

Local émission de la base d'essai des projecteurs
de Bonneuil-sur-Marne

— on a pu dégager un ensemble de règles permettant de calculer les amers de jour en tenant compte, en particulier, de l'influence des formes et de la couleur des amers,

— des recherches approfondies ont été faites sur la mesure des couleurs de surface en signalisation. Le laboratoire André Blondel est équipé d'un spectrophotomètre associé à un petit calculateur grâce auquel la mesure des coordonnées trichromatiques est devenue une opération courante.

Les études sur l'influence de la brume ont enfin abouti à la réalisation de deux types de détecteurs de brume dont l'emploi se généralise progressivement.

Local réception

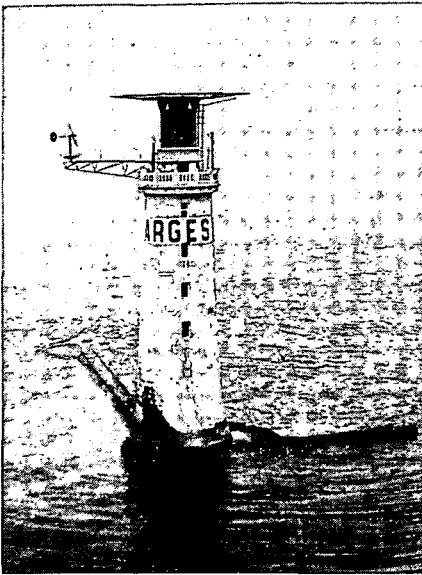


ACTIVITÉS DE RECHERCHE DU SERVICE TECHNIQUE DES PHARES ET BALISES

La très ancienne idée d'utiliser l'énergie du vent est particulièrement séduisante en signalisation maritime. Les sites des établissements sont le plus souvent isolés. A de rares exceptions près, ils sont très ventés, tout au moins sur nos côtes.

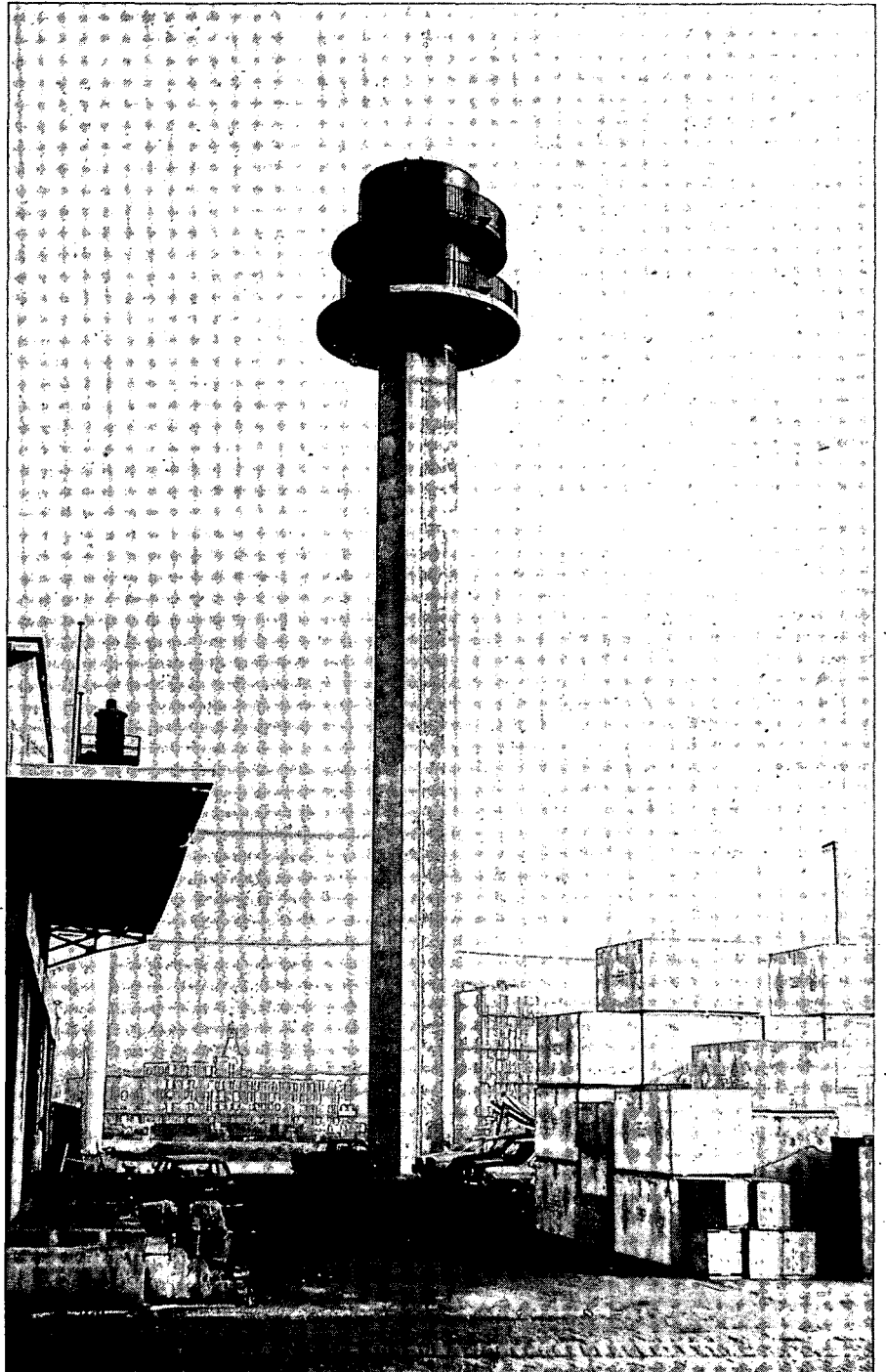
Les recherches entreprises par le Service Technique des Phares et Balises ont abouti au développement d'aérogénérateurs constituant la source principale de l'énergie d'alimentation d'établissements de signalisation maritime.

On a réalisé, au moyen d'aérogénérateurs et d'une source d'énergie auxiliaire constituée par des piles chimiques, des installations complètement automatiques. Les photographies ci-contre représentent deux installations de ce type qui fonctionnent sans aucune sur-



Phare des Barges

Phare de Chauveau



Le Havre — Alignement visible de jour pour les grands navires

veillance, l'une est en service au phare des Barges, l'autre au phare de Chauveau.

La mesure des paramètres de la houle est, d'autre part, l'un des sujets qui préoccupent le plus l'Ingénieur chargé des travaux maritimes. Les recherches faites par le Service Technique des Phares et Balises dans ce domaine se poursuivent dans deux directions : la mise au point de dispositif d'enregistrements automatiques donnés. Les stations de mesure récemment réalisées et mises en service comprennent trois éléments : un capteur (bouée équipée d'un accéléromètre et d'un double intégrateur), une ligne de transmission des données sous forme analogique (transmission en modulation de fréquence sur une fréquence voisine de 27 MHz) et un numériseur transformant les données sous forme analogiques en données sous forme numériques, enregistrées sur bandes magnétiques : l'étude du traitement numéri-

que des données et notamment celle des méthodes d'analyse spectrale les mieux adaptées.

Dans une ligne d'idées voisine de la précédente, des recherches ont été entreprises en vue d'automatiser le traitement des données obtenues lors des campagnes de sondages. La mise au point du programme de calcul automatique, la recherche du hardware correspondant sont actuellement en cours.

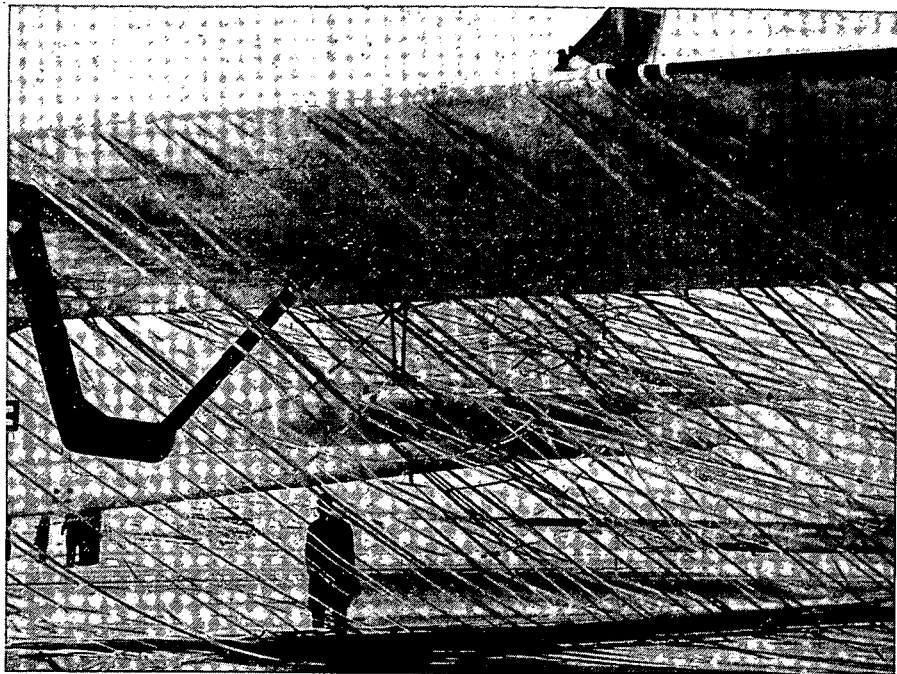
Signalons pour terminer que les possibilités offertes par l'apparition d'alliages légers très peu corrodables ainsi que par celles des matières plastiques ouvrent des perspectives extrêmement intéressantes à la construction des bouées. Il faut donc rechercher des formes nouvelles de bouées. Simultanément des efforts sont entrepris dans le monde en vue de remplacer les bateaux-feux par des structures flottantes fonctionnant automatiquement.

Le Service Technique des Phares et Balises s'est donc trouvé dans la nécessité d'entreprendre des recherches sur le comportement dynamique des systèmes flottants maintenus en place par des ancres funiculaires. Il a fallu formuler puis résoudre les équations des mouvements de systèmes assez complexes pour justifier la mise au point, en collaboration avec le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées de méthodes d'analyses numériques suffisamment puissantes. Les résultats obtenus sont susceptibles d'applications intéressantes aux problèmes que pose la tenue à la mer des bouées océanographiques nouvelles par grande profondeur, ou encore celle des appontements flottants.

J. PRUNIÉRAS

*Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées
Chef du Service technique
des Phares et Balise*

BARRIÈRE D'ARRÊT CIVILE



Maillage aile B 52 par filet nylon

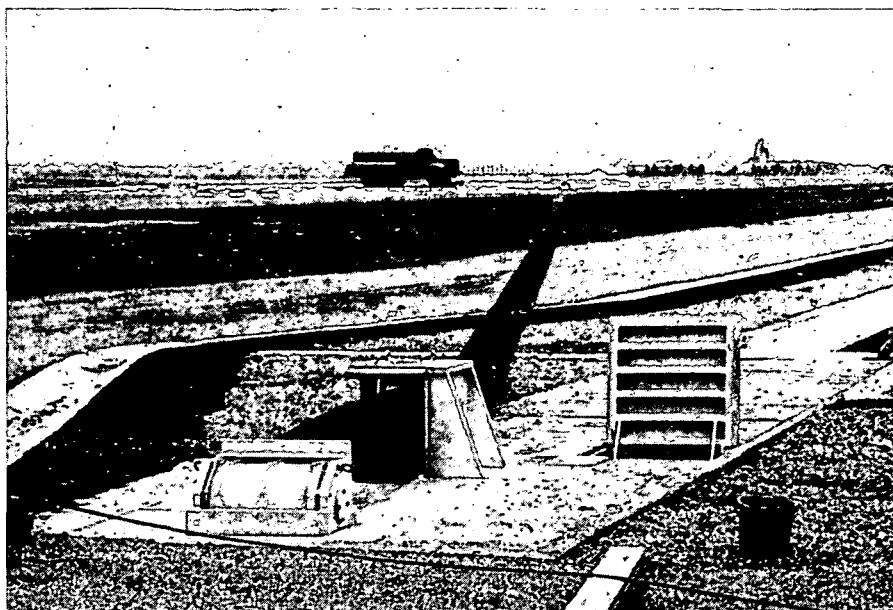


Frein Hispano, barrière TSS, Concorde Toulouse.

Le développement de l'aviation à réaction a entraîné, depuis une quinzaine d'années une recherche sur les systèmes capables d'arrêter ces appareils, dans des conditions sans cesse plus exigeantes d'énergie absorbée (masse et vitesse d'impact) de bonne répartition des efforts sur la cellule de l'avion (de façon à éviter sur celui-ci des déformations irréversibles), voire de confort pour les occupants de celui-ci (décélération acceptable et aussi constante que possible).

La barrière d'arrêt française mise au point à la suite des renseignements tirés des barrières militaires et expérimentée à Toulouse en 1968, permet d'atteindre ces objectifs. Sa conception est la suivante :

— séparation des organes de capture et de freinage. L'organe de capture est constitué par un filet de nylon. Des sangles verticales per-



Bande de frein Hispano.

Les perspectives de développement du système sont les suivantes :

— le problème du déclenchement de la barrière est primordial. Ce déclenchement est actuellement télécommandé depuis la vigie. Il est préférable qu'il soit commandé par le pilote de l'appareil. Des études sont actuellement entreprises dans ce sens ;

— la capacité du filet et des freins à absorber des énergies cinétiques toujours plus élevées (Boeing 747, Concorde) est également à l'étude ;

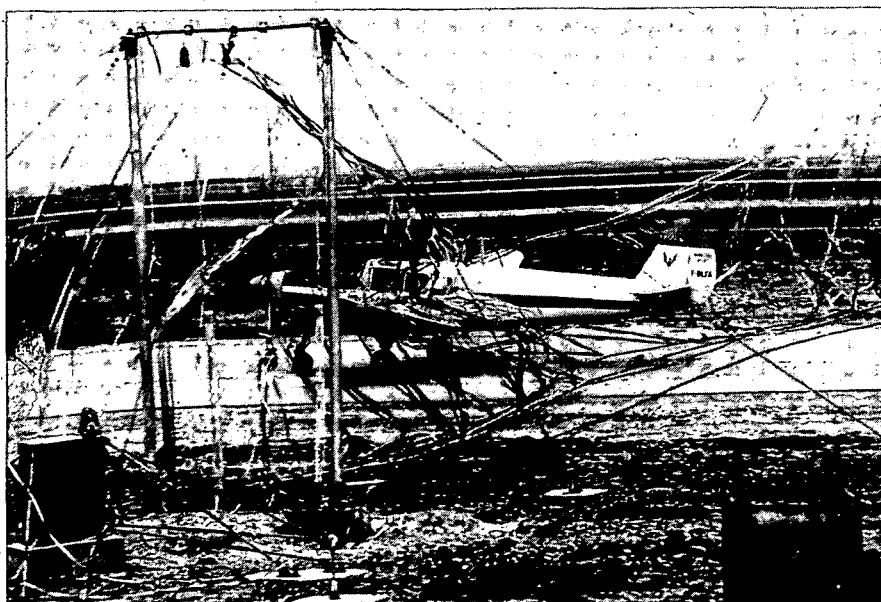
— le temps d'érection du filet qui est actuellement de 1,8 seconde devra être amélioré — notamment si on en envisage l'utilisation sur plateforme A.D.A.C. (1) ;

(1) Avion à décollage et atterrissage court.

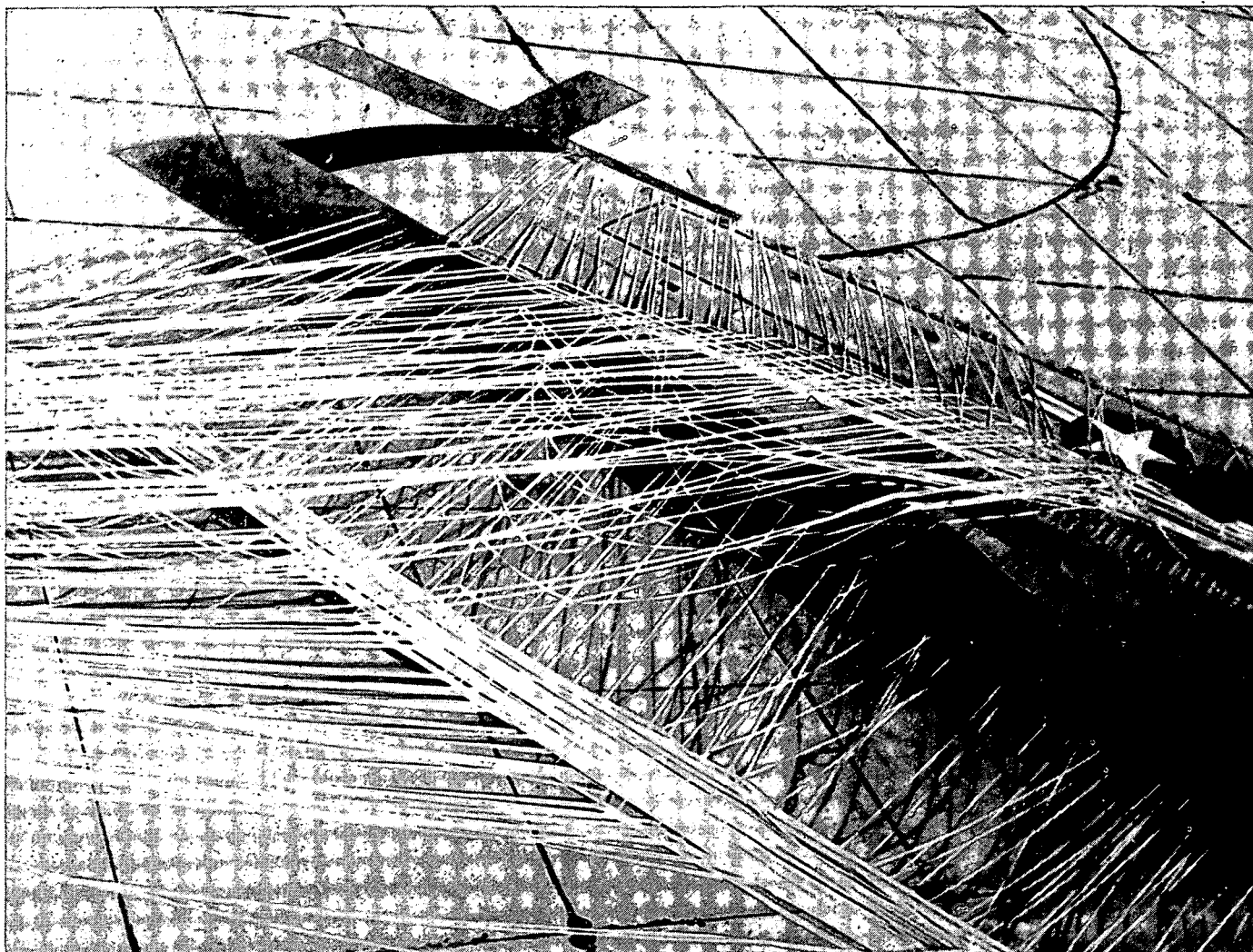
mettent d'envelopper les ailes et d'éviter ainsi des efforts ponctuels trop élevés, et transmettent les forces de traction à des sangles horizontales, elles-mêmes reliées au système de freinage par l'intermédiaire d'une bande de nylon recouverte de caoutchouc. L'érection du filet est accélérée par la poussée verticale de boudins de caoutchouc catapultés de leur logement lors du déclenchement du système d'arrêt ;

— les deux bandes transmettent la force de traction au massif d'ancrage où elles sont freinées par frottement entre deux rangées de patins métalliques ;

— le frein est lui-même asservi à la vitesse de déroulement de la bande, ce qui permet d'obtenir une décélération constante et donc la vitesse d'arrêt minimum avec un confort admissible pour les passagers de l'appareil.



Arrêt d'avion à hélice dans un filet barrière « Altiport ».



Maillage aile B-52 par filet nylon.

— le problème de la répartition des efforts des sangles sur la cellule devra être revu de plus près si on envisage une utilisation plus systématique de la barrière d'arrêt civile ;

— la possibilité d'adapter le filet à des appareils à hélices (en fractionnant le filet dans le sens de la

profondeur) a été également expérimentée et pourra être opérationnelle à moyen terme, sur les altiports.

Enfin il faut signaler que les progrès techniques de la barrière d'arrêt seront étroitement tributaires des positions qui seront prises par les autorités internationales

(O.A.C.I. notamment) sur les procédures d'utilisation et les modalités d'implantation, (responsabilité de son déclenchement, longueur de piste modifiée ou non, etc.).

P. MARTY.

*Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées
Directeur du Service technique
des Bases aériennes*

5. AUTRES PROGRAMMES

LA FORMATION A LA RECHERCHE A L'ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES

Aux termes de son Décret Organique, l'École Nationale des Ponts et Chaussées « contribue à la diffusion des connaissances... utiles notamment en matière de Génie Civil, de Construction, d'Énergie d'Hydraulique, de Transports et d'Urbanisme, et **concourt à la recherche** dans ces mêmes domaines ».

Il est souhaitable que les futurs ingénieurs reçoivent, dès leur passage à l'École, une initiation à la recherche orientée ou appliquée — voire même, dans certains cas particuliers, à la recherche fondamentale.

En effet, l'une des caractéristiques communes aux enseignements supérieurs, réside précisément dans ce souci d'assurer en permanence une liaison avec les activités de recherche — soit que les étudiants y prennent part, soit qu'ils en suivent le développement.

Il s'agit là, pour le jeune ingénieur parvenu à la fin de ses études scolaires, d'une précieuse occasion de formation complémentaire dans la mesure où celle-ci lui permet de développer ses qualités de créativité.

Jusqu'à ces dernières années, la préparation à la recherche n'était que rarement considérée comme possible avant l'obtention du diplôme d'ingénieur.

Or, une profonde mutation se manifeste actuellement, à cet égard, dans diverses Grandes Écoles d'Ingénieurs.

Du fait de l'accélération du progrès technique, il est devenu vain et illusoire de chercher à inculquer aux futurs ingénieurs des recettes valables pour la vie entière : il faut, au contraire, s'attacher à distinguer dans les programmes d'enseignement les « données à vie longue » et les « données à vie courte », ces dernières pouvant être, par la suite, actualisées par le biais du perfectionnement continu des connaissances.

A l'École Nationale des Ponts et Chaussées, on a conçu un enseignement scolaire permettant de dispenser l'essentiel de la formation de l'ingénieur en une quinzaine de mois seulement; la plus grande partie de la « troisième année » d'École peut dès lors être consacrée à des activités d'Options d'approfondissement, très diversifiées, jouant le rôle de transition entre l'École et la vie professionnelle.

Dans le cadre de telles options — et pour ceux, parmi les élèves qui s'y sentent portés — la préparation à la recherche peut désormais s'effectuer dès l'École, grâce à la participation des élèves de 3^e Année aux actions de recherche entreprises dans les Laboratoires ou grands

Services Techniques d'Études « associés » à l'École.

Le recours à de tels établissements « associés » s'offre tout naturellement à l'École Nationale des Ponts et Chaussées, tant par réalisme que dans un souci d'économie, étant donné l'environnement fonctionnel exceptionnel que constituent pour elle les grands services techniques du Ministère de l'Équipement et du Logement et du Ministère des Transports : Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Service d'Études des Routes et Autoroutes, Centres d'Études Techniques de l'Équipement, Service des Affaires Économiques et Internationales, Institut de Recherches des Transports, etc.

Quant à l'École elle-même — qui d'ailleurs puise la plupart de ses professeurs et assistants au sein de ces grands organismes spécialisés — sa vocation essentielle est d'être un établissement d'enseignement; cependant, dans bien des domaines, ses équipes d'Enseignants s'y livrent, en fait, à des activités de recherche : mise au point de méthodes nouvelles de calcul, ou élaboration de nouveaux instruments pédagogiques par exemple.

Ajoutons que, bien entendu, l'École ne se cantonne pas aux seules structures administratives de son Ministère de tutelle : d'ores et déjà, elle envoie également ses élèves dans

des établissements tels que le Centre de Recherches et d'Essais d'Électricité de France à Chatou, les Centres de recherches de l'École Nationale Supérieure des Mines de Paris, ou certains laboratoires dépendant d'organismes professionnels.

Tel est donc le nouveau schéma retenu par les Conseils de l'École lors de la Réforme introduite en 1968. Un tel infléchissement de la politique de formation scolaire des ingénieurs était inéluctable; dans le climat de concurrence intellectuelle que nous connaissons aujourd'hui, l'École devait rechercher les moyens propres à instaurer chez ses élèves un état d'esprit porté vers la novation continue.

Mais son action s'est également développée dans le domaine de la formation post-scolaire. Il faut, en effet, que les ingénieurs qui en manifestent le désir, aient la possibilité, dès leur sortie de l'École, de poursuivre dans la voie de la recherche orientée ou appliquée en préparant un Doctorat.

Au cours de ces dernières années, grâce à l'appui du Ministère des Affaires Étrangères, de nombreux jeunes diplômés de l'École — fonctionnaires du Corps et Ingénieurs Civils — se sont rendus dans de grandes Universités étrangères pour y recevoir la formation complémen-

taire à la recherche qu'ils souhaitent acquérir.

Par ailleurs, depuis 1971, et dans le cadre du VI^e Plan, un système de Bourses de Recherches a été mis en place par l'École Nationale des Ponts et Chaussées en liaison avec la Mission de la Recherche du Ministère de l'Équipement et du Logement et la D.G.R.S.T., en vue de permettre aux jeunes ingénieurs civils de recevoir cette même formation en France, au sein des Laboratoires et Instituts « associés » à l'École.

Nous nous proposons de donner ci-après quelques brèves indications sur ces diverses réalisations.

FORMATION POST-SCOLAIRE A LA RECHERCHE DANS LES UNIVERSITÉS ÉTRANGÈRES

Depuis 1965, 62 Ingénieurs diplômés de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, dont 22 fonctionnaires du Corps et 40 Ingénieurs Civils — ont poursuivi leur formation dans une Université étrangère dès leur sortie de l'École ou dans les deux ans qui ont suivi leur entrée dans la vie professionnelle.

Une soixantaine d'entre eux ont bénéficié, la première année tout au moins, d'une bourse d'études, qui leur a été accordée, soit par le Ministère des Affaires Étrangères (pour 48 ingénieurs), soit par d'autres Organismes (Union Routière Internationale, Fédération Nationale du Bâtiment, Fédération Nationale des Travaux Publics, Institut de Recherche en Informatique et Automatique, Fondation Sachs, Fondation Harkness).

Les pays d'accueil de ces stagiaires ont été les suivants :

Pays et Universités ou Instituts d'accueil	Nombre d'ingénieurs	
	Fonctionnaires	Civils
U.S.A. (Universités d'Atlanta, Berkeley, Chicago, Harvard, M.I.T., Pensylvanie, Princeton Stanford, Wharton School).....	19	35
U.R.S.S. Institut d'Ingénieurs de la construction à Moscou	3	2
ITALIE École Polytechnique de Milan.....		1
ALLEMAGNE T.U. de Stuttgart.....		1
CANADA Université Laval.....		1

Au cours de cette même période, sept promotions se sont succédé à l'École, réunissant 254 Ingénieurs du Corps et 593 Ingénieurs Civils (Français et étrangers).

Les stagiaires ont en général été admis dans des départements d'aménagement régional et urbain, de génie civil, de mécanique appliquée, de mécanique des sols, d'économie,

de transports, ou de géologie; cependant, quelques ingénieurs ont étudié les mathématiques, ou les disciplines du management.

De l'examen des statistiques portant sur 22 ingénieurs diplômés ayant effectué un stage aux U.S.A. entre 1965 et 1969, il résulte que

sept d'entre eux sont revenus en France avec le grade de Docteur (« Ph-D »), et douze avec le titre de « Master of Sciences ».

BOURSES DE RECHERCHE DE L'ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES

Depuis 1971, des Bourses de recherche sont attribuées par l'École Nationale des Ponts et Chaussées à de jeunes Ingénieurs Civils diplômés de l'École, ou d'autres Écoles de niveau comparable, en vue de leur permettre de préparer, au sein de tel ou tel Laboratoire ou Institut de Recherches « associé » à l'École, une thèse de Doctorat de 3^e cycle ou une thèse de Docteur-Ingénieur.

Ces bourses sont annuelles; elles peuvent être renouvelées; la durée moyenne de préparation d'une thèse est fixée à trente mois. Le taux des Bourses est déterminé par correspondance avec la situation des stagiaires de recherche du C.N.R.S., au niveau équivalent.

La sélection des Boursiers est assurée par le Conseil d'Enseignement et de Recherche de l'École, compte tenu des titres du candidat, de la consistance du thème de recherche qu'il propose, et de l'avis du Directeur du Laboratoire présent.

Chaque décision d'octroi de Bourse s'accompagne de la passation avec l'organisme d'accueil d'un contrat permettant le remboursement par l'État du coût des prestations de toutes natures entraînées par l'exécution du programme de recherches du Boursier.

Dix Boursiers de recherche ont été désignés au 1^{er} octobre 1971; trois d'entre eux ont été accueillis par le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées un par l'Institut de Recherche des Transports, un par le Laboratoire National d'Hydraulique

de Chatou, un par le Laboratoire de Mécanique des Fluides, des Solides et des Sols de l'Université de Grenoble, un par le Centre de Recherche de Géologie de l'Ingénieur de l'E.N.S. des Mines de Paris, deux par le Centre Expérimental du Bâtiment et des Travaux Publics, et un par le Bureau d'Études Techniques pour l'Urbanisme et l'Équipement.

L'objectif imparti à l'École dans le cadre du VI^e Plan, est de former désormais à la recherche un nombre de Boursiers correspondant, chaque année à 15 % de l'effectif des Ingénieurs Civils des Ponts et Chaussées de la promotion sortante — soit, pour 110 Ingénieurs, 16 Boursiers. Compte tenu des impératifs budgétaires, ce résultat ne sera obtenu que progressivement en plusieurs années.

Parallèlement, certaines possibilités sont offertes aux Ingénieurs du Corps des Ponts et Chaussées qui désireraient, dès leur entrée à l'École Nationale des Ponts et Chaussées, préparer un Doctorat d'État : en accord avec la Direction du Personnel et de l'Organisation des Services, des dispositions ont été prises dans ce sens depuis plusieurs années : un ou deux Ingénieurs-Élèves en ont bénéficié, ou en bénéficient actuellement chaque année; ces derniers reçoivent, à leur sortie de l'École, des affectations leur permettant de poursuivre la préparation de leur thèse.

Pour un Ingénieur, la thèse ne constitue pas un diplôme profes-

sionnel supplémentaire : elle n'est que le signe d'une formation par la recherche. Le Docteur est, avant tout, un Ingénieur qui a « fait une œuvre originale à la fin de ses études ».

Certes, la voie de la Recherche est semée d'embûches : les jeunes Ingénieurs qui s'y engagent doivent consentir un sacrifice financier important; les études sont longues et leur issue incertaine; le choix du thème de recherche est, lui-même, embarrassant.

De plus, la Recherche ne doit pas devenir un moyen commode d'évasion du jeune diplômé Ingénieur, face aux réalités et aux responsabilités de la vie active...

De son côté, l'École doit résoudre des problèmes de financement particulièrement délicats en période de croissance; il faut, en outre, qu'elle veille à ce que ses Boursiers soient orientés, dans les Organismes d'accueil, vers des équipes d'encadrement capables d'assurer les tâches de formation que l'on attend d'elles.

Malgré toutes ces difficultés, la voie de la formation post-scolaire à la recherche doit rester largement ouverte aux jeunes Ingénieurs : les indications qui précèdent montrent quels moyens l'École Nationale des Ponts et Chaussées a, jusqu'à présent, mis en œuvre pour y parvenir. Ajoutons que de telles actions constituent l'un des moyens les plus efficaces pour assurer les liaisons indispensables que toute École d'Ingénieurs doit entretenir avec l'Industrie.

LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE A L'I.G.N.

La vocation de l'Institut Géographique National à étudier et à décrire la forme de la Terre et les divers aspects de sa surface, puis à distribuer cette information à caractère géographique, l'engage à poursuivre un certain nombre de recherches, compte tenu des nouvelles techniques apparues et surtout des nouveaux besoins nationaux qui requièrent son intervention.

Au cours du VI^e Plan, les programmes de recherche sont orientés vers quatre directions principales dont seule la première correspond à des buts proprement scientifiques, les trois autres relevant plutôt de la recherche appliquée :

— géodésie (étude de la forme de la Terre),

— automatisation de la cartographie et traitement de l'information (géomatique),

— télédétection (étude qualitative de la surface terrestre et de son environnement au moyen de détecteurs aéroportés — ou portés par des satellites),

— applications spéciales de la photogrammétrie.

GÉODÉSIE

Les options scientifiques de la Géodésie pour l'avenir peuvent être considérées sous deux points de vue, terrestre et spatial, les activités correspondantes étant menées de front par l'I.G.N. depuis 1965.

En Géodésie terrestre, les recherches sont actuellement tournées vers le nivellement de haute précision et la détermination astro-géodésique du géoïde en France. Ces deux séries d'opérations, complétées ultérieurement par des études de gravimétrie, doivent permettre de préciser notre connaissance de la forme de la Terre et de l'évolution dynamique actuelle de l'écorce terrestre.

— **Les mouvements récents de l'écorce terrestre en France, dans les Départements et Territoires d'Outre-Mer, et à l'étranger**

Ainsi, des mesures de nivellement de très haute précision, effectuées à travers des failles très récentes, et répétées au cours des années, doi-

vent permettre de suivre les mouvements rapides contemporains de l'écorce. Des travaux ont été entrepris en 1971 en collaboration avec des géologues et des géophysiciens de Clermont-Ferrand, et dans la plaine d'Alsace en liaison avec l'Université de Karlsruhe. Les mouvements étant généralement très lents, seul un archivage régulier de mesures annuelles permettra de parvenir à des conclusions spectaculaires.

Des opérations de nivellement analogues sont envisagées également au voisinage du Golfe de Tadjoura (Djibouti), ainsi que dans le bassin de la Méditerranée occidentale (région de la Cordillère Bétique), afin de déceler et d'étudier d'éventuels mouvements de l'écorce terrestre dans ces régions.

— **Les niveaux relatifs de l'Atlantique et de la Méditerranée**

Une autre opération de nivellement, la jonction du marégraphe de

Marseille à celui de Saint-Jean-de-Luz et à celui de La Palice, est envisagée dans les prochaines années. La compensation du nouveau réseau de nivellement de premier ordre (1969) vient en effet de montrer que, en contradiction avec l'ancien Nivellement Général de la France, il existe une forte probabilité pour que le niveau moyen de l'Océan, de la Manche et de la Mer du Nord soit plus élevé que celui de la Méditerranée. Cette probabilité, également prévue par les océanographes, se transformera en certitude lorsqu'aura été faite, avec une extrême précision, la jonction entre les trois marégraphe.

— **La forme du géoïde en France et la déviation de la verticale**

On sait que le géoïde, surface de niveau d'altitude zéro, coïncide pratiquement avec le niveau moyen des mers, mais sa détermination au-dessous (rarement au-dessus) des

terres émergées est beaucoup moins évidente. Un programme d'observations astronomiques en France, a permis de commencer à définir sa forme, en mesurant la « déviation de la verticale », c'est-à-dire l'angle du plan tangent à l'ellipsoïde utilisé en géodésie, et du plan au géoïde. La connaissance de ce dernier est nécessaire, entre autres, pour calculer les positions des stations de triangulation spatiale dans les jonctions par satellite, pour caler les centralés à inertie, et pour raccorder entre elles les triangulations nationales.

— Le champ de la pesanteur et ses anomalies

Les recherches théoriques portent sur la représentation du potentiel dans l'espace, sur la recherche de la position du centre des masses terrestres, et également sur l'étude de la forme du géoïde obtenue par intégration des anomalies de la pesanteur.

Les recherches pratiques s'orientent vers la détermination du réseau gravimétrique français de deuxième ordre. Ce réseau, actuellement composé de mesures pendulaires relatives, a fait jadis l'objet d'un rattachement, aujourd'hui périmé, à la valeur conventionnelle de Potsdam (1906). La construction d'un nouveau gravimètre absolu et transportable, devrait permettre de remplacer l'ancien réseau relatif par un réseau absolu, dont les valeurs seraient cohérentes avec celles que fournissent les satellites artificiels. L'intérêt de ce réseau sera de servir de témoin absolu pour les variations de la pesanteur au cours des années, sur les phénomènes de convection interne du globe et sur la variation de la constante G de la gravitation universelle.

— L'essor de la géodésie spatiale : photographies sur fond d'étoiles de satellites brillants, télémétrie laser, mesures d'effet Doppler.

Il faut souligner ici l'essor brillant pris par la géodésie spatiale au cours des dernières années, ainsi que l'ampleur des programmes français réalisés pendant le V^e Plan. Il faut également rappeler le caractère collectif de ces résultats, acquis par l'ensemble des organismes français concernés, au rang desquels se place l'I.G.N., et qui ont valu à la France une notoriété internationale de tout premier plan.

A la fin du IV^e Plan, l'I.G.N. avait maîtrisé, avec l'aide financière du Centre national d'études spatiales, les techniques de la géodésie spatiale utilisant la photographie sur fond d'étoiles de satellites brillants (Echo-Pageos). En 1965, cette technique permettait le rattachement au continent européen de l'Archipel des Açores pour le Centre d'essai des Landes, avec une précision de l'ordre de 1/150 000 (soit 20 m environ).

Au cours du V^e Plan, le programme français a permis d'expérimenter des techniques plus évoluées telles que la télémétrie laser, la mesure d'effets Doppler et la photographie d'échos laser au cours des programmes DI (centrés sur trois satellites français Diapason et Diadème I et II) et de la Recherche coopérative sur programme n° 133 (R.C.P. 133).

En 1966, a eu lieu la campagne Diapason qui a permis le rattachement de Beyrouth à Nice, en 1967 la campagne Diadème qui a permis l'expérimentation des méthodes Doppler et laser sur un triangle méditerranéen avec comme participants le C.N.E.S., le C.N.R.S., le Bureau des Longitudes, l'Observatoire de Paris-Meudon, le Smithsonian Astrophysical Observatory, le Geodetic Satellite Data Center du Goddard Space Flight Center. Enfin, en 1968 et 1969 a été entreprise la campagne

dite « R.C.P. 133 » qui a permis la liaison Afrique centrale-Europe dite Eurafrique 1968 avec les mêmes participants et l'I.G.N.

Ces travaux ont montré que l'on était capable d'obtenir, avec les différents procédés utilisés, des positions à mieux que 10 m près.

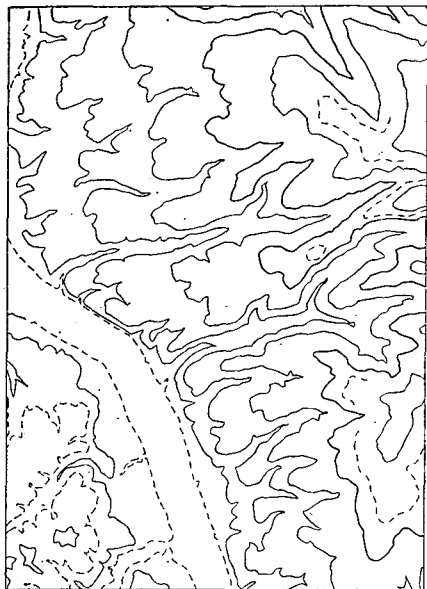
Au cours du VI^e Plan, la conjoncture est marquée par la création, début 1971, d'un Groupe de Recherches en Géodésie Spatiale (G.R.G.S.), réunissant les géodésiens du Bureau des Longitudes, du Centre National d'Études Spatiales, de l'I.G.N. et de l'Observatoire de Paris, sous la direction conjointe d'un comité directeur.

Cette création rend organique la concertation déjà largement amorcée pendant le V^e Plan, des efforts français en géodésie spatiale. Le G.R.G.S. constitue donc, dans les opérations internationales, un interlocuteur français unique, doté d'un potentiel considérable, puisqu'il bénéficie des moyens de quatre établissements scientifiques.

Les recherches prévues concernent la mesure précise d'arcs très longs par combinaison d'observations laser et photographiques (liaison Europe-Afrique-Amérique, arc Natal-Riga, arc Arctique-Antarctique) ultérieurement la construction de réseaux denses sur la Terre par le système Geole par exemple, l'étude de la haute atmosphère pour améliorer la connaissance du mouvement des satellites, l'étude des marées terrestres, du potentiel de la pesanteur, etc. Corrélativement seront lancés de nouveaux satellites (micro accéléromètre français, Cannon Ball, ATS-F) et sera construit, en 1973, un laser-satellite de seconde génération. Pour l'étude de la lune, enfin sont prévus l'acquisition de données télémétriques à l'aide du laser-lune, et le développement d'une théorie analytique du mouvement lunaire.

AUTOMATISATION DE LA CARTOGRAPHIE ET TRAITEMENT DE L'INFORMATION (GÉOMATIQUE)

*Cartographie numérique : essais réalisés à l'I.G.N.
sur la région de Charlieu (Massif central) échelle 1/100 000*



*Courbes de niveau numérisées
et tracées automatiquement sur traceur.
Coragraph (Contraves).*



*Carte hypsométrique calculée à partir
des courbes de niveau numérisées et
obtenue sur imprimante d'ordinateur
IBM 360/25*



*Carte de pente dérivée du modèle
numérique du terrain
et obtenue sur imprimante.*



*Estompage automatique expérimental
obtenu sur imprimante.*

L'apparition de la cartographie automatique répond au triple besoin d'accélérer la production des cartes topographiques, d'utiliser les ressources de l'informatique, et de produire de nouveaux documents cartographiques, répondant à de nouvelles nécessités. C'est ainsi qu'on a vu s'amorcer à l'I.G.N., au cours du V^e Plan, deux types de recherches : l'une conduisant à l'établissement d'une cartographie numérique, l'autre à la production automatisée des orthophotocartes.

— L'établissement d'une cartographie numérique

On sait que la cartographie classique est inadaptée à l'informatique et que l'utilisation des ordinateurs suppose la « numérisation » préalable de l'information figurant sur la carte. La création d'une cartographie numérique, parallèlement à la cartographie classique répond donc au besoin de mettre l'ordinateur au service du cartographe, et de disposer par conséquent des avantages suivants.

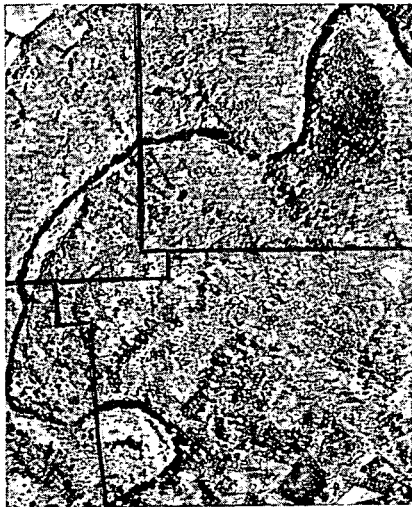
Le stockage de l'information géographique sous une forme synthétique, extrêmement condensée lorsqu'il s'agit de disques ou de bandes magnétiques, autorise une mise à jour plus rapide qu'auparavant, puisqu'il ne s'agit en somme que d'une gestion de fichiers classique, à condition bien entendu que l'on dispose des matériels ad hoc. Ce stockage permet, en outre d'archiver une quantité d'informations illimitée (du moins en théorie), — ce qui n'est pas le cas de la forme graphique — et d'y avoir accès d'une manière extrêmement rapide et sélective, pourvu que l'on dispose d'un des nombreux systèmes d'interrogation que les constructeurs d'ordinateur mettent à la disposition des usagers. De tels fichiers, complétés et tenus à jour, conduisent à accélérer la rédaction des cartes, en fai-



Vallée de l'Auvézère,
feuille de Juillac (Limousin).

Clichés I.G.N. — Échelle 1/10 000.
Dénivelées 100 m.

Assemblage de deux photographies
aériennes voisines découpées de manière
à coïncider sur les plateaux (coins en
haut à gauche, au milieu à droite, et
en bas à droite) et montrant les défor-
mations dans le fond de la vallée
(plusieurs millimètres).



Vallée de l'Auvézère
(même région que ci-dessus).

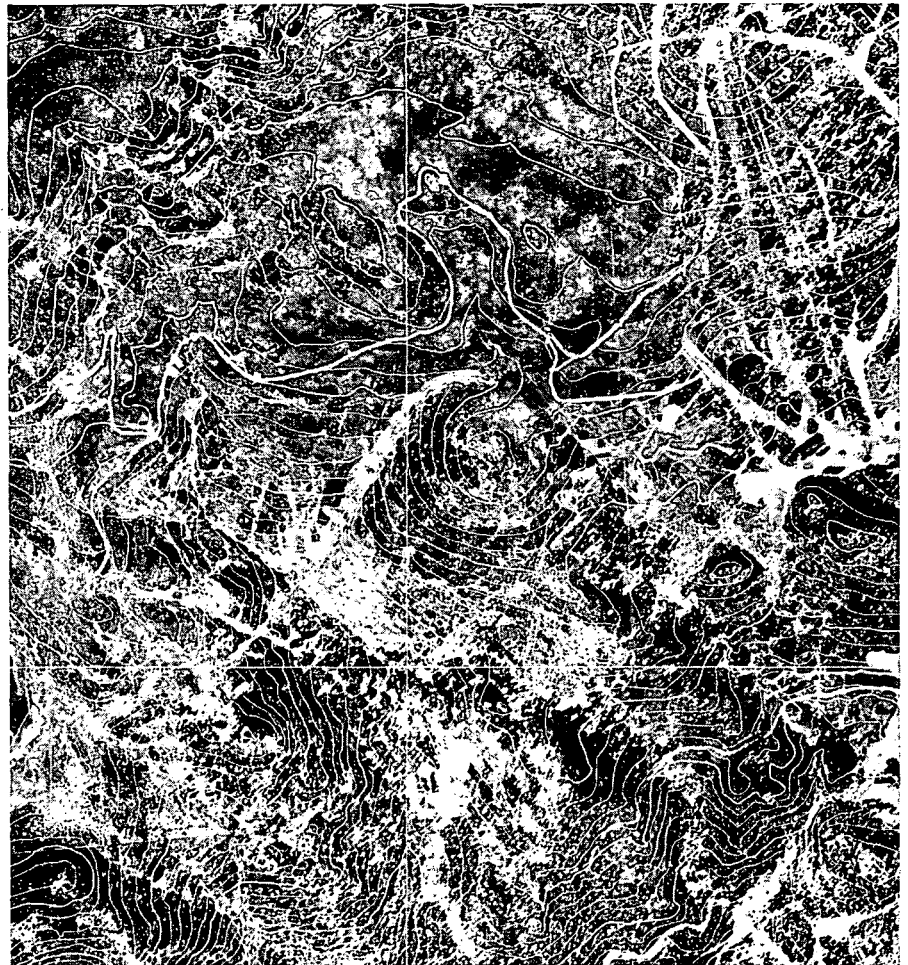
Clichés aériens et orthophoto I.G.N.
(Stéréomat) — Échelle 1/10 000.

Assemblage correct
de quatre orthophotos voisines.

sant exécuter par un traceur auto-
matique la part la plus lourde du
dessin, tout en bénéficiant des per-
formances du traitement en ordi-
nateur : sélection des détails en
fonction du thème représenté, choix
illimité de symboles, études de corré-
lation, de statistiques, etc. On voit
alors apparaître l'avantage majeur
de l'automatisation, considérée d'un
point de vue plus scientifique, qui
est la possibilité de produire des

documents nouveaux, tant par leur
présentation que par leur contenu,
et qu'on n'obtenait jusqu'à présent
qu'au prix de difficultés très grandes
si tant est qu'on ait seulement songé
à les établir.

Les recherches entreprises par
l'I.G.N. en vue de parvenir, à long
terme, à la constitution de cette fu-
ture « banque de données géogra-



Extrait d'orthophotocarte : Mont-Louis-Super-Bolquère (Pyrénées).

Échelle 1/15 000, équidistance des courbes 10 mètres.

La surcharge de courbes de niveau est extraite de la carte I.G.N., et obtenue par
une restitution manuelle.

On notera la bonne exactitude métrique du document orthophotographique ainsi qu'en
témoigne l'excellence des raccords entre bandes (partie inférieure du document) et entre
couples (partie médiane), et qui est la caractéristique essentielle du Stéréomat Wild B-8.
Grâce à la justesse des corrections d'échelle et de pente qu'il apporte à chaque zone
élémentaire de 1,5 mm de côté, même en présence de dénivelées aussi importantes
(450 m).

phiques », portent actuellement sur les points suivants :

— numérisation de l'information graphique, à partir de cartes déjà rédigées ou de photographies aériennes, par l'intermédiaire de coordinatographes ou d'un appareil de restitution photogrammétrique couplé à un enregistreur magnétique; une étude est en cours pour la construction d'un numériseur électronique de haut rendement, qui permettra de s'affranchir partiellement de l'inconvénient que présente toute numérisation manuelle; d'autre part un fichier des toponymes français de la carte de base à 1/25 000 est en cours de constitution.

— traitement de l'information numérique ainsi obtenue : étude de la représentation de courbes et de surfaces à l'aide du minimum de données; calcul d'un modèle numé-

rique du terrain sous forme d'un réseau orthogonal dense d'altitudes interpolées suivant différents critères; exploitation de ce modèle numérique, en vue de produire des cartes de pente, d'ensoleillement (par calcul des ombres portées et sommation des éclairissements successifs au cours de la journée) et des planches d'estompage suivant diverses hypothèses; étude de la mise au net et de la généralisation automatiques des données planimétriques et des courbes de niveau, etc.;

— rédaction graphique des résultats obtenus : représentation schématique sur imprimante d'ordinateur, dessin automatique sur traceur de précision, comportant et améliorant toutes les possibilités du dessin classique : droites, cercles, courbes, hachures, tiretés, pointillés, y compris le tracé sur couche et, ultérieurement, l'impression directe d'une

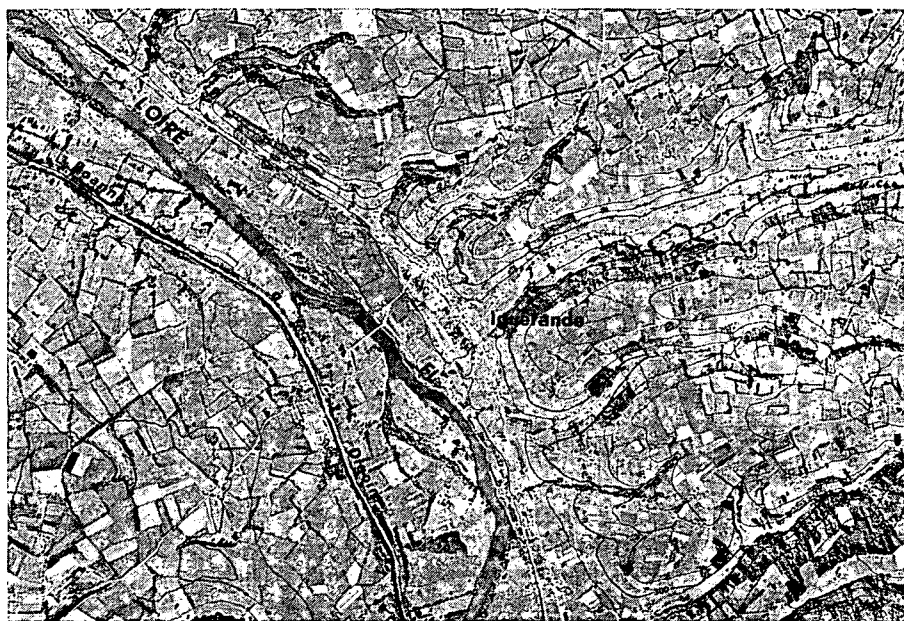
surface sensible par une tête photographique.

— Établissement automatique d'orthophotoplans et d'orthophotocartes

La photographie aérienne est devenue un moyen d'étude apprécié par un nombre croissant d'utilisateurs, tant pour la qualité et la richesse des informations qu'elle fournit, que pour les mesures qu'elle permet d'effectuer si elle a été prise avec une chambre métrique de prise de vues. Néanmoins la photographie aérienne, perspective conique dont l'axe n'est qu'approximativement vertical, n'est en général pas semblable à la carte, projection orthogonale du terrain sur le plan horizontal, et cette différence est sensiblement aggravée par la présence du relief.

Il paraît donc risqué, lorsque le terrain n'est pas plat et que l'axe de la prise de vues n'est pas vertical, d'effectuer des mesures précises sur la photographie aérienne, autrement qu'en passant par l'intermédiaire d'un appareil de restitution photogrammétrique. Mais on sait aussi qu'on perd alors une grande partie de la richesse de détails au bénéfice de la précision et de l'interprétation cartographiques.

Cet inconvénient est levé en grande partie dans l'orthophotographie classique, dont le principe est désormais bien connu, et qui, non seulement transforme la perspective photographique en projection orthogonale sur le plan horizontal, mais conserve la richesse d'informations de la photo aérienne. On peut objecter au procédé orthophotographique classique sa relative lenteur, quoique nettement inférieure à celle de la restitution photogrammétrique, et son caractère d'approximation, puisque l'orthoprojection se fait à travers une fente de dimensions finies, déplacée manuellement au contact du terrain par l'opérateur le long de profils parallèles et jointifs. Enfin l'altimétrie est absente de l'orthophotographie, et doit être obtenue par un autre procédé.



Extrait d'orthophotocarte : Charlieu (Massif central), 1/25 000 par restitution au Stéréomat Wild B-8 à partir d'une prise de vue au 1/40 000.

Cette région de la Haute-Loire, légèrement accidentée (dénivelées de 150 m), mais beaucoup moins que celle de Mont-Louis, est représentée à la fois avec une parfaite exactitude métrique (0,1 à 0,2 mm près en planimétrie) et une définition d'image tout à fait satisfaisante.

Dans une région aussi riche en détails planimétriques, l'échelle à 1/25 000 paraîtra trop petite à l'utilisateur qui lui préférera des agrandissements à 1/10 000 par exemple, qui gardent encore une finesse suffisante.

— L'apport de l'automatisation

Ces trois inconvénients ont été partiellement levés, eux aussi, grâce aux progrès réalisés dans l'automatisation. La construction d'appareils tels que le Stéréomat Wild B-8 où un corrélateur d'images électronique remplace l'opérateur humain dans la comparaison des détails homologues figurant sur les deux clichés du couple stéréoscopique, et dans la perception du relief, a rendu possible une exploration quasi automatique des stéréo-modèles. Deux tubes cathodiques analysent chaque cliché, et le signal issu de la corrélation automatique est transmis à un troisième tube cathodique qui génère l'orthophotographie.

Cette procédure permet de travailler avec une fente très fine et des profils très serrés (ce qu'un opérateur ne pourrait accomplir, étant donné la durée d'exécution correspondante qui serait rédhibitoire) avec, en outre, une correction de la pente du terrain à l'intérieur de la fente. C'est dire que la précision obtenue avec le Stéréomat de l'I.G.N. même en région montagneuse, est très nettement améliorée par rapport à celle des orthoprojecteurs de type classique, et ceci sans que les délais d'exécution soient allongés, avec l'avantage supplémentaire de soulager considérablement le travail de l'opérateur. En outre, le Stéréomat permet d'enregistrer les données altimétriques, soit sous forme de points de courbes et de

segments, tangents soit sous forme d'un maillage orthogonal dense de points cotés x, y, z, sur bande magnétique.

On voit donc apparaître ici un apport considérable de l'automatisation, qui est de fournir, parallèlement à l'orthophotographie planimétrique, l'altimétrie qui lui manquait jusqu'à présent. Le traitement des données recueillies sur bande magnétique, selon les procédures indiquées en cartographie numérique, devrait en effet pouvoir permettre de tracer automatiquement les courbes de niveau, ou de calculer d'autres données relatives au relief (pente, ensoleillement).

— L'orthoprojection en différé

Une procédure originale, en cours d'étude à l'I.G.N., dérive de cette connaissance du relief numérique, consiste à faire piloter en différé, par l'intermédiaire de la bande magnétique issue du Stéréomat, un orthoprojecteur SFOM de type classique, dit « 3° chambre », à fente fine. Cette solution permet, en effet, dans les terrains peu accidentés, d'obtenir des orthophotoplans de meilleure définition que sur le Stéréomat, où la projection électronique se révèle légèrement inférieure à la simple projection optique.

— Les picto-cartes

Cet ensemble de recherches trouve son complément logique dans l'étude

de procédés d'impression des orthophotoplans (ou orthophotocartes — ce nom pouvant être réservé aux documents équipés de surcharges altimétriques et d'écritures). Les procédés classiques d'impression de photographies tramées conduisent inévitablement à une certaine perte de définition; d'autre part, pour des raisons évidentes de lisibilité, il est souhaitable de pouvoir obtenir des impressions polychromes, où certains types de détail (plans d'eau, routes, etc.) peuvent être identifiés avec certitude.

Le procédé d'impression fait appel à la transformation directe de l'orthophoto à tons continus en document copiable, sans l'intermédiaire de trame. On obtient ainsi une définition d'image de qualité nettement supérieure à celle du tramé traditionnel, même lorsque celui-ci est obtenu au moyen des trames les plus fines.

Les surcharges en couleur sont obtenues par des opérations soit manuelles (masques), soit photo-mécaniques (reposant sur le critère des densités). La pictocarte ainsi réalisée n'a pas la rigueur d'une carte régulière, mais présente davantage de détails. Enfin les délais et le prix de revient sont sensiblement inférieurs.

A condition de réserver ce procédé au traitement de zones géographiques à faible densité planimétrique, on peut espérer créer dans ce domaine une source nouvelle de documentation obtenue rapidement et sans grands frais.

ÉTUDE QUALITATIVE DE LA SURFACE TERRESTRE AU MOYEN DE CAPTEURS AÉROPORTÉS

HISTORIQUE

Cette étude fut d'abord visuelle; l'utilisation d'un ballon à Fleurus en 1794 est généralement considérée comme le premier pas de cette nouvelle méthode d'acquisition de données sur la surface terrestre. Le deuxième pas fut franchi lorsqu'on

adopta un appareil photographique, ce fut la naissance de la photo interprétation.

Durant ces dernières décennies les progrès furent considérables, tant pour l'appareillage de prise de vue que pour les émulsions. Mais déjà dès la fin du 19^e siècle des photo-

graphies aériennes d'une qualité très honorable étaient obtenues.

A l'heure actuelle la photographie garde toute son importance mais de nouveaux capteurs apparaissent, l'électronique ouvre des possibilités dans des domaines où l'optique est impuissante. D'un autre

côté, le développement des ordinateurs permet de traiter de façon automatique des données qui, avant, ne pouvaient être exploitées que visuellement. La photo interprétation s'intègre maintenant dans un cadre plus vaste, celui de la télé-détection.

MOYENS D'ACQUISITION DES DONNÉES ET LEUR TRAITEMENT

Les vecteurs

Les avions sont de loin les vecteurs les plus courants. Leur usage étant si répandu, il semble inutile de développer ici cette question. Remarquons seulement la tendance à une diversification plus étendue des modèles d'avions utilisés. Un effort particulier est fait dans la mise au point d'avions volant à très haute altitude, comme le Mystère 20 de l'I.G.N. D'un autre côté, l'hélicoptère est de plus en plus utilisé pour les très basses altitudes.

Des ballons ont été utilisés dans des expériences communes avec le C.N.E.S., mais ce procédé ne semble pas encore opérationnel. C'est simplement une simulation d'avion à très haute altitude ou de satellite.

Avec la N.A.S.A., l'I.G.N. participe à un programme d'étude des ressources terrestres par satellite, le projet Erts A.

Les capteurs photographiques

— Les chambres photogrammétriques.

Elles sont très appréciées par les photo-interpréteurs pour la finesse de l'image produite et l'importance de la surface couverte. Rappelons très brièvement, car elle est bien connue, leur utilisation pour la géologie, l'agriculture et les forêts, la géomorphologie (l'I.G.N. réalise des cartes de prévision des risques d'avalanches par photo-géomorphologie), l'urbanisme, etc.

— Batterie de quatre appareils Hasselblad.

Elle permet d'obtenir de la même zone des images de format 56 mm x 56 mm dans les quatre émulsions les plus utilisées en photo-interprétation : le panchromatique, l'infra rouge noir et blanc, la couleur, l'infra rouge couleur. Ce procédé a fait ses preuves en matière d'agriculture et de foresterie. Mais les informations recueillies sont inutilement redondantes, et l'on obtient des déterminations encore plus précises en faisant travailler les appareils dans des bandes spectrales disjointes, avec un choix de filtres et d'émulsions approprié.

Traitement des données photographiques

Le traitement classique par l'œil de l'opérateur garde toute son importance. Mais le travail de l'œil peut être considérablement aidé par une meilleure présentation de la photographie. Les procédés d'isodensité ou d'équidensité colorée donnent souvent des résultats intéressants. Le procédé des équidensités colorées permet de visualiser des combinaisons linéaires de réponses dans différentes bandes spectrales, ce qui a donné parfois des résultats remarquables. C'est une approche analogique du problème plus général de la recherche des « signatures spectrales » qui peut être très féconde.

Capteurs non photographiques

— Scanner infra rouge

C'est un appareil à balayage sensible dans la bande des 3-5 microns. L'émission de corps noirs aux températures habituelles (disons de l'ordre de 270 à 300° K) et l'absorption par l'atmosphère, font que pour détecter à distance les températures on peut utiliser un appareil sensible soit dans la bande des 3-5 microns, soit dans celle des 8-12 microns. L'utilisation de cette dernière donne de meilleurs résultats pour la détermination absolue des températures, mais la première permet de mieux mettre en évidence de faibles variations relatives.

Les travaux effectués ont montré que cet appareil est un outil parti-

culièrement puissant pour résoudre seul des problèmes d'hydrologie, recherche d'eau potable notamment, de géologie, de pédologie et de pollution. Pour l'étude de la couverture végétale du sol, l'utilisation conjointe des photographies est souvent utile.

Il est important de souligner que les conditions de prise de vues doivent être adaptées au problème étudié. Non seulement la saison, mais l'heure du vol doivent être soigneusement définies. Des enregistrements de jour, de début de nuit ou de fin de nuit sont extrêmement différents.

— Scanner multispectral

Appareil à balayage enregistrant l'énergie reçue dans douze bandes distinctes du spectre visible et de l'infra rouge. Il donne donc à lui seul plus d'information sur le spectre de l'objet étudié que tous les capteurs précédents. Partout, il permet une différenciation plus fine et une identification plus sûre des éléments du terrain.

Il entrera en service à l'été 1972.

— Radar latéral

L'achat d'autres capteurs est envisagé. C'est le cas notamment du radar latéral qui offre des possibilités très intéressantes : ses propriétés de pénétration lui permettent de faire la carte d'un pays recouvert en permanence par les nuages, de « voir » à travers la végétation ou une couche sédimentaire récente peu épaisse, de distinguer différents types de glace, etc.

Traitement des données fournies par les appareils non photographiques

Le scanner infrarouge fournit un signal vidéo sur bande magnétique, qui peut être transformé en film pour une interprétation visuelle. Mais on ne peut travailler par des procédés analogiques sur le signal lui-même et n'effectuer la transformation en photographie qu'après le traitement, ou encore numériser la bande magnétique pour effectuer le traitement sur ordinateur.

Le scanner multispectral fournit des résultats analogues aux précédents, mais pour 12 bandes différentes, non plus pour une seule. La conséquence immédiate est que la présentation analogique est peu pratique, car le volume des données est trop grand pour un traitement visuel. La sortie numérique et l'utilisation d'un ordinateur s'impose et le problème consiste alors à rechercher

des combinaisons des réponses dans différentes longueurs d'onde, des « signature spectrales », caractérisant les objets étudiés, donc permettant de les identifier automatiquement. Le résultat sera généralement sous la forme d'une carte thématique fournie soit par l'imprimante, soit, ce qui est d'une meilleure présentation, par la table traçante de l'ordinateur.

La photo interprétation a fait ses preuves depuis longtemps, et son importance est en croissance régulière. L'extension de cette technique au cadre plus vaste de la télédétection apporte des possibilités qui sont loin d'avoir été toutes exploitées, et on peut s'attendre à une évolution très rapide de ce domaine dans les prochaines années.

APPLICATIONS SPÉCIALES DE LA PHOTOGRAMMÉTRIE

Les domaines d'application de la photogrammétrie semblent s'étendre chaque jour davantage. Ceci s'explique aisément si l'on songe que, d'une part le procédé stéréoscopique permet de restituer l'objet photographié avec une précision équivalente dans les trois dimensions, et que, d'autre part, cette précision n'a cessé d'être améliorée depuis le début, qu'il s'agisse de la qualité métrique des chambres de prise de vues, de la stabilité des films ou des plaques, ou de la mise en œuvre des méthodes de calculs rigoureuses qu'autorise l'emploi des ordinateurs modernes.

LA PHOTOGRAMMÉTRIE DE HAUTE PRÉCISION ET L'AÉROTRIANGULATION ANALYTIQUE

Un ensemble de recherches se poursuit régulièrement depuis plusieurs années afin d'exploiter, dans les meilleures conditions possibles de précision et d'identification, les photographies aériennes ou terrestres, et de pouvoir ainsi déterminer au mieux la position de certains points nécessaires à la restitution (points de canevas). Ces recherches consistent essentiellement en un contrôle des appareils utilisés, l'amélioration

des conditions de prise de vues, l'établissement de canevas altimétriques aéroportés (altimètre laser la recherche d'une précision accrue dans la pointe stéréoscopique, la mesure des clichés sur monocomparateur après marquage préalable des points, l'étude des nouvelles chambres métriques apparaissant sur le marché. Des essais sont parfois menés sur le terrain (essais de Charlieu) pour contrôler les résultats obtenus en atelier, et ceci notamment avec le Service du Cadastre (essais de Ribecourt). Enfin l'I.G.N. exploite et améliore ses programmes d'aérotriangulation analytique.

Initiateur en France de l'aérotriangulation analytique, qui permet de calculer en ordinateur les coordonnées de points de canevas à partir d'un nombre très réduit de points d'appui, et ceci uniquement d'après les mesures sur les photographies, l'I.G.N. n'a cessé de perfectionner les programmes correspondants et leur mise en œuvre. A ce jour, trois méthodes ont été appliquées : une méthode itérative, la méthode de compensation finie par couples, la méthode de compensation finie par faisceaux. Cette dernière méthode, supérieure en précision aux deux précédentes, doit être rendue opérationnelle en 1972.

LA PHOTOGRAMMÉTRIE NON CARTOGRAPHIQUE

La cartographie, comme il a été dit ci-dessus, est loin d'être la seule application de la Photogrammétrie. On a vu, au chapitre II du présent numéro (Recherche Urbaine), quelle application trouvait, dans l'étude des sites urbains, l'établissement de perspectives géométrales.

De nombreuses autres recherches, dans des domaines tout différents, concernent par exemple, la restitution des nuages photographiés par satellite, la restitution de photographies sous-marines prises à bord du bathyscaphe, et l'établissement de stéréogrammes analytiques.

En photogrammétrie rapprochée, des essais sont menés en vue de déterminer les conditions optimales d'obtention de la stéréophotographie à courte et très courte distance, en comparant les différents matériels disponibles (Zeiss, Wild, Hasselblad), en faisant varier la convergence des axes principaux et le rapport base-éloignement, et en exploitant les clichés obtenus avec un mono-comparateur. D'autre part, la photogrammétrie rapprochée trouve des applications pratiques dans des domaines tels que la construction urbaine ou les ouvrages routiers.

LA PHOTOGRAMMÉTRIE RAPPROCHÉE ET LE GÉNIE CIVIL

**(construction, ouvrages routiers,
monuments)**

A l'occasion de l'édification de la Tour Maine-Montparnasse, la vérification des normes de construction (niveaux, ouvertures) a pu se faire avantageusement par photogrammétrie rapprochée, puisque, sur une distance de l'ordre de 90 m, la précision obtenue sur les cibles solidaires du bâtiment a été de l'ordre

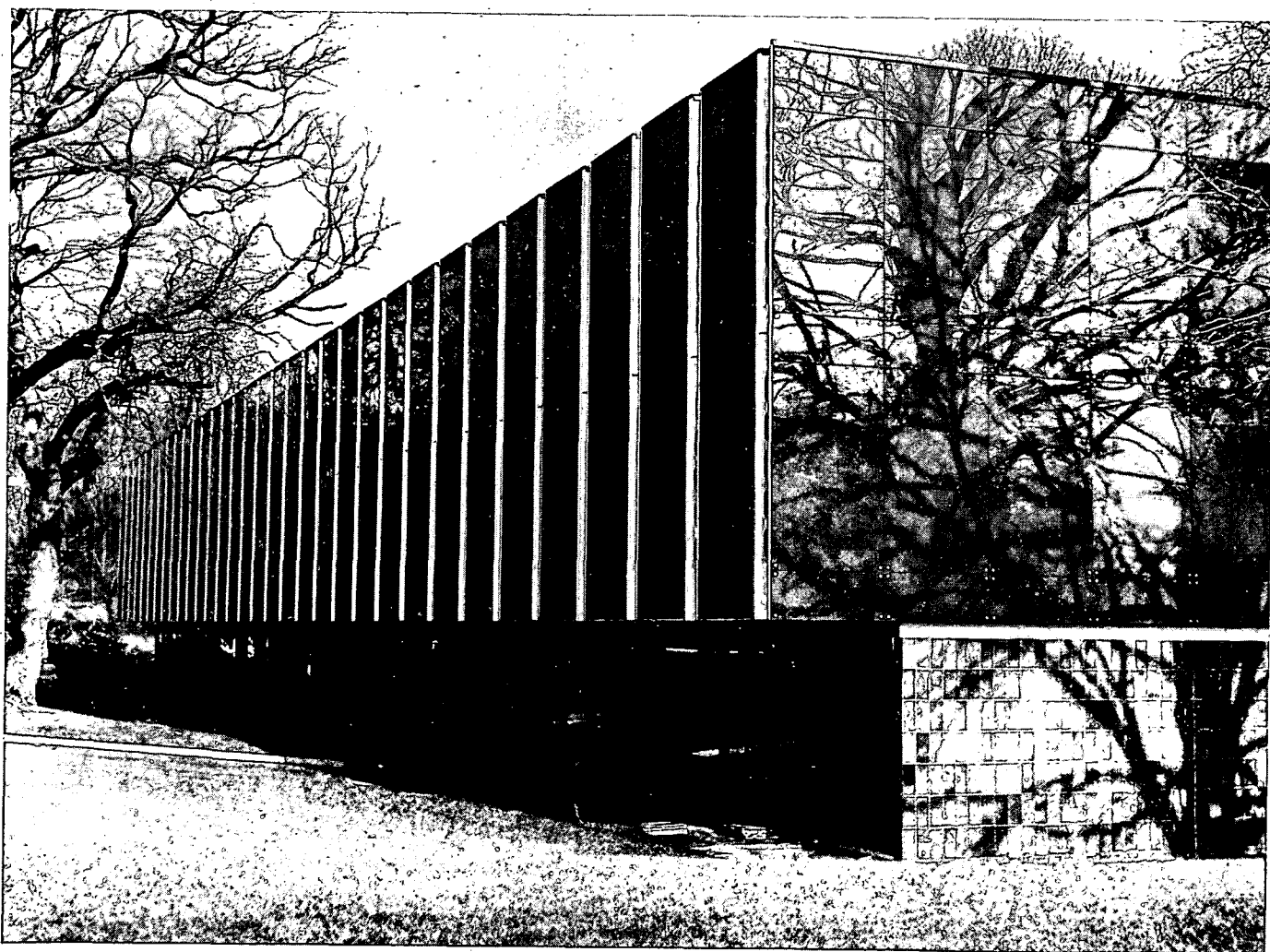
de 1,5 mm. Cette précision, équivalente à celle d'une micro-triangulation géodésique, s'est révélée d'une obtention plus facile, la méthode photogramétrique s'adaptant beaucoup mieux que la méthode micro-géodésique aux conditions mouvantes d'un chantier.

Des essais de déterminations analogues sont entrepris pour certains ouvrages d'art tels que les tunnels routiers (calculs d'implantations de mires sur la voûte) ou ferroviaires, ou l'intérieur de chambres à bulle utilisées en physique nucléaire. L'intérêt de ces déterminations, appli-

cables également à l'étude des états de surfaces des matériaux, notamment dans le domaine des Monuments et des œuvres d'art, est de permettre de suivre l'évolution d'éventuelles déformations au cours du temps. Ces déterminations peuvent permettre également de calculer une expression mathématique de la surface étudiée en utilisant des séries de Polynômes pseudo-orthogonaux.

Enfin, en photogrammétrie très rapprochée (20 à 30 cm), des essais sont menés afin d'étudier l'usure des revêtements routiers. Cette étude est faite pour le compte du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.

LA RECHERCHE A L'INSTITUT DES PÊCHES MARITIMES



*Vue du bâtiment des laboratoires du centre de l'I.S.T.P.M. à Nantes.
Au premier plan au rez-de-chaussée une partie des ateliers pour la technologie des produits de la pêche.*

L'Institut des Pêches maritimes a été créé, il y a 53 ans, par la loi de Finances du 31 décembre 1918 pour succéder au Service scientifique des Pêches maritimes que gérait le ministère de la Marine marchande.

Établissement public d'État, doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière et placé sous la tutelle du ministère chargé de la marine marchande, il a pour vocation de « favoriser, par les progrès de la Science, le développement des opérations industrielles se rattachant directement ou indirectement à l'exploitation des richesses de la mer », ses missions essentielles étant d'effectuer : les travaux de recherches intéressant les pêches maritimes et les industries qui s'y rattachent, le contrôle de la salubrité des coquillages et celui de la fabrication des conserves de poissons, et autres animaux marins, ainsi que de l'utilisation effective des sous-produits de la pêche et des déchets d'animaux marins.

LES MOYENS

L'exécution de ces tâches, à la fois scientifiques et techniques, s'exerçant dans le double cadre de la recherche et de l'exercice des contrôles, est assurée par un personnel de direction et d'administration qui représente 12 % des 386 personnes employées, 37 % de l'effectif assurant les travaux de recherches, 11 % l'exécution des contrôles et 20 % les tâches de surveillance qui en découlent, 20 % enfin composant les équipages des 5 navires de l'établissement.

Direction, services administratifs et laboratoires centraux sont groupés à Nantes dans 2 bâtiments modernes dont la construction a été achevée en 1969 dans le cadre du V^e Plan.

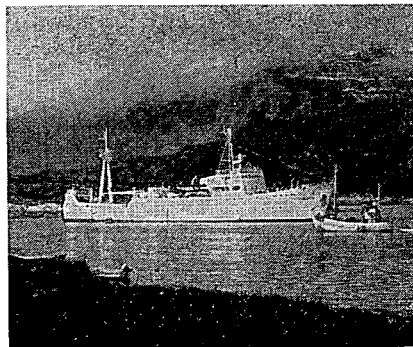
Pour les travaux d'océanographie biologique, l'Institut dispose en outre de laboratoires à Boulogne-sur-Mer, La Rochelle et Sète pour les pêcheries, d'une station à Roscoff pour l'étude des crustacés, et de laboratoires pour l'étude des problèmes

conchylicoles à Saint-Servan, la Trinité-sur-Mer, La Tremblade, Arcahon et Sète. Disposant également d'inspections dans les principales régions productrices de coquillages et de conserves, l'Institut fait donc figure d'organisme spécialisé à vocation nationale pour tout ce qui a trait à un vaste secteur d'activité dont le Secrétariat général de la marine marchande assume la responsabilité, en France et Outre-Mer puisque deux laboratoires existent également à St-Pierre et Miquelon et à La Réunion et que deux autres sont en projet pour la région Antilles-Guyane.

Les travaux à la mer sont assurés par 5 navires : la « Thalassa » (66 m), le « Cryos » (48,7 m), « La Pélagia » (32,4 m), l'« Ichthys » (20 m) et le « Roselys » (15,1 m).

Le budget de l'établissement est de l'ordre de 14 millions, plus des 2/3 étant couverts par des subventions de l'État, le reste par des taxes parafiscales venant de l'exercice des contrôles.

La diffusion des résultats de la recherche est assurée par deux publications, l'une trimestrielle à caractère scientifique, la « Revue des Travaux », l'autre mensuelle, « Science et Pêche » surtout destinée à l'information et à la vulgarisation des résultats obtenus.



La « Thalassa » au mouillage.

LES PROGRAMMES

Le programme de recherches de l'Institut des Pêches doit être présenté à la fois dans le contexte de l'industrie à laquelle il s'adresse et d'autre part dans le cadre des objectifs de la Commission de la recherche du VI^e Plan.

En ce qui concerne la production il est bon de souligner que la France occupe le 19^e rang dans le monde, mais le premier parmi les 6 du Marché commun avec des captures de l'ordre de 790 000 t pour un montant voisin de 1,6 milliard de francs, ce qui représente 620 000 t de poissons, 28 000 t de crustacés, 120 000 t de coquillages et 20 000 t d'algues. Il est bon de souligner par ailleurs que près du quart du produit financier est le fait de la conchyliculture et que les conserveries de poisson ont une production d'environ 90 000 t à partir des produits débarqués.

Malgré la multiplicité des problèmes que pose cette industrie, les actions de recherches qu'elle justifie répondent tout naturellement à deux des objectifs définis par le groupe sectoriel n° 3 de la Commission de la recherche : interrelations entre les êtres vivants et leur environnement d'une part, sciences de la vie et industrie d'autre part.

Ce programme porte en effet tant sur l'identification et l'évaluation des ressources vivantes, qui font l'objet de la pêche en mer ou des élevages littoraux, que sur l'utilisation que l'on en fait, mais il porte également sur la nature des écosystèmes naturels que constituent les peuplements marins, les conditions du milieu au sein desquels ils s'établissent et les modifications qu'apporte l'homme par la pêche, l'occupation du littoral ou les pollutions.

C'est dire que ces programmes s'adressent non seulement à tous les stades d'une industrie mais aussi aux facteurs extérieurs qui la conditionnent et que, de ce fait, ils demandent des moyens importants, tant en navires et laboratoires pour les recherches de base, qu'en ateliers

et moyens d'essais pour le prolongement de ces recherches sur le plan technologique.

Pour atteindre ces objectifs 12 actions de recherches ont été définies qui sont les suivantes : ressources démersales, ressources pélagiques en clupéiformes, thonidés et autres scombriformes, accroisse-

ment des ressources naturelles, développement et évolution de la conchyliculture, technologie des pêches, techniques de conservation par le froid et par des procédés autres que le froid, protection des zones de pêche et de la conchyliculture contre les pollutions par les activités industrielles et agricoles et par l'habitat humain, évaluation de la qua-

lité des matières premières et des produits de la pêche et enfin exploitation et culture des ressources marines en zones tropicales.

Nous ne reviendrons pas en détail sur chacune de ces actions nous essaierons d'en brosser le tableau général en l'illustrant de quelques exemples.

L'EXPLOITATION DES RESSOURCES BIOLOGIQUES

Si, après la seconde guerre mondiale, il existait un nombre encore important de ressources connues inexploitées, ou sous-exploitées, on peut dire qu'actuellement elles le sont pratiquement toutes et que, dans beaucoup de cas, elles sont sur-exploitées.

Le problème consiste donc à rechercher maintenant s'il existe des ressources potentielles pouvant faire l'objet d'exploitation au-delà des plateaux continentaux, dont les fonds ne constituent que 7 à 8 % de la surface des océans et fournissent 45 % des prises de poissons et 10 % des prises de mollusques, le reste, 45 %, étant constitué d'espèces pélagiques pouvant être, comme les thons, pêchées au-delà de la limite de ces plateaux. C'est donc vers les grandes profondeurs, vers 1 000 m et au-delà sur le talus continental, et en plein océan qu'il convient d'orienter ces recherches.

Mais il importe avant tout d'assurer la meilleure exploitation possible des stocks connus d'espèces commerciales de haute valeur, les ressources potentielles éventuelles étant souvent constituées d'espèces de petite taille ou d'aspect peu attrayant, et ne pouvant être livrées à la consommation que sous une présentation améliorée ou après transformation en farine.

L'expérience montre en effet que des ressources jugées considérables, peuvent s'épuiser rapidement avec les moyens de pêche actuels et qu'un

stock d'une espèce déterminée ne peut donner annuellement qu'une fraction de sa biomasse, au-delà de laquelle ce stock ne fait que décliner, le recrutement naturel ne pouvant combler le prélèvement excessif opéré par la pêche. C'est le cas du hareng atlanto-scandinave dont la pêche est tombée de 1 723 000 t à 20 000 t en 5 ans, entre 1966 et 1970, c'est ce qui menace celui de la Mer du Nord avec une baisse de 1 425 000 à 617 000 t pendant la même période.

Il ne s'agit donc pas seulement de bien connaître la biologie des espèces, leur reproduction, leur croissance, leur longévité ou leurs migrations, il faut également connaître la masse globale des ressources et définir quel coefficient de mortalité due à la pêche on peut ajouter à la mortalité naturelle sans crainte de compromettre l'avenir.

Il faut également connaître comment les variations du milieu influent sur l'abondance très variable des pontes, et ultérieurement sur la composition du stock, ainsi que sur la distribution du poisson et sur sa disponibilité sur les lieux de pêche traditionnels.

C'est dire qu'il s'agit en fait d'études très complexes où interviennent des paramètres biologiques, physiques et économiques en vue d'une étude dynamique, dans le temps et l'espace, de phénomènes naturels, en constante évolution, sur lesquels l'homme ne peut intervenir

que par le contrôle réglementaire de ses activités de pêche.

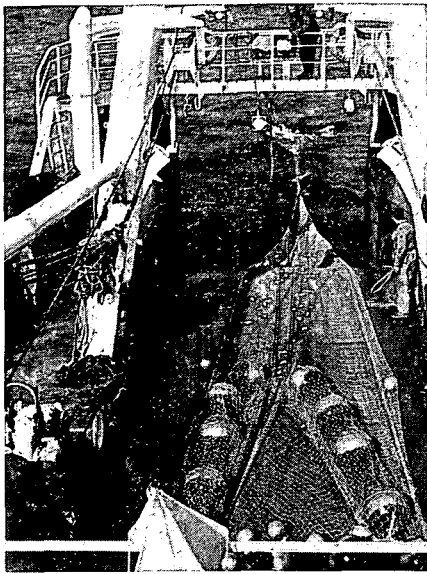
Parmi les actions particulières engagées à ce titre, quelques-unes peuvent être citées à titre d'exemple, qui illustreront ces divers aspects de la recherche.

LE MILIEU MARIN

L'Institut des Pêches a toujours été un important fournisseur de données océanographiques, de très nombreuses mesures de température, de salinité et parfois d'autres paramètres tels que teneur en oxygène et sels dissous, étant faites à bord des navires, en routine ou à l'occasion des programmes particuliers, dans des secteurs où ces mesures peuvent renseigner sur la distribution du poisson.

De tels programmes sont actuellement en cours à partir du laboratoire de St-Pierre pour la morue, dans le golfe de Gascogne pour la sardine et dans l'Atlantique nord-est pour le germon.

Si la morue se cantonne généralement dans les eaux à 4°, l'extension des eaux glacées du courant du Labrador peut expliquer en effet sa distribution sur les fonds de pêche du nord-ouest atlantique. Dans le cas du thon c'est le rassemblement des proies, dans les zones de contact entre courants différents, qui semble à l'origine des bonnes pêches faites dans certains secteurs où ces possi-



A bord de la « Thalassa »,
rentrée du chalut.

bilités de capture seront détectées par des contrastes thermiques dans les eaux de surface.

Dans le cas de la sardine, le problème des mauvaises pêches de ces dernières années semble plus complexe, l'absence des sardines de 1 an qui constituent l'essentiel des bonnes captures saisonnières, et leur remplacement par des poissons de 2 à 3 ans, paraissant liée à des changements écologiques en relation avec une structure verticale des isothermes amenant des eaux plus froides près de la surface.

Signalons encore le programme international C.I.N.E.C.A. sur l'étude des remontées d'eaux profondes au large des côtes sahariennes et leur rôle dans la productivité océanique, qui doit faire l'objet d'une expédi-

tion à plusieurs navires en 1973 avec le concours de la N.A.S.A. pour détecter ces régions à haute productivité et en étudier le mécanisme.

LE PLANCTON

Comme les recherches hydrologiques, celles concernant le plancton servent de support aux études concernant les stocks de poissons commerciaux et elles sont surtout axées sur l'identification des œufs et larves de ces poissons afin de localiser les frayères et déterminer l'abondance des pontes. Un programme particulier s'est développé dans le golfe de Gascogne en relation avec le problème de la pêche sardinière.

LES STOCKS D'ESPÈCES COMMERCIALES

Les travaux concernant les stocks de poissons doivent être régulièrement poursuivis chaque année afin de déterminer la disponibilité des ressources exploitées et leurs fluctuations d'abondance. L'analyse des captures commerciales, l'échantillonnage, pour déterminer l'abondance relative des classes d'âges, et les marquages font partie des travaux les plus courants dans un domaine où la mise sur pied d'un système statistique, tel que celui élaboré actuellement à la Direction des pêches au Secrétariat général de la marine marchande, apportera un outil de travail devenu indispensable pour l'étude des pêches maritimes.

Deux programmes peuvent être signalés à titre d'exemple.

Le premier concerne le merlu qui, avec 25 000 t en 1970 représente 16 % du chiffre d'affaires de la pêche fraîche, mais dont les prises sont tombées de 37 % malgré un effort de pêche accru de plus d'un tiers. Ces chiffres, qui illustrent à la fois l'intérêt économique d'une espèce mais aussi les effets de la surexploitation, ont conduit à mettre en place un programme d'étude du

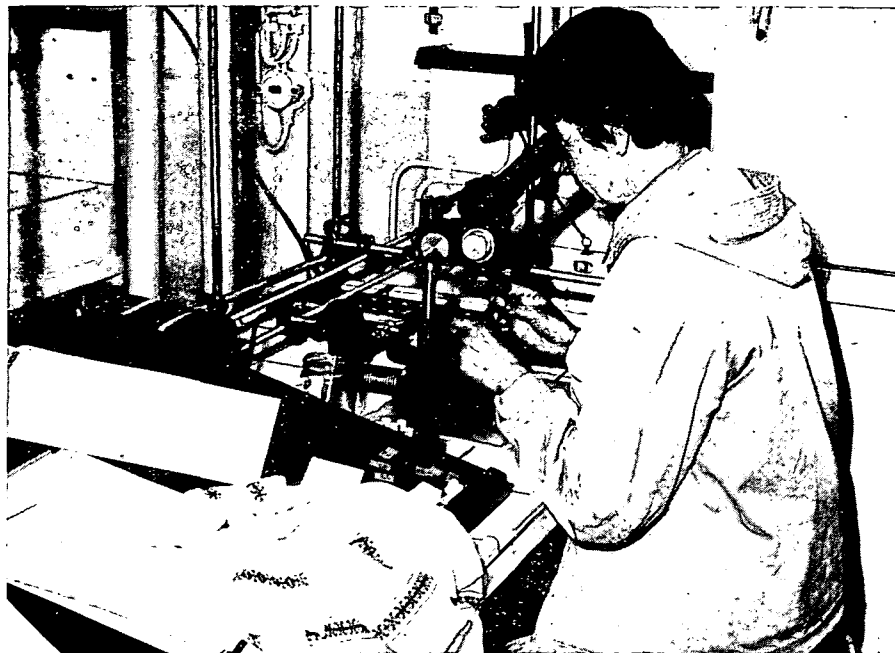


La poche est mise à bord.

stock, basé sur un examen détaillé des paramètres biologiques et sur la collecte intensive de statistiques de prises par unité d'effort des chalutiers se livrant à cette pêche, l'ensemble s'intégrant dans un programme international auquel doivent collaborer des laboratoires anglais et espagnols. Il devrait permettre de fournir, aux administrations des pays concernés, des recommandations sur le maillage des chaluts à utiliser et sur le tonnage maximum que peut fournir cette pêcherie, tonnage vraisemblablement supérieur à celui des prises actuelles si une exploitation plus rationnelle pouvait être instaurée grâce à une réduction sensible des captures d'imatures et à un meilleur équilibre entre la pêche et l'abondance du stock.

Le second programme intéresse la pêche du germon, espèce saisonnière typiquement océanique, distribuée entre le golfe de Gascogne et l'Est des Açores, et dont les prises peuvent varier de façon sensible d'une année à l'autre, selon la distribution de l'isotherme 17° en surface, et selon des facteurs qui doivent dépendre de la structure de la population de germon, celle-ci paraissant formée de deux composantes d'origines différentes dont l'abondance relative semble avoir un rôle important dans le rendement de la pêche. Deux sous-populations semblent identifiées, par les marquages et l'étude du taux de parasitage stomacal, l'une pénétrant dans le golfe de Gascogne et l'autre se rencontrant au large de cette zone, peut être jusqu'aux Açores, mais ces résultats doivent être confirmés et les modalités de ces migrations précisées, l'objet de ces travaux étant de guider au mieux l'effort de la flottille thonière sur des lieux de pêche dispersés sur de très vastes étendues marines.

D'autres recherches sont en cours sur la dorade commune, le merlan, la morue, la sardine, le hareng, toutes afin de bien connaître la structure et l'évolution des principaux stocks commerciaux et des



A bord de la « Thalassa », travail au laboratoire de biologie.

facteurs qui influent sur leur abondance et, en définitive, sur le rendement des entreprises de pêche, dans un contexte de concurrence de plus en plus âpre entre flotte de pêches de toutes nationalités, avec des navires de plus en plus puissants et de plus en plus équipés pour la détection et la capture du poisson.

On ne peut négliger enfin les recherches destinées à améliorer les ressources ou à en créer de nouvelles, par les élevages et les acclimatations, ni celles faites dans le cadre d'une meilleure exploitation des algues littorales et qui constituent une part non négligeable des travaux de biologie.

Chez les crustacés, par exemple, des essais sont en cours sur l'élevage des larves de homard, afin de voir jusqu'à quel stade on peut aller, dans des conditions techniques et économiques satisfaisantes, en vue

d'une expérience de repeuplement des fonds.

Des travaux sont faits par ailleurs sur une langouste originaire d'Afrique australe, dont 17 000 individus ont été immergés dans la région de Roscoff, leur objet étant d'étudier le comportement de ces crustacés dans un milieu nouveau et leur aptitude éventuelle à créer un peuplement.

Dans le domaine des algues, la pousse d'une espèce du Pacifique dans nos eaux est également observée, mais les principales recherches portent sur des applications industrielles telles que variation de la teneur en alginate selon les espèces et les saisons, vitesse de croissance et de repeuplement des zones exploitées ou séchage rapide des récoltes, cette activité traditionnelle posant de nombreux problèmes d'adaptation aux conditions économiques actuelles.

LES ÉLEVAGES CONCHYLICOLES

En voulant faire progresser de 100 000 à 125 000 t la production de la conchyliculture, c'est-à-dire en passant à 60 000 t pour les huîtres portugaises, à 20 000 t pour les plates et à 45 000 t pour les moules, le VI^e Plan s'est fixé un objectif à la réalisation duquel l'I.S.T.P.M. apportera le concours de ses laboratoires régionaux dont l'activité, toujours étroitement liée à celle de la profession, peut être illustrée par trois exemples.

REPRODUCTION DES HUITRES ET CAPTAGE

C'est sur la récolte du naissain que repose évidemment l'industrie conchylicole, laquelle à son tour dépend de la qualité des stocks de géniteurs dont les principaux gisements ont été peu à peu soustraits à l'exercice de la pêche afin de les établir en réserves au bénéfice de la collectivité. Une trentaine de bancs d'huîtres ont été ainsi reconstitués en différents points du littoral car, sauf événement actuellement imprévisible, c'est sur la nature que reposera encore pendant de longues années la récolte du naissain, la capacité des écloséries artificielles étant limitée et leur entretien onéreux comme le montrent certaines expériences étrangères. Une telle usine à naissain ne peut en effet guère produire plus de 200 millions d'individus par an alors que la production du bassin d'Arcachon à lui seul avoisine 7 milliards les bonnes années, sans préjuger bien sûr des mortalités d'origines diverses qui affectent normalement les très jeunes huîtres, mais ceci est valable dans les deux cas.

C'est pourquoi chaque année la reproduction des huîtres est étudiée de très près afin de détecter les premières apparitions de larves dans le plancton, suivre leur évolution et signaler aux ostréiculteurs le meilleur moment auquel poser les collecteurs. L'expérience acquise dans ce

domaine, depuis près de 50 ans dans certains secteurs, a même permis de faire des prévisions à long (3 mois), moyen (1 mois) et court terme (4 à 12 jours) sur les dates et sur l'intensité probable des émissions, grâce à l'analyse statistique des observations antérieures et à l'examen du cycle sexuel en fonction de l'évolution de la température et de la salinité du milieu marin.

Ce service s'est avéré extrêmement utile, évitant aux ostréiculteurs de voir leurs collecteurs salis par des fixations parasites d'autres invertébrés marins dans le cas d'une pose trop hâtive. Le bilan de cette recherche est d'ailleurs facile à établir si l'on songe qu'un seul naissain supplémentaire d'huître plate, récolté sur chacun des 40 millions de collecteurs immergés chaque année dans le Morbihan, peut se traduire, 3 ans plus tard, par la récolte supplémentaire de 360 t d'huîtres.

ÉPIZOOTIES

Les aléas subis par l'ostréiculture peuvent être dus dans certains cas à des causes naturelles, comme les grands froids de l'hiver 1962-1963 qui ont entraîné de fortes mortalités, dans d'autres cas à des maladies de caractère épidémique s'attaquant spécifiquement à l'huître plate ou à la portugaise, dans un secteur limité ou dans de vastes zones littorales, voire même simultanément sur toute une partie des côtes européennes comme dans le cas de la maladie des branchies.

La pathologie des mollusques est malheureusement mal connue à l'échelle mondiale et un gros effort a été fait dans ce domaine par l'I.S.T.P.M. pour élucider les causes de ces mortalités et, si possible, en limiter les effets. Dans l'estuaire du Belon elles ont pu être attribuées à des pénétrations d'eaux froides (10°), normalement cantonnées par 40 à 50 m de profondeur dans la région des Glénans, de salinité élevée et sous-saturées en oxygène. Dans

d'autres cas l'étude suggérerait des maladies virales, ou l'infection des tissus par un protiste, mais parfois la cause échappe, comme cela se produit pour la maladie qui, à partir de 1970, a entraîné une réduction de 50 à 70 % du stock d'huîtres portugaises de la région de Marennes-Oléron et d'Arcachon, stock que l'on est en train de reconstituer à partir d'huîtres japonaises, une espèce voisine résistant à cette maladie.

AMÉNAGEMENT RÉGIONAL

L'extension de la conchyliculture tient également une place importante dans les programmes et, si elle a donné d'excellents résultats en rade de Brest, les difficultés rencontrées sur la rive gauche de la Gironde sont loin d'être surmontées pour ne citer que deux exemples d'intervention.

En rade de Brest une recherche conduite en liaison avec l'administration a permis en effet de recenser les terrains propres à une extension des élevages et à la mise en place d'installations de captage. Ceci s'est traduit par la production de 250 à 300 t de naissain et par la mise en élevage de 10 000 t d'huîtres plates.

Les essais entrepris sur la rive gauche de la Gironde, dans la région de Neyran, sont par contre moins satisfaisants et, bien que cette région produise normalement 4 à 5 milliards de jeunes portugaises, on n'a pas encore réussi de façon probante à y introduire l'élevage, l'alimentation des bassins nécessitant l'apport d'eaux plus salées et moins turbides que celles de cette partie de l'estuaire de la Gironde.

C'est ce problème qui est actuellement à l'étude mais, si sa solution paraît difficile du fait du coût des installations que nécessiterait la mise en place d'un système d'arrivée d'eau d'une qualité convenable, ses résultats pourraient cependant avoir une grande importance économique pour une région jusqu'ici très défavorisée.

TECHNOLOGIE DES PÊCHES

La technologie des engins de pêche a connu, depuis une dizaine d'années, une évolution qui est allée de pair avec les progrès accomplis dans le domaine de la navigation, du positionnement des navires, de la détection du poisson et du contrôle du chalutage, les radars, lochs électriques, récepteurs de radio-localisation et tables traçantes, les sondeurs verticaux et horizontaux, les enregistreurs de traction de funes occupant une place de plus en plus importante dans la passerelle de navigation, à côté d'écrans de télévision permettant de surveiller les opérations dans les différents postes de travail du navire.

L'Institut des Pêches pour sa part a participé à cet effort par la vulgarisation des méthodes de détection, en encourageant la pêche à la lumière de la sardine, en introduisant l'usage d'une poulie mécanique pour la remontée des sennes et filets maillants, en contribuant à la mutation de la flotte thonière de pêche tropicale et en favorisant l'évolution du chalutage par la construction de navires pêchant par l'arrière dont le prototype fut la « Thalassa » lancée pour l'I.S.T.P.M. en 1960.

En ce qui concerne les chaluts, qui sont de loin l'engin le plus utilisé, l'effort a plus particulièrement porté sur l'amélioration de ses performances et son adaptation à de nouvelles conditions de pêche. Filet lourd, autrefois uniquement tracté sur le fond par l'intermédiaire de funes robustes et d'un gréement parfois complexe, comportant en particulier des panneaux divergents qui assurent son ouverture latérale, il a donné naissance à de nouveaux modèles, plus légers, mais filtrant un volume d'eau beaucoup plus important et pouvant être employés en pleine eau ou à proximité du fond.

Il va sans dire que selon le gréement et la forme des pièces qui composent le filet, le développement de la poche qu'il forme dans l'eau, et l'ouverture verticale de sa gueule,

sont directement influencés par les forces d'inertie et de pesanteur qui s'appliquent au système, ainsi que par le frottement des particules liquides.

La construction en 1967, par la Chambre de Commerce de Boulogne-sur-Mer, d'un bassin d'essais, a permis au laboratoire de l'I.S.T.P.M. dans cette ville d'aborder sur maquettes, l'étude hydrodynamique de ces phénomènes d'équilibre entre la traînée du filet et les contraintes qu'il subit. Long de 21 m et équipé d'une veine d'observation de 4,50 m sur 2 m de large et 1,50 m de haut, il permet l'étude de maquettes au 1/20 dans un courant d'eau correspondant à des vitesses de 2 à 5 nœuds.

Ces travaux ont offert à de nombreux patrons de pêche le moyen d'adapter les caractéristiques de leur filet à la puissance motrice de leur navire. Ils ont également permis l'adoption des filets destinés à la pêche entre deux eaux ou près du fond grâce à la mise au point de chaluts pélagiques et semi-pélagiques, l'ouverture verticale de ces engins passant de 3 à 4,50 m pour les chaluts de fond à 6 à 9 m pour les semi-pélagiques et atteignant 10 à 18 m pour les pélagiques purs. Ces derniers sont maintenant employés pour la capture d'espèces telles que le hareng et le maquereau alors que les premiers restent utilisés pour les espèces de fond, mais leur conception meilleure en accroît le rendement, diminue les risques d'avaries et permet de continuer la pêche lorsque le poisson s'élève de quelques mètres au-dessus du fond.

Malgré les succès enregistrés ces travaux ne sont pas terminés pour autant, l'effort portant vers la recherche de filets, de panneaux et de gréements encore améliorés, et aussi polyvalents que possible dans leur emploi, afin de faciliter les manœuvres à bord des navires et de réduire les dépenses de matériel.

La création d'un second bassin à Lorient est en projet, les ports de Bretagne sud souhaitant bénéficier

à leur tour de cet effort de recherche et disposer d'une installation d'une valeur pédagogique certaine pour la formation des cadres et des équipages à la pêche.

Ces travaux mériteraient d'être étendus aux sennes tournantes, filets de dimensions modestes pour la pêche sardinière, mais atteignant 1 000 m de long sur 125 m de chute pour la pêche des thons africains, et qui sont destinés à l'encercllement rapide des bancs de poissons. Un bassin d'un type nouveau serait nécessaire à cette fin, les conditions d'emploi de ce matériel étant très différentes de celles des chaluts.

Dans le domaine des techniques nouvelles des recherches sont en cours sur la pêche à l'électricité, le principe étant d'attirer le poisson autour d'une lampe immergée, puis de le conduire vers l'embouchure d'une pompe par galvanotaxie anodique en créant un champ électrique servant de relais entre la pompe et le halo lumineux dans lequel se rassemble le poisson. Des études théoriques, des expériences partielles en mer et des mesures sur maquette ont été faites qui ont permis de connaître les réactions de certains poissons à des impulsions de forme, durée, fréquence et intensité variées et de définir la forme des électrodes, les gradients de potentiel, la diffusion et l'atténuation du champ en milieu marin de température et salinité variables. Un générateur impulsionnel de conception nouvelle a été construit par la Compagnie générale d'Électricité tandis que les Ateliers et Chantiers de Bretagne étudiaient l'adaptation du matériel à son emploi à la mer, les dépenses étant financées par un contrat D.G.R.S.T. repris par le C.N.E.X.O.

Des essais en semi-grandeurs doivent être maintenant entrepris avant d'envisager le passage à une phase industrielle qui concernerait surtout la pêche des espèces pélagiques, telles que sardine, anchois, hareng et sardinelles, dont les prises mondiales sont extrêmement importantes.

BIOCHIMIE DES ANIMAUX MARINS

La connaissance de la biochimie des animaux marins est indispensable pour obtenir des produits transformés, de bonne qualité, ayant une durée de conservation suffisante pour assurer leur commercialisation.

La diversité des pêches effectuées par nos bateaux, du fait de notre situation géographique, appelle des études sur des espèces beaucoup plus variées que dans d'autres pays.

L'accent est mis actuellement sur les thons, qui représentent une matière première de choix pour l'industrie de la conserve, mais dont la qualité est inégale suivant l'espèce et l'origine.

Les études en cours visent à mieux connaître la composition détaillée de la chair de ces espèces, afin de repérer ceux des constituants qui

seraient spécifiques : protéines, peptines, constituants de l'insaponifiable. Elles s'attachent également à élucider les processus d'altération particuliers à cette famille. Il apparaît en effet, que ces poissons vivant dans les mers chaudes et ayant un métabolisme très actif, se dégradent ou s'altèrent de façon assez différente des poissons des mers froides, sur lesquels ont porté la majorité des études faites jusqu'alors.

Les travaux en cours s'intéressent particulièrement aux premières réactions de dégradation enzymatique qui se produisent avant la congélation (formation d'hypoxantine) ou à l'altération bactérienne qui peut survenir après décongélation en produisant des bases toxiques (histamine, triptamine).

Ceux qui sont entrepris sur la partie insaponifiable des lipides sont de nature à nous renseigner sur la

fixation dans les tissus de nombreux polluants liposolubles (hydrocarbures, dérivés organochlorés, biphényles polychlorés, etc.).

-D'autres études sont entreprises pour connaître les effets des multiples additifs qui sont employés pour la conservation des denrées alimentaires ou pour modifier leurs caractères organoleptiques : anti-septiques divers, produits édulcorants et produits tels que les polyphosphates destinés à maintenir l'hydratation des tissus congelés.

Ce programme prévoit de développer également des recherches sur des constituants apparemment mineurs, tels que l'oxyde de triméthylamine, qui peuvent avoir une influence sur les caractéristiques du produit et ses facultés de conservation comme cela a déjà été démontré.

TECHNOLOGIE DES PRODUITS DE LA PÊCHE

L'installation, au centre de Nantes, d'un atelier de conserves et de semi-conservés et d'un laboratoire du froid, doit permettre d'associer les recherches technologiques à celles entreprises sur la biochimie des produits d'origine marine et d'apporter le concours de l'I.S.T.P.M. à la politique de qualité que s'est fixée la pêche française, sans négliger pour autant le marché de plus en plus ouvert des produits préparés ou transformés.

Les produits offerts à la consommation relèvent en effet de deux technologies différentes : pour les uns il faudra les livrer dans un état aussi voisin que possible de la matière vivante prélevée en mer, pour les autres au contraire des transformations plus ou moins complexes conduiront à l'obtention de

produits modifiés, ou très différents de la matière originale, mais répondant cependant à des standards bien définis.

TRANSFORMATION DES PRODUITS MARINS

Cette section de la recherche couvre un vaste champ d'applications : conserves appertisées, fumage, salage, séchage, semi-conservés et sous-produits tels que farines de poissons, concentrés protéiques, hydrolysats, etc., sans oublier les techniques nouvelles comme la conservation par les rayonnements ionisants.

Il s'agit donc de techniques simples ou très élaborées dont l'étude s'ordonne autour de deux axes de

recherches. Le premier concerne des travaux à court terme, répondant à des problèmes concrets et immédiats de l'industrie ou à la nécessité d'élaborer des normes, de production par exemple. Le second, d'ordre plus fondamental, a des objectifs à long ou moyen terme, permettant d'aborder des thèmes plus prospectifs tels que l'amélioration des méthodes et équipements, la mise au point de procédés et de produits nouveaux, ou encore la qualité et la capacité de conservation des produits transformés.

C'est dans ce dernier domaine que se situent les principaux thèmes de recherches.

Le premier, qui fait l'objet d'une convention avec la D.G.R.S.T. porte sur la variation de la couleur des

conserves de thon selon l'espèce utilisée, la façon dont elle a été conservée avant traitement, son état de fraîcheur et les modes de préparation et de stérilisation appliqués. Cette étude doit permettre de juger de la valeur et de l'opportunité d'une classification commerciale des thonidés et de prendre position sur un projet de norme internationale concernant ces conserves.

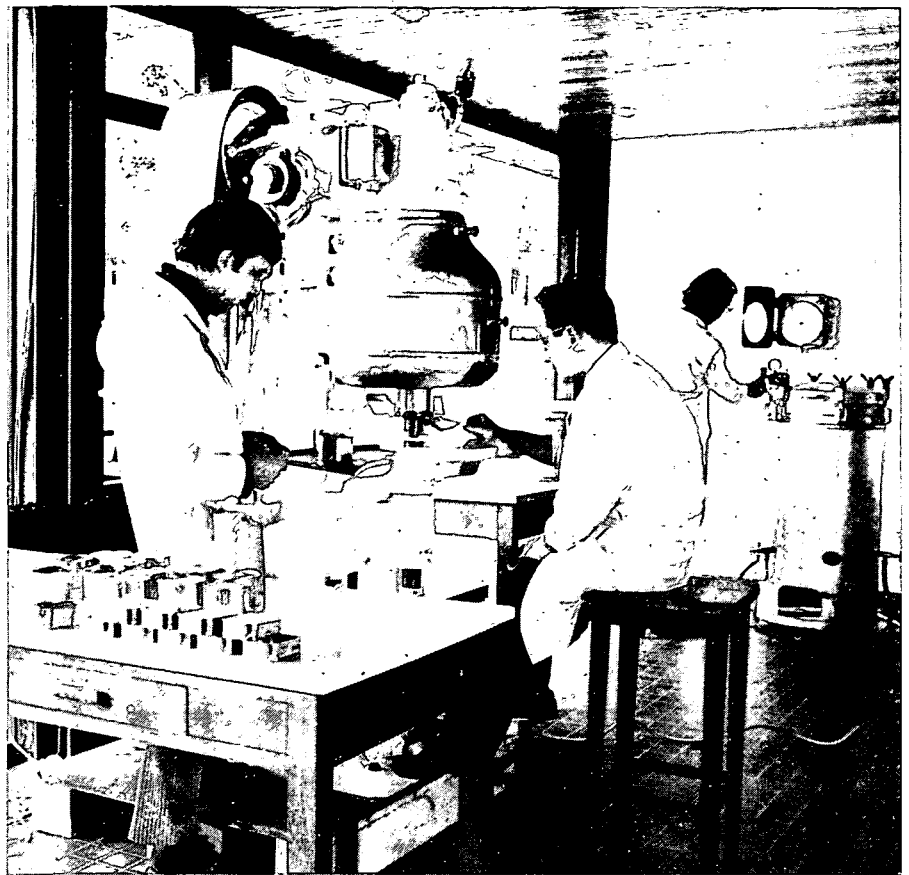
L'achèvement de ce programme, qui implique de nombreux dosages des amines et produits de dégradation des acides aminés, devrait aboutir à l'identification des espèces utilisées, par détermination des composés azotés par électrophorèse, et par chromatographie en phase gazeuse des composés lipidiques.

Des essais de fumaison d'espèces diverses, peu ou pas utilisées à cette fin jusqu'ici, et une étude de la conservation des produits fumés dans diverses conditions d'entreposage sont également entrepris, de même que des recherches sur la mise en conserve hermétique de la roussette pour ne citer que quelques exemples d'applications dans ce domaine.

CONSERVATION DES PRODUITS DE LA MER

En France, si la congélation des produits de la mer n'a pas atteint l'importance qu'elle a dans de nombreux pays, elle s'est cependant beaucoup développée au cours des dernières années, les débarquements de poissons congelés en vrac pour traitement ultérieur en usine atteignant plus de 42 000 t et la production de produits surgelés s'élevant de plus de 23 % entre 1969 et 1970 avec un tonnage de l'ordre de 97 000 t.

Aux appareils de congélation classique, en armoire ou en tunnel, viennent s'ajouter des systèmes en continu ou par unité tandis que d'autres méthodes, par immersion ou aspersion de fluides, sont expérimentées. Parallèlement d'ailleurs des recherches sont faites sur des



Technologie des produits de la pêche.

Une vue de l'atelier d'essais pour la fabrication de conserves de poisson.

procédés de décongélation accélérée, pouvant s'intégrer dans des lignes de fabrication.

En ce qui concerne la congélation, l'I.S.T.P.M. a bénéficié d'une convention avec la D.G.R.S.T. pour l'application des gaz liquéfiés, azote liquide et frigorigène 12, et deux prototypes sont construits ou en cours de l'être, ce programme s'accompagnant d'une étude sur la microstructure cellulaire des produits traités.

Quant à la décongélation, elle a aussi fait l'objet d'une convention avec la D.G.R.S.T., pour la construction d'un appareil expérimental basé sur le principe du chauffage par pertes diélectriques et travaillant à la fréquence de 35 MHz. Ce

matériel est maintenant utilisé, conjointement avec la congélation à l'azote liquide, afin d'examiner l'effet de méthodes aussi extrêmes sur les produits traités. Cette étude sera reprise avec l'expérimentation du chauffage par micro-ondes (2 450 MHz) qui peut, dans certains cas, conduire à une décongélation encore plus rapide.

Les échanges thermiques, au niveau de l'emballage, font également l'objet d'une recherche qui porte sur la vitesse de la congélation en fonction de la nature des matériaux utilisés. Elle se prolonge par des travaux sur la qualité des produits en fonction de la déshydratation qu'ils subissent pendant la congélation et l'entreposage.

POLLUTIONS

Par sa vocation très particulière l'I.S.T.P.M. a toujours porté une grande attention au problème des pollutions dans le cadre des études et des contrôles concernant la conchyliculture et la salubrité des établissements de pêche.

Surtout bactériologiques au début ces études sont maintenant orientées vers la détection des diverses sources de pollutions, qu'elles soient dues à l'industrialisation, à la protection de l'agriculture ou au développement de l'urbanisation littorale, et elles portent sur cinq types de polluants : bactéries, détergents, pétroles, pesticides et métaux lourds.

Sur le plan de la salubrité des coquillages, des bassins d'épuration, par le chlore ou l'ozone, ont été créés et, si une vingtaine fonctionnent actuellement, les études se poursuivent afin d'adapter le schéma de principe de ces stations aux conditions locales et aux produits qu'elles devront traiter dans le cadre de nouvelles implantations.

Par ailleurs, complétant les résultats obtenus par l'analyse bactériologique, la recherche des détergents anioniques a été entreprise, afin de mieux cerner le problème des pollutions d'origine urbaine dans les eaux côtières. Une enquête est en cours, financée par le C.N.E.X.O., afin de faire le point de l'état actuel de ce type de pollution, mais elle devrait se prolonger par des travaux sur ses conséquences biologiques, aux divers niveaux de la chaîne alimentaire, et sur le devenir des détergents, leur fixation et la toxicité de leurs produits de dégradation.

En ce qui concerne les pollutions pétrolières, une sélection des produits anti-pétrole, par ordre d'efficacité et de moindre nocivité, a été faite à la demande de la Marine marchande mais, là encore, d'importantes études sont nécessaires sur la

dégradation des pétroles en milieu naturel et leur effet sur la faune.

Quant aux pesticides et aux métaux lourds, dont la présence est de plus en plus fréquemment signalée chez les animaux marins, les organo-chlorés et le mercure en particulier, de très nombreuses mesures sont nécessaires afin de déterminer la distribution et l'importance de ces polluants.

Leur effet peut être particulièrement grave si l'on songe que des accidents dus au mercure ont déjà été constatés chez l'homme dans certains pays, comme au Japon en 1953 et en 1965, et que la pêche de l'espadon a été interdite en Amérique du Nord, la présence d'un taux supérieur aux normes admises ayant été relevée chez ce poisson.

Il n'est certainement pas nécessaire de s'étendre sur ce sujet, auquel l'opinion publique est maintenant très sensibilisée, mais il importe de souligner la complexité et l'ampleur des études qu'il suscite.

Bien qu'entreprises dans le cadre national, ces recherches doivent permettre une participation au programme d'étude des pollutions dans la mer du Nord, choisie comme zone test pour une action coordonnée par le Conseil international pour l'Exploration de la Mer. La forte densité du peuplement des pays riverains de cette mer, leur très grande industrialisation et l'importance des quantités de substances polluantes apportées par les cours d'eau et par l'atmosphère, en font une région particulièrement bien désignée pour une étude globale des phénomènes de pollution, mais aussi de leurs effets sur les ressources vivantes des océans.

L'absorption et l'accumulation par les organismes marins de certains

polluants peut en effet conduire à des conséquences désastreuses et l'évolution technologique ne peut qu'entraîner la création de nouvelles substances, qui s'ajouteront à celles déjà connues, aggravant rapidement la situation si un système de détection et de prévision n'est pas rapidement mis en place. Tout ceci suppose l'élaboration de méthodes d'analyses normalisées d'identification et de dosage quantitatif, la recherche d'organismes indicateurs des pollutions, l'étude des processus de diffusion en mer ainsi que des phénomènes d'absorption et d'adsorption dans les sédiments, et enfin des travaux sur l'accumulation de ces substances dans les organismes vivants et sur l'effet qu'elles peuvent avoir sur la croissance, la reproduction et le comportement des animaux et, au dernier stade, sur l'homme.

Bien que ne couvrant malheureusement pas l'ensemble de ces questions plusieurs programmes ont été lancés qui permettront de contribuer à ces études et d'en suivre l'évolution sur le plan national. Le premier concerne l'influence des polluants sur la productivité marine dans l'étang de Thau et dans le bassin de Marennes-Oléron; le second est consacré à la recherche des détergents anioniques et de leurs produits de dégradation dans les estuaires de la Seine, de la Loire et de la Charente ainsi qu'en rade de Brest et au large de Marseille; un troisième a été entrepris sur la contamination par le mercure et son dosage chez les poissons à partir de prélèvements bien identifiés effectués par les navires de l'Institut; le dernier enfin concerne la poursuite des travaux en vue de tester l'efficacité des produits anti-pétroles mis sur le marché et sélectionner les plus aptes à lutter contre les nappes répandues en mer, mais aussi les plus inoffensifs pour la faune marine.

LA RECHERCHE ET SON EXTENSION SUR LE PLAN INTERNATIONAL

La brève revue descriptive des actions engagées à l'Institut des Pêches montre la variété des techniques de recherches nécessaires et l'importance des implications technologiques qui en découlent. Il faut en effet disposer d'une part de navires de recherches dotés non seulement d'équipements scientifiques, mais également de moyens de pêche et de conservation analogues à ceux des navires industriels et, d'autre part, de laboratoires de recherches et d'ateliers de technologie et d'essais capables d'entreprendre des travaux dans des domaines parfois extrêmement spécialisés et avec des moyens suffisamment souples pour s'adapter à l'évolution rapide de la recherche et de l'industrie.

Il faut également pouvoir intervenir, comme nous l'avons vu, à tous les stades de l'industrie des pêches, du stade des ressources proprement dites, afin d'en assurer une meilleure gestion et de conserver l'intégrité du milieu marin, jusqu'à celui de la production alimentaire, dont la variété et la qualité constituent les impératifs majeurs.

Ceci doit se faire en liaison étroite avec les administrations et professions intéressées mais aussi en collaboration constante avec de nombreux organismes internationaux, comme dans le cadre général du programme élargi à long terme de recherches océanographiques élaboré par la Commission océanographique intergouvernementale, ou dans le cadre plus concret des actions en commun et des programmes coordonnés qui s'établissent chaque année lors des sessions statutaires du Conseil international pour l'Exploration de la Mer ou de la Commission générale des Pêches pour la Méditerranée. Ceci peut se faire également lors des réunions des groupes de travail qu'établissent ces organisations pour exploiter les

données de la recherche et répondre aux questions précises que posent certaines commissions plus particulièrement chargées de réglementer l'exercice de la pêche.

Parmi ces commissions, au travail desquelles il convient de participer, on peut citer celle des Pêcheries du Nord-Est Atlantique (N.E.A.F.C.) et du Nord-Ouest Atlantique (I.C.N.A.F.) ainsi que la Commission internationale pour la conservation des thonidés atlantiques (I.C.C.A.T.).

Mais si ces agences intéressent plus particulièrement les biologistes et les océanographes, les technologues ont également à contribuer aux travaux d'organismes chargés de l'établissement du codex alimentaire et des codes d'usages, tels que le Comité-mixte O.A.A./O.M.S. ou la C.E.E., ou responsables d'accords sanitaires multilatéraux ou bilatéraux comme ceux qui s'ébauchent pour le contrôle des pollutions ou qui existent déjà pour le contrôle sanitaire des coquillages.

Il est en effet évident que l'océan est un domaine de choix pour une collaboration internationale, tant du fait de l'intérêt économique que représentent les pêcheries qui s'y sont développées, que de la difficulté d'aborder l'étude des problèmes de tous ordres et de toutes disciplines que soulève la recherche océanographique.

Ceci tient à l'importance et au coût des moyens dont il faut disposer pour entreprendre l'étude de zones océaniques extrêmement vastes et saisir le mécanisme des processus physico-chimiques ou biologiques qui s'y déroulent, les liens qui les unissent et les facteurs qui conditionnent finalement la productivité marine.

Par ailleurs il est certain que si quelques pêcheries dépendent de stocks unitaires bien définis et font leur cycle biologique dans un secteur limité, d'autres stocks au contraire

ont des aires de dispersion beaucoup plus vastes ou établissent entre eux des échanges par des migrations de plus ou moins grande amplitude, entre l'Islande et l'Ouest du Groenland par exemple pour la morue, entre la côte Est des États Unis et le golfe de Gascogne pour le thon rouge.

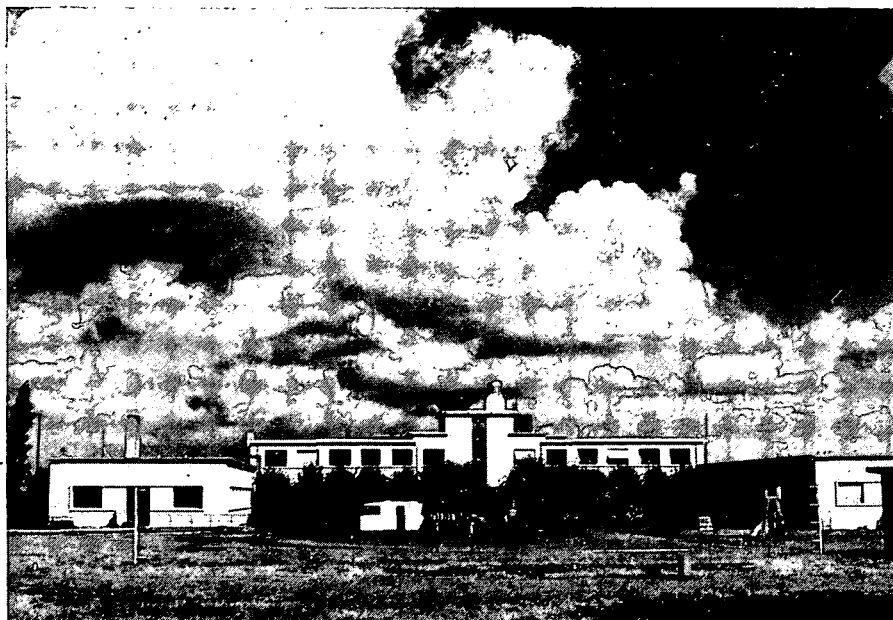
La mobilité de plus en plus grande de certaines flottes de pêche, capables maintenant de se déplacer rapidement de la mer de Barentz au Labrador selon les renseignements qui leur parviennent, étend encore le problème et conduit à répartir les tâches entre Instituts, à normaliser les observations et à confronter régulièrement les résultats obtenus.

L'extension des échanges commerciaux internationaux ne peut être non plus négligée, ni les impératifs de normalisation de nomenclature, de présentation et de qualité qui en découlent.

Si sur le plan national il est de bonne politique de centraliser le plus possible, dans un même Institut, les recherches concernant un domaine d'activités bien définies, d'en accroître l'efficacité et d'éviter le double emploi, sur le plan international il importe de coordonner l'effort de ces Instituts et de l'orienter vers des programmes complémentaires ou des exercices en commun, soit afin d'aborder les divers aspects d'une même question, soit afin d'entreprendre des études à grande échelle que seul le rassemblement de nombreux navires ou d'équipes spécialisées peut permettre.

C'est une prolongation de l'effort accompli sur le plan national, mais c'est également un moyen de le valoriser car, si la multiplicité des demandes émanant des organismes internationaux ne peut toujours être satisfaite, celles qui peuvent l'être élargissent le cadre de la recherche et sont une source d'expériences extrêmement profitables.

●
**LA
RECHERCHE
EN
METEOROLOGIE**
●



*Établissement d'Études et de Recherches Météorologiques (E.E.R.M.).
Laboratoires du Centre de Recherches Expérimentales et Instrumentales (C.R.E.I.)
de Magny-les-Hameaux.*

Nous allons essayer de présenter la manière dont est conçue la Recherche dans l'Établissement d'Études et de Recherches Météorologiques (E.E.R.M.) de la Météorologie Nationale et de souligner les problèmes les plus caractéristiques de notre domaine.

Il faut tout d'abord souligner la complexité des phénomènes météorologiques et les problèmes de choix qui se posent dans la recherche météorologique. Les motivations qui nous poussent à entreprendre une recherche sont de plusieurs types. Tout d'abord les motivations internes pour l'amélioration des techniques existantes, pour la saisie de l'information et pour la prévision. Puis les motivations externes de réponse à un besoin exprimé par des utilisateurs (par ex. l'Agriculture) ou demandé par l'État (par ex. les Avalanches). Une autre motivation trouve son origine dans la complexité même

des phénomènes météorologiques. Nous devons essayer d'utiliser les techniques les plus évoluées, et chaque fois qu'une technique nouvelle fait son apparition, nous demander quel peut être l'apport de cette technique au domaine météorologique.

Un inconvénient important réside dans le fait qu'afin de pouvoir répondre à cette question il faut développer un « mode d'emploi » de cette technique adapté aux besoins météorologiques.

Par exemple, pour les ordinateurs où la question de l'utilité ne se pose plus, il a fallu développer des méthodes de résolution numérique des systèmes d'équations représentant les phénomènes météorologiques. Et la recherche en météorologie devient en certains cas une recherche visant à améliorer l'outil que l'on utilise. Une autre direction concernant les ordinateurs, et dont la responsabilité a été prise en dehors de l'E.E.R.M. par

le Centre de Traitement de l'Information de la M.N., a été de modifier le système standard fourni par C.D.C. pour ses ordinateurs C.D.C. 6 400, afin de parvenir à un système plus adapté à la Météorologie.

Les ordinateurs ont pris une importance considérable en Météorologie. Leur succès, qui pour nous est celui des méthodes numériques en Météorologie vient du fait que contrairement à ce qui se passe pour la plupart des phénomènes étudiés en physique dans notre cas, il est impossible de monter une expérience et de la répéter sur un problème météorologique. Nous ne pouvons observer que ce qui existe déjà et d'autre part, au moins à l'échelle planétaire et à l'échelle moyenne, aucune simulation physique ne peut représenter correctement les phénomènes réels. On est donc amené à se servir du calculateur comme d'un laboratoire, c'est-à-dire que l'on résout numériquement un système d'équation correspondant à un modèle, le domaine est divisé en un certain nombre de sous-domaines, et le comportement

de chacun d'entre eux est représenté par une seule valeur de chacun des paramètres (par exemple une vitesse moyenne ou une température moyenne pour le sous-domaine considéré). Dans une telle approche chaque mouvement du fluide est calculé et donc la complexité des modèles fait que l'on arrive rapidement à saturation avec les calculateurs actuels. La résolution numérique de certains problèmes, convection par exemple, ne sera possible, dans l'état actuel des connaissances, que lorsque nous pourrons disposer de la prochaine génération de calculateurs. On espère que les résultats des calculs représentent bien les propriétés du modèle étudié, c'est-à-dire que la méthode de résolution des équations est bonne ce qui est parfois difficile à tester.

Une autre possibilité pour simuler l'atmosphère réside dans l'utilisation de veines hydrauliques ou aérienne. La première solution a été adoptée à Magny les Hameaux pour l'étude de problèmes locaux avec application à la pollution.

Un autre exemple d'outil mis à la disposition de la Météorologie est le satellite dont il est question par ailleurs.

La motivation suivante en matière de recherche est naturellement de se demander s'il n'est pas utile de développer nous-mêmes ces techniques nouvelles. Ceci pourra nous amener par exemple à transformer un laser déjà existant en lidar pour l'observation des mouvements à petite échelle. Dans un autre cadre on peut se demander si nous n'aurions pas intérêt à développer certaines méthodes mathématiques pour lesquelles nous serions les principaux utilisateurs au moins dans un avenir immédiat. L'étendue et la difficulté de telles recherches purement théoriques ont fait que nous préférons nous tourner vers une recherche dont les applications sont possibles à plus brève échéance.

G. C. BAHLOUL

*Ingénieur de la Météorologie
Adjoint au directeur de l'E.E.R.M.*

LA MÉTÉOROLOGIE SPATIALE DANS SES ASPECTS RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT

L'acte de naissance de la météorologie spatiale porte la date de 1960, l'année qui a vu le lancement du premier satellite spécialisé en météorologie : Tiros 1 (U.S.A.).

Depuis lors, au cours d'une décennie singulièrement active, la météorologie spatiale a su atteindre le stade de la maturité, et se poser en discipline scientifique et technique à part entière, sans perdre pour autant le dynamisme de la première jeunesse.

Quel est, aujourd'hui, son avenir; quelles sont ses nouvelles voies de recherche et de développement ? Ce sera l'objet de la courte présentation qui va suivre.

DES SATELLITES PLUS PERFORMANTS

Au départ, il y a le satellite météorologique, c'est-à-dire, essentiellement, un œil électronique, doué d'une sensibilité et d'un pouvoir séparateur déjà très supérieurs à ceux de l'œil humain, mais disposant surtout d'un registre spectral plus étendu.

Et c'est précisément cette qualité que l'on utilise, en profitant du fait que chaque domaine de longueur d'ondes, possédant ses caractéristiques radiométriques propres, donne accès à un renseignement différent sur l'atmosphère.

On connaît bien les photographies de nuages, obtenues en captant le rayonnement terrestre « visible » (qui n'est pas autre chose, en réalité, que la réflexion du rayonnement du soleil).

En deçà du visible, l'ultra-violet renseigne sur l'ozone et sa répartition dans la stratosphère.

Au-delà du visible, l'infra-rouge constitue, par excellence, un indicateur thermique, soit qu'il fournisse



*Image obtenue par balayage radiométrique
(réception au C.E.M.S. de Lannion).*

directement l'énergie radiative transmise, élément du bilan radiatif terrestre, soit qu'on le traduise en termes de température, température de surface (ou « de peau ») et température dans l'épaisseur atmosphérique.

L'infra-rouge exploré — c'est chose faite —, on s'oriente désormais vers les micro-ondes, très exactement : les ondes radio-électriques, qui ont la particularité de traverser les nuages — ce qui est interdit à l'infra-rouge — et de recueillir au passage une information sur leur contenu.

Les nuages, c'est, aussi bien, l'eau de l'atmosphère, c'est-à-dire un élément essentiel de notre environnement. Un projet de satellite de la Météorologie Nationale (projet Hirondelle) vise précisément à détecter cette eau, « stagnante » ou précipitante, en jouant à la fois sur l'atténuation et la polarisation de rayonnement micro-onde sortant.

Un sous-produit de cette mesure pourra être l'évaluation de l'état de

surface de la mer, qui influence notablement l'émission micro-onde. Cet état de surface lui-même devrait pouvoir se déduire de l'analyse statistique de la photométrie des « points brillants » qui apparaissent dans la tâche de réflexion du soleil sur l'océan : c'est le thème d'un autre projet de la Météorologie Nationale (projet Albatros).

Et puisque l'on vient d'évoquer deux projets DMN, citons pour être complet, deux autres projets de satellites du même organisme : Toukan, satellite tropical voué au repérage des cyclones; Condor, également satellite tropical, consacré à la détection des orages, à partir de la luminosité des éclairs.

Cependant, les techniques radiométriques ne permettent pas de tout savoir sur l'état de l'atmosphère; il est des indications qu'on ne peut espérer obtenir autrement que par le moyen classique de capteurs immergés « in situ ». Le satellite intervient alors pour interroger ces capteurs et collecter leurs mesures. Un satellite météorologique fran-

çais, Éole, lancé par le C.N.E.S. en 1971, exploite à titre expérimental cette formule, qui est promise à un avenir important dans le cadre très général de la « collecte de données ». On prévoit ainsi une participation française au satellite américain de collecte de données Tiros N.

Un autre aspect du satellite météorologique est, en parallèle avec sa fonction « sensorielle », sa fonction télécommunications, qui se rapporte de manière générale à la distribution de l'information météorologique, captée à bord ou relayée depuis les stations au sol. Les besoins dans ce domaine sont si considérables que l'on étudie actuellement, en particulier avec l'Esro, la possibilité d'effectuer des relais dits « espace-espace », c'est-à-dire de satellite à satellite, de manière à profiter le mieux possible de la géométrie orbitale jumelée du satellite à orbite basse (qui « passe partout », mais de manière seulement épisodique) et du satellite géostationnaire (qui couvre en permanence une zone géographique étendue).

UNE MEILLEURE UTILISATION OPÉRATIONNELLE ET SCIENTIFIQUE DES DONNÉES RECUEILLIES

Le satellite-œil recueille une certaine énergie de rayonnement terrestre. Comment remonter de ce rayonnement au paramètre météorologique générateur? C'est un problème physique difficile en soi, et qui se complique du fait que l'atmosphère intègre, sur tout le parcours du « rayon » satellite-cible, des effets d'atténuation et de déformation variés.

Pour résoudre ce problème, on met au point diverses techniques dites d'inversion, où l'itération mathématique est pilotée par la statistique proprement météorologique. On parvient ainsi à extraire, de la donnée infra-rouge, le profil vertical des températures de l'atmosphère, ce qui est très exactement l'objet du radiosondage conventionnel. Le

satellite ne permet certes pas une aussi bonne « résolution » verticale que celui-ci, mais il est, par contre, inégalable lorsque l'on s'intéresse globalement au champ horizontal des températures.

En marge, ou en sous-produit de telles opérations, il faut noter que la radiométrie infra-rouge satellitaire fournit de manière semi-directe la température de surface de la mer, avec une précision capable de satisfaire non seulement les météorologistes mais aussi les pêcheurs, qui demandent ce renseignement pour localiser l'habitat — mobile — de certains types de poissons.

Un autre type de problème d'inversion se trouve posé par l'« extraction » du vecteur-vent à partir du

déplacement des nuages, tels que peut les saisir un satellite géostationnaire, installé à poste fixe à 36 000 km au-dessus de l'Équateur.

Vent, température et aussi humidité, ou teneur en eau, sont les éléments que réclament les analystes « synopticiens » pour faire fonctionner leurs modèles d'évolution numérique de l'atmosphère. Ainsi le satellite devient-il progressivement le pourvoyeur de données indispensables à la prévision.

Mais son rôle — peut-être d'égale importance pratique — est aussi de signaler « en temps réel » les conditions météorologiques du moment, et particulièrement les phénomènes dangereux. C'est ainsi que le repérage des cyclones, devenu systéma-

tique depuis l'entrée en scène des satellites, a constitué un énorme progrès pour beaucoup de pays du tiers monde, exposés sans beaucoup de défenses à ce cataclysme naturel.

En parallèle avec ces aspects opérationnels, de nouvelles voies de recherche sont ouvertes : les météorologistes français, en particulier, ont su mettre en évidence grâce au satellite la naissance des cyclones tropicaux atlantiques sur le conti-

ment africain lui-même. En étudiant les conditions de cette genèse, on ouvre la porte à cette grande espérance : maîtriser le phénomène dans sa phase de prime jeunesse, et littéralement le tuer « dans l'œuf », par des moyens physico-chimiques appropriés.

La vision du satellite permet de s'intéresser, plus généralement, aux conditions de formation du tourbillon, pièce maîtresse de la circulation

atmosphérique, donc du problème de la prévision.

Et aussi, dans un domaine connexe, à la manière dont l'eau atmosphérique se concentre et se résoud en pluie : ce thème, très important pour les applications pratiques (agriculture, hydrologie), fait l'objet d'une expérimentation franco-américaine (D.M.N. et N.A.S.A.) prévue sur le premier laboratoire orbital habité Skylab.

UN OUTIL D'INVESTIGATION NOUVEAU : LE SUBSATELLITE

A côté de ses qualités plus haut décrites, le satellite présente deux infirmités sérieuses : une résolution géographique limitée; une permanence de l'observation non assurée, du moins en configuration à orbite basse.

On s'est proposé, en France, de pallier ces insuffisances en mettant en place des plates-formes d'observation (et de relais hertzien) stationnaires à un niveau élevé de l'atmosphère, et capables, à ce poste, de remplir — en homothétie, c'est-à-

dire à échelle géographique plus réduite — les fonctions mêmes du satellite (d'où le néologisme de subsatellite, de plus en plus couramment utilisé).

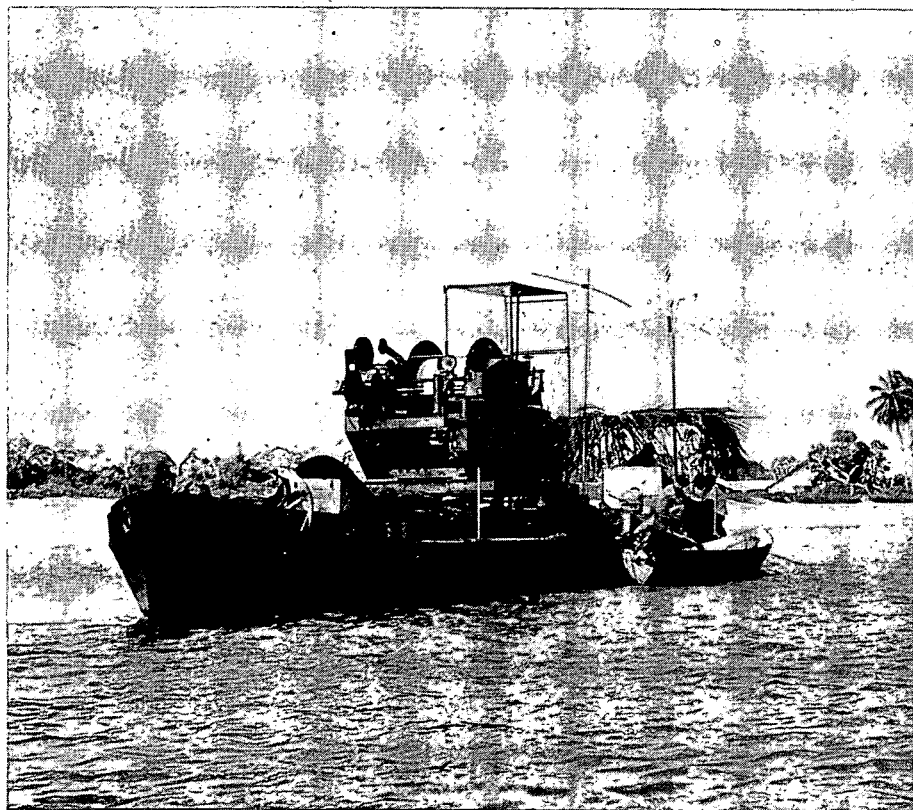
La solution technique du problème ainsi posé utilise le ballon, ou plus exactement la structure gonflable, comme élément de stabilisation en altitude. Ce ballon est, à son tour, maintenu fixe en compensant la dérive due au vent par une motorisation soit à bord, soit sur un engin tracteur assujéti au ballon par un câble de retenue.

Ces diverses formules sont expérimentées dans le cadre d'un programme DMN baptisé Essor (Étude des SubSatellites d'Observation et de Relais). La dernière formule citée (système « captif ») a fait l'objet d'essais en vraie grandeur, qui ont permis d'atteindre la stratosphère (altitude 18 km en Guyane, octobre 71).

L'intérêt du subsatellite, véritable substitut du satellite dans les applications de caractère régional ou local, déborde en réalité le seul domaine de la météorologie, et s'étend aux télécommunications, à la diffusion de programmes TV, à la collecte et localisation d'appels de détresse (Essor — SOS) etc.

A. VILLEVIEILLE

Ingenieur en chef de la Météorologie
Chef de la section
météorologie spatiale à l'E.E.R.M.



Contrôle sol en phase de stationnarité
(Vol Essor à 18 km d'altitude, Guyane 21 octobre 1971)

RECHERCHES EN PRÉVISION MÉTÉOROLOGIQUE

C'est vers 1950 que, pour la première fois, une prévision fut réalisée avec succès en appliquant à l'atmosphère les lois de la mécanique; la prévision météorologique devenait ainsi la résolution d'un problème d'évolution dont les conditions initiales sont fournies par le réseau mondial d'observations.

Cette première prévision ne portait que sur l'évolution générale du flux en altitude au milieu de l'atmosphère et l'échéance de la prévision n'était que 24 heures : cependant il avait fallu attendre l'apparition des calculateurs électroniques pour tenter cette première expérience, par suite de la masse énorme de calculs à effectuer.

Depuis, les recherches en prévision numérique, disposant de l'indispensable moyen de calcul, ont pu se développer dans le but d'accroître la précision et le champ d'application des prévisions à courte échéance et d'atteindre des échéances plus longues.

La prévision météorologique opérationnelle dispose maintenant de modèles de prévision opérant sur une grande partie de l'hémisphère nord, capables de donner à plusieurs niveaux les grands traits de la circulation atmosphérique jusqu'à 48 heures (vents, températures) et une indication de l'évolution moyenne de l'atmosphère jusqu'à 4 à 5 jours, limite au-delà de laquelle les prévisions, trop imprécises, ne sont en général plus utilisables. Pour améliorer cette situation trois pro-

jets de recherche ont été entrepris à la Météorologie Nationale.

Un des facteurs limitant la précision des prévisions est, certes encore, l'insuffisance du réseau mondial d'observations : le projet de la Veille Météorologique Mondiale, organisée par l'O.M.M. (Organisation Météorologique Mondiale) s'efforce d'y remédier. Si cette cause d'erreurs n'existait plus, différentes expériences effectuées dans le monde ont montré que, théoriquement, on pouvait espérer construire des modèles de prévision valables jusqu'à une quinzaine de jours à condition qu'ils opèrent sur la terre entière. Encore faut-il disposer de techniques de calcul permettant de réaliser avec le minimum d'erreurs numériques les très longues intégrations dans le temps nécessaire à la prévision à longue échéance. C'est une des raisons pour lesquelles les méthodes spectrales de représentation des champs météorologiques sur la sphère sont développées à la Météorologie Nationale. Cette technique permet également d'analyser les fluctuations des très grands mouvements de l'atmosphère et d'étudier les possibilités de prévision au-delà de cette limite d'une quinzaine de jours.

Un problème très important dans la mécanique de l'atmosphère, qui conditionne également l'amélioration de la qualité des prévisions est celui de l'interaction des mouvements de différentes échelles. Il n'est pas possible, même avec les calcu-

lateurs les plus puissants, de décrire explicitement tous les mouvements de l'atmosphère, aussi petits soient-ils. Les prévisions détaillées ne peuvent porter que sur des phénomènes suffisamment importants, d'étendue géographique supérieure à la centaine de kilomètres, limite qu'on s'efforce d'ailleurs d'abaisser, à mesure que les moyens de calcul plus puissants deviennent disponibles. Les mouvements plus petits sont néanmoins importants, car ils agissent sur l'évolution des plus grands et leurs conséquences économiques peuvent être très importantes (orages et tornades par exemple).

Une prise en compte statistique de ces mouvements est nécessaire et c'est une mécanique adaptée à l'atmosphère qui doit être créée, la mécanique des fluides classique ayant de trop sévères limitations. Une équipe travaillant sur ce sujet a déjà obtenu des résultats suffisamment généraux pour que les applications envisagées touchent à la fois les modèles de prévision à grande échelle, mais aussi la détermination des conditions météorologiques locales, parmi lesquelles la pollution atmosphérique dans les grands centres urbains.

Le troisième projet entrepris à la Météorologie Nationale porte sur la prévision à courte échéance dont la prévision doit être améliorée pour satisfaire les besoins de plus en plus nombreux des utilisateurs de prévisions météorologiques. Il s'agit de prévoir de façon plus précise les paramètres comme le vent ou la

température, près du sol et en altitude, dont une prévision est déjà fournie par les modèles actuels, mais de prévoir aussi de nouveaux paramètres comme les précipitations qui ne sont prévues jusqu'à présent, le plus souvent, que subjectivement. Ceci n'est possible que par un accroissement de la finesse de la représentation des champs météorologiques et de la paramétrisation des différents facteurs physiques. Les résultats obtenus par le modèle de prévision mis au point ont été suffisamment concluants pour qu'une utilisation opérationnelle soit envisagée dans un bref avenir.

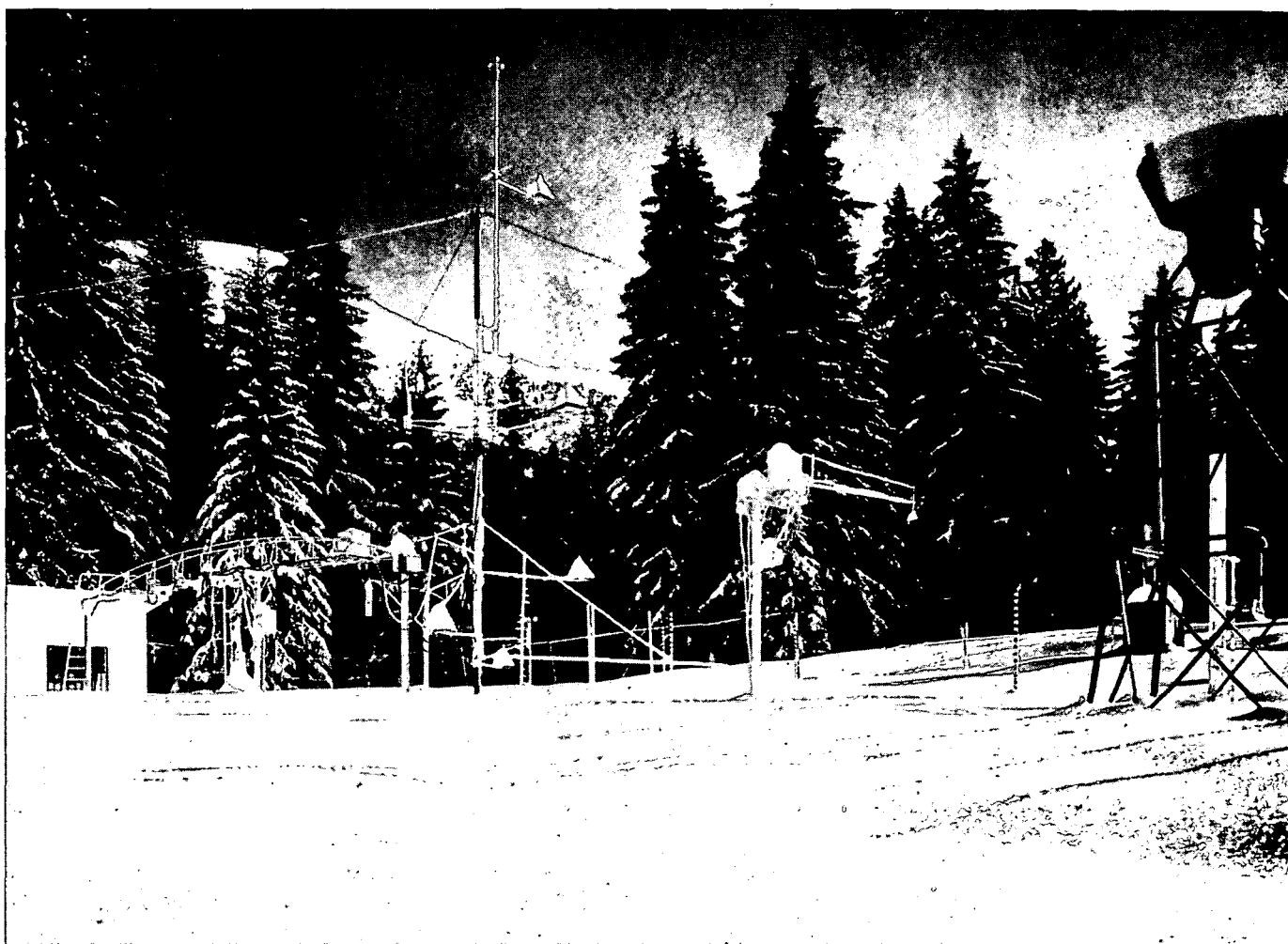
C'est donc à la fois vers l'amélioration de la finesse des prévisions et l'extension de l'échéance de leur validité que portent les efforts de recherche en prévision météorologique. Dans ce but, on l'a vu, une recherche fondamentale est nécessaire, en même temps qu'une amélioration des techniques et des moyens de calcul. Ce sont là des conditions indispensables à la réalisation d'un objectif aux conséquences économiques considérables : la réalisation de prévision à une dizaine de jours d'une précision comparable à ce qu'est aujourd'hui la prévision à 24 heures.

A la lumière des recherches effectuées jusqu'à présent, il semble que cet objectif pourrait être atteint; et ceci, d'autant plus rapidement que les développements des recherches en prévision numérique s'intensifient parallèlement à ceux, plus spectaculaires et généralement plus connus, des techniques d'observation de l'atmosphère.

D. ROUSSEAU.

*Ingénieur de la météorologie
Chef de la section prévisions numériques
à l'E.E.R.M.*

LE CENTRE D'ÉTUDES DE LA NEIGE



Centre d'études de la neige (laboratoire du col de Porte).

Le Centre d'Études de la Neige (C.E.N.) a été créé en 1958 par la Météorologie Nationale, Établissement d'Études et de Recherches Météorologiques; l'Hydrométéorologie de l'E.D.F. et la division « Nivologie » du C.E.R.A.F.E.R., ministère de l'Agriculture ont collaboré à cette création.

Les buts poursuivis dès cette époque étaient la connaissance de l'évolution physique de la neige sous l'effet des différents paramètres météorologiques.

Un laboratoire fut créé à cet effet au Col-de-Porte (1 325 m) dans le massif de la Chartreuse; ce massif est réputé pour sa pluviosité et les conditions locales d'enneigement permettent son étude continue pendant 4 à 5 mois tous les hivers.

Plus récemment un nouveau laboratoire a été construit à la Croix-de-Chamrousse (2 250 m) afin d'étudier la neige dans les conditions propres à la haute montagne.

L'étude de l'évolution de la neige nécessite une connaissance continue de la valeur des différents paramètres météorologiques; c'est ainsi qu'au Col-de-Porte les mesures suivantes sont enregistrées et traitées :

- la température dans le sol, la neige et l'air
- le vent à quatre niveaux différents
- les précipitations liquides et solides
- l'humidité sous abri
- la valeur en eau du manteau neigeux
- l'écoulement de l'eau de fonte
- le rayonnement global incident et réfléchi
- le tassement de la neige

Les conditions extrêmement dures à la Croix-de-Chamrousse, dues surtout au givrage auquel sont exposés les différents capteurs, n'ont pas encore permis d'effectuer toutes les mesures qui sont réalisées au Col-de-Porte.

Ces mesures sont enregistrées en continu pendant tout l'hiver; parallèlement des investigations sont faites dans le manteau neigeux comme : la résistance que la neige oppose à la pénétration d'une sonde de battage, les profils stratigraphiques, le profil de la valeur en eau des différentes couches, la percolation de l'eau liquide, la rétention d'eau liquide, l'analyse des cristaux, etc.

Depuis l'hiver 1969/1970 le C.E.N. a aussi été chargé de la prévision du risque d'avalanches dans les Alpes, et il fournit depuis cet hiver, au centre météorologique principal de Toulouse-Blagnac, des éléments sur la stabilité de la neige dans les Pyrénées.

Plus d'une trentaine de postes d'observation ont été créés dans les Alpes et une vingtaine dans les Pyrénées; ces postes transmettent au centre auquel ils sont rattachés (Saint-Martin d'Hères pour les Alpes et Toulouse-Blagnac pour les Pyrénées) des informations météorologiques et nivologiques. Une fois par semaine ces observateurs qui ont été spécialement formés au cours de stages organisés dans les Alpes et les Pyrénées, déterminent la résistance de la neige par battage, et décrivent la stratigraphie et la cristallographie de la couche de neige en place.

Ces informations sont traitées par le C.E.N. afin d'élaborer un avis technique sur la stabilité de la couche en place. Ces avis sont complétés par une prévision météorologique élaborée par les services de prévision du S.M.M. (Service Météorologique Métropolitain) pour les 48 ou 72 heures à venir; ils sont diffusés trois fois par semaine aux responsables intéressés des départements alpins et pyrénéens.

Dans tous ces domaines d'activité du C.E.N. la recherche et l'étude restent continues :

- par l'utilisation et l'adaptation de technologie nouvelle aux mesures dans la neige,
- par l'élaboration de modèles mathématiques traitant l'évolution physique de la neige,
- par le traitement et le stockage des données recueillies.

L. MEYER.

*Ingénieur divisionnaire des travaux météorologiques
Chef du C.E.N.*

Adresses utiles

- CEBTP** — Centre Expérimental de Recherche et d'Études du Bâtiment et des Travaux Publics. 12, rue Brancion, Paris-15^e. Tél. : 532-21-69.
- CEMP** — Centre d'Études des Matières Plastiques. 21, rue Pinel, Paris-13^e. Tél. : 707-65-59.
- CENA** — Centre d'Études de la Navigation Aérienne. B.P. 108 — 94-Orly — Aérogare.
- CERIB** — Centre d'Études et de Recherche de l'Industrie du Béton Manufacturé. Zone Industrielle d'Épernon. B.P. 42 — 28-Épernon. Tél. : 483-46-51.
- CERILH** — Centre de Recherche de l'Industrie des Lians Hydrauliques. 23, rue de Cronstadt, Paris-15^e. Tél. : 532-21-69.
- CET** — Centre d'Études des Tunnels. C.E.P.E., 109, chemin Saint-Jean, 69-Lyon-Bron.
- CNET** — Centre National d'Études des Télécommunications. 38-40, rue du Général-Leclerc, 92-Issy-les-Moulineaux. Tél. : 532-40-00.
- CSTB** — Centre Scientifique et Technique du Bâtiment. 4, avenue Recteur-Poincaré, Paris-16^e. Tél. : 288-81-80.
- CTB** — Centre Technique du Bois. 10, avenue de Saint-Mandé, Paris-12^e. Tél. : 344-06-20.
- CTICM** — Centre Technique Industriel de la Construction Métallique, 20, rue Jean-Jaurès, 92-Puteaux. Tél. : 772-05-33.
- CTTB** — Centre Technique des Tuiles et Briques. 200, avenue de la Libération, Clamart.
- DBTPC** — Direction du Bâtiment des Travaux Publics et de la Conjoncture. 35-37, rue Frémicourt, Paris-15^e. Tél. : 566-47-11.
- ENPC** — École Nationale des Ponts et Chaussées. 28, rue des Saints-Pères, Paris-7^e. Tél. : 222-60-20.
- IGN** — Institut Géographique National. 136, rue de Grenelle, Paris-7^e. Tél. : 551-66-62.
- IRT** — Institut de Recherche des Transports. 2, avenue du Général-Malleret-Joinville, 94-Arcueil. Tél. : 655-34-00 et 735-71-50.
- ISTPM** — Institut des Sciences et Techniques des Pêches Maritimes La Noë, route Jonelière, B.P. 1049 44-Nantes. Tél. : (40) 74-99-81.
- LCPC** — Laboratoire Central des Ponts et Chaussées. 58, boulevard Lefebvre, Paris-15^e. Tél. : 532-31-79 et 533-35-97.
- LNH** — Laboratoire National d'Hydraulique. Chatou.
- MN** — Météorologie Nationale. 2, avenue Rapp, Paris-7^e. Tél. : 705-40-70 et 551-37-83.
- ONERA** — Office National d'Études et de Recherche Aérospatiales. 29, avenue de la Division Leclerc, 92-Châtillon. Tél. : 735-21-11.
- ONSER** — Office National de la Sécurité Routière. 2, avenue du Général-Malleret-Joinville, 94-Arcueil. Tél. : 735-71-50.
- SCH** — Service Central Hydraulique, 4, avenue Léon-Bollée, Paris-13^e. Tél. : 588-46-16.
- SETRA** — Service Technique des Routes et Autoroutes. 46, avenue Aristide-Briand, 92-Bagneux. Tél. : 655-42-42 et 50-00.
- SGAC** — Secrétariat Général à l'Aviation Civile. 93, boulevard du Montparnasse, Paris-6^e. Tél. : 548-98-01.
- SGMM** — Secrétariat Général de la Marine Marchande. 3, place de Fontenoy, Paris-7^e. Tél. : 783-40-90.
- SPB** — Service des Phares et Balises. 42, avenue Président-Wilson, Paris-16^e. Tél. : 553-83-04.
- STBA** — Service Technique des Bases aériennes. 246, rue Lecourbe, Paris-15^e. Tél. : 828-34-20.
- STPVN** — Service Technique des Ports et Voies Navigables. 244, boulevard Saint-Germain, Paris-7^e. Tél. : 325-24-63.
- UTAC** — Union Technique de l'Automobile et du Cycle. 157, rue Lecourbe, Paris-15^e. Tél. : 842-53-90.
- UTIFNBTP** — Union Technique Interprofessionnelle des Fédérations Nationales du Bâtiment et des Travaux Publics. 9, rue La Pérouse, Paris-16^e. Tél. : 720-10-20.

