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 nº 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

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 63. n. 310. Juin 1943
Adresse	Paris : La Science et la Vie, 1943
Collation	1 vol. (VI-(p. 243-290)-II p.): ill. , couv. ill. en coul. ; 24 cm
Cote	SCI. VIE 310
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.310

JUIN 1943 Nº 310

SCIENCE ET VIE

7 FRANCS

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

LA RADIO s'apprend aussi..

...par CORRESPONDANCE

- **24 années** de fonctionnement et d'expériences.
- **25 Professeurs-Ingénieurs,** parmi lesquels figurent les grands noms de la Radio.
- **24.000 Élèves** instruits et placés.
- **1919,** depuis cette date, ses Méthodes d'Enseignement, ont classé l'Ecole Centrale de T.S.F., indiscutablement à la 1re Place.

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

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

ÉCOLE CENTRALE DE T-S-F

12 rue de la Lune PARIS 2e — Téléphone Central 78-87

"Annexe, 8 rue Porte de France – VICHY (Allier)"

Publicités Réunies

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Grâce à l'École Universelle par correspondance

Vous n'êtes plus seul

pour mener à bien vos études générales ou pour vous préparer à la carrière de votre choix. La direction et les professeurs de l'ECOLE UNIVERSELLE se sont appliqués, depuis trente-cinq ans, à perfectionner sans cesse les méthodes d'enseignement par correspondance. Aussi ses élèves obtiennent-ils chaque année les plus brillants succès aux examens et concours officiels. L'Ecole Universelle est connue dans le monde entier. Dans beaucoup de pays elle a servi de modèle à de nombreux établissements privés et à de nombreux établissements bénéficiant de l'appui de l'Etat. Profitez à votre tour des facilités d'un enseignement qui vous offre le MAXIMUM DE CHANCES DE SUCCES et grâce auquel vous étudierez chez vous, à vos heures, quel que soit le lieu de votre résidence, avec le MINIMUM DE DEPENSES et dans le MINIMUM DE TEMPS.

Renseignez-vous, aujourd'hui même, gratuitement et sans aucun engagement, en demandant la brochure qui vous intéresse.

BROCHURE L. 9.599. — ENSEIGNEMENT PRIMAIRE : Classes complètes depuis le cours élémentaire jusqu'au Brevet supérieur, Classes de vacances, Diplôme d'études primaires préparatoires, Certificat d'études, Bourses, Brevets, Certificat d'aptitude pédagogique, etc.

BROCHURE L. 9.600. — ENSEIGNEMENT SECONDAIRE : Classes complètes depuis la onzième jusqu'à la classe de mathématiques spéciales incluse, Classes de vacances, Examens de passage, Certificat d'études classiques ou modernes du premier cycle, Diplôme de fin d'études secondaires, Baccalauréats, etc.

BROCHURE L. 9.601. — ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR : Licences (Lettres, Sciences, Droit) Professorats (Lettres, Sciences, Langues vivantes, Classes élémentaires des Lycées, Collèges, Professorats pratiques), Examens professionnels, P. C. B., etc.

BROCHURE L. 9.602. — GRANDES ÉCOLES SPÉCIALES : Agriculture, Industrie, Travaux publics, Mines, Commerce, Police, Enseignement, Beaux-Arts, Assistance, etc.

BROCHURE L. 9.603. — CARRIÈRES DE L'INDUSTRIE, des MINES et des TRAVAUX PUBLICS : Ingénieur (diplôme d'Etat), Sous-Ingénieur, Dessinateur, Conducteur, Chef de chantier, Contremaître, etc.

BROCHURE L. 9.604. — CARRIÈRES DE L'AGRICULTURE et du Génie rural, etc.

BROCHURE L. 9.605. — 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. 9.606. — ORTHOGRAPHE, RÉDACTION, VERSIFICATION, CALCUL, DESSIN, ÉCRITURE, (Interprète), etc.

BROCHURE L. 9.607. — LANGUES VIVANTES (Anglais, Allemand, Italien, Espagnol, Arabe, Annamite), TOURISME (Interprète), etc.

BROCHURE L. 9.608. — AIR, RADIO, MARINE : Pont, Machine, Commissariat, T. S. F., etc.

BROCHURE L. 9.609. — SECRÉTARIATS, BIBLIOTHÈQUES, JOURNALISME (Rédaction, Administration, Direction), etc.

BROCHURE L. 9.610. — ÉTUDES MUSICALES : Solfège, Harmonie, Composition, Piano, Violon, Flûte, Clarinette, Instruments de jazz, Professorats, etc.

BROCHURE L. 9.611. — ARTS DU DESSIN : Dessin pratique, Anatomie artistique, Dessin de Mode, Illustration, Composition décorative, Aquarelle, Gravure, Peinture, Fusain, Pastel, Professorats, Métiers d'art, etc.

BROCHURE L. 9.612. — MÉTIERS DE LA COUTURE, de la COUPE, de la MODE, de la LINGERIE, de la BRODERIE : Petite main, Première main, Vendeuse, Retoucheuse, Modéliste, Professorats, etc.

BROCHURE L. 9.613. — ARTS DE LA COIFFURE ET DES SOINS DE BEAUTÉ : Coiffeuse, Manucure, Pédicure, Masseur, etc.

BROCHURE L. 9.614. — CARRIÈRES FÉMININES : dans toutes les branches d'activité.

BROCHURE L. 9.615. — 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.

L'ÉCOLE UNIVERSELLE

répondra gracieusement, de façon détaillée, à toutes les personnes qui lui exposeront leur cas particulier.

12 Place Jules-Ferry - Lyon — **59 Boulevard Exelmans - Paris**

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'École A. B. C.
vous parle

LE SUCCÈS MONDIAL QUE L'ÉCOLE A.B.C. DE DESSIN CONNAIT DEPUIS 24 ANS A PROVOQUÉ DEPUIS PEU DE TEMPS LA CRÉATION DE DIFFÉRENTS COURS ET ÉCOLES DE DESSIN PAR CORRESPONDANCE.

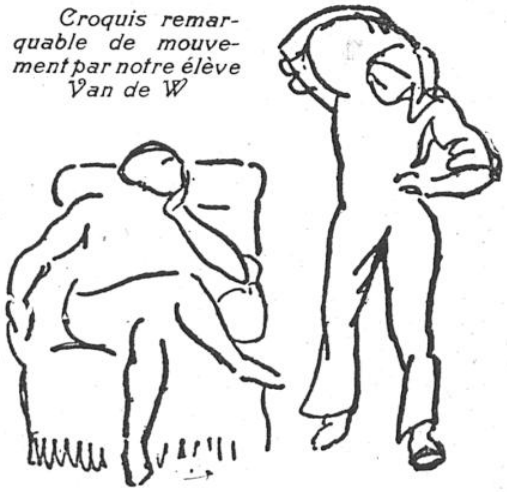
Rappelons donc ici que l'Ecole A.B.C. doit sa réputation universelle non seulement à son enseignement et à la notoriété de ses professeurs, mais encore à SA MÉTHODE absolument unique.

Celle-ci, aussi ingénieuse qu'efficace, permet à un simple débutant de réaliser, dès sa première leçon, des croquis rapides d'APRÈS NATURE, et développe ainsi très rapidement la personnalité du dessinateur. Aussi cette méthode a-t-elle valu à l'Ecole A.B.C. le parrainage des plus grands artistes français modernes et plus de 60.000 élèves enthousiastes, répartis dans le monde entier.

L'enseignement de l'Ecole A.B.C. est tout à la fois personnel et pratique. Chacun de ses élèves, dirigé individuellement suivant ses aptitudes, peut rapidement acquérir le métier, les connaissances techniques d'un professionnel et bénéficier ainsi des nombreux débouchés qu'assurent au dessin les besoins de la vie moderne.

L'Ecole A.B.C. n'est donc pas seulement la première en date et la plus importante Ecole de dessin du monde, mais encore la plus moderne.

Croquis remarquable de mouvement par notre élève Van de W



COURS POUR ADULTES
Enseignement général et spécialisation

•

COURS POUR ENFANTS (*de 8 à 14 ans*)

•

COURS DE DESSIN PUBLICITAIRE
Pour les personnes sachant dessiner

BROCHURE GRATUITE

Demandez donc 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.

L'ÉCOLE A.B.C. DE DESSIN

SECTION C. B. 11

12, rue Lincoln - PARIS (VIIIe)

6, rue Bernadotte - PAU (Basses-Pyrénées)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

SACHEZ VOIR PLUS LOIN..

Que le présent

JEUNES GENS

Ne vous laissez pas décourager par les sombres perspectives du moment.

Tout n'a qu'un temps, tout passe... Seul capital indestructible, l'**instruction demeure.**

APPRENEZ DONC un BON MÉTIER dans la RADIO C'EST le PLACEMENT d'AVENIR

★

A temps perdu, sans rien changer à vos occupations, **où que vous puissiez être.**

NOS COURS SPÉCIAUX — SUR PLACE OU PAR — CORRESPONDANCE

sous la haute direction du Cdt Dupont et d'une élite de professeurs spécialisés, vous donneront **le maximum de possibilités de réussite aux examens officiels.**

Ils feront de vous des spécialistes compétents et recherchés.

★

L'ÉCOLE PRÉPARE A TOUTES LES CARRIÈRES INDUSTRIELLES OU ADMINISTRATIVES de la RADIO

JEUNES GENS

N'hésitez pas à nous demander conseil, il vous sera répondu par retour du courrier.

Documentation illustrée sur la Radio 24 pages, 2 coul., contre **5 fr.**

ECOLE DE RADIOELECTRICITE ET DE TELEVISION

15, RUE DU DOCTEUR BERGONIÉ — LIMOGES.(H-V).C.C.P. 406.05

Publicité R. DOMENACHM C.S.P.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

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

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

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

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

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

BON POUR UN ALBUM GRATUIT sur le DESSIN et la PEINTURE

GAZOGÈNES

S.E.V.

AU BOIS

COMME A L'ESSENCE

Pas d'usure du moteur
Consommation d'huile normale
Départ instantané automatique

S.E.V. - ISSY - SEINE

SÉRIES de TIMBRES

provenant

d'ŒUVRES et d'ÉCHANGES

FORTE REMISE

ÉCRIRE :

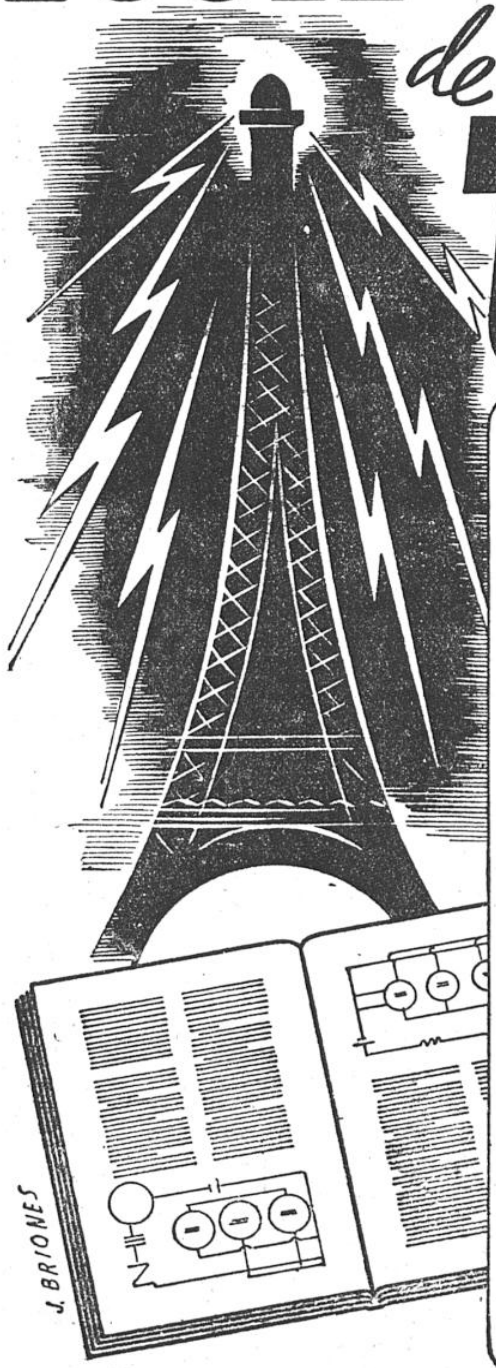
Ab. DENIS

LA COQUILLE (Dordogne)

R. C. Seine 3.541

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ECOLE SPECIALE de tsf



COURS PAR CORRESPONDANCE

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

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

Brevets d'Etat délivrés par les P.T.T.: Certificat spécial, opérateurs de 2e et de 1re classe, opérateurs de postes privés, opérateurs radiotéléphonistes.

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

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

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

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

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

Inscriptions : les inscriptions sont reçues à toute époque.

COURS SUR PLACE

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

ECOLE SPECIALE DE TSF - 3, RUE DU LYCEE NICE

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DE

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

L'ECOLE DU GENIE CIVIL

INDUSTRIE *(INSCRIPTIONS A TOUTE ÉPOQUE)*

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

COMMERCE - DROIT

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

AGRICULTURE

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

MATHÉMATIQUES

Enseignement des Mathématiques, Physique, Mécanique, Chimie, Astronomie, à tous les degrés.
Pour les cours ci-dessus, demander a l'Ecole de Paris le programme n° 7.
Joindre 5 francs en timbres pour frais d'envoi.

MARINE MARCHANDE

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

ADMINISTRATIONS *(Les cours ci-dessous sont faits par l'Ecole de Nice.)*

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

AVIATION CIVILE

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

LYCÉES - ÉCOLES NATIONALES

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

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

SCIENCE ET VIE

Tome LXIII - N° 310 Juin 1943

SOMMAIRE

★ La situation militaire mondiale au début du printemps de 1943, par le général Brossé 245

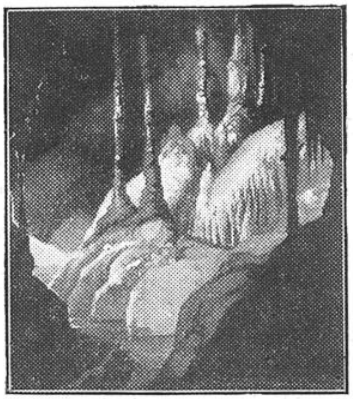
★ La route stratégique Amérique-Asie par l'Alaska, par Henri François 258

★ A la découverte du monde souterrain : grottes, gouffres et cavernes, par André Glory 261

★ Pour la bataille de l'Atlantique : cargo rapide ou cargo lent? par A. Vulliez et H. Pelle des Forges 273

★ L'ozone atmosphérique, gaz indispensable au maintien de la vie sur la terre, par Charles Fabry 277

★ Les A Côté de la Science, par V. Rubor 289



T W 24291

Si Jules Verne a eu parfois une vision prophétique de l'avenir, son « Voyage au centre de la Terre » restera toujours du domaine de l'imagination; il n'existe pas de mer souterraine aux rivages peuplés de monstres préhistoriques, et le plus long voyage qu'on puisse faire sous terre (100 km) est l'exploration de la « Mammoth Cave » aux Etats-Unis. Mais la réalité est déjà très belle. Notre couverture représente un « spéléologue » explorant une des multiples rivières souterraines qui creusent le sous-sol de la France, drainant les eaux dont le suintement millénaire crée les dentelles et les bijoux de pierre qui tapissent le sol et les murs des cavernes et des couloirs souterrains. L'étude de ces cours d'eau, des grottes ornées de stalactites et de stalagmites, des vestiges de leurs habitants des premiers âges de l'humanité, constitue une science très jeune, mais d'autant plus captivante.

(Voir l'article page 261.)

« 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 », Juin mil neuf cent quarante-trois. Registre du Commerce : Toulouse 3235 B.

Abonnements : France et Colonies, un an : quatre-vingts francs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

LE NOUVEAU CHAR LOURD ALLEMAND DE 60 TONNES « TIGRE »

Ce char, qui a déjà subi de façon satisfaisante l'épreuve du front, surclasserait tous les chars existant actuellement par l'efficacité de sa protection et la puissance de son armement.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

LA SITUATION MILITAIRE MONDIALE AU DÉBUT DU PRINTEMPS DE 1943

par le général BROSSÉ
du cadre de réserve

Le printemps marque tous les ans, avec le retour de conditions favorables aux opérations militaires, le commencement d'une phase nouvelle de la guerre. Après trois ans et demi de lutte, les puissances de l'Axe ont conquis de vastes territoires et sont en possession d'immenses richesses. Ils doivent maintenant les exploiter et les défendre contre les Anglo-Saxons et leurs alliés russes et chinois. Contraints par leur manque de préparation à céder partout du terrain, ceux-ci seront-ils en mesure de passer à l'offensive? Les territoires solidement tenus par l'Axe sont presque partout défendus efficacement par des bras de mer bordés de puissantes lignes de fortification côtière et au delà desquels une action de grand style, gênée dans son ravitaillement par les sous-marins et les avions, ne pourrait se développer que dans des conditions difficiles.

1942 : une année de durs combats sans décision

L'ANNÉE 1942, malgré l'activité intense déployée par toutes les puissances belligérantes, s'est terminée sans qu'une décision soit intervenue dans aucune des vastes contrées où les hostilités se sont déroulées.

En U.R.S.S., les Allemands et leurs alliés ont, pendant l'été, remporté de grandes victoires et poussé leur progression jusqu'au cœur de la région caucasienne, mais l'offensive d'hiver menée par les Soviets a permis à ceux ci de reprendre possession de tout le terrain qu'ils avaient abandonné au cours des mois précédents et même de porter leur front sensiblement plus à l'ouest qu'il n'était il y a un an.

Les Anglais n'ont tenté, contre le continent, que des actions très localisées, demeurées sans résultat.

En Afrique du Nord, le corps du maréchal Rommel a dû rétrograder jusqu'en Tunisie, sans avoir été détruit (1).

Les Américains ont envahi l'Algérie et le Maroc et pris ainsi largement pied sur la façade septentrionale de l'Afrique; mais ils n'ont pu empêcher leurs adversaires de s'installer à Bizerte et dans la partie orientale de la Tunisie.

Les Britanniques ont écarté la menace qui pesait sur le canal de Suez et dégagé le Proche-Orient.

La guerre sur toutes les mers qui entourent l'Europe a redoublé d'acharnement. Les sous-marins et les avions allemands causent aux flottes de commerce opposées des pertes très lourdes; cependant, l'Angleterre a pu concentrer et ravitailler en Egypte des effectifs importants. De leur côté, les Etats-Unis ont amené en Afrique du Nord des armées entières.

En Asie sud-orientale et en Océanie, les Japonais, à la suite de leurs rapides conquêtes du printemps 1942, se sont arrêtés et demeurent dans l'expectative. Leurs expéditions à l'intérieur du territoire chinois n'ont pas amené la soumission du gouvernement de Tchoung-King.

Les Britanniques ont réussi à maintenir le calme dans l'immense Empire des Indes; ils ont réuni à la frontière de Birmanie des moyens importants; mais ils n'ont entrepris de ce côté que des actions secondaires.

Les Américains et les Australiens ont soutenu une lutte dure et prolongée pour refouler les troupes nippones installées dans les archipels qui forment une ceinture protectrice au nord-est du grand dominion océanien; mais ces combats renouvelés, sur mer, dans l'air et sur terre, n'ont pas encore fait pencher la balance en faveur de l'un ou de l'autre des adversaires.

(1) Rappelons que nous n'envisageons dans cet article que des événements antérieurs au printemps 1943.

La structure de deux coalitions opposées

Les deux groupes de peuples qui s'affrontent sur presque toute la surface du globe comprennent respectivement des nations extrêmement éloignées les unes des autres. Par suite, chacun d'eux forme un faisceau peu cohérent.

Les puissances de l'Axe sont coupées en deux tronçons complètement séparés : d'un côté, les armées européennes qui occupent la plus grande partie des territoires de l'ancien continent et une fraction de la Tunisie, et, de l'autre, les forces nippones opérant en Extrême-Orient et dans le Pacifique. Ces deux masses ne peuvent coopérer à des offensives communes. Le seul moyen dont elles disposent pour s'entr'aider consiste à concerter leurs efforts dans le temps, pour attirer, au moment opportun, des effectifs aussi importants que possible de l'ennemi et diminuer par suite la pression que celui-ci exerce sur les éléments alliés à l'autre bout de la terre.

Les conditions dans lesquelles la coalition de la Russie avec les Anglo-Saxons et la Chine doit mener la lutte sont plus complexes encore. La République chinoise est actuellement à peu

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

près isolée. Les trois autres grands pays peuvent communiquer entre eux, mais par des routes maritimes longues et souvent dangereuses. En particulier, les relations de la grande République nord-américaine et de l'Angleterre avec l'U.R.S.S. présentent de grandes difficultés, quel que soit le trajet adopté, par Mourmansk, le transsibérien ou le golfe Persique.

Le conflit mondial actuellement en cours ne saurait donc, comme une guerre entre deux partis continentaux séparés par une frontière commune, comprendre une opération principale accompagnée d'actions secondaires. Les foyers de la lutte sont nécessairement multiples et les imposantes forces des deux coalitions rivales en sont partiellement réduites à se prêter un appui seulement indirect.

La forteresse européenne

L'Axe et ses alliés, maîtres de la plus grande partie du territoire de l'Europe, s'y trouvent placés comme dans une forteresse gigantesque, protégée de tous les côtés, sauf vers l'Est, par un large fossé marin. Disposant de voies ferrées et d'aérodromes qui leur permettent de déplacer leurs troupes d'un bout à l'autre de cet énorme échiquier stratégique, l'Allemagne et l'Italie ont ainsi la faculté d'effectuer d'importantes concentrations de moyens sur tout secteur menacé.

L'avantage de cette situation « en lignes intérieures » est évident. Cependant, un grave inconvénient résulte de l'immensité même des régions à tenir et de la longueur des côtes à défendre. La nécessité de conserver une certaine densité de troupes dans tous les pays occupés immobilise des centaines de milliers de soldats qui, à la vérité, peuvent appartenir à des formations âgées ou non encore instruites. D'autre part, de Bayonne au cap Nord, la distance, en suivant les sinuosités du littoral, dépasse cinq mille kilomètres et celle de Sète à la frontière turque, si l'on tient compte des îles, est beaucoup plus grande encore. Les effectifs nécessaires pour garder un littoral aussi étendu sont considérables. Il est vrai qu'ici encore, ces forces peuvent, dans une certaine proportion, être de grandes unités relevées des fronts actifs et réparties dans des cantonnements de repos, où elles servent de réserves dans le dispositif de défense des côtes. Mais les dimensions excessives des trajets à effectuer pour transporter Corps d'armée et Divisions d'un bout à l'autre de l'Europe alourdissent singulièrement le jeu des rocades. Ce mal n'a fait qu'empirer à la suite de l'extension de la lutte en Afrique du Nord.

En somme, le Reich souffre de la surabondance de ses conquêtes. Il en résulte que les ressources en hommes dont il dispose pour les opérations proprement dites sont strictement mesurées et que tous les ouvriers susceptibles d'être utilisés aux armées doivent être enlevés des usines. Comme, d'autre part, une production toujours accrue des engins de guerre est, pour l'Allemagne, une obligation vitale, celle-ci est amenée à recruter une abondante main-d'œuvre dans les populations de tous les pays qu'elle domine. C'est pour cette raison également que le gouvernement de Berlin a décrété la mobilisation totale, englobant tous les individus des deux sexes en état de rendre des services, directement ou indirectement, pour la conduite des hostilités.

Les assiégeants

La situation des Anglo-Saxons en Europe présente des caractères tout différents. Les forces des deux grands pays démocratiques, dont les flottes n'ont à craindre que l'action des sous-marins et de l'aviation ennemis, sont établies au nord et au sud du continent qu'elles menacent d'une double étreinte, mais ne peuvent prendre pied sur celui-ci qu'en traversant une nappe d'eau d'une appréciable largeur. Or, un débarquement de vive force à très gros effectifs présente, comme on le sait, d'extrêmes difficultés (1). D'autre part, les convois portant le personnel, le matériel et les ravitaillements sont contraints d'effectuer de longs circuits autour des territoires occupés par l'ennemi, et, pendant ces lentes traversées, ils se trouvent exposés aux attaques des sous-marins et des avions basés sur les ports et les aérodromes du littoral. Ainsi, les déplacements importants de grandes unités sont, pour les puissances maritimes, plus laborieux encore et beaucoup plus périlleux que pour leurs adversaires qui possèdent la terre.

La campagne d'hiver en U.R.S.S.

Lorsque, en octobre dernier, les Allemands suspendirent leur offensive, ils étaient étalés, de Léningrad au Caucase et à la mer Noire, sur un front voisin de trois mille kilomètres. Du lac Ladoga à Stalingrad, leurs positions se développaient d'après un tracé ondulé, sans saillants ni rentrants très accentués; mais dans l'isthme caucasien, elles formaient une poche profonde de plus de cinq cents kilomètres et large seulement, à sa base, de quatre cent cinquante kilomètres, de Stalingrad à Rostov.

L'intérêt de garder, pendant la mauvaise saison, cet immense périmètre avec des effectifs aussi réduits que possible était manifeste; il provenait avant tout des conditions climatiques extrêmement pénibles qu'allaient avoir à supporter les troupes laissées en première ligne. Le commandement de la Wehrmacht adopta, en conséquence, des procédés destinés à garantir, avec un minimum de moyens, la défense de l'ossature principale de ses positions extraordinairement étendues. Les correspondants de guerre allemands ont donné des détails sur le dispositif dit « en hérissons ». Il comprenait essentiellement une ligne de forts points d'appui, séparés par des intervalles plus ou moins larges, très solidement tenus et garnis dans toutes les directions d'une nombreuse artillerie. Ces piliers de la résistance étaient ainsi capables de tenir très longtemps, même complètement encerclés, comme l'avaient prouvé les événements de l'hiver précédent, à la condition d'être ravitaillés par la voie de l'air.

Mais les attaques soviétiques ont été conduites avec des moyens beaucoup plus puissants et plus considérables que ceux qui avaient été employés un an plus tôt. La récente offensive des Soviets a revêtu la forme d'une opération de très grand style, comportant la mise en œuvre de nombreuses armées, échelonnées en profondeur et munies d'un matériel très abondant, artillerie et chars, spécialement adapté aux conditions de l'hiver moscovite. Elle a visé la rupture complète du front adverse. La

(1) Voir : « Une armée de plusieurs millions d'hommes peut-elle franchir la Manche de vive force? », dans *La Science et la Vie*, n° 304 (déc. 1942).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

T W 24280

FIG. 1. — LES FLUCTUATIONS DU FRONT GERMANO-RUSSE AU COURS DE VINGT-DEUX MOIS DE GUERRE

Le front germano-russe s'étend de Mourmansk à la mer Noire sur plus de 2 500 km de longueur. En profondeur, après les victoires allemandes de 1941, qui ont amené la Wehrmacht aux portes de Léningrad, de Moscou et dans Rostov, c'est-à-dire à plus de mille kilomètres dans le territoire russe, ses fluctuations se mesurent souvent par des centaines de kilomètres, sans qu'il en résulte pour celui des adversaires qui doit céder le terrain de désastre irrémédiable. C'est ainsi que les Russes ont pu se ressaisir après l'offensive allemande de l'été 1942 qui avait conduit les troupes de l'Axe à Stalingrad et dans le Caucase. De même, après une retraite qui les a ramenés presque partout à leur point de départ, les Allemands se sont rétablis et ont repris Kharkov.

barrière discontinue constituée par les gros points d'appui isolés n'a pas présenté une cohésion suffisante pour supporter une pression si violente. Les assaillants ont largement débordé les « hérissons » et ont pénétré très loin au delà de la ligne que ceux-ci jalonnaient. Les tempêtes de neige, la brume et le verglas ont souvent gêné l'activité aérienne. Par suite, bon nombre des zones fermées qui formaient les môles de la défense sont tombées, et le dispositif a été défoncé sur de larges secteurs.

Pour une raison qui n'a pas été dévoilée, les réserves allemandes ne sont pas intervenues en force, alors que la crise atteignait son point culminant. Il en est résulté pour la Wehrmacht une situation des plus tendues, jusqu'au moment où, le froid ayant cédé, une contre-offensive très vigoureuse lui a permis de refouler l'aile droite adverse, surprise en pleine manœuvre.

Le plan soviétique a consisté, d'une part, à lancer des attaques de nature secondaire, mais

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

poussées à fond et maintes fois renouvelées, dans la partie septentrionale de la zone de contact, de Léningrad à Orel, pour disloquer de ce côté le dispositif de l'adversaire et attirer ses réserves, puis, d'autre part et simultanément, à effectuer un effort décisif, avec des moyens très puissants, sur la partie du théâtre d'opérations comprise entre Koursk inclus et les premiers contreforts du Caucase, en vue de déborder par le nord et d'acculer à la mer d'Azov et à la mer Noire les masses composant la droite allemande.

Cette dernière opération a compris quatre phases successives, étroitement enchaînées et chevauchant même l'une sur l'autre.

1° Au cours d'une première manœuvre, le commandement soviétique a pris pour axe de son offensive la direction Stalingrad-Rostov, dans l'intention de couper à sa base la grande poche caucasienne et de capturer les armées adverses qui s'y trouvaient disséminées.

Les attaques ont commencé le 20 novembre. La pression contre le secteur de Stalingrad s'est heurtée à une résistance extrêmement énergique des forces allemandes tenant le secteur entre la Volga et le Don. Cependant, après de longs et rudes combats, les assaillants ont progressé au sud vers le Manytch et Rostov et, au nord, vers le bassin industriel du Donetz, tandis que des effectifs importants se rabattaient des deux côtés sur Stalingrad pour l'encercler. La ville s'est trouvée séparée du gros des armées allemandes vers le milieu de décembre.

Après six semaines d'une lutte acharnée, les « hérissons » se trouvaient tout à fait isolés, mais ils résistaient efficacement et le dispositif défensif « élastique » jouait conformément aux prévisions. D'après les communiqués officiels du G.Q.G. de la Wehrmacht, le sort de Stalingrad n'a pas inspiré jusqu'alors d'inquiétude sérieuse.

Pourquoi, dès ce moment, le haut commandement allemand n'a-t-il pas fait intervenir des réserves assez puissantes pour refouler les assaillants et dégager ses forces de première ligne? Sans doute pour les mêmes motifs qui l'avaient amené, l'hiver précédent, à laisser, sans s'y opposer par des contre-attaques immédiates, les troupes soviétiques déborder ses points d'appui et s'avancer profondément au delà : d'une part le désir de ne pas exposer d'importants effectifs, en rase campagne, à une température véritablement déprimante; de l'autre, l'impossibilité d'utiliser, en grandes quantités, par un froid aussi rigoureux, les engins à moteur, avions, chars et autos. Les informations de source allemande ont, en effet, nettement précisé que les armées rouges avaient, au point de vue de l'équipement technique, une supériorité non douteuse sur les formations correspondantes du Reich. En particulier, l'essence provenant des puits caucasiens conviendrait beaucoup mieux que le carburant synthétique pour des opérations menées au cœur de l'hiver russe, spécialement en ce qui concerne l'emploi de l'aviation.

Quoi qu'il en soit, dans les steppes désertiques des Kalmouks, les progrès soviétiques devinrent véritablement troublants.

Dans la première quinzaine de janvier, il apparut que la résistance du secteur de Stalingrad, tenu par la VI[e] armée allemande, était gravement compromise. Or, si ce bastion essentiel de la poche caucasienne était venu à céder, le flot des agresseurs, n'étant plus endigué, eût déferlé jusqu'à la mer d'Azov et toutes les troupes réparties dans la zone nord du Caucase eussent couru le risque d'être complètement coupées.

En vue d'éviter une semblable éventualité, le commandement allemand ordonna alors à toutes les armées déployées entre la mer Caspienne et la mer Noire de se décrocher et de se retirer vers Rostov. En même temps, de vigoureuses contre-attaques locales furent effectuées sur le Don inférieur, en direction ouest-est, en vue de dégager, le long du littoral de la mer d'Azov, un couloir assez large pour permettre l'écoulement des troupes en retraite. La VI[e] armée reçut pour consigne de défendre Stalingrad jusqu'à la dernière extrémité.

La résistance de la ville, malgré l'intensité sans cesse croissante des assauts et le manque de tout ravitaillement, s'est prolongée, grâce à d'héroïques sacrifices, jusqu'au début de février. La poche caucasienne était alors vidée. Deux têtes de pont seulement avaient été laissées à l'est de la mer d'Azov, l'une sur le Kouban inférieur, en avant de la presqu'île de Taman, couvrait le port de Novorossisk; l'autre entourait Rostov.

Les Russes n'avaient pas réussi à capturer les armées adverses du Caucase, mais ils avaient libéré la Volga et progressé de plus de trois cents kilomètres vers l'embouchure du Don.

2° Dans une seconde manœuvre, le commandement soviétique, élargissant vers le nord le cercle de son mouvement enveloppant, dirigea son effort principal sur le Don moyen, en direction du sud de Kharkov, en vue de rabattre son aile droite, du nord au sud, vers la mer d'Azov et d'intercepter les routes de retraite des armées allemandes occupant la région de Rostov et le bassin du Donetz.

Le 12 janvier, pendant que se poursuivait le siège de plus en plus âpre de Stalingrad, une offensive de grand style se déclencha au sud de Voronej. Cette ville fut évacuée par ses défenseurs le 24 janvier. Les troupes soviétiques franchirent l'Oskol, puis le Donetz, poussant jusqu'à Lozovaia, à mi-chemin entre cette dernière rivière et le Dniepr.

A la suite de cette avance rapide, les Allemands quittèrent Rostov, le 14 février, en même temps que les Russes pénétraient dans Vorochilovgrad.

3° Le commandement soviétique n'attendit pas la fin de cette opération pour entreprendre une troisième tentative d'enveloppement, toujours la droite en avant, en reportant encore plus au nord la base de départ de son aile de manœuvre et en agrandissant le rayon d'action de celle-ci. Dans les premiers jours de février, une puissante offensive franchit le Don, au nord de Voronej. Koursk tomba le 8 et Kharkov le 15. Puis, des environs de cette grande cité, un important groupement, comportant une forte proportion d'unités blindées, déboucha vers Dniepopetrovsk et s'avança droit vers le sud, par la rive gauche du Dniepr, pour tourner et investir le bassin du Donetz et les troupes qui l'occupaient.

4° La progression des rouges fut cette fois de courte durée et la bataille changea brusquement de physionomie. De fortes réserves allemandes, comprenant de nombreuses formations cuirassées et aériennes, se trouvaient réunies sur le Dniepr. Ces groupements mécaniques, appuyés par des essaims de « Stukas », se portèrent en avant à la fois, dans le flanc des armées russes qui se trouvaient en pointe, à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'est du fleuve. Une partie de celles-ci fut encerclée et le reste fut refoulé au delà du Donetz. Kharkov, complètement débordée, par l'est et par l'ouest, tomba le 13 mars, Tchougouiev, à soixante kilomètres au sud, le 15, et Bielgorod, à cent kilomètres au nord-est, le 18.

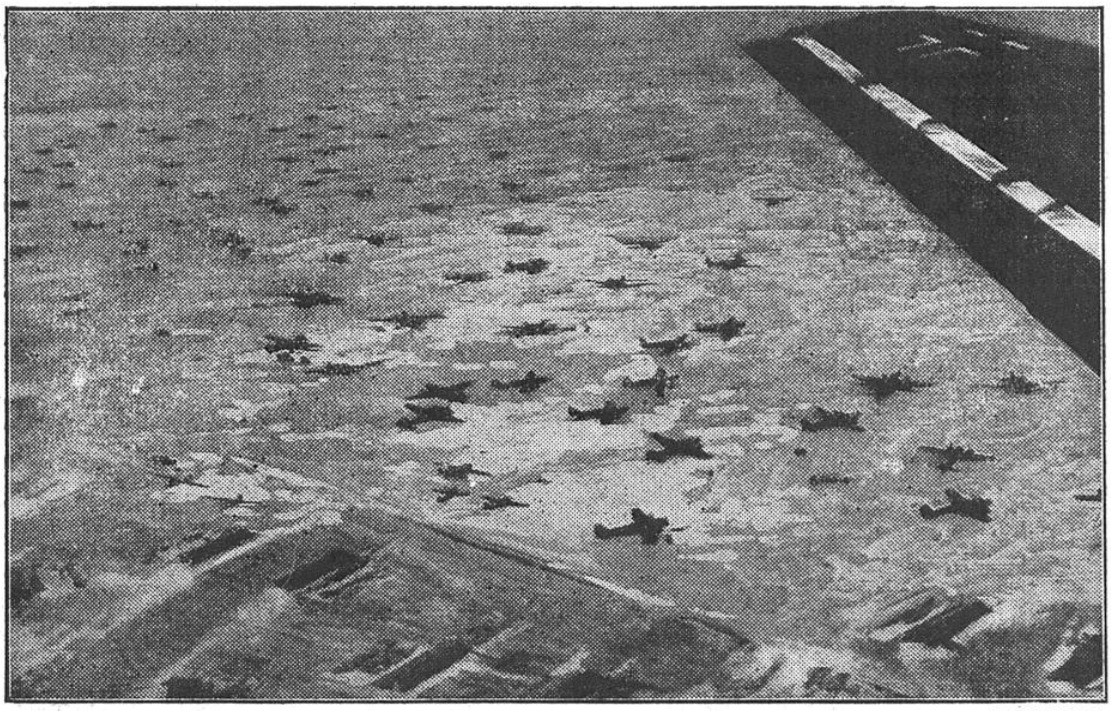
On a comparé à juste titre la dernière bataille du Donetz à la victoire de la Marne. Si la différence de caractère de la lutte, due à la dissemblance de l'armement mis en œuvre, ne prête pas à discussion, par contre, l'analogie des situations générales et des résultats obtenus est frappante : d'un côté, un agresseur qui, croyant avoir gagné la partie, se lance en avant, malgré l'extrême étirement de ses colonnes et l'allongement de ses communications, et entame une manœuvre débordante hardie, sans prendre la précaution de couvrir le flanc extérieur de son aile marchante ; de l'autre, un défenseur qui, après avoir reconstitué son dispositif, déclenche brusquement une contre-offensive sur un large front, avec des moyens bien réunis, et enveloppe l'adversaire qui prétendait l'envelopper lui-même. Toutefois, il convient de faire une distinction importante entre les deux cas : dans les journées de la Marne, ce fut l'ensemble entier des armées françaises qui, après avoir été engagé aux frontières et avoir reculé pendant deux semaines, constitua la masse de contre-offensive, notre G.Q.G. n'ayant gardé aucune réserve dans sa main, tandis que la bataille du Donetz fut gagnée surtout par de grandes unités disponibles amenées de l'arrière.

Pendant que cette dernière phase se poursuivait dans l'est de l'Ukraine, les Soviets ont, dans la partie septentrionale du front, exploité jusqu'au dernier moment l'avantage que leur donnait leur équipement dans les opérations hivernales et la faible densité des réserves adverses qui se trouvaient de ce côté. Ils n'ont cessé de répéter avec la plus grande violence leurs attaques dans la zone d'Orel, ainsi qu'à l'ouest de Moscou, dans le Valdaï et jusqu'à Léningrad.

Pendant cette période, le front a, dans son ensemble, pivoté autour de son centre : tandis que la droite allemande progressait au delà du Donetz et de Kharkov, la gauche se reportait en arrière, évacuant le saillant qui, à l'est de Viazma, pointait vers Moscou.

Le 25 mars, c'est-à-dire au moment où le dégel rend les mouvements des armées très difficiles sur toute l'étendue du plateau moscovite, la situation des deux adversaires était approximativement la suivante :

Au nord, les Russes étaient maîtres de Schlüsselburg, et le blocus de Léningrad se trouvait desserré à l'est. Au sud du lac Ilmen, ils n'avaient pu s'emparer de Staraia Roussa, mais avaient pénétré sur le plateau de Valdaï, occupé Demiansk et Rjev et atteint les abords de Veliki-Louki. Au centre, les Allemands achevaient leur grand mouvement de repli sur la ligne générale : est de Smolensk-Orel. Koursk était toujours au pouvoir des Russes, mais était sérieusement menacé. Au sud, le front traversait le bassin du Donetz,

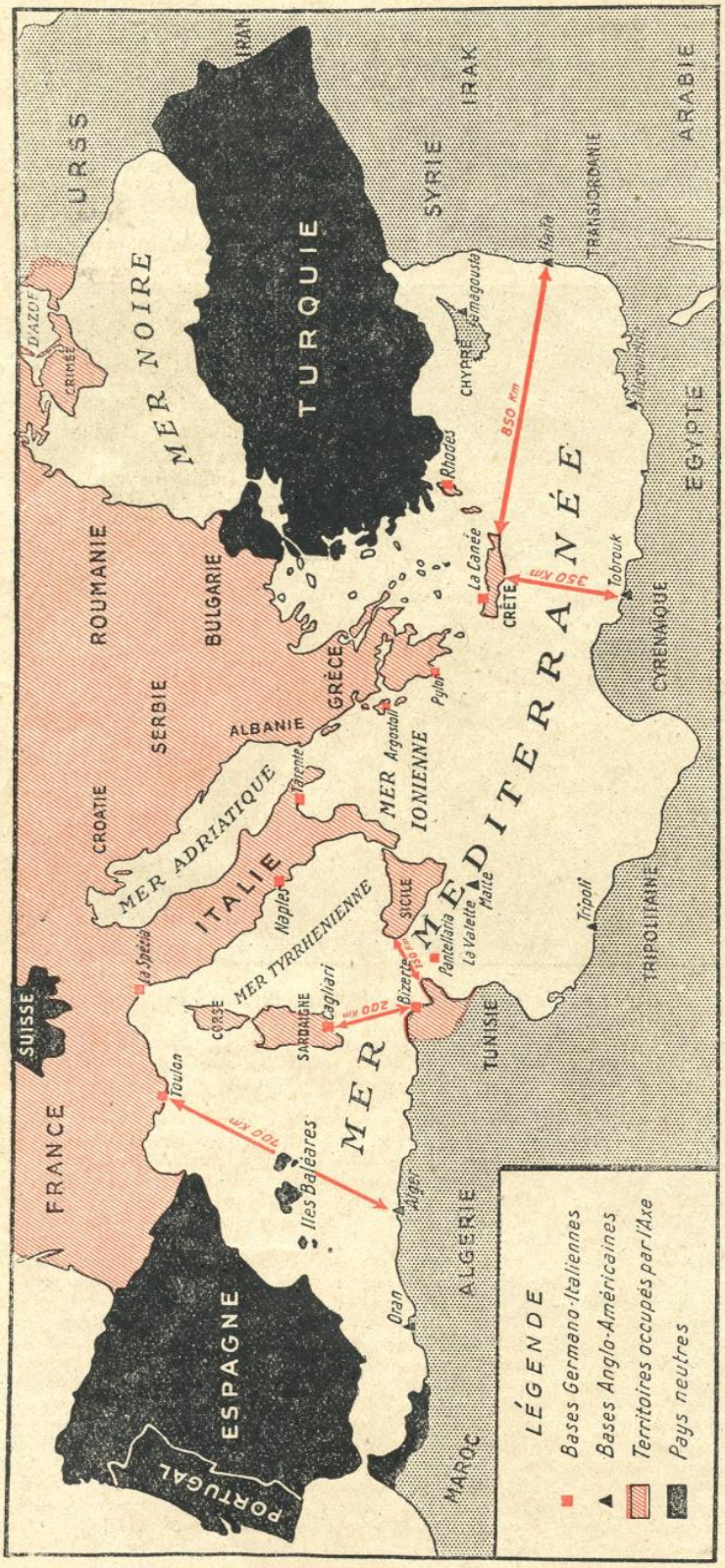


T W 24280²

FIG. 2. — TRIMOTEURS ALLEMANDS DE TRANSPORT SUR UN AÉRODROME COUVERT DE NEIGE DU FRONT GERMANO-RUSSE

Cette photographie donne une idée de la puissance de l'organisation des transports aériens de la Wehrmacht. Cette organisation avait suffi pendant l'hiver 1941 à ravitailler les points encerclés du front de l'est; elle a permis ainsi à la Wehrmacht de tenir ce front avec le minimum d'unités engagées en rase campagne.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



T W 24279

FIG. 3. — LE FRONT DE LA MÉDITERRANÉE AU DÉBUT DE LA CAMPAGNE DU PRINTEMPS 1943

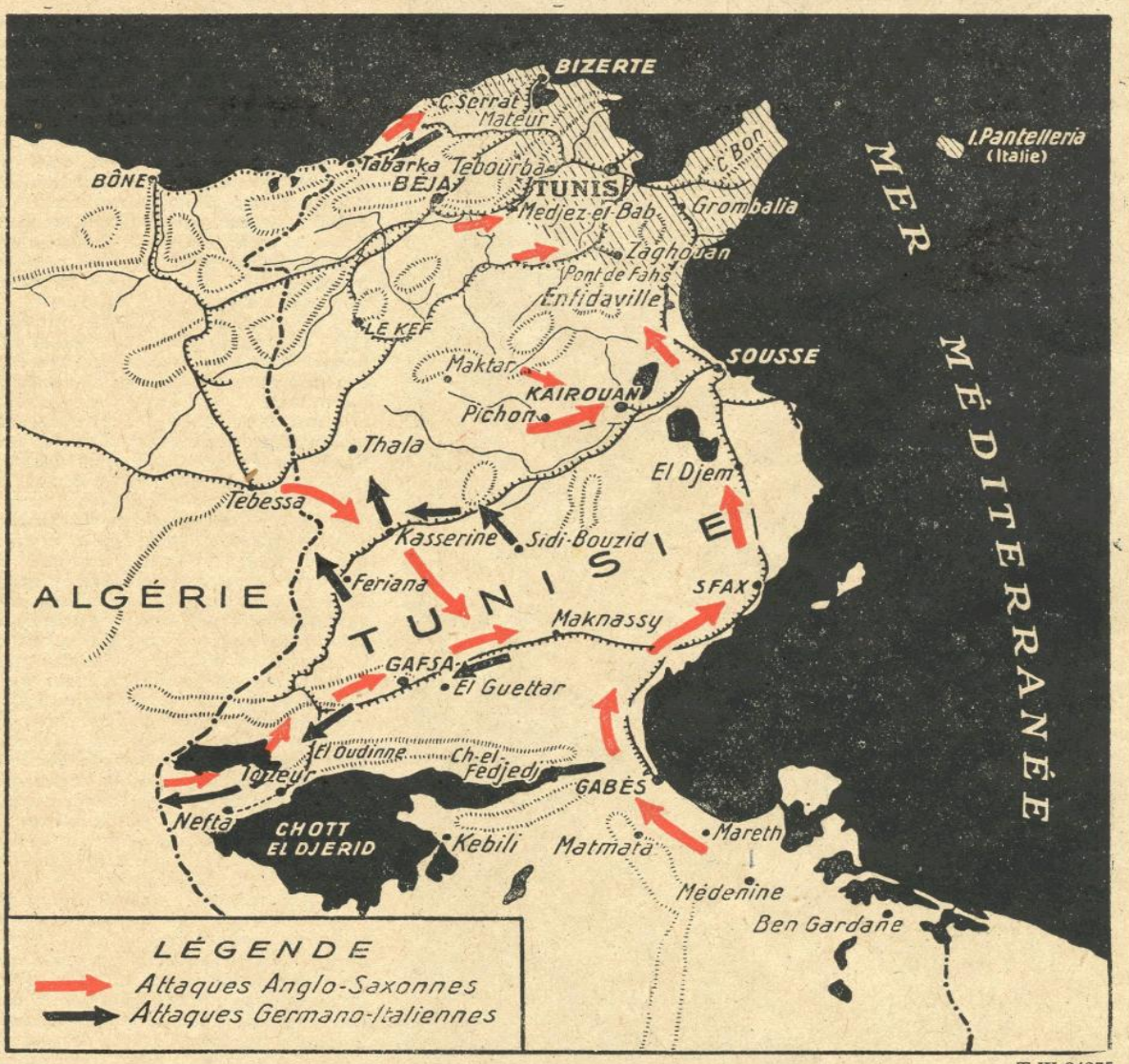
laissant Vorochilovgrad aux troupes soviétiques et atteignait la mer d'Azov entre Taganrog et Rostov. La tête de pont allemande du Kouban avait résisté à tous les assauts.

Les transformations de la situation en Méditerranée

Depuis le début de novembre 1942, les possibilités des deux adversaires en Méditerranée ont subi de profonds changements. Disposant de tous les aérodromes échelonnés sur les côtes du Proche-Orient et de Libye, l'aviation anglo-saxonne a aujourd'hui une position dominante dans le grand golfe qui sépare l'Egypte de l'Asie Mineure et est en mesure de lutter à égalité avec les escadres aériennes adverses entre Malte et la Crète. D'autre part, en possession des terrains d'atterrissage du Maroc et de l'Algérie, elle exerce une action prépondérante, près des côtes africaines, de Gibraltar à la Sardaigne. Mais le secteur central, de part et d'autre des trois grandes îles qui encadrent la mer Tyrrhénienne, étant aux mains des forces de l'Axe, le vaste fossé que les troupes anglo-américaines ont à franchir pour atteindre le gros des armées germano-italiennes se trouve coupé en deux parties presque isolées militairement l'une de l'autre.

Tant que le triangle Tunisie, Sardaigne, Sicile demeurera au pouvoir de leurs adversaires, les deux puissances maritimes ne pourront tenter contre les côtes méridionales de l'Europe que des opérations de faible envergure, nettement défavorisées par la configuration géographique des îles et des lignes continentales. A l'est, une offensive partant d'Alexandrie, de Jaffa et de Beyrouth et prenant pour objectifs la Grèce et les Balkans exigerait une longue suite d'efforts successifs et serait cantonnée dans un domaine étroit et excentrique. A l'ouest, des convois s'avançant au large des côtes d'Espagne, en vue d'effectuer un débarquement en Roussillon et en Provence, seraient insuffisamment appuyés par l'aviation et forcés d'utiliser un fuseau marin trop exigu.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



T W 24275

FIG. 4. — L'OFFENSIVE DES ARMÉES ANGLO-AMÉRICAINES EN TUNISIE

Après la campagne de Tripolitaine, les armées du maréchal Rommel se sont repliées en Tunisie où elles ont effectué leur jonction avec les troupes du général von Arnim. Retranchées au sud derrière les fortifications de la ligne Mareth, elles ont lancé à l'ouest des attaques en direction de Tozeur et de Tebessa dans le but de dégager largement leur flanc droit. Grâce à cette manœuvre, quand l'offensive de la 8e armée britannique, déclenchée à la fin de mars, a contraint les troupes de l'Axe à se replier dans la région montagneuse qui entoure Tunis, elles avaient pu déjouer toutes les tentatives d'encerclement des armées anglo-américaines.

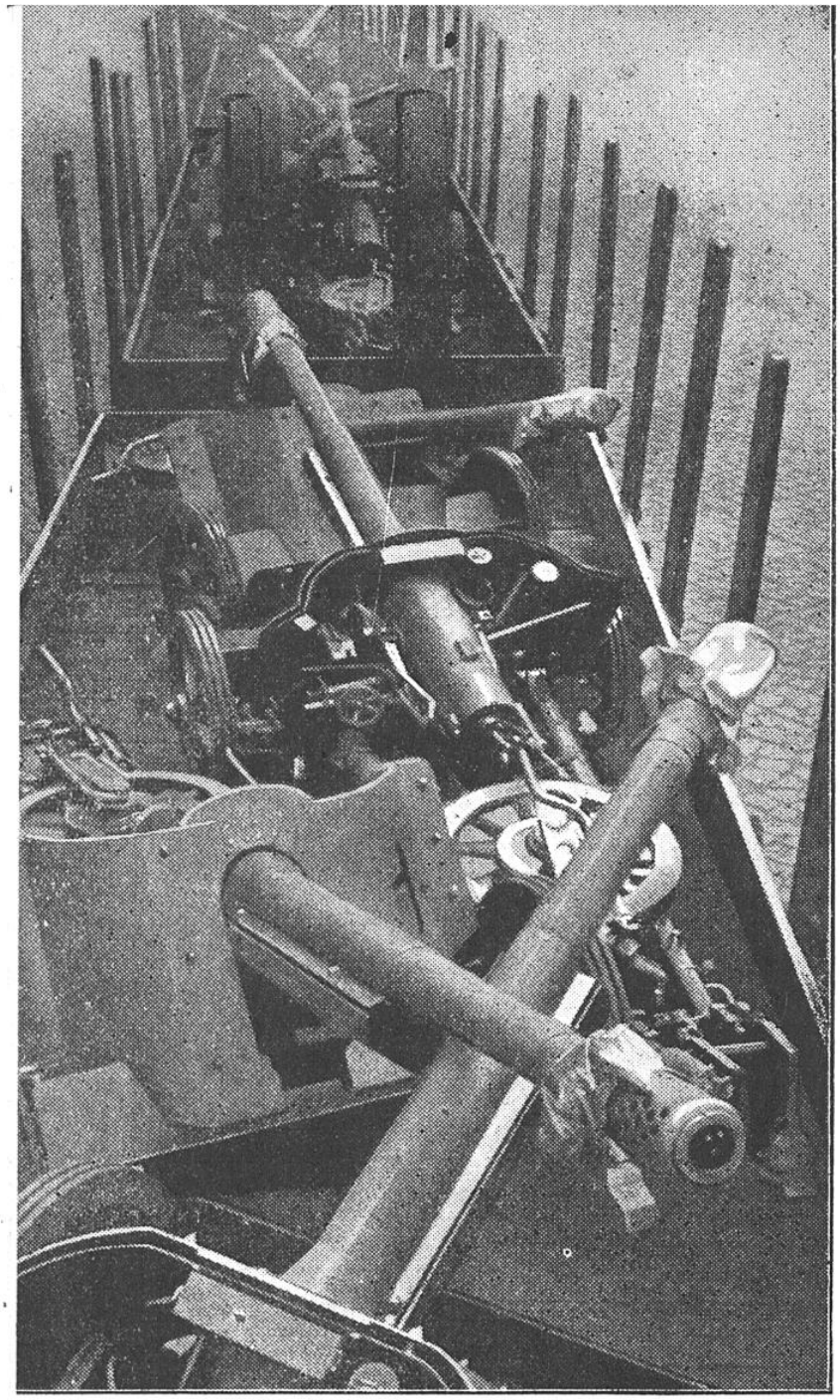
Il semble donc qu'une expédition de grand style contre le littoral méditerranéen de l'ancien continent ne puisse être entreprise par les Américains et les Britanniques qu'après que ceux-ci auront conquis toute la Tunisie et sans doute aussi la Sicile et la Sardaigne.

A la suite de la bataille d'El Alamein, qui s'est terminée dans les premiers jours de novembre 1942, la retraite de l'Afrika Korps s'est poursuivie le long du littoral libyen sans donner lieu à des engagements poussés à fond.

Le corps germano-italien a fait sa jonction avec les troupes de Tunisie le 23 janvier et s'est installé sur la ligne de Mareth. Il a ainsi échappé au risque d'être écrasé isolément par des forces supérieures. Mais, depuis ce repli, la marge de couverture du gros des troupes de l'Axe sur le territoire du beylicat manque de profondeur. Les Germano-Italiens y sont comme bloqués par l'ouest et par le sud. L'aviation anglo-saxonne est ainsi en mesure de concentrer l'action de ses escadrilles de chasse et de bombardement sur tous les points sensibles de la zone ennemie.

Jusqu'au 20 mars, aucune offensive d'ensemble n'a été tentée par le groupe d'armées anglo-américain. Il est vraisemblable que son commandement a voulu, avant d'entreprendre une

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



T W 24277

FIG. 5. — UN TRAIN DE MATÉRIEL ALLEMAND TRANSPORTANT DES CANONS ANTICHARS SUR LE FRONT DE L'EST

opération de vaste envergure, rassembler des moyens considérables et disposer d'une incontestable supériorité aérienne. Il a en outre fait procéder à la création d'aérodromes et au perfectionnement des communications de toute nature, en particulier au doublement des voies d'une partie du réseau ferré algérien et marocain.

Le théâtre d'opérations côtier

A la suite de la conférence de Casablanca, MM. Winston Churchill et Roosevelt ont, chacun de leur côté, affirmé avec beaucoup de force, la volonté de la Grande-Bretagne et des Etats-Unis de porter très prochainement des coups violents et répétés à l'Allemagne et à ses alliés. Une importante partie des contingents anglais se trouve toujours dans la métropole. D'autre part, les Américains ont des effectifs considérables dans les îles Britanniques. Ainsi la menace de débarquements massifs est toujours suspendue sur la vaste étendue des zones littorales occupées par les troupes de l'Axe, aussi bien au nord qu'au sud de l'Europe.

L'Allemagne et l'Italie ont installé le long de cette double et immense façade maritime un système de défense complet. La réaction allemande à l'attaque contre Dieppe a montré que cette organisation comporte tout d'abord une ligne de casemates et de fortins, renforcés par des batteries et en mesure de tendre des feux continus de mitrailleuses et d'antichars sur les grèves mêmes, puis un dispositif très largement articulé de réserves, tactiques et stratégiques, échelonnées plus en arrière, aux carrefours principaux des routes et des voies ferrées. Enfin, des ouvrages, construits à une distance plus ou moins grande de la mer, maîtrisent les voies d'invasion principales et protègent les points les plus sensibles. De nombreux aérodromes sont répartis le long des côtes.

Bien que les unités réservées soient séparées par de larges intervalles, on conçoit que cet ensemble défensif, d'une étendue véritablement inusitée, immobilise des moyens considérables.

Il est impossible de prévoir sur quels secteurs une tentative anglo-saxonne serait dirigée. Il semble cependant presque nécessaire que les débarquements aient lieu dans un rayon assez restreint pour que l'aviation de chasse des assaillants, partant de ses bases terrestres, puisse avoir son plein rendement dans la bataille.

La lutte aéronavale

Les attaques sous-marines et aériennes contre les navires de commerce ont pris, ces derniers mois, une intensité toujours croissante. Les pertes en tonnage subies par les Américains et les Anglais sont soulignées par la puissance même des réactions que les deux peuples mettent en œuvre pour entraver à la fois l'activité des submersibles adverses et leur construction.

Le Reich a amplifié son effort de production en matériel sous-marin et a créé de grands submersibles pétroliers, capables de ravitailler sur place en carburant les unités en croisière. Le nombre de celles-ci ayant augmenté d'une façon sensible et la durée de leur séjour sur le théâtre de la lutte pouvant se prolonger beaucoup plus que par le passé, la tactique employée aujourd'hui par la marine alle-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mande consiste à laisser en permanence des groupes de sous-marins sur toutes les grandes routes utilisées par les convois adverses : un commandement général, centralisé en Europe, leur envoie par T.S.F. les renseignements relatifs aux objectifs à attaquer et les ordres concernant les mouvements à exécuter. L'emploi d'avions à grand rayon d'action favorise la coopération des armes aérienne et sous-marine.

Pour se débarrasser de ces ennemis qui prélèvent un si lourd tribut sur leurs bâtiments et leurs équipages, les deux puissances anglo-saxonnes ont, depuis peu de mois, mis en application un programme de destructions méthodiques, accompli par d'importantes formations d'appareils de gros tonnage, qui déversent une énorme quantité d'explosifs sur les bases des sous-marins allemands, sur les ports renfermant leurs ateliers de construction et sur les villes où se trouvent des usines produisant soit des moteurs spéciaux, soit des torpilles. C'est ainsi que Lorient, Saint-Nazaire et Brest ont été bouleversées de fond en comble, que Rennes et Rouen, Hambourg, Wilhelmshafen et Brême ont été attaquées à maintes reprises et que les grandes villes usinières de la Ruhr ont été le but de nombreux et importants raids. Le procédé actuellement pratiqué dans ces bombardements consiste à ruiner des quartiers entiers pour atteindre, non seulement les sous-marins eux-mêmes, abrités dans des cavernes creusées dans le roc ou revêtues de béton, mais les installations extérieures, les ateliers, les dépôts de torpilles et de munitions, les trains de matériel, les gares, les voies ferrées, etc...

La guerre d'usure se poursuit en même temps sous une forme nouvelle qui apparaît comme une réplique anglo-saxonne terrestre aux attaques sous-marines des puissances de l'Axe. Les avions anglais et américains cherchent à paralyser les communications adverses en faisant attaquer par leurs avions de combat les trains qui circulent sur les lignes ferroviaires, les ateliers de réparation et les dépôts de machines, certains viaducs importants, etc...

Le Proche-Orient

Depuis que l'Afrika Korps a reflué en Tripolitaine, le vaste domaine occupé par l'Angleterre et ses alliés en Proche-Orient se trouve libéré de toute menace. Cependant, les puissances anglo-saxonnes y entretiennent des effectifs sérieux, dont la présence n'est pas motivée seulement par la nécessité de maintenir le calme chez les habitants de ces contrées.

Cette charnière entre le monde occidental et le monde oriental tire en effet une importance particulière de son emplacement à mi-chemin entre l'Europe centrale et l'Inde et de sa proximité de l'U.R.S.S. Les troupes qui l'occupent constituent une réserve qui peut, suivant les besoins, être portée soit en Afrique du Nord, soit vers le Caucase, soit vers l'Extrême-Orient.

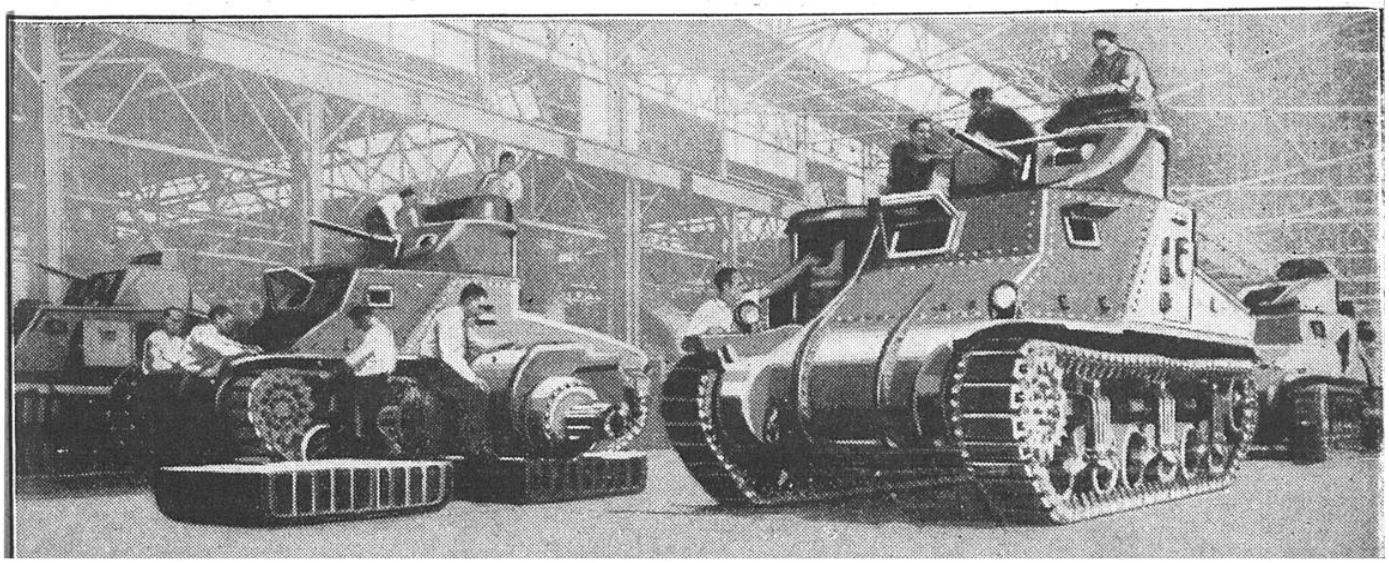
La Syrie, la Palestine et l'Egypte sont susceptibles également de fournir des bases pour une expédition dans la Méditerranée orientale. On a dit plus haut qu'une tentative de débarquement à gros effectifs visant l'occupation de la Grèce et des Balkans rencontrerait actuellement des conditions d'exécution peu favorables. Mais une opération limitée à la conquête du Dodécanèse, de la Crète et des îles de la mer Egée serait d'une réalisation plus aisée.

La situation en Extrême-Orient

Le Japon tient dans le conflit une position tout à fait à part. Séparé par des distances immenses de deux de ses principaux adversaires, l'Angleterre et les Etats-Unis, il n'a pas la possibilité d'aller les attaquer sur leur territoire respectif. Il est au contact de l'U.R.S.S. dans le Mandchoukouo et entoure presque complètement Vladivostok d'un cercle menaçant. Mais Nippons et Russes observent vis-à-vis l'un de l'autre une trêve tacite, demeurant dans une attitude de méfiance réciproque, et maintenant d'importants effectifs en face de leur frontière commune. Enfin, depuis plus de six ans, l'Empire du Soleil Levant est aux prises avec la République de Tchoung King, mais il n'a pas jusqu'ici tenté de pousser à fond ses offensives contre elle. Il s'est contenté de chercher à maîtriser son colossal adversaire en occupant ses voies de communication essentielles et à l'isoler en s'emparant de ses ports principaux, et en coupant les routes par lesquelles les puissances anglo-saxonnes lui faisaient parvenir des armes et du matériel.

Dans ces conditions, l'armée et la flotte nippones ont pu, en quelques mois, s'épanouir sur tout le Pacifique, chasser les Anglais et les Américains de leurs possessions en Asie orien-

FIG. 6. — LA PRODUCTION EN SÉRIE DE CHARS DE 28 TONNES AUX USINES CHRYSLER (ETATS-UNIS)
T W 24278



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tale, conquérir un prodigieux et riche domaine — Insulinde, Malaisie, Birmanie — sans dépenser des forces très considérables.

Ayant réalisé leur programme initial, acquis d'abondantes ressources agricoles et minières, organisé de nombreuses bases navales et aériennes dans tous les secteurs du Pacifique et fermé presque toutes les portes qui permettaient à la Chine d'entrer en relations avec le monde extérieur, les Japonais s'en sont tenus à ces résultats, d'ailleurs magnifiques. Ils ont seulement, depuis le début de l'été dernier, cherché à couvrir leur énorme zone d'action de tous les côtés dangereux et ont tourné leur effort contre la République chinoise.

Du côté de l'Inde, ils ont organisé leurs positions devant la frontière du Bengale; face à l'Australie, ils occupent la plus grande partie de la Nouvelle-Guinée et des îles Salomon; dans l'extrême nord du Pacifique, ils ont pris possession de la plupart des îles Aléoutiennes, pour intercepter les communications entre Américains et Russes, à travers la mer de Behring.

Sur le continent asiatique, depuis l'arrêt de leur offensive dans le Tche Kiang, en août 1942, les Nippons investissent, du côté du nord, de l'est et du sud-ouest, le territoire de la République de Tchoung-King, sur les trois quarts d'une circonférence de deux mille kilomètres de diamètre, depuis le coude du fleuve Jaune, à Pou-Tchéou, jusqu'à un point de la Salouen situé à environ trois cent cinquante kilomètres à l'est de Sadiya, sur le Bramapoutre (1).

Au milieu de février dernier, ils ont entamé de nouvelles opérations visant à resserrer leur étreinte autour de la Chine et à s'emparer de sa capitale. Ces attaques se sont développées spécialement dans quatre régions.

Au nord-est, trois colonnes, agissant de concert, ont cherché à envelopper et à détruire les forces chinoises qui battaient le pays entre Nankin et le segment du chemin de fer de Pékin à Canton compris entre le fleuve Jaune et Han-Kéou. Deux d'entre elles, venues respectivement du Ho-Nan septentrional et de Han-Kéou, ont marché à la rencontre l'une de l'autre, la première du nord au sud, la seconde du sud au nord. En même temps, les contingents du gouvernement de Nankin, évalués à 300 000 hommes, de valeur assez médiocre, opéraient à l'ouest de cette ville, pour nettoyer la région environnante.

Plus au sud, deux groupements se sont portés à la fois de l'est vers l'ouest; l'un, parti de It-Chang, dans le Hou-Pé, remontait la vallée du Yang-Tsé-Kiang; l'autre, débouchant de Nan-Chang, progressait le long de la voie ferrée qui rejoint au sud de Chang-Cha l'artère Pékin-Canton.

Une troisième série d'attaques a été menée, du sud au nord, dans le Kouang-Toung et le Kouang-Si, par des forces nippones venues de Formose.

Enfin, au sud-ouest, les armées qui ont pénétré dans le Yunnan se sont avancées vers le coude le plus méridional du Yang-Tsé-Kiang, à cheval sur la route de Birmanie.

La nature contradictoire des renseignements fournis par les deux partis permet difficilement de se rendre compte des effets produits par cette offensive multiple. Il semble cependant que les opérations auraient été couronnées de succès à l'ouest de Nankin : les Japonais ont signalé qu'une armée chinoise aurait été détruite dans cette région. Par contre, l'avance nippone s'est arrêtée dans la vallée du Yang-Tsé-Kiang et dans le Kiang-Si. Quant à l'offensive dans le Yunnan, elle paraît avoir été enrayée après une progression d'une centaine de kilomètres.

Sur les zones de contact des domaines japonais et anglo-saxon, l'activité a été incessante des deux parts, mais n'a pas abouti à des batailles de grande envergure.

A la frontière indo-birmane, les Britanniques ont lancé à travers un terrain tourmenté et couvert de forêts tropicales une série d'attaques intermittentes qui ont provoqué des ripostes des troupes nippones sans que l'équilibre des fronts opposés ait été rompu.

En Mélanésie, les Américains et les Australiens ont exercé une pression presque constante contre les éléments japonais installés en Nouvelle-Guinée et dans les îles Salomon. La mer de Corail a été le théâtre de rencontres navales parfois coûteuses. De nombreux débarquements de troupes, appartenant à l'un et à l'autre parti, ont eu lieu dans les archipels. Toutes ces opérations n'ont pas donné de résultats très marqués : les deux adversaires se sont généralement attribué l'avantage. Les Japonais ont dû cependant évacuer l'île de Guadalcanar. La Nouvelle-Guinée est demeurée partagée entre les deux antagonistes.

Dans les îles Aléoutiennes, les actions assez décousues ont gardé un caractère local.

Dans ces trois secteurs, c'est l'aviation qui a constitué l'instrument principal de la lutte. Les communiqués des deux partis ont presque quotidiennement annoncé des raids dirigés contre les bases navales ou aériennes opposées. Cependant, il semble que l'effort le plus efficace ait été fourni par les formations de bombardement anglo-saxonnes, progressivement renforcées par de puissants appareils venus des Etats-Unis.

Les facteurs matériels

Dans la guerre de très longue durée, les ressources matérielles et la capacité de production des deux groupes ennemis exercent une sérieuse influence sur l'évolution du conflit. C'est là un facteur dont chaque belligérant garde jalousement le secret en ce qui le regarde. On ne peut donc à ce sujet que formuler des appréciations assez générales.

La conflagration mondiale actuelle met aux prises les cinq plus grandes puissances industrielles du monde: d'un côté, les Etats-Unis, l'Angleterre et la Russie; de l'autre, l'Allemagne et le Japon. La presque totalité des bassins charbonniers présentement exploités se trouvent sur les territoires de ces nations. Mais il n'est pas douteux que la prépondérance, en ce qui concerne la richesse en matières premières et l'abondance des centres manufacturiers, ne soit du côté de la coalition anglo-saxonne. Cependant, le Reich et ses alliés, maîtres de la plus grande partie de l'Europe, utilisent pour leurs fabrications de guerre presque toutes les ressources minières et usinières du vieux continent. Il est vraisemblable que ni la houille, ni le fer, ni les établissements constructeurs ne leur font défaut pour maintenir à un degré élevé leur production d'armes de toute espèce. L'absence de certains métaux rares se fera plus fortement sentir pour eux. Mais les tonnages relatifs à ces minerais sont assez réduits et il

(1) Voir : « Cinq années de guerre sino-japonaise », dans *La Science et la Vie*, n° 304 (décembre 1942).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

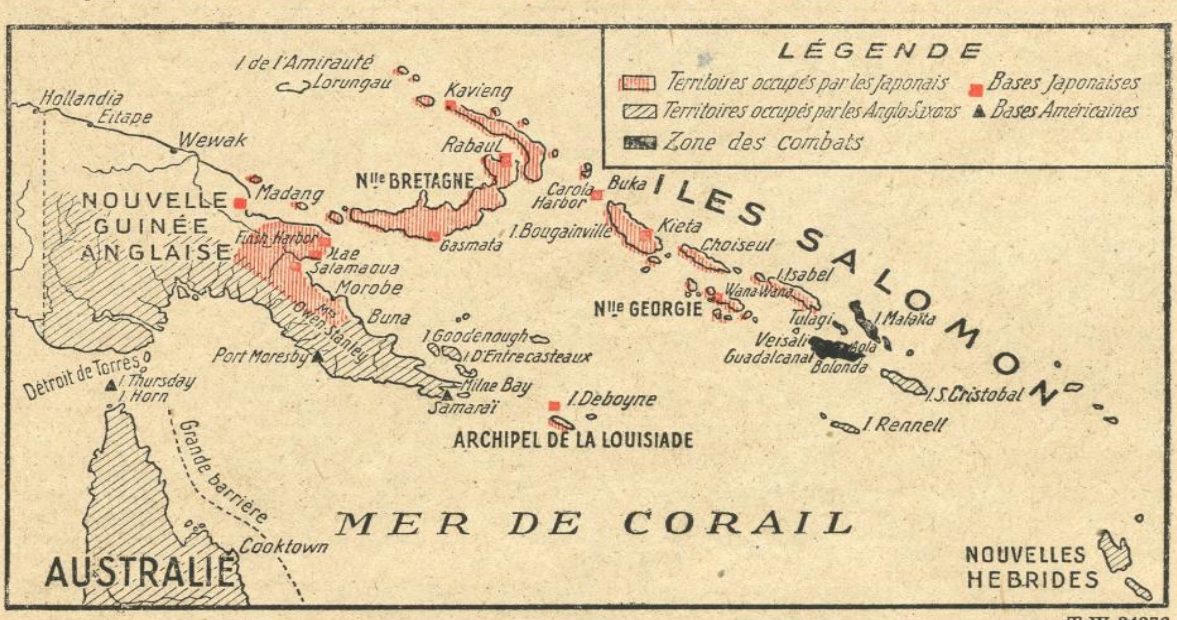
est sans doute possible au Reich de trouver chez certains neutres les ressources qui lui manquent.

L'approvisionnement en pétrole est l'élément qui paraît le moins favorable pour les puissances de l'Axe. Cependant, depuis qu'elle est en guerre, l'Allemagne a développé ses fabrications d'essence synthétique assez largement pour pouvoir normalement assurer le ravitaillement en carburant de ses armées sur terre, sur mer et dans les airs.

Du point de vue matériel, la situation de l'U.R.S.S. peut, à première vue, paraître assez compromise. Mais, jusqu'à aujourd'hui, aucun indice extérieur ne permet de constater un fléchissement dans la dépense, poussée parfois jusqu'au gaspillage, que le commandement soviétique fait de ses formations de chars et d'appareils aériens. La préparation à la guerre réalisée par le gouvernement de Moscou a été poussée à un point qui a maintes fois causé l'étonnement du monde entier. Mais elle n'avait sans doute pas encore été appréciée à sa juste valeur. Le prodigieux développement industriel de l'immense bassin de l'Oural, où voisinent les mines de houille, de fer, de cuivre, de platine et de chrome, est attesté par l'abondance de la production qui a réussi, ces derniers mois, à alimenter sans défaillance les armées rouges en engins de toute nature (1).

D'autre part, la Russie a repris possession récemment de la région de Moscou-Toula. Elle dispose de tous les puits de pétrole du Caucase et du manganèse de Géorgie. Enfin, elle a reçu d'importants stocks de matériel des Etats-Unis. Il est donc impossible d'étayer sur des preuves l'hypothèse concernant l'écroulement prochain de la résistance soviétique, par défaut de matériel.

La République chinoise donne une impression du même ordre. Privée de toutes les bonnes voies qui lui permettaient de recevoir du matériel de ses alliés anglo-saxons et réduite à utiliser, pour cet objet, les deux longues et médiocres routes d'Assam et de Mongolie, elle pouvait sembler, il y a un an, être devenue incapable de soutenir la lutte contre un adversaire disposant, en grandes quantités, de toutes les machines terrestres et aériennes les plus modernes. Cependant, les armées de Tchang Kaï Tchek ont continué, comme par le passé, à opposer à leurs agresseurs une résistance très ferme. Il faut donc croire que la Chine, depuis six ans qu'elle est en guerre, a su mettre en exploitation une partie des richesses minières



T W 24276

FIG. 7. — L'ARCHIPEL DES SALOMON, THEATRE PRINCIPAL DES OPÉRATIONS DANS LE PACIFIQUE

Au début de 1942, la foudroyante offensive japonaise dans le Pacifique, progressant d'île en île par débarquements successifs, après avoir submergé l'Insulinde, vise à conquérir l'Australie ou au moins à l'isoler des Etats-Unis qui en assument la défense. Les principales étapes de l'offensive contre l'Australie sont : l'occupation de Rabaul (20 janvier), puis de Hollandia, Salamaoua et Finsh Harbour en Nouvelle-Guinée, les bombardements de Port Moresby (à partir du 8 mars), l'occupation de l'île de Buka et de la base de Kieta dans l'île de Bougainville (6 avril). A partir de ce moment se développe la réaction américaine. Les Américains occupent la Nouvelle-Calédonie (25 avril). Du 4 au 8 mai a lieu la bataille navale de la mer de Corail dans laquelle les deux partis s'attribuent la victoire. La réaction américaine n'empêche pas les Japonais d'étendre leur domination sur Tulagi (2 juin). En même temps, une attaque sur Port Moresby se prépare par un débarquement japonais à Buna. Cette attaque se développe à partir du 27 août, mais, après avoir progressé à travers les Monts Owen Stanley, les troupes japonaises sont finalement repoussées et, après plusieurs mois de lutte, doivent abandonner Buna aux troupes australiennes. Pendant ce temps, la contre-offensive américaine pour la défense des voies de ravitaillement de l'Australie débute au mois d'août par des débarquements massifs de troupes de la marine américaine à Tulagi, Florida et Guadalcanar. A partir de ce moment commence une série de batailles aéronavales et terrestres dont l'enjeu est l'archipel des Salomon.

(1) Voir *La Science et la Vie*, n° 295 (mars 1942), pages 130 et 136.

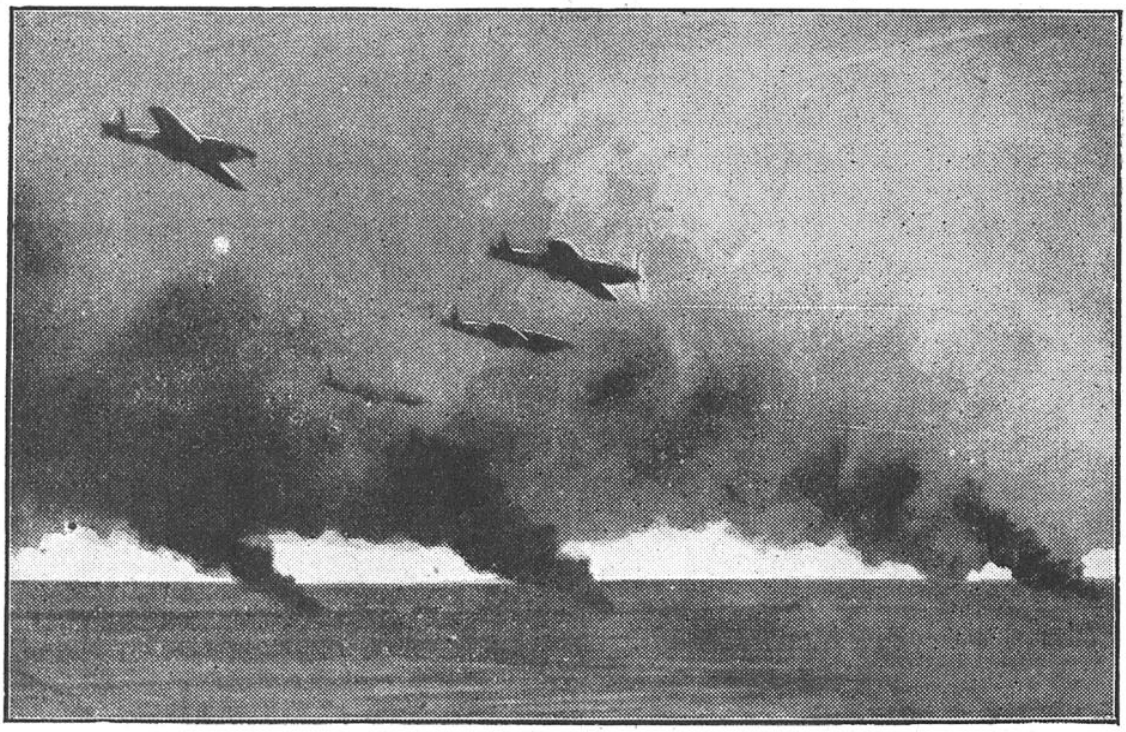
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de son sous-sol et monter des usines dont la production suffit pour doter ses troupes des armes les plus indispensables.

En ce qui concerne les Japonais, il n'est pas douteux que, depuis un an, ils n'aient pris toutes les mesures voulues pour tirer profit, au maximum, des ressources minières, agricoles et pétrolières exceptionnellement copieuses des Indes néerlandaises, des Philippines et de la Malaisie. On ne peut croire qu'ils soient actuellement exposés à une crise de matériel.

nants. Cependant est-on en droit d'admettre que les immenses réserves d'hommes de la Russie sont aujourd'hui usées au point que le grand pays se trouve dans l'impossibilité de poursuivre longtemps encore des hostilités si coûteuses? Ici encore, aucun indice extérieur d'un pareil épuisement n'est observable. Jusqu'à maintenant, le commandement soviétique a jeté ses effectifs dans la bataille avec la même prodigalité.

Les deux tiers du territoire moscovite véri-



T W 24280¹

FIG. 8. — AVIONS DE CHASSE ITALIENS ATTAQUANT A LA BOMBE ET A LA MITRAILLEUSE UNE COLONNE MOTORISÉE ANGLAISE SUR LA VIA BALBIA (TRIPOLITAINE)

Les pertes en navires marchands dues aux attaques sous-marines constituent, pour les Anglo-Saxons, un danger réel, susceptible de retarder notablement l'arrivée de leur matériel sur tous les théâtres d'opérations. Mais, si le péril n'est contesté par personne, il n'a pas jusqu'ici amené l'Angleterre ni les Etats-Unis à ralentir le rythme de leurs envois d'armement, bien au contraire. Le programme de bombardements massifs mis en œuvre par eux pour faire échec à la campagne aéronavale de l'Axe n'a pas jusqu'ici fait sentir de résultats, mais on sait que les torpillages de cargos navigant en convois sont surtout fréquents quand les escorteurs sont en trop petit nombre. Or, les deux grandes puissances maritimes déploient une grande activité pour accroître leurs ressources en bâtiments de cette nature.

Le facteur humain

La puissance belligérante qui a subi, de beaucoup, les pertes les plus lourdes, en tués et prisonniers, est l'U.R.S.S. Les chiffres publiés à ce sujet sont véritablement impression-

tablement habité, sur l'ancien continent, sont demeurés hors du rayon d'action de la Wehrmacht. La plupart des jeunes gens ont été repliés vers les provinces orientales. D'autre part, le gouvernement de Moscou a pris depuis longtemps ses précautions pour prolonger la résistance, même dans l'hypothèse où une forte partie de la Russie d'Europe serait envahie. Pendant ces vingt-cinq dernières années, il a transporté des dizaines de millions d'hommes en Sibérie, pour coloniser la longue et fertile bande de terres noires qui, prolongeant l'Ukraine, s'étend vers l'est jusqu'au cœur de l'Asie. Il y a là une population qui, s'ajoutant à celle qui est répandue dans l'immense zone allant de Moscou à l'Oural et de la mer Blanche à la mer Caspienne, fournit de larges disponibilités en effectifs.

Jusqu'au milieu de 1941, la Wehrmacht n'a connu que des succès faciles et peu onéreux. D'après une déclaration récente du Führer, le nombre des tués allemands atteignait, le 20 mars 1943, 542 000. D'autre part, comme on l'a rappelé plus haut, les territoires, de dimensions prodigieuses, occupés par les forces

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de l'Axe, absorbent de très importants effectifs. Cependant, la mobilisation totale à laquelle vient de procéder le Reich lui fournira, à n'en pas douter, des ressources en hommes suffisantes pour lui permettre d'étoffer ses armées sur tous les fronts essentiels.

La Grande-Bretagne a fait un effort intense pour lever, dans la métropole et dans les dominions, des armées considérables. Celles-ci n'ont pas encore été engagées dans des opérations d'ensemble et n'ont éprouvé qu'un faible pourcentage de pertes. Il en est de même du Japon et de l'Italie.

La Chine possède un réservoir de soldats pratiquement inépuisable et les Etats-Unis n'ont encore envoyé au feu qu'une faible fraction de leur population masculine en âge d'être incorporée.

Les deux puissances neutres du bassin méditerranéen

Une esquisse de la situation militaire mondiale serait incomplète si elle ne portait trace des conséquences que pourraient introduire dans la lutte l'Espagne et la Turquie, au cas où ces deux nations se décideraient à se joindre à l'un ou à l'autre des groupements rivaux. S'il est vrai que l'Europe ressemble à une vaste forteresse dont les forces du Reich et de ses alliés forment la garnison, les deux puissances neutres qui l'encadrent, au sud, en constituent les bastions flanquants. Cette comparaison est plus qu'une simple image, aujourd'hui où l'aviation étend le rayon d'action des armées jusqu'à des centaines de kilomètres des contrées où elle a ses terrains d'envol.

Celui des deux partis qui aurait accès dans la péninsule ibérique pourrait s'attribuer la supériorité aérienne soit dans l'Afrique du Nord et la Méditerranée occidentale, soit sur la partie méridionale de la France. L'entrée en guerre de l'Espagne auprès des puissances de l'Axe permettrait en outre à celles-ci de s'emparer de Gibraltar et d'interdire le passage dans le détroit à tous les bâtiments de surface.

D'une façon analogue, celle des deux coalitions qui disposerait du territoire turc pourrait obtenir la prépondérance aérienne soit dans la mer Noire et dans l'importante région des pétroles caucasiens, soit en Proche-Orient. De plus, en rattachant ses destinées à celles de l'Angleterre et des Etats-Unis, la Turquie ouvrirait à leurs escadres l'entrée de la mer Noire. La flotte russe qui s'y trouve enfermée et presque privée de bases serait sauvée et la liaison entre les deux nations anglo-saxonnes et l'U.R.S.S. largement assurée. Au contraire, en s'associant aux nations de l'Axe, le gouvernement d'Ankara permettrait à celles-ci de gêner et peut-être de couper les relations entre les Russes et leurs alliés par la Perse.

Enfin, en pénétrant sur le plateau espagnol ou en Anatolie, les Anglo-Saxons prendraient pied sur le continent, à proximité de leurs adversaires, tandis que le même avantage, s'il était obtenu par les Allemands et les Italiens, barquement dans le sud de l'Europe centrale.

Tous ces facteurs justifient amplement l'activité des négociations diplomatiques qui n'ont cessé de régner entre les deux pays neutres et les représentants des camps ennemis.

Coup d'œil sur le proche avenir

On entend souvent demander : « Quand cette guerre finira-t-elle? » L'impossibilité de prévoir l'évolution d'un phénomène si formidable et contenant tant d'éléments inconnus empêche d'apporter une réponse, si imprécise qu'elle soit, à cette question. Mais, en s'abstenant soigneusement de prophétiser, on peut chercher à dégager, de l'exposé qui précède, une impression grossière sur la suite qu'est susceptible de comporter le conflit, dans les mois prochains.

L'immensité même des deux masses qui s'affrontent donne à croire que l'écroulement de l'une ou de l'autre ne peut se produire qu'au cours d'une période de longue durée. La coalition germano-italo-japonaise doit, pour gagner la guerre, mener à bien trois opérations à échéance lointaine : faire capituler l'U.R.S.S., conquérir les îles Britanniques et détruire les forces des Etats-Unis. De son côté, l'alliance russo-anglo-saxonne ne peut posséder la victoire définitive que si elle parvient à envahir l'Europe, à abattre la résistance de l'Axe et à s'emparer de la maîtrise absolue dans le Pacifique et les mers de Chine.

Existe-t-il chez certains Etats participant à la lutte des fissures internes invisibles, susceptibles d'amener un brusque craquement et une dislocation rapide : lassitude, fatigue de la population, démoralisation due soit à l'excès des pertes, soit aux effets de la guerre aéronavale? Sans être inadmissible *a priori*, une telle hypothèse ne repose sur aucune preuve, et il faut croire que l'année 1943 verra se continuer, avec des vicissitudes diverses, cette mêlée gigantesque.

En ce qui concerne le développement prochain des événements, il est vraisemblable que, sur le front de l'Est européen, chacun des deux adversaires s'efforcera de saisir l'initative des opérations. Le parti qui y parviendra sera sans doute celui qui pourra le premier mettre en œuvre d'importantes réserves immédiatement disponibles.

Une opération de débarquement de grand style sur le littoral de l'ancien continent répondrait à la fois à la situation générale et aux déclarations des dirigeants de Washington et de Londres.

En Asie orientale, les Japonais n'ont pas mis à profit les mois les plus favorables aux mouvements des armées pour étendre leurs conquêtes, sauf à l'intérieur de la Chine. Une offensive contre l'Inde serait maintenant contrariée par la saison des pluies. En Australie, les défenseurs ont eu le temps de se renforcer et de s'organiser. Une attaque nippone contre le continent océanien serait beaucoup plus malaisée aujourd'hui qu'il y a dix mois.

Voilà à peu près tout ce qu'il est permis de dire, avant le début des campagnes d'été de 1943, si on ne veut faire œuvre de pure imagination.

Général Brossé,
du cadre de réserve.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

LA ROUTE STRATÉGIQUE AMÉRIQUE-ASIE PAR L'ALASKA

par Henri FRANÇOIS

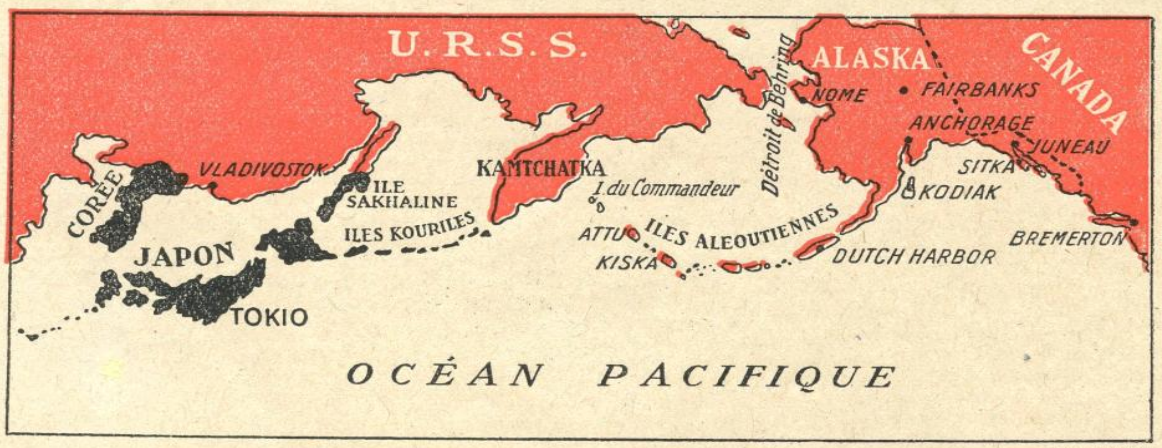
La guerre mondiale, qui a fermé nombre de grandes voies du trafic mondial (celle de Suez, par exemple), en a fait naître d'autres dont la réalisation eût semblé chimérique il y a quelques années. Après les routes de Birmanie, des Indes et de Chine, les chemins de fer d'Arabie et d'Iran, les pistes transafricaines sur les arrières des armées anglo-américaines, voici la nouvelle route de l'Alaska qui doit unir les Etats-Unis et l'U.R.S.S. à travers une des régions les plus désolées du globe.

BIEN avant l'attaque japonaise sur Pearl Harbour qui décida de leur participation officielle au conflit mondial, les Etats-Unis s'étaient flattés de devenir « l'arsenal des démocraties ». Et, comme il ne sert à rien de fabriquer des engins de guerre s'ils ne sont pas acheminés vers les théâtres d'opérations, le problème des transports se posait déjà à eux d'une façon aiguë et particulièrement difficile à résoudre. Tous les fronts de guerre étaient séparés des usines américaines par les océans où la guerre sous-marine et aéronavale prélevait chaque jour un lourd tribut sur le matériel transporté. De plus, certains pays alliés, Chine, Russie, n'avaient pour ainsi dire aucune fenêtre ouverte sur le monde extérieur et devaient être ravitaillés par des voies de rendement assez faible et terriblement longues. L'entrée en guerre effective des Etats-Unis est venue donner encore plus d'ampleur au problème des transports, cependant que la menace aérienne dans l'océan Arctique, rendant dangereux l'accès du port de Mourmansk, l'intensification de la guerre sous-marine dans l'Atlantique, et l'avance foudroyante des Japonais dans le Pacifique (invasion des îles Philippines, coupure de la route de Birmanie) fermaient encore certaines lignes de ravitaillement ou en rendaient l'utilisation plus malaisée. Il fallait donc en trouver de nouvelles et, instruits par l'expérience, les techniciens américains accordaient la préférence aux voies terrestres sur les voies maritimes devenues trop dangereuses.

L'Alaska, pont entre l'Asie et l'Amérique

Le seul point de contact entre l'Ancien et le Nouveau Monde est constitué par l'Alaska, vaste étendue glacée dont les 1 520 000 km² (deux fois et demie la superficie de la France) furent cédés en 1867 aux Etats-Unis par la Russie pour la somme infime de 38 millions de francs de l'époque. Entre l'Alaska et la Sibérie, le détroit de Behring n'a que 100 km de largeur et ses eaux sont assez peu profondes (60 m au maximum) pour qu'un Français ait envisagé la possibilité de le traverser par un pont gigantesque.

L'Alaska présente encore un autre intérêt du point de vue stratégique : il est le point de départ de l'archipel des Aléoutiennes, chaîne de montagnes à demi sous-marine qui, prolongeant les Montagnes Rocheuses, se déploie en arc de cercle jusqu'au Kamtchatka, et dont les îles les plus occidentales (Attu et Agattu), qui



T W 24282

FIG. 1. — L'ALASKA, PASSAGE NATUREL DE L'AMÉRIQUE A L'ASIE

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sont tombées aux mains des Japonais au printemps 1942, ne sont qu'à 1 500 km au nord de l'archipel nippon. Après la perte des îles Philippines, les Aléoutiennes constituent le seul tremplin dont peuvent disposer les Américains pour une attaque directe contre le Japon. Ce tremplin pourrait d'ailleurs aussi bien servir aux Japonais pour une attaque contre le nord de l'Amérique, et il importe d'en assurer la défense.

L'importance de l'Alaska dans la guerre actuelle a conduit les Etats-Unis, d'accord avec le Gouvernement canadien, à construire rapidement une route permettant de l'atteindre sans faire appel aux transports par mer. Cette route passe par l'intérieur des terres malgré les difficultés supplémentaires que représentait ce choix, et elle aboutit à Fairbanks, le principal centre de l'Alaska. Fairbanks sera l'embranchement qui permettra d'atteindre soit le détroit de Behring, soit la côte septentrionale du Pacifique à laquelle il est déjà relié par une voie de chemin de fer.

T W 24281

FIG. 2. — LE TRACÉ DE LA ROUTE DE L'ALASKA

Le tracé et la réalisation de la route de l'Alaska

Une ligne de chemin de fer traversant le Canada du Nord au Sud, de Hazelton, sur la Skuna River à Dawson, sur le Yukon, avait déjà été projetée avant la guerre. En 1939, une commission mixte, composée de représentants des Etats-Unis et du Canada, étudia la possibilité d'une route reliant l'Alaska et le nord du Canada au réseau des voies terrestres américaines. Deux trajets furent d'abord étudiées : l'un partait de Hazelton et l'autre de Prince George sur la Fraser River, tous deux situées sur le chemin de fer qui aboutit à Prince Rupert sur le Pacifique. Mais ces deux têtes de ligne n'ont pas paru suffisamment à l'abri des entreprises de l'ennemi quand on décida, au début de 1942, de passer à l'exécution, et le trajet finalement adopté, long de 2 500 km, est beaucoup plus à l'intérieur des terres. Il est jalonné par les aérodromes d'une ligne reliant Dawson à Edmouton, aérodromes dont le ravitaillement se faisait jusque-là par avion. Le point de raccordement de la route de l'Alaska avec le réseau canadien est Port St John sur la Rivière de la Paix. Les étapes principales en sont Fort Nelson (sur la Liard River), White Horse, Dawson, Boundary (le point le plus septentrional) et enfin Fairbanks. Pour avoir une idée des difficultés de l'entreprise, il suffit de penser que la région à traverser est complètement déserte et constituée principalement de toundras et de marais. Balayée l'hiver par les tempêtes de neige, le dégel la rend en beaucoup d'endroits impraticable jusqu'à l'automne. Bien qu'elle évite les points les plus difficiles des Montagnes Rocheuses, qui s'élèvent à 6 187 m (Mt Mac Kinley), elle comporte un certain nombre de tunnels et exige le transport d'énormes masses de terre. Les difficultés techniques de la route de l'Alaska ne peuvent se comparer qu'à celles de la route de Birmanie. Mais, tandis que pour celle-ci, elles furent résolues par l'emploi de milliers de travailleurs, en Amérique les machines les plus perfectionnées s'efforcèrent d'établir des records de rapidité.

Les frais de l'entreprise — estimés à quelque 30 millions de dollars — sont entièrement couverts par les Etats-Unis, et la réalisation a été confiée au génie américain, sous la direction générale du colonel William H. Hope.

La route a été construite en plusieurs tronçons allant à la rencontre les uns des autres à partir de bases de départ où il était possible d'amener les ouvriers et le matériel nécessaires. Ces bases étaient principalement Fairbanks, White Horse (tous deux reliés au Pacifique par une voie ferrée) et, au sud, Fort St John et Fort Nelson, déjà unis par une mauvaise route forestière. L'exécution s'en est faite en plusieurs temps : le génie réalisant une voie provisoire tout juste praticable, puis la cédant à l'Administration des « Public Roads » américaines qui la transformait en un autostrade de pierre, large de 8 mètres.

La durée des travaux était évaluée, au début de 1942, à quatorze ou dix-huit mois ; et la nature des terrains traversés et les difficultés techniques de toutes sortes pouvaient faire craindre que l'exécution ne fût en retard sur les prévisions.

Mais depuis le début de 1942, les Etats-Unis ont considérablement augmenté leur effort en vue d'améliorer leur réseau mondial de transports, et, la guerre engendrant parfois dans les pays les plus « démocratiques » des formules « totalitaires », l'approvisionnement de tous les fronts de guerre sera sous peu confiée à une

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

puissante organisation unique, seule capable d'assurer une tâche aussi énorme. La réalisation de la route de l'Alaska a reçu une impulsion beaucoup plus énergique et, plusieurs mois en avance sur les prévisions, elle a dû être achevée — si l'on en croit le Secrétaire d'Etat Stimpson — le 1er décembre 1942.

L'importance de la route de l'Alaska

Les événements d'Afrique du Nord donnent à penser que les Américains adopteront, pour un certain temps au moins, une attitude défensive en Extrême-Orient, pour porter leur effort maximum en Europe. Avant de servir à la préparation d'une grande offensive sur le Japon, la route de l'Alaska contribuera au ravitaillement de l'U.R.S.S. et de la Chine. En ce qui concerne le ravitaillement du front russe, la route de l'Alaska est plus longue et d'un rendement inférieure à celle de l'Arctique, mais elle est plus sûre. Mais c'est surtout pour le ravitaillement de la Chine que la nouvelle route est intéressante. Un accord récent permet au matériel américain (à l'exception pour le moment du matériel de guerre) de transiter par la Sibérie et Alma Ata pour rejoindre la route allant à Tchoung-King. Cet itinéraire est de 8 500 km plus court que la voie actuellement employée et qui gagne Alma Ata par le golfe Persique; il offre une sécurité plus grande et il diminue considérablement la durée du transport.

Déjà le passage du détroit de Behring est préparé sur les deux rives par la construction de vastes quais et tout donne à penser que, de son côté, le gouvernement soviétique, qui, d'après des informations récentes, fortifie une île du détroit de Behring, a construit une voie reliant les routes sibériennes à la rive asiatique du Détroit.

H. FRANÇOIS.

D'après les recensements les plus récents, on peut évaluer la population totale du globe à 2 216 millions d'individus. Ce chiffre n'est exact qu'à 100 ou 200 millions près, car, si la terre est aujourd'hui presque entièrement explorée, un recensement plus précis exigerait une organisation qui n'est pas encore partout réalisée. Si l'on veut étudier l'accroissement de l'humanité depuis un siècle et demi, les estimations les plus sérieuses appellent encore plus de réserves que le chiffre actuel, puisque certaines sont antérieures à la découverte totale de la terre. En 1800, la population du globe était évaluée à 873 millions d'hommes. Elle se serait donc multipliée dans la proportion de 1 à 2,5. Entre 1800 et 1900, elle avait presque doublé. Un tel rythme d'accroissement serait impossible à maintenir indéfiniment, car, s'effectuant suivant une loi exponentielle (1, 2, 4, 8, 16, etc.), il prendrait une allure véritablement explosive.

Mais la maladie, la famine, la guerre et la restriction des naissances établissent un équilibre qui dépend des ressources que nous savons tirer du sol. Si l'on examine maintenant en quelles régions du globe la population s'est proportionnellement le plus accrue, l'Amérique vient de loin en tête, puisque de 25 millions d'habitants en 1800 elle passe à 85 millions en 1870, à 144 millions en 1900 et à 276 millions en 1940, soit une ascension dans le rapport de 1 à 11. Il est vrai que l'Amérique a bénéficié d'un apport considérable d'immigrants européens. L'Europe comptait 187 millions d'hommes en 1800, 306 millions en 1870, 401 millions en 1900 et 534 millions en 1940 : sa population a triplé en 140 ans. Les autres parties du monde où les blancs sont en minorité comptaient ensemble 661 millions d'hommes en 1800, 952 millions en 1870, 1 006 millions en 1900 et enfin 1 406 millions en 1940. La race blanche a quadruplé, tandis que les autres races doublaient seulement le chiffre de leurs représentants. Cela ne tient pas à une fécondité particulièrement élevée des blancs, mais au progrès de leur science et de leur technique qui leur ont permis de tirer un rendement bien supérieur du sol, de conquérir et de défricher d'immenses espaces (Amérique, Sibérie, Australie) et de diminuer considérablement leur mortalité. Lorsque l'Asie aura assimilé la civilisation occidentale, sa population n'étant plus décimée par les calamités, pourra croître de façon tout aussi vigoureuse, comme le montre l'exemple du Japon qui, en 67 ans de progrès (1871-1938), a doublé le nombre de ses habitants.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

A LA DÉCOUVERTE DU MONDE SOUTERRAIN : GOUFFRES, GROTTES ET CAVERNES

par André GLORY
Docteur en Préhistoire de l'Université de Toulouse

Les grottes et les cavernes étaient autrefois entourées de mystère, et la terreur qu'elles inspiraient empêchait les hommes de s'y aventurer. Leur exploration relativement récente par des sportifs et par des savants les a presque entièrement dépouillées de leurs secrets. Une science nouvelle est née : la spéléologie qui sait expliquer la naissance, la vie et la mort des cavernes. C'est la circulation des eaux souterraines, eaux de pluies ou pertes de rivières, qui creuse sous la terre ces gouffres, ces galeries et ces salles, puis les délaisse pour s'enfoncer plus profondément dans le sol. C'est elle aussi qui les revêt de ces cristallisations magnifiques qui font l'admiration du touriste. En suivant l'eau dans son parcours souterrain, on peut remonter à l'origine de certaines sources, mettre en évidence le danger de leur pollution. Enfin les cavernes n'ont pas toujours été inhabitées et on y retrouve les traces (dessins, outils, cendres, ossements) des premiers hommes qui y cherchaient refuge contre les bêtes et le froid.

Le monde souterrain a de tout temps intéressé les hommes. Dès l'origine de l'humanité, les tribus préhistoriques cherchèrent dans les cavernes un refuge efficace contre le froid et les carnassiers voraces qui eussent pu attenter à leur vie.

C'est à Chou-Kou-Tien, à 50 km de Pékin, que furent trouvées, en 1922, les premières traces de l'industrie humaine la plus reculée. Des cendres, des os travaillés et des quartzites taillés étaient entassés sur une épaisseur de 50 m dans une fissure de calcaire primaire (ordovicien), ancienne grotte à plafond écroulé. Or ces vestiges remontent à l'aurore de l'ère quaternaire.

C'est ainsi que, de Chine jusqu'en Europe et au sud de l'Afrique, les divers progrès humains se sont succédé à tous les âges dans les cavités souterraines. Au Moustérien, le travail de l'os et l'invention du burin ; à l'Aurignacien, les premières sculptures humaines ; au Solutréen, l'aiguille à chas pour la couture des peaux ; au Magdalénien, les peintures polychromes ; au Néolithique, l'agriculture et l'élevage des animaux domestiques.

Puis les cavernes furent délaissées. Si le monde gréco-romain s'en occupa, c'est pour les peupler de récits fabuleux et mythologiques. Le moyen âge les craignait et y faisait vivre des dragons et des fées malfaisantes. Les temps modernes enfin les redécouvrent et en étudient les arcanes.

Les premiers spéléologues

Bien inconsciemment, le trappeur Hutchins, en pourchassant un ours blessé, pénètre, en 1809, dans la *Mammoth Cave* des Etats-Unis. Il découvre la plus vaste caverne du monde. En 1842, Bonnemaison, un chasseur, dégage un terrier à Aurignac (Haute-Garonne) et révèle la célèbre grotte préhistorique. On pourrait multiplier les cas de cow-boys, de bergers, de braconniers, de gardes-chasse, qui pénètrent fortuitement dans des cavernes maintenant aménagées : Sahuquet à Dargilan, Jim White à Carlsbad, etc..., avant d'arriver à Martel qui les explore méthodiquement.

Les travaux considérables de ce grand géologue, commencés il y a une cinquantaine d'années, révélèrent au public une partie des secrets que détiennent les gouffres : la circulation souterraine des eaux sauvages, les pollutions des eaux de puits et de résurgence, le creusement des cavernes, la formation des concrétions (stalactites, stalagmites, etc.), l'existence d'animaux aveugles, etc...

En 1889, Martel descend dans Padirac et, en 1895, se fonde la première Société Spéléologique française que la guerre de 1914 disperse. Martel employait pour ses descentes de lourdes échelles de gymnase, des bateaux en bois, des cordes à diamètre excessif qu'il ne pouvait faire suivre dans tous les dédales d'une caverne. Aussi beaucoup de ses expéditions échouèrent tant en France qu'à l'étranger.

C'est en 1930 que M. de Joly eut l'idée de rénover le matériel ancien en l'allégeant et en lui adjoignant des innovations indispensables. Il reformait la Société Spéléologique de France, qui n'a jamais cessé d'exister. Des chercheurs isolés ou des groupements locaux mirent au point un outillage spécialisé qui compte pour les trois quarts au moins dans la réussite des explorations souterraines. Donnons-en un bref aperçu.

L'éclairage portatif s'est transformé en photophore frontal alimenté par l'acétylène ou les piles électriques. Les échelles de corde se sont mutées en échelles à câbles d'acier et à barreaux d'électron n'excédant pas 100 g par mètre. Les trains de 10, 20, 30 et 50 m s'accouplent les uns au bout des autres par des raccords instantanés.

La tête de l'explorateur est garantie des chutes de pierres par un casque en caoutchouc

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

T W 24330

FIG. 1. — LE FENDILLEMENT D'UNE GLACE SOUS L'EFFET D'UN EFFORT DE TORSION (EXPÉRIENCE DE DAUBRÉE)

En soumettant une glace à une torsion qui, si elle était plastique, la transformerait en un hélicoïde d'axe αβ, elle se fendille suivant un système de cassures à angle droit. Un phenomène analogue peut donner lieu, lors des déformations de l'écorce terrestre, à des cassures de la roche ou diaclases *orientees perpendiculairement les unes aux autres; c'est pourquoi on observe souvent que le cours souterrain d'une rivière emprunte un parcours en zig-zag, alors que la direction générale de ce cours devrait être rectiligne.*

mousse épais. Les rivières souterraines sont remontées en bateau pneumatique, d'un poids de 5 kg, se repliant dans un sac tyrolien. Les cuvettes d'eau sont franchies dans des combinaisons étanches en toile caoutchoutée, garantissant le corps de l'eau à 4 et 6°. Les scaphandres genre Le Prieur n'ont pas donné les résultats qu'on en attendait pour franchir les siphons amorcés.

La hauteur des salles est mesurée avec des ballons d'hydrogène qui tirent après eux un fil métré; enfin, les grandes verticales de plus de 100 m sont descendues d'une traite par treuil-bricole glissant le long d'un câble d'acier de 5 mm de diamètre.

Le téléphone et les postes portatifs de T.S.F. à ondes courtes pour assurer la communication avec l'extérieur complètent cet arsenal varié qu'une auto spécialement équipée transporte au bord des « avens ».

La naissance d'une caverne : les cassures de la roche

Chaque caverne a son histoire, et on peut connaître sa naissance, suivre sa croissance et même prédire sa mort. Souvent cette histoire est sensiblement la même pour toutes les grottes d'un massif montagneux ou d'une région, car ces grottes ont la même origine et leur évolution s'effectue sous l'influence des mêmes causes. Mais, d'une région du globe à une autre, on observe au contraire une grande variété dans l'origine, l'âge et l'évolution des cavernes, ce qui rend une théorie générale difficile à élaborer. Il est pourtant possible d'en dégager quelques caractères d'ensemble.

Le point de départ de l'existence des cavernes réside dans les plissements de l'écorce terrestre, plissements qui donnent naissance aux chaînes montagneuses et aux dépressions de la surface du globe. La lithosphère solide ne se plisse pas sans se casser en un certain nombre d'endroits. On observe sur les roches qui la constituent des effets de torsion, de compression, de laminage et de trituration. Les deux premiers seuls nous intéressent parce que seuls ils font apparaître dans les roches des interstices par où l'eau en s'infiltrant commencera son travail d'usure des roches.

Les effets de la *torsion* sur une plaque rocheuse indéformable ont été étudiés expérimentalement sur « modèle réduit » : pour cela, une plaque de verre rectangulaire est soumise à la torsion au moyen d'un étau. Le gauchissement qu'elle subit fait apparaître un double système de cassures disposées à angle droit (fig. 1). Or, ces cassures, les carriers les ont observées depuis longtemps dans les couches plissées des roches, et ils leur donnent le nom de *joints*. Les terrains calcaires sont particulièrement impressionnés par cette torsion, et on observe dans certains terrains des fissures verticales ou obliques, appelées diaclases, qui, quand on peut les suivre, atteignent parfois plusieurs centaines de mètres de haut et de long.

La *compression* donne lieu à des fendillements rocheux qui sont moins perceptibles. On obtient un système analogue de fentes conjuguées en écrasant des blocs de cire à mouler au moyen de la presse hydraulique.

Ces deux sortes d'accidents, diaclases et fendillements par compression, se complètent par les failles et les joints de stratification.

Quand l'écorce se casse en profondeur, souvent l'une des deux parties séparées se déplace en s'affaissant. Les roches en contact le long de cette ligne de fracture peuvent être alors de dureté et de nature différentes. *La faille* pourra être droite ou oblique, selon les endroits de dislocation ou se ramifier avec d'autres fractures latérales.

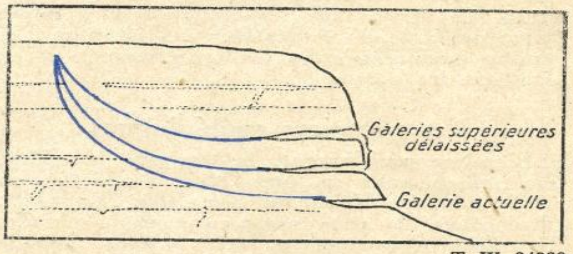
Enfin, lorsqu'une couche sédimentaire se superpose à une autre, elle laisse entre elle et la suivante un minime espace horizontal que l'on appelle *joint de stratification*.

C'est par les diaclases, les fendillements, les failles et les joints de stratification que l'eau va attaquer la roche et, en élargissant les cassures qu'elle rencontre, y creuser des grottes et des cavernes.

Les eaux souterraines

Les deux tiers ou les quatre cinquièmes des eaux météoriques qui tombent à la surface du sol s'évaporent ou sont fixés par les végétaux; le reste ruisselle sur le sol ou s'y infiltre.

Sollicitée par la pesanteur, l'eau d'infiltration profite de toutes les fissures naturelles pour descendre à un niveau aussi bas que possible. Jusqu'où va-t-elle parvenir? On trouve de l'eau à des profondeurs de l'ordre de 4 000 m dans les forages les plus profonds exécutés à ce jour pour la recherche du pétrole. Il existe pourtant une limite à cette infiltration : la pression interne des couches de la lithosphère fait disparaître les vides de dislocation. Cette limite



T W 24329

FIG. 2. — PROFILS THÉORIQUES D'ÉQUILIBRE D'UNE RIVIÈRE A SES DIFFÉRENTS STADES D'ENFOUISSEMENT

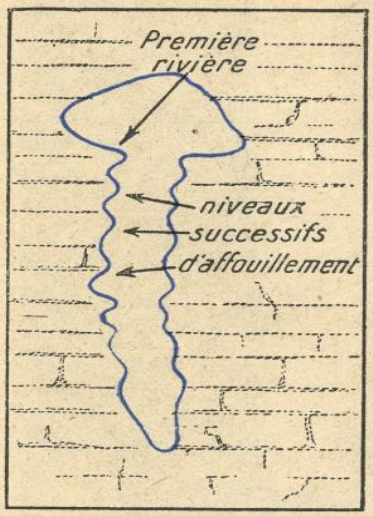
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

est d'ordinaire évaluée théoriquement à 10 000 ou 12 000 m. D'ailleurs, à cette profondeur, l'eau ne peut plus exister à l'état liquide puisque la température dépasse 365° qui est le point critique de l'eau.

Mais, en fait, si on rencontre de l'eau à de grandes profondeurs sous la terre, cette eau ne nous intéresse pas tant qu'elle ne circule pas, puisque, restant sur place, elle n'use pas les roches. Pour que l'eau circule sous l'action de la pesanteur, il faut qu'elle ressorte de terre — sous la forme d'une source ou d'une résurgence. Une caverne est donc à une altitude comprise entre la zone d'infiltration ou le gouffre qui donne naissance au cours d'eau souterrain et la résurgence.

La profondeur des gouffres sera donc au plus égale à la différence de niveau entre ces deux points. Les massifs calcaires les plus amples, comme les Alpes, le Jura, les Pyrénées, fourniront des gouffres de 200 à 300 m, tandis que ceux des Causses ne donneront que des profondeurs de 100 à 200 m en moyenne.

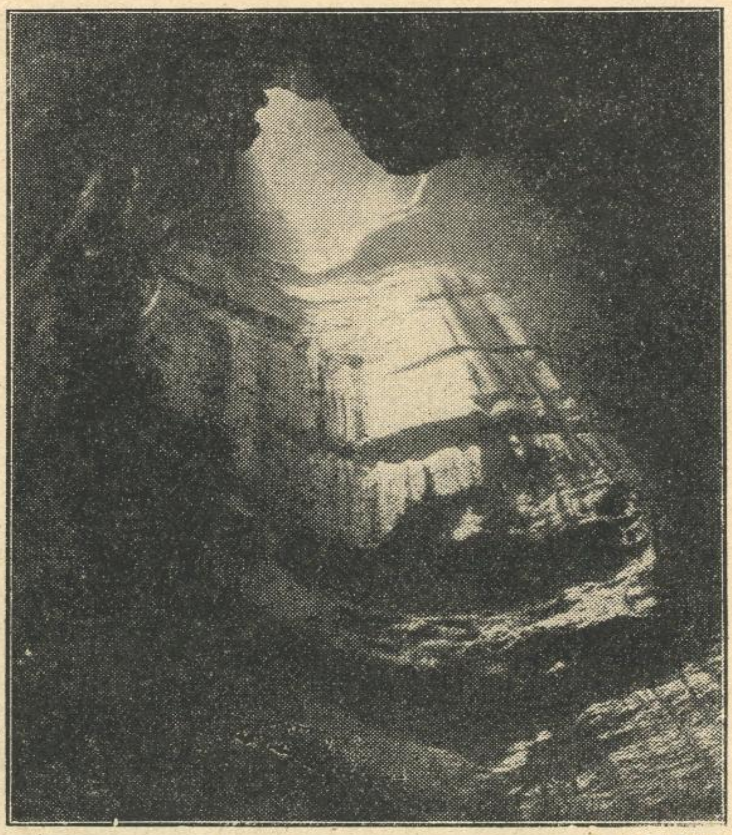
Entre ces deux altitudes, le cours d'eau souterrain, tout comme les cours d'eau subaériens, va creuser son lit jusqu'à ce que le profil en long de celui-ci tende vers une courbe limite appelée par Surell,



T W 24333

FIG. 3. — UNE RIVIÈRE DONT LE LIT S'ENFONCE PROGRESSIVEMENT SOUS TERRE

Le schéma ci-dessus représente une coupe transversale de la diaclase de La Baume-Latrone (Gard). En s'enfonçant par l'effet de l'érosion, la rivière qui l'empruntait jadis a creusé sept lits successifs dont on retrouve la trace grâce à sept niveaux d'affouillement des parois.



T W 24327

FIG. 4. — LE GOUFFRE DE MALATERRE (ISÈRE) (Photo Bourgin)

Les parois de cette cheminée qui descend d'un seul jet à une profondeur de 120 m sont creusées de cannelures verticales dues aux effets de dissolution et de corrosion de la roche par les eaux de pluie et de ruissellement.

en 1838, profil d'équilibre absolu. Le profil est atteint, c'est-à-dire le creusement de la caverne s'arrête lorsque l'apport des matériaux stabilisés (sables, galets, vase, argiles) dans son lit inférieur fait équilibre à l'érosion et la corrosion des eaux de pénétration.

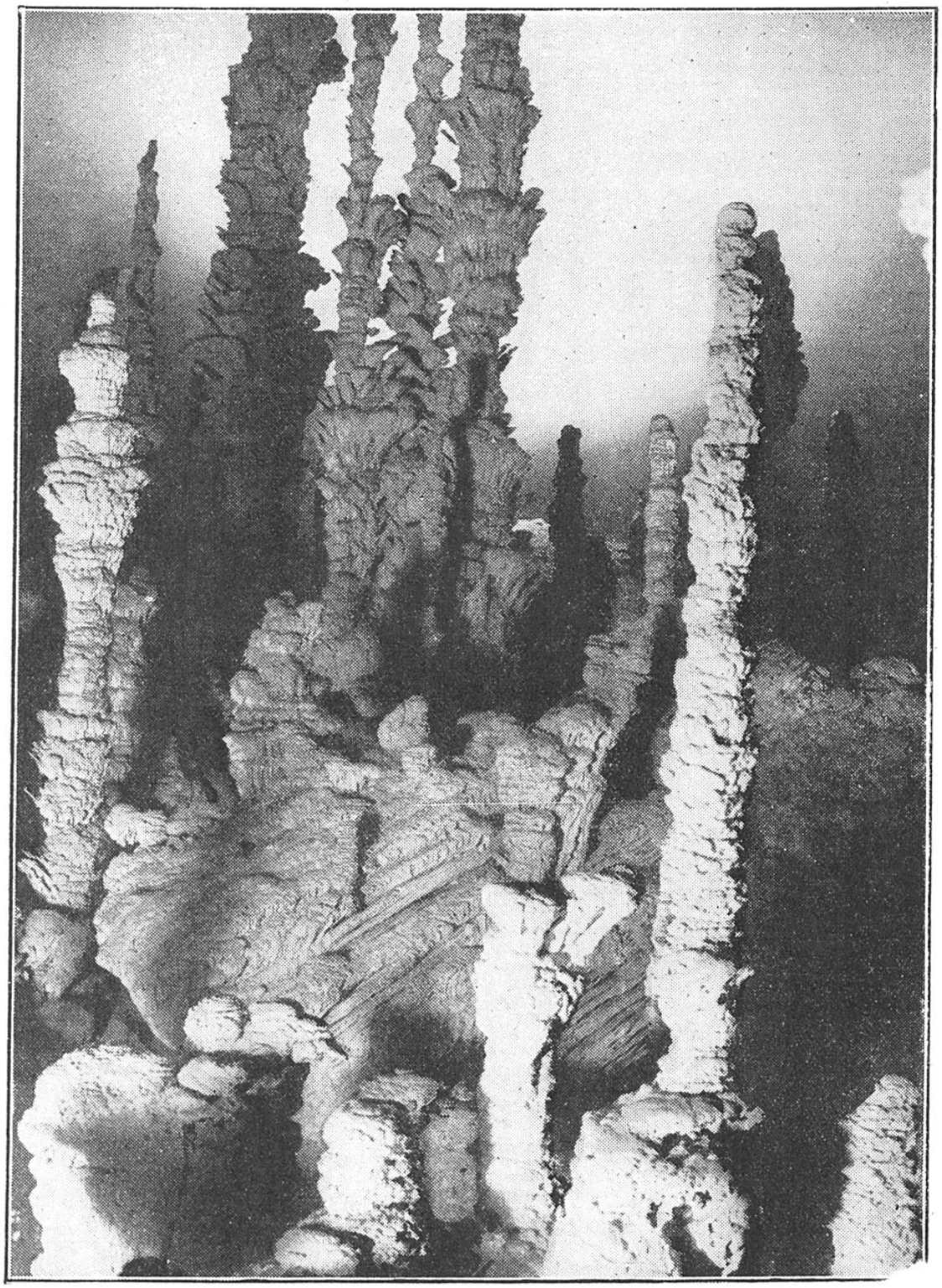
Etudions par quelles phases de creusement un torrent souterrain atteint son profil d'équilibre. On y reconnaît l'influence de deux sortes de phénomènes : les uns chimiques et les autres physiques.

Comment s'agrandit une caverne : la dissolution et la corrosion des roches

Les roches qui se dissolvent le plus facilement dans l'eau sont les roches salines, séléniteuses ou à base de chlorures ou de sulfates. Mais elles ne donnent pas naissance à des grottes, car les vides qui résultent de la dissolution des roches ne tardent pas à se combler par un tassement consécutif. Les terrains superficiels se disloquent et présentent un paysage lunaire d'entonnoirs circulaires (que l'on nomme *oules*, *oulettes*, dans les Alpes françaises, col du Mont Cenis).

La solubilité du calcaire est moins grande que celles des sulfates. Mais ici à la dissolution vient s'ajouter un phénomène chimique. Le carbonate de chaux est soluble dans l'eau à raison de 0,1 g par litre à 10°; mais il peut atteindre une concentration de 1,5 g à 0° sous une pression de 1 kg de gaz carbonique. Cette différence de solubilité provient de ce que le gaz carbonique agit sur le carbonate de chaux en présence de l'eau, pour former un bicarbonate qui est soluble dans l'eau.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



T W 24340

FIG. 5. — UN GROUPE DE STALAGMITES DANS L'AVEN D'ORGNAC (GARD) (Photo A. Perret, Pont-St-Esprit)

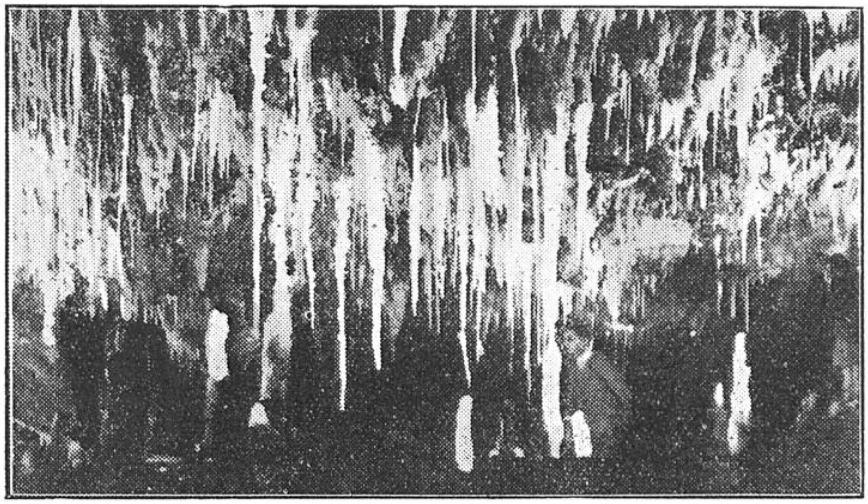
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Cette réaction est d'ailleurs réversible et, en particulier sous l'action d'une élévation de température, le gaz carbonique peut se dégager et le carbonate insoluble précipite. Aussi l'eau qui peut dissoudre le calcaire peut aussi à l'occasion donner naissance à des concrétions calcaires comme nous le verrons à propos de l'habillement des grottes.

Les eaux météoriques qui sont imprégnées de gaz carbonique produisent dans les fissures des effets dissolvants considérables.

En tenant compte du débit, de la température, de la teneur en sel des venues d'eau rencontrées sous terre au cours de la percée du tunnel du Simplon, Schardt a calculé que la masse fluide enlevait par dissolution 40000 m³ de minéraux à la montagne par an.

On admet que la Lesse qui traverse la grotte de Han, en Belgique, lui enlève plus de 5 000 kg de matières solides par jour, soit près de 1 900 000 kg par an. On comprend dès lors que les parois des diaclases et des failles s'agrandissent par régression de la pierre absorbée par l'eau.



(Photo Giry.) T W 24336

FIG. 6. — LE RIDEAU DES STALACTITES DE LA GROTTE DE COURNIOU (HÉRAULT)

Cette décalcification intense y laisse d'ailleurs des marques certaines. Dans les grands puits verticaux (fig. 4), on peut voir de profondes cannelures qui se suivent en tuyaux d'orgue; elles collectent les eaux qui tombent de la surface. Quand les sillons s'approfondissent, les lamelles de séparation se désagrègent et lentement le diamètre du puits augmente.

Lorsque les ruisselets sont déviés, par exemple par l'obliquité des strates, l'eau descend en pas de vis en burinant d'amples spirales d'érosion comme celle de 160 m de l'aven de Jean-Nouveau. Ce phénomène est très fréquent dans les cheminées ascendantes qui prennent un aspect hélicoïdal.

On peut aussi admettre, et c'est le cas pour certains scialets du Dauphiné qui s'ouvrent au sommet de croupes, un creusement produit par le tourbillonnement de torrents sous-glaciaires.

C'est ainsi que naissent et croissent les puits et abîmes naturels qui ont reçu, suivant les régions, les noms les plus divers (1).

C'est dans les parties des grottes où le débit d'eau est assez fort pour entraîner les matériaux qui dans une eau tranquille tomberaient au fond, que mordent les agents érosifs. On pense qu'un courant d'eau doué d'une vitesse de 0,6 m/s suffit pour entraîner des particules de sable. Que dire lorsque la vitesse atteint plusieurs mètres à la seconde?

La force des eaux dut être particulièrement vive à certaines phases du quaternaire ancien, puisque plusieurs blocs de granit, pesant plusieurs centaines de kilogrammes, ont été transportés dans l'intérieur de la grotte de Lombrives (Ariège) à plus de 500 m de l'entrée. Emportés par le courant, les rochers cheminent au fond de la masse fluide en se frottant les uns contre les autres; leurs angles s'arrondissent, leur surface se polit et ils prennent une forme sphérique ou ellipsoïdale; plusieurs tombent dans le fond des cupules contenant déjà des graviers et des petits cailloux ronds qui tourbillonnent sur place. Mais presque tout le travail de forage de ces *marmites de géants* qui couvrent le fond des lits torrentiels revient surtout à l'action érosive du sable.

Selon leur stade de formation, le spéléologue reconnaît les simples cupules, les marmites à fond concave, puis à fond cylindrique. Les plus vieilles ont une base en forme de poire qui peut quelquefois atteindre plus d'un mètre de profondeur.

Le tourbillonnement de l'eau est particulièrement intense aux bifurcations des galeries, dans les grandes ruptures de pente, au pied des cascades et des chutes de cheminées, là où le fluide rencontre une saillie, un obstacle à sa marche.

La base des parois calcaires n'échappe pas à l'usure des mouvements giratoires; elle s'élargit en des poches concaves qui sapent les fondements et donnent à la galerie un profil en V inversé.

Comme les marmites se succèdent bout à bout, leur agrandissement par usure des parois les fait communiquer entre elles.

Dans l'aven de Rognès (Gard), plusieurs cuvettes sont confondues par la base, alors que les bords supérieurs forment des petits ponts suspendus. Le phénomène est fréquent dans les cheminées obliques où les marmites superposées découlent les unes des autres.

A un moment donné, le plancher rocheux défoncé par ces excavations étagées s'abaisse; le cours d'eau s'enfonce ainsi dans le sol en laissant des rebords successifs témoins de ses anciens niveaux.

Quand l'eau est profonde et qu'elle s'écoule sans heurts, elle use par le sable qu'elle trans-

(1) Catavothres (Péloponèse), bétoires (Causses), emposieux (Jura), avens (Ardèche), tindouls (Rouergue), igues (Quercy), chourums (Devoluy), scialets (Dauphiné), etc...

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

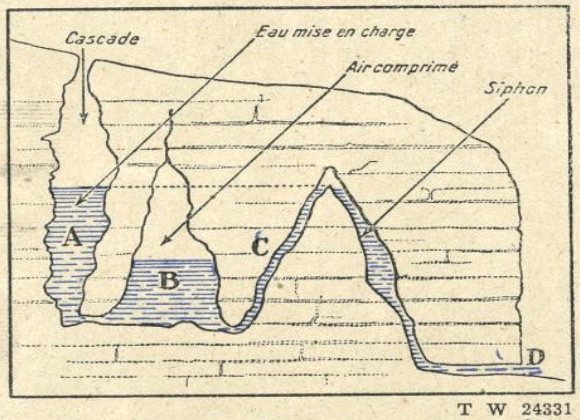
porte les rives de son cours en une zone concave. Dans la galerie axiale de Labaume-Latrone (Gard), on peut ainsi compter sept niveaux superposés (fig. 3).

Lorsque la rivière atteint ainsi un nouveau sol moins friable, elle rencontre le joint de stratification qui sépare les deux couches. Les eaux se répandent alors en largeur, en affouillant les vides latéraux. L'érosion crée des salles basses à profil elliptique à grand axe horizontal. Les marmites s'y voient aussi, mais l'œil doit les chercher au plafond décoré d'une série de petites coupoles plus ou moins profondes.

L'érosion burine encore des vagues en coups de gouge, des langues pendantes et des dentelles de rochers.

La grotte Perret, du Massif des Echelles (Grande-Chartreuse), contient des spécimens de vagues, sortes de cuillères allongées qui se suivent très serrées comme un banc de poissons gravés en creux. La partie la plus effilée indique la direction de l'eau, précieuse indication pour retrouver sa route sous terre.

Les dentelles de rocher sont assez fréquentes. Les parois découpées en fines lamelles sont déchiquetées; celles de l'aven de Rognès (Gard) sont particulièrement coupantes et nombreuses. La pression de l'eau à cet endroit a été estimée à 40 kg/cm².



T W 24331

FIG. 7. — COUPE SCHÉMATIQUE EXPLIQUANT L'ORIGINE DES RÉSURGENCES A JET D'EAU INTERMITTENT

L'eau qui tombe de la cascade s'accumule dans la cheminée A, dans la salle B où elle comprime l'air qui la surmonte et dans la branche montante C du siphon. Quand son niveau atteint le coude de la galerie qui forme siphon, celui-ci s'amorce brusquement et la résurgence D débite aussi longtemps qu'il reste de l'eau en A et B; après quoi, le siphon se désamorce et le cycle recommence.

Ce travail de l'érosion explique la formation de ces successions de salles élevées (diaclases) basses et larges (joints de stratification) souvent voûtées en dômes communiquant ensemble par de longs et étroits couloirs rectilignes ou tortueux (fendillements, fissures).

La loi du profil d'équilibre impose à l'eau un enfouissement successif; les galeries supérieures sont délaissées au profit des galeries inférieures. Si les premières appartiennent aux grottes sèches, les secondes sont humides, argileuses, remplies de petits lacs et de siphons souvent infranchissables.

Mais à côté de ce travail relativement lent, des phénomènes catastrophiques viennent parfois modifier d'un seul coup la physionomie des grottes.

Les effondrements

Les strates rarement horizontales, le plus souvent inclinées, perdent leur équilibre. Des pans entiers de rocher, des plaques de calcaire épaisses de plusieurs mètres, se détachent des voûtes et s'effondrent en un monstrueux chaos de blocs de plusieurs centaines de mètres cubes. Il en résulte des petits tremblements de terre locaux que les sismographes enregistrent. Ainsi, l'un d'eux, au massif du Simplon, a fait soudainement disparaître un petit lac qui s'écoula dans le tunnel en voie de percement.

Les énormes chaos de rochers qui jalonnent le fond des grandes allées de Niaux, Lombrives (Ariège), d'Orgnac (Gard), de Betharram, de la Grotte des Demoiselles (Hérault), sont dus à des effondrements. Comme ceux-ci se rencontrent quelquefois sur toute l'étendue d'une caverne, il y a lieu de se demander si certains n'ont pas été causés aussi par des tremblements de terre régionaux.

Les effondrements ont pour effet de rapprocher le plafond des cavernes de la surface du sol jusqu'à l'effondrement final qui sera la mort de ces cavernes. Les chaos de pierre qui encombrent les cavernes s'éliminent eux aussi, moitié par l'érosion lente et moitié par l'action brutale des crues.

Les crues des eaux souterraines

Comme les rivières à ciel ouvert, les cours d'eau souterrains ont leurs crues, mais, tandis que celles-là disposent pour loger le trop-plein de leurs eaux d'un espace illimité vers le haut, les crues des fleuves souterrains vont se traduire par des phénomènes d'une grande brutalité.

Le cours d'eau reprend alors possession des galeries supérieures qu'il avait abandonnées ou déborde dans les galeries voisines qui sont sèches en temps ordinaire.

Dans le Vercors, la grotte des Déramats habituellement visitable donne un gros débit d'eau après la fonte des neiges. La destruction d'une voûte mouillante à l'aide de la dynamite fit découvrir que la résurgence n'était que la soupape de sûreté d'une rivière souterraine supérieure qui grossit très rapidement. Dans des boyaux étroits, Bourgin a constaté des montées brusques de plusieurs dizaines de mètres en quelques heures.

La grotte de Fontanet, dans l'Ariège, présente des écoulements soudains qui noient les siphons. La grotte de la Vapeur a des montées brutales de 24 m d'eau (Ussat-les-Bains, Ariège). Le gouffre de Peillot-Cazavet (Ariège) offre des crues de 45 m; dans d'autres régions, la dénivellation peut atteindre une centaine de mètres.

L'afflux des eaux dans des galeries basses, dans des étroitures très exiguës, produit des mises en charge d'une puissance insoupçonnée. L'évent de Rognès (Gard) fait jaillir à certaines époques une puissante colonne d'eau précédée d'un coup de bélier sonore semblable à un coup de tonnerre lointain. La Goule Noire de l'Ardèche, le Goueil di Her près d'Arbas (Ariège) expulsent des jets de 6 à 10 m de long.

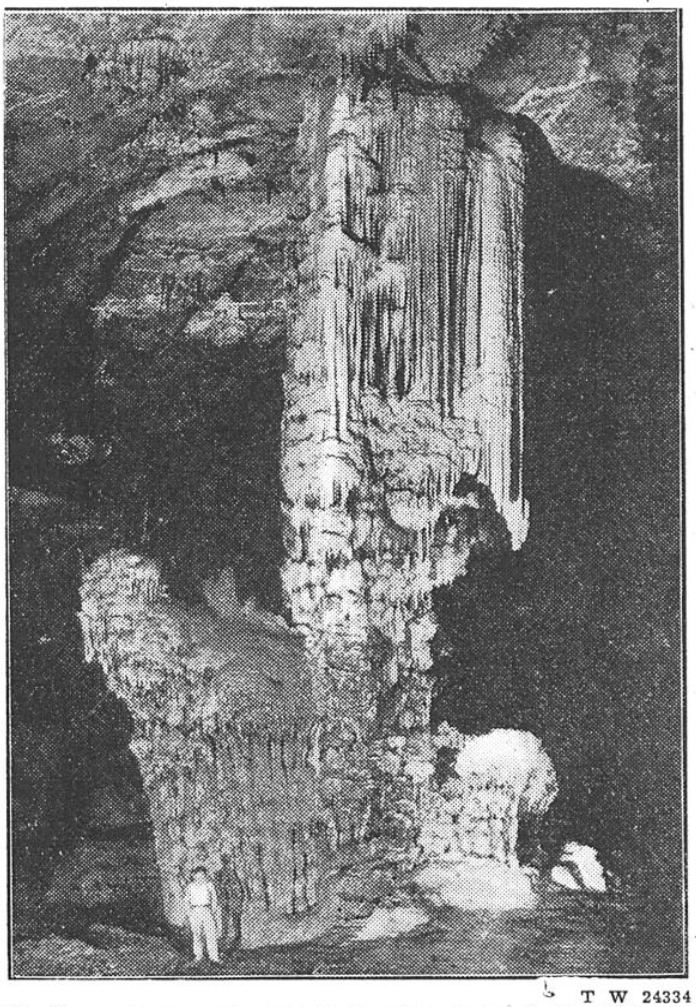
La courte durée du phénomène accompagné de sifflements d'air ne peut s'expliquer que si l'eau s'accumule en de vastes réservoirs qui compriment l'air emprisonné entre deux siphons; quand la mise en charge du premier siphon augmente la pression, le second s'amorce brusquement et, à un moment donné, vide

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'ensemble. L'air se détend alors et chasse l'énorme masse d'eau qui envahit subitement toutes les galeries et fuse avec force à l'extérieur (fig. 7).

Ces compressions d'air et d'eau dues à l'engorgement de galeries supérieures font éclater les points faibles des joints, disloquent les strates, crèvent les bouchons et les verrous calcaires qui coiffent certains gouffres. La chute de la voûte du puits de Padirac est due à un effondrement analogue.

Les diverses actions conjuguées de corrosion, d'érosion, d'effondrement et de pression hydraulique régies par les lois générales de l'hydrologie, vont créer des cavernes dont la longueur, la hauteur, la forme, la direction donnent des résultats sensiblement différents selon chaque cas particulier.



T W 24334

FIG. 8. — GRAND PILIER ROUGE ET BLANC DANS L'AVEN D'ORGNAC (GARD) (Photo A. Perret, Pont-St-Esprit)

Le gouffre le plus profond de France

Les dimensions des cavernes sont extrêmement variables et difficiles à apprécier à cause de leurs nombreuses ramifications. Certaines équipes de spéléologues se sont spécialisés à en relever le plan général. Si aucune étude d'ensemble n'a encore été tentée, du moins peut-on en donner quelques aperçus.

Quelle est la plus longue caverne du monde? C'est celle du Mammouth, dans l'Etat de Kentucky aux Etats-Unis, dont l'amplitude doit dépasser 100 km et non 350 km comme on l'a écrit autrefois. Lorsque des travaux de désobstruction la feront communiquer avec les cavernes voisines (White, Dixon), sa longueur pourra dépasser 250 km. Le deuxième rang est tenu par le Texas, avec la Carlsbad Cavern qui atteint environ 50 km.

En Europe, l'Eisriesenwelt, située à 1 700 m d'altitude, près de Salzbourg (Autriche), présente un dédale de 30 km, tandis que celle de Postumia (Adelsberg) n'a que 23 km de galeries. Curieuse percée que celle d'Agtelek qui réunit souterrainement la Hongrie et la Slovaquie sous la frontière par une communication de 18 km.

Citons encore à l'étranger celle du Dachstein, en Autriche, avec 13 km, de Lapa de Brejo, au Brésil (6 km), le Lur-Loch, en Styrie (5 km), et Han-sur-Lesse, en Belgique (5 km).

En France, la rivière souterraine de Bramabiau (Gard) a creusé un lacis de 10 km de galeries. Mais le *gouffre le plus profond de France* n'est plus le gouffre Martel, mais le Trou du Glaz (Isère) dont nous donnons les derniers renseignements inédits, communiqués par son vaillant explorateur, P. Chevalier.

Son réseau de galeries et de puits a demandé sept ans d'explorations, totalisant trois cent cinquante heures de recherches sous terre réparties en vingt-cinq expéditions dont l'une a duré plus de trente-deux heures.

Profonde de 443 m, la cavité mesure 9 300 m de développement dont 1 100 mètres de puits verticaux sur lesquels 400 m sont arrosés en toute saison. Lorsque P. Chevalier aura relié la galerie supérieure au sommet du plateau de la Dent de Crolles par une suite de pénibles désobstructions, la percée atteindra plus de 650 m, se classant alors première du monde (fig. 11).

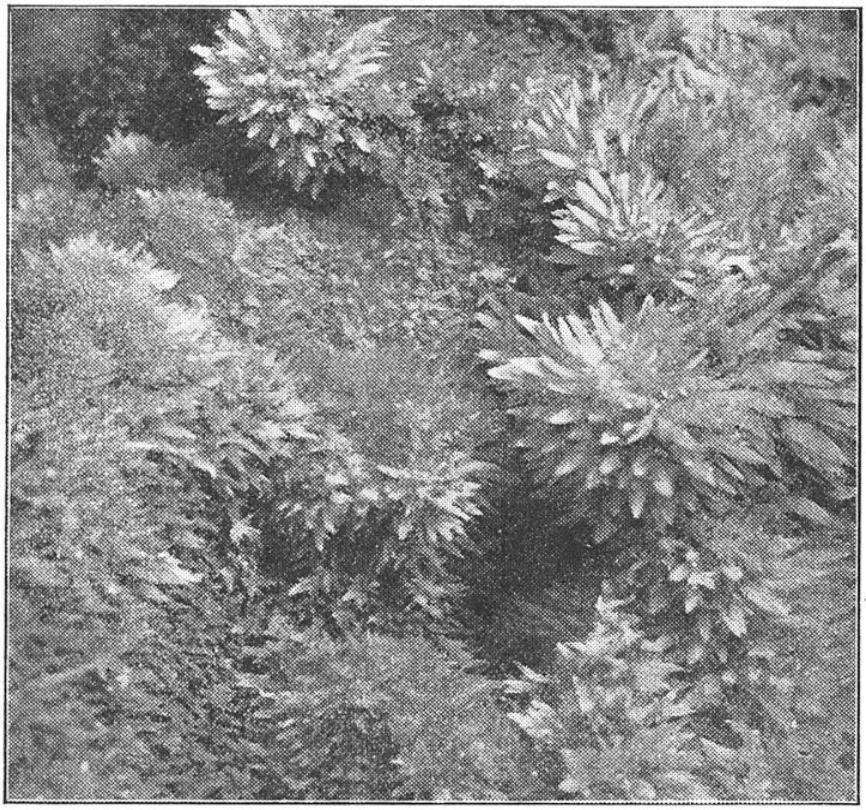
Parmi les autres cavernes françaises remarquables pour la longueur de leurs galeries, citons celle de Miremont en Dordogne (5 km), la Côte Patière en Ardèche (4 km), l'Aven de Rognès dans le Gard (4 km).

La série des 3 km comprend : Betharram (Basses-Pyrénées), Labouiche, la Cigalière, Lombrives et Niaux (Ariège), Padirac (Lot), Saint-Marcel-d'Ardèche et Trabuc (Gard).

Il serait fastidieux d'énumérer la liste des gouffres les plus profonds. Notons-en les principaux dans ce tableau :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Abîme de la Preta (Italie).....	637 m
Bouche d'Eole (Italie).....	559 m
Gouffre de Tonion (Autriche).....	557 m
Abîme Verco (Italie).....	518 m
Abîme Montenero (Italie).....	480 m
Abîme Bertarelli (Italie).....	450 m
Trou du Glaz (France).....	443 m
Abîme Prez et Clarra (Italie)....	420 m



T W 24339

FIG. 9. — UN PARTERRE DE FLEURS EN CRISTAL DES DÉMARATS (DAUPHINÉ) (Photo A. Bourgin)

Chourum Martin (Hautes-Alpes)...	310 m
Gouffre Martel (Ariège).....	303 m
Puits d'Audietto (Basses-Pyrénées).	250 m
Combe de Fer (Isère).....	217 m
Chourum Dupont (Isère).....	216 m
Gouffre de la Luire (Isère).....	213 m
Rabanel (Hérault)	212 m
Aven Armand (Lozère).....	207 m
Gouffre du Paradis (Doubs).....	205 m
Aven de Jures (Lozère).....	205 m

Enfin, la plus vaste chambre souterraine est à Trieste; sa voûte atteint 138 m de haut et 240 m de long et la plus haute verticale d'un seul jet est en Italie (Abîme Revel) avec 316 m.

Les pertes et les résurgences des rivières

La circulation des eaux souterraines explique les « *pertes* » et les détournements des cours d'eau subaériens traversant les terrains calcaires. A l'est de Trieste, le torrent Timavo s'enfouit dans la roche et ressort à 70 km plus loin au nord de l'Adriatique, réapparaissant deux fois au jour en deux regards de 120 m de profondeur. La perte du Rhône à Bellegarde n'a que quelques centaines de mètres de long. L'incendie des usines Pernot, construites sur le bord du Doubs, y fit couler une grande quantité d'absinthe que les riverains du Lison et de la Loue dégustèrent avec volupté. Enfin, 70 kg de fluorescéine jetés le 19 juillet 1931, à 20 h. à 2 000 m d'altitude, dans le gouffre du Trou di Toro, par Casteret, a coloré en bleu-vert la résurgence des Goueils de Jouéou (1 400 m), principale source de la Garonne, en Val d'Aran espagnol, le 20 juillet, avant six heures du matin; le trajet souterrain est donc de 3850 m avec une vitesse de courant de 400 m à l'heure.

L'habillement des grottes

Une rivière souterraine active use et lave les parois de son lit en empêchant la formation des concrétions. Ce n'est qu'au moment où elle s'enfonce dans un étage inférieur ou qu'elle se résorbe que les parois de la galerie se couvrent de concrétions de toutes sortes.

Nous avons vu, en effet, que l'eau chargée de gaz carbonique peut dissoudre beaucoup plus de calcaire que l'eau pure. Si cette eau chargée de calcaire vient à perdre son gaz carbonique, sous l'action d'une légère élévation de température par exemple, le calcaire se dépose. Chaque goutte d'eau laissera au plafond d'où elle tombe, ou par terre où elle s'écrase, quelques milligrammes de calcaire. L'accumulation lente de ce calcaire donnera naissance à cinq principaux groupes de matériaux des parois : les stalactites, les stalagmites, les concrétions de ruissellement, les concrétions de dépôts et les excentriques.

Les stalactites

Elles se présentent généralement sous la forme de tubes à diamètre variable, pendant du plafond vers le sol, selon les lois de la pesanteur. Elles possèdent en leur axe un fin canal d'un diamètre compris entre deux et cinq millimètres par où passe la liqueur saturée. La petite goutte d'eau terminale qui reste suspendue de longs moments à l'extrémité du canal y dépose sur le bord circulaire une légère pellicule de carbonate de chaux qui cristallise. Lorsque l'air est calme, le débit et la saturation d'eau sont constantes, le tube de cristal croît régulière-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

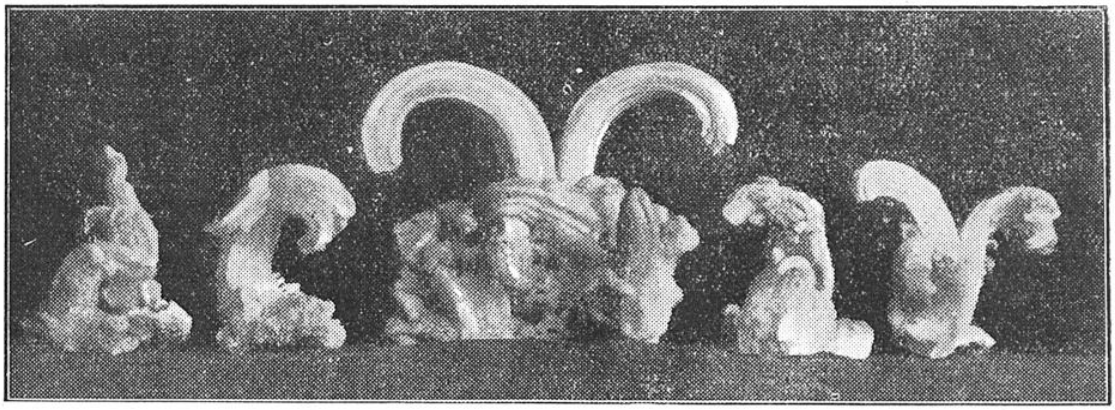
ment et peut atteindre une longueur de deux mètres. Des centaines de ces pailles translucides décorent le plafond de la grotte de Coufin dans le Vercors.

Mais l'eau qui suinte à la voûte et le long des parois recouvre en vagues successives l'extérieur de la baguette qui croît alors en épaisseur. L'extérieur restera plus ou moins cylindrique si le ruissellement est régulier, mais prendra une forme conique si l'arrivée d'eau est irrégulière (Lacave, Betharram, Courniou (fig. 6). En les sciant, on peut voir une succession de cercles concentriques, semblables à l'aubier d'un arbre.

cornus (le Faune à Orgnac), des vaisseaux à tourelles, des massifs, des choux-fleurs, etc...

Concrétions de ruissellement

Appartiennent à cette catégorie toutes les stalagmites qui se forment le long des parois latérales par suintement de l'eau qui sort des fissures, des cheminées nouvellement obstruées. Elles composent des draperies plissées, des bandes très minces translucides garnies de fronces et ce qu'on appelle vulgairement des oreilles d'éléphants. Les suintements suivent la loi du « glissé ». Une goutte d'eau coulant sur une



T W 24338

FIG. 10 — FLEURS DE GYPSE RECUEILLIES DANS UNE CAVERNE DE LA HAUTE-SAONE (DEMI-GRANDEUR NATURELLE) (Photo R. Pelletier)

Les courants d'air qui sévissent dans certains passages étroits peuvent rejeter l'eau sur le côté et faire dévier la stalactite qui s'incline légèrement ou descend en oblique.

Les stalagmites

En tombant en cadence sur le sol, la petite goutte d'eau creuse d'abord une petite cupule. Le choc et l'éclatement de l'eau libère le gaz carbonique par évaporation; le carbonate se dépose autour du creux et monte une canne, une colonne, selon le débit d'eau (fig. 5). Généralement, les cascatelles produisent de puissants massifs mamelonnés.

Lorsque la voûte est particulièrement haute, la goutte s'écrase au sol en une multitude de gouttelettes à diamètre très petit. Ces éclaboussures forment alors autour du pilier central de larges feuilles épaisses qui s'imbriquent les unes au-dessus des autres donnant à l'ensemble l'aspect d'un palmier. L'aven d'Orgnac (Gard), découvert par MM. de Joly et l'abbé Glory en août 1935, en possède de remarquables; l'un d'eux, haut de 13,5 m, a des feuilles de 0,4 m d'épaisseur.

Si la goutte aérienne est déviée dans sa descente, elle construit une colonne torse, de curieux porte à faux, qui prennent quelquefois la forme de grandes baïonnettes.

Les causes physiques et mécaniques modifiant dans chaque cas la disposition du dépôt de calcite construisent les formes les plus extravagantes, des espèces de statuettes évoquant des femmes voilées (Vierges des Demoiselles à Montpellier, Baume de la Quartière à Orgnac, de Presque dans le Lot...), des animaux

paroi verticale se dirige selon le glissé le moins adhérent.

Quelquefois par phénomène d'imbibition et de cristallophylie, le liquide saturé construit de grands disques de 1,5 m de diamètre qui se détachent en surplomb de la paroi (Orgnac). Dans beaucoup de cavités, spécialement dans celles à basse température, se rencontre le « mondmilch », carbonate à consistance molle et d'aspect colloïdal.

Concrétions de dépôts

Une vasque de pierre due à l'érosion se remplit d'eau durant la période humide. Par évaporation lente du gaz carbonique, la surface se recouvre d'une mince pellicule de cristaux qui nagent comme un radeau. On l'appelle *calcite flottante*. En s'accumulant sur les bords de la vasque, elle constitue un petit barrage qui monte avec les siècles. Ce sont les *gours*.

Lorsque le bout d'une stalactite est noyé dans une arrivée d'eau accidentelle, son extrémité se recouvre d'un cône de rhomboèdres. Certains planchers se laissent envahir par des efflorescences de cristal, sortes de minuscules buissons aux ramilles bourgeonnées. D'autres fournissent des fleurs en gypse fibreux (La Cigalère, Ariège) (fig. 10), ou des éclatements de calcite qui prennent l'allure de chrysanthèmes (Les Démarats, dans le Dauphiné (fig. 9).

Les perles de caverne se recueillent dans des petites cupules remplies d'eau agitée. Nous en avons relevé sept espèces différentes depuis celles qui ont l'aspect d'une porcelaine fine et brillante jusqu'à celles qui sont granuleuses ou à facettes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

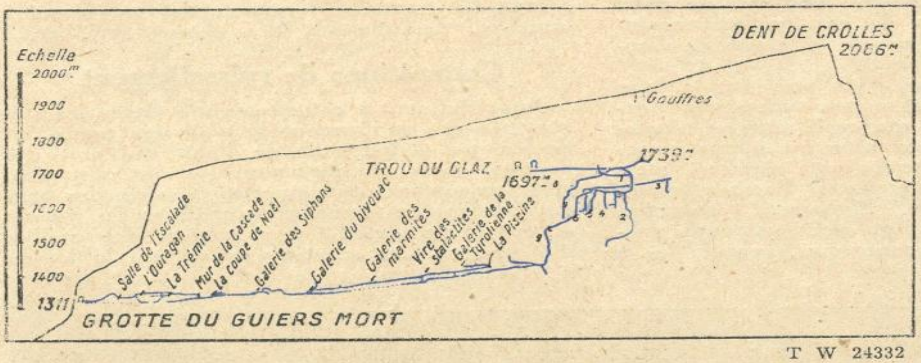


FIG. 11. — PROFIL VERTICAL DU GOUFFRE DU TROU DU GLAZ, LE PLUS PROFOND DE FRANCE (443 M), D'APRÈS P. CHEVALIER

Excentriques

Les excentriques sont des stalactites qui croissent en tous sens, même verticalement, défiant toutes les lois de la pesanteur (fig. 14). Leur formation n'offre plus rien de mystérieux depuis que nous avons repris et complété les travaux de Printz sur leur mode de croissance.

L'eau, ordinairement sous pression, franchit une paroi poreuse pour produire une gouttelette microscopique qui construit un fin fourreau de calcite. Chaque petit fil cristallin, chaque aiguille remontante sont pourvus d'un fin capillaire axial d'un diamètre qui peut atteindre 0,008 mm. Parcouru par l'eau saturée, il croît sous l'influence de deux groupes de forces physicochimiques, les unes extérieures, les autres intérieures (fig. 13).

Extérieurement, l'abondance plus ou moins forte de l'eau de ruissellement, l'apparition de kystes parasitaires et de fêlures dans le cristal, l'évaporation plus ou moins rapide du gaz carbonique, les circuits de convection d'un air qui se meut lentement, la rencontre accidentelle d'une paroi ou d'une autre cristallisation, peuvent faire changer plusieurs fois de suite la direction du conduit presque imperceptible.

Intérieurement, le liquide saturé, selon les variations de concentration du sel, de la pression hydraulique, du débit d'eau et des obstructions dues à des impuretés, retarde ou augmente la croissance du capillaire. La conjugaison ou l'opposition de ces dix phénomènes agissant sur le capillaire constructeur explique les aspects multiples des excentriques, en forme de feuilles, de serpents, d'anneaux, de vrilles, d'aiguilles, etc... (fig. 15).

Les cristaux de calcite peuvent être colorés de sels minéraux (oxyde de fer, manganèse, carbonate de cuivre), de teinte rose, ocre jaune et brun, rouge, pourpre, vert émeraude (Orgnac, La Cigalère, Presque...).

Mais généralement les stalactites varient du blanc mat au cristal transparent. Le temps de formation des concrétions est extrêmement va-

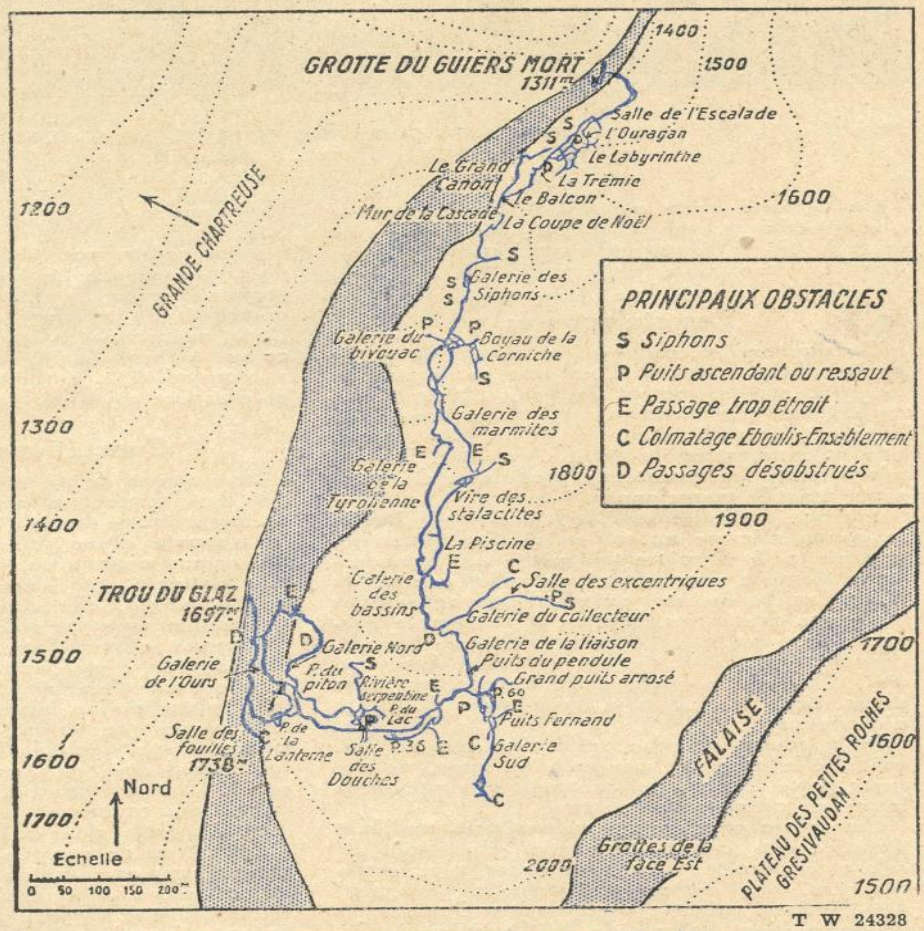


FIG. 12. — PLAN DU GOUFFRE DU TROU DU GLAZ D'APRÈS P. CHEVALIER

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

riable selon les régions, les saisons, le débit d'eau, la concentration de sel. On ne peut avancer aucun chiffre précis, malgré les affirmations de ceux qui enseignent qu'il faut cent ans pour précipiter 16 cm³ de carbonate.

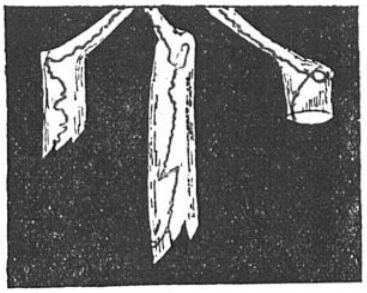
La respiration des gouffres

L'air souterrain a une température moyenne entre celle de l'hiver et de l'été du lieu où est située la grotte. Généralement, de 10 à 12° dans le Gard, les Causses, la température peut baisser à 4° et même plus bas dans les grottes situées au delà de 1 000 m et 2 000 m d'altitude, comme celles que nous avons explorées dans le Vercors.

Le degré thermique est généralement constant, mais peut être modifié par l'évaporation et les courants d'air, fonction de la température extérieure. Un seul cas, unique en France, fait exception : c'est la grotte de la Vapeur de l'Ariège, chauffée naturellement à 22° par les eaux thermales d'Ussat-les-Bains.

Dans les Pyrénées, on trouve des grottes glaciaires dont la glace, d'après certains indices, peut remonter aux âges préhistoriques. En Vercors, celles qui sont situées vers 1 200 m d'altitude fabriquent de la glace toute l'année, grâce à une ventilation à sens unique qui aspire constamment de l'air froid. L'eau de ruissellement se congèle en cascade de glace à Corrençon, Autrans, Vassieux, forêt de Lente (Isère). Quand les variations thermiques de l'air extérieur sont considérables comme à Herbouilly (+ 30° à midi, 0° à 9 heures du soir, le 15 août 1937), l'air intérieur saturé s'échappe des goules en se condensant en une nappe dense de brouillard qui noie la plaine. Aussi l'appelle-t-on le *Gour Fumant*. Le même phénomène se produit sur les Causses en hiver : les trous fument. Les courants d'air sont quelquefois si violents dans les étroitures incurvées qu'ils vibrent en produisant des sons de basse tonalité semblables à des mugissements. Le peuple hindou croit ainsi que la Mère de l'Inde pleure ses enfants malheureux dans les grottes sacrées du Marabor.

Quelquefois, enfin, dans les impasses non aérées, des décompositions végétales produisent des poches de gaz carbonique très dangereuses pour les explorateurs.



T W 24325

FIG. 13. — SCHÉMA DE PRINCIPE DE LA FORMATION DES EXCENTRIQUES

Chaque stalactite est formée par l'eau qui suinte de la roche et vient, par un canal capillaire, former une goutte d'eau à son extrémité. Avant de tomber, cette eau se débarrasse d'une partie du calcaire qu'elle avait dissout et alimente ainsi la stalactite. Sous l'action de forces physicochimiques extrêmement nombreuses et complexes, le capillaire central peut se trouver dévié et la stalactite cesse de croître verticalement; elle prend une direction oblique ou même ascendante (fig. 14).

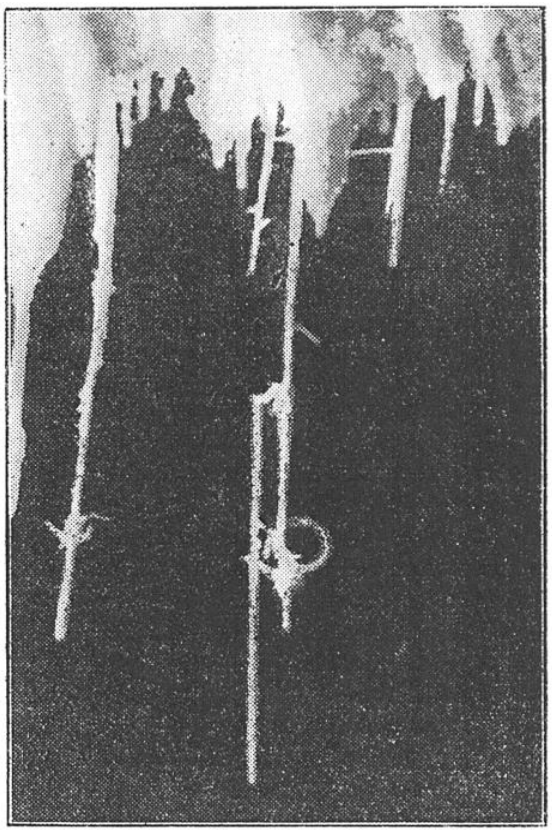
Des animaux qui ne voient jamais

Les animaux cavernicoles fuient la lumière, mais ne constituent pas des espèces spéciales, car ils se rattachent à ceux qui vivent au dehors. Leurs caractères raciaux se sont tellement modifiés dans l'obscurité que certains naturalistes ont pour eux créé des genres particuliers. Leurs téguments se sont décolorés, leur corps est devenu translucide, tandis que les organes de la vue s'atrophiaient et même disparaissaient. Ceux du tact et de l'ouïe acquéraient par compensation un très grand développement. Les animaux des grands fonds marins ont d'ailleurs subi la même transformation. Plus nombreuses sont les espèces, plus accentuées se sont opérées les modifications sensorielles.

Les spécialistes ont dénombré plus de trois cents variétés d'insectes; ils ont trouvé, en outre, des arachnides, des myriapodes, des crustacés, des mollusques, des vertébrés, etc...

Parmi les insectes : des coléoptères (anophthalmes), des orthoptères, des blattes, des sauterelles à longues pattes ont des antennes et des palpes démesurément allongées.

Les rats du genre néotama ont de grands yeux, mais ne voient plus. Certains poissons (amblyopsis spelaens, lucifriga dentala) ont perdu leurs yeux. En revanche, certaines larves ont acquis le pouvoir d'émettre des lueurs phosphorescentes.



T W 24335

FIG. 14. — LE « COR DE CHASSE », EXCENTRIQUE DE LA GROTTE DE COURNIOU (HÉRAULT)
(Photo Giry)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les grottes préhistoriques

La température relativement douce et constante de l'air des cavernes, leur accès difficile et leur fortification naturelle ont spontanément attiré les premiers hommes. Selon les époques et les endroits, ils les ont considérées comme des lieux d'habitation, des terrains de chasse, des points d'eau potable ou des temples secrets où s'opéraient les rites magiques.

La tribu n'y séjournait que par intermittence, encombrant le sol vierge de silex taillés, de débris de cuisine, d'ossements de gibier, de pierres de foyer noyées dans la cendre. Dès son départ, la désagrégation des parois recouvrait peu à peu tous ces déchets qui se prenaient en une masse compacte enrobée dans la stalagmite. Un nouveau sol était né. D'autres occupants s'y installaient et y entassaient involontairement une seconde couche archéologique. Les horizons fossilifères intercalés entre les niveaux stériles sont comme les feuillets d'un grand livre où se lit l'histoire de l'humanité. Mais leurs sculptures, leurs peintures et leur céramique richement décorée demeurent souvent invisibles. Les spéléologues les retrouvent en forçant les siphons, en brisant les stalagmites, en dynamitant les rocs effondrés. Ainsi ont été découvertes les grottes de Cabrerets (Lot), du Tuc d'Audoubert (Ariège), Montespan (Ariège), Lascau (Dordogne), Baume de Latrone (Gard), la grotte Bayol (Gard), les gisements de Laugerie-Haute (Les Eyzies), étudiés par MM. H. Breuil, le comte Bégouën, Peyrony, Maury, l'abbé Lemozi, l'abbé Bayol et nous-même.

T W 24326

FIG. 15. — UN MASSIF D'EXCENTRIQUES DANS LA GROTTE DU GRAND ROC (DORDOGNE) (Photo Maury)

La mort des cavernes

Dans l'univers matériel, les effets géologiques se compensent; les uns construisent, les autres détruisent. Les cavernes suivent régulièrement ce rythme.

Dès que l'eau a quitté une grotte, celle-ci est vouée aux forces destructives qui comblent les vides. Les galeries horizontales, au cours des millénaires, se remplissent d'une argile rouge de décalcification entraînée par les eaux d'infiltration. Les effondrements intérieurs font remonter la cavité, tandis que le plateau supérieur s'abaisse, démantelé par l'érosion. Lorsque le toit s'effondre, un gouffre apparaît. Les déchets extérieurs s'y accumulent en de volumineux éboulis qui bouchent puits et cheminées. C'est ainsi que P. Chevalier, pour battre le record du Trou du Glaz, a désobstrué cinq passages successifs de glaise d'argile et d'éboulis.

Les racines des arbres qui peuvent pénétrer jusqu'à 80 m de profondeur (Barrenc, de la Serre, Aude) désarticulent sous terre les strates qui se disloquent.

Les stalactites même deviennent un fléau quand leur masse s'accroît outre mesure. Les coulées obstruent les couloirs (Saint-Marcel-d'Ardèche), ferment les communications verticales, construisent d'énormes dômes de cristal envahissant (grotte Favot, Isère).

Les descentes de terre sur le flanc des collines verrouillent enfin les anciennes entrées naturelles (grotte de Cravanche, Belfort), toujours difficiles à retrouver quand une fissure mise au jour par des travaux de carriers ouvre des salles nouvelles. Finalement, une vaste cuvette d'effondrement est le dernier vestige de ces énormes trous qui se transforment quelquefois en un lac d'eau douce (gouffre de l'Œil-Doux, lac de St-Pierre-la-Mer, Aude).

L'avenir de la spéléologie

Grâce à Martel et à ses successeurs, et au prix d'expéditions extrêmement hardies et périlleuses, les cavernes et les grottes ont perdu beaucoup de leur mystère. Elles nous ont révélé des beautés que grâce à certains aménagements les touristes peuvent admirer plus commodément que les pionniers qui les découvrirent.

Le grand public est surtout frappé par le côté sportif des explorations de cavernes, par les difficultés de cet alpinisme en profondeur et dans le noir, par la hardiesse des passages de siphons par des plongeurs intrépides. Mais le spéléologue ne doit pas se borner à totaliser des centaines de mètres de montée d'échelles en un temps record, accumuler un nombre impressionnant de gouffres en une campagne d'été. Il doit aussi recueillir des observations qui intéresseront les branches les plus diverses de la science. Après le géographe et le géologue, dont c'est le métier d'étudier la terre dans ses moindres recoins, le paléontologue y viendra chercher des restes de la faune ancienne, le préhistorien des traces des premiers hommes, l'hygiéniste y viendra dépister les causes de la pollution des eaux de sources et de résurgence, et sans doute aussi le physicien y viendra mesurer l'intensité du rayonnement cosmique.

André GLORY.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

POUR LA BATAILLE DE L'ATLANTIQUE : CARGO RAPIDE OU CARGO LENT ?

par A. VULLIEZ et H. PELLE des FORGES

Le premier des problèmes que pose aux Anglo-Saxons la conduite d'une guerre avec fronts multiples et disséminés par tout le globe, problème dont la solution conditionne toute possibilité d'opérations offensives ou défensives, est celui du tonnage marchand. Maintenir la capacité de transport de leur flotte de cargos et de tankers est pour eux une nécessité inéluctable, malgré les pertes lourdes que leur infligent les meutes de sous-marins de l'Axe. Deux thèses sont aujourd'hui en présence, que soutiennent en Grande-Bretagne et aux Etats-Unis les partisans du cargo rapide et du cargo lent : faut-il adopter le cargo rapide, filant 15 nœuds, un peu moins vulnérable aux torpilles de sous-marins et mieux adapté pour soutenir après guerre la concurrence commerciale des autres nations, ou, sans se préoccuper si les créations actuelles ne seront pas tout juste bonnes pour la ferraille dans peu d'années, le cargo lent des convois à 10 nœuds, qui rachète largement sa vitesse de rotation moins élevée par sa facilité de construction en grande série?

UNE grande querelle est née dans les pays anglo-saxons. Les opinions publiques d'Amérique et surtout d'Angleterre, où tout ce qui touche aux choses de la mer passionne la population, sont partagées sur un point capital : quel sera le type du futur cargo standard à construire en grande série. Sera-t-il moderne ou classique? *Racer* ou cheval de trait? Les techniciens des deux pays ont été consultés. Experts navals, armateurs, chambres de commerce, et même organismes consultatifs, tels qu'instituts de statistiques, instituts de conjonctures, instituts Taylor, etc... Les commissions créées dans les deux pays ont rapidement présenté leurs rapports, cependant que, pour gagner du temps, le constructeur Henry J. Kaiser lançait de sa propre initiative les premiers « Liberty Ships », étonnant d'ailleurs le monde par la rapidité de ses réalisations.

Mais les conclusions des diverses commissions furent loin d'être concordantes, et l'on a vu naître dans chacun des deux pays une véritable « querelle des cargos » qui menace de s'éterniser tout comme celle « des anciens et des modernes ». Nous allons voir, en effet, que les résultats peuvent être totalement différents suivant l'angle sous lequel on envisage la question, et notamment suivant que l'on considère ou non le problème de la flotte marchande d'après guerre. Il faut bien admettre, en effet, sous peine de se lancer dans une opération ruineuse, que les navires lancés à ce jour devront pouvoir servir une fois la paix revenue, et cette considération, qui est peut-être de second ordre pour les Amirautés, est tout à fait primordiale dans le camp des armateurs.

L'Amérique, récemment entrée dans la guerre et confiante dans son potentiel industriel, a tendance à admettre un programme moyen qui tienne compte des arguments des deux parties.

L'Angleterre, au contraire, après trois ans de guerre, a dévolu à son Amirauté des pouvoirs dictatoriaux en matière de construction navale. L'Amirauté britannique est seule en mesure de décider des raisons stratégiques ou tactiques qui peuvent imposer le choix de tel ou tel type de bateau. Elle a pris sur la question une position formelle qui se trouve à l'opposé de celle des armateurs.

Alors que ceux-ci optaient pour un navire de charge rapide, susceptible de traverser la mer en un temps plus court et de diminuer par sa vitesse la menace du danger sous-marin, l'Amirauté s'en tenait fermement au vieux cargo classique, incapable de dépasser la vitesse anachronique de dix nœuds (18 km/h).

La querelle a pris par moment la forme d'un conflit aigu, car de la décision à venir dépend dans une large mesure la situation économique de la marine marchande future.

La querelle des cargos

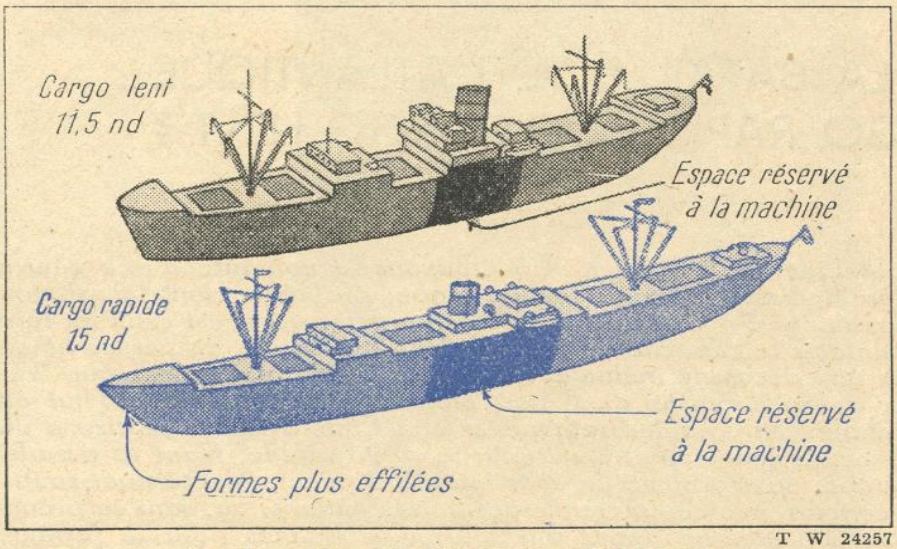
Le point de vue des armateurs anglais est en gros le suivant : plus un cargo va vite, plus sa durée de rotation est courte, donc plus la quantité de marchandises qu'il transporte en un temps donné est grande. Il court, d'autre part, un moindre risque à la mer, du fait de sa vitesse accrue, qui est, comme on le sait, la meilleure défense contre les sous-marins. Enfin, à la cessation des hostilités, son rendement commercial supérieur lui permettra de lutter efficacement contre la concurrence étrangère.

Présentée sous cette forme, la question semble à première vue ne pas devoir se discuter : le cargo rapide ne présente que des avantages.

Mais l'Amirauté apportait à l'appui de sa déconcertante théorie tout un arsenal d'arguments fondés sur les études des experts navals et sur les statistiques américaines et tendant tous à démontrer la nécessité de conserver aux cargos à construire le type et la vitesse des cargos actuels. Voici, en gros, ces arguments :

Le problème du tonnage est un problème de guerre. C'est assez dire que les questions économiques doivent passer au second plan ou même être systématiquement négligées. Mais

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



T W 24257

FIG. 1. — UN CARGO LENT ET UN CARGO RAPIDE

L'espace nécessaire à la machine et aux soutes à carburant est près d'un tiers plus grand dans le cas d'un cargo rapide. Pour le même port en lourd utile, le cargo rapide est plus long.

c'est un problème de guerre industrielle ; et à ce titre l'économique, dans son sens le plus large, doit y reprendre une place de premier plan.

Aux armateurs qui préconisent le cargo rapide parcourant les distances plus vite et augmentant ses chances d'échapper aux sous-marins, l'Amirauté répond ceci :

« Lorsque vous aurez construit un cargo rapide capable de transporter dix mille tonnes de fret, j'aurai construit deux cargos lents qui transporteront ensemble vingt à trente mille tonnes du même fret. Or, vos cargos ne gagneront du temps sur les nôtres qu'au cours des traversées, pas pendant leur séjour au port. Calculez donc la vitesse qu'ils devront avoir pour égaler seulement la capacité de transport des nôtres sur un parcours moyen de trois mille milles marins.

« Bien plus, le risque couru, difficilement chiffrable dans un cas comme dans l'autre, n'est pas tellement différent qu'il ne puisse être largement compensé par la cadence de notre production. »

Que reste-t-il donc de la prétendue supériorité du cargo rapide?

En vérité, pas grand'chose, et nous allons montrer, chiffres en main, que la thèse de l'Amirauté est indiscutablement fondée.

Il ne reste plus guère aux armateurs que des arguments de sentiment où prédomine le souci — d'ailleurs parfaitement légitime — d'épargner des vies humaines, celles de leurs équipages si durement éprouvés depuis le début du conflit, et où apparaît aussi l'espoir d'avoir à la fin des hostilités une flotte d'un rendement commercial supérieur à celui des autres flottes marchandes.

A cela l'Amirauté répond encore très sagement :

« Gagnons d'abord la guerre, nous verrons après. »

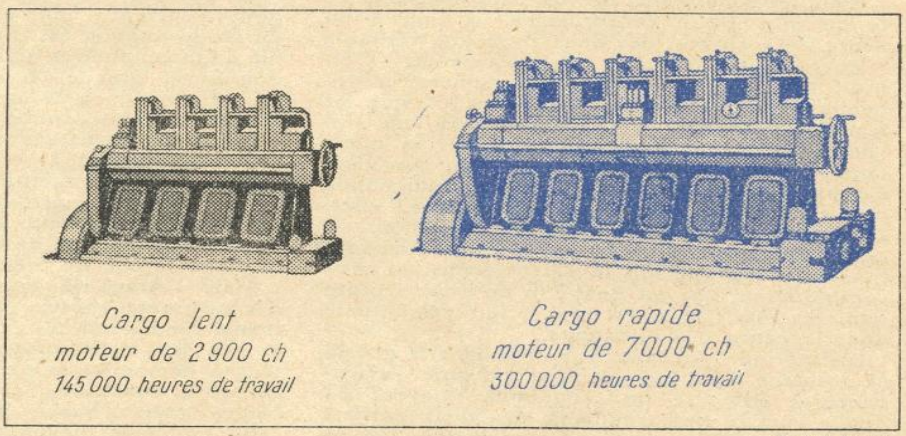
Les données techniques du problème

Examinons les arguments des antagonistes :

Le cargo lent actuel est un navire de 10 à 11 nœuds et demi dont les formes peuvent être très simples, la résistance à l'avancement à ces faibles vitesses étant elle-même très faible.

Sa propulsion est assurée par une machine unique (machine à vapeur ou Diesel). Le moteur Diesel est beaucoup plus avantageux, car sa consommation au cheval est petite et la charge du carburant à emporter est moindre que dans le cas de la machine à vapeur. D'où une économie de poids et surtout de volume : la place laissée aux marchandises est plus grande. Bien que des considérations d'ordre économique puissent imposer dans certains cas l'emploi des machines à vapeur pour utiliser des combustibles localement moins coûteux, nous supposerons notre cargo standard muni d'un moteur Diesel.

Ce moteur, pour donner au navire une



T W 24258

FIG. 2. — LES MOTEURS POUR CARGOS LENTS ET RAPIDES

La puissance de la machine croît théoriquement comme le cube de la vitesse. Le nombre des heures de travail nécessaires croît sensiblement comme la puissance.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

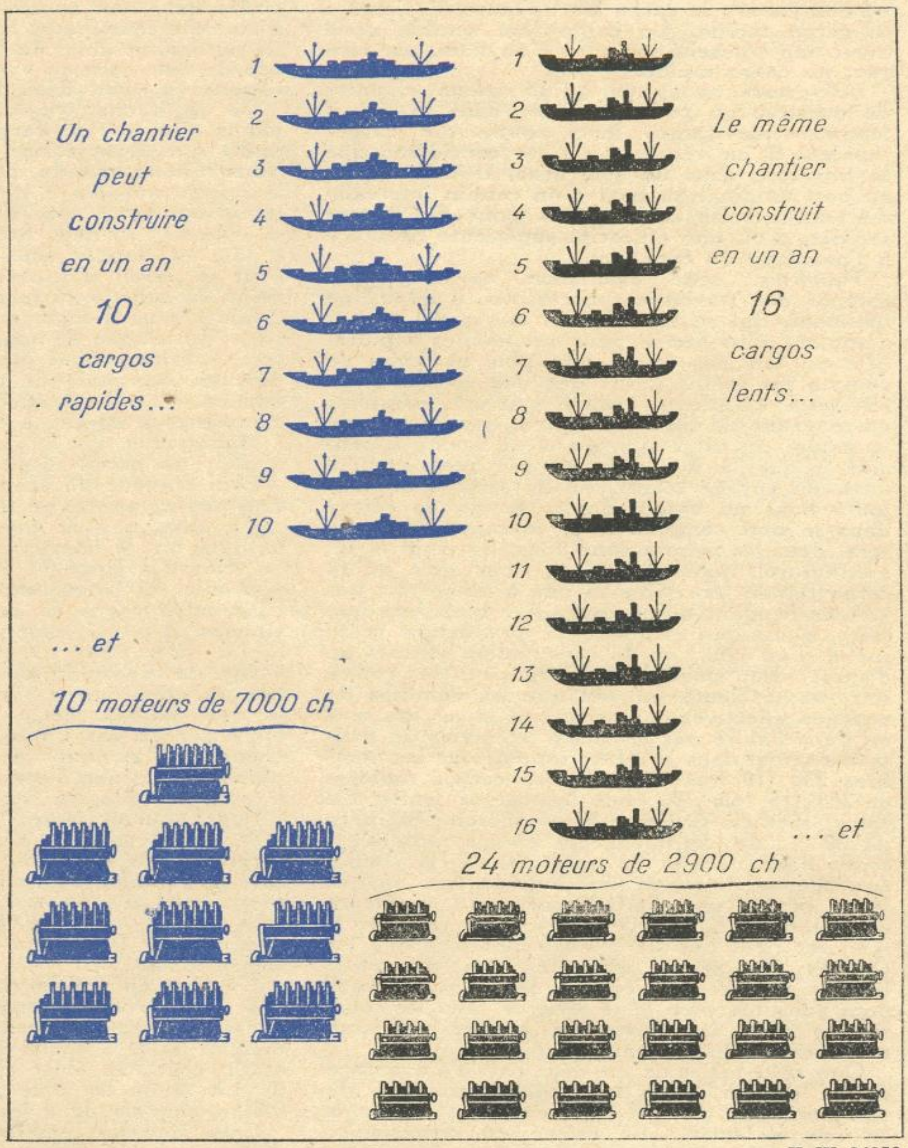
vitesse de 11 nœuds et demi, devra avoir une puissance de 2 900 ch.

Le cargo « rapide » a une vitesse de 15 nœuds. Ses formes doivent être mieux étudiées, car la résistance à l'avancement croît comme le cube de la vitesse. Pour cette même raison, le moteur nécessaire à la propulsion devra avoir une puissance de 7 000 ch. Ceci bien entendu pour le même « port en lourd utile », c'est-à-dire pour la même capacité de transport de marchandises.

Voyons quelles vont être les répercussions de ces différences sur la construction des deux types de navires. (Nous ne tiendrons pas compte des résultats obtenus par la méthode Kaiser : construction en série par éléments séparés, cette méthode n'étant pas encore généralisée ; tous les éléments ci-dessous s'appliqueraient dans ce cas *a fortiori*.)

Dans un chantier de construction normal, on construit environ seize cargos lents à l'année. En même temps que ces navires, le chantier fabrique les seize moteurs correspondants, plus huit autres moteurs de réserve.

Le même chantier construisant des cargos rapides verrait sa production tomber à dix unités et il ne pourrait fabriquer que les dix moteurs nécessaires à l'équipement des cargos. Il n'y aurait donc aucun rechange.



T W 24259

FIG. 3. — LA RAPIDITÉ DE CONSTRUCTION DANS UN MÊME CHANTIER NAVAL SERAIT, POUR LE CARGO RAPIDE, INFÉRIEURE D'UN TIERS ENVIRON A LA RAPIDITÉ DE CONSTRUCTION D'UN CARGO LENT

Ce ralentissement tient aux causes suivantes : pour la coque, complexité des formes et dimensions accrues ; pour les moteurs, augmentation de main-d'œuvre presque proportionnelle à l'augmentation de puissance. Pour construire un moteur de 7 000 ch, il faut 280 000 heures de travail (40 heures d'ouvrier par cheval). Pour un moteur de 2 900 ch, il n'en faut que 145 000 (50 heures d'ouvrier par cheval).

Nous pouvons donc admettre en gros que la rapidité de construction du cargo lent est d'un tiers plus grande que celle du cargo rapide. Autrement dit, si l'on est capable de construire un cargo de 10 nœuds à la cadence d'un tous les dix jours, on ne pourra construire un cargo de 15 nœuds qu'à la cadence d'un tous les quinze jours.

L'efficacité réelle du cargo rapide inférieure à celle du cargo lent

Voici donc nos deux types de navires mis en chantiers dans ces conditions, examinons quelle va être leur efficacité finale :

Supposons qu'un cargo lent et un cargo rapide appareillent le même jour avec leurs 10 000 tonnes de charge utile pour un port éloigné de 3 600 milles marins, ce qui est à peu près la distance de New York à Glasgow. Ils mettront, pour arriver à destination, l'un

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

quinze jours : le cargo lent; l'autre dix jours : le cargo rapide. Le cargo lent semble donc avoir une efficacité moindre d'un tiers, par rapport au cargo rapide.

Mais nous avons vu qu'un même chantier de construction peut produire, dans le même temps, seize cargos lents contre dix cargos rapides. Il en résulte qu'à ne considérer que la traversée dans un seul sens, il doit arriver au port terminal au bout d'un certain intervalle de temps, seize cargos lents pour dix cargos rapides, d'où une efficacité supérieure de 60 % à l'avantage du cargo lent.

Toutefois, cette évaluation ne tient pas compte des traversées successives d'un même bâtiment, qui se succèdent à une cadence évidemment plus serrée pour les navires rapides. Elle ne fait pas entrer non plus en ligne de compte les temps morts dus aux séjours dans les ports. Ces temps morts sont considérables, en moyenne de six à huit jours, quelle que soit la nature du cargo. On est ainsi amené à considérer que la durée du voyage aller, comme aussi du voyage retour, est de seize à dix-huit jours pour un cargo rapide, temps de séjour dans le port compris. Pour le cargo lent, elle sera, dans les mêmes conditions, de vingt et un à vingt-trois jours. On peut donc dire qu'un cargo rapide fera vingt et une à vingt-trois traversées pendant qu'un cargo lent n'en fera que seize à dix-huit. Comme la production mensuelle d'un chantier de construction permet de disposer d'un stock de dix cargos rapides contre seize cargos lents, on voit que les nombres de voyages effectivement accomplis dans un sens ou dans l'autre par les deux catégories de bâtiments seront dans le même rapport que les nombres 230 (10 fois 23, pour les cargos rapides) et 288 (16 fois 18, pour les cargos lents). Ce calcul met en évidence une efficacité moindre de 20 %, au détriment des cargos rapides. Il serait donc nécessaire, pour rétablir la simple équivalence, que la proportion des navires lents coulés par l'adversaire soit supérieure d'environ 20 % à celle des navires rapides. Il n'en est rien. Les statistiques montrent que les chiffres des pertes sont très peu différents. L'écart de vitesse n'est en effet pas suffisant pour constituer une gêne sérieuse pour les sous-marins dont la vitesse en surface surclasse nettement celle du cargo rapide.

Que reste-t-il donc en définitive à l'avantage de ce dernier? Une très faible économie de vies humaines due au léger excédent de pertes en cargos lents? Cela même est contestable, car toutes choses égales d'ailleurs, l'équipage du cargo rapide est un peu supérieur à celui du cargo lent...

Vers le cargo à 25 nœuds

Ainsi donc de quelque côté que l'on retourne le problème, les avantages que l'on espérait obtenir de la vitesse se transforment en inconvénients.

Tous les cargos du monde — ou à peu près — ont une vitesse de route d'environ 10 nœuds. Il est donc facile de les organiser en convois, c'est-à-dire de les réunir par groupes de quarante, et de les acheminer à la cadence d'un convoi par semaine vers leur commune destination. L'introduction d'une deuxième vitesse de route et d'une nouvelle cadence dans les rotations introduirait des complications nouvelles pour l'organisation des convois. La plupart du temps, les cargos rapides seraient retardés dans leur acheminement par la nécessité d'attendre leurs rares collègues du même type. Ils perdraient donc de la sorte le dernier bénéfice de leur gain en vitesse qui, ainsi que nous l'avons vu, était déjà problématique.

De là à conclure que le cargo rapide va moins vite que le cargo lent, il n'y a qu'un pas... que nous étions bien près de franchir. Nous n'irons tout de même pas jusque-là, pour la raison suivante : c'est que le cargo rapide retrouvera toute son efficacité le jour où, par sa vitesse vraiment accrue, il échappera tout à fait au danger sous-marin. Si, en effet, il peut se passer d'une escorte, et voyager isolément, sa supériorité redevient d'un coup appréciable : plus d'engorgement des ports par l'arrivée simultanée de tous les bateaux d'un convoi, échelonnement des départs, routes plus directes, économie de matériel et de vies humaines, etc... Le rendement dû à la vitesse recommence à donner à plein.

Mais quelle doit être cette vitesse si l'on veut obtenir un pareil résultat?

Pour lutter efficacement contre le danger sous-marin, un navire doit avoir une vitesse de route aussi voisine que possible de celle des torpilles qui le menacent. La vitesse de celles-ci est comprise entre 30 et 45 nœuds, suivant les distances de lancement. On conçoit que si le bâtiment menacé se déplace lui-même à ces vitesses, il puisse esquiver facilement l'attaque. Il lui suffit, par exemple, en apercevant le sillage de la torpille, de prendre la même direction qu'elle, ou, si l'on veut, de lui tourner le dos, celle-ci ne le rattrapera jamais. Sans envisager ce cas limite, on peut dire que les chances de manquer le but augmentent très rapidement lorsque l'écart entre la vitesse de la torpille et celle du but diminuent.

Pour pouvoir tenter la fortune, seul sur la mer, et naviguer à peu près sans danger, le cargo rapide devra avoir une vitesse de route voisine de 25 nœuds. La vitesse des sous-marins actuels étant d'environ 20 nœuds, ils ne pourront jamais rattraper leur proie. Ils devront compter sur la chance de se trouver en plein sur sa route.

C'est ce qu'avaient compris les Japonais qui, dès 1932, avaient construit des cargos de ce genre. Ces cargos avaient un rendement commercial faible à cause du faible volume de fret et du coût très élevé de la construction, mais ils ont rendu les plus grands services lors des débarquements dans les îles du Pacifique.

Cette formule semble bien être une formule d'avenir. Mais l'exposé que nous avons fait plus haut des conditions techniques du problème montre bien à quelles difficultés insurmontables se heurterait la construction en série. La complexité de leurs formes et la puissance des moteurs font de ces cargos des outils de luxe. Ils ne sont pas près de pouvoir être construits à une cadence suffisante pour les besoins actuels de la guerre.

Il est donc sage de continuer à construire des « Liberty Ships » et d'utiliser les « boîtes à savon » qui sillonnent et sillonneront encore longtemps toutes les mers du monde. Cela n'exclut pas la mise à l'étude d'un type de navire nouveau de faible capacité, mais doué d'une très grande vitesse qui, mettant en échec la menace sous-marine, pourrait effectuer sans escorte certains parcours et soulager d'autant la charge des bons vieux cargos.

A. VULLIEZ et H. PELLE DES FORGES.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'OZONE ATMOSPHÉRIQUE GAZ INDISPENSABLE AU MAINTIEN DE LA VIE SUR LA TERRE

par Charles FABRY
de l'Académie des Sciences

L'atmosphère terrestre renferme à côté de l'azote, de l'oxygène, du gaz carbonique et des gaz rares bien connus (hélium, argon, néon, xénon, krypton) un autre gaz, en quantité extraordinairement faible, réparti en altitude d'une manière surprenante au premier abord, et dont la disparition aurait pour les êtres vivants à la surface de la terre des conséquences catastrophiques. Il s'agit de l'ozone, polymère de l'oxygène, mais de propriétés essentiellement différentes. Il se forme dans la très haute atmosphère et surtou dans les régions polaires, par l'action du rayonnement ultraviolet du soleil su les molécules d'oxygène. Ce sont ces quelques milligrammes d'ozone dans les hauteurs de la stratosphère qui permettent aux êtres vivants de subsister sur la terre, car ils jouent le rôle d'écran sélectif vis-à-vis du rayonnement solaire, laissant passer les radiations indispensables à la synthèse chlorophyllienne des végétaux et à celle de la vitamine antirachitique chez les animaux supérieurs, tandis qu'ils arrêtent les radiations ultraviolettes dont l'action stérilisante ferait de la terre un désert.

C'EST maintenant un fait bien connu que des quantités infinitésimales de certains corps peuvent avoir une énorme importance pour la vie humaine, et pour la vie en général sur notre planète. Le cas le plus banal est celui des poisons : avec un gramme de strychnine, on peut tuer au moins vingt personnes, et certaines toxines sont mortelles à des doses encore bien plus faibles. Il s'agit là d'actions nocives, mais, depuis la découverte des vitamines et des hormones, on connaît des substances non vivantes dont la présence dans l'alimentation de l'homme est nécessaire : elles se révèlent non par les maladies qu'elles causent, mais par celles dues à leur absence, maladies qui sont guéries par l'adjonction aux aliments d'une quantité incroyablement petite d'une vitamine.

Dans l'air lui-même, des corps existant en très faible proportion se révèlent comme nécessaires. L'air, formé principalement d'oxygène et d'azote, contient une très faible quantité de gaz carbonique, non respirable, mais cependant nécessaire à la vie végétale. C'est de lui que, sous l'action de certaines radiations solaires, tous les végétaux verts tirent leur substance, phénomène grandiose sans lequel la vie végétale, et par suite la vie animale telle que nous la connaissons, disparaîtraient de notre planète. Et cependant la proportion de ce gaz dans l'air est bien faible : environ 1/2 000 en volume, ou, en poids, 1 gramme par mètre cube d'air. C'est de là, et de l'eau qu'ils tirent du sol, que les arbres savent tirer leur bois, que les gisements de houille se sont formés; c'est de là que vient l'huile des olives, le sucre des betteraves et le glucose des raisins qui deviendra l'alcool du vin.

L'ozone atmosphérique va nous fournir un exemple encore de l'importance du « très petit ». L'action, il est vrai, est moins directe que dans les cas que nous venons de citer : l'ozone n'agit ni comme élément nutritif ou assimilable, ni comme poison ou antidote; il agit comme *protecteur*, pour empêcher les radiations nuisibles venues du soleil de détruire la vie sur la terre; il forme au-dessus de nous comme un immense parasol, qui *filtre* le rayonnement solaire en lui enlevant ce qui serait nuisible aux êtres vivants et en laissant passer ce qui leur est utile ou nécessaire. La proportion de ce gaz existant dans notre atmosphère est cependant extraordinairement faible : s'il était uniformément répandu, la proportion en volume ne serait que de 1 sur 4 000 000, ou, si l'on veut, 1 litre, pesant environ 2 grammes, dans 4 000 mètres cubes, le volume d'une très grande salle de 20 mètres sur 20 et 10 mètres de hauteur.

Avant d'indiquer comment on s'est aperçu de la présence de ce gaz et du rôle important qu'il joue sans que, pendant longtemps, on s'en soit douté, il faut dire ce que c'est que l'ozone et rappeler ses remarquables propriétés physiques et chimiques.

L'ozone Sa constitution chimique et ses propriétés

Le nom de l'ozone vient d'un mot grec qui veut dire « *avoir de l'odeur* », et ce nom est bien choisi, car ce gaz est affligé d'une odeur très forte et très particulière, qui permet d'en déceler bien moins d'un millionième dans l'air. On est sérieusement incommodé après un sé-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

jour d'une demi-heure dans un air qui en contient 4 milligrammes par mètre cube (soit, en volume, une proportion de 2 millionièmes). C'est d'ailleurs par son odeur que l'ozone s'est révélé, il y a plus de deux siècles, autour des machines électriques en activité, mais pendant longtemps cette odeur ne fut pas rattachée à un composé chimique défini et fut regardée comme étant « l'odeur de l'électricité ».

C'est seulement en 1840, avec les travaux de Schoenbein (de Bâle), que se développe l'idée que l'on est en présence d'un gaz défini, une espèce chimique, à laquelle est donné le nom d'*ozone* avant que l'on connaisse sa composition. A ce sujet, les hypothèses les plus diverses sont successivement émises. La difficulté, dans l'étude de l'ozone, venait de ce qu'on ne pouvait l'obtenir qu'à l'état de traces diluées dans une énorme proportion d'air ou d'oxygène. Les faibles moyens dont on disposait suffirent, avec beaucoup d'ingéniosité, pour établir la constitution chimique de la molécule d'ozone : cette molécule est formée uniquement d'atomes d'oxygène, car on peut obtenir de l'ozone en faisant passer l'effluve électrique à travers de l'oxygène pur, et inversement la destruction de l'ozone par la chaleur donne uniquement de l'oxygène.

Faut-il en conclure : « L'ozone, c'est de l'oxygène »? Oui et non; cela dépend du sens que l'on donne au mot *oxygène*. Il y a *l'atome d'oxygène*, que les chimistes représentent par le symbole O, mais qui ne peut subsister en liberté que pendant un temps très court, si ce n'est à l'état d'extrême raréfaction, car ces atomes s'unissent deux à deux, et restent unis, donnant la *molécule d'oxygène*, de formule O_2, dont est formé le gaz que nous respirons. Quand on dit : « l'eau est une combinaison d'hydrogène et d'oxygène », c'est de l'atome d'oxygène qu'il s'agit; mais dans la phrase : « l'air est un mélange d'azote et d'oxygène », il s'agit de la molécule. L'ozone n'est ni l'atome O ni la molécule O_2; sa molécule est formée uniquement d'atomes d'oxygène, mais elle en contient trois; la formule chimique de l'ozone est O_3. Quand cette molécule se décompose, ce qui a lieu facilement sous l'action de la chaleur, O_3 se décompose en $O_2 + O$, et ensuite les atomes O s'unissent deux à deux, de sorte qu'il ne reste plus que du gaz oxygène ordinaire.

Aujourd'hui, on sait obtenir l'ozone gazeux parfaitement pur, stable à basse température, mais peu agréable à manier, car, dans certaines conditions, sa décomposition en oxygène se fait avec une violente explosion. On peut mesurer sa densité à l'état gazeux, et par suite obtenir son poids moléculaire; tandis que l'atome O a pour poids atomique 16 (nombre choisi comme base des poids atomiques), l'oxygène vulgaire O_2 a pour poids moléculaire $16 \times 2 = 32$ et l'ozone $16 \times 3 = 48$. Le mystère de « l'odeur d'électricité », qui n'a rien d'électrique, est éclairci.

Il ne peut être question d'étudier ici en détail les propriétés chimiques de l'ozone. Disons seulement que ce gaz est un puissant oxydant, capable de produire, à la température ordinaire, des oxydations dont l'oxygène est incapable. Dans les locaux où existent de très fortes tensions électriques, il est impossible d'éviter la formation de quelques effluves, et par suite la production d'ozone; les oxydations qui en résultent, en particulier sur les métaux et sur la surface des enduits isolants, ne sont pas sans inconvénients pour le matériel, et c'est une des raisons pour lesquelles on a pris le parti de mettre en plein air les stations de couplage et de transformation électrique à très haute tension.

Ces propriétés oxydantes de l'ozone n'ont rien de surprenant : la molécule O_3, comme on vient de le dire, a une tendance à se scinder en $O_2 + O$; l'oxygène atomique ainsi produit (on aurait dit naguère : « l'oxygène à l'état naissant ») est doué d'une extrême activité chimique, qui ne peut être qu'oxydante. En particulier, l'ozone détruit les matières organiques par oxydation; c'est par suite un puissant antiseptique, et cette propriété est mise à profit pour stériliser l'eau; mais cette application est en dehors de notre sujet.

C'est également sur les propriétés oxydantes de l'ozone que sont fondées les méthodes chimiques pour déceler l'ozone et le doser dans l'air. Malheureusement, les mesures sont très incertaines quand la teneur en ozone se chiffre par quelques milliardièmes, comme c'est le cas dans l'air qui nous entoure, et les méthodes chimiques permettent de confondre l'ozone avec d'autres gaz oxydants, tels que les composés oxygénés de l'azote. Nous verrons plus loin que les méthodes optiques de dosage nous ont affranchis de toute difficulté. Cependant, les méthodes chimiques, tout imparfaites qu'elles sont, ont permis à Houzeau, agronome et chimiste, directeur de la station agronomique de Rouen, de découvrir, en 1858, la présence de l'ozone dans l'air et de le doser. Il trouva une teneur en ozone variable d'un jour à l'autre. Ses dosages, poursuivis presque jusqu'à nos jours à l'observatoire de la Ville de Paris, au parc de Montsouris, furent accueillis avec un peu de scepticisme; la comparaison avec les observations modernes montre qu'elles ne sont pas très inexactes; elles forment une longue série d'observations homogènes, encore utiles à consulter.

Les choses en seraient restées là, et les recherches sur l'ozone atmosphérique auraient été classées comme un sujet difficile et sans grand intérêt, si l'on n'avait découvert l'extraordinaire pouvoir d'absorption de l'ozone pour certaines radiations.

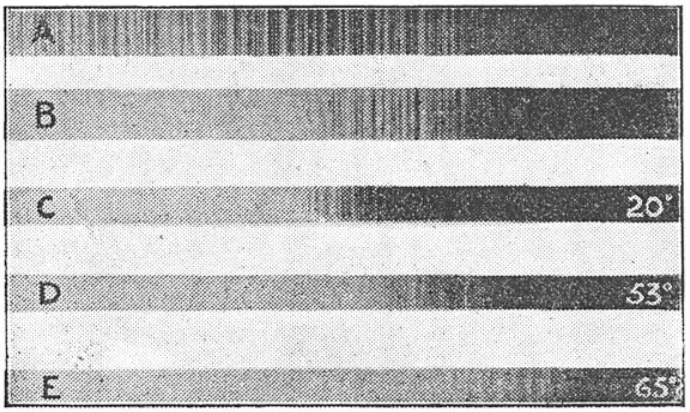
L'absorption de l'ultraviolet par l'ozone

Nous arrivons ici sur un terrain où la chimie donne la main à la *science des radiations*, ce chapitre si passionnant de la physique, et, par elle, à l'*astrophysique*. C'est un problème de spectroscopie astronomique qui a révélé l'importance de cette absorption et le rôle qu'elle joue sur la terre.

La lumière qui nous vient du soleil ou d'une étoile contient l'ensemble des radiations simples, qui forment une série continue, et qui sont par suite en nombre infini; chacune est définie par sa *longueur d'onde*, longueur très petite que l'on exprime ordinairement en dix millionièmes de millimètre, unité à leur échelle que l'on désigne sous le nom d'angström (abréviation A°) du nom du physicien suédois qui l'a employée le premier. Les radiations visibles, celles qui impressionnent notre œil, ont des longueurs d'onde qui s'échelonnent de 4 000 à 8 000 A°, mais cette double limitation vient uniquement de l'infirmité de notre œil; dès qu'on se sert d'autres récepteurs, dont la plupart ont aussi leur infirmités, ou, si l'on veut, leurs cécités, mais non pas les mêmes que l'œil, on s'aperçoit que la série des radiations se conti-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nue par les deux bouts, et que les radiations visibles ne forment qu'un îlot dans un océan beaucoup plus vaste. Du côté des grandes longueurs d'onde, au delà du rouge, on trouve les radiations infrarouges, tandis que, du côté des petites longueurs d'onde, on trouve l'ultraviolet que l'on étudie, comme on le fait pour les rayons X, par la fluorescence de certains écrans, ou mieux par la photographie. Il y a toutefois, pour l'étude de l'ultraviolet, une servitude assez désagréable : le verre, cette matière bénie des opticiens, perd sa transparence et devient inutilisable pour les radiations dont la longueur d'onde est inférieure à 3 500 A° environ. Heureusement, le quartz ou cristal de roche, silice naturelle cristallisée, vient suppléer le verre déficient, et avec son aide on arriva rapidement à prolonger l'ultraviolet jusqu'à la longueur d'onde 1 800 A° ; pour employer le langage de l'acoustique, on peut dire que l'ultraviolet s'étendait dès lors sur plus d'une octave, étendue supérieure à celle du domaine des radiations visibles. Ce sont des sources artificielles de lumière, en particulier l'étincelle électrique entre tiges de métal, qui ouvrirent ce domaine nouveau.



T W 24321

FIG. 1. — PARTIE ULTRAVIOLETTE DU SPECTRE SOLAIRE ET DU SPECTRE DE L'ARC ÉLECTRIQUE JAILLISSANT ENTRE TIGES DE FER

Ces spectres sont reproduits en négatif, tels qu'on les obtient sur la pluque photographique. Les petites longueurs d'onde sont à gauche; les radiations visibles seraient à droite, mais en dehors des limites de la figure. A est un spectre de l'arc électrique entre tiges de fer; B est le même spectre, avec interposition d'une couche d'ozone équivalant à 2,5 mm d'ozone pur : la région des petites longueurs d'onde est anéantie. C, D, E sont des spectres solaires pris à diverses heures de la journée, en été; les valeurs de la distance zénithale du soleil sont inscrites à droite. Quand le soleil s'éloigne du zénith, le côté des petites longueurs d'onde est de plus en plus mangé par l'absorption atmosphérique.

Chose curieuse, la lumière solaire, si magnifiquement intense dans le domaine visible, restait bien en arrière dans l'ultraviolet : aucune radiation solaire ne pouvait être décelée dans les longueurs d'onde inférieures à une certaine limite, située vers 2 950 A°. Deux hypothèses se présentaient : ou bien, par suite d'une infirmité du soleil, les ondes courtes de l'ultraviolet ne sont pas émises, ou bien c'est l'atmosphère terrestre qui leur fait écran. Une étude soigneuse de la question, faite en 1879 par Alfred Cornu, montra que cette dernière hypothèse est la bonne, car à mesure que le soleil s'abaisse vers l'horizon, ses rayons, traversant l'atmosphère plus obliquement, sont forcés de transpercer une épaisseur d'air de plus en plus grande ; or, on constate que le spectre ultraviolet s'étend de moins en moins vers les petites longueurs d'onde. C'est ce que l'on voit clairement sur la figure 1 où les trois dernières bandes de haut en bas représentent, reproduites en négatif, trois photographies du spectre solaire prises lorsque le soleil est de plus en plus loin du zénith (distances zénithales : 20°, 53°, 65°). Si l'on représente par 1 l'épaisseur réduite d'air (épaisseur d'air ramené à la pression 760 mm et 0° C), cette même quantité, lors de la prise de ces trois spectres, sera : 1,06, 1,66, 2,37. On voit le spectre diminuer d'étendue vers la gauche (côté où se trouvent les courtes longueurs d'onde), à mesure que l'épaisseur d'air augmente. Quant aux deux bandes du haut de la figure, la première est un spectre du fer (émis par la vapeur de fer dans l'arc électrique), qui s'étendrait vers la gauche bien au delà de la limite de la figure ; la deuxième est le spectre de la même source à travers une faible épaisseur d'ozone, qui coupe le spectre comme le fait notre atmosphère (voir plus loin).

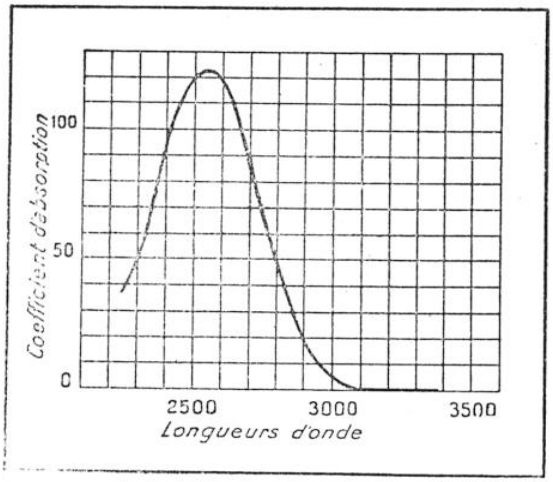
Restait à savoir quel était, dans l'atmosphère, le gaz responsable de cette absorption. Cornu, très prudemment, se borne à conclure que c'est « un des éléments permanents » contenus dans l'air, ce qui élimine la vapeur d'eau, toujours présente mais en proportion extraordinairement variable, sans que ces variations agissent sur la limite du spectre solaire. La question restait entière.

Presque à la même époque, en 1881, le chimiste britannique Hartley, bien connu pour une belle série de recherches sur l'ultraviolet et sur l'emploi systématique du spectrographe à prismes et lentilles de quartz, découvrit les remarquables propriétés absorbantes de l'ozone dans la région ultraviolette. Le gaz dont il se servait, obtenu par l'action de l'effluve électrique sur l'oxygène, était bien peu riche en ozone, car la proportion de ce gaz en volume n'était que 1/2 000. Placé dans un tube long de 1 m, fermé aux deux bouts par des lames de quartz, ce mélange gazeux était équivalent à une couche d'ozone gazeux pur ayant seulement une épaisseur de 0,5 mm ; en étudiant à travers ce faible filtre le rayonnement produit par une étincelle électrique, Hartley trouve qu'une large bande de l'ultraviolet est complètement absorbée ; il fixe les limites de cette forte absorption aux longueurs d'onde 2 930 et 2 320 A°, avec maximum d'absorption à 2 560. S'appuyant sur les travaux de Cornu et sur les analyses chimiques de Houzeau, Hartley émet l'hypothèse que le gaz responsable de la coupure du spectre solaire n'est autre que l'ozone. Il prévoit même, en s'appuyant sur certaines constatations météorologiques faites à l'observatoire de Montsouris, que la très haute atmosphère doit être beaucoup plus riche en ozone que l'air où nous vivons. Son mémoire se termine par une phrase qui

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mérite d'être citée : « Je pense que le spectrographe photographique (*spectroscope camera*), tel que je l'utilise, peut devenir un instrument météorologique de grande valeur (*a valuable meteorological instrument*) à cause de l'extraordinaire sensibilité des rayons ultraviolets à l'absorption par des traces infimes de diverses substances, et en particulier par l'ozone. »

Cependant, l'attribution à l'ozone de la limitation du spectre solaire restait une hypothèse qui ne fut pas d'abord universellement admise, probablement à cause d'une répugnance naturelle à admettre qu'une cause aussi faible puisse produire un effet aussi important. On alla jusqu'à dire que l'absorption atmosphérique n'était pas la seule cause de cette limitation, et cela en se basant sur des expériences faites à grande altitude. Si cette absorption est seule en cause, on est fondé à penser que, si l'on s'élève dans l'atmosphère, l'absorption atmosphérique devenant moindre, le spectre solaire doit s'allonger vers les petites longueurs d'onde. Or, des expériences poussées, en ballon monté, jusqu'à 9 000 m, ne montrèrent qu'un gain insignifiant, et certains auteurs crurent pouvoir en conclure que les ondes courtes ultraviolettes ne sont pas émises par le soleil. En réalité, il ne sert pas à grand'chose de s'élever à 9 000 m, parce que, comme on le montrera plus loin et comme Hartley l'avait pressenti, la plus grande partie de l'ozone atmosphérique se trouve beaucoup plus haut. Mais, vers 1910, la question n'était pas résolue.



T W 24317

FIG. 2. — COURBE D'ABSORPTION DE L'OZONE

Cette courbe montre l'absorption par l'ozone dans la grande bande ultraviolette. Les abscisses sont les longueurs d'onde en angströms, et les ordonnées les valeurs correspondantes du coefficient d'absorption. Les inverses de ces nombres représentent l'épaisseur (exprimée en centimètres) d'ozone gazeux pur qui réduit au dixième de sa valeur l'intensité du rayonnement qui la traverse. Remarquer l'énorme valeur du coefficient d'absorption dans la région des longueurs d'onde 2 500.

Il fallait d'abord identifier avec certitude le gaz absorbant. Il ne suffisait pas, pour cela, de constater, en gros, que tel gaz coupe le spectre au bon endroit; cette propriété peut être commune à beaucoup de gaz très différents. Mais, s'il est prouvé que la courbe d'absorption de l'atmosphère se superpose exactement à celle d'une certaine épaisseur d'ozone, il n'y a plus aucun doute sur l'exactitude de l'hypothèse proposée, et en même temps on aura l'épaisseur totale d'ozone contenu dans l'ensemble de la masse d'air qui est sur nos têtes. C'est ce qui a été fait par Buisson et Fabry dans des recherches, commencées en 1912 à la Faculté des Sciences de Marseille, et qui ont été le point de départ de nombreuses études.

Il fallait donc commencer par mesurer quantitativement les coefficients d'absorption de l'ozone pour les diverses radiations, et tracer sa *courbe d'absorption* en fonction de la longueur d'onde. C'est là un travail de laboratoire qui peut être fait avec la source de lumière que l'on jugera la plus commode. La courbe de la figure 2 résume les mesures. En abscisses sont les longueurs d'onde, et en ordonnées les coefficients d'absorption. La bande de forte absorption commence aux environs de 3 000 A°, et se continue loin vers les ondes courtes, avec maximum d'absorption à 2 550 A°. Dans cette région, l'absorption par l'ozone est énorme : une couche d'ozone gazeux pur ayant une épaisseur de 0,025 mm suffit pour réduire de moitié l'intensité du rayonnement qui la traverse. A égalité de poids, l'ozone est alors plus absorbant qu'un métal.

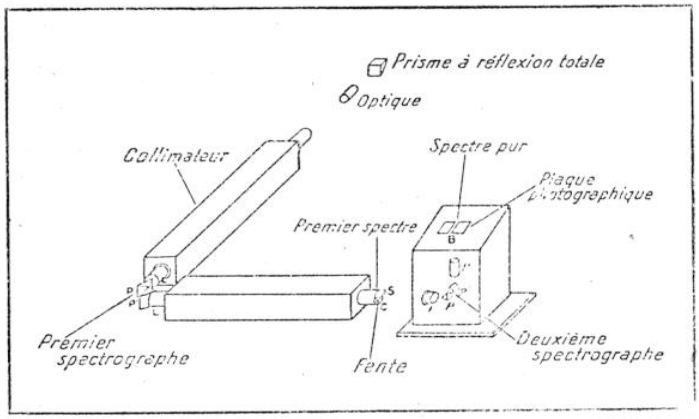
Il reste à mesurer l'absorption exercée par l'atmosphère sur les diverses radiations, afin de comparer cette absorption avec celle qu'exercerait une certaine couche d'ozone. C'est une mesure difficile, comme le sont toujours les mesures sur les phénomènes naturels, qu'il faut saisir tels qu'ils sont sans pouvoir les domestiquer dans les commodités d'un laboratoire. Dans le cas qui nous occupe, une seule méthode est à notre disposition : observer le soleil lorsqu'il s'abaisse vers l'horizon, et par suite traverse l'air sous une épaisseur croissante; la loi d'affaiblissement permet, par un calcul facile, mais qui ne peut trouver place ici, de calculer l'absorption exercée par l'atmosphère pour chaque radiation.

Une grosse difficulté se présentait : pour que les informations obtenues fussent complètes, il importait de pousser les observations aussi loin que possible vers les petites longueurs d'onde, et atteindre la région où l'absorption est déjà presque totale. On arrive alors à des radiations dont nous ne recevons que des traces, alors que les autres radiations du spectre solaire sont d'une énorme intensité. La moindre quantité de lumière diffusée par les pièces optiques du spectrographe aura pour effet de noyer les radiations les plus affaiblies dans un océan de radiations parasites. Il ne sert plus à rien d'augmenter la durée de la pose photographique : c'est la lumière parasite qui agit, et le prolongement de la pose n'a d'autre effet que de *voiler* la plaque. On évite cette difficulté en employant un *spectrographe double*, dont ce fut la première application et qui, sous des formes diverses, s'est largement répandu. La figure 3 en donne le schéma. Un premier spectrographe composé de deux prismes PP' et de deux lentilles LL' projette en C le spectre solaire, souillé par la lumière parasite; un deuxième spectrographe, composé d'une manière analogue (prismes *pp'* et lentilles *ll'*), disperse la lumière dans un plan perpendiculaire à celui du premier appareil. La lumière diffuse se trouve ainsi rejetée sur le côté, et l'on obtient en B un spectre parfaitement pur, sur lequel on peut faire des poses photographiques

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pendant des heures, sans être gêné par la moindre trace de voile. Naturellement, les prismes et lentilles de cet appareil sont en quartz.

En suivant ainsi, pendant toute une journée, les variations du spectre solaire, on arrive à déterminer l'absorption atmosphérique pour chaque radiation. On peut alors comparer cette absorption à celle de l'ozone; le résultat est que l'absorption par l'ensemble de l'atmosphère, lorsque celle-ci est traversée verticalement, est exactement celle que produirait une couche d'ozone gazeux et pur dont l'épaisseur, un peu variable d'un jour à l'autre, serait d'environ 2,5 mm. Sur la figure 1, les deux spectres du haut sont ceux de la lumière provenant de l'arc électrique entre tiges de fer, spectre qui s'étend très loin vers les petites longueurs d'onde. Le spectre du haut est obtenu sans l'interposition d'aucun absorbant, le deuxième est pris à travers une couche d'ozone d'environ 2,5 mm d'épaisseur; le spectre est *coupé* comme l'est, par absorption atmosphérique, le spectre solaire placé au-dessous.



T W 24323

FIG. 3. — SPECTROGRAPHE DOUBLE POUR L'ÉTUDE DE L'EXTRÉMITÉ ULTRAVIOLETTE DU SPECTRE SOLAIRE, AVEC ÉLIMINATION DE TOUTE TRACE DE LUMIÈRE DIFFUSE

Un premier spectrographe produit un spectre solaire, souillé par la lumière diffuse venant des portions les plus intenses du spectre. Un deuxième spectrographe, qui produit une dispersion à angle droit du premier, rejette ces impuretés sur le côté. On obtient finalement en B un spectre parfaitement pur.

Connaissant maintenant l'absorption atmosphérique et ayant mesuré l'intensité des diverses radiations que nous recevons au sol, on peut remonter à ce qu'étaient ces radiations dans leur virginité, avant l'absorption terrestre. Quand on approche de la limite observable, on ne trouve aucune trace de faiblesse dans le rayonnement solaire. Le soleil est parfaitement exempt de l'infirmité, qu'on lui avait attribuée, d'être incapable d'émettre les ondes les plus courtes de l'ultraviolet.

Les autres bandes d'absorption de l'ozone

La grande bande d'absorption de l'ozone dans l'ultraviolet est la plus remarquable, mais non la seule; chacune de ces bandes d'absorption doit se retrouver dans le spectre solaire, et ainsi confirmer la présence de l'ozone atmosphérique et donner une méthode de dosage de ce gaz dans l'atmosphère.

Toujours dans l'ultraviolet, sur le bord de la grande bande du côté des grandes longueurs d'onde, on trouve un système compliqué de bandes d'absorption beaucoup plus faibles, connues sous le nom de bandes de Huggins. On les observe facilement dans le spectre des étoiles brillantes, comme Sirius, près de l'horizon; on les trouve moins facilement dans le spectre solaire qui, dans cette région, est encombré de lignes d'absorption d'origine solaire. D'ailleurs, pour l'observation du spectre du soleil à l'horizon, une grave difficulté provient de la présence de brume dans la basse atmosphère, qui a pour effet d'absorber presque complètement l'ultraviolet. Une ingénieuse méthode pour surmonter cette difficulté a été imaginée par Cabannes et Dufay. Au lieu de diriger le spectrographe vers le soleil couchant, on le dirige vers le zénith, et on analyse la lumière qui, venant du soleil, a été diffusée par l'atmosphère. Cette lumière a traversé très obliquement les hautes couches de l'atmosphère qui sont particulièrement riches en ozone, comme on le montrera plus loin; la basse atmosphère est traversée verticalement et par suite ne cause pas trop de dommage. On obtient ainsi très facilement les bandes de Huggins, comme le montre la fig. 4. Ces bandes sont caractéristiques de l'ozone, et leur existence confirme, s'il en est besoin, les observations faites sur la grande bande ultraviolette.

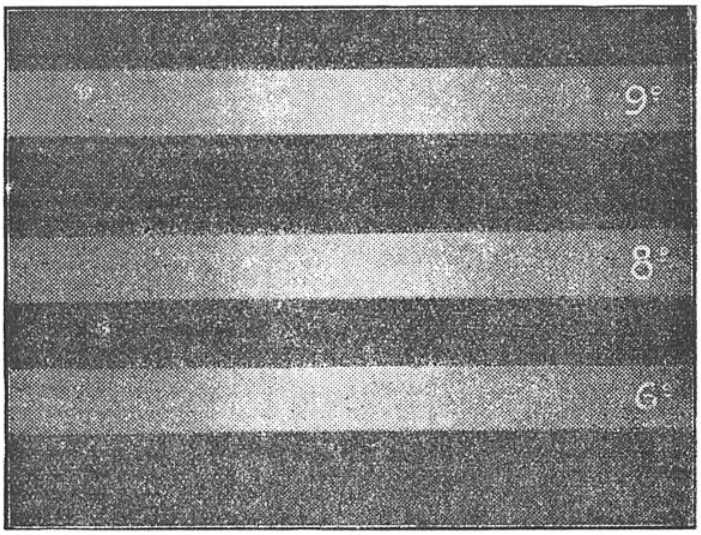
Enfin, dans la partie visible du spectre, des bandes d'absorption ont été découvertes, dès 1879, par Chappuis. Elles sont situées dans le rouge, l'orangé et le jaune, ce qui rend leur observation visuelle facile, mais elles exigent une assez grande épaisseur d'ozone : on les voit bien si le tube à absorption contient une épaisseur de 2 ou 3 cm d'ozone pur, ou l'épaisseur équivalente de gaz dilué. Lorsque l'épaisseur est plus grande, par exemple 10 cm, ou 1 m d'ozone à 10 pour cent, le côté des grandes longueurs d'onde dans le spectre visible étant très affaibli, l'ozone est bleu par transmission. Ces bandes ne sont pas facilement visibles dans le spectre solaire, parce que l'absorption est faible. Cependant, Cabannes a montré qu'on les avait, depuis longtemps, observées sans le savoir. Elles sont, en quelque sorte, inscrites dans les excellentes mesures de l'absorption atmosphérique faites en Amérique par Abbot et Fowle, qui avaient passé à côté sans les voir. Depuis, on a pu les observer régulièrement, soit par observation bolométrique (Iké Duninowski), soit par photométrie visuelle directe (Gauzit). En comparant les résultats de ces mesures avec les coefficients d'absorption de l'ozone, on trouve une parfaite concordance, et l'on retrouve les 2 à 3 mm d'épaisseur pour l'ozone atmosphérique.

Où est l'ozone atmosphérique? Où se cache-t-il?

Nous voici donc en présence de deux résultats acquis : 1° l'atmosphère terrestre contient de l'ozone; 2° s'il était possible de ramasser

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tout l'ozone qui se trouve verticalement au-dessus de nous et de le rassembler à l'état d'ozone gazeux pur dans les « conditions normales » (température 0° C, pression 760 mm de mercure), la couche uniforme ainsi obtenue aurait, en moyenne, une épaisseur de 2,5 mm. Comme l'air ramené entièrement aux mêmes conditions normales a une épaisseur de 8 km, on calcule immédiatement que, si l'ozone était uniformément réparti dans l'atmosphère, la proportion en volume de ce gaz serait 1/3 000 000. C'est peu, mais c'est trop. C'est environ douze fois plus que n'en indiquent les dosages chimiques dans l'air que nous respirons. Les physiciens ne peuvent avoir aucun doute sur l'exactitude de leurs dosages spectrographiques et, en dépit des difficultés très grandes des dosages chimiques sur un gaz aussi dilué, ils n'ont pas de raison sérieuse pour accuser les chimistes d'avoir énoncé un résultat douze fois trop petit. Il ne reste qu'une explication : c'est que la plus grande partie de l'ozone atmosphérique se trouve à grande altitude, hors de portée des analyses chimiques ordinaires.



T W 24322

FIG. 4. — BANDES D'ABSORPTION DE L'OZONE, DITES « BANDES DE HUGGINS », OBTENUES EN ANALYSANT LA LUMIÈRE DU CIEL BLEU AU ZÉNITH LORSQUE LE SOLEIL EST PRÈS DE L'HORIZON

Les chiffres inscrits à droite sont les hauteurs du soleil au-dessus de l'horizon. Les bandes deviennent plus accusées à mesure que le soleil descend vers l'horizon.

Pour confirmer cette conclusion, il était utile de faire des expériences par spectrographie au voisinage du sol, et de voir si l'air de ces régions est très pauvre en ozone. L'expérience, suggérée par Buisson et Fabry en 1913, fut réalisée en 1917 par R. J. Strutt (devenu lord Rayleigh après la mort de son père en 1919). Une lampe à vapeur de mercure à enveloppe de quartz est allumée en plein air; on en photographie le spectre en se plaçant à une distance d'environ 6 km. Si l'air traversé par la lumière avait la composition calculée en supposant l'atmosphère homogène, cela équivaudrait à l'interposition d'une couche d'ozone pur de 2 mm environ d'épaisseur, qui absorberait une grande partie des radiations ultraviolettes du mercure, et en particulier la forte radiation de longueur d'onde 2 536 A° qui se trouve dans la région où l'absorption par l'ozone est la plus forte. Or, cette radiation traverse avec une grande intensité.

L'expérience ainsi faite n'est que qualitative; il suffit de faire des mesures d'intensité des diverses radiations pour obtenir d'excellents dosages de l'ozone de l'atmosphère qui nous entoure. C'est ce qui a été fait en 1929 et 1930 par Buisson, Jausseran et Rouard dans une belle série de mesures qui avaient pour but une étude complète de l'absorption atmosphérique dans un air pur. Les expériences ont été faites dans la vallée de l'Ouvèze (département de Vaucluse), dans une région très sèche et dépourvue de brume. La lampe au mercure servant de source de radiations était observée au moyen de deux spectrographes identiques, placés à 589 m et 2 506 m de la lampe. Nous allons, dans un instant, indiquer les résultats.

Parmi les nombreuses autres mesures analogues, citons celles de Chalonge et Vassy faites dans l'Oberland Bernois, d'une part dans la vallée à Lauterbrunnen (850 m), d'autre part à la station scientifique internationale du Jungfraujoch (3 500 mètres). La fig. 5 montre le spectrographe, d'un type très original, dû à André Couder, en station sur la montagne, pour observer la source de radiations placée à 1 850 m de là, à l'observatoire du Jungfraujoch.

Toutes ces mesures, où l'optique vient en aide à la chimie, conduisent aux résultats suivants : les mesures optiques donnent des résultats beaucoup plus cohérents et plus sûrs que n'étaient ceux des méthodes purement chimiques; celles-ci, cependant, ne présentent pas de très grosses erreurs. La teneur en ozone varie un peu d'un jour à l'autre et d'un lieu à un autre. Il semble y avoir, en général, une très légère augmentation de la teneur en ozone quand on s'élève en montagne, mais l'augmentation est fort petite. Ce résultat est conforme à ce que l'on avait trouvé, il y a longtemps, par les méthodes chimiques : dès 1906, Lespieau avait trouvé qu'au sommet du Mont Blanc la proportion d'ozone, environ 3 mg pour 100 kg d'air, est sensiblement la même que dans la plaine. Si la même proportion existait dans toute l'atmosphère, l'épaisseur totale de l'ozone atmosphérique ne serait que de 0,2 mm, alors que la mesure directe donne 2,5 mm.

Une seule hypothèse reste : c'est à très grande altitude, bien au-dessus du plus haut sommet des Alpes, que se trouve la plus grande partie de l'ozone atmosphérique.

Mais ce n'est là qu'une indication qualitative. Pour être pleinement satisfait, il faudrait connaître numériquement la loi de répartition en hauteur. C'est là un des nombreux et difficiles problèmes que pose l'étude de la très haute atmosphère, sur laquelle on commence à connaître quelque chose, assez pour s'apercevoir de son importance dans la physique terrestre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

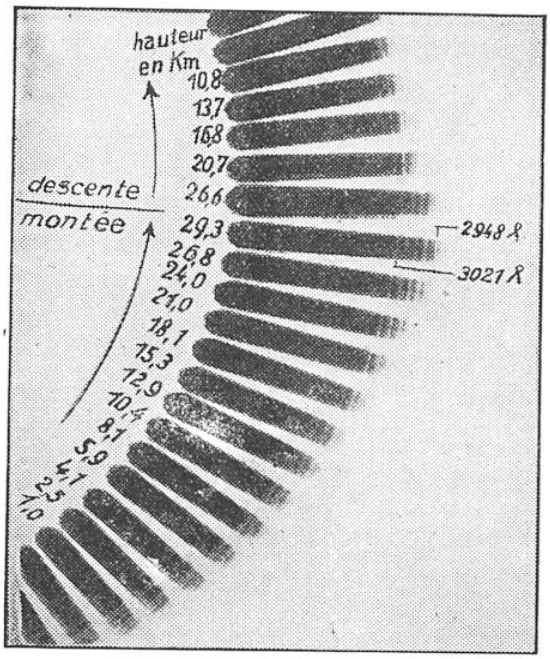
Il doit en être ainsi, si l'on réfléchit que c'est par le haut de son atmosphère que notre planète est en contact avec le monde cosmique, que c'est par là qu'elle reçoit les mille radiations du groupe « lumière » et du groupe « corpusculaire », ainsi que d'innombrables astéroïdes (étoiles filantes et bolides) « tombés du ciel ».

Le problème de la répartition de l'ozone en hauteur a été abordé de bien des manières, qui se classent nettement en deux groupes : 1° observations faites au sol; 2° expériences plus directes, en altitude, au moyen de « ballons-sondes » ou de « ballons stratosphériques » montés.

Dans les expériences faites au sol, le seul moyen d'étude est fondé sur la loi de décroissance des intensités des diverses radiations lorsque le soleil approche très près de l'horizon, soit par observation directe du soleil, soit en visant au zénith et examinant la lumière diffusée (voir plus haut). Les diverses couches de l'atmosphère ne sont pas traversées exactement sous le même angle, et par suite la loi de l'absorption dépend de la répartition en hauteur. Cette méthode, assez indirecte, a l'avantage de n'exiger aucun matériel compliqué et coûteux, et de pouvoir être employée sans risque autant de fois qu'on le désire.

La première tentative pour l'emploi du ballon-sonde a été faite en 1898 par le comte de la Baume Pluvinel. Il n'était pas encore question de l'ozone atmosphérique; on se proposait seulement d'étudier l'absorption exercée par l'oxygène dans le spectre visible. Un gros ballon libre sans passager emportait un spectrographe (dont les pièces d'optique étaient en verre), muni d'un dispositif automatique qui devait déclencher l'obturateur à midi vrai, moment où le ballon atteindrait sa hauteur maximum. On obtint un bon spectre pris à une altitude de 9 km.

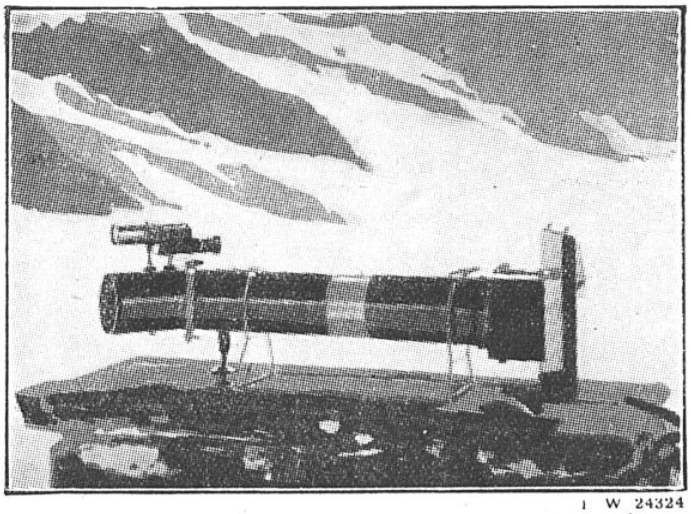
Cet essai hardi n'eut pas de lendemain. C'est seulement en 1934 que la spectrographie de l'ultraviolet en ballon-sonde fut réussie par E. et V. H. Regener, de la Hochschule de Stuttgart. Le programme était plus ambitieux que celui des expériences de 1898, mais aussi les moyens plus puissants. Il ne s'agit plus d'obtenir un seul spectre solaire, mais bien une série de spectres à des altitudes diverses et repérées, depuis le départ jusqu'à l'atterrissage. Le spectrographe, à optique de quartz, est muni d'un obturateur qui est périodiquement déclenché et réarmé; les poses successives sont prises sur une même plaque, qui se déplace légèrement après chaque pose. Le tout pèse un peu moins de 3 kg, et l'on devine ce qu'il a fallu d'ingéniosité pour réaliser cet ensemble parfaitement automatique. Comme il serait fort difficile d'orienter automatiquement l'appareil vers le



T W 24319

FIG. 6. — SPECTRE ULTRAVIOLET DU SOLEIL, PRIS EN BALLON-SONDE A DES ALTITUDES ALLANT JUSQU'A 29 KM

Un dispositif automatique déclenche l'obturateur, à intervalles réguliers, de manière à obtenir un spectre. Après chaque pose, la plaque subit un léger déplacement qui la met en place pour la pose suivante. A mesure que le ballon s'élève, les spectres deviennent plus intenses dans la partie ultraviolette extrême, parce que l'absorption atmosphérique diminue.



T W 24324

FIG. 5. — SPECTROGRAPHE INSTALLÉ POUR LE DOSAGE DE L'OZONE DANS L'AIR AMBIANT

L'appareil se compose simplement d'un prisme et d'une lentille de quartz, donnant le spectre d'une source de lumière riche en radiations ultraviolettes, placée à grande distance, et apparaissant comme un point lumineux. On voit ici le spectrographe installé sur le flanc de la montagne, près de la station scientifique internationale du Jungfraujoch, à 3 400 mètres d'altitude environ. La source de lumière (un tube à hydrogène traversé par un courant électrique) est installée à la même hauteur, au laboratoire de la station scientifique, situé à 1 850 mètres du spectrographe. L'examen des bandes d'absorption permet de faire un dosage très précis de l'ozone contenu dans l'air interposé.

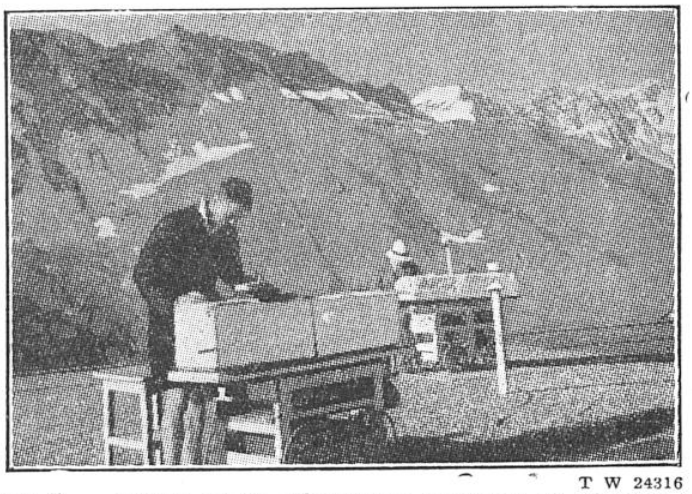
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

soleil, en dépit du mouvement diurne et des rotations du ballon, on le dirige vers une surface horizontale blanche suspendue en dessous. Si, finalement, le ballon n'est pas perdu (et il ne l'est que rarement si le lieu de départ et le jour de l'ascension sont bien choisis), la plaque développée montre une série de spectres. La figure 6 reproduit une de ces plaques. A mesure que le ballon s'élève, la région des courtes longueurs d'onde devient plus intense et plus étendue. Les mesures photométriques faites sur ces spectres font connaître l'épaisseur d'ozone qui se trouvait au-dessus du ballon à l'instant de la pose. On a pu ainsi explorer l'atmosphère jusqu'à une altitude de 30 km.

La méthode est, en principe, la même dans les études faites en ballon stratosphérique. L'altitude atteinte est moins grande, et le prix très élevé des ascensions en limite le nombre, mais en revanche la présence de l'observateur rend plus facile et plus sûre l'exécution des expériences. La magnifique ascension faite aux Etats-Unis avec le ballon « Explorer II », où l'on a atteint 22 km, a donné les résultats les plus sûrs relativement à la répartition de l'ozone en hauteur.

Enfin, plus récemment, un autre dispositif de ballon-sonde a été utilisé par les physiciens américains Coblentz et Stair, du « Bureau of Standards » de Washington. Renonçant à l'emploi de la plaque photographique, les auteurs utilisent la technique du « radio-sondage » (1), imaginée quelques années avant par Idrac et Bureau et employée pour les sondages météorologiques où elle a donné de magnifiques résultats. Un petit émetteur de T.S.F. emporté par le ballon envoie au sol, d'une manière presque continue, les indications d'un ou de plusieurs instruments suspendus au ballon; l'observateur les reçoit dans son laboratoire à l'instant même où elles sont émises, et comme le ballon peut être suivi du sol, son altitude est exactement connue. Si le ballon n'est pas retrouvé après son atterrissage, c'est une perte matérielle, mais rien n'est perdu des observations. L'appareil récepteur des radiations ne peut plus être une plaque photographique; on se sert d'une cellule photoélectrique au cadmium, particulièrement sensible à la région spectrale qui nous intéresse, vers la longueur d'onde 3 000 A°; elle reçoit le rayonnement solaire, sans emploi d'un spectrographe, à travers un filtre qui ne laisse passer que la bande spectrale intéressante. Cette manière de procéder est théoriquement moins parfaite que celle où l'on sépare les radiations par un spectrographe, mais elle conduit à un outillage beaucoup plus simple. Les mesures ont été poussées jusqu'à 27 km d'altitude.

Dans ces sondages, quel que soit le dispositif, chaque observation indique combien d'ozone se trouve au-dessus du ballon, et l'on peut finalement tracer la courbe donnant la quantité d'ozone au-dessus de chaque altitude. Il ne sera pas difficile d'en déduire la teneur en ozone en fonction de l'altitude, résultat que l'on exprimera, par exemple, en milligrammes d'ozone par 100 m³. Sans entrer dans le détail de ce qui a pu être déduit de chaque méthode, résumons les résultats actuellement acquis.



T W 24316

FIG. 7. — MESURE DE LA RÉPARTITION VERTICALE DE L'OZONE A AROSA (SUISSE)

L'appareil utilisé ici est un spectrophotomètre photoélectrique. L'observation porte, en visant au zénith, sur la lumière diffusée par les diverses couches de l'atmosphère traversées sous des angles différents lorsque le soleil s'éloigne progressivement de l'horizon.

Au niveau du sol, c'est en moyenne 4 ou 5 mg dans 100 m³ que l'on trouve; cette quantité augmente d'abord très lentement quand on s'élève dans l'atmosphère libre; il arrive même qu'elle commence par diminuer dans les premiers kilomètres et arrive presque à zéro vers 5 km; il n'est pas surprenant que l'on gagne peu sur la limite du spectre solaire quand on s'élève en ballon monté, comme l'avait fait Wigand. Mais à partir d'une certaine hauteur, il y a accroissement rapide du nombre qui exprime la concentration en poids de l'ozone. Le maximum est vers 24 km, hauteur où la concentration atteint 22 mg pour 100 m³ et décroît ensuite. On ne peut rien dire de certain sur ce qui se passe au delà de 30 km.

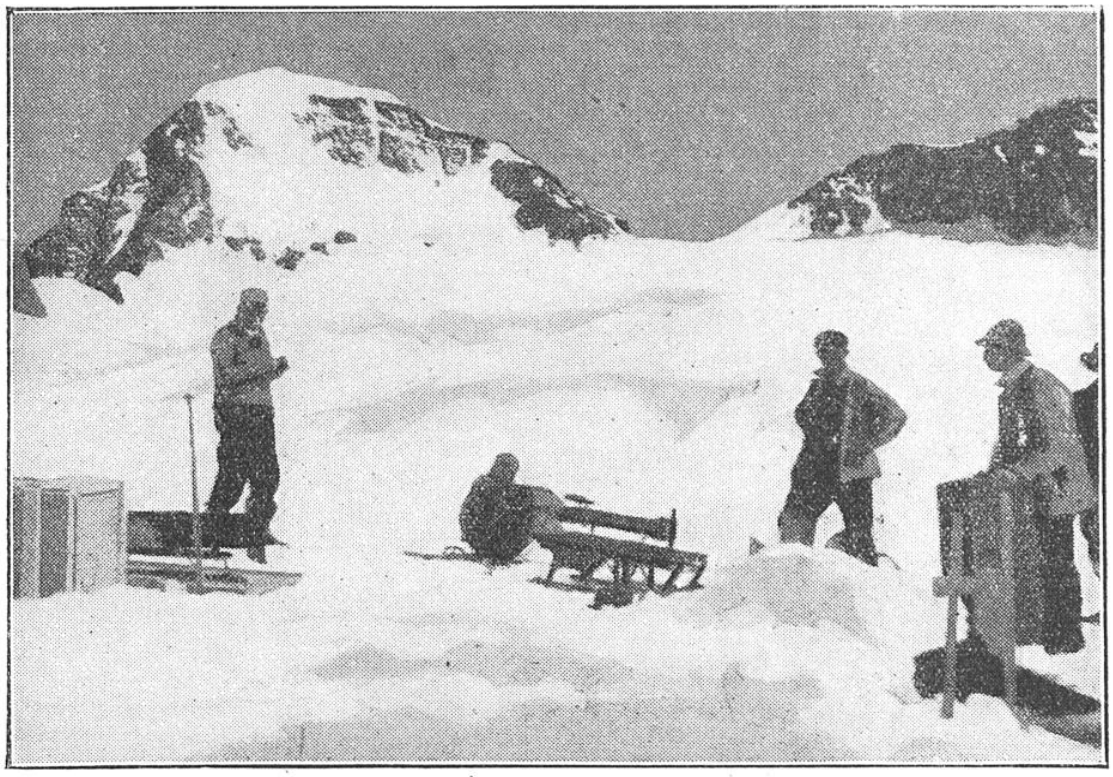
La décroissance finale ainsi constatée était, *a priori*, évidente. Il s'agit, en effet, du poids d'ozone dans l'unité de volume d'air tel qu'il est, là où il se trouve. Si l'on s'élève de plus en plus, le poids de cet air diminue et tend vers zéro; le poids de chaque composant contenu dans 100 m³ tend forcément vers zéro. Mais pour juger de la composition de l'air à chaque altitude, il faut calculer le *poids* d'ozone contenu dans un *poids constant* d'air, par exemple dans 100 kg; ce calcul est facile si l'on connaît, à chaque altitude, le volume occupé par 100 kg d'air, quantité que l'on connaît à peu près. On trouve alors que cette richesse pondérale en ozone ne cesse d'augmenter. On trouve, dans 100 kg d'air, environ 4 mg d'ozone au niveau du sol, 400 mg à 24 km et 600 mg à 30 km. Il est probable que cette proportion en poids ne cesse de croître avec l'altitude, et que les très hautes régions sont relativement très riches en ozone, sans que cela fasse un

(1) Voir : « Les radiosondages de l'atmosphère », dans *La Science et la Vie*, n° 217, juillet 1935.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

grand poids total parce que cette richesse relative porte sur un air extrêmement raréfié.

Enfin, une méthode récemment imaginée par MM. Barbier, Chalonge et Vigroux pourra donner des résultats intéressants. Elle est fondée sur les observations des éclipses de lune, en utilisant la lune comme écran de projection où se projette, avant la totalité, la silhouette de la terre et de son atmosphère. Le bord de l'ombre est éclairé par des rayons qui ont traversé le



T W 24315

FIG. 8. — LE DOSAGE DE L'OZONE DANS L'AIR AMBIANT SUR LE JUNGFRAUJOCH

haut de notre atmosphère sous une incidence presque rasante, et par suite sous une épaisseur considérablement augmentée. Pendant l'éclipse du 2-3 mars 1942, les auteurs ont pu constater, dans le bord de l'ombre, la présence des bandes d'absorption de l'ozone (bandes de Chappuis). Il ne s'agissait que d'une observation préliminaire; on peut espérer que les éclipses futures donneront des résultats intéressants.

Où et comment se forme l'ozone atmosphérique?

Pour les autres gaz de l'atmosphère, cette question n'aurait pas de sens, à moins de la mettre au passé, et à un passé très lointain. L'oxygène et l'azote existent dans l'atmosphère et y subsistent. Mais pour l'ozone, les conditions sont très différentes : ce gaz se détruit spontanément, d'autant plus vite que la température est plus élevée, et que le gaz est plus chargé en poussières, qui agissent comme catalyseurs. La molécule O_3 est toujours en état de « faux équilibre ». Il faut qu'il y ait, quelque part, une fabrique d'ozone, où l'oxygène O_2 se transforme en ozone O_3, et cela ne peut se produire que par une action venue de l'extérieur.

Cette action n'est autre que celle des ondes ultraviolettes très courtes venues du soleil, de longueur inférieure à 2 000 A°, qui entrent dans la très haute atmosphère, où elles agissent sur l'oxygène et le transforment en ozone. Elles ne peuvent agir plus bas parce qu'avant d'y parvenir, les radiations actives sont complètement absorbées par l'oxygène; plus bas, il ne se forme pas d'ozone parce qu'il n'y a pas de radiations capables de faire la transformation. D'ailleurs, si les ondes les plus courtes de l'ultraviolet sont génératrices d'ozone, celles de l'ultraviolet moyen, que l'ozone absorbe violemment, décomposent ce gaz; il y a un continuel équilibre entre ces deux actions inverses.

Nous avons dit plus haut que la quantité totale d'ozone contenue dans l'atmosphère n'est pas constante. Elle subit des variations irrégulières et aussi, en chaque lieu, une variation saisonnière régulière; dans les régions tempérées, il y a un maximum très net au printemps et un minimum en automne. De plus, l'ozone est, d'une manière générale, plus abondant dans les régions polaires que sous les climats tropicaux; la grande fabrique d'ozone est dans les pays froids; M. et Mme Vassy ont montré récemment que c'est un simple effet de température, le froid étant favorable à la formation de l'ozone et à sa conservation. Les régimes de vent polaire dans la haute atmosphère amènent de l'ozone, et ce gaz sert ainsi d'*indicateur* sur les régimes des hautes régions, qui échappent à l'observation directe. Enfin, l'état du soleil, avec

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

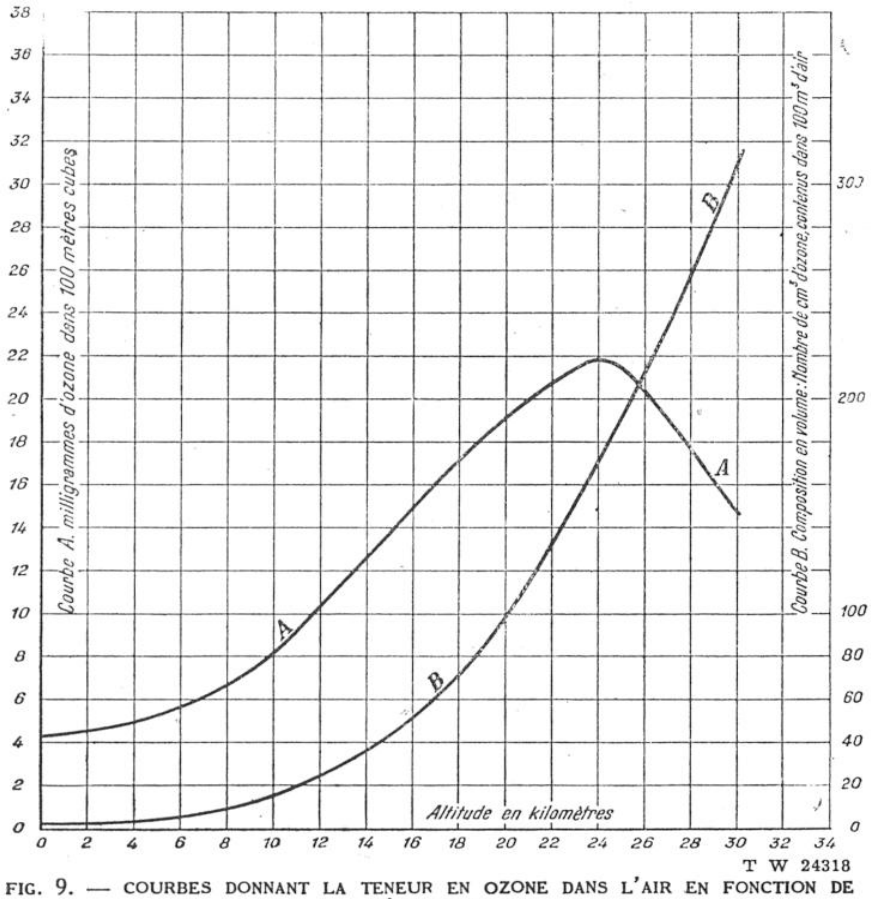


FIG. 9. — COURBES DONNANT LA TENEUR EN OZONE DANS L'AIR EN FONCTION DE L'ALTITUDE

Courbe A : poids d'ozone, en milligrammes, dans un volume de 100 m³. Ce poids augmente, d'abord très lentement, puis rapidement, jusque vers 25 km; il décroît ensuite parce que le poids total de l'air dans un volume fixe devient extrêmement faible. Courbe B : poids d'ozone, en milligrammes, dans 100 kg d'air. Ce poids va constamment en augmentant.

ses éruptions dont le rayonnement est certainement riche en ondes ultracourtes, doit avoir aussi son influence. Toute une météorologie de l'ozone a été créée, principalement par Dobson, avec stations d'observation réparties dans le monde entier; le « spectroscope camera » est devenu, comme l'avait prévu Hartley, un instrument météorologique de grande valeur.

Cet ozone contribue à l'équilibre thermique de notre planète. On a d'excellentes raisons de penser que, si l'atmosphère moyenne est à très basse température, quelque chose comme — 60° C vers 10 ou 12 km, la très haute atmosphère n'est pas froide et arriverait, probablement, à + 50° C vers 100 km, et peut-être encore beaucoup plus à très grande altitude. Le rayonnement solaire absorbé par l'ozone y est certainement pour quelque chose, et cette chaude couverture au-dessus de nous doit agir sur l'équilibre thermique de notre terre.

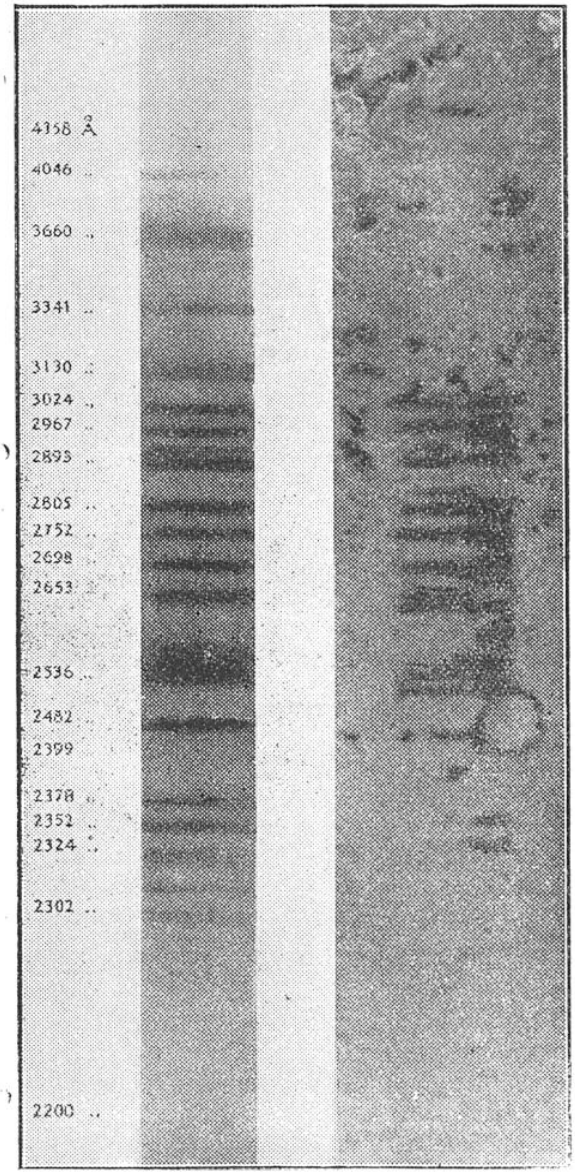
Importance biologique de l'ozone atmosphérique

Tout être vivant, animal ou plante, pour se développer et vivre, a besoin de nourriture qu'il reçoit du milieu qui l'entoure. On peut ranger sous cette rubrique aussi bien les produits gazeux empruntés à l'air que les solides et les liquides pris au monde minéral ou à d'autres êtres vivants. Une plante emprunte au sol presque toute son eau, quelques sels minéraux, des produits azotés, mais elle emprunte à l'air le gaz carbonique dont elle fabrique les hydrates de carbone qui forment ses tissus. Quant aux animaux, au moins les animaux supérieurs, ils dépendent entièrement, pour leur nourriture, du monde végétal, les uns directement, les autres par l'intermédiaire des animaux dont ils se nourrissent. La disparition de la vie végétale sur la terre entraînerait la disparition presque totale de la vie, au moins de ce que l'on peut appeler la « vie supérieure ». En définitive, toute la vie dépend de la « fonction chlorophyllienne », qui permet aux plantes vertes d'arracher à l'atmosphère le carbone nécessaire à la fabrication de leur substance.

Tout cet ensemble compliqué de réactions chimiques qui enchaînent les uns aux autres la plupart des êtres vivants exige encore l'intervention d'un autre élément que la matière : rien de tout cela ne pourrait exister sans l'intervention des radiations que le soleil envoie à la planète, radiations qui doivent pénétrer jusqu'au sol, là où existe la vie. La chimie biologique comprend, à sa base, une partie importante de photochimie, science difficile, dont les principes commencent à se dégager, mais dont le détail est extraordinairement difficile à préciser. Les diverses radiations peuvent d'ailleurs agir de façons complètement différentes et, dans la nature, ces actions diverses sont mélangées. Tandis que certaines radiations agissent d'une manière utile et même nécessaire, d'autres se comportent comme de véritables poisons. Aussi bien pour les végétaux que pour les animaux et l'homme, il reste beaucoup à faire avant de comprendre entièrement cette photochimie biologique.

C'est dans le cas des végétaux que l'importance des radiations est la plus évidente. Toute la croissance des végétaux verts, par suite une grande partie de l'alimentation du monde animal, est liée à l'action des radiations. Quelles

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



T W 24320

FIG. 10. — INFLUENCE DES DIVERSES RADIATIONS ULTRAVIOLETTES SUR LA VÉGÉTATION

On projette, au moyen de prismes et de lentilles en quartz, le spectre d'une forte lampe à vapeur de mercure en quartz. En exposant un papier photographique dans cette image (où toute la partie ultraviolette est invisible), on obtient l'image de gauche, où l'on a inscrit les longueurs d'onde des diverses raies. En mettant à la même place une culture de moisissures, les minuscules cryptogames sont tués au bout de quelques heures à l'endroit où ils sont frappés par certaines radiations; les raies correspondantes se dessinent en noir (à droite). Dans d'autres régions du spectre ultraviolet, les radiations sont inoffensives.

sont, pour cet important usage, les radiations efficaces? Toutes celles qui sont absorbées par la chlorophylle, matière verte des feuilles, et cette substance a de fortes bandes d'absorption dans le rouge et l'orangé, ainsi que dans le bleu. Nous sommes là en présence d'une réaction chimique qui exige une énorme dépense d'énergie : il s'agit de décomposer les molécules de gaz carbonique éparses dans l'atmosphère, molécules qui sont parmi les plus stables de la chimie, en mettant en liberté leur oxygène, tandis que le carbone, par un processus dont le détail est encore en discussion, donne finalement des hydrates de carbone. C'est là, sans doute, le phénomène le plus grandiose de la chimie biologique, et c'est, en réalité, un phénomène photochimique.

Pour la fonction chlorophyllienne, l'ultraviolet, qui souvent joue un rôle important en photochimie, n'est pas particulièrement efficace, et celles de ces radiations qui parviennent abondamment au sol, jusqu'à la longueur d'onde 3000 A° environ, ne sont en rien nuisibles. Mais les ondes ultraviolettes les plus courtes, par exemple celles de longueur d'onde inférieure à 2 900 A°, agissent sur les végétaux comme de véritables poisons; et ce sont justement celles contre lesquelles nous sommes protégés par l'ozone de la très haute atmosphère. A quoi tient cette action mortelle de certaines radiations invisibles, qui s'étend sur des êtres très divers, même à l'homme sur les portions du corps, comme la conjonctive de l'œil, qui ne sont pas protégées par l'épiderme? Probablement à l'action de ces radiations sur presque tous les colloïdes, qui sont coagulés ou dissous.

Quoi qu'il en soit, cette action mortelle peut être mise en évidence de bien des façons; la plus correcte et la plus élégante est de faire agir, sur une culture de très petits organismes, toutes les radiations étalées en un spectre, de telle manière que chaque point de la culture soit soumis à une radiation pure bien définie. Voici, à titre d'exemple, une expérience de L. Raybaud, qui date déjà de 1910.

Le rayonnement d'une lampe au mercure de grande puissance à enveloppe de quartz est étalé en un *spectre* au moyen de prismes et lentilles en quartz; les diverses radiations se trouvent rangées en lignes distinctes, bien séparées les unes des autres. Un papier photographique « à noircissement direct » posé là où se projette le spectre montre, en quelques instants, une ligne noire là où se forme l'image d'une raie ultraviolette non visible, et la position de ces lignes est facile à repérer.

D'autre part, sur une feuille de papier buvard imbibé d'un bouillon de culture convenable, on fait une culture d'une moisissure formée de très petits végétaux cryptogames de la famille des mucorinées, qui ne se développent que trop facilement à la surface des confitures mal cuites ou insuffisamment sucrées. Lorsque la culture est bien développée, formant un tapis blanc uniforme, on porte la préparation dans le spectre où, tout à l'heure, on avait placé le papier photographique.. En quelques heures, les minuscules champignons atteints par certaines radiations sont tués et dessinent des lignes noires sur le tapis blanc, montrant l'image du spectre comme sur le papier photographique. La figure 10 donne le résultat obtenu. Il est facile, en rapprochant ce « spectre biologique » de celui qui a été obtenu par photographie, de voir quelles sont les radiations mortelles. On trouve ainsi que ce sont celles dont la longueur d'onde est inférieure à 3 000 A° environ, et ce sont justement celles que l'ozone atmosphérique anéantit ou affaiblit beaucoup.

La même expérience réussit sur des êtres très divers, en particulier sur les microorganismes,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

microbes et bacilles, moins faciles à observer que les moisissures, mais qui se comportent de même. Si l'ozone disparaissait, tout le monde végétal disparaîtrait aussi. A vrai dire, le rayonnement solaire tel que nous le recevons à travers l'atmosphère contient un peu de ces radiations, nuisibles pour les microorganismes, les champignons, etc. Il est bien connu que ces êtres se développent mal au grand soleil, et cela justifie l'aphorisme d'après lequel « le soleil assainit ». De ces radiations, qui assainissent parce qu'elles tuent, il en reste juste assez.

Cette action sur les végétaux intéresse directement l'homme et les animaux supérieurs, qui tirent du monde végétal presque toute leur nourriture. Mais pour ces êtres « supérieurs », la question est plus complexe. Pour l'homme (nous prenons cet exemple parce que c'est le mieux connu et, du point de vue égoïste, le plus intéressant), il y a aussi un groupe de radiations utile et même nécessaire; il s'étend principalement dans l'ultraviolet, et vient rejoindre les radiations mortelles pour les végétaux. La nécessité de certaines radiations pour maintenir l'homme et surtout l'enfant en bonne santé résulte d'expériences vieilles comme l'espèce humaine : les enfants élevés dans des locaux privés de la lumière du jour deviennent rachitiques et ne se développent pas; une cure de soleil ou, à défaut, de lumière artificielle riche en radiations ultraviolettes, les ramène à la santé. Par quel mécanisme? On sait aujourd'hui que cela se rattache à la nécessité, dans l'organisme, de certaines *vitamines*, dans le cas actuel la vitamine antirachitique. Or les vitamines sont des substances nécessaires, à dose, il est vrai, extrêmement faible, mais que l'organisme ne sait pas fabriquer sans aide ; les radiations ultraviolettes sont cette aide nécessaire.

L'homme se trouverait ainsi dans une situation bien délicate si les choses ne s'étaient arrangées d'elles-mêmes par l'intervention du voile d'ozone tendu au-dessus de lui. Le rayonnement émis par le soleil est extrêmement riche en radiations de toutes longueurs d'onde, y compris les ondes ultracourtes de l'extrême ultraviolet. Si toutes ces radiations arrivaient au sol, le monde végétal n'existerait pas; la nourriture de l'homme et des animaux supérieurs serait impossible. C'est ce qui arriverait si l'ozone disparaissait : l'humanité mourrait de faim. Mais si la proportion d'ozone atmosphérique était, par exemple, décuplée (ce qui pourrait arriver par une modification du rayonnement solaire), les radiations nécessaires à la production de la « vitamine D » seraient entièrement absorbées, et la vie humaine serait menacée par le rachitisme. La continuation du miracle de la vie sur la terre est suspendue à la présence de quelques milligrammes d'ozone dans l'atmosphère inaccessible.

Ch. FABRY.

LES A COTÉ DE LA SCIENCE

INVENTIONS, DECOUVERTES ET CURIOSITÉS

par V. RUBOR

Procédés modernes du travail du diamant

INDUSTRIELLEMENT, le diamant est utilisé soit comme abrasif sous forme de poudres (libres ou fixées à la surface de meules), soit comme outil lorsqu'il est taillé de façon à présenter une arête ou une pointe, soit à l'état brut pour couper le verre.

Dans la préparation des poudres de diamant, il importe, notamment pour la fabrication des disques de meules — et surtout s'il s'agit de meulages de précision —, d'obtenir des grains assez homogènes, sans éléments trop fins qui diminueraient la puissance de la meule, ni trop gros, incompatibles avec un poli convenable de la surface meulée.

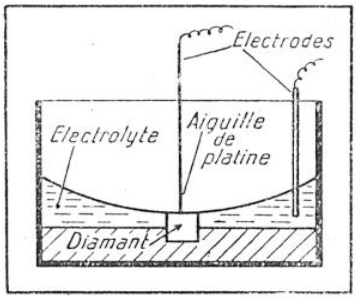
La méthode ordinairement employée consiste à broyer dans un mortier, aussi finement que possible, le « bort », variété de diamant, à structure radiée, qui se rencontre en boules, et que ses défauts rendent impropre aux usages de la bijouterie. La poudre obtenue étant mise en suspension dans de l'huile d'olive, les grains les plus gros se déposent les premiers. En décantant le liquide qui surnage, on obtient, au bout de temps déterminés, une série de dépôts de finesse croissante. Toutefois, d'une part, il est impossible de séparer un dépôt de grains de taille uniforme, car la décantation entraîne toujours une partie du dépôt et, d'autre part, une durée considérable — pouvant atteindre un an — est nécessaire pour la précipitation des particules les plus fines.

Pour rendre plus rapide l'opération et plus nette la séparation des grains de différentes grosseurs, il fallait donc mettre en œuvre un procédé communiquant aux parcelles en suspension une plus grande accélération que celle due à la simple pesanteur. Si, en effet, nous pouvions décupler l'intensité de la pesanteur, le poids des particules serait multiplié par dix. Il en serait de même évidemment du poids du liquide, mais la différence des densités, qui intervient seule pour provoquer le mouvement descendant, serait elle aussi multipliée par dix. La centrifugation permet précisément d'obtenir ce résultat (1). La force centrifuge à laquelle est soumise une masse tournant autour d'un axe est en effet proportionnelle au carré de la vitesse de rotation et au rayon du cercle décrit. Ainsi, dans un tube de 4 cm de diamètre intérieur et tournant à 60 000 tours/mn, la force centrifuge est 80 000 fois plus forte que la pesanteur. Un poids de 0,01 g est donc soumis à une force de 800 grammes !

C'est précisément à la centrifugation que l'on fait ap-

(1) Voir : « La Centrifugation au laboratoire et dans l'industrie », dans *La Science et la Vie*, n° 268 (octobre 1939).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



T W 24365

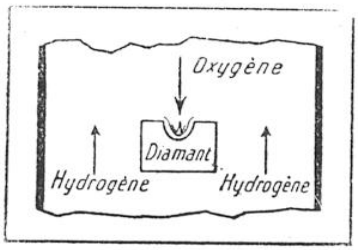
FIG. 1. — SCHÉMA DU DISPOSITIF POUR LE PERÇAGE DU DIAMANT PAR L'ÉTINCELLE ÉLECTRIQUE

pel pour classer les grains de diamant mis en suspension dans un liquide visqueux : huile d'olive ou glycérine. En soumettant cette suspension à une série de centrifugations pendant un temps donné on parvient à la séparer en deux fractions, l'une ne contenant que les grains inférieurs ou égaux à une taille déterminée, l'autre les grains supérieurs ou égaux à cette taille. En répétant ces opérations avec d'autres durées de centrifugation, on arrive à classer les grains de diamant avec une grande précision.

Le gain de temps et de précision par rapport au procédé par dépôt est considérable. Ainsi alors qu'il faut 9 h pour obtenir par dépôt des grains de 1 à 20 millièmes de mm (microns), 20 s de centrifugation suffisent pour séparer les grains compris entre 10 à 20 microns. De plus, ce nouveau procédé a permis d'atteindre des finesses de 0,5 micron en 30 mn, alors qu'en 6 mois le dépôt ne donne que des grains inférieurs à 5 microns, sans pouvoir pousser plus loin la séparation.

Quant au diamant lui-même, on admettait jusqu'ici que, étant le corps le plus dur connu, il ne pouvait être travaillé que par lui-même. Dans ce domaine, de grands progrès sont également à enregistrer grâce à certaines actions physiques et chimiques.

C'est ainsi que des trous peuvent être percés dans le diamant par l'action modérée d'étincelles électriques (1). Le diamant étant placé dans un électrolyte (solution d'acide sulfurique étendu par exemple) le courant électrique est amené par deux électrodes (fig. 1) dont l'une, aiguille de platine iridié, est en contact avec lui par sa pointe. Au fur et à mesure que la tension appliquée augmente, la surface de l'électrolyte se creuse jusqu'à affleurer la surface du diamant. A ce moment, l'étincelle jaillit entre l'aiguille et le diamant et perce un trou dans ce dernier. D'une part, ce procédé réduit de moitié environ la durée de l'opération et, d'autre part, il économise la poudre de diamant. Le sens du courant n'intervenant pas et la méthode étant applicable au corindon ou à la porcelaine, on est fondé à penser que seule l'action mécanique est mise en œuvre.

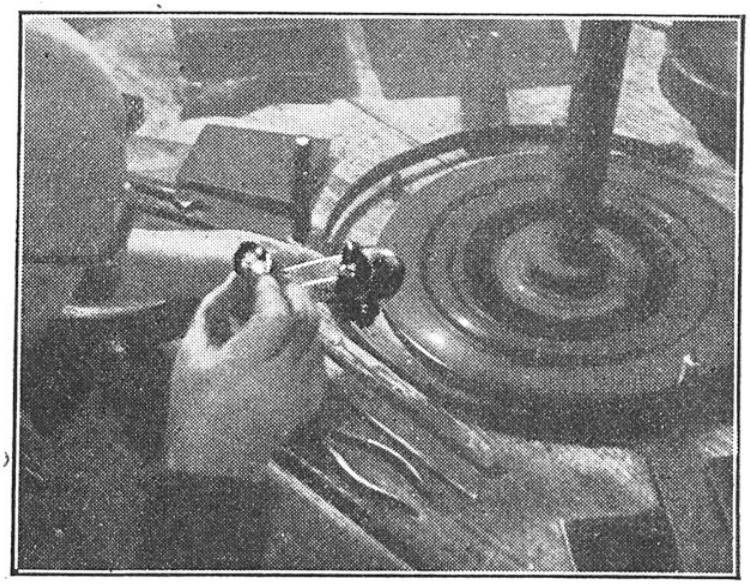


T W 24366

FIG. 2. — PERÇAGE DU DIAMANT PAR COMBUSTION DANS L'OXYGÈNE

Le perçage du diamant a pu être également obtenu par par combustion au point où un jet d'oxygène est projeté sur le cristal, à une température comprise entre 700 et 1 500° C, le reste de la pierre étant protégé contre l'action oxydante de l'oxygène. Cette protection, qui constitue la difficulté du procédé, est obtenue par un courant d'hydrogène. En moins de deux minutes, un entonnoir de 0,8 mm de diamètre a pu être obtenu dans un gros diamant chauffé à 900° par un jet d'oxygène de 0,1 mm à une pression de 50 mm de mercure (fig. 2).

L'étude de ce procédé a d'ailleurs permis d'expliquer en partie le meulage du diamant. En effet, les meules étant portées au rouge par la chaleur dégagée au cours de l'opération, on pouvait penser que la combustion du diamant devait apporter son concours à l'action de la meule. Des expériences faites, il ressort qu'au bout de 10 mn de meulage, aucune usure n'est constatée dans une atmosphère d'azote, alors qu'elle atteint 0,03 mm dans l'air et 0,09 mm dans l'oxygène. En chauffant la meule électriquement, l'usure dans l'air est portée à 0,04 mm. L'usure chimique n'est donc pas étrangère à l'usure mécanique par la meule.



T W 24364

FIG. 3. — LE MEULAGE D'UN DIAMANT.

(1) Afin d'éviter les fissures qui se produiraient dans le diamant autour du trou obtenu par une décharge trop forte comme celle utilisée pour le perçage du verre dur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La construction rapide des navires aux Etats-Unis

DEVANT la menace sous-marine toujours plus grave pour le trafic anglo-saxon dans l'Atlantique, l'Angleterre et les Etats-Unis ont réagi en construisant en grande série un type de navire spécialisé dans la chasse au sous-marin : c'est la corvette, navire de 600 t d'une excellente tenue à la mer et qui dans l'ensemble, ressemble à un chasseur de baleines. La corvette est montée par un équipage de 50 à 60 hommes et file 18 nœuds, son armement offensif est constitué par des mortiers spéciaux lançant des grenades de fond. Son armement défensif est faible : une ou deux pièces de 102 mm qui peuvent être utilisées contre les avions et contre les navires de surface. Aussi la corvette opère-t-elle sous la protection de destroyers ou de croiseurs auxiliaires.

Le principal avantage de la corvette réside dans son prix de revient modique et dans la rapidité de sa construction pour laquelle une méthode très originale a été mise au point (1). Avec le nouveau procédé, on ne peut plus parler, ni de pose de la quille, ni de mise en chantier. Les coques des navires sont montées les unes à côté des autres à la manière de toitures de maison, de telle sorte que la quille se trouve en l'air comme le sommet du toit. En même temps, mais dans un endroit différent, on assemble sur une armature de montage toute la paroi de tôle du navire, et on la munit de toutes ses ouvertures et de ses accessoires. La paroi du navire entièrement terminée est alors enlevée d'une seule pièce, posée sur la charpente de la coque, puis boulonnée sur celle-ci.

Pour faciliter les opérations suivantes, on construit alors autour du navire deux ou trois arceaux transversaux qui peuvent rouler sur des chemins préparés sur le côté et qui permettent d'incliner à volonté le bâtiment à la manière d'un berceau d'enfant. Ce procédé permet d'effectuer, dans la position la plus favorable, tout le travail de soudure des tôles et de choisir les positions les plus favorables pour l'introduction des machines, des moteurs et des cloisons dans la coque. Une fois terminé, le navire, qui bien entendu n'a pas encore reçu ses superstructures et son armement, est mis à l'eau par roulement sur un chemin de madriers, et on le débarrasse des arceaux.

Le nouveau procédé de construction permettrait d'obtenir une grande accélération de la construction des corvettes par rapport aux méthodes classiques; car il peut être mis en œuvre presque partout où on dispose au bord de l'eau d'un espace plat, et il n'est pas lié à la construction de chantiers et de cales. Sa rapidité tient à une division du travail extrêmement poussée. Il ne nécessiterait pas non plus une main-d'œuvre spécialisée dans la construction navale, et on espère pouvoir employer des ouvriers de l'industrie automobile.

(1) V.D.I. vol. 86, n° 27-28.

TARIF DES ABONNEMENTS

FRANCE ET COLONIES

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

ÉTRANGER *(Suisse, Espagne, Portugal)*

Envois simplement affranchis	1 an	150 fr.
Envois recommandés	1 an	200 fr.

Les abonnements sont payables d'avance, 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^te-G.) *Chèques Postaux :* Toulouse 184.05

BULLETIN D'ABONNEMENT (310)

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°* .....

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

enfin je dessine !

Écrit Mme L.G. Élève de l'École MARC SAUREL

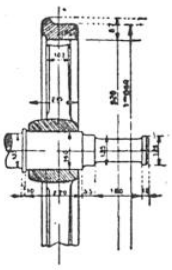
"LE DESSIN FACILE"

Croquis de nu directement au stylo par une jeune élève Mlle S. H.

« Depuis des années je m'amusais à dessiner, Mais je n'arrivais pas à me débarrasser de mes défauts, je restais maladroite et je n'arrivais jamais à un résultat satisfaisant, ne réussissant que de vagues gribouillages. Maintenant je travaille avec votre cours, je fais de très rapides progrès qui étonnent mes parents et mes amis, et enfin je dessine ! »

Très nombreux sont les élèves de Marc SAUREL qui insistent sur la rapidité de leurs progrès. Ceci n'est d'ailleurs pas surprenant, puisque le premier objectif de cet enseignement consiste à faciliter à l'extrême l'étude du dessin. En outre, chaque élève est suivi personnellement par un des professeurs de l'école du « DESSIN FACILE » et les corrections de ses devoirs, autant que les conseils personnels qu'il reçoit à intervalles réguliers lui permettent de se maintenir constamment dans la bonne voie.

Le DESSIN INDUSTRIEL s'apprend par correspondance



Il est souvent difficile de consacrer la totalité de son temps pendant des mois à l'étude du dessin industriel ou de se rendre plusieurs soirs par semaine à des cours souvent fort éloignés. Le nouveau cours de dessin industriel créé par Marc SAUREL, l'animateur de la célèbre école par correspondance « LE DESSIN FACILE » permet à tous ceux qui le désirent de recevoir chez eux à leurs moments de loisir la formation complète exigée de ceux qui veulent entrer dans les bureaux d'études de n'importe quelle industrie. A cet effet, chaque leçon est complétée par un exposé de technologie qui familiarise les élèves avec les professeurs qu'ils rencontreront le plus souvent dans la pratique.

Fidèle à une méthode qui lui a valu un prodigieux succès dans l'enseignement du dessin par correspondance, l'Ecole du « DESSIN FACILE » donne au cours de dessin industriel la valeur d'un véritable enseignement particulier

BON pour une documentation illustrée SV 34 qui vous sera envoyée par retour, contre 3 frs en timbres-poste. Soulignez le genre de dessin qui vous intéresse.

Croquis	Dessin de mode	Dessin industriel
Portrait	Dessin de publicité	Dessin animé
Paysage	Dessin d'illustration	Dessin de lettres

Cours de dessin pour les enfants de 6 à 12 ans

"LE DESSIN FACILE"

11, rue Keppler — Paris-16e

AVIS IMPORTANT

NUMEROS DISPONIBLES

Voici la liste des numéros disponibles *actuellement*. Tous ces numéros sont expédiés franco contre 7 fr. 50 par exemplaire et 15 francs franco pour les numéros 280, 284 et 292.

Les commandes seront servies au fur et à mesure des arrivées.

Nous nous réservons le droit de rembourser celles qui ne pourront pas être exécutées par suite de l'épuisement du stock.

223 - 224 - 225 - 227 - 228 - 230 - 231 - 232 - 241
242 - 243 - 244 - 245 - 246 - 249 - 250 - 251 - 252
253 - 254 - 255 - 256 - 257 - 258 - 276 - 277 - 278
279 - 280 - 281 - 282 - 283 - 284 285 - 286 - 288
289 - 290 - 291 - 292 - 303 - 307 - 308

Les abonnements ne peuvent commencer avant le numéro 307.

A NOS ABONNÉS

Nous recommandons à nos abonnés, lorsqu'ils renouvellent leur abonnement sans utiliser la formule de chèque-postal jointe à la circulaire, de toujours rappeler toutes les références portées sur le talon du mandat que nous leur adressons. Ceci évitera des erreurs et facilitera la tâche de nos services.

Dans la correspondance, il est indispensable de rappeler les références portées sur l'étiquette d'envoi.

LES INVENTIONS MATHEMATIQUES
LAFAY

R. M. Lyon 21.945

brevetées S. G. D. G. et honorées des plus hautes récompenses dans les concours d'inventions, **rendent tout calcul rapide, facile, précis.**

1° **LES HÉLICES A CALCUL**, grâce à leur précision incomparablement supérieure, remplacent très avantageusement les meilleures règles et cercles à calcul. Actuellement seule l'hélice n° 2, à échelles logarithmiques de 2 m 50, est en vente ; son prix est de 300 fr.

En passer command au plus tôt, le stock étant limité et les difficultés actuelles de fabrication très grandes.

2° **LA TABLE DE MULTIPLICATION A TIRETTES**, dont le prix n'est que de 35 fr., permet, à défaut des si pratiques mais si coûteuses machines à calculer modernes, d'obtenir, avec le minimum d'effort, de longues multiplications et divisions rigoureusement exactes.

Les commandes sont à adresser, en se recommandant de *Science et Vie*, à **A. LAFAY**, mathématicien à NEUVILLE-sur-SAONE (Rhône), C. C. postal **Lyon 73-10**.

Contre timbre réponse il enverra des renseignements complémentaires seuls. Contre 10 fr. versés à son C. C. postal, il y joindra de petites tables facilitant déjà bien des calculs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

LE BON D'ÉPARGNE

est émis au porteur et RAPPORTE UN INTÉRÊT DE 3 % dont la moitié est payable à la souscription. Il est exempt de tous impôts présents et futurs touchant les valeurs mobilières et bénéficie des mêmes facilités que le Bon du Trésor.

En outre,

LE BON D'ÉPARGNE

peut être remboursé à toutes époques, sur demande du porteur :

■ *dans certains cas précis (naladie grave, intervention chirurgicale, invalidité, naissance, mariage, décès, acquisition d'un bien rural, sinistre, retour de captivité, etc...)*

d'une manière générale

en cas d'événement imprévu et de caractère exceptionnel entraînant pour le porteur la nécessité de mobiliser tout ou partie des bons qu'il détient.

On souscrit aux BONS D'ÉPARGNE dans toutes les Caisses publiques, les Perceptions, les Bureaux de Poste, à la Banque de France, aux Caisses d'Épargne, dans les Banques, chez les Notaires, etc...

Le Gérant : L. LESTANG. T W 9970 - 25-5-43 Imp. Régionale, Toulouse.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

LA RADIO manque DE SPÉCIALISTES !

RADIO VOLANT

SOUS-INGÉNIEUR

CHEF-MONTEUR

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 radio-télégraphistes **DIPLOMÉS.**

◆

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

MARINE MARCHANDE

INGÉNIEUR

DÉPANNEUR

Demandez nos notices envoyées gratuitement sur demande

ECOLE PROFESSIONNELLE RADIOTECHNIQUE

RUE DU MARECHAL LYAUTEY–VICHY–(ALLIER)

Adresse de repli

Publicité R. DOMÉNACH M.C.S.P.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires