENCE ET VIE



7 FRANCS

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

VOTRE AVENIR



est dans la Radio



AYEZ CONFIANCE en VOUS

Vous pouvez TOUS suivre nos cours

Inscrivez-vous dès maintenant

8, rue Porte-de-France, à VICHY

ou demandez-nous franco, le

« Guide des Carrières »

"Publicités Réunies"



ECOLE CENTRALE DE T-S-F

12 rue de la Lune PARIS 2^e



Telephone Central 78-87

POUR LES ÉTUDES DE VOS ENFANTS, POUR VOS PROPRES ÉTUDES,

n'hésitez pas à recourir à l'enseignement par correspondance de
L'ÉCOLE UNIVERSELLE

qui a comblé une grave lacune. Grâce à l'ÉCOLE UNIVERSELLE en effet, tous ceux qui étaient jusqu'ici empêchés de s'instruire, parce qu'ils résident loin d'un centre ou parce que leur état de santé les retient à la maison, peuvent désormais travailler chez eux. Il en est de même de tous ceux qui sont astreints à de fréquents déplacements ou qui ont un retard à rattraper, ou qui se trouvent dans l'impossibilité de poursuivre leurs études à un rythme normal, et aussi de ceux qui sont dans la nécessité de gagner leur vie. L'enseignement individuel de l'ÉCOLE UNIVERSELLE permet à chacun de faire chez soi, sans dérangement, dans le MINIMUM DE TEMPS, aux MOINDRES FRAIS, quel que soit le degré d'instruction de l'élève, en toute discrétion s'il le désire, toutes les études qu'il juge utiles, quel que soit le but qu'il veuille atteindre.

L'enseignement de l'ÉCOLE UNIVERSELLE est merveilleusement efficace puisqu'il a permis à ses élèves de remporter des

DIZAINES DE MILLIERS DE SUCCÈS AU BACCALAURÉAT

et des dizaines de milliers de succès aux BREVETS, LICENCES, concours des GRANDES ÉCOLES des GRANDES ADMINISTRATIONS, etc.

Pour être renseigné avec précision sur les études que vous pouvez faire, la carrière que vous pourrez aborder, découpez le bulletin ci-dessous, marquez d'une croix la brochure que vous désirez recevoir gratuitement, écrivez au bas votre nom et votre adresse, et expédiez ce bulletin, aujourd'hui même, à l'ÉCOLE UNIVERSELLE, 12 Place Jules Ferry, LYON.

BROCHURE L. 13.193. — ENSEIGNEMENT PRIMAIRE : Classes complètes depuis le cours élémentaire jusqu'au Brevet supérieur, Diplôme d'études primaires préparatoires, Certificat d'études, Bourses, Brevets, Certificat d'aptitude pédagogique, etc.

BROCHURE L. 13.194. — ENSEIGNEMENT SECONDAIRE : Classes complètes depuis la onzième jusqu'à la classe de mathématiques spéciales incluse, Certificat d'études classiques ou modernes du premier cycle, Diplôme de fin d'études secondaires, Baccalauréats, etc.

BROCHURE L. 13.195. — ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR : Licences (Lettres, Sciences, Droit), Professorats (Lettres, Sciences, Langues vivantes, Classes élémentaires des Lycées, Collèges, Professorats pratiques), Examens professionnels, etc.

BROCHURE L. 13.196. — GRANDES ÉCOLES SPÉCIALES : Agriculture, Industrie, Travaux Publics, Mines, Commerce, Police, Enseignement, Beaux-Arts, Assistance, etc.

BROCHURE L. 13.197. — CARRIÈRES DE L'INDUSTRIE, des MINES et des TRAVAUX PUBLICS : Ingénieur (Diplôme d'Etat), Sous-ingénieur, Dessinateur, Conducteur, Chef de chantier, Contremaitre, etc.

BROCHURE L. 13.198. — CARRIÈRES DE L'AGRICULTURE et du GÉNIE RURAL, etc.

BROCHURE L. 13.199. — CARRIÈRES DU COMMERCE (Administrateur commercial, Secrétaire, Correspondancier, Sténo-Dactylo, Représentant, Services de publicité, Teneur de livres), de l'INDUSTRIE HOTELIÈRE, des ASSURANCES, de la BANQUE, de la BOURSE, etc.

BROCHURE L. 13.200. — ORTHOGRAPHE, RÉDACTION, VERSIFICATION, CALCUL, DESSIN, ÉCRITURE, etc.

BROCHURE L. 13.201. — LANGUES VIVANTES : (Anglais, Allemand, Italien, Espagnol, Arabe, Annamite), TOURISME (Interprète), etc.

BROCHURE L. 13.202. — AIR, MARINE : Pont, Machines, Commissariat, etc.

BROCHURE L. 13.203. — SECRÉTARIATS, BIBLIOTHÈQUES, etc.

BROCHURE L. 13.204. — ÉTUDES MUSICALES : Solfège, Harmonie, Composition, Piano, Violon, Flûte, Clarinette, Instruments de jazz, Professorats, etc.

BROCHURE L. 13.205. — 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. 13.206. — 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. 13.207. — ART DE LA COIFFURE ET DES SOINS DE BEAUTÉ : Coiffeuse, Manucure, Pédicure, Masseur, etc.

BROCHURE L. 13.208. — 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, etc.

A expédier gratuitement à M.

Rue N°

A Département

Si vous souhaitez des renseignements ou des conseils spéciaux à votre cas, ils vous seront fournis très complets à titre gracieux et sans engagement de votre part. Il vous suffira de nous les demander sur une feuille quelconque que vous joindrez au bulletin ci-dessus.

ÉCOLE UNIVERSELLE

12 Place Jules-Ferry - LYON

59 Boulevard Exelmans - PARIS

L'ÉCOLE INTERNATIONALE PAR CORRESPONDANCE DE DESSIN ET DE PEINTURE

11, AV. DE GRANDE BRETAGNE, PRINCIPAUTÉ DE MONACO

vous offre gratuitement



UNE ÉCOLE MODERNE
PUISSANTE - SÉRIEUSE

un magnifique album, abondamment illustré, qui vous renseignera en détail sur les nombreuses et passionnantes carrières auxquelles vous pourrez prétendre lorsque vous saurez dessiner. Vous y constaterez aussi que, si vous le voulez vraiment, il vous est possible de devenir en quelques mois un excellent artiste et ceci quel que soit votre âge et le lieu de votre résidence.

Pour recevoir cet Album, sans aucun engagement pour vous, découpez le bon ci-dessous, joignez-y votre nom et votre adresse ainsi que la somme de 5 frs. pour frais de Poste et envoyez aujourd'hui même votre lettre à l'ÉCOLE INTERNATIONALE (Service de Renseignements), la plus grande École actuelle par correspondance de Dessin et de Peinture.

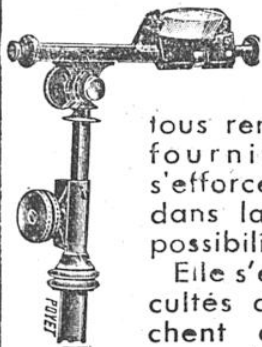


BON pour un Album gratuit

LA MAISON BERVILLE

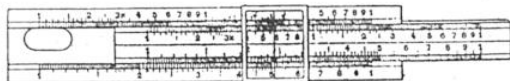
Instruments et fournitures pour le dessin

18, rue La Fayette — PARIS (IX^e)
Métro : Chaussée d'Antin - Tél. Prov. 41.74



se tient à la disposition de sa clientèle pour tous renseignements ou fournitures qu'elle s'efforce de satisfaire dans la mesure de ses possibilités.

Eile s'excuse si les difficultés actuelles l'empêchent quelquefois d'y parvenir.



Liste n° 12 franco sur demande

une belle situation

Il y a trop d'ingénieurs, trop de médecins, trop d'avocats : LES VOIES CLASSIQUES SONT FERMÉES.

Mais... DES VOIES NOUVELLES SONT LIBRES... La brochure 120z que nous vous enverrons sur simple demande, accompagnée de 3 fr. pour frais d'envoi, vous prouvera que la FISCALITÉ est la science pratique dont la connaissance vous permettra de faire la plus brillante des carrières.

Les Cours T.F.J.

PAR CORRESPONDANCE

65 et 67, rue de la Victoire - PARIS (IX^e)

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. 80**.

LA MÉTHODE PHONOPOLYLOTTE

... unit les avantages de l'enseignement par correspondance et du **phonographe**, et surclasse tous les autres systèmes actuellement en usage ; professeur impeccable, Phonopolylotte 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. 81**.

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. 82**. ou,

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 brochure gratuite **numéro R. 84**.

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, quelle qu'en soit l'importance actuelle. Demandez la notice gratuite **numéro R. 85**.

Si vous désirez faire des **ÉTUDES PRIMAIRES** ou **SECONDAIRES** n'oubliez pas que l'efficacité de l'enseignement de l'ÉCOLE DES SCIENCES ET ARTS est consacrée par les nombreux et brillants succès que remportent ses élèves au **BREVET ÉLÉMENTAIRE**, au **B. E. P. S.** au **CERTIFICAT D'ÉTUDES CLASSIQUES OU MODERNES** et au **BACCALAURÉAT**. Demandez l'envoi gratuit de la brochure **numéro R. 86** (études primaires) ou **numéro R. 87** (études secondaires)

ÉCOLE DES SCIENCES ET ARTS

81, boulevard des Belges - LYON (Rhône) - 16, rue Général-Mallette - PARIS (XVI^e)

un **MAITRE**, une **MÉTHODE**, des **RÉSULTATS!**...



MARC SAUREL

vous apprend à **DESSINER** bien, facilement, rapidement et chez vous par sa nouvelle méthode

"LE DESSIN FACILE"

★ Depuis 32 ans Marc SAUREL qui créa en France la première méthode d'enseignement du dessin par correspondance (en 1912) a formé, pour leur satisfaction unanime, des milliers de dessinateurs.

Sa nouvelle Méthode "LE DESSIN FACILE" est l'aboutissement de sa profonde connaissance de l'élève et de la meilleure façon de lui enseigner le dessin. Faites partie de l'Ecole du DESSIN FACILE, vous profiterez du maximum d'efficacité par le maximum d'expérience, et mettez les meilleures chances de votre côté.

L'un des procédés inédits de cette Méthode si vivante, réside dans l'utilisation de beaux documents photographiques spécialement établis et fournis gratuitement avec les cours. L'élève a ainsi sous la main, à tout moment, sans déplacements ou recherches inutiles, une collection de modèles variés, judicieusement choisis. De cette façon il apprend d'abord à "voir" son sujet et

BON pour une documentation illustrée 5V.38 qui vous sera envoyée par retour, contre 3 frs en timbres poste. Soulignez le genre de dessin qui vous intéresse : Paysage, Dessin de mode, Dessin industriel, Croquis, Dessin de public, Dessin animé, Portrait, Dessin d'illustrat, Dessin de lettres.

"LE DESSIN FACILE"

1, rue Keppler PARIS (16^e)

arrive tout de suite à dessiner d'après nature, de mémoire ou d'imagination.

En outre, les corrections et les conseils de son excellent professeur (qui devient vite un ami pour lui) doublent l'intérêt des leçons et leur donnent la valeur d'un véritable enseignement personnel.

Des élèves ont écrit à **MARC SAUREL**

1912 ... Je ne croyais pas qu'il fût possible d'apprendre le dessin par correspondance... Je reconnais mon erreur.

1930 ... Et voici que je réalise mon rêve, à l'automne de ma vie : grâce à vous j'apprends enfin vraiment à dessiner.

1943 ... Il y a 20 ans vous m'avez fait comprendre la joie de savoir dessiner. Je vous confie aujourd'hui mes deux enfants : Pierrette (10 ans) et André (18 ans).

**"L'Electricité
c'est l'avenir des jeunes"**



Étudiez chez vous, sans interrompre vos occupations, la plus jeune et la plus passionnante des sciences

**L'ÉLECTRICITÉ
ET SES APPLICATIONS**

En 6 mois, grâce à notre méthode moderne d'enseignement pratique professionnel, vous deviendrez l'expert recherché dans l'Industrie, le Cinéma, la Télévision, l'Amplification, etc.

**INSTITUT
ELECTRO-RADIO**

6, RUE DE TÉHÉRAN-PARIS-8^e

DE SUITE, écrivez-nous pour recevoir • Service VS
gratuitement notre luxueux programme
"L'ÉLECTRICITÉ ET SES APPLICATIONS MODERNES"
PRÉPARATION AUX DIPLOMES D'ÉTAT

**Philatélistes
Echangistes
Spéculateurs**

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

Nombreuses
occasions
en

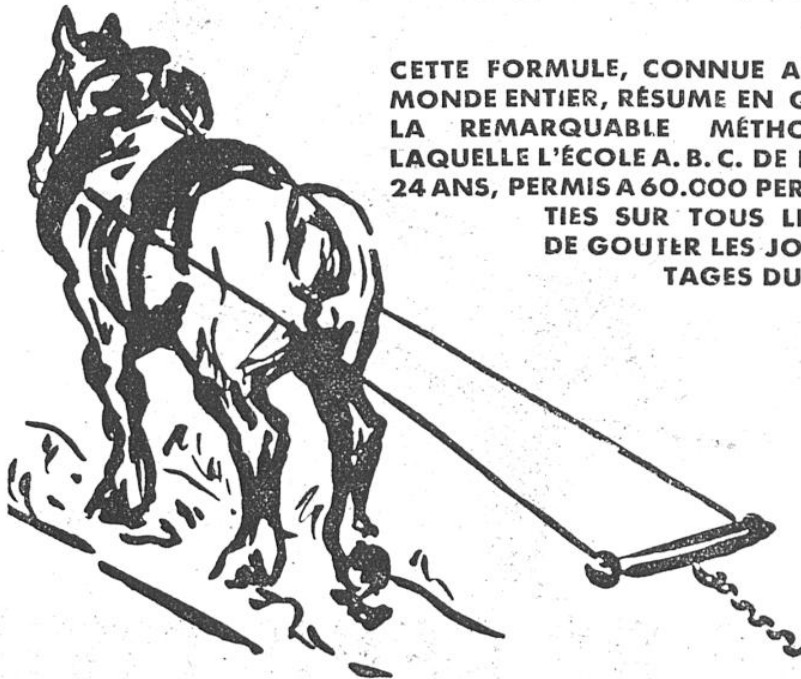


France
Colonies
Nouveautés

Timbres provenant d'œuvres et d'échanges

Ab. DENIS
LA COQUILLE (Dordogne)

Si vous pouvez écrire Vous pouvez **DESSINER**



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

Croquis remarquable de puissance exécuté au pinceau par un élève à sa cinquième leçon.

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'École 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.

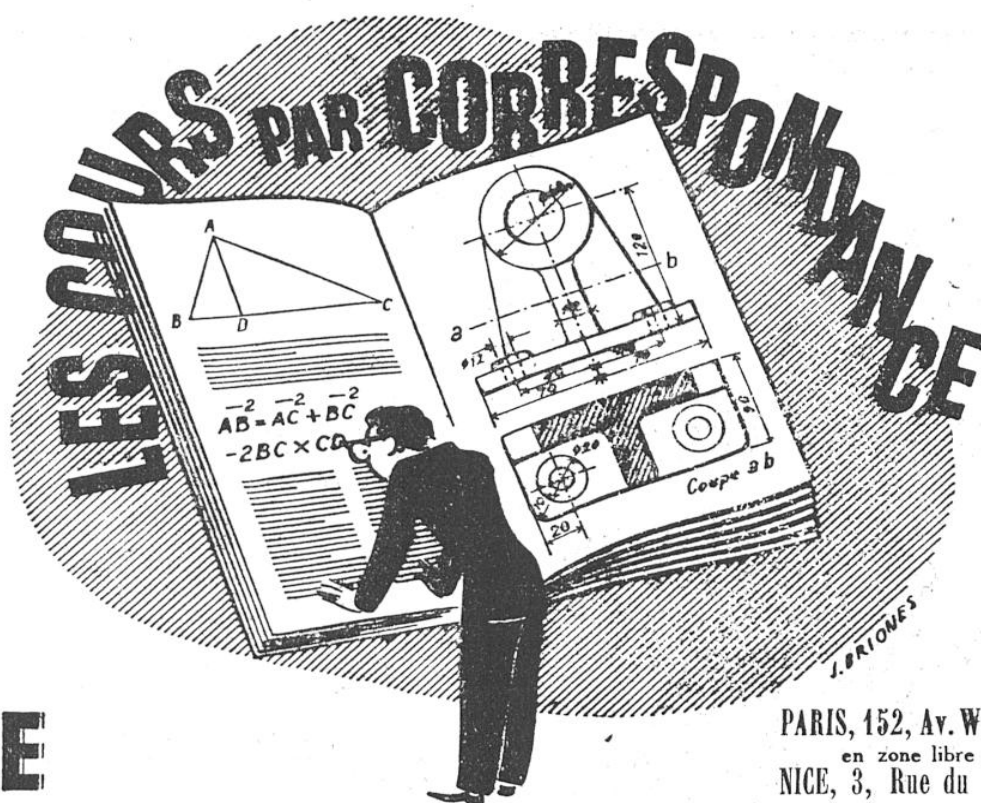
BROCHURE GRATUITE

Ecrivez 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 pour adultes.

ÉCOLE A. B. C. DE DESSIN (Section C. B. 15)

12, Rue Lincoln — PARIS (VIII^e)

6, Rue Bernadotte — PAU (Basses-Pyr.)



DE L'ECOLE DU GENIE CIVIL

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

(INSCRIPTIONS A TOUTE ÉPOQUE)

INDUSTRIE

CONTREMAÎTRE, DESSINATEUR, TECHNICIEN, SOUS-INGÉNIEUR, INGÉNIEUR en Mécanique générale, Constructions aéronautiques, Electricité, Electromécanique, Radiotechnique, 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.

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.

LYCÉES - ÉCOLES NATIONALES

Préparation à l'entrée à toutes les Ecoles nationales, secondaires, techniques et supérieures et aux Baccalauréats. Brevets Mathématiques générales. Licences.

AVIATION CIVILE

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

MATHÉMATIQUES

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

MARINE MARCHANDE

Entrée dans les Ecoles nationales de la Marine marchande. Pour la préparation directe aux Brevets d'Elèves officiers, Pont, Officiers mécaniciens de 2^e classe, Capitaines M. M.

S'adresser à l'Ecole privée d'Enseignement maritime, 21, boulevard Frank-Pilate, Nice.

(Cours sur place ou par correspondance.)

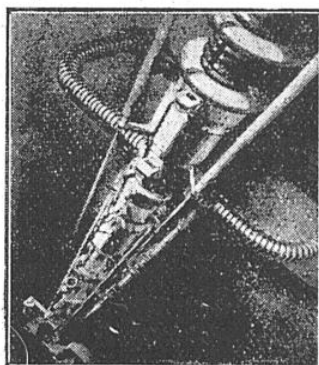
SCIENCE ET VIE

Tome LXIV - N° 314

SOMMAIRE

Octobre 1943

- ★ L'hypermicroscope électronique et le cinéma, par Pierre Millay 147
- ★ Les lames ultraminces nous révèlent les dimensions des molécules, par Pierre Devaux..... 152
- ★ Comment se serait modelée la face de la Terre par la dérive des continents, par A. Vandel..... 158
- ★ Le sucre de bois : ersatz alimentaire et source de carburants, par Charles Berthelot 171
- ★ Les transports de l'après-guerre : le trolleybus et l'électrification du réseau routier, par Jean Labadié.. 179
- ★ L'usine d'équarrissage, source de corps gras et d'engrais par René Martin..... 188
- ★ Les A Côté de la Science, par V. Rubor..... 191

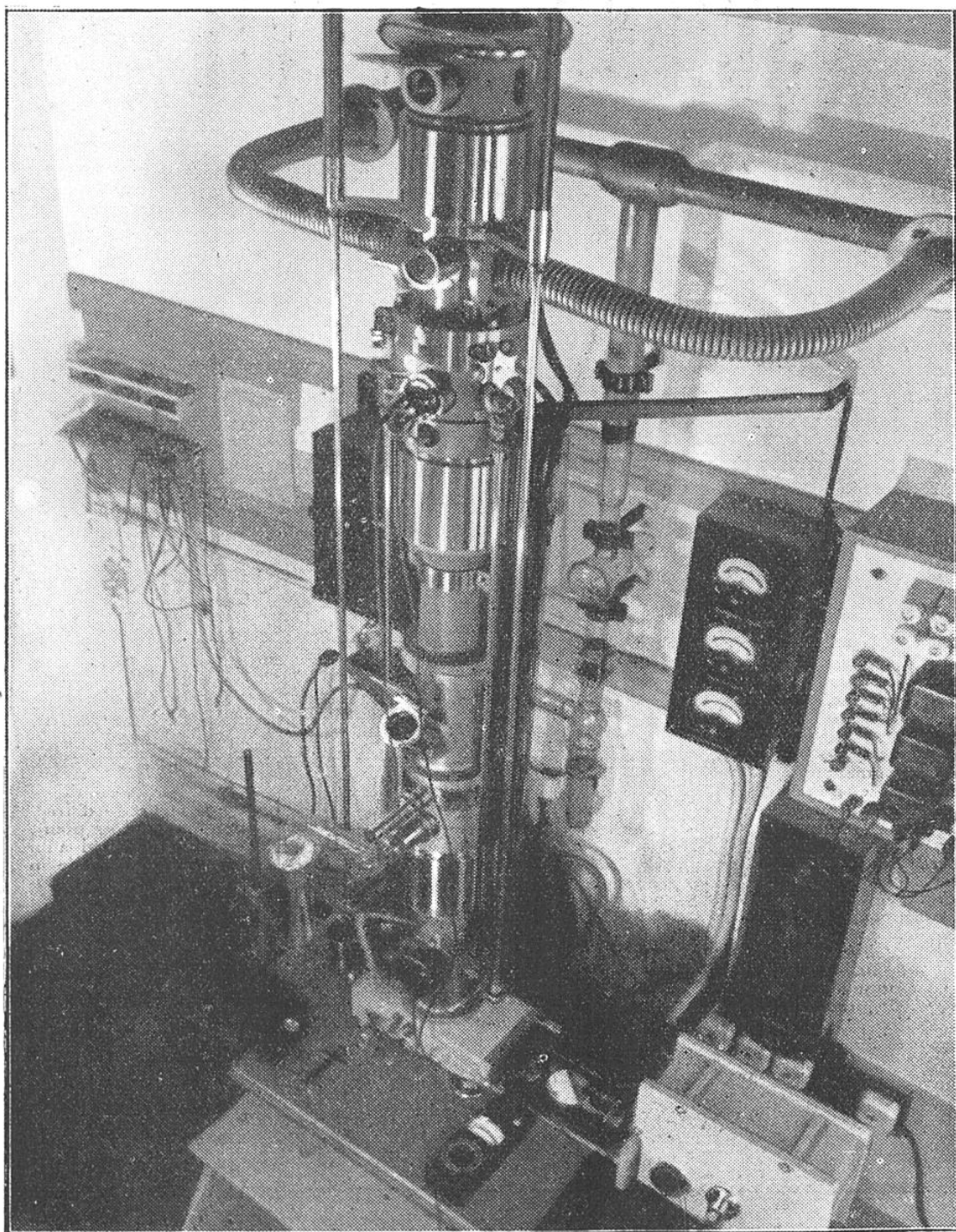


T W 40005

Une étape importante de l'exploration de l'infiniment petit a été franchie ces dernières années avec la création du microscope à électrons. Son grossissement, de l'ordre de 50 000, révèle des détails insoupçonnés jusqu'ici des savants, biologistes, physiciens ou métallurgistes, dont les meilleurs microscopes optiques ne dépassaient pas 2 000. La couverture de ce numéro représente le microscope électronique de von Ardenne muni du tout dernier perfectionnement apporté à cette technique nouvelle : le cinéma. Grâce à lui peuvent être filmés aujourd'hui les détails de nombreuses transformations physiques et chimiques dont le mécanisme intime demeurait inconnu. Ce sera un puissant instrument de recherches et un précieux facteur de progrès, tant pour la science pure que pour la technique industrielle. (Voir l'article page 147 de ce 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 », octobre mil neuf cent quarante-trois. Registre du Commerce : Toulouse 3235 B. Abonnements : France et Colonies, un an : quatre-vingts francs.



T W 40000

L'HYPERMICROSCOPE ÉLECTRONIQUE UNIVERSEL (MAGNÉTIQUE ET ÉLECTRIQUE) DE MANFRED VON ARDENNE ET SA CAMERA DE PRISE DE VUES CINÉMATOGRAPHIQUES

Cet appareil a permis la réalisation des premiers films ultramicroscopiques portant sur des changements d'état de substances diverses à des températures de 1 000 à 2 000° C, avec un grossissement de plus de 20 000.

L'HYPERMICROSCOPE ÉLECTRONIQUE ET LE CINÉMA

par Pierre MILLAY

Le microscope électronique constitue un instrument de recherches d'une puissance extrême, et dont le champ d'applications apparaît très étendu. Métallurgie, chimie, géologie, biologie, il n'est plus guère de domaine de la science pure ou appliquée qui ne puisse y faire appel. Sous sa forme, classique pourrait-on dire, de microscope électrostatique ou magnétique, il équipe déjà plusieurs laboratoires de recherches. Mais voici que vient d'apparaître une technique nouvelle, la cinématographie hypermicroscopique, qui ouvre aux chercheurs de nouveaux domaines en leur permettant de suivre le mécanisme de certaines réactions chimiques que met couramment en œuvre la grande industrie, et de certaines modifications structurales intéressant la métallurgie, la céramique, etc... Alors que le microscope optique ordinaire a derrière lui trois cents années de travaux et de perfectionnements, dix ans à peine se sont écoulés depuis l'invention de l'hypermicroscope. La technique de l'hypermicroscopie est donc encore seulement au début de son développement, et l'on ne saurait aujourd'hui en augurer les limites.

Pouvoir séparateur et diffraction

DÈS le milieu du siècle dernier, les physiciens avaient compris qu'il était inutile parce qu'illusoire de songer à augmenter indéfiniment le grossissement du microscope. En effet, la propagation rectiligne de la lumière, sur laquelle reposent les lois de l'optique géométrique, ne constitue qu'une approximation, étant donnée sa nature ondulatoire. Un instrument d'optique, quelque parfaite que soit sa réalisation, même s'il est corrigé de tout défaut, ne peut fournir d'un point une image autre qu'une tache, la tache de diffraction. Lorsqu'on augmente son grossissement, il arrive un moment où le diamètre des taches croît dans la même proportion que leur distance.

Si l'image devient effectivement plus grosse, elle devient aussi plus floue.

Le pouvoir séparateur d'un microscope en lumière blanche ordinaire, avec l'ouverture maximum pratiquement réalisable, ne dépasse pas 2 dixièmes de micron, soit 2 dix-millièmes de millimètre. Comme le rayon de la tache de diffraction, image d'un point, est proportionnel à la longueur d'onde de la lumière, il était rationnel que l'on s'adressât à des rayonnements de longueur d'onde de plus en plus courte. L'emploi de l'ultraviolet a permis de séparer des points distants de 1 dixième de micron. Le grossissement utile voisin de 2000 qui en résulte constitue l'extrême limite des progrès réalisables avec le microscope ordinaire.

Il devait venir naturellement à l'esprit de faire appel aux rayons X dont les longueurs d'onde s'échelonnent entre le dix-millième et

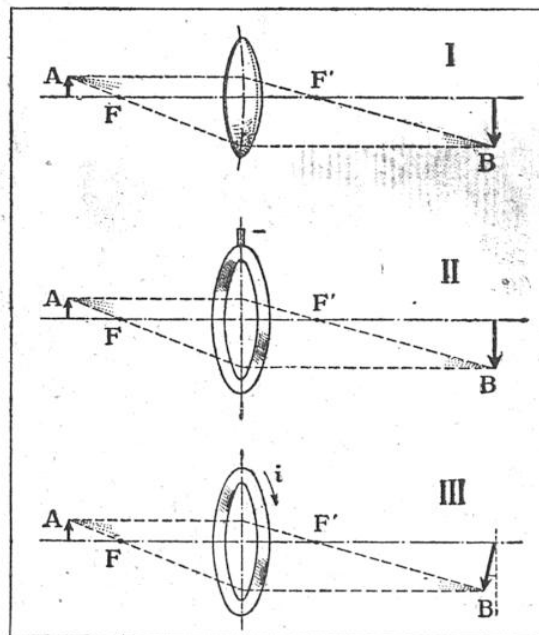


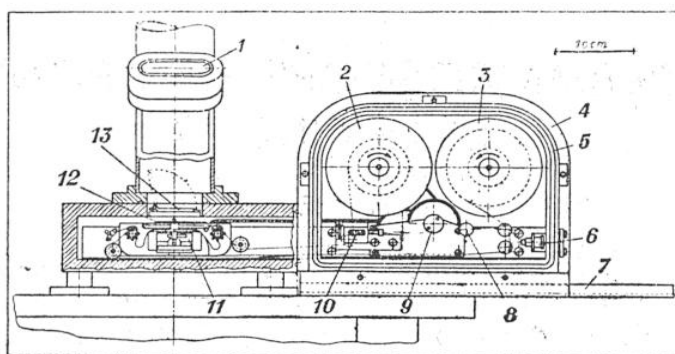
FIG. 1. — SCHÉMA DE PRINCIPE DE DIFFÉRENTES LENTILLES

En I, il s'agit d'une lentille classique de verre donnant une image optique B de l'objet lumineux A. En II, un anneau chargé négativement figure une lentille électrostatique donnant en B une image électronique de l'objet A, source d'électrons. En III, la lentille magnétique est constituée par un anneau circulaire parcouru par un courant électrique. Dans ce dernier cas, les électrons issus de A donnent en B une image ayant effectué une certaine rotation autour de l'axe du système.

le cent-millième de mm. Toutes les tentatives dans ce sens échouèrent parce que les rayons X ne se prêtent pas à la réfraction, c'est-à-dire parce qu'on ne dispose pas de lentilles pour ces rayons.

Au contraire, le microscope électronique (1) fait appel à des longueurs d'onde beaucoup

(1) Voir : « Microscope à rayons ultraviolets et microscope électronique » (*Science et Vie*, n° 211, janv. 1935); « Nouvelles applications du microscope électronique » (*Science*



T W 40001

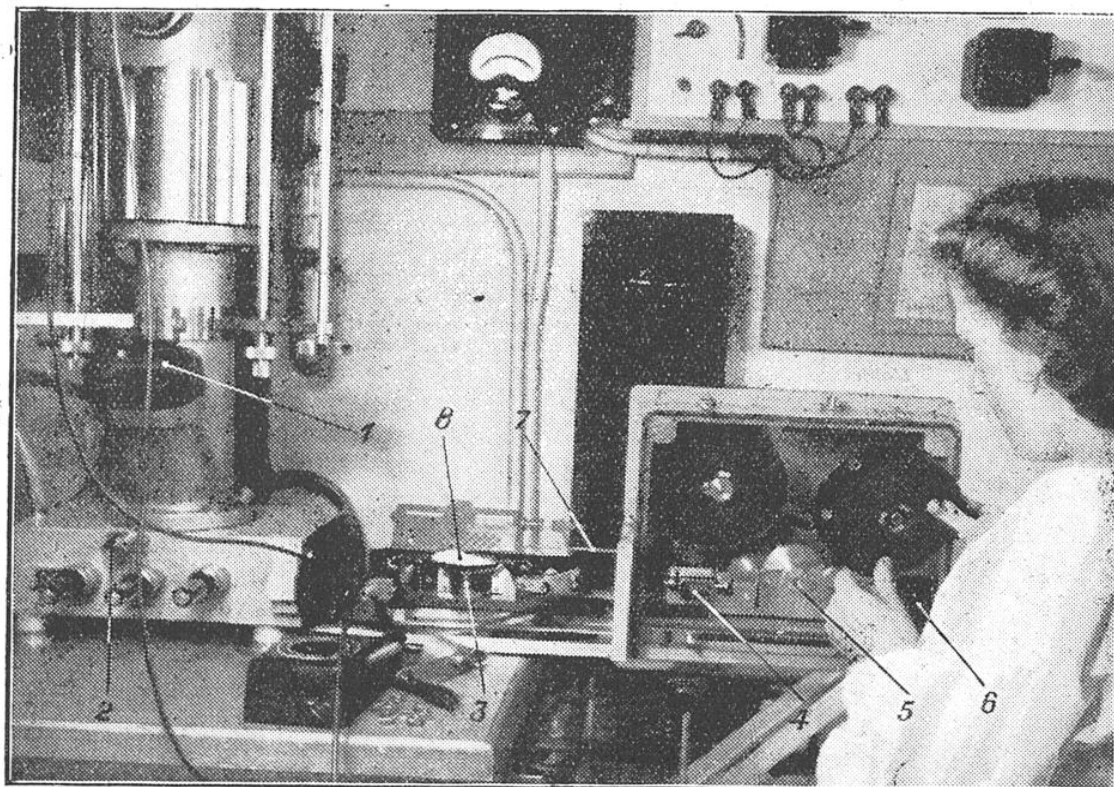
FIG. 2. — SCHÉMA D'ENSEMBLE DE LA CAMERA ADAPTÉE A L'HYPER-MICROSCOPE ÉLECTRONIQUE

1, fenêtre d'observation; 2, bobine enrouleuse; 3, bobine dérouleuse; 4, carter étanche; 5, joint en caoutchouc de la porte du carter; 6, dispositif optique pour inscrire des repères sur le film; 7, banc d'acier; 8, commande du démultiplicateur (24 images de film normal ou 1 image de film d'amateur pour 2 tours de manivelle); 9, axe de la manivelle; 10, compteur; 11, système d'entraînement du film; 12, obturateur tournant recouvert de peinture lumineuse; 13, volet-obturateur manœuvrable à la main.

plus petites encore que les rayons X, celles des ondes qui, d'après les conceptions modernes de la mécanique ondulatoire, sont associées aux électrons rapides.

Les lentilles électroniques et l'hypermicroscope

On peut agir sur les électrons, les dévier de leur course, concentrer ou dilater leur faisceau (*et Vie*, n° 217, juill. 1935); « Le supermicroscope électronique » (*Science et Vie*, n° 257, novembre 1938).



T W 40002

FIG. 3. — VUE INTÉRIEURE DE LA CAMERA, A LA BASE DE L'HYPERMICROSCOPE ÉLECTRONIQUE

La camera et le dispositif d'entraînement du film, qui en est solidaire, peuvent glisser sur un banc métallique, ce qui permet d'utiliser le microscope sans la camera, en bouchant simplement d'une manière étanche l'orifice de passage de cette dernière. 1, fenêtre d'observation; 2, commande à la main du volet-obturateur du tube; 3, mécanisme d'entraînement du film; 4, compteur d'images; 5, axe de la manivelle de la camera; 6, lampe inscrivant les repères sur le film; 7, chaîne transmettant le mouvement au mécanisme d'entraînement; 8, obturateur tournant lumineux.

par voie électrostatique ou par voie magnétique. La figure 1 donne très schématiquement le principe de l'optique électronique qui a trouvé d'ores et déjà de très nombreuses applications, parmi lesquelles nous évoquerons seulement l'oscillographe cathodique et de nombreux tubes spéciaux utilisés en radioélectricité.

Les microscopes électroniques de différents modèles qui ont été déjà réalisés comprennent tous des combinaisons plus ou moins compliquées de lentilles électrostatiques ou magnétiques. Leur disposition générale est cependant analogue. La source d'électrons est une cathode incandescente. La tension accélératrice varie suivant les modèles entre 100 000 et 200 000 volts. Les électrons à grande vitesse, accélérés et réduits à un pinceau par un diaphragme, irradient l'objet de l'étude et le traversent avant d'arriver à une première lentille, puis à une seconde, qui fournit l'image définitive sur un écran fluorescent ou sur une plaque photographique. La combinaison des lentilles électroniques rappelle celle des lentilles optiques du microscope ordinaire.

Le grossissement du microscope électronique est de l'ordre de 45 000, correspondant à un pouvoir séparateur voisin de 5 millimicrons, soit 5 millièmes de millimètre. En réalité, le grossissement par l'optique électronique pure reste relativement faible en pratique, l'image photographiée supportant ensuite un agrandissement considérable. On préfère cette manière de procéder, car elle permet d'obtenir des images plus transparentes et des champs plus étendus, et aussi de ne pas laisser l'objet exposé trop longtemps au rayonnement électronique, lors de la prise du cliché.

La camera hypermicroscopique

Les substances soumises à l'examen du microscope électronique sont en règle générale inanimées. Placées dans un vide poussé et soumises à un bombardement électronique intense,

elles ne peuvent évidemment pas être constituées par des microorganismes en vie. Les seuls mouvements dont l'« objet » peut être le siège dans les conditions ordinaires sont donc indésirables, car il s'agit par exemple d'une déchirure de la pellicule ultramince de collodion qui supporte la préparation étudiée, du dégagement de bulles gazeuses dans des

fibres textiles, de la fusion ou de la vaporisation de substances fragiles, sous l'action du bombardement cathodique.

Cependant, toute une série de transformations sont susceptibles d'être observées au microscope électronique, par exemple cristallisations, fusions de métaux, comportement de matières réfractaires à haute température, réactions chimiques diverses, etc., et la rapidité des changements de structure qui se produisent ainsi ne permet pas de les suivre dans tous leurs détails par le procédé ordinaire des clichés isolés successifs. La cinématographie s'impose.

Elle a été réalisée tout récemment par Manfred von Ardenne et appliquée par lui à son hypermicroscope électronique « universel »,

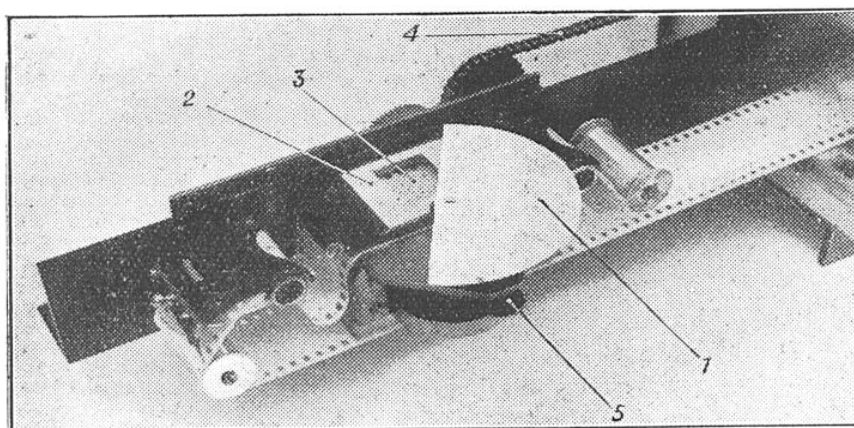
ainsi appelé parce qu'il permet l'utilisation, à volonté, de lentilles magnétiques et de lentilles électrostatiques. Le pouvoir séparateur de cet appareil est très élevé puisqu'il permet de distinguer deux points distants seulement de 3 millimicrons, et von Ardenne l'a doté en outre d'un certain nombre de perfectionnements originaux.

Telle est par exemple la chambre de réaction spéciale grâce à laquelle il est possible d'entretenir dans le voisinage de l'objet étudié une atmosphère gazeuse de composition déterminée sous une pression appréciable. Grâce au chauffage exercé par le bombardement électronique lui-même, on a ainsi la possibilité d'étudier à l'hypermicroscope un grand nombre de réactions entre gaz et substances solides. Signalons aussi tout particulièrement le dispositif permettant de porter l'objet étudié à une température élevée et étroitement définie. Ainsi se trouve offerte la possibilité de réaliser dans le tube même des



FIG. 4. — LA MISE EN PLACE DE LA SUBSTANCE A ÉTUDIER DANS LE PORTE-OBJET DU MICROSCOPE ÉLECTRONIQUE

L'objet de l'étude est placé sur une mince lame de platine, dont la température peut être portée jusqu'à plus de 2 000° C par un courant électrique de chauffage. Quelques milligrammes de matière suffisent pour observer et filmer les processus qui se déroulent aux températures réalisées. Ainsi peuvent être mis en évidence, par exemple, les phénomènes d'empoisonnements de catalyseurs, les changements dans la texture cristalline des alliages métalliques, la fusion des métaux, etc....



T W 40004

FIG. 5. — LE DISPOSITIF DE GUIDAGE DU FILM POUR LA CAMERA DE L'HYPERMICROSCOPE ÉLECTRONIQUE

L'obturateur tournant, qui masque le film quand celui-ci avance d'une image, est recouvert d'un enduit luminescent au sulfure de zinc, permettant ainsi, grâce à la persistance des impressions lumineuses sur la rétine, l'observation visuelle continue du phénomène à filmer, même pendant la prise de vues, par la fenêtre d'observation habituelle du microscope. Le cadre de la fenêtre d'impression du film est également recouvert d'enduit luminescent, de sorte qu'il paraît à l'observateur plus lumineux que le reste du champ, délimitant ainsi la partie de l'image électronique qui s'inscrit sur le film. 1, obturateur tournant; 2, cadre luminescent; 3, fenêtre d'impression du film; 4, chaîne transmettant le mouvement aux jeux d'engrenages; 5, axe de l'excentrique portant les griffes d'entraînement du film.

réactions et des changements d'états, afin d'en suivre toutes phases par l'observation directe, photographique et maintenant cinématographique.

Le film dans le vide

Il eût été possible, avec le minimum de difficultés et de complication, de filmer indirectement l'image électronique formée sur un écran fluorescent. C'est ainsi qu'on opère d'ailleurs pour les prises de vues cinématographiques avec les rayons X. Mais l'écran fluorescent a le grave inconvénient de nuire à la qualité de l'image qui perd de sa finesse et dont les contrastes sont moins accusés; étant données sa faible luminosité et son inertie, il oblige à renoncer aux prises de vues à cadence normale. La camera von Ardenne effectue la prise de vues directe.

Ce n'est pas, comme on pourrait le croire, du mécanisme de la camera elle-même, ni de la nécessité de faire le vide dans l'ensemble tube-camera que sont venues les principales difficultés, mais bien du film lui-même qui, par suite de l'évaporation dans le vide de l'eau et des substances volatiles qu'il renferme et qui jouent un rôle important dans la conservation de sa plasticité et de sa souplesse, perd ses propriétés mécaniques et ne peut plus supporter les efforts exercés par les griffes du mécanisme d'entraînement, lesquelles, comme dans une camera ordinaire, agissent par saccades entraînant et immobilisant le film vingt-cinq fois par seconde pour la prise des images successives.

Aucune substance convenable n'ayant pu être trouvée pour remplacer le support habituel de l'émulsion, la difficulté fut tournée en fraction-

nant le vide à l'intérieur du tube. C'est-à-dire que von Ardenne s'est arrangé pour qu'un vide élevé règne à la partie supérieure du tube, où la cathode libère les électrons, et sur sa plus grande longueur, tandis qu'à la partie inférieure et dans la camera on ne trouve qu'un vide cent fois moins grand. Ainsi une fraction importante de l'eau nécessaire à la plasticité du film y reste fixée. Les deux fractions

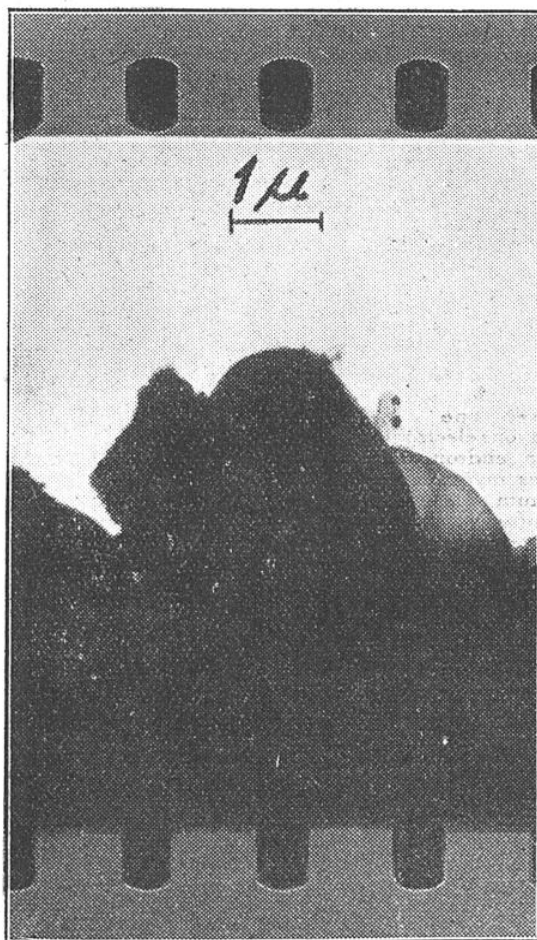


FIG. 6. — UNE PHASE DE LA FORMATION DE GROS CRISTAUX D'OR, A PARTIR DE MICROCRISTAUX, PAR CHAUFFAGE A 1 000° C

Le film de cette transformation (20 images par seconde) réalisait un grossissement de 3 000, l'hypermicroscope électronique fonctionnant sous 150 000 volts. Sa finesse a permis un nouvel agrandissement portant le grossissement résultant à 15 000.

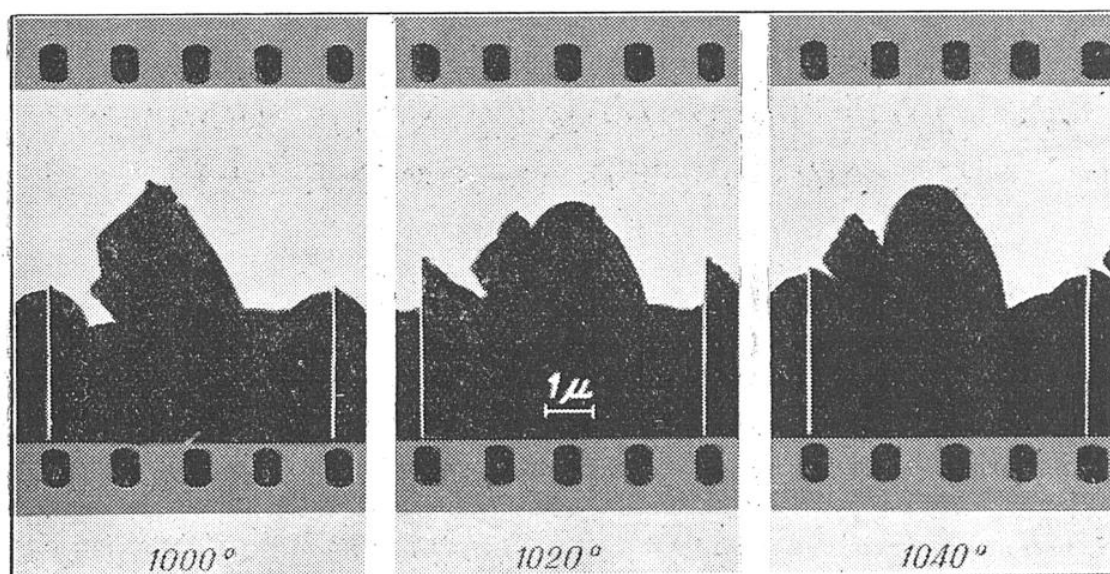


FIG. 7. — IMAGES FORTEMENT GROSSIES, EXTRAITES DU PREMIER FILM RÉALISÉ A L'AIDE DE L'HYPERMICROSCOPE ELECTRONIQUE

On voit ici les changements de forme de cristaux microscopiques d'or peu avant que soit atteinte la température de fusion. Les températures indiquées ont été obtenues en élevant progressivement l'intensité d'un courant électrique traversant une mince bande de platine constituant le porte-objet.

du tube, à des pressions différentes, sont réunies par une très étroite ouverture d'un demi-millimètre de diamètre que franchissent aisément les électrons, son emplacement ayant été choisi de telle sorte qu'il coïncide avec une « caustique » des rayons électroniques, c'est-à-dire un endroit où le faisceau de ces rayons a le diamètre minimum. Le trajet des électrons entre cet étroit orifice et le film cinématographique demeure assez court pour que, malgré la rencontre d'un nombre appréciable de molécules gazeuses, l'image obtenue reste nette.

La camera peut également fonctionner avec du film du format d'amateur, utilisé non pour le cinéma, mais pour des clichés successifs. Dans ce cas, il suffit de débarrasser le mécanisme d'entraînement du film (représenté fig. 3 et 5) de son obturateur tournant, ainsi que de la fenêtre lumineuse, et d'utiliser le clapet obturateur à la base du tube, manœuvrable à la main. Avec 60 m de film, il est ainsi possible de prendre 1 650 clichés successifs.

On voit sur les figures 2 et 3 l'emplacement du compteur d'images qui permet à chaque instant de savoir de combien de clichés l'opérateur dispose encore. Sur le schéma (fig. 2) est figuré un petit dispositif optique destiné à inscrire sur le film des repères à la

volonté de l'opérateur, en concentrant la lumière émise par une lampe auxiliaire par exemple, ou en photographiant directement sur le film l'image de l'ampèremètre que parcourt le courant de chauffage de la préparation étudiée. Ainsi toute microphotographie portera sur elle-même l'indication de la température de l'échantillon au moment de la prise de vues, ce qui élimine un risque d'erreur non négligeable.

L'hypermicroscope électronique de von Ardenne peut fonctionner sous une tension normale de 150 000 volts, pouvant aller jusqu'à 200 000 volts. Il permet des grossissements de 5 000 environ sur le film; les images obtenues supportent facilement un nouvel agrandissement portant le grossissement au total aux environs de 25 000 dans les cas les plus favorables. Les illustrations ci-contre permettent de juger de la qualité des résultats obtenus. Elles sont extraites des premiers films réalisés par von Ardenne. Ils ont apporté la preuve que seule la cinématographie était capable de mettre en évidence toutes les phases de certaines transformations physiques qui se produisent souvent dans l'intervalle d'une fraction de seconde, et qu'il est donc vain de chercher à fixer par des clichés isolés.

Pierre MILLAY.

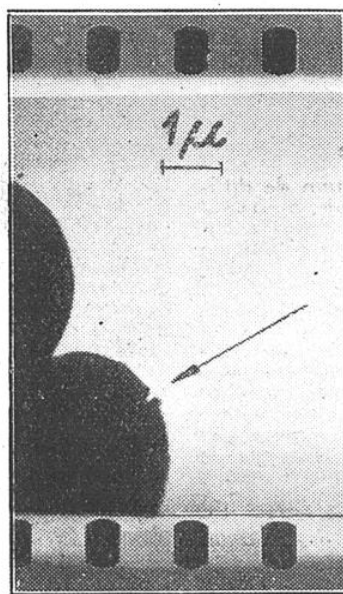


FIG. 8. — IMAGE EXTRAITE D'UN FILM SUR LA FUSION DE FINES PARTICULES D'URANIUM

Cette photographie fortement grossie montre le début de la rupture de la couche d'oxyde vers 1 100° C, précédant la fusion de l'uranium.

LES LAMES ULTRAMINCES NOUS RÉVÈLENT LES DIMENSIONS DES MOLÉCULES

par Pierre DEVAUX

Ancien élève de l'Ecole Polytechnique

Il existe des substances qui, dans certaines conditions, peuvent recouvrir en couche très fine la surface polie des solides ou celle parfaitement plane des liquides, constituant ainsi des lames ultraminces dont les propriétés varient brusquement pour certaines « épaisseurs critiques ». On a été amené à les considérer comme formées d'une couche unique de molécules ou d'un petit nombre seulement d'assises moléculaires dont les éléments constitutifs, les molécules, possèdent une orientation uniforme imposée par le contact même de la surface qui les porte. Si ces lames ultraminces trouvent des applications pratiques très importantes (lubrification, concentration des minerais par flottation, fabrication des produits mouillants, des insecticides, etc.), l'étude de leurs propriétés très particulières auxquelles un savant français, le professeur Henri Devaux, a consacré d'importants travaux depuis 1888, présente aussi un grand intérêt théorique. C'est ainsi, par exemple, qu'elles permettent de mesurer les trois dimensions principales de certaines molécules et nous donnent en quelque sorte le moyen de « voir » des corpuscules qui par leurs dimensions échappent, sauf de rares exceptions, aux procédés d'observation, même les plus puissants (supermicroscope électronique).

LES couleurs fugitives des bulles de savon, les moires somptueuses des eaux souillées de pétrole, nous ont depuis longtemps familiarisés avec l'extension des lames ultraminces à la surface des liquides. La périphérie de ces lames est d'un blanc pâle, attestant que leur épaisseur est bien inférieure aux longueurs d'onde de la lumière.

Lord Rayleigh et Miss Pockel, Henri Devaux, Marcellin, Pierre Lecomte du Noüy, Irving Langmuir, Dervidchian, nous ont éclairés sur la constitution de ces lames, qui est aujourd'hui bien connue. Leur existence se traduit par une force « tangentielle », dirigée suivant la surface et due à la différence des « tensions superficielles » du liquide nu et du liquide recouvert par la lame. Ainsi, une très fine gouttelette d'huile, déposée sur une eau préalablement saupoudrée d'un voile de talc, produit un écartement circulaire du talc. Cette extension de l'huile en nappe n'est toutefois pas indéfinie; le phénomène s'arrête dès que la lame d'huile est devenue suffisamment mince. Lord Rayleigh a montré, dès 1890, qu'il existe plusieurs « épaisseurs critiques » des lames superficielles, pour lesquelles la nature des phénomènes varie brusquement.

Déposons, par exemple, quelques menus grains de camphre naturel sur l'eau. Comme tout corps mouillé par un liquide, les granules se trouvent soumis à une traction de la part de la surface environnante, agissant comme une véritable membrane élastique. Pour un corps flottant inerte, tel qu'un bouchon, cette traction est la même sur tout le pourtour, en sorte que le flotteur demeure au repos; il n'en est pas de même pour le camphre, qui a la propriété d'altérer fortement la « tension superficielle » de l'eau; cette altération se fait de façon irrégulière, en sorte que les grains de camphre sont animés d'une vive trémulation.

Déposons maintenant sur l'eau des quantités très petites mais croissantes d'huile. Par des procédés que nous examinerons plus loin, il sera possible d'évaluer l'épaisseur de la lame d'huile ainsi formée. On constate que pour que l'arrêt de la trémulation du camphre se produise, il faut que cette lame possède une épaisseur supérieure à un certain chiffre, voisin de 1 millimicron. En mesurant les « épaisseurs critiques » ainsi trouvées pour différentes substances étalées en couche mince, on constate qu'elles coïncident de façon remarquable avec les dimensions propres des molécules, calculées par des méthodes physiques entièrement différentes. Autrement dit, l'épaisseur critique correspond à la disposition jointive des molécules en couche unique : notre « mosaïque infinitésimale » est une couche unimoléculaire.

On pourrait croire que des lames d'une telle minceur représentent un état extrêmement fragile de la matière et ne peuvent jouer aucun rôle actif dans les phénomènes courants. Il n'en est rien. Des lames invisibles mais singulièrement actives existent habituellement à la surface de la plupart des corps solides ou liquides, sous la forme de « souillures » extraordinairement légères, et jouent un rôle capital dans les phénomènes d'adhérence, de frottement et de « mouillabilité ».

Si l'on dépose sur une lame de verre une goutte de benzine contenant en dissolution de la cire, on peut obtenir par évaporation une lame unimoléculaire de cire qui change complètement le coefficient de frottement, en rendant le verre glissant : cette lame résiste à l'action

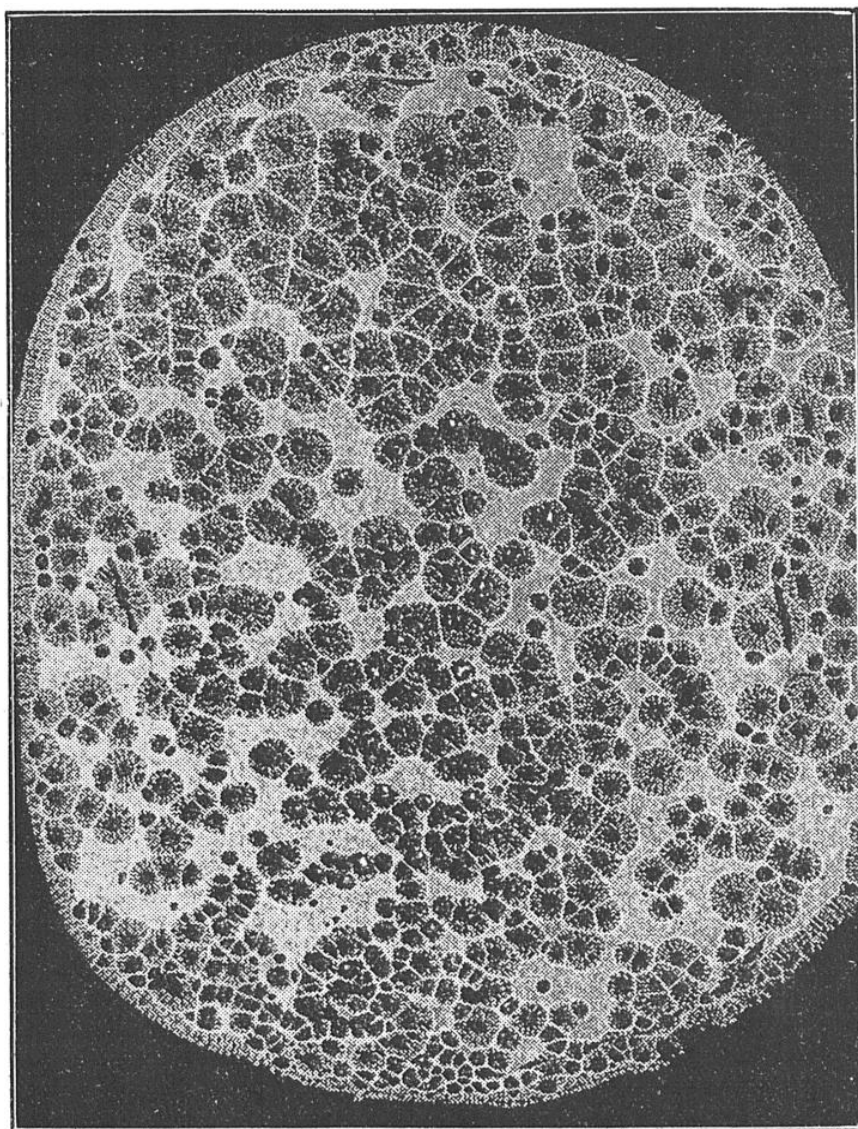


FIG. 1. — LAME MOLÉCULAIRE D'HUILE DE LIN A LA SURFACE DE L'EAU
 Les parties claires mesurent $1/100\,000$ de mm d'épaisseur et sont formées de cinq couches de molécules; les parties sombres représentent la zone unimoléculaire. Elles sont entourées de fines gouttelettes en chapelet.

d'une baguette de verre exerçant localement des pressions de l'ordre de 2 000 atmosphères!

L'influence des lames flottantes n'est pas moins importante. Un seul litre d'huile, imprégnant un sac de filasses suspendu à l'étrave d'un navire, suffit pour empêcher le « déferlement » durant 24 heures : la pellicule d'huile répandue sur l'eau provoque le glissement du vent, qui cesse d'entraîner les couches supérieures de l'eau et de faire déferler la crête des vagues.

Des lames unimoléculaires solides peuvent être réalisées à la surface des liquides : il suffit, par exemple, d'envoyer un jet d'hydrogène sulfuré sur une solution de sulfate de cuivre, pour que celle-ci se couvre d'une pellicule

solide de sulfure de cuivre : on peut également obtenir des lames solides à la surface du mercure.

Les molécules formant une lame unimoléculaire sont « orientées », la lame présentant une face mouillable et l'autre non mouillable. Soulevons avec précautions, au moyen d'une plaque de verre, une lame de sulfure de cuivre flottant sur le mercure : nous constaterons que sur la plaque ainsi recouverte par la lame de sulfure, de l'eau projetée en gouttes roule sans adhérer. Si nous avons, au contraire, recueilli la lame de sulfure de cuivre à l'envers — ce qui se fait très simplement en l'enfonçant dans l'eau au moyen de la plaque de verre — nous avons une surface mouillable, à laquelle l'eau adhère en s'étalant. Tout se passe comme si les molécules, telles qu'elles existent dans les corps massifs, présentaient deux « pôles » — constitués probablement par des terminaisons de leurs chaînes de « valences » chimiques — l'un attractif pour l'eau, l'autre répulsif; dans les corps amorphes, les axes polaires des molécules seraient dirigés au hasard, tandis qu'ils seraient orientés dans les lames unimoléculaires, aussi bien que dans les cristaux.

Cette notion de l'orientation des molécules a été brillamment reprise par Irving Langmuir aux Etats-Unis, par Pierre Lecomte du Noüy en France, et par de nombreux chercheurs. Elle est aujourd'hui à la base de méthodes d'investigations physiques à mettre sur le même rang que l'examen cristallographique aux rayons X. En outre, elle a ouvert de curieux aperçus sur ce phénomène essentiel de la vie qu'est l'assimilation des substances étrangères par le cytoplasme des cellules. Il semble que les molécules qui pénètrent dans la cellule par attraction sont orientées au passage quand elles traversent la couche superficielle; ainsi s'expliquerait qu'elles viennent former une nouvelle architecture, spécifiquement homogène

avec la constitution biologique de la cellule. Un examen microscopique, en lumière polarisée, de grains d'amidon décèle cette structure en pellicules superposées; la cellule vivante se révélerait ainsi comme un merveilleux « laboratoire moléculaire », réalisant des synthèses inconnues à nos laboratoires, par des procédés « micromécaniques ».

Comment on mesure les trois « axes » des molécules

A l'échelle « macroscopique », MM. Devaux et Pallu ont pu réaliser une curieuse figuration à l'aide de *particules* de grande taille, telles que des pois secs ou des lentilles flottant sur le mercure. Ces phénomènes visibles suggèrent des formules directement applicables aux molécules et ont permis, en définitive, de mesurer indirectement les trois « axes » moléculaires.

Le matériel utilisé est le même que pour l'étude des couches moléculaires; une cuve à mercure plate, de 250 mm sur 200 mm, où le mercure forme une couche mince de 4 mm, légèrement en saillie par l'effet de ménisque.

Le mercure est encadré avec des bandes de cellophane collées aux bords de la cuve, formant une margelle souple; cette disposition permet d'avancer une « barrière mobile », formée d'une bande de papier glissant au contact du mercure, afin de comprimer les lames dans le sens tangentiel.

Sur le mercure, bien nettoyé par la barrière mobile, versons 50 g de *graines* propres et sèches, sphériques, telles que des pois secs. On constate une magnifique *expansion* des graines, qui divergent, formant bientôt une couche unique où toutes les graines se trouvent individuellement en contact avec le mercure. Cet éboulement centrifuge rappelle l'étalement des molécules

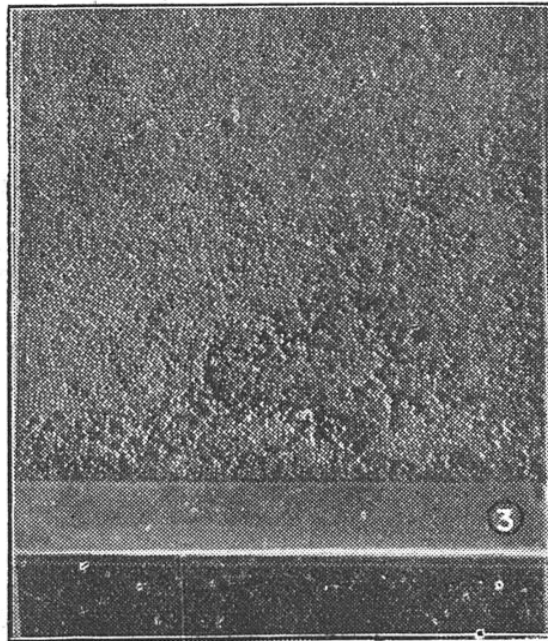
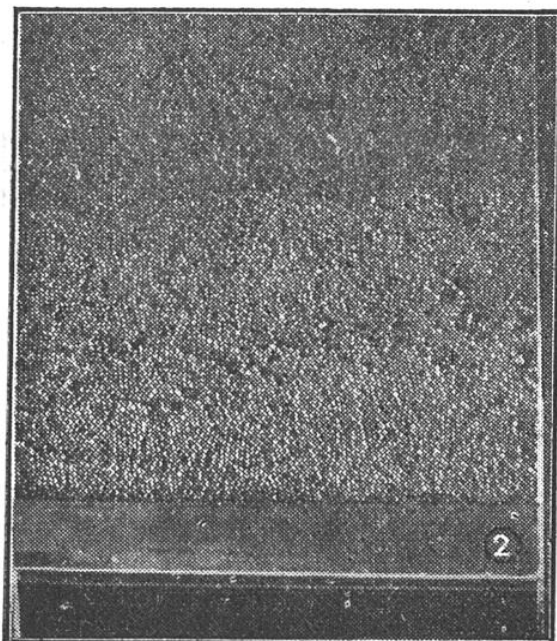


FIG. 2. — GRAINES RONDÉS DE COLZA ÉTENDUES EN LAME UNIPARTICULAIRE A LA SURFACE DU MERCURE
En 1, la nappe est « distendue »; elle présente des trous, la quantité de graines étant insuffisante pour couvrir la totalité de la surface. En 2, la surface est critique : comprimée latéralement par la bande de papier mobile visible dans le bas de la figure, les graines commencent à grimper les unes sur les autres. En 3, le point critique est dépassé; de nombreuses graines s'échappent en hauteur.

T W 25091

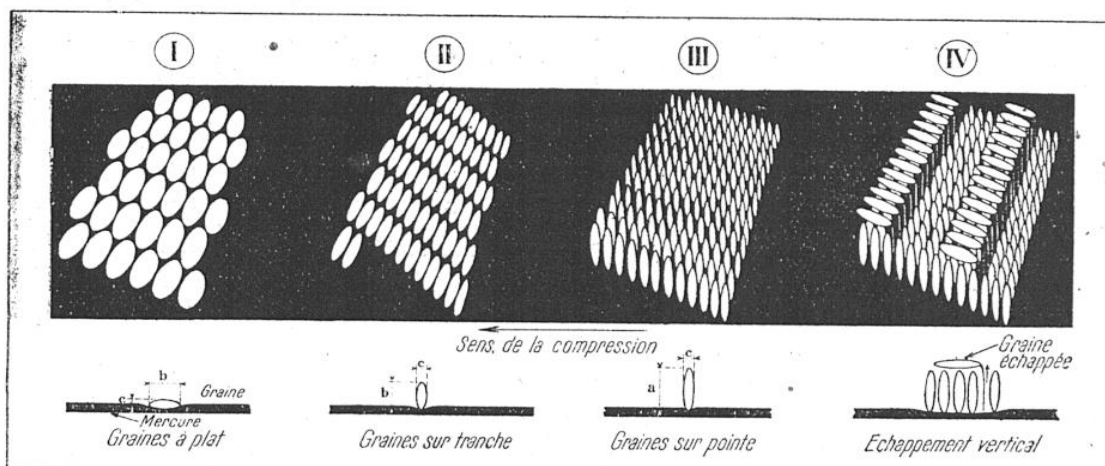


FIG. 3. — IL EXISTE TROIS POINTS CRITIQUES AVEC LES NAPPES UNIPARTICULAIRES FORMÉES DE GRAINES A TROIS AXES INÉGAUX

En I, la nappe rigoureusement continue est constituée par des grains flottant à plat; le petit axe a des grains est vertical; c'est le premier point critique. En II, on a comprimé latéralement la nappe, les grains se sont relevés sur tranche, l'axe moyen b étant vertical; c'est le deuxième point critique. En III, la compression augmentant, les grains finissent par se dresser sur pointes; c'est le troisième point critique. En IV, pour une compression plus forte encore, des grains s'échappent verticalement et retombent sur la nappe des grains flottantes. Cette expérience est l'image de ce qui se passe à une échelle beaucoup plus petite dans les couches monomoléculaires formées de molécules longues et plates pouvant prendre plusieurs orientations par rapport à la surface qu'elles recouvrent.

d'huile sur le mercure, où l'attraction réciproque des deux liquides joue un rôle capital.

Si le nombre des grains est insuffisant pour couvrir toute l'étendue disponible, la lame uniparticulaire obtenue reste discontinue. Comprimons-la latéralement au moyen de la barrière mobile; on voit les particules se rassembler en une lame homogène; puis vient un instant où toutes les grains sont jointives et où la moindre poussée supplémentaire les fait grimper les unes sur les autres. Nous avons affaire à la cohésion du voile, identique à celle qui se produit avec les lames moléculaires.

Pour faire apparaître un second point critique, il est nécessaire de s'adresser à des grains non plus sphériques mais en forme de galettes aplaties, telles que des lentilles. En

accentuant la compression, on voit les grains se redresser progressivement sur tranche suivant des bandes parallèles; toutes les grains finissent par se trouver dressées sur tranche, avant qu'une seule ait quitté la surface du mercure en s'échappant dans le sens vertical. En employant des grains à trois axes inégaux, telles que des gruaux d'avoine, on obtient trois points critiques, correspondant respectivement à la « mosaïque à plat », au redressement sur le côté et au redressement sur la pointe.

On conçoit que, si la quantité de grains présentes sur le mercure est toujours la même, les surfaces respectives de la lame uniparticulaire correspondant aux trois points critiques sont inversement proportionnelles aux trois « diamètres principaux », autrement dit à la

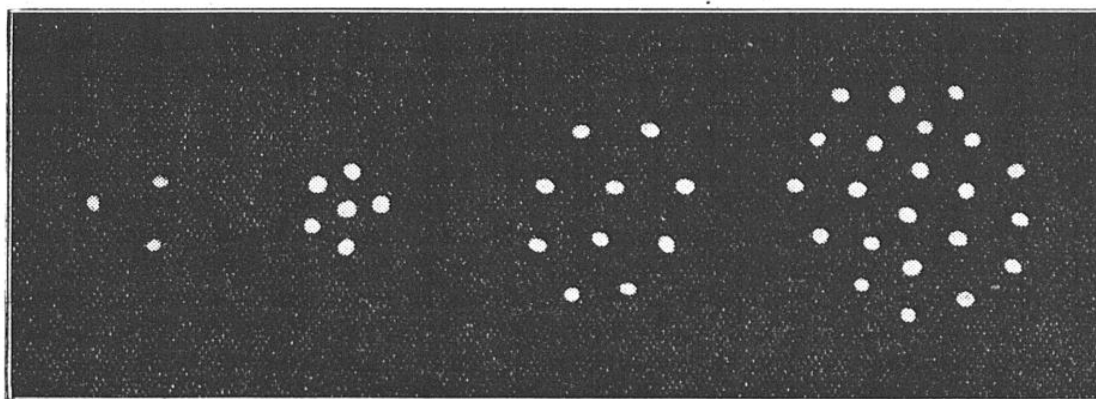


FIG. 4. — RÉPARTITION SPONTANÉE DE GRAINES FLOTTANT SUR LE MERCURE ET SOUMISES A UN CHAMP ÉLECTRIQUE VERTICAL

De gauche à droite : trois grains se disposent en triangle équilatéral; six grains se placent en pentagone avec une grain au centre; répartition de 10 grains; répartition de 22 grains.

longueur, à la largeur et à l'épaisseur de chaque graine.

Pour une *lame unimoléculaire*, d'huile par exemple, nous retrouvons également trois points critiques, révélés par une variation brusque de la tension superficielle. Celle-ci peut être mesurée de façon continue à l'aide d'un « tensiomètre à anneau arraché » de Lecomte de Noüy (1); on constate en traçant sur un papier quadrillé le diagramme continu de la tension superficielle en fonction de la surface, que ce diagramme présente trois crochets brusques, indiquant précisément les surfaces correspondant aux épaisseurs critiques. Si l'on admet que pour les molécules comme pour les graines, ces points critiques correspondent aux trois positions : « jointives, dressées sur tranche, dressées sur la pointe », on est en droit de leur appliquer la formule de proportionnalité inverse du diamètre à la surface.

On trouve ainsi que les trois diamètres de la *trioléine* sont dans les rapports $1 - 0,32 - 0,27$; pour l'huile de lin, on trouve $1 - 0,18 - 0,15$; il s'agit donc là de molécules plates et quasi-circulaires, analogues à des lentilles. Pour les molécules de l'huile de ricin, on trouve au contraire un rapport égal à 0,53 indiquant une molécule longue, d'épaisseur moitié de sa longueur. Or, l'épaisseur d'une lame unimoléculaire d'huile de ricin est précisément égale à la moitié seulement du diamètre théorique; l'anomalie s'explique si l'on admet que les molécules d'huile de ricin flottent à plat, comme des bâtons, dans les lames non comprimées, et se redressent par compression.

Jusqu'ici, la méthode ne nous a fourni que des rapports, à l'exclusion de toute dimension linéaire. Mais on sait que le volume d'une molécule se déduit de la formule d'Avogadro (2). Nous possédons donc une méthode complète pour déterminer en valeur absolue les trois diamètres des molécules d'une huile, par exemple.

Un volume d'huile connu étant déposé sur l'eau ou le mercure par évaporation d'une goutte de solution dans la benzène, on rétrécit tout d'abord la surface jusqu'au premier point critique; celui-ci pourra être mis en évidence, sans extensomètre, par la disparition de la mobilité de grains de talc flottants, qui cesseront brusquement de se déplacer sous l'action du souffle. Mesurant la surface à ce moment, le petit diamètre a des molécules sera le quotient du volume par cette surface.

(1) Voir : « La tension superficielle et le fonctionnement cellulaire » (*Science et Vie*, n° 212, février 1935).

(2) $V = \frac{M}{DK}$, où M est le poids moléculaire, D la densité et K la « constante d'Avogadro ».

Poussons ensuite la barrière mobile jusqu'au second point critique, manifesté par l'apparition des premiers globules d'huile. Le diamètre moyen sera obtenu comme précédemment en mesurant la surface. Quant au troisième diamètre, il sera donné par le quotient du volume par le produit des deux premiers diamètres.

Appliquée à deux huiles, cette méthode a fourni les résultats suivants, en angströms (dix-millionièmes de mm) : huile de ricin, $a = 5$, $b = 7,5$, $c = 43,5$; huile d'olive, $a = 11$, $b = 14,3$, $c = 10,5$. On voit que si la molécule d'huile d'olive rappelle la forme d'une olive,

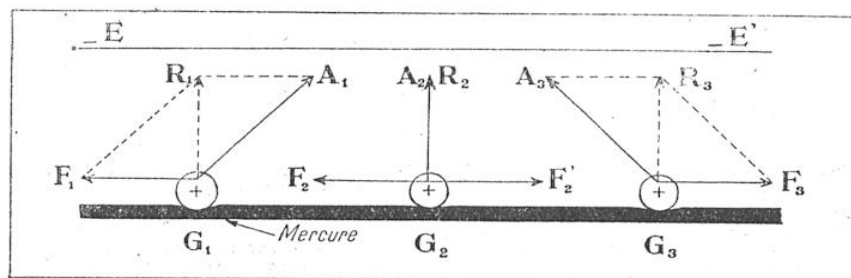


FIG. 5. — L'ÉQUILIBRE DES FORCES D'ATTRACTION ET DE RÉPULSION DANS UNE COLLECTION DE GRAINES FLOTTANTES SOUMISES A UN CHAMP ÉLECTRIQUE VERTICAL

La graine G_1 , par exemple, est soumise à une force attractive A_1 dirigée vers la région centrale de l'écran EE' , sa partie supérieure se trouvant électrisée positivement par « influence » électrostatique. Elle est en outre repoussée (force F_1) par sa voisine G_2 , électrisée de même signe; l'écartement des graines (supposées seules en présence) variera jusqu'à ce que la résultante R des forces F_1 et A_1 soit verticale. S'il y a une graine centrale comme ci-dessus, elle se trouve en équilibre sous l'action des deux forces de répulsion F_2 et F_2' qui s'opposent. Si l'on a un grand nombre de graines, chacune est soumise, en plus de la force attractive du centre de la plaque, à l'action d'un nombre de forces égal à celui des graines en présence, moins une. C'est le cas de la figure 6.

celle d'huile de ricin est très longue. Et ceci éclaire certaines particularités du graissage des moteurs par cette huile : formation des films épais, doués d'une adhérence énergique, bonne étanchéité, mais accroissement des jeux.

Les applications pratiques de la « mouillabilité »

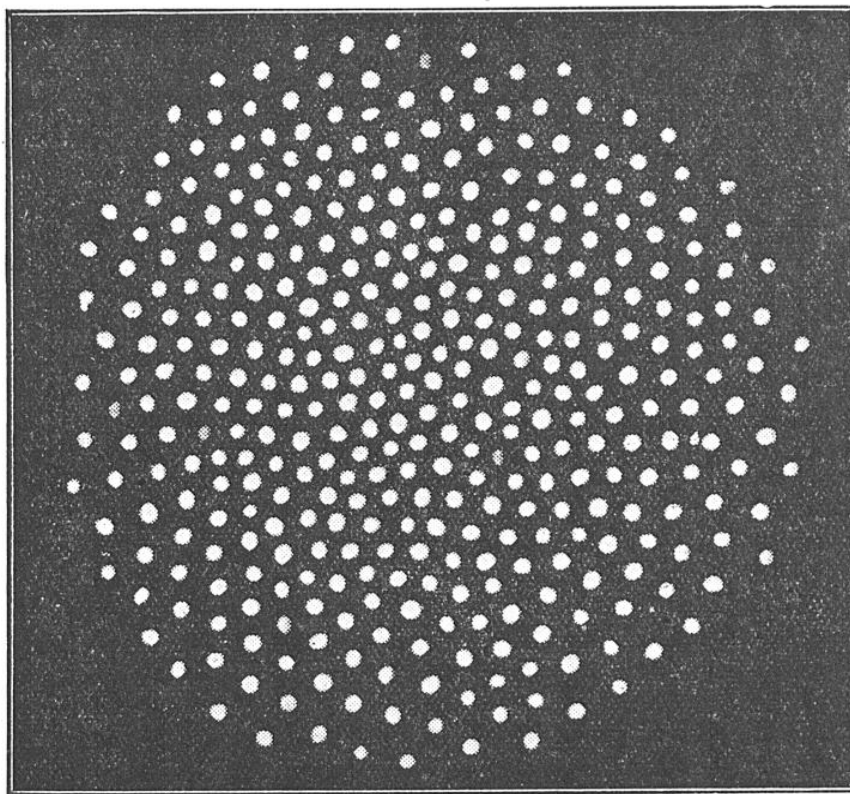
Dans l'industrie des peintures et vernis; les couches utilisées sont épaisses et comportent plusieurs milliers d'assises moléculaires. M. Devaux a montré que, si l'on pouvait obtenir une « structure feuilletée alternante », les lames unimoléculaires successives adhérant par leurs polarités moléculaires inverses, la qualité et l'imperméabilité du revêtement seraient extrêmement améliorées. Trillat en France, Langmuir aux États-Unis, ont pu obtenir au laboratoire de telles structures, qui demeurent encore malheureusement irréalisables dans la pratique courante.

La mouillabilité et la non-mouillabilité des surfaces ont reçu de nombreuses applications. Les amateurs de camping savent qu'une toile de tente, mouillée par la pluie sur sa face externe, fuira si l'on appuie fortement le doigt sur la face interne, ce qui a pour effet de distendre le tissu; dans un tamis très fin, on peut filtrer l'essence humide : l'eau reste sur le tamis. On peut porter de l'eau dans un panier métallique à mailles serrées et convenablement huilées; le liquide ne pouvant venir au contact des fils métalliques, protégés par

l'huile, sa tension superficielle l'empêche de s'écouler.

Dans les mines de diamants, on utilise la propriété du diamant d'être plus facilement « mouillé » par la graisse que par l'eau. La « terre bleue », contenant le diamant, est mélangée avec de l'eau et envoyée sur des tables à secousses enduites de graisse. Les diamants adhèrent à la graisse, tandis que les gangues

mes unimoléculaires permet précisément d'étudier. D'autres éléments interviennent, notamment les phénomènes capillaires, les fibres textiles, par exemple, fonctionnant comme autant de tubes microscopiques qui favorisent la pénétration des liquides. Une trace de matière grasse suffit en revanche à détruire la mouillabilité; l'agent mouillant doit donc posséder des propriétés émulsifiantes ou dissolvantes.



T W 25090

FIG. 6. — UNE GRANDE NAPPE UNIPARTICULAIRE, MONTRANT LA RÉPARTITION REMARQUABLE DES GRAINES FLOTTANTES SOUS L'ACTION D'UN CHAMP VERTICAL.

L'écartement des grains est plus fort sur les bords, par suite de la prédominance des actions répulsives sur l'attraction du centre de la plaque.

siliceuses sont entraînées. La concentration des minerais par flottation est une application des mouillabilités différentes de la gangue et du sulfure minéral que l'on désire séparer. Pour la lubrification des machines, Ubbelohde a montré qu'il est nécessaire que l'huile mouille le métal, en sorte que le meilleur lubrifiant est celui pour lequel la tension superficielle métal-huile est la plus faible. L'addition d'un acide gras à une huile minérale permet précisément d'obtenir ce résultat, une addition de 1 % suffisant parfois pour diminuer le coefficient de frottement de 30 %.

L'industrie chimique prépare aujourd'hui des produits mouillants, utilisés dans l'industrie textile, la fabrication des liquides insecticides, l'industrie des peintures, etc. Une première condition est qu'il existe une attraction entre le produit et le corps qu'il s'agit de mouiller : nous sommes ramenés à la notion de tension superficielle interfaciale, que l'examen en la-

Action d'un champ électrique sur les lames uniparticulaires

Les particules que nous venons d'examiner, aussi bien les « macroparticules » que les molécules, étaient libres de se mouvoir à la surface du liquide sous l'effet de leurs attractions et de leurs répulsions propres. Dans une récente communication à l'Académie des Sciences, M. Henri Devaux a signalé les curieuses figures d'équilibre fournies par des particules flottantes soumises à un champ électrique vertical, donc normal à la surface.

Ce champ est réalisé très simplement en présentant, au-dessus d'une lame de mercure parsemée de grains, une feuille de papier électrisée par dessiccation et frottement; pour opérer sur de larges surfaces, on peut utiliser une lame métallique horizontale reliée à l'un des pôles d'une machine de Wimshurst, dont

l'autre pôle est mis à la terre.

Sous l'effet du champ, on voit les particules, précédemment agrégées en radeaux isolés par la capillarité, se séparer et se disposer rapidement en figures régulières. Trois particules se placent en triangle équilatéral, six particules se placent en pentagone avec une particule au centre, et ainsi de suite. La régularité est remarquable avec les grandes nappes.

De cette texture très particulière des nappes macroparticulaires, on peut dans une certaine mesure conclure à l'« architecture fine » de la matière, représentée par l'édifice des molécules. Étendue à l'espace à trois dimensions, la répartition géométrique à deux dimensions des particules flottantes nous expliquera peut-être la disposition merveilleusement symétrique que les rayons X nous révèlent dans l'architecture moléculaire des cristaux.

Pierre DEVAUX.

COMMENT SE SERAIT MODELÉE LA FACE DE LA TERRE PAR LA DÉRIVE DES CONTINENTS

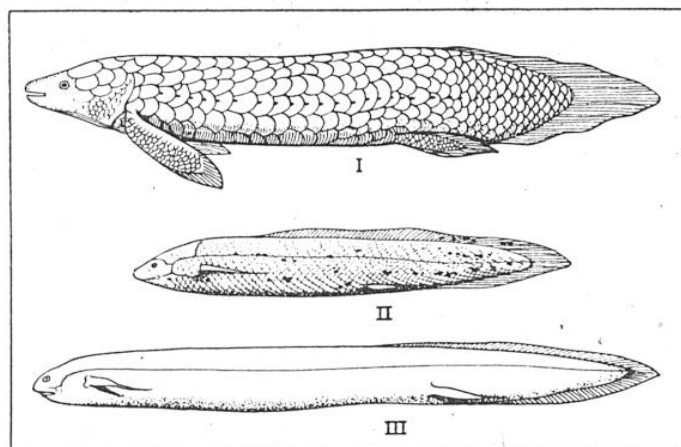
par A. VANDEL

Professeur à la Faculté des Sciences de Toulouse

L'histoire du globe terrestre s'étend sur deux ou trois milliards d'années. Seule la période des temps historiques (trois ou quatre mille ans) nous est connue avec quelque certitude; sur les temps géologiques (quatre cent millions d'années environ depuis l'ère primaire), nos connaissances ne sont que fragmentaires et pour une grande part hypothétiques; au delà, il n'y a plus que de pures suppositions. L'origine des continents et des monts, des océans et des abysses, a constitué de tout temps, au même titre que l'origine des mondes et celle de la vie, un mystère passionnant que l'humanité resta impuissante à élucider et qui servit seulement de thème à des fables dénuées de tout fondement scientifique. Les progrès de la physique du globe et l'interprétation de la documentation fournie par l'étude des fossiles (paléontologie) ont permis aujourd'hui d'esquisser une théorie d'ensemble de l'évolution de la croûte terrestre depuis une époque très reculée. La « dérive » des continents, telle que l'imagine Wegener, part d'un continent unique qui se serait disloqué et dont les fragments, roches légères flottant sur des roches plus denses et relativement fluides, seraient partis à la dérive sur le globe et formeraient les continents dont la forme nous est familière. Cette audacieuse conception, encore fort controversée, groupe en sa faveur des présomptions nombreuses. C'est elle seule qui jette, en particulier, quelque lumière sur l'énigme biologique de la migration des anguilles et qui retrace d'une manière satisfaisante le mécanisme de l'origine des peuplements actuels et justifie les anomalies de la répartition géographique des espèces de la faune et de la flore, vivantes et fossiles.

La face de la terre

L'INERTIE exerce son emprise sur l'esprit comme sur la matière. Nos connaissances paraissent, sur certains points, si stables et définitives, qu'il semble insensé de les vouloir mettre en doute. Il faut toute la puissance du génie pour ruiner des édifices si profondément



enracinés par l'usage qu'en ont fait tant de générations. Lorsque la construction s'est écroulée, l'esprit reste confondu d'être resté si longtemps attaché à des conceptions qui lui apparaissent soudain si pauvres et si incohérentes, au regard de la théorie nouvelle qui séduit par son éclatante fraîcheur et sa lumineuse simplicité. De tels renouvellements

FIG. 1. — LES DIPNEUSTES ACTUELS, CURIEUX SURVIVANTS D'UN ORDRE DE POISSONS TRÈS RÉPANDUS À LA FIN DE L'ÈRE PRIMAIRE

Les Dipneustes actuels sont : *Neoceratodus* (I) qui vit en Australie dans des eaux peu aérées et qui s'abaisse en saison sèche sans pourtant disparaître entièrement. *Protopterus* (II) qui vit dans des marais d'Afrique, et *Lepidosiren* (III) qui vit dans les marais et les arroyos d'Amérique du Sud. Ces deux derniers genres ont un mode de vie qui varie énormément suivant les saisons. Pendant la saison des pluies, ils vivent comme des poissons ordinaires, emmagasinant dans leurs tissus des réserves nutritives; puis, pendant la période sèche, ils se retirent dans un terrier creusé dans l'argile et où règne une certaine humidité. Vivant au ralenti, ils respirent par leur vessie natatoire qui joue le rôle de poumon.

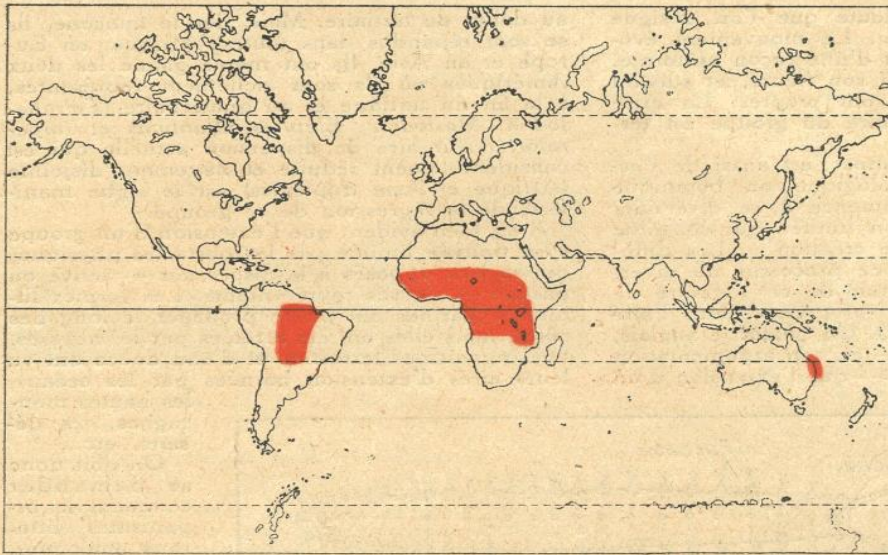


FIG. 2. — LA RÉPARTITION DES DIPNEUSTES ACTUELS A LA SURFACE DU GLOBE

Les trois genres : *Lepidosiren* d'Amérique du Sud, *Protopterus* d'Afrique et *Ceratodus* d'Australie appartiennent à un même ordre et ont une origine commune. On doit donc admettre que les régions qu'ils habitent ont été réunies à une période lointaine des temps géologiques (d'après l'Encyclopédie française).

représentent l'aspect passionnant du mouvement scientifique. Ils sont le bouillonnement fécond d'où surgissent, innombrables, les motifs de recherches de la génération montante.

S'il est une notion familière que chacun de nous conserve, en sa mémoire, depuis l'enfance, c'est bien l'image de notre globe, des cinq continents, des chaînes de montagnes qui les sillonnent, des océans qui les séparent. Rien d'étonnant à ce que cette image nous ait paru si définitive que d'instinct, nous l'ayons conservée pour rendre compte de l'aspect de la terre, aux époques passées. Car, l'esprit humain se complait dans les stabilités et répugne aux changements. La face de la terre, telle qu'elle nous apparaît aujourd'hui n'est cependant que l'expression fugitive et momentanée d'un dispositif essentiellement changeant.

Les conceptions qui rendent compte de la face de la terre et de sa genèse se sont fondamentalement modifiées, en ces dernières années. Les bases mêmes de la géographie, de la géologie et de la physique du globe s'en

gements subis par la face de la terre au cours des époques passées.

En voici la raison. Les organismes animaux et végétaux ont subi de profondes transformations au cours des périodes géologiques. Les formes simples, apparues en premier lieu, ont été progressivement remplacées par des organismes plus complexes. C'est ce fait que l'on

sont trouvées ébranlées. C'est l'exposé de ces nouvelles conceptions qui fait l'objet des pages qui vont suivre.

La genèse des flores et des faunes

Le lecteur peut trouver singulier qu'un biologiste entreprenne d'exposer des conceptions qui semblent complètement étrangères à son domaine et qui ressortissent essentiellement de la physique du globe. Cette entreprise est cependant parfaitement légitime. Elle trouve sa justification immédiate dans le fait que ce sont des exigences biologiques qui se trouvent précisément à l'origine de toutes les théories qui se sont efforcées de rendre compte des chan-

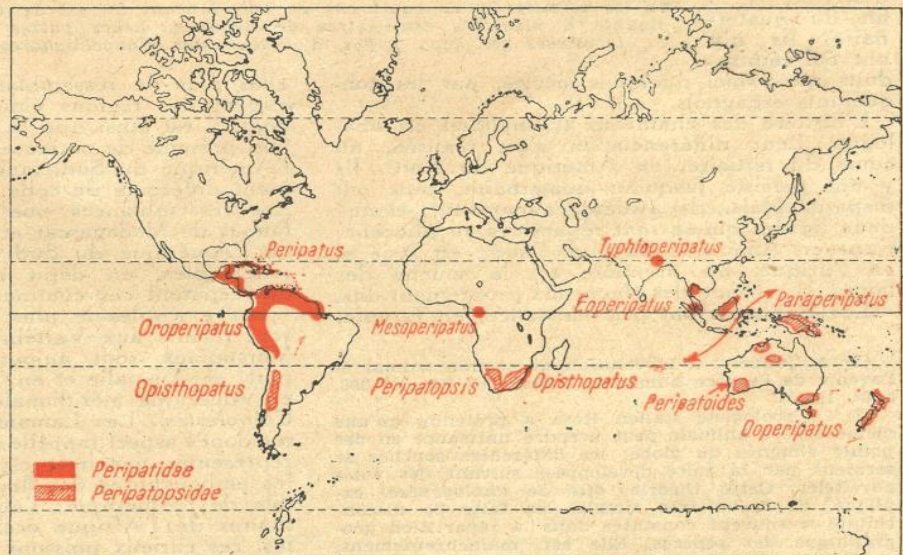


FIG. 3. — LES ZONES DE PEUPLEMENT DES PÉRIPATES

La classe des Péripates se divise en deux rameaux dont l'un est équatorial et l'autre purement austral, et que l'on retrouve à la fois en Amérique, en Afrique, en Australie et dans l'Insulinde (d'après l'Encyclopédie française).

ne saurait mettre en doute que l'on désigne sous le nom d'évolution. Le mouvement évolutif ne se déroule point d'une façon uniforme. Chaque groupe évolue à son heure, et suivant des modalités qui lui sont propres. La crise évolutive achevée, l'histoire du groupe est terminée (1).

Ce qui est vrai du temps l'est aussi de l'espace. Tout groupe zoologique ou botanique prend naissance et commence à se diversifier à l'intérieur d'une région limitée qui constitue un véritable « centre de création ». Les différentes lignées, nées de ce processus de diversification, s'irradient autour de ce « centre de création », en étendant progressivement l'aire d'extension du groupe (2). Un botaniste anglais, J. C. Willis, a soutenu — et, son argumentation paraît solidement établie — que l'extension d'un groupe est d'autant plus grande que sa date d'apparition est plus ancienne.

C'est ainsi que l'évolution des chevaux (*Equidae*) s'est déroulée entièrement, en Amérique du Nord, au cours de l'époque tertiaire. De là, ils ont émigré, à plusieurs reprises, vers l'Amérique du Sud, l'Eurasie et l'Afrique. Fait curieux et inexplicable, les chevaux ont disparu d'Amérique, leur patrie d'origine, à la fin du quaternaire. Ils n'y ont été réintroduits que, voici quelques siècles, par les conquérants espagnols.

L'histoire des chameaux (*Camelidae*) est analogue. Leur différenciation s'est réalisée, au cours du tertiaire, en Amérique du Nord. Ils y ont persisté jusqu'au quaternaire, puis ont disparu. Mais, ils avaient, auparavant, donné deux lignées qui se sont répandues au pliocène, l'une en Amérique du Sud, l'autre en Asie et en Afrique. La première est la souche des lamas, la seconde des chameaux proprement dits.

Les éléphants ont pris naissance, en Egypte,

(1) A Vandel : « L'évolution du monde animal et l'avenir de l'espèce humaine (*Science et Vie*, n° 300, août 1942).

(2) Le zoologiste italien Rosa a prétendu qu'une même espèce animale peut prendre naissance en des points éloignés du globe; les différentes souches se seraient par la suite développées suivant des voies parallèles. Cette théorie, dite de l'*hologénèse*, explique, de façon très simple, les faits de discontinuité si souvent constatés dans la répartition géographique des espèces. Elle est, malheureusement, contredite par toutes les données paléontologiques. L'histoire d'un groupe prouve que celui-ci est apparu dans une région déterminée, puis s'est irradié dans les territoires avoisinants. Les espèces en voie de régression ne subsistent que dans quelques parties de leur aire de répartition primitive. C'est ce qui explique les cas de discontinuités géographiques.

au début du tertiaire. Mais, dès le miocène, ils se sont répandus dans toute l'Afrique, en Europe et en Asie. Ils ont même gagné les deux Amériques où ils sont richement représentés, à la fin du tertiaire et au quaternaire (*Tetrabelodon*, *Mastodon*; *Elephas atlanticus* et *imperator*). Leur aire de dispersion actuelle qui est considérablement réduite et nettement disjointe (Afrique et Asie tropicales) est le signe manifeste de la régression de ce groupe.

Il est bien évident que l'extension d'un groupe s'est trouvée limitée par les obstacles physiques qui se sont opposés à la dispersion — active ou passive — de ses représentants. Les formes littorales marines ont pu se propager le long des côtes, mais elles ont été arrêtées par les abysses. Les organismes terrestres et d'eau douce ont vu leurs aires d'extension bornées par les océans, les hautes montagnes, les déserts, etc...

On doit donc se demander comment des organismes littoraux analogues, parfois identiques, peuplent les rives opposées des océans; comment des organismes terrestres ont pu émigrer d'un continent vers un autre. Mais, il y a mieux. Depuis longtemps, zoologistes et botanistes ont été frappés par le fait paradoxal que la faune et la flore de continents différents offrent souvent entre

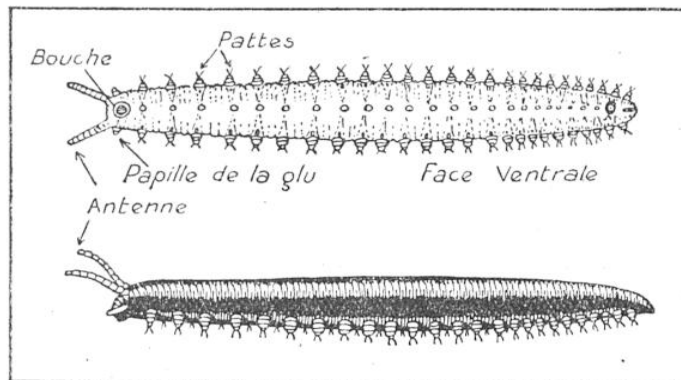


FIG. 4. — UN PÉRIPATE OU ONYCHOPHORE

Les péripates sont des animaux terrestres, longs de 5 à 6 cm, habitant les terres australes et rappelant certaines chenilles. Ils sont fort anciens et ont pu être qualifiés de « fossiles vivants ». Ils vivent dans des endroits humides, chassant les arthropodes ou les termites qu'ils capturent en leur lançant un jet de salive gluante à plusieurs centimètres de distance. Leurs pattes sont terminées par deux griffes, d'où leur nom d'onychophores.

elles plus de ressemblance que celles qui occupent des régions éloignées du même continent. C'est ainsi que la faune de l'Afrique du Sud présente de curieuses affinités avec celle de l'Amérique du Sud, tandis qu'elle est radicalement différente de celle de l'Afrique du Nord. Les ressemblances que l'on décèle entre les faunes de Madagascar et de l'Inde, entre celles de l'Amérique du Sud et de l'Australie, sont indéniables, en dépit des énormes distances qui séparent ces continents les uns des autres.

Les exemples le plus fréquemment invoqués sont relatifs aux Vertébrés. C'est ainsi que les Marsupiaux sont aujourd'hui localisés, d'une part, en Australie et en Tasmanie, d'autre part, en Amérique méridionale et centrale (*Sarigues*, *Cœnolestes*). Les Lamantins, puissants herbivores dont l'aspect rappelle celui des phoques, sont représentés par trois espèces : deux peuplent les embouchures des fleuves, sur la côte orientale de l'Amérique; l'autre est propre aux estuaires de l'Afrique occidentale. Les Dipneustes, ces curieux poissons amphibies, renferment trois genres actuels : le genre *Ceratodus*, localisé en Australie, dans quelques rivières du Queensland; le genre *Protopterus*, avec trois espèces qui peuplent l'Afrique tropicale; et le genre *Lepidosiren*, propre au bassin de l'Amazone (fig. 1 et 2).

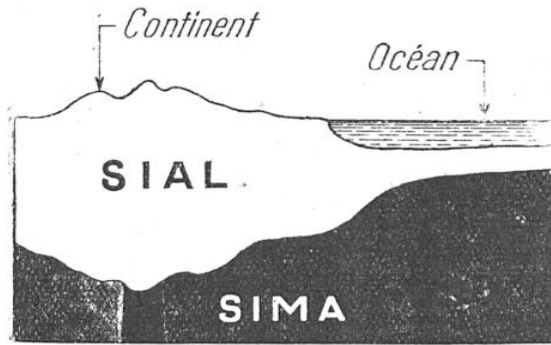


FIG. 5. — SCHÉMA DE L'« ISOSTASIE », D'APRÈS AIRY

Les continents seraient formés de matériaux moins denses (sial) qui flotteraient à la manière d'icebergs sur les matériaux plus denses (sima) de la profondeur de l'écorce terrestre. A chaque partie de sial qui émerge du sima correspondrait une partie qui s'y enfonce, de telle sorte que la masse totale de la croûte terrestre soit égale en tous ses points : ce qui confirme le fait que la pesanteur ne change pas sensiblement d'intensité entre les continents et les océans.

Ces exemples classiques et fréquemment cités ne sont pas, à vrai dire, excellents. Ils sont tous empruntés à des groupes anciens, aujourd'hui en pleine régression. Leur histoire paléontologique prouve que leur répartition fut, aux époques géologiques antérieures, beaucoup plus étendue qu'elle ne l'est maintenant. Les aires limitées qu'ils occupent, à l'heure actuelle, ne constituent que les ultimes refuges de formes en voie de disparition. Nous savons que les Marsupiaux ont occupé, au tertiaire, à peu près la totalité du globe. Les ancêtres des Lamantins actuels ont été découverts en Égypte et en Europe. Les Dipneustes constituent un groupe de poissons qui fut abondamment représenté et largement répandu à la fin des temps primaires. Au secondaire, le genre *Ceratodus* est encore à peu près cosmopolite.

Des exemples bien plus démonstratifs sont fournis par les Invertébrés. En effet, si les moyens de dispersion particulièrement puissants de certains organismes, tels que les plantes à graines ou les oiseaux, permettent à la rigueur de rendre compte de leur passage d'un continent à un autre, ces migrations deviennent tout à fait invraisemblables, lorsqu'il s'agit d'organismes auxquels les possibilités de transport sur de longues distances font totalement défaut, tels que les vers de terre, les escargots ou les cloportes. C'est la raison pour laquelle les zoologistes ont examiné avec une attention toute particulière la distribution de ces organismes.

Les vers de terre du genre *Micrcolex* peuplent l'Amérique du Sud, l'Australie et la Nouvelle-Zélande, l'Afrique du Sud et Madagascar, ainsi que les petites îles perdues dans les mers du Sud :

Macquarie, Campbell, Crozet et Kerguelen. Le genre *Megasclex* ne se rencontre que dans l'Inde et en Australie. Le transport passif des vers de terre au travers d'immenses espaces océaniques apparaît absolument invraisemblable.

L'escargot des jardins (*Helix hortensis*) se rencontre en Europe occidentale, en Islande, au Groenland, à Terre-Neuve, au Labrador et dans l'est des États-Unis. Les Mollusques terrestres de la famille des *Acaudæ* se répartissent en quatre sous-familles qui peuplent respectivement, la première l'Amérique du Sud, la seconde l'Afrique australe, la troisième Madagascar, les Seychelles et Ceylan, la quatrième l'Australie, la Tasmanie et les Philippines.

Les Péripates (fig. 4), être vermiformes que l'on place à la souche des Articulés et qui constituent le type des animaux à faible pouvoir de dissémination, se rencontrent dans toutes les terres australes, ainsi que le montre la carte ci-jointe (fig. 3). Par contre, ils ne dépassent pas, vers le nord, le tropique du Cancer.

Un tout petit cloporte, *Styloniscus magellanicus*, a été récolté en Patagonie, à la Terre de Feu, en Australie, ainsi que dans les îles Falkland, Crozet, Possession, Auckland et Campbell.

Les ponts continentaux

Les exemples précédents pourraient être multipliés. Les analogies que nous avons signalées ne sont pas l'apanage des flores et des faunes actuelles. Les paléontologistes ont établi que des ressemblances de même ordre ont existé à toutes les époques géologiques.

Tant que la stabilité des continents et des océans a été un dogme que nul ne songeait à mettre en doute, une seule explication paraissait susceptible de rendre compte de ces analogies fauniques et floristiques. Elle consistait à jeter des « ponts continentaux » entre les différents

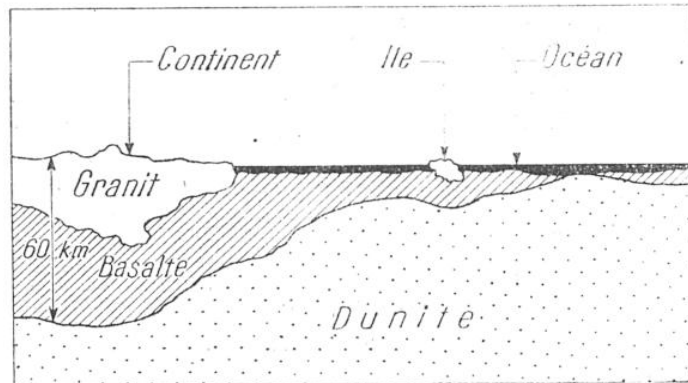


FIG. 6. — COUPE DE L'ÉCORCE TERRESTRE À TRAVERS UN SOCLE CONTINENTAL (À GAUCHE) ET UN FOND OcéANIQUE (À DROITE), D'APRÈS WEGENER

Wegener admet que l'écorce terrestre est constituée par une superposition de matériaux de densité croissante à mesure que l'on s'enfonce vers le centre de la terre. Les socles continentaux seraient principalement constitués par du granit jusqu'à 30 km de profondeur. Ce granit reposerait sur une couche de basalte et enfin le basalte reposerait à son tour sur une roche ultrabasique appelée dunite. Au contraire, le fond des océans n'est constitué que de basalte qui, dans le cas de vastes étendues, comme l'océan Pacifique, ne recouvrirait pas entièrement le fond de dunite. Ce schéma est d'ailleurs encore entièrement hypothétique.

compartiments de l'écorce terrestre. Zoologistes, botanistes, paléontologistes ont usé et abusé de cette explication; ce n'était pour eux qu'un jeu de lancer d'immenses ponts au travers des océans, lorsque la répartition des formes animales et végétales l'exigeait, quitte à les englober, au fond des eaux, à l'époque suivante, dès que leur rôle de voie de passage était terminé. C'est ainsi que l'Europe et l'Amérique du Nord auraient été reliées par une série de ponts surgissant puis s'affaissant à plusieurs reprises au cours des époques géologiques.

Il faut reconnaître qu'une telle explication est loin d'être satisfaisante, même du seul point de vue biologique. Il ne suffit point de relier deux continents pour que leurs faunes ou leurs flores soient identiques. La dispersion des êtres vivants ne se produit qu'avec une extrême lenteur. L'uniformité des faunes et des flores de deux continents réunis par un pont continental ne pourrait être atteinte qu'au cours de durées immenses. Qu'il suffise de le souligner par quelques exemples. Nous avons dit que la faune et la flore de l'Afrique septentrionale diffèrent en tous points de celles de l'Afrique du Sud. Les éléments communs aux deux Amériques sont peu nombreux, en dépit de leur jonction par un « pont continental » typique. Bien mieux, malgré la grande stabilité du socle asiatique, les faunes et les flores de l'Asie Mineure ne présentent aucune parenté avec celles de l'Extrême-Orient.

La théorie des ponts continentaux apparaît, d'autre part, absolument invraisemblable au regard des données de la physique du globe. L'existence de ponts continentaux, ou encore celles d'immenses continents, tels que le continent de Gondwana qui aurait englobé, au

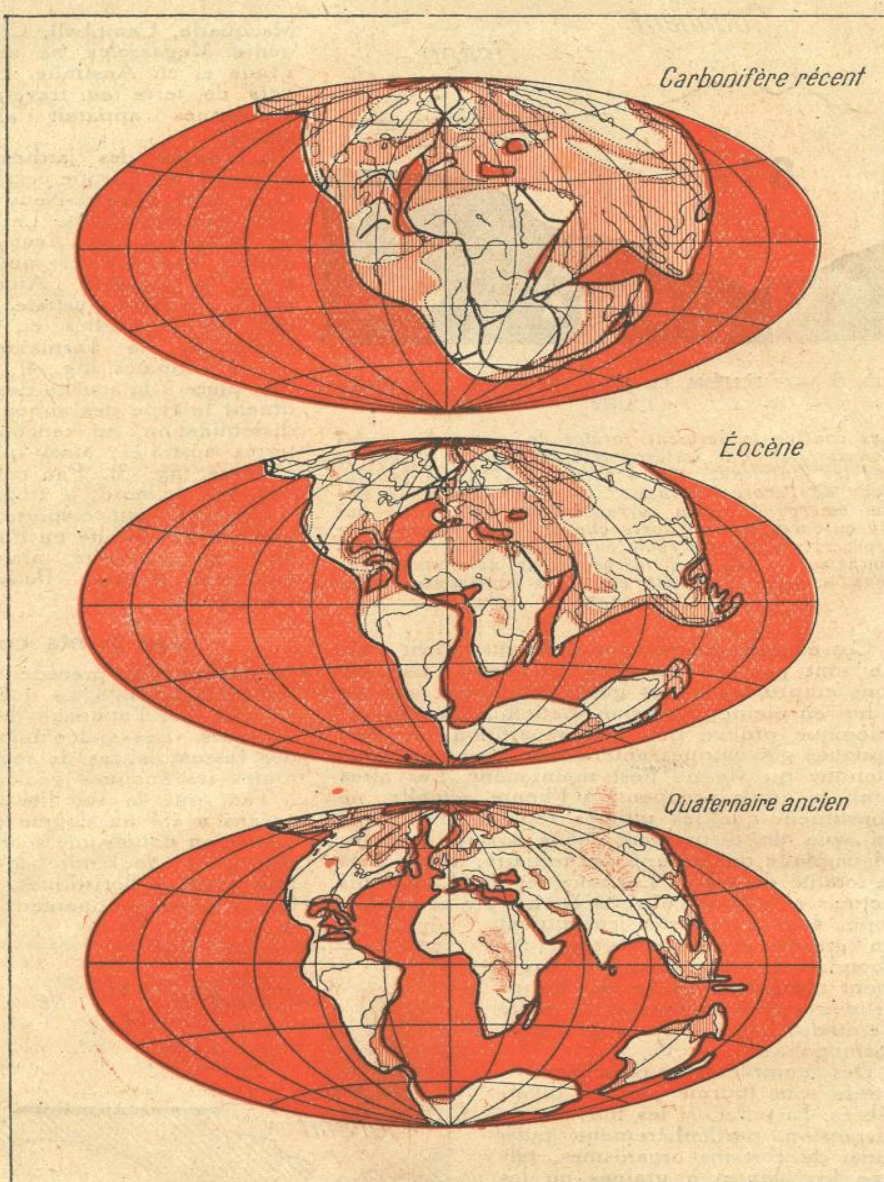
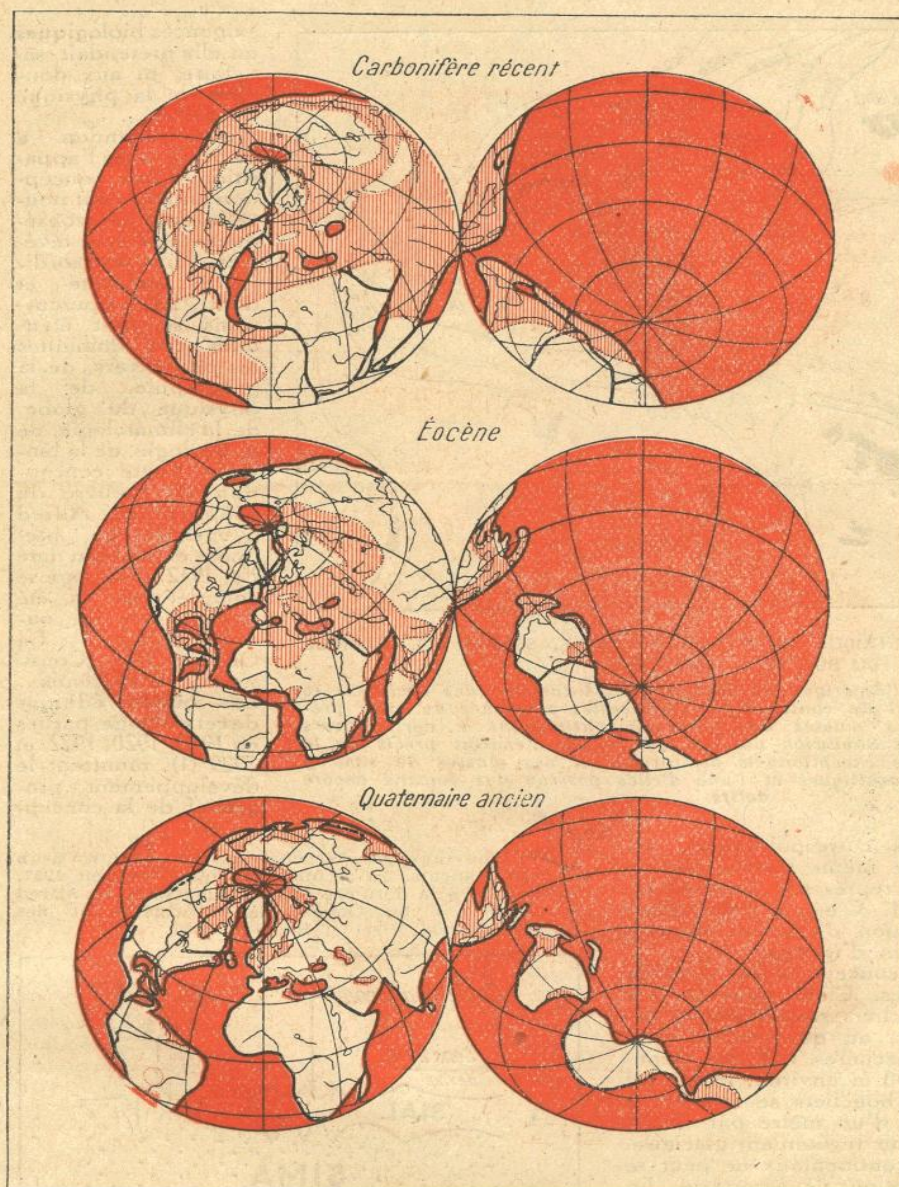


FIG. 7. — RECONSTITUTION DU GLOBE A TROIS ÉPOQUES

Les océans ont été figurés en rouge plein. Une partie des continents était cependant recouverte par des mers peu profondes, telles aujourd'hui la Manche ou la mer du Nord, sous lesquelles se prolonge le socle continental; ces mers « épi-continetales » ont été recouvertes de hachures rouges. Les socles continentaux sont entourés d'un trait noir épais. Le contour actuel et le tracé des fleuves sont indiqués seulement comme points de repère, et le réseau des méridiens et des parallèles est arbitraire, la position de l'Afrique étant la position actuelle.

Carbonifère, l'Amérique du Sud, la majeure partie de l'Afrique, l'Inde, l'Australie et l'Antarctide, posent des conditions d'équilibre manifestement inadmissibles. L'affaissement sous les eaux de ces immenses territoires aurait eu, en effet, pour conséquence certaine, d'élever la surface des océans à un tel niveau que toutes les terres eussent été submergées, et par suite toutes les flores et les faunes terrestres détruites.

Les surrections et affaissements d'immenses



GÉOLOGIQUES DIFFÉRENTES SUIVANT LA THÉORIE DE WEGENER

On voit que, tandis que l'océan Pacifique est un océan « primitif », l'Atlantique et l'océan Indien sont de formation récente, due à la dislocation du continent primitif. Cette conception justifie la similitude des faunes de l'Amérique du Sud, de l'Afrique, de Madagascar, de l'Inde et de l'Australie. Les terres émergées du pôle sud subissent de nos jours une glaciation qui, lorsqu'elle prendra fin par le déplacement du continent austral, aura complètement renouvelé la faune et la flore de ces régions.

compartiments de l'écorce terrestre paraissent, d'autre part, absolument incompatibles avec les conceptions modernes relatives à la structure du globe connues sous le nom d'*isostasie*. L'analyse des mesures d'intensité de la pesanteur a conduit les géophysiciens à reconnaître une différence fondamentale, quant à leur nature, entre les socles continentaux et les océans. Les socles continentaux sont constitués par des matériaux légers, tandis que les fonds océani-

ques sont formés d'éléments lourds (fig. 5). L'étude des vitesses de propagation des ondes sismiques conduit à des résultats analogues.

Le grand géologue autrichien E. Suess, a donné le nom de *sial* à l'ensemble des substances relativement légères qui constituent l'écorce terrestre. Le nom de *sial* rappelle les deux éléments essentiels qui entrent dans sa composition : la silice et l'aluminium. Le granit et le gneiss sont les roches les plus représentatives et les plus fréquentes de l'écorce terrestre. Le *sial* repose sur une couche profonde, le *sima*, constitué essentiellement de silice et de magnésium. La roche la plus représentative de cette couche est le basalte. Le *sima* serait représenté en profondeur par une substance encore plus lourde et plus basique : la dunite. Les socles continentaux sont essentiellement formés de *sial*, le fond des océans de *sima* (fig. 5).

Le *sima* possède une rigidité qui rappelle celle de l'acier; elle n'exclut néanmoins pas une certaine élasticité, et même une viscosité qui, à vrai dire, doit être extraordinairement forte et difficile à apprécier dans l'état actuel de nos connaissances. L'aplatissement de la terre aux pôles en suite de sa rotation autour de son axe, fournit d'ailleurs la preuve certaine de la viscosité du globe terrestre.

Le *sial* repose donc sur le *sima*, au niveau des socles continentaux. La différence de densité de ces deux substances implique le jeu de relations exprimées par le principe d'Archimède. Il est d'ailleurs bien entendu que les états d'équilibre ne sont atteints qu'avec une extrême lenteur en raison du coefficient de viscosité extraordinairement élevé du *sima*. Les régions les plus élevées de l'écorce terrestre, c'est-à-dire les montagnes, doivent avoir comme

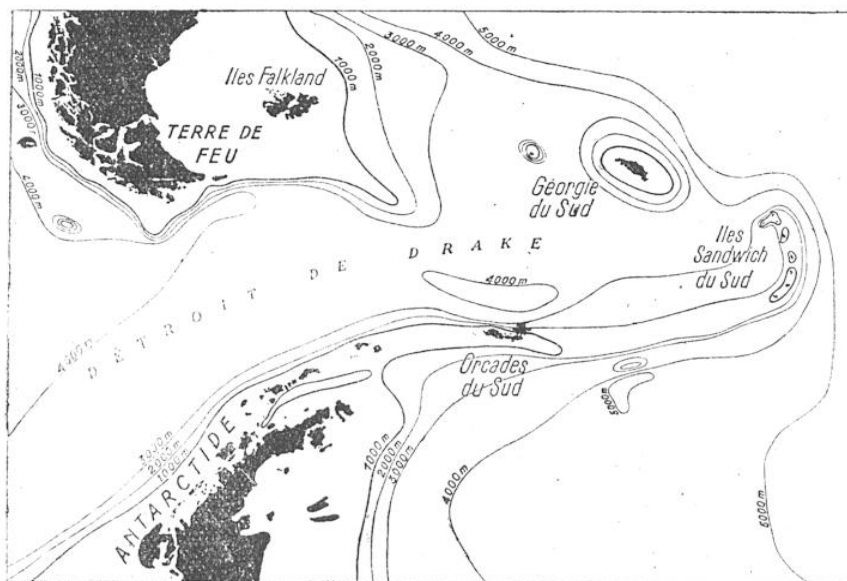


FIG. 8. — CARTE BATHYMETRIQUE DU DÉTROIT DE DRAKE, SÉPARANT L'AMÉRIQUE DU SUD DE L'ANTARCTIDE

Lors de la séparation de l'Amérique du Sud et de l'Antarctide des archipels se sont séparés successivement du continent et sont restés accrochés au sima profond, tandis que les deux masses continentales continuaient à dériver vers l'ouest. Le groupe des îles Sandwich du Sud qui occupe l'endroit précis de la rupture a subi des efforts exceptionnels de torsion et des masses de sima y surgirent. Ces îles sont basaltiques et l'une d'elles possède des volcans encore actifs.

contrepois, des masses correspondantes, enfoncées dans le sima, de même que la portion émergée d'un navire ne représente qu'une partie de la coque (fig. 5). C'est à cette interprétation de la composition du globe terrestre que l'on a donné le nom d'isostasie.

L'exactitude de cette conception est prouvée par des mesures directes. C'est ainsi qu'il a été établi que les boucliers scandinave et canadien se sont enfoncés, au quaternaire, sous le poids des calottes glaciaires qui les recouvraient, le premier de 250 m environ, le second de près de 500 m. Ces boucliers se relèvent à l'heure actuelle, environ d'un mètre par siècle, en suite de la fonte de leur revêtement glaciaire.

La théorie des ponts continentaux ne peut se concilier avec la conception de l'isostasie. La surrection ou l'affaissement d'immenses compartiments de l'écorce terrestre impliquent la mise en jeu de charges ou de décharges d'une valeur immense dont l'origine paraît absolument incompréhensible.

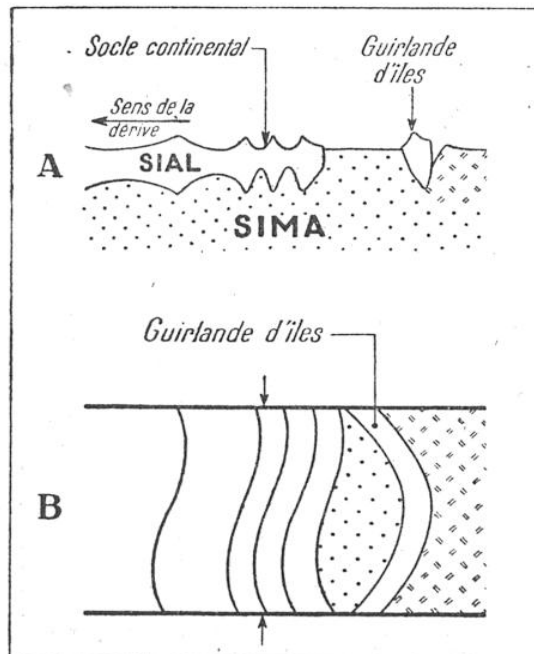
La théorie de Wegener

La théorie des ponts continentaux ne saurait donc être conservée. Elle ne répond ni aux

FIG. 9. — SCHÉMA DE LA GENÈSE DES GUIRLANDES D'ÎLES, SUIVANT LA THÉORIE DE WEGENER

Le continent en dérive abandonne des fragments constitués par des chaînes côtières qui, une fois séparées, s'accrochent au sima profondément solidifié (en traits couplés) et sont laissées sur place, tandis qu'entre le continent et la guirlande un nouveau fond plus fluide est mis à découvert. En B, plan montrant la forme arquée que prend la guirlande d'îles, rappelant, par exemple, celle des îles Nippones.

(1) L'ouvrage de Wegener a été traduit deux fois en français. La seconde édition, parue en 1937, correspond à la dernière édition allemande. — Alfred Wegener : « La Genèse des continents et des océans », Paris. Nizet et Bastard, 1937.



exigences biologiques qu'elle prétendait satisfaire, ni aux données de la physique du globe.

Son abandon a coïncidé avec l'apparition d'une conception entièrement nouvelle dont les conséquences se sont révélées d'une extraordinaire fécondité et dont les répercussions se sont étendues aux domaines les plus divers, de la géographie, de la physique du globe, de la climatologie, de la géologie, de la biologie. Cette conception est l'œuvre du géophysicien Alfred Wegener. Sa première expression date de 1912. Un exposé complet en a été donné dans un ouvrage intitulé : « La Genèse des Continents et des Océans ». Les quatre éditions de cet ouvrage, parues en 1915, 1920, 1922 et 1929 (1), montrent le développement progressif de la concep-

tion initiale et l'élargissement de ses bases qui se fondent sur des faits de plus en plus nombreux et précis. Nul doute que Wegener n'eût encore enrichi sa conception de points de vue originaux et féconds s'il n'eût trouvé la mort, en 1930, sur l'inlandsis groenlandais, au cours d'une expédition scientifique destinée à vérifier l'exactitude de sa théorie.

Wegener raconte que la première idée de son interprétation lui vint lorsque, regardant une carte de l'Atlantique, il fut frappé de la remarquable concordance qui apparaît entre les côtes de l'Afrique occidentale et celles de l'Amérique du Sud.

La géologie a établi la permanence des grands socles continentaux. Leur émergence date des époques géologiques les plus anciennes. Les mers ont seulement entamé et recouvert temporairement leurs régions côtières, au cours des transgressions marines, sans jamais altérer vraiment leur intégrité. Mais, à cette notion de permanence que l'on ne saurait sérieusement mettre en doute, on accolait jusqu'ici celle de fixité, qui est cependant toute différente.

L'idée féconde de Wegener fut justement de dissocier ces deux notions. Pour lui, les socles continentaux représentent des formations permanentes, mais non point fixes les unes par rapport aux autres. Les socles continentaux ont subi des translations au cours de l'histoire géologique de la terre. La conception de l'isostasie dont nous avons exposé les principes dans le paragraphe précédent se trouve en parfait accord avec l'idée de translations des socles continentaux, constitués par les éléments légers du sial, flottant sur la couche plus dense et jusqu'à un certain point visqueuse du sima sous-jacent.

Wegener admet qu'au carbonifère supérieur (1), tous les continents se trouvaient étroitement accolés pour constituer un bloc unique (fig. 7). La fragmentation de ce bloc par des failles de plus en plus larges aurait déterminé la formation des socles continentaux actuels.

(1) L'incertitude règne complètement sur l'état du globe avant le carbonifère. Il est probable que la couche de sial formait à l'aurore des temps géologiques une enveloppe continue autour du globe. Les raisons de sa réduction restent obscures. G. H. Darwin admet qu'une partie de la croûte terrestre se serait détachée pour constituer la lune. L'emplacement de ce fragment détaché serait représenté par l'océan Pacifique.



FIG. 10. — UNE DÉCHIRURE DU CONTINENT AFRICAIN : LA MER ROUGE ET LES FOSSÉS EST-AFRICAINS, D'APRÈS SUPAN

Cette déchirure, qui commence à la dépression de la mer Morte et continue par la mer Rouge, est jalonnée par une série de lacs : Nyassa, Tanganyika, Kivu, Albert-Edouard, Albert, Rodolphe. Elle atteint en certains points de l'Afrique une largeur de 50 à 80 km, et une dénivellation considérable : le fossé du lac Tanganyika, profond de 1700 à 2700 m, est bordé de chaînes atteignant jusqu'à 3000 m d'altitude. La déchirure, dont la trace se retrouverait jusqu'à la colonie du Cap, est peut-être en voie d'élargissement. Elle nous donne en tout cas une image de ce qu'a pu être la naissance des océans, tels que l'océan Atlantique et l'océan Indien.

vers l'ouest (fig. 9). Telle est la guirlande d'îles nippones qui s'étend des Kouriles à Formose et qui correspond à un reste détaché des côtes orientales du socle asiatique; ou encore la Nouvelle-Zélande qui paraît n'avoir été isolée de l'Australie qu'au tertiaire; les grandes et les petites Antilles réunies autrefois à l'Amérique centrale; les Orcades méridionales abandonnées par les pointes de l'Amérique du Sud ou de l'Antarctide (fig. 8).

La théorie wegenérienne renouvelle jusque dans leurs fondements les conceptions relatives à la genèse des océans et des chaînes de montagnes.

Des océans qui couvrent aujourd'hui la surface du globe, un seul correspond à un océan primitif : c'est le Pacifique. Les autres océans ne représentent que des fissures résultant de

Les forces qui ont provoqué la fragmentation du bloc primitif nous restent inconnues. Elles sont peut-être représentées par les courants de convection qui se produisent dans le sima, entre les régions océaniques froides et les socles continentaux plus chauds. Quant à la dérive des socles continentaux à la surface du globe, elle est probablement la conséquence de quelques forces très simples : tous les continents auraient tendance à dériver vers l'ouest, en raison de l'attraction exercée par le soleil et par la lune. D'autre part, les blocs continentaux se rapprocheraient de l'équateur sous l'influence de la force centrifuge.

Les conséquences de la théorie de Wegener sont innombrables. La séduction qu'exerce la théorie tient justement au fait qu'elle rend compte, avec une merveilleuse aisance, de particularités au premier abord disparates, qu'elle rassemble et fonde en un tout harmonieux.

Il suffit de jeter un coup d'œil sur une mappemonde pour constater que beaucoup de socles continentaux se terminent en pointes infléchies vers l'est. C'est le cas pour la Terre de Feu, l'Antarctide (fig. 8), l'extrémité méridionale du Groenland. La théorie wegenérienne rend aisément compte

de cette particularité, admettant que les extrémités continentales ont subi un certain retard au cours de leur dérive vers l'ouest et se comportent comme des traînes.

Les guirlandes d'îles qui s'étendent, en arc de cercle, à l'est de la plupart des socles continentaux, représentent, pour Wegener, les restes détachés des continents que ceux-ci abandonnent au cours de leur translation

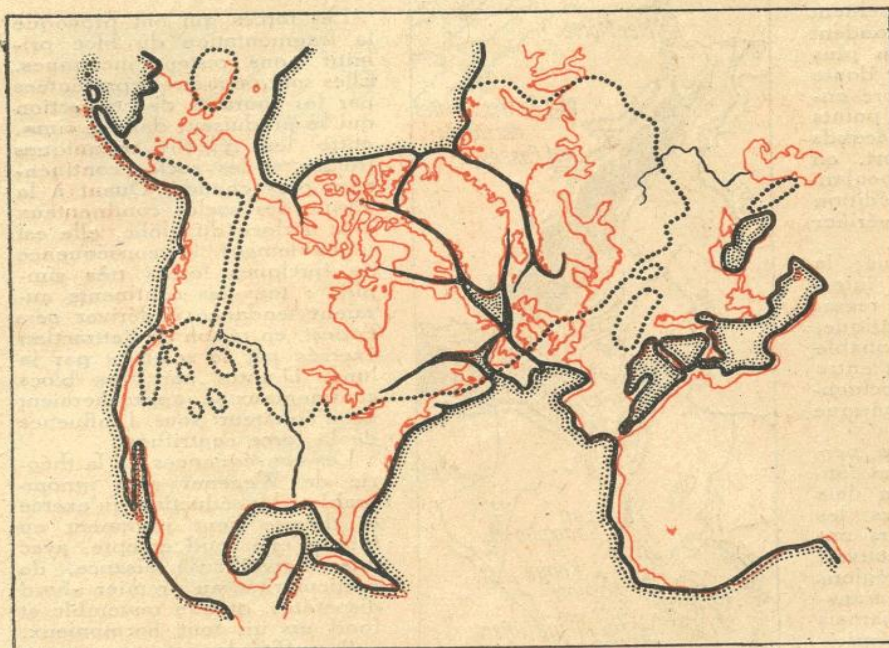


FIG. 11. — RECONSTITUTION DU BLOC AMÉRICANO-SCANDINAVE A L'ÉPOQUE QUATERNAIRE (WEGENER)

On a représenté en trait pointillé les limites des terres recouvertes par des glaciers à l'époque quaternaire, telles que les révèlent la présence des moraines terminales en Amérique du Nord et en Europe. Si on rapproche les deux socles américain et européen, on voit que les pointillés viennent exactement dans le prolongement l'un de l'autre, ce qui n'a rien d'étonnant si on admet que les deux masses continentales étaient au contact l'une de l'autre à cette époque. Le tracé des côtes actuelles n'est donné ici que pour fixer les idées.

l'éclatement du bloc primitif et élargies par la dérive des socles continentaux. L'Atlantique n'est qu'un immense fossé qui s'est creusé entre l'Europe et l'Amérique. Son élargissement est la conséquence de l'écartement de ses lèvres qui a progressé du sud au nord, au cours des périodes géologiques (fig. 7). La mer Rouge qui sépare l'Arabie de l'Afrique (fig. 10) représente le premier stade de la formation d'un océan (1).

Enfin, la théorie de Wegener apporte une nouvelle interpréta-

(1) Il faut soigneusement distinguer des océans les « mers épicontinentales », telles que la Manche, la mer du Nord, la Baltique, la mer de Java, etc., qui ne représentent

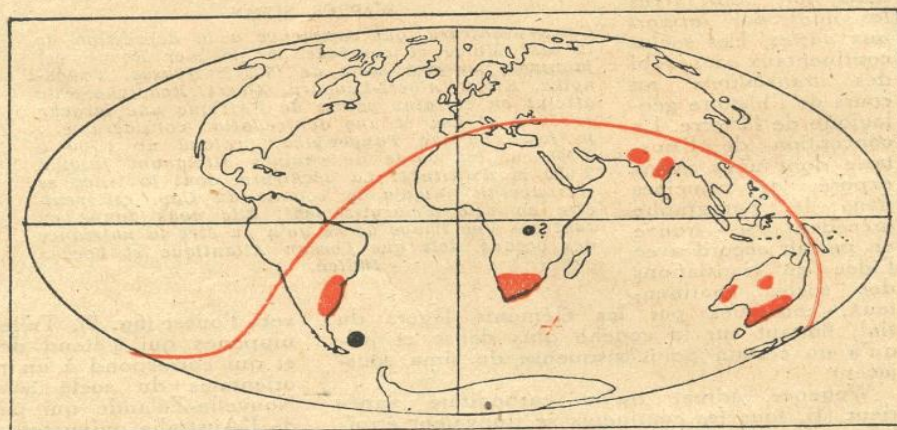


FIG. 12. — LES TRACES DE GLACIATION SUR LES CONTINENTS ACTUELS A L'ÉPOQUE PERMO-CARBONIFÈRE, D'APRÈS WEGENER

Tous les continents austraux actuels étaient recouverts à la fin du Carbonifère et au début du Permien par des glaces, ainsi qu'en témoignent les striures des roches et les dépôts morainiques de l'Afrique du Sud, des îles Falkland, de l'Argentine et du Brésil, de l'Inde et de l'Australie. Les régions intéressées sont marquées en rouge sur la carte. Dans ces conditions, la situation la plus probable pour le pôle sud à cette époque serait celle de la croix, et l'équateur aurait suivi à travers les continents supposés fixes la ligne anormale tracée sur la carte. Une telle hypothèse paraît invraisemblable et la théorie de la mobilité des continents fournit une explication beaucoup plus vraisemblable de la répartition des climats à l'époque permo-carbonifère (voir fig. 13).

tion de la genèse des chaînes de montagnes. On admettait jusqu'à une époque récente que les plissements qui ont donné naissance aux reliefs montagneux ont pour origine la contraction de l'écorce terrestre résultant elle-même du refroidissement du globe. La théorie de la contraction s'est effondrée du jour où l'étude de la radioactivité a établi que la terre, loin de se refroidir, a tendance à se réchauffer, ou tout au moins à rester en équilibre thermique.

Pour Wegener, les plissements qui ont donné naissance aux chaînes de montagnes sont une conséquence des translations continentales. La chaîne des An-

que des immersions plus ou moins étendues — et temporaires — de régions appartenant aux socles continentaux. Cette distinction confirme la différence fondamentale que l'on doit maintenir entre socles continentaux et océans.

des et des Rocheuses qui dresse son immense échine tout le long du bord occidental de l'Amérique représenterait la série des plis engendrés par le refoulement du socle américain, au cours de sa dérive vers l'ouest, contre le bloc résistant de sima constitué par le fond du Pacifique. La chaîne alpine serait le résultat de la compression exercée par le socle africain contre l'Europe. Quant à l'immense guirlande de plis himalayens qui se disposent en demi-cercle, de l'Hindou Kouch à la Birmanie, elle serait la conséquence de la formidable pression exercée par le bloc indou contre le socle asiatique.

Ces interprétations séduisent par leur ingéniosité. Mais, les esprits critiques ne peuvent se défendre, lors de leur premier contact avec la théorie de Wegener d'un sentiment d'inquiétude. Cette conception repose-t-elle sur des bases solides ou ne représente-t-elle que les fantaisies d'un esprit imaginaire? Il est nécessaire, pour dissiper les doutes, de faire ressortir que la théorie de Wegener se trouve aujourd'hui confirmée par des observations

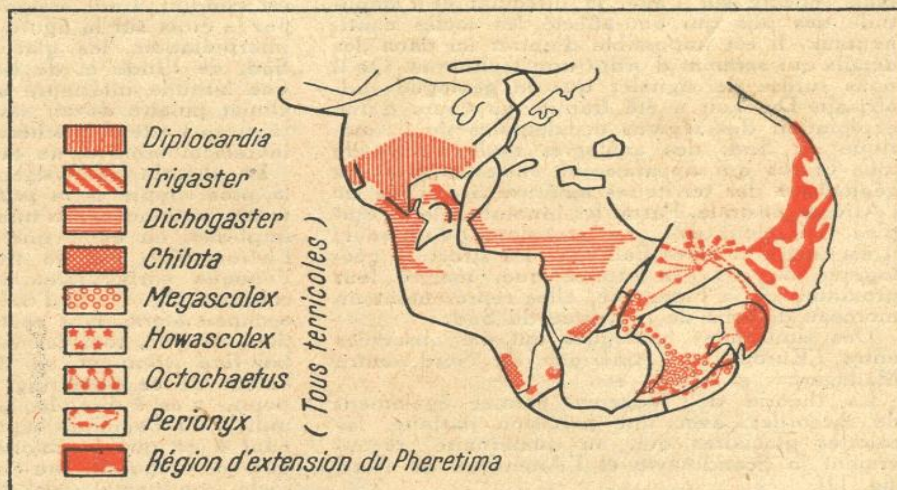


FIG. 14. — DISTRIBUTION DES VERS DE TERRE DE LA FAMILLE DES « MEGASCOLECIDÆ »

Les continents sont rassemblés suivant la conception wegnérienne. La théorie de la permanence des continents est impuissante à expliquer la distribution des vers de terre, qui trouve son interprétation simple dans la dislocation d'un continent primitif (d'après Michaelsen).

précises empruntées aux disciplines les plus variées.

Des mesures de longitude effectuées à des époques éloignées l'une de l'autre ont prouvé la réalité des translations continentales. C'est ainsi qu'elles ont établi que le Groenland se déplaçait, de façon certaine, par rapport à l'Europe. Ces observations constituent une preuve directe de l'exactitude de la théorie wegnérienne.

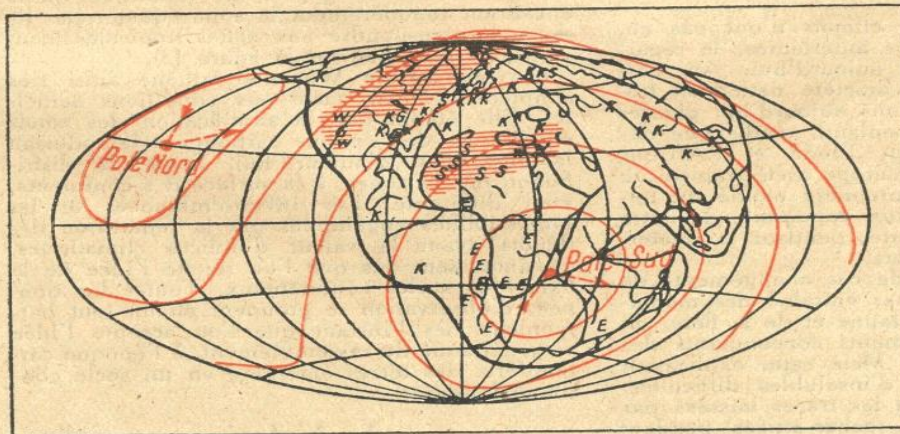


FIG. 13. — LA RÉPARTITION DES TEMPÉRATURES AU CARBONIFÈRE, RÉVÉLÉE PAR LES DÉPÔTS QUI DATENT DE CETTE PÉRIODE

Dans l'Amérique du Sud, l'Afrique du Sud et l'Australie qui étaient alors soudees, on trouve des traces de glaciation : cette région se trouvait alors au pôle sud de la terre (le pôle nord tombant alors dans l'Océan Pacifique). En s'éloignant de cette région, on arrive à des régions qui devaient être chaudes et sèches (en hachures) et où l'on trouve des dépôts de sel gemme, de grès et de gypse. A l'emplacement probable de l'équateur s'étendait une région dont la végétation touffue a donné naissance à des dépôts de charbon. E, traces de glaciation; K, dépôts de charbon; S, dépôts de sel gemme; G, gypse; W, grès désertiques. (d'après Koepfen et Wegener).

D'autres confirmations non moins remarquables sont tirées de la géologie. Nous avons rappelé plus haut la genèse des idées de Wegener. Nous avons dit que l'intuition des translations continentales lui était venue de la similitude des contours de l'Amérique du Sud et de l'Afrique occidentale. Ces analogies n'ont pas le caractère superficiel qu'on pourrait croire. Des études géologiques détaillées ont fait ressortir les ressemblances de structure indéniables qui apparaissent, de part et d'autre des lignes de cassure, entre les blocs résultant de la fragmentation du continent primordial. Ces analogies reposent non seulement sur la nature des formations géologiques,

mais, encore sur l'âge, la direction et l'amplitude des plis qui ont affecté les socles continentaux. Il est impossible d'entrer ici dans des détails qui seraient d'ordre trop technique. Qu'il nous suffise de signaler que le géologue sud-africain Du Toit a été frappé, au cours d'une exploration des régions occidentales de l'Amérique du Sud, des analogies multiples et de tous ordres qui apparaissent entre la structure géologique des territoires américains et celle de l'Afrique australe. Parmi les innombrables exemples qu'il mentionne, n'en retenons qu'un seul; il est relatif aux îles Falkland. La structure géologique de ces îles prouve que, malgré leur proximité de la Patagonie, elles représentent un morceau détaché de l'Afrique du Sud.

Des similitudes analogues ont été observées entre l'Europe et l'Amérique du Nord, entre Madagascar et l'Inde, etc.

La théorie de Wegener permet également de raccorder, avec une précision parfaite, les calottes glaciaires qui, au quaternaire, recouvraient la Scandinavie et l'Amérique du Nord (fig. 11).

La climatologie et la théorie de Wegener

Nous n'avons exposé, dans le paragraphe précédent, que les conséquences purement physiques qui découlent de l'interprétation wégénérienne. La théorie de Wegener fournit encore la solution d'un problème, d'ordre climatologique et biogéographique, considéré jusqu'ici comme particulièrement complexe et embrouillé. Il s'agit de la répartition, aux époques passées, des zones climatiques, et par suite des flores et des faunes.

Les zones climatiques actuelles se disposent en une série d'anneaux approximativement parallèles à l'équateur : zone chaude et humide équatoriale, encadrée de zones arides coïncidant avec les tropiques; zones tempérées et humides limitées par les calottes polaires arctique et antarctique.

Nous savons que les climats n'ont pas eu, aux époques géologiques antérieures, la répartition qu'ils présentent aujourd'hui. Au Carbonifère, une flore de caractère nettement tropical recouvrait les régions aujourd'hui glacées du Spitzberg et du Groenland, tandis que des glaciers s'étendaient sur l'Inde et l'Afrique du Sud. Le climat de l'Europe a été tropical ou subtropical pendant la première moitié du tertiaire, tandis qu'une partie importante de notre continent a été recouverte, pendant le quaternaire, d'immenses glaciers.

Pour rendre compte de ces changements de climat qui ont eux-mêmes entraîné des modifications profondes de la faune et de la flore, on a invoqué des déplacements concomitants des pôles et de l'équateur. Mais cette explication se heurtait jusqu'ici à d'insolubles difficultés. Marquons sur une carte les traces laissées par les glaciations (moraines, roches striées) pendant l'époque permo-carbonifère. Nous obtiendrons l'image représentée sur la figure 12. Les dépôts glaciaires de cette époque s'étendent sur l'Amérique du Sud, l'Afrique méridionale, l'Inde et l'Australie. Par contre, aucune glaciation n'a été décelée, au carbonifère, dans l'hémisphère nord. C'est là une première singularité dont il apparaît difficile de rendre compte. De plus, si l'on cherche à définir l'emplacement le plus favorable que doit occuper le pôle sud pour rendre compte des glaciations carbonifères, on

est conduit à lui assigner la position indiquée par la croix sur la figure 12. Si l'on adopte cette interprétation, les glaciers de l'Amérique du Sud, de l'Inde et de l'Australie se trouvent à une latitude inférieure à 10°. C'est dire qu'un climat polaire devait sévir jusque sous les tropiques. Cette hypothèse est donc tout à fait invraisemblable et ne saurait être retenue.

La théorie de Wegener résout de la façon la plus simple et la plus lumineuse, ces apparentes antinomies. L'interprétation de Wegener implique, en effet, que tous les continents de l'hémisphère sud se trouvaient rassemblés, à l'époque carbonifère, en un bloc unique et compact (fig. 7). Si l'on admet que le pôle sud occupait alors, dans ce bloc compact, une position centrale, tous les dépôts glaciaires du carbonifère viennent se disposer sans difficulté autour de ce point (fig. 13). L'antipode de ce point, c'est-à-dire le pôle nord, émerge au milieu du Pacifique septentrional. Rien d'étonnant à ce que la calotte polaire septentrionale qui ne reposait, au carbonifère, sur aucun socle continental, ait disparu sans laisser de traces.

La répartition de dépôts de nature toute différente confirme la justesse de l'interprétation wégénérienne. Les dépôts de charbon représentent les restes d'une végétation luxuriante qui n'a pu se développer que sous un climat chaud et humide. Or, si l'on trace sur la reconstruction wégénérienne du globe, à l'époque carbonifère, les emplacements des dépôts de charbon, on constate qu'ils se disposent sans difficulté le long de l'équateur correspondant aux pôles précédemment définis (fig. 13).

Les dépôts de gypse et de sel gemme ne peuvent prendre naissance que dans les régions chaudes et sèches du globe. Ils se forment principalement aujourd'hui dans les régions arides et désertiques qui encadrent la zone équatoriale. En reportant sur la reconstruction wégénérienne les emplacements des dépôts carbonifères de sel gemme et de gypse, on remarque qu'ils encadrent régulièrement la zone équatoriale. Ils doivent correspondre aux zones tropicales (couvertes de hachures sur la figure 13).

L'hypothèse de Wegener ramène ainsi très simplement l'état passé aux conditions actuelles. Elle établit que la stratification des zones climatiques de l'époque carbonifère reproduisait la disposition d'aujourd'hui. Seule, la distribution de ces zones, à la surface des continents, était différente. Les invraisemblances et les impossibilités engendrées par la répartition des dépôts ayant la valeur d'indices climatiques, s'évanouissent dès que l'on rejette l'idée de la fixité des socles continentaux. Toutes les données d'observation se groupent en un tout harmonieux dès l'instant que l'on accepte l'idée wégénérienne du rassemblement, à l'époque carbonifère, des terres émergées en un socle continental unique.

La biologie et la théorie de Wegener

Nous venons de montrer quelle profonde répercussion la théorie de Wegener exerce sur la climatologie et par suite sur la biogéographie. Mais il en est bien d'autres.

Nous avons cité plus haut quelques exemples d'aires de répartition disjointes, distribuées sur des continents fort éloignés les uns des autres. Il est difficile d'en rendre compte si l'on retient l'interprétation classique de la fixité des socles.

continentaux. Tous ces faits s'expliquent aisément dès l'instant que l'on admet l'existence d'un continent primitif et unique, disloqué secondairement en fragments devenus les socles continentaux. Michaëlsen a montré que la répartition des vers de terre de la famille des *Megascolecidae* qui paraît aujourd'hui si aberrante, devient tout à fait normale si l'on admet l'interprétation wegenérienne. Cette famille a dû se différencier à une époque où les terres qui les hébergent actuellement, c'est-à-dire l'Amérique, l'Afrique, l'Inde orientale et l'Australie étaient réunies en un bloc commun (fig. 14). L'éparpillement des différentes lignées, à l'époque actuelle, ne correspond pas à un phénomène de dispersion actif; il représente simplement le résultat de la dislocation du continent primitif et de la dérive des socles continentaux.

La répartition des péripates s'explique de la même façon. Ils continuent à habiter les terres qu'ils occupaient à la fin du primaire. Mais, à cette époque, ces territoires étaient réunis en un bloc commun (fig. 7), possédant une faune et une flore homogènes; ce bloc correspond à ce que les géologues ont désigné depuis longtemps sous le nom de continent de Gondwana.

La théorie de Wegener rend compte d'une façon lumineuse de la répartition de l'escargot des jardins dont nous avons signalé plus haut les singularités. La carte représentée sur la figure 11 montre que les stations occupées aujourd'hui par ce mollusque jalonnent très régulièrement l'immense inlandsis qui a recouvert, au quaternaire, les régions septentrionales de l'Amérique et de l'Europe, encore très rapprochés l'une de l'autre à cette époque. La répartition du renne s'explique de la même façon ainsi que l'a établi le Dr Jacobi.

Enfin, tout récemment, le Dr Jeannel, professeur d'entomologie au Muséum d'Histoire naturelle, a rassemblé, dans un magistral ouvrage (1), riche de documents personnels et d'idées originales, d'innombrables exemples relatifs à la répartition des insectes. Il a montré que la théorie wegenérienne est de toutes les interprétations proposées celle qui permet de rendre compte de la façon la plus cohérente et la plus satisfaisante des multiples particularités que présente la répartition des insectes actuels et fossiles.

Encore une autre exemple. Le grand zoologiste Cuénôt écrit : « L'océan Pacifique a une faune très riche qui renferme des reliques connues à l'état fossile dans le secondaire et le tertiaire ancien. » Tels sont le nautilus (fig. 15), forme actuelle la plus proche des ammonites; le mollusque *Pleurotomaria* et le brachiopode *Lingula* qui persistent, sans changements, depuis le cambrien; des Mollusques bivalves du genre *Trigonia*, connus depuis le début du se-

condaire, etc. La théorie de Wegener rend aisément compte de l'ancienneté de certains représentants de la faune pacifique. C'est, en effet, le seul océan dont l'existence remonte à l'aurore des temps géologiques et dont la permanence s'oppose aux vicissitudes des autres étendues océaniques.

Mais, le problème le plus curieux résolu par la théorie wegenérienne est certainement celui de la migration de l'anguille. Le zoologiste danois, Johannès Schmidt a établi, au cours de remarquables recherches qui s'échelonnent de 1904 à 1922, les conditions absolument extraordinaires de la reproduction de l'anguille. Ce poisson peuple la plupart des cours d'eau de l'Europe; mais,

il ne s'y reproduit pas. Il effectue pour gagner son « aire de ponte » une migration d'une étonnante longueur. L'aire de ponte est, en effet, située dans la région occidentale de l'Atlantique Nord, entre 22° et 30° de latitude, et 48° et 65° de longitude (fig. 17). Cette aire correspond à la partie centrale, la plus profonde, de la mer des Sargasses. Les larves, très différentes de l'adulte, et connues sous le nom de *Leptocephales*, effectuent une migration inverse de celle des parents, pour regagner l'Europe. Cette migration de retour ne demande pas moins de trois ans.

On s'est demandé quelles pouvaient être les raisons des extraordinaires migrations de l'anguille européenne. Toutes les anguilles descendent à la mer pour se reproduire. Mais, le lieu de ponte est, à l'ordinaire, proche de l'aire de peuplement de l'adulte (fig. 16). L'anguille américaine (*Anguilla rostrata*) a une aire de ponte

qui est très voisine de celle de l'anguille d'Europe, mais située un peu plus à l'ouest (fig. 16 et 17). L'anguille japonaise (*Anguilla japonica*) se débarrasse de ses œufs à l'est de l'archipel nippon. Les anguilles australiennes (*Anguilla australis* et *aucklandiae*) ont leur aire de ponte située à l'est du continent australien. Ces anguilles effectuent, par rapport à l'anguille européenne, des migrations relativement courtes pour atteindre leur lieu de reproduction. Corrélativement, leur vie larvaire est beaucoup plus brève. La croissance larvaire, ainsi que la migration de retour ne durent qu'un an.

Le comportement de l'anguille européenne apparaît ainsi remarquablement aberrant. La théorie de Wegener rend aisément compte de ces singularités. Il est probable que lorsque l'Amérique et l'Europe se trouvaient réunies (fig. 7) les deux formes qui peuplent aujourd'hui ces deux continents, et qui sont d'ailleurs fort voisines l'une de l'autre, ne constituaient qu'une seule espèce. Cette forme souche devait gagner, à l'époque de la reproduction, les eaux marines, voisines du continent, comme le font encore la plupart des espèces actuelles. L'écartement progressif des deux continents américain et européen a eu pour conséquence d'entraîner progressivement vers l'ouest le lieu de ponte traditionnel. Les anguilles américaine et européenne y sont restées fidèles. Mais, tandis



FIG. 15. — LE NAUTILE, MOLLUSQUE DE L'OCÉAN PACIFIQUE, UNIQUE GENRE SUBSISTANT DE L'ORDRE AUQUEL APPARTENAIENT LES NOMBREUSES ESPÈCES D'AMMONITES ABONDANTES À L'ÉPOQUE SECONDAIRE

(1) Jeannel (Dr R.) : « La Genèse des faunes terrestres ». Éléments de Biogéographie. Paris, Presses universitaires de France, 1942.

que l'anguille américaine continuait à effectuer une migration de longueur normale pour gagner l'aire de ponte, l'anguille d'Europe devait, pour l'atteindre, parcourir des distances de plus en plus considérables. Corrélativement, sa vie larvaire a dû s'allonger afin de permettre la migration de retour.

Ainsi la théorie de Wegener apporte, dans les domaines aussi divers que la géographie, la physique du globe, la climatologie, la paléontologie, la biologie, des vues nouvelles et fécondes. Il est trop tôt pour porter sur elle un juge-

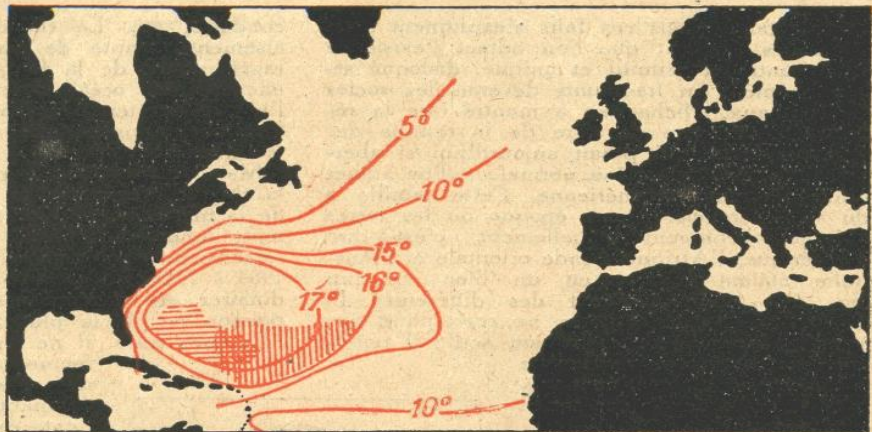


FIG. 17. — AIRES DE PONTE DE L'ANGUILLE EUROPÉENNE ET DE L'ANGUILLE AMÉRICAINE (d'après Bertin)

Les courbes représentées sont les isothermes des eaux sous-marines à 400 m de profondeur. La zone de ponte de l'anguille américaine (hachures horizontales) est limitée par l'isotherme 17°, celle de l'anguille européenne (hachures verticales) par l'isotherme 16°. On voit que l'anguille américaine doit faire un voyage relativement court pour gagner ses lieux de ponte, alors que l'anguille européenne doit traverser presque tout l'Atlantique.

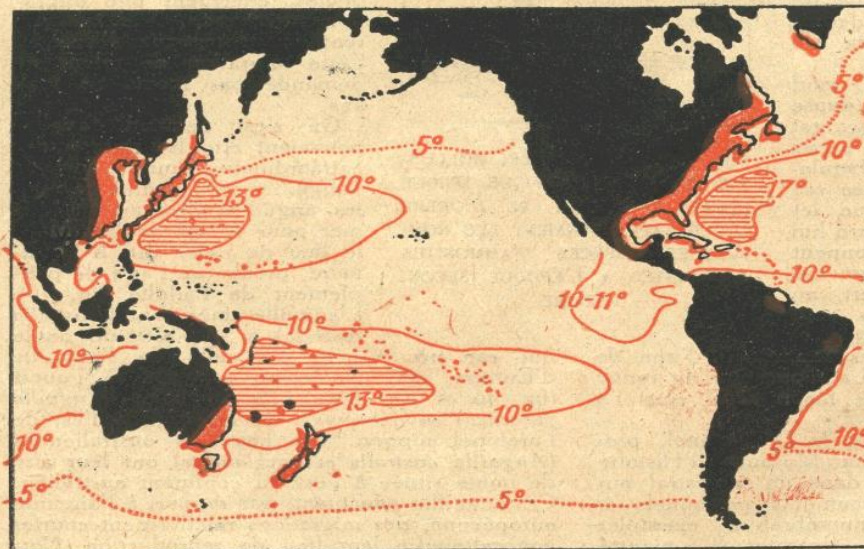


FIG. 16. — AIRES DE RÉPARTITION (EN NOIR) ET AIRES DE PONTE (EN POINTILLÉ) DES ANGUILLES AMÉRICAINE, JAPONAISE ET AUSTRALIENNE (d'après J. Schmidt)

ment définitif; mais, nous pouvons, dès maintenant, en reconnaître l'immense intérêt. La valeur d'une théorie se mesure à l'aisance dont elle fait preuve pour interpréter des faits incohérents et disparates et les rassembler en un édifice harmonieux. Les indications sommaires que nous avons fournies dans les lignes précédentes suffisent à montrer combien sont nombreuses et diverses les données appréhendées et éclairées par la théorie wegenerienne.

A. VANDEL.

L'humanité compte environ 2,2 milliards d'individus et la production de matières grasses alimentaires peut être évaluée à 22 millions de tonnes : la ration moyenne annuelle de l'homme ressort donc à 10 kg de graisses par an. Si l'on attribue aux régions qui les produisent les graisses correspondant aux fourrages et aux tourteaux qu'elles exportent, on peut considérer que la répartition géographique de la production de matières grasses s'établit ainsi : Amérique 32 %, Asie 29 %, Europe 17 %, U.R.S.S. 9 %, Afrique 9 %, Australie 4 %. La consommation est répartie tout autrement, et il en résulte un courant commercial des pays producteurs qui porte sur 5,5 millions de tonnes par an.

LE SUCRE DE BOIS : ERSATZ ALIMENTAIRE ET SOURCE DE CARBURANTS

par Charles BERTHELOT

La quantité de carbone que les végétaux fixent dans leurs tissus au cours d'une année et que l'on retrouve dans le bois des arbres et les débris végétaux de toutes sortes, ceux des plantes annuelles en particulier, est considérable; la forme sous laquelle il se présente n'est malheureusement ni directement assimilable par l'organisme humain, ni facile à utiliser comme source d'énergie dans les moteurs. Mais la cellulose (un des principaux composants du bois) est capable de donner, par hydrolyse, des sucres que l'on peu introduire dans le circuit alimentaire, soit directement comme nourriture d bétail, soit indirectement en l'utilisant pour la culture de levures nutritives. En outre, des fermentations convenables vont transformer ces sucres en carburants liquides de grande valeur (alcool et cétones). Ainsi la chimie du bois doit permettre un jour, concurremment avec celle de la houille, de résoudre le problème des carburants lorsque les réserves mondiales de pétrole seront épuisées. Dès maintenant elle doit réduire les importations de pétrole des nations les moins favorisées dans leur sous-sol.

LE bois, dont chaque pays possède d'importantes réserves, trouve en temps de guerre une foule d'usages très divers, dont certains ne se justifient que dans des conditions économiques anormales, mais dont d'autres, au contraire, pourront subsister en temps de paix. Par exemple, les bois améliorés par des imprégnations de résines, principalement utilisés actuellement dans la construction aéronautique, seront, après la guerre, employés avec succès également dans l'ameublement. Par contre, il est vraisemblable que l'on cessera de remplacer le charbon de houille par le bois dans les foyers domestiques, et de carboniser celui-ci pour alimenter les gazogènes à charbon de bois. La forêt française aura besoin d'être protégée et reconstituée, et le bois sera considéré comme un produit précieux qu'il faut utiliser de la manière la plus rationnelle. Si l'on veut employer le bois comme matière première d'une industrie des carburants de remplacement, on le traitera de manière à obtenir des carburants liquides de grande valeur, par des méthodes qui respecteront les produits précieux qu'il renferme et que l'on est d'ailleurs loin de connaître parfaitement. La chimie du bois est en effet encore très lacunaire, et ce n'est que lorsqu'on aura complètement élucidé les secrets de sa composition que cette nouvelle branche de l'industrie chimique pourra devenir rémunératrice.

La composition du bois

Si l'on fait abstraction des produits secondaires qu'il renferme — tannins, résines, essences et colorants — le bois est principalement formé d'une partie soluble dans les acides concentrés : la cellulose, et d'une partie soluble dans les alcalis : la lignine, substance incrustante dont la composition est mal connue.

Au contraire, on connaît assez bien non seulement la composition mais la structure moléculaire

de la cellulose (1). La cellulose est formée de molécules géantes en forme de longues chaînes dont chaque maillon est constitué par une molécule de glucose. Les molécules de glucose sont assemblées par élimination d'une molécule d'eau à chaque liaison. Il semble d'ailleurs que la cellulose se forme effectivement dans les végétaux par une telle condensation car on peut y retrouver les glucides (2) intermédiaires entre la glucose et la cellulose, formés de molécules en chaînes moins longues que celle de la cellulose : hémicellulose, pectines, polysaccharides divers.

L'hydrolyse de la cellulose

Si on restitue à une de ces molécules en chaîne les molécules d'eau qui ont été éliminées lors de la condensation qui lui a donné naissance, on peut de nouveau briser la chaîne et libérer les maillons, et on obtiendra du glucose. Cette réaction découverte en 1919 par le chimiste français Braconnot est très facile à réaliser au laboratoire : on fait par exemple agir de l'acide sulfurique concentré sur la sciure de bois. En présence de cet acide, la cellulose fixe de l'eau. Mais la mise en œuvre industrielle de ce procédé a toujours donné beaucoup de déboires à ceux qui l'ont tentée.

Si l'on veut, en effet, obtenir un rendement égal au rendement théorique, il faut employer

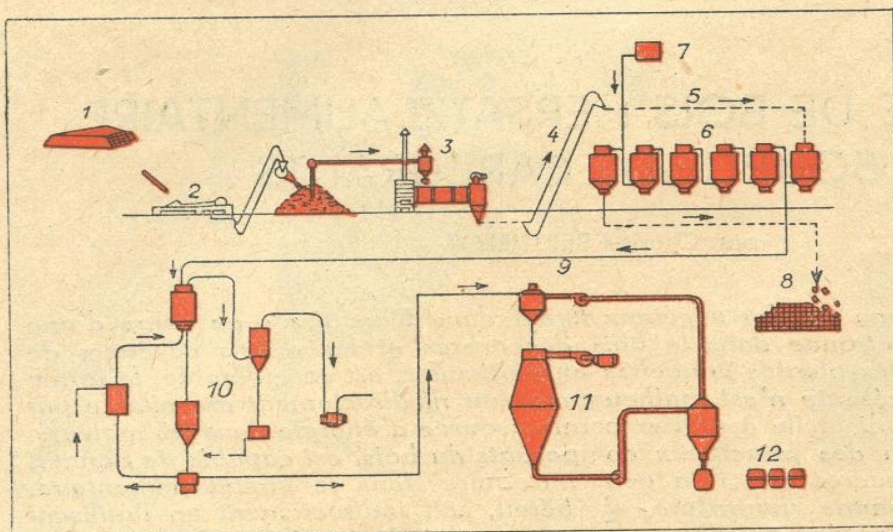
(1) Voir : « Les molécules géantes » (*Science et Vie* n° 303, novembre 1942).

(2) Pour fixer les idées, rappelons que les glucides se classent comme suit, en fonction de la complexité de leur molécule :

— monosaccharides, tels que le glucose des jus de fruits :

— dissaccharides : maltose, saccharose de la betterave, des mélasses, etc...

— polysaccharides : amidon et féculs des matières farineuses, d'une part, cellulose de bois, d'autre part.



T W 25099

FIG. 1. — LA FABRICATION DU SUCRE DE BOIS PAR LE PROCÉDÉ BERGIUS

Le bois frais 1 est d'abord débité par un débiqueur 2, puis séché en 3 jusqu'à ce qu'il ne contienne plus qu'une très faible proportion d'eau (1 % environ). Il est repris par le monte-charge 4 et le tapis 5 qui alimentent les percolateurs 6. Là, il est attaqué méthodiquement par l'acide chlorhydrique venant du bac d'alimentation 7. La lignine qui demeure après traitement est lavée à l'eau très chaude et déchargée en 8. Le moût sucré, par la canalisation 9, parvient au poste de concentration sous vide 10, où il est en outre débarrassé de l'acide chlorhydrique qu'il renferme. Après séchage en 11, où les dernières traces d'acide chlorhydrique sont éliminées, le sucre cristallisé est mis en barils 12.

des acides concentrés, qui sont difficiles à manipuler parce qu'ils attaquent les cuves à réaction. Un autre problème non moins délicat est celui de la récupération aussi complète que possible de l'acide employé, car sans cette récupération le coût de l'opération devient prohibitif.

Si l'on veut éviter ces inconvénients, on doit opérer avec des acides dilués et à chaud, mais alors il se produit des réactions secondaires et les sucres formés se détruisent au fur et à mesure de leur production; le rendement est inférieur au rendement théorique, et on doit employer divers artifices pour lui conserver une valeur acceptable.

On recueille dans la solution un mélange de différents sucres auxquels on a donné le nom de « sucre de bois » et dans lequel on a identifié, notamment, d'une part le glucose et le galactose qui, par fermentation, donneront de l'alcool éthylique; puis d'autre part des sucres infermentescibles éthyliquement : arabinose, xylose, rhamnose; enfin des celluloses plus ou moins dégradées, appelées amylo-dextrines, que l'on soumet à la fermentation aliphatique pour les transformer ensuite en cétones carburants. Enfin la solution renferme encore d'autres corps : acides formique et acétique, furfural, etc.

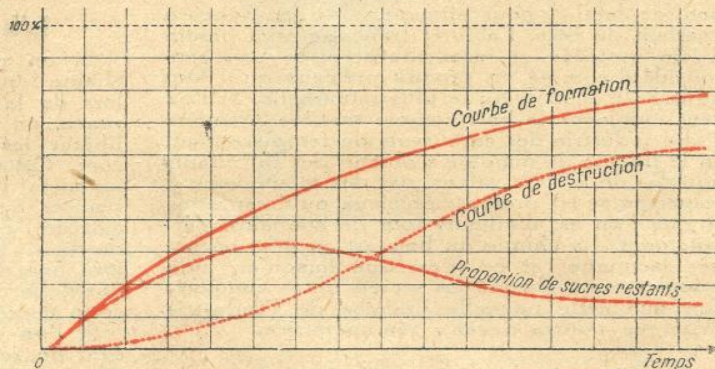
Le procédé Bergius

Le procédé Bergius, développé en Allemagne depuis de longues années, réalise l'hydrolyse du bois par

l'action d'une solution d'acide chlorhydrique à la concentration minimum de 40 %. L'attaque se fait à une température de 40° C, dans une batterie de diffuseurs d'une contenance unitaire de 20 m³. Elle est amorcée par une préhydrolyse du bois frais sous l'action d'une liqueur acide et sucrée à la température de 105° C, liqueur qui provient du lavage de la lignine résultant d'un traitement précédent. L'attaque ultérieure du bois par l'acide concentré s'en trouve facilitée. Dans les percolateurs, où celle-ci s'effectue, la solution acide circule de telle sorte que le bois reçoit d'abord une solution à teneur élevée en sucres, puis, à mesure que sa cellulose s'hydrolyse, il reçoit progressivement des solutions de moins en moins riches en sucres, et finalement de l'acide pur.

La lignine qui demeure est, comme nous l'avons vu, lavée à chaud par de l'eau qui la débarrasse du sucre et de l'acide qu'elle retient encore. Après ce traitement, elle est pratiquement neutre.

Le moût acide et sucré est concentré jusqu'au taux de 40 % de sucre sous un vide de 300 mm de mercure environ, à la température de 40-45° C. Cette opération a lieu dans un



T W 25101

FIG. 2. — LA FORMATION ET LA DESTRUCTION DES SUCRES DANS L'HYDROLYSE À CHAUD DE LA CELLULOSE (CHARLES MEUNIER)

On a représenté en fonction du temps la proportion de cellulose transformée en sucres (trait plein), la proportion de sucres détruit par la réaction secondaire (trait pointillé) et la quantité de sucres restant (trait pointillé large). On voit qu'au début, la formation des sucres est le phénomène dominant, puis la destruction de ces sucres devient si considérable qu'il n'est pas nécessaire de prolonger la réaction. La quantité de sucres restant passe par un maximum, pour une durée de 15 à 20 minutes de la réaction.

appareil en porcelaine et en acier inoxydable. Elle fournit d'une part un sirop, d'autre part de l'acide chlorhydrique et de l'acide acétique, en un mélange gazeux qui est lavé pour en retirer les acides.

Le sirop de sucre est alors atomisé dans l'air chaud, et les cristaux de sucre qui proviennent de la dessiccation des sirops se rassemblent à la base d'un cyclone où ils sont recueillis. L'acide chlorhydrique qui renferme encore le sirop est récupéré dans les vapeurs.

Le procédé Bergius a l'avantage de donner des réactions particulièrement simples et de conduire à un rendement pratique très satisfaisant, représentant 65 à 70 % du rendement théorique. Mais il a l'inconvénient de nécessiter des précautions spéciales pour la protection des parois des cuves et pour la récupération de l'acide chlorhydrique.

Pour la construction des percolateurs, on utilise, soit un métal que l'acide chlorhydrique ne corrode pratiquement pas : la « prodorite », soit simplement de l'acier que protègent des briques inattaquables par les acides et qu'assemble un ciment acide l'« havegite ».

Grâce à la récupération extrêmement poussée de l'acide chlorhydrique, à la fois dans le moût sucré et dans la lignine, la perte d'acide ne correspond pas à plus de 10 % du poids de sucre obtenu.

Procédés Fauconnau et Brus, Giordani

Au lieu d'employer de l'acide chlorhydrique concentré comme le fait le professeur Bergius, MM. Brus et Fauconnau en France, le professeur Giordani en Italie recourt

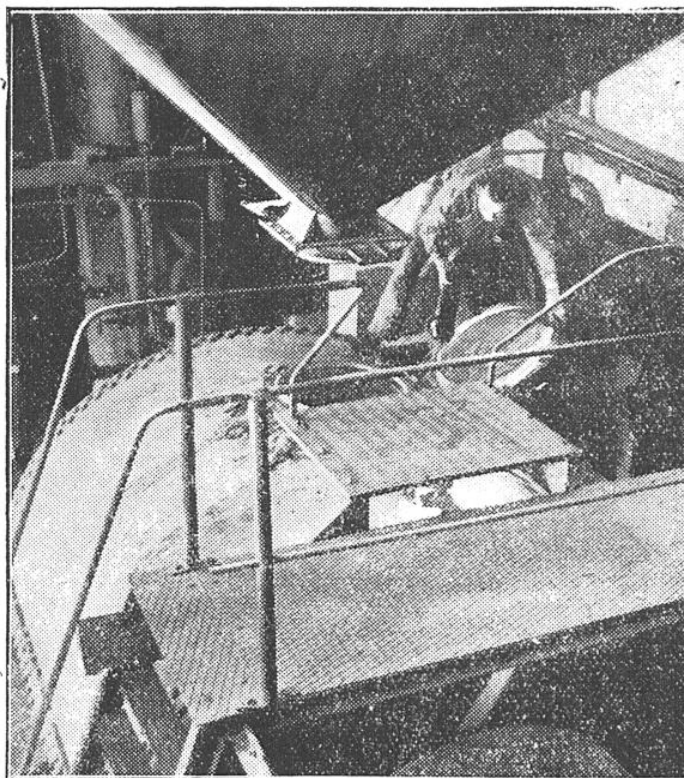


FIG. 3. — CUVE POUR L'HYDROLYSE DU BOIS PAR LE PROCÉDÉ MEUNIER

L'hydrolyse se fait à une température de 170-180° C dans une cuve plombée intérieurement (pour résister à l'action de l'acide sulfurique dilué) et d'un volume de 20 m³ environ. Les parois de cette cuve doivent avoir une épaisseur de 20 mm pour résister à la pression de 8 atmosphères à laquelle on injecte la vapeur d'eau dans la cuve.

à l'action de l'acide sulfurique concentré. On obtient

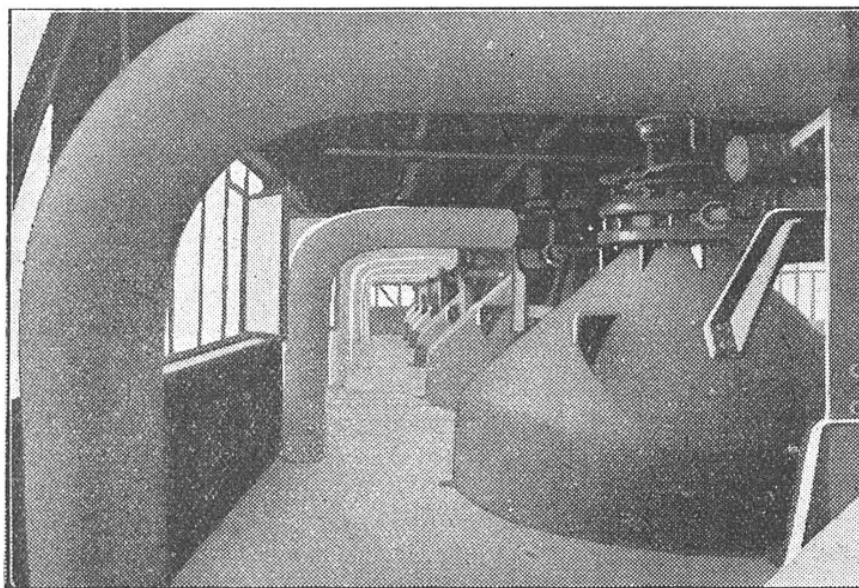
PRODUITS	Bois durs		Bois tendres	
	Dégradations		Dégradations	
	simple	multiple	simple	multiple
	%	%	%	%
Extraits organiques solubles	25	55	30	60
dont sucres (en C ₆)	13	30	18	33
Furfurol	2	2	1	1
Acides formique et acétique	6,5	3,5	4	2
Alcool méthylique et acétone	1,5	1,0	1	0,75
Lignine	50	35-40	50	53-35
	litres	litres	litres	litres
Alcool éthylique obtenu par fermentation des sucres	8-9	18	10	20

TABLEAU 1. — LE RENDEMENT DE L'HYDROLYSE DU BOIS PAR LE PROCÉDÉ MEUNIER

Le rendement est différent suivant qu'on opère une ou deux réactions sur le bois traité. Avec les produits riches en cellulose, on a intérêt à opérer deux attaques du bois, ce qui double le rendement en sucres, mais complique l'opération industrielle.

ainsi des moûts concentrés et on peut employer pour le traitement des récipients en fonte. L'appareillage est simplifié et, par conséquent, les frais de premier établissement sont abaissés.

Cette technique met en œuvre une quantité d'acide représentant environ 50 % du poids de bois traité, ce qui suppose facile l'alimentation en acide. Il importe donc de se préoccuper de la régénération ou, autrement dit, de la conservation de cet acide après sa séparation d'avec le moût sucré. Une solution élégante consiste à l'utiliser pour la fabrication du sulfate



T W 25094

FIG. 4. — UNE BATTERIE DE PERCOLATEURS DANS UNE USINE ALLEMANDE D'HYDROLYSE DE BOIS SELON LE PROCÉDÉ SCHOLLER

d'ammoniaque quand l'atelier d'hydrolyse est voisin d'une grande usine de carbonisation de la houille ou bien d'une fabrique d'ammoniac synthétique.

L'hydrolyse à chaud par les acides dilués

Si l'on veut éviter les difficultés que présente l'emploi des acides concentrés, on devra faire intervenir des acides dilués à chaud. Mais alors les réactions sont loin d'être aussi simples que dans le premier cas. En effet, à la formation des sucres se superpose la décomposition de certains de ces sucres pour donner naissance d'ailleurs à des produits de valeur tels que le furfural (1), point de départ en particulier d'une industrie des matières plastiques. Si l'on veut conserver la plus forte teneur en sucres possible, il faudra se placer dans des conditions telles que les réactions de décomposition des sucres n'aient pas le temps de « rattraper » les réactions de formation.

M. Charles Meunier qui a étudié la vitesse des réactions qui se produisent dans l'hydrolyse à chaud a établi les courbes de la proportion des sucres formés et des sucres détruits. Par différence on obtient la courbe de la proportion des sucres restant dans la solution (fig. 2).

Au début de l'attaque, la proportion de sucres formée augmente très rapidement par suite de l'attaque des portions les plus facilement hydrolysables du bois (vraisemblablement les hémicelluloses, les pentosanes et les hexosanes et une partie de la cellulose). La destruction des sucres est encore faible. Puis la formation des sucres se ralentit tandis que leur destruction arrive à deve-

(1) Le furfural est un aldéhyde ($C_4H_4O_2$) qui se présente sous la forme d'un liquide huileux bouillant à 162° . Il sert à la préparation d'une résine synthétique, concurrente de la bakélite. Il représente un solvant de ses propres résines sous la forme de ses dérivés : les furfuramides.

nir aussi importante que leur formation.

Si on veut obtenir le rendement optimum en sucres, on arrêtera la réaction avant que leur destruction devienne très importante. Mais alors le rendement sera inférieur à celui qu'on obtient avec les procédés à froid puisqu'il restera dans le bois une partie de la cellulose non décomposée.

M. Charles Meunier a établi que les conditions optimales sont réalisées en traitant une pulpe de bois contenant 100 parties de bois, 125 d'eau, 1,8 à 2,5 d'acide sulfurique. La réaction s'effectue à la température de $174^\circ C$ et sous une pression de $7,5 \text{ kg/cm}^2$. La réaction doit être arrêtée au bout de 12 à 15 minutes.

On peut aussi éliminer les sucres de la réaction au fur et à mesure qu'ils se forment, ce qui permet de continuer l'attaque de la portion restante de cellulose.

Dans l'industrie, la méthode d'hydrolyse à chaud est employée dans le procédé allemand Scholler et dans le procédé Meunier (usine de Sorgues, Vaucluse).

Le procédé Meunier

Dans le procédé Meunier, le bois déchiqueté, broyé et tamisé, est mélangé à la solution acide dans un percolateur de 20 m^3 de volume capable de supporter une pression de 8 atmosphères. Le chauffage à la température de $174^\circ C$, nécessaire à la réaction, se fait par insufflation de vapeur d'eau sous pression. Cette vapeur entraîne les produits volatils (acides formique et acétique, alcool méthylique, furfural, etc.) qui se sont formés pendant la réaction.

Quand celle-ci est suffisamment avancée (au bout de 15 à 20 minutes), on vide le contenu du percolateur, et on sépare par essorage la lignine des moûts sucrés. Les produits volatils sont récupérés dans les vapeurs qui s'échappent du percolateur.

Le procédé Meunier présente cette particularité que le rendement en sucres est un peu moins élevé que dans les autres méthodes mais, en compensation, il nécessite un appareillage moins important, plus simple (moins de tuyauteries et de robinetteries) et plus robuste. D'autre part, il permet d'obtenir davantage de sous-produits de grande valeur, particulièrement du furfural et de l'acétone.

En d'autres termes, on prépare un peu moins d'alcool, mais on dispose de produits marchands de plus grande valeur de telle sorte que, finalement, la rentabilité de l'exploitation est meilleure.

Le tableau 1 indique les rendements obtenus avec 100 kg de bois traités par le procédé

Meunier suivant que le bois est soumis à une ou deux attaques par l'acide sulfurique. La dégradation multiple offre l'avantage de doubler approximativement le rendement en alcool par rapport à la dégradation simple. En général, on y recourt malgré sa complication plus grande. Cependant, il suffit d'appliquer la dégradation simple quand la matière première ne contient qu'une faible quantité de cellulose hydrolysable : roseaux, balles de céréales, tourbe, déchets urbains, etc...

Le procédé Scholler

Cette méthode a reçu des applications importantes en Allemagne à Tornesch (Holstein), Dessau (Anhalt) et Holzmin-

den (Braunschweig) ainsi qu'au Japon. L'hydrolyse est obtenue par l'acide sulfurique dilué, (1 à 2 %) entre 178 et 180° C, sous une pression de 8 atmosphères. Le bois subit 8 à 10 percolations successives, ce qui a pour effet d'entraîner les sucres aussitôt après leur formation et de les soustraire ainsi aux réversions. Ces percolateurs peuvent contenir individuellement jusqu'à 65 m³ de bois (environ 26 t) à 20-25 % d'humidité. Au début, on les revêtait intérieurement d'un chemisage en plomb lequel serait remplacé maintenant par plusieurs couches de briques inattaquables par les acides.

L'hydrolysate, ou liquide obtenu à la suite de l'opération d'hydrolyse, contient entre 4 et 5 % de sucres réducteurs, ce qui correspond à 12 ou 14 m³ de liqueur par tonne de bois sec.

Par tonne de bois anhydre, on obtient, en moyenne, entre 500 et 550 kg de sucres réducteurs dont on peut séparer entre 300 et 350 kg de sucre cristallisé; le solde est susceptible de donner par fermentation 50 à 60 litres d'alcool, mais ce rendement dépend de la présence de sucres dans la formule desquels entrent cinq atomes de carbone et qui ne sont pas fermentescibles éthyliquement. Pour les transformer intégralement en carburants liquides, il faut les soumettre à une fermentation aliphatique qui engendrera des acides gras d'où dériveront des cétones-carburants.

Le procédé Scholler permet aussi de préparer de la glycérine, ainsi que de la levure-engrais pour le bétail.

La méthode que nous venons de décrire concerne particulièrement les bois tendres. On opère d'une façon un peu différente pour les bois durs qui donnent du xylose (variété de pentose). A cet effet, les premières fractions de l'hydrolyse sont utilisées à la fabrication du xylose tandis que les fractions suivantes servent à la prépa-

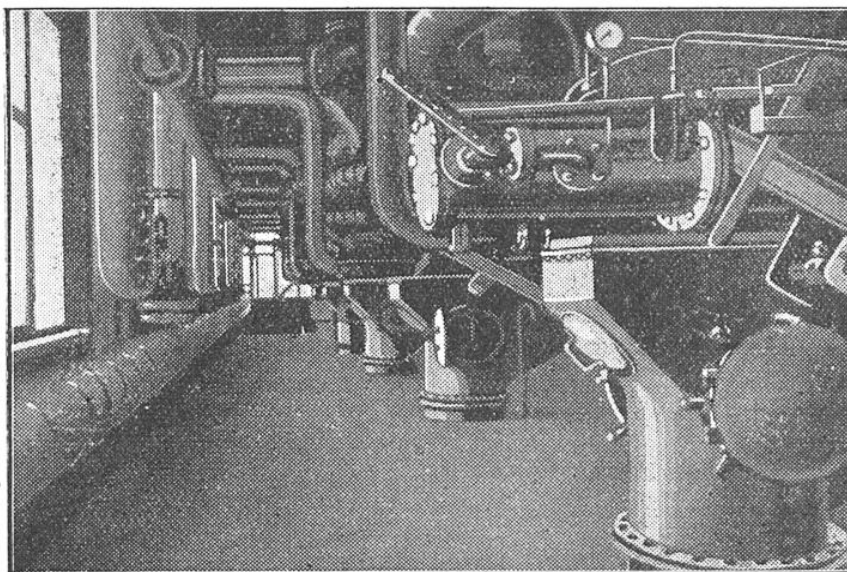


FIG. 5. — LA PARTIE INFÉRIEURE DES CUVES DE TRAITEMENT DU BOIS (PROCÉDÉ SCHOLLER)

Les clapets de vidange des cuves d'hydrolyse, que l'on aperçoit à la partie inférieure de ces cuves, sont ouverts et fermés à distance par une commande à l'air comprimé.

ration du glucose cristallisé et de l'alcool (ou des cétones), selon le mode opératoire indiqué à propos des bois tendres.

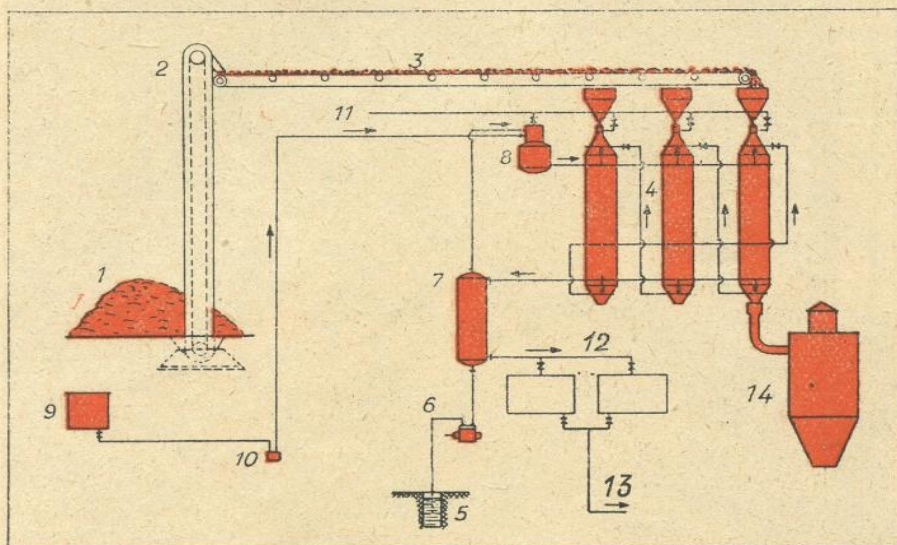
Les fermentations

La fermentation éthylique du moût sucré fourni par l'hydrolyse et partiellement neutralisé s'opère, comme dans les distilleries d'alcool de betteraves, sur une liqueur à la concentration de 10 à 15 % en sucres fermentescibles (sucres avec 6 atomes de carbone dont le type est le glucose),ensemencée à l'aide de levures sélectionnées (on les désigne sous le nom de *saccharomyces*), maintenue à la température de 30° C environ.

Cette fermentation dure environ 30 heures et fournit un vin ou alcool brut qui, par rectification, donne de l'alcool pur. Par tonne de bois séché, on peut obtenir entre 220 et 300 litres d'alcool à 100°, selon la nature du bois traité et le procédé employé.

Par une autre fermentation du moût sucré, on peut obtenir des levures. On arrive, par tonne anhydre, à obtenir jusqu'à 600 kg de levure comprimée (75 % d'eau) ou bien des levure-engrais. Par tonne de bois anhydre, on produit entre 220 et 260 kg de cette levure-engrais. Cependant, en 1938, pour être rentable, une exploitation devait fabriquer annuellement entre 10 000 et 20 000 t de levure-engrais, ce qui correspondait au traitement de 36 000 à 75 000 t de bois tendre, amené à l'état sec. Cela correspond à une exploitation forestière importante et étendue.

On a également cherché à utiliser le glucose à la préparation par fermentation de corps tels que l'acétone, l'alcool butylique, la glycérine, les acides lactique et citrique. Pour le moment, il vaut mieux s'en tenir à des opérations plus simples mais déjà délicates : préparation de



TW 25100

par la conduite 11. Les moûts acides sont éliminés et échauffent leur température en 7 avec l'eau fraîche servant à faire le mélange acide. Ils s'accumulent ensuite dans les réservoirs 12, puis vont par la conduite 13 vers les appareils de fermentation et de distribution (voir fig. 7). Quand la cellulose du bois est complètement hydrolysée, la lignine est recueillie au bas du percolateur dans le réservoir 14.

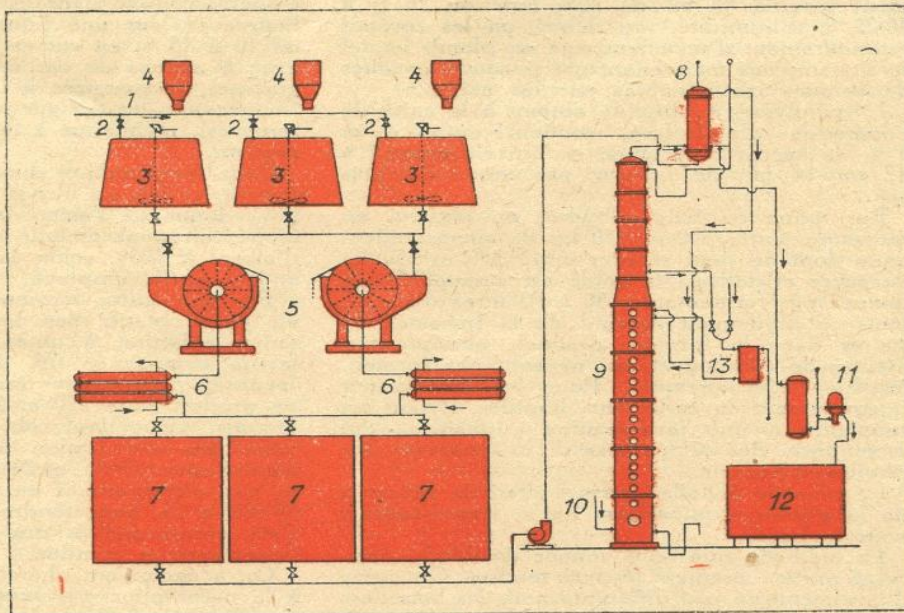
glucose cristallisé et de levures, fermentations éthylique ou aliphatique (1).

(1) La fermentation aliphatique du moût sucré résultant de l'hydrolyse représente l'étape intermédiaire à la préparation des cétones que nous considérons comme les carburants d'aviation de l'avenir. C'est encore un sélectif dans le raffinage des produits du cracking (procédé de la Texas Oil Co) et un accélérateur dans la vulcanisation du caoutchouc.

On peut aussi concentrer le moût par évaporation, après neutralisation par la chaux, de façon à obtenir un sirop qu'on mélange à certains produits : tourbe, résidus de raisin ou de fruit pour l'alimentation du bétail. Des essais contrôlés par les services allemands de l'agriculture ont établi que cet aliment, dénommé *provende*, donne d'aussi bons résultats que d'autres hydrates de carbone connus (mélasse). Cependant, il pourrait être nécessaire d'éliminer

FIG. 7. — SCHÉMA DU DISPOSITIF SCHOLLER POUR LA FERMENTATION ÉTHYLIQUE DU MOUT SUCRÉ OBTENU PAR HYDROLYSE

Les moûts venant des percolateurs d'hydrolyse sont amenés par les conduites 1 et 2 dans les réservoirs de clarification 3, où ils sont neutralisés par une solution alcaline (réservoirs 4). Ils sont ensuite filtrés dans les filtres rotatifs 5, refroidis dans les réfrigérateurs 6 et acheminés vers les cuves de fermentation 7. Le liquide alcoolisé, après un préchauffage en 8, est introduit à la partie moyenne de la colonne de rectification 9. Celle-ci est chauffée à sa partie inférieure par un courant de vapeur d'eau insufflé par la conduite 10; ses parois sont refroidies à son sommet par une circulation d'eau froide. On recueille à la partie supérieure les vapeurs d'alcool, qui échauffent leur température en 8 avec le liquide alcoolisé et sont condensées en 11. L'alcool est stocké dans le réservoir 12. Les alcools supérieurs moins volatils sont recueillis au milieu de la colonne de rectification et condensés en 13.



TW 25097

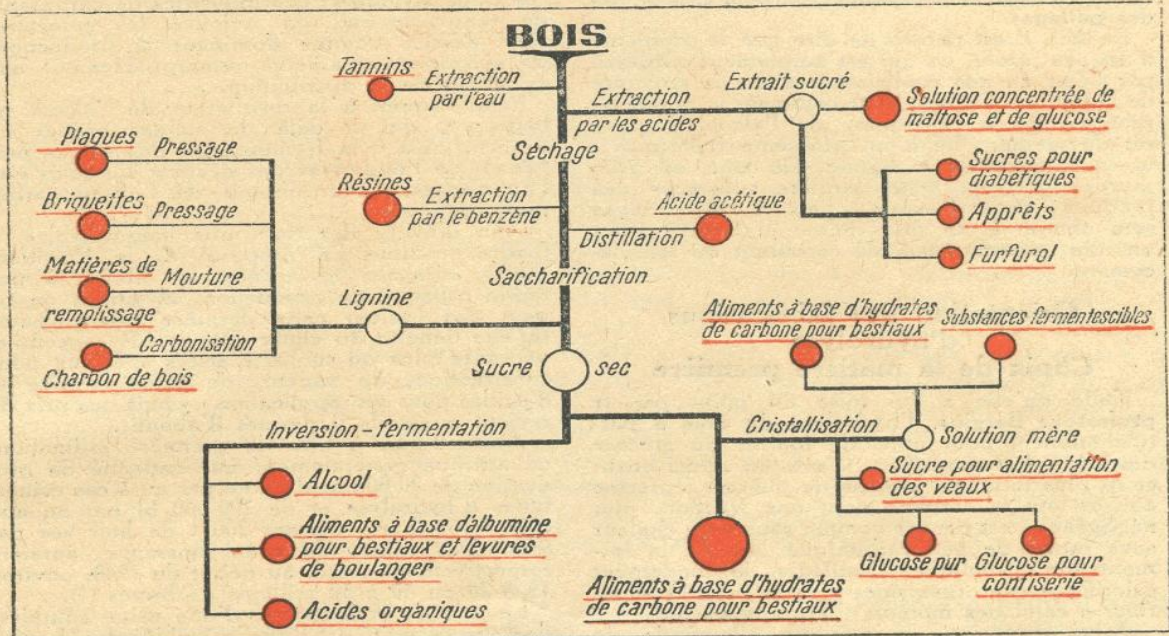
de ce sirop certaines impuretés : furfurol, terpène, etc...

A partir du moût à 4-5 % de sucres réducteurs, il est encore possible de préparer du glucose cristallisé c'est-à-dire pur et, en outre, des matières colorantes ainsi que des produits dérivés de la réversion des sucres : furfurol, acide formique, etc...

Dans ce but, on concentre le moût à 10° Bè, puis on le filtre. On le décolore ensuite par le

hydrolyse, génératrice de sucres réducteurs. Par une fermentation éthylique ou aliphatique, selon la technique connue, ces sucres constituent la matière première d'alcool éthylique ou de cétones ainsi que de sous-produits divers (furfurol). On combine ainsi deux fabrications rémunératrices : le papier et les supercarburants.

La récupération des sucres dans les lessives résiduelles des traitements de la cellulose en vue de la fabrication de la pâte à papier est de



TW 25098

FIG. 8. — ENSEMBLE DES PRODUITS POUVANT ÊTRE OBTENUS PAR LE PROCÉDÉ BERGIUS D'HYDROLYSE DE LA CELLULOSE

charbon actif ou par de la lignine spécialement préparée à cet effet. Après une neutralisation, par la chaux, le jus est concentré en deux étapes. La première, jusqu'à 30° Bé, s'accompagne de la précipitation de gypse (son origine est évidente), puis la seconde jusqu'à 60-70° Bé. On procède alors à une cristallisation pendant une huitaine de jours, à la température de 30-40° C puis on décante et lessive les cristaux, que l'on soumet à une seconde cristallisation. Quant aux eaux-mères, elles sont soit concentrées jusqu'à 70° Bé en vue d'une nouvelle cristallisation, soit envoyées à la fermentation éthylique ou aliphatique.

La récupération des sucres de bois dans l'industrie du papier

Dans les procédés d'hydrolyse que nous venons d'étudier (Meunier, Bergius, Scholler, etc.), on solubilise la cellulose sous la forme de sucres, en laissant un résidu insoluble : la lignine. Au contraire, les procédés chimiques de fabrication de la pâte à papier (procédés à la soude et au bisulfite) solubilisent la lignine et divers constituants du bois tandis que la cellulose représente le produit insoluble de l'opération. Cependant, dans ce dernier cas, une fraction plus ou moins appréciable de la cellulose et principalement des hémicelluloses subit une

pratique courante en Allemagne et en Suède. On en tire respectivement par une fermentation 120 000 et 2 000 000 hectolitres par an. Au contraire, en France, ces sucres vont à l'égoût et nous gaspillons, malgré notre détresse économique des richesses importantes.

La lignine

A sa sortie des percolateurs et après sa séparation d'avec l'extrait organique et l'acide hydrolysant, la lignine se présente sous la forme d'une masse pulvérulente humide, enfermant près de 50 % d'eau. Cette substance représente un combustible d'un pouvoir calorifique de 5 000 cal. au kilogramme sur la matière sèche. Elle contient environ 35 % de matières volatiles dont 6 à 7 % de goudron et 65 % de carbone fixe.

L'utilisation rationnelle de la lignine représente un problème d'une importance économique primordiale dans la technique de l'hydrolyse.

C'est un véritable gaspillage que d'utiliser la lignine pour le chauffage des chaudières. Elle ne représente, d'ailleurs, qu'un combustible de très médiocre qualité, eu égard à sa teneur et à sa teneur en eau. Soigneusement conditionnée sous la forme d'agglomérés, la lignine se prête à l'alimentation des gazogènes de véhicules automobiles.

M. Zedet, président de la Commission des

Carburants de Remplacement, a envisagé sa transformation en alcool méthylique. Cette transformation s'effectue à raison de 150 l pour 500 kg de lignite, provenant d'une tonne de bois. Comme la cellulose du bois produit déjà 250 l d'alcool éthylique, on obtiendrait ainsi 400 litres de carburant liquide par tonne de bois. A vrai dire, nous pensons que la lignine est digne de meilleurs usages. C'est un support excellent de matière plastique et elle pourrait être substituée à la cellulose dans la fabrication des pollopos.

En fait, il est permis de dire que le problème n'est pas résolu, ce qui est amplement expliqué par l'état de nos connaissances sur la structure de la lignine. On voit donc comment le problème pratique de la fabrication de l'alcool de bois est directement lié à un problème théorique : la constitution de la lignite. Du jour, où nous saurons tirer de cette dernière substance des produits rémunérateurs, l'alcool d'hydrolyse sera obtenu à un prix infime et pourra jouer un rôle important comme carburant de remplacement.

Orientation des fabrications d'hydrolyse Choix de la matière première

Telle qu'elle a été mise au point par le professeur Bergius, l'hydrolyse du bois a particulièrement pour objet de fournir du glucose destiné à l'alimentation. C'est, en effet, beaucoup plus rationnel puisque le glucose renferme encore tout le carbone dont une fraction, non négligeable, est perdue comme source de chaleur sous forme de gaz carbonique lors de la fermentation alcoolique. D'ailleurs, le rendement calorifique des organismes vivants est très supérieur à celui des moteurs thermiques.

Ainsi comprise, la pratique allemande de l'hydrolyse est absolument judicieuse. D'ailleurs, elle a donné lieu à des réalisations du plus grand intérêt au double point de vue de leur caractère scientifique et industriel, notamment à Mannheim-Rheinau. En France, nos disponibilités en bois sont devenues très limitées en raison tant du développement donné et restant à donner à notre industrie de la carbonisation que de nos énormes besoins en bois de chauffage environ 12 millions de stères, soit 5 millions de tonnes par an) pour suppléer, vaille que vaille, au charbon qui nous manque. D'après les estimations les plus autorisées, celles de M. Guinot, données récemment à la Société des Ingénieurs de l'Automobile, les disponibilités actuelles et probablement prochaines de la France s'élèveraient, annuellement, à 9 millions de tonnes pour les déchets cellulotiques et à un million de tonnes seulement pour le bois dont l'emploi est prohibitif à cause de son haut prix. Ces disponibilités correspondent respectivement à des fabrications de 15 et de 12 millions d'hectolitres d'alcool.

M. Zedet a très heureusement traduit le caractère général de l'avenir économique des carburants en s'exprimant comme suit :

« Il faut dire que le carburant, en général, n'est pas un produit noble. Quelques-uns seulement le sont. Il ne peut donc utiliser que des matières premières bon marché. C'est pourquoi, l'industrie des carburants de remplacement sera d'autant plus prospère qu'elle utilisera des déchets, c'est-à-dire des matières de valeur nulle,

au moins au départ. L'industrie des déchets doit avoir une forme très particulière, puisqu'elle recherche des matières sans valeur, mais de faible densité superficielle, donc éparpillées sur le territoire. Pour éviter des transports inadmissibles, il faut donc essaimer les usines, les limiter à une faible capacité de production, parfois envisager que l'usine aille à la matière, sous forme d'usines mobiles analogues aux entreprises de battage. »

« Dans la plupart des industries de carburants de remplacement, on retrouve les caractères ainsi définis, comme dominant la production. Ils s'associent d'ailleurs remarquablement aux exigences de la distribution. »

Parallèlement à la distillation de l'alcool de betterave, qui a déjà de solides assises en France, c'est à la fermentation des sucres provenant de l'hydrolyse des déchets agricoles que l'on s'adresse pour obtenir de l'alcool carburant.

Afin d'éviter des transports inadmissibles, il faudra, comme l'a proposé M. le Président Zedet, essaimer les usines, les limiter à une faible capacité de production. *A priori*, on ne peut pas évaluer cette dernière valeur, parce qu'elle dépend du choix du procédé — celui-ci nécessite plus ou moins d'aciers spéciaux pour construction, de vapeur, de force motrice et d'acides pour son application — puis des prix de revient auxquels il permet d'aboutir.

Aujourd'hui, à titre de première estimation, on attribue généralement une capacité de production de 30 000 hl d'alcool par an à ces usines-types d'hydrolyse et de 200 000 hl par an aux plus importantes traitant 200 t de bois sec par jour. Des usines de cette puissance, auraient respectivement coûté, au début de 1940, environ 15 à 20 ou 40 à 50 millions de francs (1).

Le prix de construction d'une usine complète de cette capacité est difficile à chiffrer : il serait sans doute élevé. C'est pourquoi, plutôt que de réaliser la construction d'usines autonomes, il paraît indiqué de placer des appareillages-pilotes d'hydrolyse dans des usines ayant déjà les services généraux de vapeur, d'énergie, voire même les cuves de fermentation et les colonnes de rectification de l'alcool. Cette manière de procéder présenterait le triple avantage de gagner du temps, d'économiser les matériaux de construction et de diminuer l'importance des capitaux à investir.

Il serait imprudent de chercher à préciser présentement le prix de revient de l'alcool de cellulose, car tout dépend de l'utilisation que l'on envisage pour les sous-produits : lignine, furfural, etc., ainsi que des rendements auxquels on aboutira, en fonction du choix de la matière première, du procédé des fabrications envisagées, etc. Toutefois, il n'est pas déraisonnable de penser que le prix de revient de l'alcool de cellulose ne sera pas sensiblement différent de celui de l'alcool de betteraves.

Ch. BERTHELOT.

(1) Avec certains procédés, à condition d'utiliser judicieusement la lignine, il paraît suffisant, pour arriver à une exploitation rentable, de limiter à 10 000 hl la production annuelle d'alcool. D'ailleurs, en première étape de réalisation, on peut se contenter d'utiliser le moût sucré fourni par l'hydrolyse à la préparation de la provende (mélange de paille hachée ou de balles de céréales avec le moût sucré) pour l'alimentation du bétail.

LES TRANSPORTS DE L'APRÈS-GUERRE : LE TROLLEYBUS ET L'ÉLECTRIFICATION DU RÉSEAU ROUTIER

par Jean LABADIÉ

La politique française des carburants doit tendre, après la guerre, vers une utilisation aussi rationnelle et aussi complète que possible des sources nationales d'énergie (charbon, houille blanche), de préférence à celles qu'il nous faut importer de l'étranger (dérivés du pétrole). Si les carburants liquides ou gazeux apparaissent irremplaçables pour les véhicules particuliers, la traction électrique avec alimentation par fil aérien est une des solutions les plus économiques pour les transports en commun. Elle était pourtant en régression avant la guerre, les tramways cédant peu à peu la place aux autobus à essence, d'une conduite et d'une exploitation plus souples. Mais il existe un véhicule qui réunit la souplesse de l'autobus et le fonctionnement économique du tramway : c'est le « trolleybus », voiture électrique à trolley. Doué, par rapport à sa ligne d'alimentation, d'une mobilité suffisante pour ne pas constituer d'obstacle à la circulation, capable d'accélération élevées, permettant au freinage la récupération de l'énergie, d'une remarquable simplicité de construction et d'une grande facilité de conduite, le « trolleybus » a fait abondamment ses preuves à l'étranger. Un avenir brillant l'attend sans doute en France.

Les trolleybus et l'équipement électrique des routes

EN 1912, les grandes artères de Paris étaient défoncées pour y installer, suivant leurs axes, des caniveaux renfermant un rail électrique destiné à fournir le courant aux tramways. Ces caniveaux bétonnés étant solidaires de la voie proprement dite, à laquelle ils étaient reliés par des armatures semi-circulaires de fonte, l'ensemble de cette voie ferrée destinée à la circulation urbaine rendait des points pour la solidité — au sens le plus massif du mot — à n'importe quel chemin de fer. Cela revenait cher, mais c'était « esthétique » : les trolleys, leurs lignes aériennes de contact, les potences de ces lignes et les poteaux de ces potences disparaissaient de la perspective des boulevards de Sébastopol, de Strasbourg, de Saint-Michel, etc. Mais était-ce commode ?

Pour utiliser à plein rendement une installation aussi définitive, qui défait l'amortissement aux deux sens du terme, d'usure physique comme de rachat financier, la Compagnie des Omnibus mit en service de longues et puissantes voitures, prolongées de remorques aussi longues qu'elles-mêmes. En sorte que ces remparts ambulants, s'arrêtant tous les deux cents mètres, le long des débarcadères-refuges nécessairement placés au milieu de la chaussée, arrêtaient la circulation, dans le sens longitudinal, pendant tout le temps de la descente et de la montée des voyageurs. Durant la marche, c'était à la circulation transverse de se trouver barrée à chaque carrefour. La guerre de 1914 empêcha une entreprise aussi grandiose de se parachever. En 1918, un vaste réseau de tramways conservant

encore ses trolleys aériens se trouvait encore installé. Dieu merci, le « caniveau axial » n'ayant sévi que sur les grandes voies, *intra muros*.

Au total, 560 tramways circulaient dans la « région parisienne ».

Cependant, déjà en 1913, plus de 600 autobus sillonnaient la ville, modelant leurs itinéraires sur les besoins immédiats de la population. Au lendemain de la guerre, ceux-ci envahirent même les grandes chaussées où les tramways semblaient enracinés pour un siècle. On déterra donc l'appareillage souterrain des tramways. On abattit leurs lignes aériennes dont les câbles de cuivre furent vendus à vil prix, et les poteaux de fonte renvoyés au haut fourneau. Les « sous-stations » électriques subirent naturellement le même sort que les lignes dont elles assuraient l'alimentation. Avec elles, disparaissaient les centres vitaux de tout le transport électrique de surface.

L'autobus, véhicule surfait

Aujourd'hui, depuis 1940 et même depuis 1939, la commodité intrinsèque de l'autobus n'a pas diminué. Mais sa disparition quasi-totale laisse amèrement regretter au piéton parisien les vastes tramways d'autrefois. D'autant que les tramways n'ont cessé leur fonction de transporteurs publics nulle part dans le monde, si ce n'est à Paris. A Londres comme à Berlin et même à New York, capitale du carburant, les tramways électriques sont demeurés partie intégrante de la circulation urbaine. Ils sont même en train d'y évoluer par métamorphose progressive en « trolleybus ». Et cela, grâce

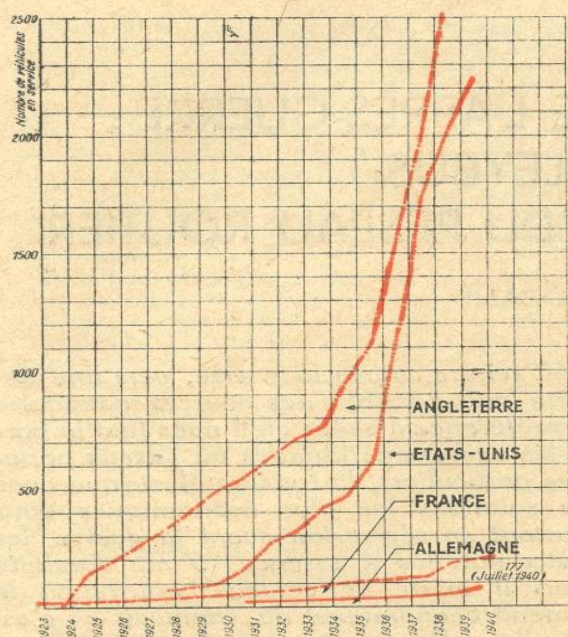


FIG. 1. — COURBES MONTRANT LE DÉVELOPPEMENT DE LA CONSTRUCTION DES TROLLEYBUS DANS DIVERS PAYS (NOMBRE DE VÉHICULES EN SERVICE)

On voit que l'Angleterre et les États-Unis viennent bien loin devant la France et surtout l'Allemagne pour l'emploi du trolleybus. Mais, tandis qu'en France les tramways ont dans beaucoup de cas cédé la place aux autobus, en Allemagne ils sont restés en service. Il sera donc beaucoup plus facile d'équiper les lignes de transport en commun pour le trolleybus en utilisant les installations existantes.

à la conservation de cette chose précieuse : le réseau électrique d'alimentation. Partout, on a réfléchi avant de détruire les lignes aériennes et leurs sous-stations. Et finalement on les a conservées, même avec un trafic réduit, simplement parce qu'il ne faut pas détruire en quelques semaines ce qui a coûté tant d'argent et de temps.

L'hybride « autobus-tramway »

Transportez l'appareillage électrique d'un tramway sur un autobus que vous aurez préalablement dépouillé du moteur à essence ainsi que de ses accessoires, et vous aurez le trolleybus.

Le rail est supprimé, qui guidait la voiture avec une régularité parfaite sous la ligne électrique aérienne. La voiture recouvre son indépendance de direction, mais le problème du trolley se complique, puisque le véhicule doit prévoir des déplacements latéraux d'au moins 4 mètres de part et d'autre de la ligne axiale. Déplacements suffisants pour recouvrir (en tenant compte de deux sens circulatoires) une chaussée large de 16 mètres — c'est-à-dire une autoroute.

D'autre part, montée sur pneumatiques et, par suite, isolée du sol, la nouvelle voiture ne peut, comme fait le tramway par ses rails, pratiquer le retour à la terre du courant utilisé. Il faut donc prévoir une « ligne de retour » indépendante. Ne pouvant être qu'aérienne, il

faut donc attribuer à cette ligne un second trolley, isolé du premier. Les deux lignes étant de polarités inverses, l'isolement électrique de leurs suspensions au même système aérien devient plus délicat puisque, en sus de la nécessité d'isoler chacune des deux lignes de la suspension générale, il faut assurer leur isolement mutuel.

Mécaniquement, le problème de l'alimentation électrique se complique de ce que les déplacements latéraux du véhicule se traduisent par un frottement également latéral du conducteur sur la gorge du trolley. Ce frottement existe, certes, dans l'équipement des tramways et se fait sentir notamment aux changements de direction dont les « raccordements » sont nécessairement beaucoup moins arrondis que ceux de la voie elle-même; mais, avec le trolleybus, chaque coup de volant un peu brutal (le geste dépendant des incidents de circulation autant que de l'attention du conducteur) peut entraîner le déraillement des trolleys. Car ils sont deux avec, par conséquent, double malechance en perspective. Telles sont les difficultés qui planent sur le trolleybus du côté de la ligne électrique.

Quant au véhicule lui-même, on ne découvre qu'avantages à l'avoir débarrassé du moteur thermique qui chauffe les voyageurs surtout en été, les suffoque en tout temps de ses exhausts d'huile brûlée, les intoxique d'oxyde de

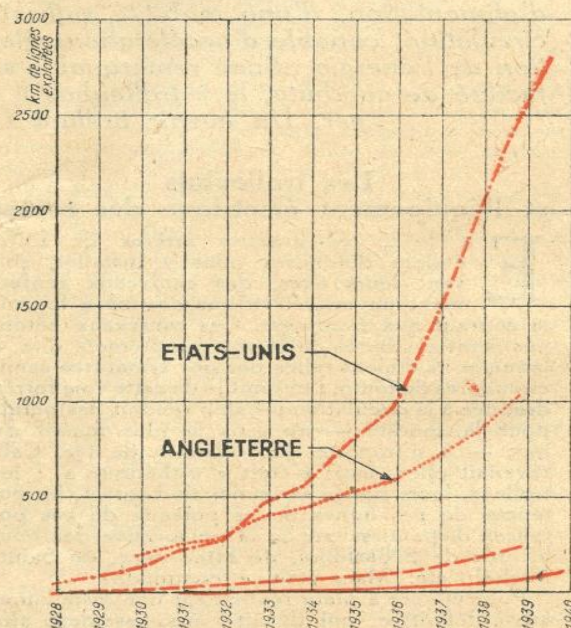


FIG. 2. — LONGUEURS DE LIGNES DE TROLLEYBUS EXPLOITÉES DANS DIVERS PAYS

Ici encore l'Angleterre et l'Amérique viennent en tête. En Italie, pays dont la houille blanche constitue la principale ressource en énergie, le trolleybus est appelé à un bel avenir, mais la courbe de l'équipement des lignes de trolleybus a présenté, vers 1918, une discontinuité, un grand nombre de lignes installées ayant été en grande partie supprimées pour des raisons diverses et en particulier parce que faisant double emploi avec d'autres lignes de transport. En juillet 1940, la France et l'Afrique du Nord avait équipé 125 km de ligne répartis entre dix exploitations.

carbone quand la carburation laisse à désirer — et jamais elle n'est parfaite — qui les assourdit de pétarades auxquelles viennent s'ajouter les grincements de la boîte des vitesses, tous agréments dont les piétons et les habitants riverains de la chaussée reçoivent leur bonne part.

Quant au constructeur et à l'usager-exploitant du trolleybus, ils se déclarent enchantés, autant pour l'aisance technique que pour l'abaissement du prix du châssis, de voir disparaître le radiateur fragile, l'embrayage, la boîte des vitesses... Emportés par le génie de la simplification, certains d'entre eux ont même prétendu réduire tout le mécanisme du nouveau châssis à deux moteurs directement liés à chacune des deux roues arrière. Toute transmission mécanique se trouvait, par là-même, supprimée à bord. La commande du courant, par rhéostats, suffisait à tout, à la progression des vitesses comme au freinage.

Néanmoins, le constructeur s'est aperçu que deux moteurs sont, pour une même puissance utile, plus lourds et plus coûteux, en argent et en électricité consommée, qu'un moteur unique placé, comme auparavant, dans l'axe du châssis et transmettant l'énergie par le différentiel d'un « pont-arrière ». D'autant que le moteur électrique unique n'exige plus d'être placé à l'avant sous capot; on peut le fixer au centre du châssis, grâce à son faible encombrement. L'arbre de transmission se trouve raccourci et les joints à la cardan supprimés moyennant certains dispositifs de suspension.

La charge mécanique se trouve mieux répartie, le centre de gravité du véhicule mieux placé. Les vibrations sont annulées.

La capacité de transport du trolleybus ainsi conçu se révèle nettement supérieure à celle de l'autobus. Le trolleybus peut comporter soit deux portes de dégagement, l'une à l'avant, l'autre à l'arrière, soit une seule, latérale. Il se prête, comme le tramway, à tous les compromis touchant la répartition des places assises et des places debout.

La puissance nécessaire pour une capacité de 60 places ne dépasse pas 80 ch.

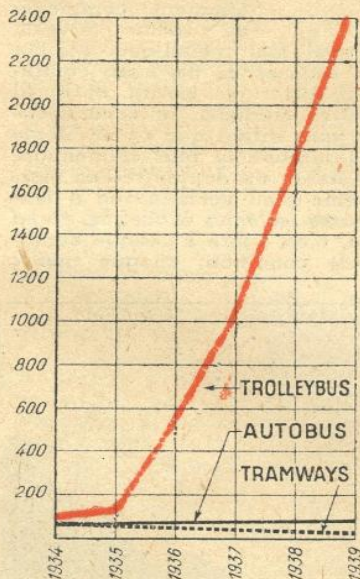


FIG. 3. — VARIATION RELATIVE DU NOMBRE DES VÉHICULES DE TRANSPORT EN COMMUN : TROLLEYBUS, TRAMWAYS ET AUTOBUS, DANS LE COMTÉ DE LONDRES

Ce graphique a été établi en prenant comme base égale à 100 le nombre des véhicules de chaque catégorie existant en 1934. Tandis que les tramways sont en régression et les autobus en léger progrès, la courbe du nombre de trolleybus est rapidement ascendante.

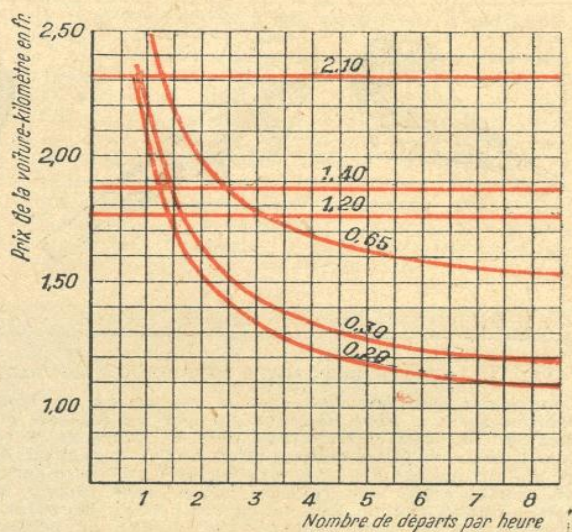


FIG. 4. — DÉPENSES COMPARÉES DU TROLLEYBUS ET DE L'AUTOBUS PAR KILOMÈTRE PARCOURU EN FONCTION DE L'INTENSITÉ DU TRAFIC

On n'a pas tenu compte sur ce graphique des dépenses communes aux deux véhicules. Pour l'autobus à essence, le poste principal est la dépense de carburant et d'huile. Pour le trolleybus, à la dépense de courant, qui est une donnée fixe, suivant les conditions économiques du moment, s'ajoute l'amortissement de la ligne qui coûte d'autant plus cher pour un kilomètre parcouru par une voiture qu'il y a moins de véhicules circulant sur cette ligne. D'où l'allure décroissante du prix de revient du « kilomètre voiture » en fonction de l'intensité du trafic. Les prix ont été établis pour l'autobus en supposant le prix de l'essence égal à 1,20 f, 1,40 f ou 2,10 f. Pour le trolleybus, on a supposé le prix du kWh égal successivement à 0,20 f, 0,30 f et 0,65 f.

Le régime de route d'un trolleybus est de 50 km/h. Les pentes qu'il peut gravir avec aisance atteignent le taux énorme de 12 mètres par 100 mètres. Il en résulte que, dans les pays de montagne, la vitesse commerciale (c'est-à-dire le temps brut du transport entre le départ et l'arrivée) devient beaucoup plus intéressante qu'avec l'autobus. Et comme les démarrages, que le moteur électrique assure en un temps également plus court, entrent au même titre que les pentes dans l'évaluation du temps commercial, l'avantage du trolleybus sur l'autobus thermique se maintient encore en terrain plat. En d'autres termes, le problème de l'accélération qui, dans la circulation moderne surencombrée et pleine d'à-coups, prime celui de la vitesse pure, ne se pose pour ainsi dire pas dans les véhicules électriques. Surtout quand l'adhérence se trouve assurée par pneumatiques. C'est pourquoi, si les tramways doivent se munir de « sablières » contre le patinage éventuel des roues au démarrage, le trolleybus démarre mieux et plus vite que le tramway.

Quant à l'accélération négative — le freinage — le trolleybus, équipé des mêmes timoneries que l'autobus, dispose par surcroît d'une ressource très personnelle : le renversement bien connu qui transforme le moteur en dynamogénératrice avec, comme conséquence, une résistance mécanique à l'avancement. Le courant ainsi produit est renvoyé dans le circuit

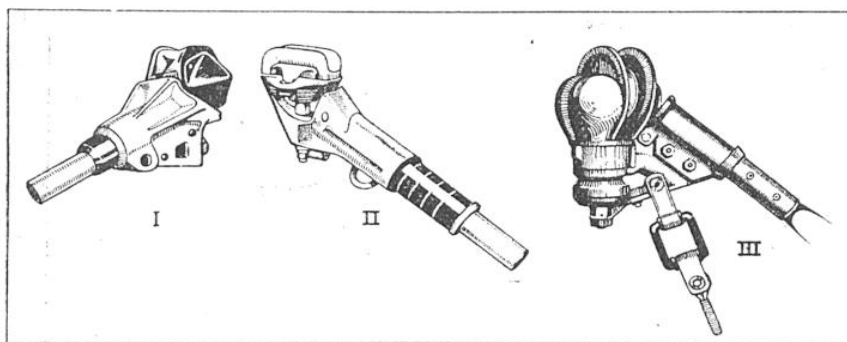


FIG. 5. — TROIS DISPOSITIFS DE PRISE DE COURANT SUR LA VOIE AÉRIENNE

Le premier problème que pose la réalisation du trolleybus est la captation du courant sur une ligne aérienne fixe par un véhicule qui peut s'écarter très nettement de sa voie et aller d'un bord à l'autre de la route. Malgré l'angle parfois considérable du plan vertical projetant la perche et du plan vertical de la ligne et malgré les cahots, le trolley ne doit pas dérailler. Pour cela, on emploie soit un frotteur, soit une roulette qui peuvent pivoter autour d'un axe vertical à leur point d'attache sur la perche. Ainsi la gorge du trolley reste toujours orientée suivant le fil d'amenée du courant. La perche doit être très légère pour diminuer les effets d'inertie dans les changements brusques d'orientation; elle applique très fortement le trolley sur la ligne (la force peut atteindre une douzaine de kilogrammes). En I, frotteur Ohio-Brass. Le poids de la tête de ce trolley est de 2 kg contre 15 kg pour les têtes de trolley des tramways, la perche ne pèse que 13 kg et repose sur une base pesant 27 kg; en II, frotteur Delachaux sur perche à déclenchement. Cette perche, d'une longueur de 6 m, pèse 71,5 kg; elle est munie d'un dispositif de déclenchement qui, lorsque la perche déraillée tend à remonter brusquement sous l'action des ressorts, la ramène dans une position où son extrémité ne peut plus toucher la ligne. On évite ainsi les courts-circuits; en III, roulette adoptée par la Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk.

de ligne. Cet apport est loin d'être négligeable en pays de montagne, chaque trolleybus descendant une longue côte fournissant à son camarade qui la monte une part fort appréciable de la puissance qu'il consomme. Et les « ferrodos », pendant ce temps, ne s'usent pas.

Le prix de revient du kilomètre-voyageur devient ainsi, non seulement inférieur au prix correspondant de l'autobus, mais encore à celui du tramway dont le trolleybus n'a pas les charges d'amortissement. Et comme, en temps normal, le prix de l'essence tend à s'élever de par le nombre croissant des voitures devant un contingent d'importation dont l'intérêt général exige la stabilisation — tandis que le prix de l'électricité ne peut que décroître avec l'extension de l'équipement hydroélectrique du réseau national, les avantages du trolleybus ne sauraient que grandir.

Quelques particularités de la circulation sous une « double ligne » électrique

Une ligne aérienne à deux fils présente nécessairement, pour

son utilisation, des singularités qu'ignorent les tramways à ligne unique.

Et d'abord l'organisation du garage, communément appelé le dépôt.

Si on l'établit suivant le dispositif employé pour les tramways ordinaires, qui, en arrivant, bifurquent aisément sur autant de voies de garage qu'exige leur nombre, on se heurte aussitôt à la difficulté des aiguillages. Dans le cas d'une ligne unique, la polarité électrique, non moins unique, n'offre aucune difficulté spéciale d'isolement. On peut établir un filet aérien, aussi complexe qu'on veut, isolé de la suspension générale en des points choisis comme étant les plus commodes. Or, il s'agit, ici, de suspendre deux réseaux électriquement complexes au même niveau,

confondus en un seul filet métallique. Mailler un filet avec deux espèces de fils aussi contradictoires que le fil électrique positif et le fil négatif, les géomètres étudiant les « connectivités » de l'espace vous diront que ce problème est insoluble. Et l'intuition la plus élémentaire confirme que pour établir un double réseau électrique dans un même plan géométrique il faut ménager des coupures isolantes à chaque nœud du filet d'ensemble, c'est-à-dire à chaque aiguillage. A cette seule condition, chaque maille

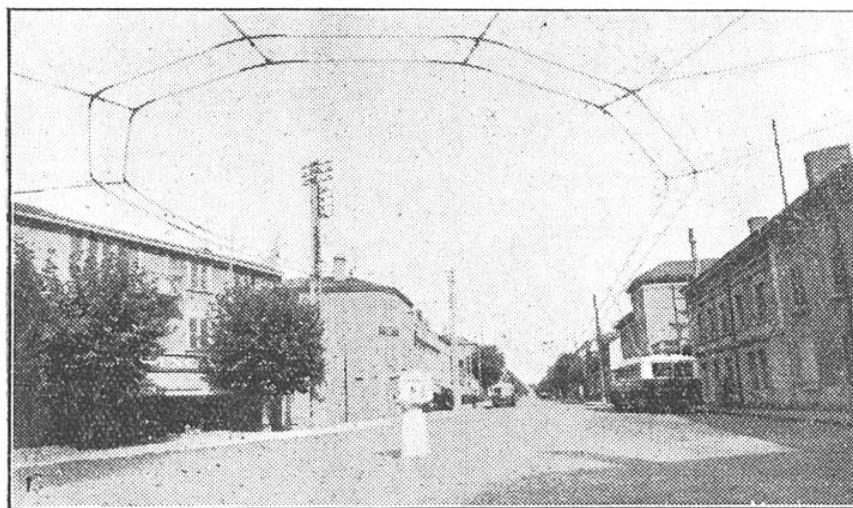


FIG. 6. — BOUCLE DE RETOURNEMENT D'UNE LIGNE DE TROLLEYBUS A LYON (VÉTRA)

pourra se composer de fils d'une polarité différente. Pour passer de l'un à l'autre tronçon de fil, les trolleys subiront, par conséquent, des ruptures de continuité. Ces discontinuités d'alimentation ne peuvent être franchies que par la vitesse acquise. Sur une bifurcation routière, c'est aisé : mais ici nous sommes à l'arrêt ou tout au moins à son voisinage. « Marchez au pas », est-il affiché à l'entrée de la remise.

Il n'est que deux solutions. La première consiste à munir le véhicule d'une batterie d'accumulateurs qui le rendrait provisoirement autonome. Elle a été envisagée d'autant plus

volontiers qu'elle permettrait à la voiture de quitter momentanément la ligne principale, au cours de son service routier, afin de pousser des pointes latérales vers des groupes de voyageurs isolés, dans des hameaux excentriques. L'accumulateur auxiliaire se justifie donc sur les lignes rurales.

Tout indiquée pour les réseaux urbains, une autre solution revient à organiser, dans les dépôts, la rentrée et la sortie des véhicules à sens unique. En entrant comme en sortant, les véhicules ne rencontrent qu'un minimum de « pattes d'oie » de la double ligne aérienne. Ils peuvent les franchir par leur vitesse propre, en allant s'endormir sur les trois ou quatre voies parallèles de repos qui les attendent, et dont l'une, par exemple, sera réservée aux immobilisations pour réparations.

La giration continue s'impose également aux trolleybus à chaque tête de ligne, puisque le trolleybus ne comporte qu'un seul poste de conduite — à l'encontre du tramway qui en a deux parce qu'il peut adopter deux sens de marche. Il faut donc réserver au trolleybus, sur ces têtes de ligne, un espace lui permettant de virer sur un rayon minimum de 9 mètres. Cela fait un « rond-point » de 20 mètres de diamètre.

On peut, il est vrai (comme du reste sur tous les points du parcours, à condition que la route y soit assez large), opérer comme font les autobus thermiques, par manœuvres « sur place », avec marches « arrière » et « avant » alternées. Quand la voiture a terminé son « tête-à-queue », elle se trouve avec ses deux perches dirigées vers l'avant et croisées. On les retourne et on les décroise. Tout est dit. Mais attention, dans ce cas, aux courts-circuits d'une perche à l'autre.

On peut encore opérer le tête-à-queue au moyen d'un triangle curviligne concave que la voiture utilisera pour évoluer en marche arrière. Mais rien ne vaut la giration continue.

Le trolleybus au pays de l'essence

Un omnibus électrique à trolley fonctionna régulièrement, en 1900, dans l'enceinte de l'Exposition Universelle. Éphémère, son succès fut du même ordre que celui du trottoir roulant — dont nul ne prévoyait qu'il deviendrait « escalier mécanique » dans un métro qui, circulant déjà entre Vincennes et Maillot sans aucune velléité d'enfoncement, n'avait pas besoin de cet ascenseur continu. Ce premier trolleybus français n'était, du reste, qu'une réplique de celui qui s'était essayé, dix-huit ans

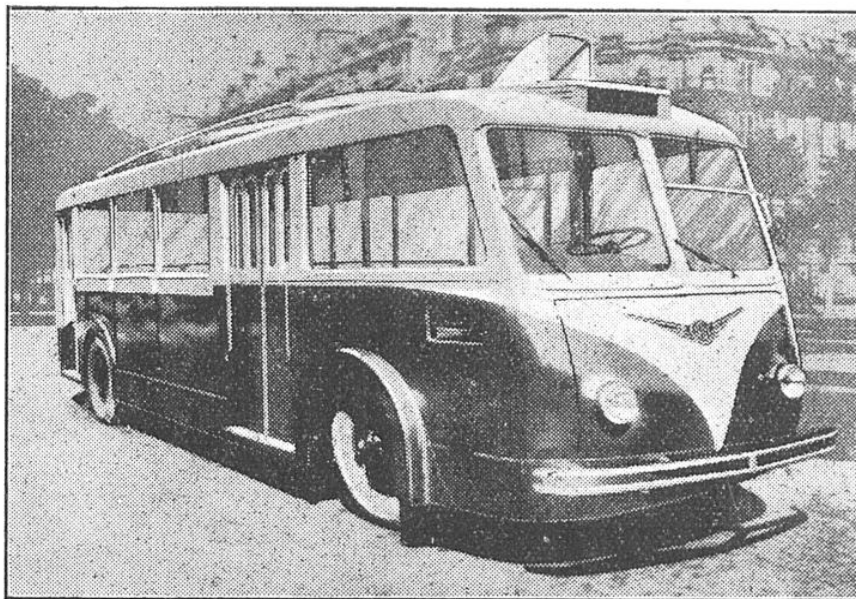


FIG. 7. — UN TROLLEYBUS DE LA SOCIÉTÉ DES TRANSPORTS EN COMMUN DE LA RÉGION PARISIENNE (VÉTRA)

auparavant, avec le même insuccès pratique, à Berlin.

Plus intéressante que l'invention (assez peu sensationnelle comme on voit) est la manière progressive dont le trolleybus a conquis et développé chaque jour sa position de transporteur public.

Le caractère de ce développement est nettement fonction des besoins spéciaux, disons de l'économie, des pays qui l'adoptèrent.

Les États-Unis, pays du pétrole et qui possèdent autant d'automobiles que le reste du monde, sont maintenant à la tête des usagers du trolleybus. C'est que le transport individuel, si agréable en vacances, devient détestable quand il s'agit de traverser rapidement, pour affaires, une banlieue aussi encombrée que celle de New York. Il est plus sensé, là où finit le tube ou l'elevated, de se grouper dans un omnibus confortable, que de s'élancer dans la corrida générale, en jouant du klaxon. Or, il s'est trouvé que l'autocar thermique ne valait déjà pas, à cet égard, le tramway dont les seuls torts étaient ceux que nous avons énumérés. L'essor du trolleybus s'est donc traduit, en 1935, par une montée en chandelle (voir le graphique page 180). Mais, dès 1927, la courbe s'annonçait avec l'allure caractérisant tous les

phénomènes naturels parvenus à maturité d'éclosion. En 1940, les Etats-Unis possédaient 2 255 trolleybus desservant 2 270 km de routes électrifiées.

Ces nombres absolus, qui n'ont jamais grande signification dans l'auscultation économique, doivent être considérés relativement à l'ensemble des divers modes de transport urbain. L'étude de leur statistique nous révélerait une bien curieuse stagnation des autobus thermiques aux Etats-Unis, dès 1937. C'est le phénomène bien connu de saturation. Il est visiblement atteint, au pays de l'essence, pour le transport urbain en commun. Il ne manquera pas de s'y manifester, à plus ou moins brève échéance, dans le domaine individuel de l'auto. En tous cas, notons bien le recouvrement par superposition des diverses techniques du transport en commun. Il n'y a pas d'élimination. Par contre, si nous pouvions pousser cette étude, nous constaterions une spécialisation croissante, une « différenciation organique » comme disent les biologistes, dans cet aspect de la circulation urbaine.

En lisant une thèse remarquable sur ce sujet, de M. Parodi : *Les Transports en commun dans la cité moderne*, nous y retrouvons, à propos des capitales actuelles et de leurs immenses banlieues, la confirmation du célèbre aphorisme que « la route crée la ville ». Aux colonies, dans la jungle, rien n'est plus évident. Mais c'est encore vrai dans la jungle que figurent les anarchiques métropoles nées un peu partout dans le monde. New York et Londres aux six ou sept millions d'habitants (à un million près, le nombre dépend de la délimitation administrative toujours en retard sur les faits), modifient quasi instantanément l'aspect de tel ou tel faubourg dès qu'une municipalité décide l'installation d'une ligne bien entendue de transport en commun.

Le trolleybus en Grande-Bretagne

C'est à Londres, la plus anarchique des agglomérations humaines, mais aussi la plus sensible aux données empiriques, de par l'amour égoïste avec lequel chacun y cultive son bien-être, que ce phénomène de transformation « à vue d'œil » se révèle le mieux.

Le conseil municipal de Londres — véritable Etat dans l'Etat remet aux « Publics trusts » le soin d'interpréter l'intérêt privé au mieux des possibilités techniques. On ne trouve dans ces organismes (des Offices, dirions-nous) aucun administrateur et même aucun actionnaire, ni de l'électricité, ni de l'auto, ni de l'aviation, ni du charbon, ni du pétrole. En entrant au *Public trust* l'homme choisi est prié de vendre tous ses titres. Roialement payé, il va donc

examiner le problème de sang-froid. Et le résultat n'est pas mauvais. On ne supprime pas les autobus à impériale — d'une capacité de transport condensée — pour y substituer des tramways où l'œil recherche soit le wagon-lit, soit le restaurant. On n'y supprime pas la ligne électrique à grand rendement quand précisément elle peut, délaissant le rail, se muer en ligne de trolleybus — à étage, naturellement —.

Ce n'est pas esthétique. Mais la circulation s'en trouve bien. On ne trouve pas à Charing-Cross une « gare de banlieue » hybridée d'une « gare de grandes lignes » capable de se vanter, comme notre Saint-Lazare, d'évacuer 50 000 banlieusards en une heure (ce qui est en effet techniquement remarquable). On s'arrange pour qu'un problème aussi stupide, de circulation urbaine n'ait jamais à se poser. D'autre part, quand existe une voie ferrée, des grandes lignes capables de raccourcir un trajet du métro, celui-ci s'engage sur la grande ligne entre deux express, pour reprendre sa voie autonome au point opportun. C'est de l'empirisme, répétons-le, mais, tous comptes faits, préférable aux visions abstraites qui enrayent la circulation urbaine et bien d'autres encore au pays de Descartes.

En Angleterre, aucun essai de trolleybus avant 1911 ! Donc onze ans de retard sur Paris et trente sur Berlin. Mais dès qu'apparaissent les difficultés de la guerre (1918 et 1919) l'expérimentation technique (d'ailleurs mise en route depuis 1912, à Leeds, à Bradford, à Rotherdam) se développe en compagnies d'exploitation spécialisées. Tant et si bien que le nombre de trolleybus britanniques atteignait 691 en 1932 ; 1 095 en 1935 et 2 585 en 1938. La longueur des lignes équipées passait de 410 km en 1932 à 1 020 km en 1938.

Mais ici, dans ce pays deux fois plus petit que la France pour une population égale à la nôtre, l'intensité du trafic est beaucoup plus significative que son extension. En 1938, la distance parcourue par les trolleybus, dans une trentaine de villes britanniques, a dépassé 145 millions de kilomètres, soit trois mille fois le tour du monde (fig. 2).

Le comté de Londres pris à part possédait, en 1939, 1 411 trolleybus et 377 km de lignes exploitées.

Un dernier renseignement expressif est fourni par la comparaison des accroissements relatifs du nombre des différents véhicules (trolleybus tramways, autobus), dans le Comté de Londres, avec comme base (100) les nombres de 1934 (fig. 3).

Le trolleybus en Allemagne et en Italie

L'Allemagne et l'Italie présentent un contraste des plus intéressants dans le problème du

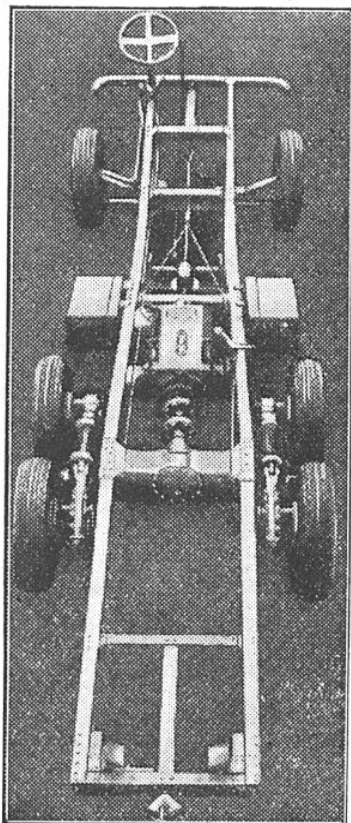


FIG. 8. — LE CHASSIS D'UN TROLLEYBUS ÉQUIPÉ DE SON MOTEUR ÉLECTRIQUE (RHEINISCH-WESTFÄLISCHES ELEKTRIZITÄTSWERK)

trolleybus. En Italie, la houille blanche constitue l'essentiel de la force motrice nationale; en Allemagne, c'est le charbon qui tient ce rôle, bien que les Alpes bavaroises et les autrichiennes figurent de puissantes sources hydro-électriques. Cette position contrastée des deux énergies naturelles dans chaque pays doit évidemment retentir sur les deux modes comparés du transport en commun.

Largement approvisionnée de carburant synthétique grâce à son charbon (trois fois mieux exploité que le charbon anglais, puis les 300 puits allemands de 1930 produisaient déjà autant que les 1 100 puits britanniques), l'Allemagne aurait pu développer plus qu'elle ne l'a fait ses réseaux urbains d'autobus. Cependant, tandis qu'elle préférait ses magnifiques autoroutes pour la circulation à venir, elle conservait et entretenait son réseau de tramways urbains. Tout cela, pour des motifs d'intérêt public mutuellement réfléchis.

En effet, « presque tous les réseaux de tramways allemands étaient à la veille de la faillite, en 1932 », écrit M. Parodi. Seulement, comme il était essentiel que ces réseaux, en parfait état d'entretien, continuassent leur service, le gouvernement du III^e Reich entreprit une ardente campagne pour leur conservation. « Ses efforts ont abouti, continue M. Parodi, puisque, dès 1936, on pouvait constater que le tramway conservait la suprématie sur tous les autres modes de locomotion et que son importance n'avait fait que croître. » D'après les chiffres publiés par le Dr Dorpmüller, ministre des Transports, il y avait en Allemagne en 1938 : 176 entreprises de tramways desservant 5 895 km de ligne. En 1939, l'importance prise par les tramways dans les transports en commun s'était encore accentuée, le carburant étant réservé à l'armée : le trafic tramway avait augmenté de 13,5 pour cent. A part Berlin, largement doté d'autobus, Dresde, qui vient immédiatement après la capitale pour ce mode de transport urbain, ne possédait que 75 autobus et 2 remorques...

Il n'est pas besoin d'un grand effort d'imagination pour comprendre avec quelle aisance ces lignes électrifiées de tramways pourront, au lendemain de la guerre, se transformer en lignes de trolleybus, avec le minimum de frais.

Aussi bien, la technique du trolleybus dont nous avons vu que l'Allemagne pouvait revendiquer l'initiative a été soigneusement tenue à jour. La courbe du développement du trolleybus en Allemagne est significative à cet égard (fig. 1). A la fin de 1938, l'Allemagne n'avait que 68 kilomètres de lignes équipées pour 34 trolleybus... Quand le besoin s'en fera sentir, grâce à la sage réserve de ses tram-

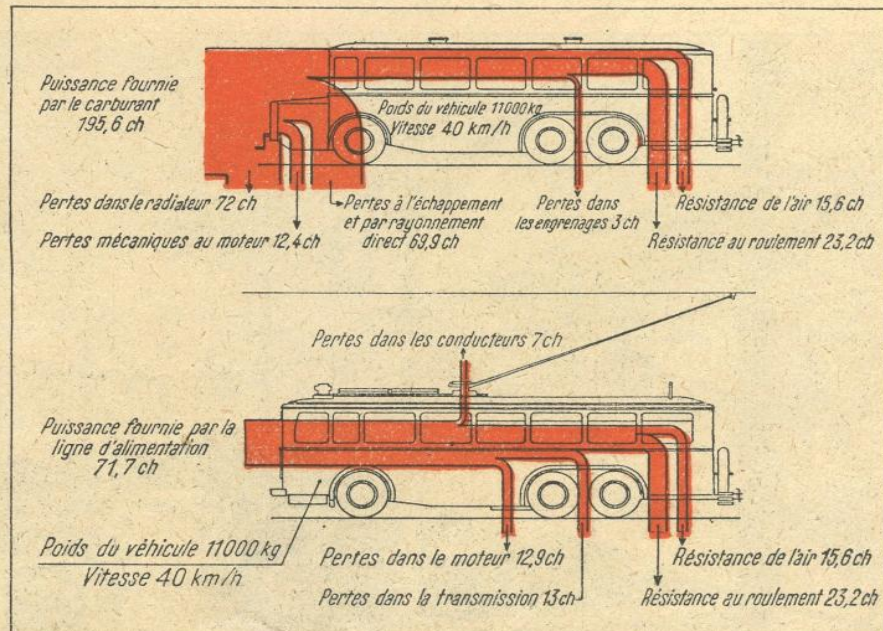


FIG. 9. — LE BILAN DES PERTES D'ÉNERGIE DANS UN AUTOBUS A ESSENCE ET DANS UN TROLLEYBUS

Dans les deux cas, il s'agit d'un véhicule de 11 000 kg se déplaçant à la vitesse de 40 km/h. Il faut fournir à l'autobus à essence, sous forme de carburant, une puissance de 195,6 ch, tandis que la ligne aérienne fournit seulement 71,7 ch au trolleybus, soit 36,6 % de l'énergie dépensée par l'autobus à essence. La puissance perdue dans le véhicule à essence se répartit comme suit : radiateur, 72 ch; pertes mécaniques dans le moteur, 12,4 ch; pertes à l'échappement et par rayonnement direct, 69,9 ch; pertes dans les engrenages, 3 ch; résistance au roulement, 23,2 ch; résistance de l'air, 15,6 ch. Au contraire, dans le trolleybus, les pertes ne sont que de 7 ch dans les lignes électriques, 12,9 ch dans le moteur, 13 ch dans la transmission. Les pertes par la résistance au roulement et la résistance de l'air sont les mêmes pour les deux véhicules.

ways, elle pourra prendre la première place dans ce mode de locomotion.

En Italie, par contre, le trolleybus n'a cessé de se développer en raison de la pénurie de carburant, à la mesure du réseau électrique lui-même. C'est dans ce pays que le gouvernement s'est le plus intéressé à la question. Toute ligne de tramway supprimée y doit être obligatoirement remplacée par une ligne à trolleybus. Les autobus sont exclus de tout remplacement de ce genre. De plus, pour toute nouvelle ligne de transport en commun, le trolleybus devra être utilisé. Les seules exceptions admises relèvent de conditions techniques nettement spécifiées.

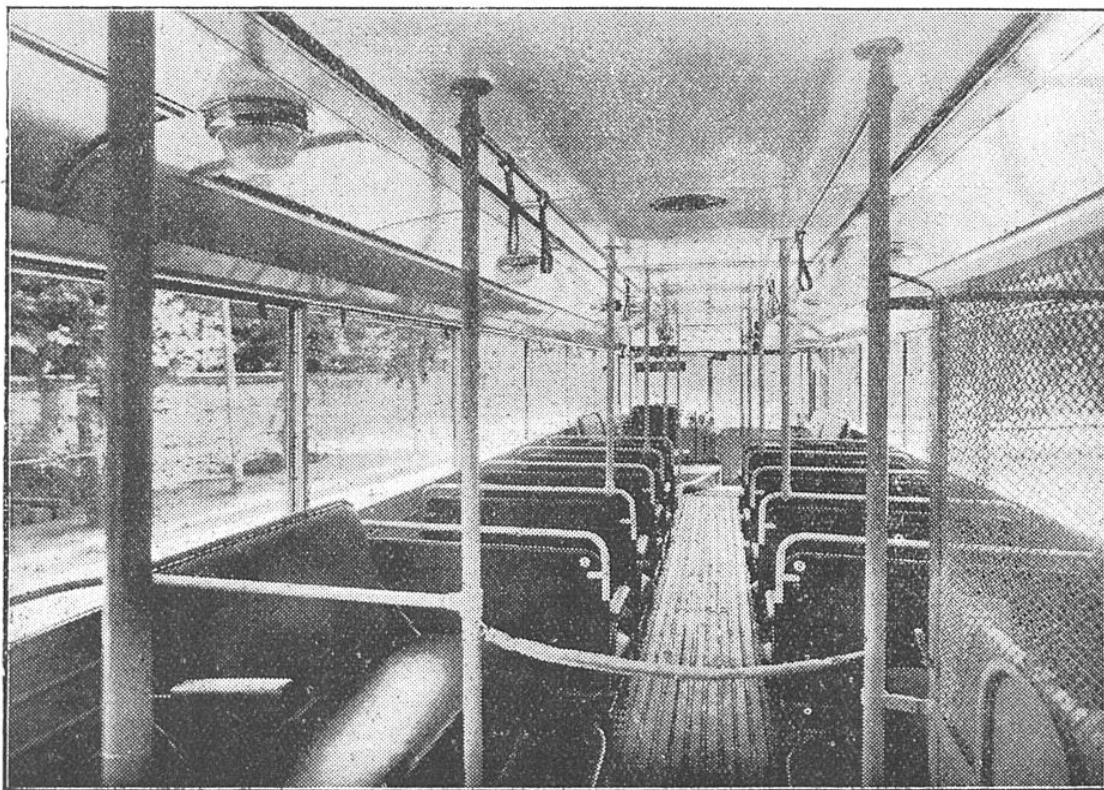
Aussi, rien que pour Rome, l'adoption du trolleybus a permis une économie annuelle de 3 650 000 litres d'essence. La consommation d'énergie électrique, par contre, s'est élevée à 8 460 000 kWh tandis que celle des lubrifiants tombait de 39 tonnes à 16 tonnes. C'est la

preuve que, dans tous les pays réduits à l'austérité de ses énergies naturelles, le trolleybus constitue la meilleure solution du problème des transports urbains ou de banlieue.

La politique de l'énergie

« La France est si pauvre en énergie provenant de son sous-sol qu'elle ne trouve pas dans

obtenus par la politique des carburants de remplacement (gaz des forêts, alcool, benzol...). Mais il nous faut bien marquer à quel point le produit de remplacement n° 1 n'était autre que l'énergie hydroélectrique des Alpes, des Pyrénées, du Plateau Central — dont la fourniture est perpétuelle, une fois l'équipement établi, et d'un prix de revient décroissant à mesure que s'étend le réseau, que se développe la consommation. Quant à l'utilisation du



T W 25416

FIG. 10. — VUE INTÉRIEURE DES NOUVEAUX TROLLEYBUS EN SERVICE A LYON (VÉTRA)

A droite, au premier plan, le logement du receveur. Les voyageurs circulent de l'arrière à l'avant et paient leur place au passage devant le logement du receveur.

ses mines tout le charbon nécessaire à la satisfaction de ses besoins : en face d'une consommation qui a oscillé entre 70 et 90 millions de tonnes, l'ensemble de nos mines n'a produit que 55 à 60 millions de tonnes.

« En ce qui concerne notre production de carburants liquides, la situation est encore plus défavorable. » La consommation française s'élevait à plus de 2 millions de tonnes. La production nationale à 130.000 tonnes d'essence. Nos participations à l'exploitation du pétrole de l'Irak nous assuraient à peine 1 million de tonnes d'essence. Tout le reste devait donc être importé de l'extérieur.

En fait, le déficit de houille se traduisait par une dette de 5 milliards dans la balance de nos comptes avec l'étranger et celui des carburants par 3 milliards — soit au total 8 milliards d'importations qu'il nous fallait et nous faudra payer à l'étranger.

Nous n'avons pas à examiner ici les résultats

charbon lui-même dans les centrales électriques, sachons que la tonne-kilomètre remorquée électriquement dépense 26 watts-heure, soit 12 grammes de charbon aux chaudières de la centrale, ou 13 grammes en tenant compte des pertes du transport par la ligne, au lieu de 70 grammes consommées, pour ce même travail, par les locomotives. Sur la route, le charbon transformé en essence de synthèse paye moins encore en travail utile. Le kilowatt-heure obtenu par l'essence synthétique coûte 0,55 l de ce produit, qui lui-même exige une dépense de 2 kg de charbon. Le trolleybus, recevant à ses bornes l'énergie électrique, encaisse 2 kWh pour ces mêmes 2 kg de houille brûlée à la centrale, — soit une économie de 50 pour cent. Or, insistons-y, la part de l'énergie hydraulique dans la production de l'électricité française s'élève à 58 pour cent du total actuellement consommé. Et ce pourcentage ne peut que s'élever encore.

Le programme de « réélectrification » de nos transports en commun

Au mois de juillet 1941, le nombre des trolleybus en circulation dans l'Empire français « élevait à 148 unités. Certaines compagnies de transport, parmi lesquelles la *Société des Transports en commun de la Région Parisienne*, ont mis à l'étude un programme de fabrication de 100 trolleybus nouveaux. Les lignes exploitées correspondantes se mesurèrent par 200 km. En temps normal, cette transformation correspondrait à une économie de 400 000 litres d'essence. Au temps présent, que ne « vaudraient » pas ces 400 000 litres d'énergie-essence, métamorphosés en électricité, si l'on pouvait se procurer en temps utile les 400 ou 600 tonnes de cuivre nécessaires à la réalisation du projet électro-technique !

Pour l'instant, deux lignes seulement, d'une longueur totale de 20 km, sont en cours d'équipement et 40 trolleybus en construction pour la région parisienne. Soit 20 millions seulement de crédits engagés sur les 200 que l'Etat a accordés.

Si, jetant un regard optimiste sur l'avenir, on envisage le problème de la transformation de la plupart des autobus et cars de service public en ces trolleybus alimentés d'énergie nationale, il faut prendre pour base la circulation française de 1938.

« Sur les 2 270 000 voitures à essence qui circulaient en France à cette époque et qui consommaient plus de 3 milliards de litres d'essence, il y avait 10 000 autobus ou cars de services publics urbains et 110 000 autobus ou camions à long parcours. Ne retenons, pour la transformation envisagée, que les 10 000 autobus urbains. Ces véhicules effectuaient annuellement un parcours moyen de 30 000 km avec une consommation de 55 litres d'essence aux 100 km. Soit 165 000 000 litres d'essence, annuellement. Les 3 700 autobus parisiens (compris dans les 10 000) consommaient à eux seuls 58 pour cent de cette essence. En défalquant les véhicules qui pourraient continuer de circuler au gaz de ville ou au gaz de forêt, ce seraient 7 500 véhicules (dont 2 500 parisiens) qui, au total, devraient en bonne logique subir la transformation électrique. Mais comme le rendement des trolleybus est supérieur, 6 000 voitures électriques suffiraient à constituer le parc.

Matières à trouver : 1 200 tonnes de cuivre pour les voitures et 500 000 tonnes pour les lignes.

La consommation à prévoir pour notre équipement électrique routier

La réalisation d'un tel programme — bien modeste relativement à celui qu'aurait pu donner la transformation toute simple des anciens tramways parisiens — dépend de deux facteurs dont l'un échappe à notre volonté mais dont le second ne tient qu'à elle. Le premier facteur est, nous l'avons dit, celui de notre ravitaillement en matières premières — dont le cuivre, si avidement consommé par la guerre. Le second, c'est notre production hydro-électrique — plus exactement nos possibilités en énergie.

Notre territoire peut être considéré, du point de vue électrique, comme partagé en deux zones délimitées par une frontière que jalon-

nent approximativement les villes de Strasbourg, Metz, Reims, Paris, Nantes. Au nord de cette ligne, l'électricité provient de centrales thermiques installées sur les bassins houillers, dans la région parisienne et dans le voisinage des ports où débarque le charbon exotique. La seconde zone, méridionale, fournit l'électricité hydraulique, elle-même répartie en trois espèces : l'électricité *glaciaire*, surtout alpine, avec un étiage d'hiver très net ; l'électricité *pluviale* du Plateau Central, avec étiage d'été, et l'électricité *pyrénéenne* qui participe des deux origines : les pluies amassées dans les lacs et les glaciers.

La puissance thermique installée atteint 2 800 000 kW. La puissance hydroélectrique, 3 888 000 kW. De 1929 à 1939, la production hydraulique d'énergie est passée (en millions de kilowatts-heure) de 5 995 à 11 400, tandis que la production thermique demeurait stable, aux environs de 8 000.

En face de cette production, la quantité d'énergie consommée pour la traction, c'est-à-dire en fin de compte, pour le transport, n'a pas cessé de croître :

En 1939, la traction électrique intervenait à raison de 6,7 pour cent de la consommation globale, avec 1 185 millions de kWh, soit plus du double de ce qu'elle consommait en 1929 (530 millions de kWh). L'augmentation de la consommation d'énergie par les transports est donc beaucoup plus considérable que celle de la consommation globale, en France — et cela malgré l'éviction des tramways parisiens. C'est dire que l'accroissement à prévoir comporte un retard « à rattraper ». Et c'est là, toujours, un choc en économie générale.

Les 6 500 voitures électriques à créer entraîneront un accroissement de consommation de 350 millions de kWh. C'est une demande très raisonnable en présence des 11 milliards 400 millions d'origine hydroélectrique disponibles à l'heure présente.

En extrapolant, avec M. Parodi, nous pourrions envisager la consommation qu'entraînerait la transformation électrique des 170 000 voitures de voirie et de livraison à faible distance actuellement en service, qu'on pourrait équiper avec des accumulateurs. En tablant sur un parcours journalier d'environ 70 km, il faudrait compter sur une consommation annuelle de 2 milliards 800 millions de kWh. La charge de ces véhicules s'effectuant de nuit, cette quantité se trouverait en grande partie disponible dès maintenant, la majeure partie de la production globale française correspondant à une consommation de jour.

« Ainsi, si l'on envisage, en plus de l'électrification des transports urbains de surface, la transformation en véhicules à accumulateurs de toutes les voitures dont les caractéristiques d'utilisation le permettent », notre consommation routière d'électricité se contenterait de 3 milliards 350 millions de kWh. Mais c'est là, d'ores et déjà, le tiers de notre production hydraulique.

Il faut donc ne pas hésiter à développer celle-ci, aussitôt que le permettront les circonstances. C'est bien à tort que certains esprits chagrins du temps des vaches grasses taxaient de mégalomanie la magnifique extension du réseau électrique français. Il n'est toujours pas assez grand.

Jean LABADIE.

16

L'USINE D'ÉQUARRISSAGE, SOURCE DE CORPS GRAS ET D'ENGRAIS

par René MARTIN

Les connaissances acquises depuis cent ans sur la transmission des maladies infectieuses ont définitivement condamné la dangereuse pratique de l'enfouissement des animaux morts, dont les restes peuvent contaminer les eaux souterraines, les sources et les puits, et constituent autant de redoutables foyers d'infection. La destruction des débris animaux, si elle s'impose par des considérations d'hygiène, peut d'ailleurs devenir avantageuse au point de vue économique, si elle est conduite rationnellement : la cuisson énergique et la dessiccation des viandes permettent en effet d'en extraire des produits de valeur : graisses industrielles et farines de viande pouvant servir d'engrais pour le bétail et les cultures.

L'UTILISATION industrielle des déchets animaux est relativement récente et ce n'est que vers 1750 qu'elle a commencé à fournir en quantité importante des graisses animales.

Vers cette époque, on se contentait d'écorcher les animaux morts pour bénéficier de la valeur de la peau. Plus tard, on a reconnu une haute valeur fertilisante aux déchets animaux et depuis une trentaine d'années seulement, on utilise les farines de viande pour la nour-

riture animale. L'équarrissage rationnel est donc une industrie assez nouvelle.

Le bétail mort et le bétail saisi

Le transport du bétail vers les grands centres d'abatage — formule moderne et rationnelle — donne une mortalité assez élevée, particulièrement pour les porcs.

Les chiffres moyens obtenus au marché aux bestiaux de La Villette sont voisins des suivants :

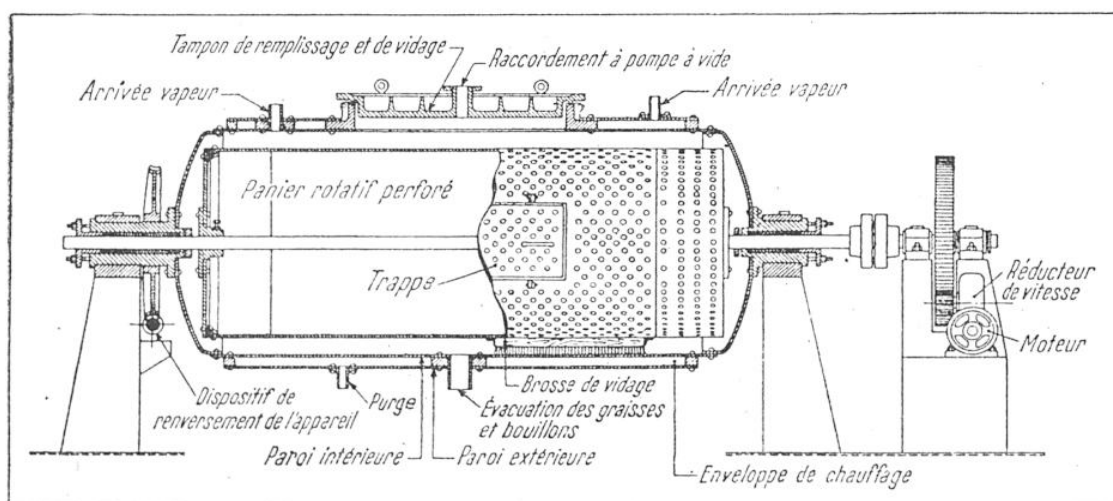


FIG. 1. — SCHÉMA D'UN CUISEUR-DESSICCATEUR À PANIER ROTATIF POUR LE TRAITEMENT DES DÉCHETS ANIMAUX (SYSTÈME MARLION)

Cet appareil est conçu pour recevoir au besoin des animaux entiers. Ceux-ci sont introduits par de larges ouvertures dans le panier rotatif perforé. L'autoclave est à double paroi : la paroi extérieure qui supporte la pression de la vapeur à l'intérieur de la double enveloppe et la paroi intérieure qui entoure le panier tournant, à l'intérieur duquel cuit la viande. Pendant le remplissage et le fonctionnement, la paroi extérieure est placée de telle sorte que le tampon de remplissage se trouve vers le haut. Le panier rotatif dans lequel la cuisson et le séchage pour faciliter l'action de la vapeur sur les viandes et provoquer la division des gros morceaux de viande cuite en éléments de petites dimensions et pour détacher la viande des os. Quand le séchage est terminé, on décharge l'appareil en plaçant vers le bas le tampon de remplissage et de vidage, et des brosses fixées sur le panier rotatif mis en mouvement dirigent la matière à sortir de l'appareil vers le tampon de vidage et, ainsi, vers l'extérieur.

Gros bétail	0,10 à 0,16 %
Veaux	0,10 à 0,20 %
Moutons	0,08 à 0,14 %
Porcs	0,20 à 0,50 %
Solipèdes	0,30 à 0,60 %

Les saisies de viandes non consommables varient de 0,35 à 1,2 %.

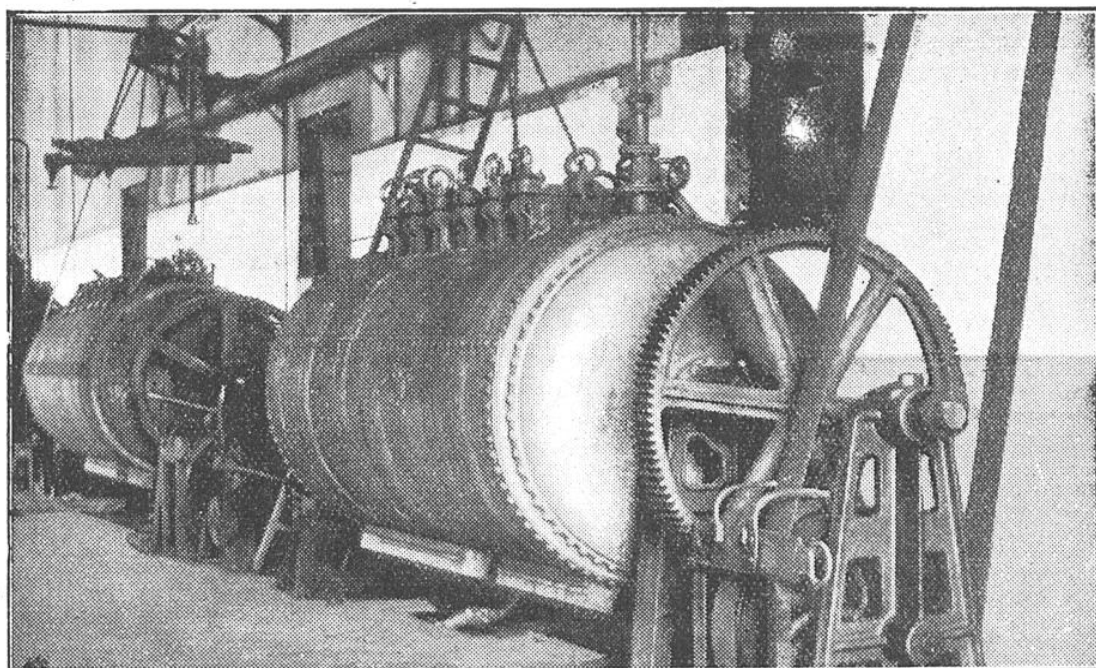
A ces chiffres s'ajoutent les animaux morts chez l'éleveur; ceux-ci étaient autrefois enfouis; maintenant ils sont en principe livrés à l'équarrissage, quoique l'on constate encore trop souvent l'utilisation de l'enfouissement, pratique

chloréthylène ou ceux détruisant les matières par action d'acide sulfurique ou de soude.

Ces procédés — peu employés — ont pourtant été l'objet de perfectionnements remarquables, tels que l'extraction des graisses en atmosphère de gaz inerte, le séchage préalable des viandes, etc...

Mais ils sont utilisés dans des usines très spécialisées et les résultats financiers qu'ils donnent sont trop décevants pour encourager leur emploi.

Nous ne parlerons pas non plus de l'inciné-



T W 25408

FIG. 2. — UNE BATTERIE D'AUTOCLAVES A PANIER DE 1.500 KG DE CAPACITÉ

On reconnaît sur la photographie les organes extérieurs de l'appareil décrit à la figure 1 : tampon de fermeture, arrivée de vapeur, commande de rotation du panier par engrenages et courroies.

très préjudiciable à l'intérêt général et qu'il conviendrait de supprimer complètement.

Les animaux morts ou saisis auxquels s'ajoutent les déchets d'abattoirs alimentent les usines d'équarrissage.

A titre d'indication, une ville comme Lyon traitait avant guerre par an (année 1934) :

Bêtes saisies aux abattoirs.....	1.351 têtes.
Animaux morts au marché aux bestiaux	162 —
Animaux morts à l'extérieur.....	188 —
Boyaux et divers déchets.....	155 t.

L'ensemble de ces matières premières représentait approximativement 3 000 kg à traiter par jour ouvrable.

Leur valeur pécuniaire est très faible pour ne pas dire nulle; ce n'est qu'après avoir subi un traitement approprié que ces matières sont valorisées commercialement.

Les méthodes de traitement

Nous ne citerons que pour mémoire les procédés utilisant les dissolvants chimiques tels que benzine, essence, sulfure de carbone, tri-

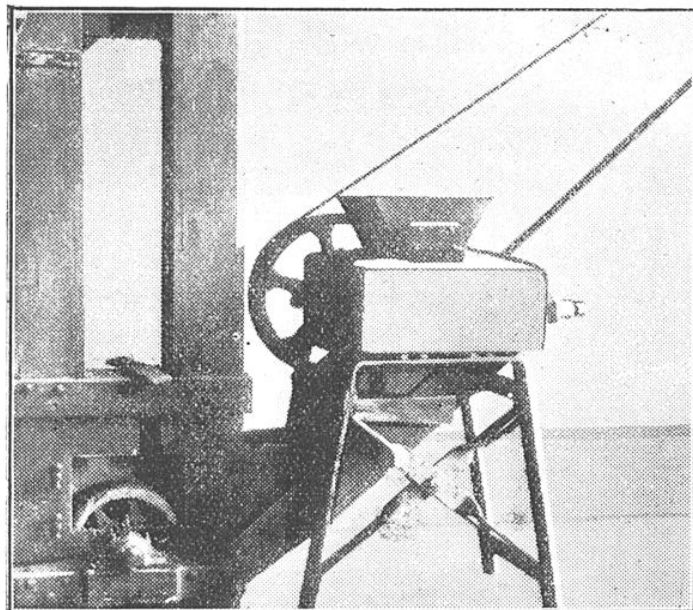
ration qui est un procédé sans doute hygiénique, mais qui, trop brutal, détruit des matières premières très précieuses.

Nous ne décrirons d'une façon détaillée que le procédé d'extraction des graisses et de stérilisation au moyen de la vapeur d'eau sous pression, procédé moderne qui est le seul employé actuellement dans les usines répondant à des conditions d'hygiène suffisantes.

La cuisson à l'autoclave

Les viandes à traiter sont placées dans un cuiseur dessiccateur plus communément appelé « autoclave ». Celui-ci peut être horizontal ou vertical. Il est généralement constitué par un cylindre en tôle pouvant résister à une pression intérieure de 4 à 5 kg/cm²; les appareils horizontaux perfectionnés possèdent une double enveloppe extérieure permettant de chauffer l'enveloppe intérieure, ce chauffage se faisant toujours à la vapeur à 4 à 5 kg/cm².

L'appareil possède une très grande ouverture permettant l'introduction d'animaux entiers afin qu'on puisse traiter les animaux conta-



T W 25409

FIG. 3. — BROYEUR A CYLINDRE POUR LA VIANDE ET LES OS

Ce broyeur, auquel la viande desséchée est amenée par un élévateur, ensache la viande après l'avoir réduite en farine.

gieux, comme l'exige d'ailleurs une loi très récente, sans avoir à les dépecer.

Ce dernier dispositif est le plus employé (fig. 1). L'introduction de la vapeur dans l'enveloppe extérieure permet de chauffer l'appareil sans mélanger de la vapeur d'eau au produit à traiter.

Lorsqu'une température suffisante est obtenue et que les possibilités de condensation de vapeur d'eau sont ainsi réduites le plus possible, la vapeur est admise à l'intérieur de l'appareil.

Les viandes se cuisent et les graisses fondent, car, en raison de la pression de la vapeur, la température est de l'ordre de 130° C. L'ensemble des matières est stérilisé.

Afin de faciliter la cuisson, de la rendre homogène et d'augmenter le rendement en graisses, les viandes sont brassées au moyen de la rotation du panier perforé ou de bras malaxeurs.

Au bout de quatre à cinq heures environ, la cuisson proprement dite est terminée.

Pendant cette opération, les graisses fondues et mélangées à de l'eau condensée sont reçues dans un appareil récepteur-séparateur qui fonctionne sous la même pression de vapeur que l'appareil de cuisson. Cette opération de passage du cuiseur dans le récepteur séparateur se fait généralement par simple gravité.

Dans ce dernier appareil, les graisses, plus légères que

l'eau, surnagent. Leur séparation se fait par des robinets d'extraction placés à des hauteurs convenables.

Un tube de niveau permet de contrôler l'opération. Les graisses sont reçues dans des récipients où elles sont accumulées; lorsque la quantité disponible est suffisante, une nouvelle fusion permet un certain raffinage de ces produits.

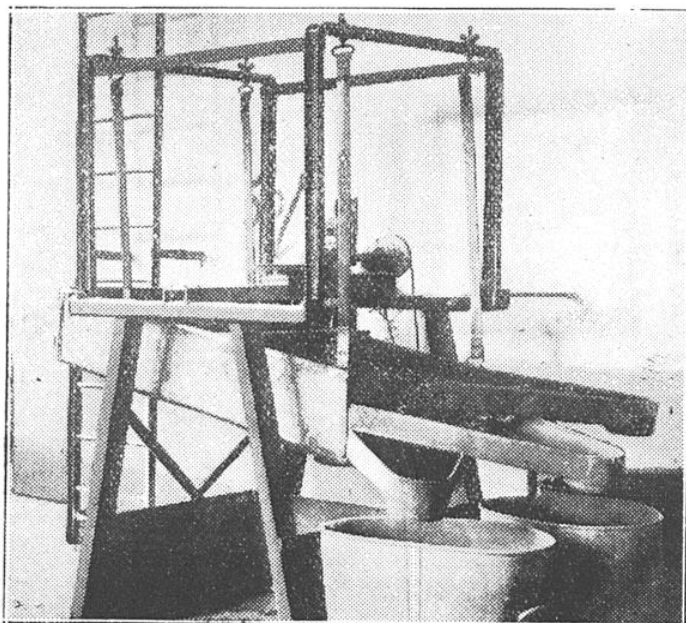
Quant aux viandes cuites laissées à l'intérieur de l'autoclave, elles sont soit séchées à l'air libre, soit, ce qui est beaucoup mieux, séchées sous vide. Celui-ci est alors fait dans l'appareil au moyen d'une pompe à vide humide.

Pendant cette opération de séchage, la vapeur est admise à l'intérieur de la double enveloppe, afin de maintenir une température suffisante à l'intérieur de l'appareil.

Les produits obtenus

En plus des cuirs qui sont dirigés sur les tanneries, des os verts, qui broyés font un très bon engrais, des crins, etc., obtenus à la boucherie lors du dépeçage des animaux, on obtient par la cuisson des graisses et des poudres de viande mélangées d'os cuits.

Les graisses (suif), de qualité inférieure, sont employées uniquement à des usages industriels : industrie du cuir, fabrication des savons, etc.



T W 25407

FIG. 4. — APPAREIL DE CLASSEMENT DES PRODUITS DE BROYAGE DES COQUILLES D'HUITRES ET DE MOULES

Les fragments de coquille se séparent suivant leur dimension et viennent alimenter trois distributeurs différents.

Les poudres de viandes qui ont subi un commencement de séchage dans l'appareil cuiseur sont étalées sur des aires de séchage, ce qui abaisse leur humidité à 25 % environ.

On obtient alors après broyage des engrais à 6 % d'azote environ.

En poussant dans des appareils spéciaux le séchage de ces viandes jusqu'à 10 % d'humidité, on obtient des farines de viande très stables à 7 % d'azote, si on les broie avec les os cuits, et à 11 % si l'on a éliminé les os et si l'on n'a pas chargé des viscères ou des panses dans l'appareil cuiseur.

Ces farines de viande peuvent alors servir pour l'alimentation du bétail. Quant aux bouillons séparés des graisses, on ne les emploie généralement pas et ils sont jetés à l'égout.

Ils ont pourtant une certaine valeur comme engrais, mais leur emploi doit se faire dans des délais extrêmement courts afin d'éviter leur putréfaction.

Les proportions relatives de ces différentes matières sont les suivantes en partant de 100 kg de viande brute traitée :

Cuir	7 à 12 %
Suif	3,5 à 5 %
Farines de viande (non sèches)	20 à 25 %
Onglons.....	} 7 à 9 %
Os.....	

Ces chiffres ne donnent qu'une indication

et leur valeur réelle dépend de nombreux facteurs qu'il serait trop long d'énumérer ici (1).

L'équarrissage et l'hygiène

L'industrie de l'équarrissage est classée dans les « industries insalubres », mais, en respectant certaines règles d'hygiène bien déterminées et en prenant des dispositions techniques convenables, on arrive parfaitement à en faire une industrie propre et inodore.

L'Etat s'est d'ailleurs préoccupé de la question et des décrets récents obligent les villes à respecter certaines règles pour les usines qu'elles désirent construire et exploiter.

Il est ainsi heureux de voir allier une exploitation de résidus urbains, actuellement très précieux, à des règles d'hygiène qui leveront toutes les appréhensions que donnent encore les usines d'équarrissage et qui les font malheureusement traiter en parent pauvre.

Ainsi une nouvelle source de richesse sera rationnellement exploitée. René MARTIN.

(1) L'équarrissage utilise également les coquilles d'huîtres ou de moules pour faire des poudres calcaires destinées à la volaille.

Généralement, ces coquilles sont laissées un certain temps à l'extérieur, aux intempéries, pour éliminer tout le sel dont elles sont encore imprégnées. Elles sont ensuite broyées et classées par ordre de finesse du produit (fig. 4).

LES A COTÉ DE LA SCIENCE INVENTIONS, DÉCOUVERTES ET CURIOSITÉS

par V. RUBOR

L'électrification des cultures maraîchères

A U moment où l'on s'efforce de porter à son maximum le rendement des cultures maraîchères, il nous paraît intéressant de signaler un dispositif permettant d'électrifier les motoculteurs souvent inutilisés par suite de la pénurie de carburant dont nous souffrons actuellement. Ce dispositif, dû à MM. Bouton et Capitaine, bien que né sous l'empire de la nécessité, doit pouvoir rendre d'appréciables services, après le retour aux conditions normales.

Les principales difficultés rencontrées pour l'électrification des motoculteurs consistent à maintenir constamment tendu le câble d'alimentation et à couvrir le maximum de surface avec le minimum de longueur de

câble. Voici comment elles ont été surmontées.

Un système spécial d'enroulement automatique, dû à M. Capitaine, comporte un tambour d'enroulement pouvant supporter 100 à 200 m de câble à quatre con-

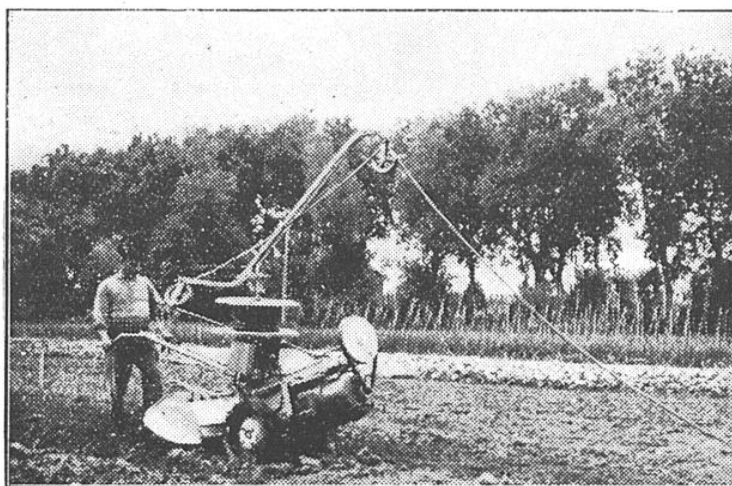
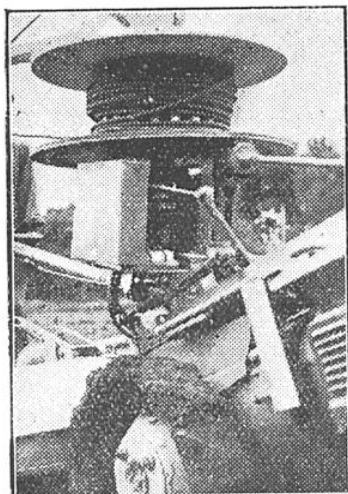


FIG. 1. — VUE D'ENSEMBLE DU MOTOCULTEUR ÉLECTRIFIÉ

T W 25419



T W 25420

FIG. 2. — LE TAMBOUR D'ENROULEMENT DU CÂBLE SUR LE MOTOCULTEUR ÉLECTRIFIÉ

ducteurs, et entraîné par friction par le moteur même du motoculteur (fig. 2). Une herse dégage le câble qui ainsi ne peut, ni gêner le conducteur, ni toucher la machine.

Le câble étant fixé par une de ses extrémités en un point quelconque, lorsque le moteur s'éloigne, la tension produite dégage l'entraînement à friction du chemin de roulement du tambour et la poulie d'entraînement tourne à vide; le câble se déroule alors normalement. En fin de sillon, l'agriculteur ayant effectué son demi-tour, l'ensemble se trouve dans la position de la figure 1, et aucune tension n'agit lorsque le motoculteur se rapproche du point fixe. Le tambour est entraîné et le câble s'enroule. Notons que si celui-ci s'enroulait trop vite, la tension qui se produirait

assurait le débrayage de l'entraînement à friction.

Quant à la herse, elle pivote et se trouve toujours orientée vers le point fixe.

Ce motoculteur électrifié permet de labourer un hectare de terrain avec 70 m de ligne seulement, trois prises de courant tétrapolaires et une centaine de mètres de câble électrique. Les prises sont disposées de telle façon que tous les déplacements puissent s'effectuer, le motoculteur étant entraîné par son moteur électrique.

Ainsi, sans mâts spéciaux, avec une installation simple, l'électrification des cultures maraîchères reçoit une solution comportant le minimum de frais, tant pour le prix d'achat que pour l'entretien.

V. RUBOR.

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 (314)

Nom (en majuscules) et prénoms :

Adresse :

Déclare 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°

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

UNE CARRIÈRE DE CHOIX LES OFFICIERS MÉCANICIENS DE LA MARINE MARCHANDE

POUR DEVENIR OFFICIER MÉCANICIEN A BORD

Il faut, pour devenir officier mécanicien à bord, subir l'examen d'élève officier mécanicien (à partir de 17 ans) qui permet d'être embarqué comme tel, ou celui d'officier mécanicien de 2^e classe à partir de 18 ans. Les brevets sont délivrés par l'Etat (aucun diplôme n'est exigé).

Les officiers mécaniciens de 1^{re} classe se recrutent, à partir de 24 ans, parmi les élèves officiers et les officiers mécaniciens de 2^e classe.

Avantages de la carrière.

Les officiers mécaniciens de la marine marchande deviennent à bord officier et chef mécanicien et, ainsi, se poursuit presque automatiquement une carrière saine, intéressante et parmi les mieux rémunérées qui soient. Ils portent, suivant leur grade, de un à quatre galons : leur uniforme est à peu près identique à celui des ingénieurs mécaniciens de la marine de guerre. De même que les officiers de pont, ils ont droit à une retraite après quinze ans de navigation.

Tous les officiers mécaniciens de 1^{re} classe peuvent être nommés directement ingénieur mécanicien de 2^e classe de réserve.

Avantages administratifs. — Les officiers mécaniciens qui ont navigué pendant quelques années et qui voudraient quitter la navigation ont le droit de se présenter aux emplois d'inspecteur mécanicien de la Navigation maritime, de Rédacteur au Ministère de la Marine marchande.

Avantages civils. — Les officiers mécaniciens, en quittant la navigation, peuvent devenir experts au Bureau Veritas, ingénieurs d'armement des Compagnies de navigation. Les officiers mécaniciens ont, en outre, de grandes facilités pour obtenir des postes de chefs de service dans l'industrie, où ils sont extrêmement recherchés.

Leur titre d'ingénieur mécanicien de réserve leur est d'ailleurs de la plus haute utilité.

PROGRAMMES SOMMAIRES (1)

Elève officier mécanicien.

A partir de 17 ans, aucun diplôme exigé.

1^o Partie théorique. — Rédaction. Anglais. Arithmétique. Algèbre et Analyse. Géométrie et Géométrie analytique. Trigonométrie. Physique. Chimie. Technologie. Electricité. Théorie du navire. Morale. Croquis coté et Dessin industriel. Mécanique. Résistance des matériaux. Machines et chaudières. Régulation. Turbines. Moteurs.

2^o Partie pratique. — Croquis coté. Dessin industriel. Conduite. Montage. Moteurs marins. Législation. Théorie du navire. Compartimentage. Soudure autogène.

Officier mécanicien de 2^e classe.

L'examen de théorie n'exige pas de temps de navigation et peut être passé à 18 ans.

THEORIE

Arithmétique. Géométrie. Algèbre. Trigonométrie. Electricité. Machines et chaudières. Régulation. Croquis coté. Législation maritime. Orthographe et Rédaction.

APPLICATION

L'examen d'application exige deux années de navigation.

Technologie. Entretien. Avaries. Réparations. Soudure autogène.

PREPARATION

1^o Soit dans certaines Ecoles nationales de navigation (examen d'entrée).

2^o Soit sur place et par correspondance, Ecole de navigation, à Paris, 152, avenue de Wagram.

3^o Soit sur place, Ecole libre de navigation maritime, 21, boulevard Frank-Pilatte, Nice.

4^o Soit par correspondance, Ecole de Génie civil et Navigation, 3, rue du Lycée, Nice.

Les Ecoles de Nice répondront à toute demande de renseignements. Joindre 1 fr. 50 pour la réponse.

(1) Tous les candidats ont à subir une épreuve manuelle

BONS DU TRÉSOR

L'intérêt national est l'intérêt de chacun.
Apportez votre concours



Vous êtes solidaire de votre pays : en
défendant ses intérêts vous protégez
les vôtres.



Même loin de chez vous, en voyage,
vous pouvez, dans toutes les villes de
France, vous faire rembourser vos

BONS DU TRÉSOR

Souscrivez aux
BONS DU TRÉSOR

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 T. S. F.

AVIATION CIVILE ET MILITAIRE, INDUSTRIE, MARINE MARCHANDE ET MARINE NATIONALE, COLONIES, MINISTÈRES 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

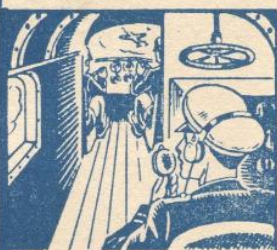
à toute époque de l'année.

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



S.O.U.S.-I.N.G.E.N.I.E.U.R.



C.H.E.F.-M.O.N.T.E.U.R.



M.A.R.I.N.E M.A.R.C.H.A.N.D.E.



I.N.G.E.N.I.E.U.R.



D.E.P.A.N.N.E.U.R.

Demandez nos notices envoyées

gratuitement sur demande

ECOLE PROFESSIONNELLE RADIOTECHNIQUE

RUE DU MARECHAL LYAUTEY-VICHY-(ALLIER)

Adresse de repli

NITROLAC

LA GRANDE MARQUE DE PEINTURE



TOUS LES PROBLÈMES DE PEINTURE

NITROLAC

98, ROUTE D'AUBERVILLIERS-S^T DENIS (SEINE)-PLAINE+1655