

Revue Trimestrielle Canadienne

Art de l'ingénieur—Economie politique et sociale—Mathématiques
Législation—Histoire—Statistique—Architecture—Sciences
Hygiène—Industrie—Forêts—Finances—Transports.

SOMMAIRE

Pages		
229 —	I. Histoire des Techniques de Guerre.....	Louis BOURGOIN
253 —	II. Les Mathématiques en France au XIX ^e siècle.....	S. MANDELBROJT
259 —	III. La Pipe-Line de Portland à Montréal.....	Paul LEBEL
278 —	IV. Onomastique laurentienne.....	Maurice DANLOUX- DUMESNILS
285 —	V. Le Génie et l'Esprit de l'Homme.....	A. J. DURELLI
295 —	VI. La Géométrie de l'Univers.....	Thomas GREENWOOD
317 —	VII. Le Lancement des Navires.....	Paul-E. SALVAS
329 —	VIII. Revue des Livres.....	
333 —	IX. Vie de l'Association.....	

ASSOCIATION DES DIPLÔMÉS
DE POLYTECHNIQUE
MONTREAL

COMITÉ DE DIRECTION

Président: Monseigneur Olivier MAURAUULT, P.S.S., recteur de l'Université de Montréal.

Membres: MM. Augustin FRIGON, président de la Corporation de l'École Polytechnique.

Armand CIRCÉ, directeur de l'École Polytechnique

Victor DORÉ, surintendant de l'Instruction publique.

L'hon. Léon-Mercier GOUIN, professeur à l'Université de Montréal.

Théo.-J. LAFRENIÈRE, professeur à l'École Polytechnique.

Olivier LEFEBVRE, vice-président, Commission des Eaux courantes.

Édouard MONTPETIT, secrétaire général de l'Université de Montréal.

Antonio PERRAULT, professeur à l'Université de Montréal.

Arthur SURVEYER, ingénieur conseil.

Ivan-E. VALLÉE, sous-ministre, département des Travaux publics de la province de Québec.

Lorenzo BRUNOTTO, bibliothécaire de l'École Polytechnique.

Henri GAUDEFRY, secrétaire de l'Association des Diplômés de Polytechnique.

COMITÉ D'ADMINISTRATION ET DE RÉDACTION

Président: Arthur SURVEYER

Membres: Mgr Olivier MAURAUULT, MM. Édouard MONTPETIT,

Augustin FRIGON, Théo.-J. LAFRENIÈRE, Antonio PERRAULT,

Olivier LEFEBVRE, Hon. Léon-Mercier GOUIN

Rédacteur en chef: Édouard MONTPETIT

Secrétaire: Armand CIRCÉ

Trésorier: Lorenzo BRUNOTTO

PRIX DE L'ABONNEMENT ANNUEL

Le Canada et les États-Unis \$3.00 — Le numéro .75 cents

Tous les autres pays \$4.00 — Le numéro \$1.00

La *Revue Trimestrielle Canadienne* paraît quatre fois l'an: en mars, juin, septembre décembre.

La *Revue* est accessible à la collaboration de tous les publicistes; spécialistes et hommes de profession; mais la Direction n'entend pas par l'insertion des articles assumer la responsabilité des idées émises.

Tous les articles insérés donnent droit à une indemnité calculée par page de texte imprimée ou de graphiques. Les manuscrits ne seront pas rendus.

La reproduction des articles publiés par la *Revue* est autorisée, à la condition de citer la source d'où ces articles proviennent et de faire tenir un exemplaire à la *Revue*.

Il sera rendu compte de tout ouvrage dont il aura été envoyé un exemplaire à la Rédaction.

Adresser toute communication pour les abonnements, publicité, collaboration, etc. directement à —

LA REVUE TRIMESTRIELLE CANADIENNE

Lancaster 9208

MONTREAL

1430, rue Saint-Denis



Voici un oiseau qui n'est pas migrateur..

LA perdrix n'est pas un oiseau migrateur. Elle naît dans les régions sauvages du Québec et reste chez nous.

Nous avons dans la province de Québec un autre actif qui y reste aussi en permanence—l'énergie électrique que l'on tire de la rivière St-Maurice.

Développé ici dans Québec, généré par des ouvriers du Québec, chaque kilowatt tiré du St-Maurice est utilisé dans les confins de la province, à promouvoir l'industrie québécoise.

C'est l'énergie électrique à bon marché, qui ne manque

jamais, qui a rendu Québec célèbre pour sa production de papier, de pulpe, de textiles, de produits chimiques, d'amiante et d'aluminium.

L'énergie électrique à bon marché, a amené beaucoup d'autres industries dans la province et a aidé nos gens à trouver de l'emploi lucratif chez eux.

Toute l'énergie produite et achetée par Shawinigan et ses subsidiaires est employée exclusivement dans la province. Comme la perdrix, les kilowatt heures tirés du St-Maurice sont satisfaits de rester ici.

SHAWINIGAN EN GUERRE

Dès le début des hostilités, la Shawinigan était en mesure de fournir l'énergie électrique qu'il fallait pour rencontrer instantanément les besoins des industries de guerre essentielles qui travaillent aujourd'hui sans arrêt dans la province de Québec.



THE SHAWINIGAN WATER & POWER CO.

De même que Québec sert les Nations Unies, la Shawinigan sert le Québec

Avec
les
compliments
de

MARINE INDUSTRIES LIMITED
ET DE
SOREL INDUSTRIES LIMITED



UN PRODUIT VOLCANO

CHAUDIÈRES À VAPEUR "VOLCANO"



642

● Volcano Limitée
fabrique des chaudières à vapeur
depuis près d'un siècle, à St.
Hyacinthe.

La construction des chaudières d'acier en temps de guerre est limitée aux besoins essentiels. Nous fabriquons des chaudières Volcano pour les industries bénéficiant du droit de priorité, ou qui ont d'abord obtenu un permis spécial. Devis et estimés fournis sur demande, à titre gracieux.

Bureau chef: 1106, Côte Beaver Hall • Montréal • Plat: 8531
Agences dans les principales villes du pays

VOLCANO LIMITÉE

FABRICANTS DE
FOYERS MÉCANIQUES



CHAUDIÈRES
À VAPEUR

FOURNAISES, RÉCHAUDS, ETC.

Appareils

— de —

Laboratoire

PRIX
MODÉRÉS
et
LIVRAISON
PROMPTE



Nous avons toujours en magasin un assortiment complet d'appareils de laboratoire pour l'enseignement des sciences.



Une commande initiale vous convaincra de la haute qualité de notre marchandise.

Fisher Scientific Company Limited



904-910, rue Saint-Jacques
MONTRÉAL

Université de Montréal

École POLYTECHNIQUE

Ecole d'Ingénieurs — Fondée en 1873

Le programme d'études prévoit la formation générale dans toutes les branches du Génie et l'orientation dans les quatre spécialités suivantes :

Mécanique-Électricité

Travaux Publics-Bâtiments

Mines-Métallurgie

Chimie industrielle

Les élèves reçoivent à la fin du cours les diplômes d'Ingénieur et de Bachelier ès Sciences appliquées avec mention de l'option choisie.

**LABORATOIRES D'ANALYSES, DE RECHERCHES
ET D'ESSAIS,
LABORATOIRE PROVINCIAL DES MINES.**

•

Prospectus et Renseignements sur demande.

•

1430, RUE SAINT-DENIS — MONTREAL

L'UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

*Comprend les facultés et écoles
suivantes :*

FACULTÉS

THÉOLOGIE · DROIT
MÉDECINE · PHILOSOPHIE LETTRES
SCIENCES
CHIRURGIE DENTAIRE



ÉCOLES

POLYTECHNIQUE · PHARMACIE
INSTITUT AGRICOLE D'OKA · SCIENCES SOCIALES
ÉCOLE DES HAUTES ÉTUDES COMMERCIALES
OPTOMÉTRIE · MÉDECINE VÉTÉRINAIRE
HYGIÈNE SOCIALE APPLIQUÉE
TOURISME



Pour tous renseignements, s'adresser au

Secrétariat général

1265, rue St-Denis

Montréal

EMPLOYEZ*Le Chlorure de Calcium*
BRUNNER MOND

POUR

- La consolidation de surface des routes de gravier
- La stabilisation des bases des revêtements
- Abattre la poussière ● Contrôler la glace
- Accélération de la prise du béton
- Contrôler la poussière du charbon
- Le remplissage des pneumatiques de tracteurs
- Solution réfrigérante
- Antigél dans les solutions pour barils de prévention d'incendies

Le service technique de Brunner, Mond Canada Sales, Limited a à sa disposition un personnel d'ingénieurs qui peuvent être consultés sans obligation. Si des problèmes particuliers se présentent par rapport avec n'importe lequel des différents usages du chlorure de calcium, et que notre littérature ne couvre pas le sujet dans tous ses détails, nos ingénieurs se feront un plaisir de coopérer avec vous. Vous êtes donc cordialement invités à nous soumettre vos problèmes.

BRUNNER, MOND CANADA SALES, LIMITED
MONTREAL

Revue Trimestrielle Canadienne

MONTRÉAL

SEPTEMBRE 1943

HISTOIRE DES TECHNIQUES DE GUERRE¹

J'ai un peu hésité avant d'arrêter mon choix pour une causerie sur un sujet qui s'apparente avec l'effroyable réalité présente: la guerre. Puis j'ai pensé que l'auditoire que vous formez pouvait parfaitement subir une histoire sommaire des techniques de guerre et que la connaissance des moyens que les hommes emploient pour se détruire ne diminuerait pas votre potentiel d'héroïsme et de courage. L'histoire tout court est assez fournie en faits vaillants qui ont montré que la femme sait être courageuse dans les grands cataclysmes sociaux qui bouleversent trop souvent le monde. Encore aujourd'hui, lorsqu'il faut que chacun joue son rôle, la femme, si elle peut n'avoir pas toujours à sa disposition une force physique totalement égale à celle de l'homme, se montre tout autant pourvue des qualités morales essentielles qui, sans aucun doute, assureront la restauration de la paix dans une civilisation troublée.

Je ne philosopherai pas sur la guerre elle-même, ses raisons bonnes ou mauvaises, acceptables ou odieuses. Je ferai seulement remarquer que le mot *guerre*: lutte à main armée entre les peuples, a pour origine le terme vieux germain: *uerra* signifiant querelle et l'on dit depuis fort longtemps: «querelle d'Allemand» pour signifier que des motifs de discorde ne valent pas grand'chose. Le mot guerre a été latinisé en *guerra* seulement entre 498 et 499.

En vous parlant de l'évolution des techniques qui ont été employées pour faire la guerre, j'espère vous montrer assez bien qu'il ne faut pas confondre la civilisation avec l'homme qui pourtant en est matériellement l'artisan. L'envie, l'avarice, l'orgueil ou la haine, qui sont à l'origine de toutes les guerres, n'ont rien à craindre

¹ Conférence faite à la Société d'études et de conférences de Montréal, le 25 février 1941.

de la civilisation; elle ne semble pas pouvoir extirper à tout jamais ces motifs aux agissements des individus, ou des peuples. Je laisse à d'autres la tâche agréable de vous répéter que seul le Christ a été assez fort dans sa bonté pour humaniser des hommes au point de les rendre un peu meilleurs.

Si nous en avons le temps, notre sujet devrait avoir pour introduction un historique de l'armement. Nous devons nous contenter de quelques indications afin de justifier seulement les différentes périodes que nous serons amenés à considérer dans l'évolution des techniques guerrières. L'*arme*, c'est-à-dire un objet servant à faire la lutte, soit contre les fauves, soit contre d'autres hommes, a été l'instrument le plus ancien fabriqué par le primitif. Elle avait certainement pour objet d'augmenter la force musculaire afin de tuer plus sûrement les grosses bêtes sauvages, on dut s'en servir pour la chasse afin de se procurer une alimentation carnée, puis pour tuer un adversaire lorsqu'il se présentait comme un rival pour la possession de quelque nécessité. Les premières armes furent donc offensives; elles ont précédé de longtemps les armes défensives dont l'apparition témoigne certainement de l'existence des luttes humaines. Les armes offensives se divisent en *armes de choc*, servant dans le combat de contact et en *armes de jet* utilisées à distance, celles-ci ayant dû servir davantage à la chasse étant donné la difficulté d'approcher facilement le gibier. On pourrait épiloguer pour savoir si ce sont les singes qui ont montré aux hommes à lancer des projectiles, en l'espèce des noix de coco, sur leur adversaire, ou si ces animaux ont imité les hommes après les avoir vu jeter des pierres . . . Pour notre histoire, il est certain que les armes de choc ont été fabriquées avant les véritables armes de jet; le lancement d'une pierre à la main s'apparente trop avec le geste du singe pour être considéré comme une manifestation ethnologique. Les armes de coup primitives ont été le *bâton*, puis la *massue*, la *pierre pointue*; plus tard la *hache en pierre*, le *pie en pierre*. Avec la connaissance des métaux, cuivre et bronze, sont apparues les armes à main telles que le *poignard*, le *couteau*, l'*épée*, le *sabre* et les armes dites d'*hast*, pointes fixées à une hampe en bois, dont le type fut la *lance*; *armes d'estoc* frappant par la pointe et pouvant tenir un adversaire en respect à quelques pas ou *armes de tailles*, utilisées, par le tranchant. Comme il est toujours plus avantageux de culbuter un adversaire ou de le blesser avant d'engager le corps à corps, quelques-unes de ces armes primitives devinrent aussi *armes de jet* à la

main telles le bâton, la masse de jet, la hache, le coutelas; puis avec quelques perfectionnements, le *javelot*, la *sagaie*, le *boumerang*, arme singulière et particulière aux peuplades de l'Australie et qui ressemble parfois aux planeurs en papier que font nos enfants; planeurs qui, après avoir décrit une trajectoire en avant, reviennent entre les mains du lanceur habile quand aucun obstacle ne s'est interposé. Si le boumerang frappe un adversaire, il ne revient pas. Les armes de jet ont été aussi à plusieurs pointes, comme le *trident*, et à angles aigus comme le *harpon*. Jusqu'ici, rien qui soit vraiment la généralisation d'une observation idéifiée donnant naissance à une invention. Cela se produisit le jour où les armes de jet furent lancées au moyen d'un *engin*, dispositif, machine ou combinaison assurant le maintien de l'arme sur une trajectoire de quelques centaines de pieds, pouvant donner lieu au lancement d'un projectile vers un but visé. Un bras artificiel, prolongeant celui de l'homme, tel a été l'origine de la *fronde* lançant des pierres à grande distance avec une vitesse issue d'une force centrifuge soudainement libérée. Puis ce fut l'utilisation du phénomène d'élasticité, pour propulser un javelot, une sagaie, armes bientôt taillées en *flèche* afin d'accroître la précision du lancer. On se servit d'un bois faisant ressort, un bois avec une liane, bientôt une corde. L'*arc* devint une arme offensive assez mortelle, et le combat commença à s'organiser. On utilisa aussi la pression de l'air pour propulser de petits projectiles, c'est le « tire-pois » des mauvais garnements, il s'appelait la *sarbacane*.

Ce fut avec de telles armes que les combats se firent entre les hommes au cours des temps préhistoriques. Cette PREMIÈRE PÉRIODE de la technique guerrière est encore visible chez les peuplades à culture primitive au sein desquelles on peut constater l'existence de plusieurs cycles culturels dont les plus à retenir sont: celui des armes grossières de choc; celui du boumerang, caractéristique des populations australiennes chez qui la guerre se fait entre des clans de 25 à 200 individus; celui des armes à pointe dont l'emploi a fait apparaître l'arme défensive de protection, en l'espèce une large ceinture épaisse, première ébauche de la cuirasse; celui des massues à grosse tête et de la fronde, armes auxquelles se rattachent les boucliers larges. Nous ne ferons pas l'historique des moyens de protection contre les armes offensives, mais on remarquera que de bonne heure l'homme s'est ingénié à parer les coups. Aux armes pointues, il a opposé la cuirasse; aux pierres et aux

coups de massues, le grand bouclier couvrant surtout la tête. Ce souci de défense l'a obligé à imaginer des dispositifs qui se sont perfectionnés parallèlement aux progrès des armes offensives avec un décalage plus ou moins grand, selon le développement de la culture et des facultés d'invention des peuples.

UNE SECONDE PÉRIODE est apparue avec l'emploi de l'arc servant à lancer des flèches, bien que les armes de choc soient restées celles dont le maniement était décisif au cours des combats. L'arc est déjà une arme un peu scientifique, si l'on peut parler de science à propos d'application de propriétés physiques des corps, comme l'élasticité, constatée bien empiriquement. Le grand arc de guerre est encore en usage en Océanie, en Papousie, dans l'Insulinde. L'arc caractérise cette deuxième période qui s'étend jusqu'au début des temps historiques et même au delà. C'est durant ces siècles que la *tactique guerrière* s'est un peu organisée. La direction des combats est devenue l'apanage de chefs qui formaient une armée expéditionnaire soit de tout un clan, d'une tribu, ou bien de parents, de domestiques. Les femmes participaient au combat; elles étaient le plus souvent chargées de passer les flèches et d'emporter les morts là où ils devaient être mangés. Il semble bien que le cannibalisme se soit développé à la fin de la culture désignée par les ethnologues: culture des *Deux-classes*. Et il est très vraisemblable que la vue des blessures sanglantes causées par les flèches, ait incité les hommes à boire le sang de leurs ennemis. De là à les dévorer pour s'en débarrasser plus sûrement, il n'y avait qu'un pas si l'on peut dire. L'arc fut certainement une arme très meurtrière et c'est aussi pour courir moins de risque d'être mangé que les primitifs, dont certains étaient plus pacifiques que d'autres, durent imaginer de se défendre en entourant leur village de palissades en bois et que d'autres ont cherché la sécurité en établissant leurs demeures sur les arbres, tel dans le nord ouest de l'Amérique du Sud, au sud de l'Inde, en Afrique noire. Dans cette période est apparu aussi le *masque de guerre*, les bruits, les chants, tout ce qui pouvait effrayer un adversaire. Ce fut l'époque de la ruse, premier indice de la stratégie, base de l'art de la guerre.

Avec cette seconde période, nous entrons dans l'histoire. Les hommes ont conservé les armes primitives et ils ont éprouvé le besoin, surtout pour les expéditions de conquête, de constituer des *armées*, instrument propre de la guerre. Depuis 6000 ans, l'importance des armées n'a pas cessé de croître à tel point que l'on se demande

avec inquiétude si la guerre, dont le résultat est toujours la destruction, n'est pas le complément de notre civilisation qui édifie toujours du nouveau. S'il est vrai que toute chose doit avoir son contraire sur la terre, le revers de la médaille est bien laid.

A l'aurore de l'histoire, la guerre devint un processus organisé dès qu'elle se fit de groupement à groupement et non plus de clan à clan. L'armée se composa surtout d'individus pouvant porter et manier des armes, les *guerriers*. Tout le monde n'était pas guerrier, surtout dans les guerres agressives. Les nécessités de l'agriculture naissante retenant un certain nombre de personnes loin des champs de bataille. Au début, les femmes furent chargées des travaux agricoles, mais bientôt des hommes leur furent adjoints, les tribus se partageant en deux parties: les guerriers et une autre moitié de la population pacifique. Chez les Osages, indiens de l'Amérique du Nord, la moitié de la tribu devait s'occuper de la nourriture végétale, l'autre moitié de la nourriture carnée et de la guerre. Chez d'autres, germains de l'époque romaine, les Suèves, les hommes étaient guerriers un an puis agriculteurs une autre année. Il vint un temps où les travaux des champs furent confiés aux esclaves, le nombre des guerriers augmenta.

Lorsque l'âge de fer succéda à l'âge de bronze, en Europe et en Asie, les armes subirent des modifications. Le bronze était plus mou que le fer et ce dernier, étant beaucoup plus rare, servit d'abord aux besoins des chefs qui, ayant des armes meilleures, purent affirmer leur supériorité. Les pointes de lance, les bouts de flèche, les lames coupantes devinrent plus solides. Avec les armées naquirent les premières machines de guerre dérivées de l'arc comme les catapultes, armes de jet contre les villes déjà fortifiées pour résister aux invasions de plus en plus menaçantes. C'est en Égypte que furent organisées les premières armées. Elles se composaient de soldats régis par des lois spéciales, qui formaient l'infanterie des archers et des piqueurs, avec des chariots tirés par des esclaves, chariots transportant les machines de guerre et servant à charger le butin. De l'autre côté de l'océan nous trouvons les armées des Incas remarquablement organisées mais n'utilisant pas l'arc. Pour le combat, elles se disposaient en échelons: les frondeurs, protégés par des boucliers et des camisoles ouatées; les soldats armés de massues et de haches; les soldats armés de propulseurs lançant des javelots et des lanciers, armés de lances en bois ou en bronze, chargés de finir les ennemis tombés.

Une grande modification fut apportée à l'art de la guerre par l'introduction du cheval. Avec le cheval commence la TROISIÈME PÉRIODE lorsque les Hyksôs, venant d'Asie, envahirent l'Égypte vers 1700 avant notre ère. C'est grâce au cheval que ces Hyksôs purent vaincre les fortes armées égyptiennes. Première guerre marquée par l'introduction d'une nouveauté le *char*. Le char des Hyksôs était formé de deux roues reliées par un essieu et portant une planchette sur laquelle était monté le guerrier qui conduisait le cheval. Les archers et piqueurs égyptiens furent simplement culbutés. Il est facile de s'imaginer la puissance combative du guerrier monté sur un tel char, même rudimentaire. Dominant l'adversaire, ayant sur le piéton l'avantage de la vitesse et de la masse, pouvant utiliser la fougue inconsciente du cheval pour culbuter et écraser les ennemis, l'homme monté était aussi moins vulnérable aux coups. Les Égyptiens subirent la domination des envahisseurs mais parvinrent à s'en débarrasser. Ils ne manquèrent pas de perfectionner le char qui leur avait causé tant de surprise. Par exemple, ils y attelèrent deux chevaux, remplacèrent la planche par une boîte dans laquelle prenaient place un conducteur, un archer, un lancier. C'est avec cet instrument nouveau que se firent les premières grandes batailles rangées de l'histoire. Celle de Megiddo 1479 ans avant notre ère, celle de Kadesh il y a 3229 ans; les Égyptiens battirent les Syriens leur capturant 1,000 et 3,500 chars de combat. Les chars se retrouvent en grand nombre en Chine sous la dynastie des Tchou de 1122 à 249 avant J.-C. L'empereur partait en guerre avec 10,000 chars ce qui représentait au moins 20,000 chevaux et 30,000 hommes.

Après s'être fait transporter dans des chars tirés par des chevaux, l'homme s'est risqué à monter sur l'animal puis, trois siècles avant notre ère quelqu'un eut l'idée de renforcer les sabots cornés du cheval par des fers, c'est alors que la *cavalerie* s'organisa et finit par remplacer le char qui demeura le véhicule du chef. Ce fut grâce à sa cavalerie qu'Annibal remporta la victoire de Cannes sur les Romains en l'an 216 av. J.-C. Laissons les éléphants de Pyrrhus et aussi d'Annibal qui ont porté les guerriers pendant longtemps en Orient, apprenons que les Peaux-Rouges de notre continent, au nord et au sud, cavaliers fameux, ne connaissaient pas le cheval avant la conquête espagnole et que cet animal a joui de toutes sortes de considérations dans les armées jusqu'à la guerre de 1914. Votre serviteur, qui a fait son service militaire en soignant des

chevaux dans un régiment d'artillerie, se souvient fort bien de cette boutade à propos de chevaux morts de tétanos, ce qui entraînait toujours une punition pour le cavalier taxé de négligence, « vous devez avoir soin de votre cheval plus que de vous-même, un cheval ça se paye, un homme ça se remplace . . . ».

Durant cette période, débutant avec l'utilisation du cheval aux fins de guerre, période qui a proprement duré jusqu'au xive siècle, on assiste à la multiplication des systèmes défensifs caractérisés par l'érection de fortifications, tours, forteresses, châteaux-forts, murailles ayant pour objet de mettre les piétons à l'abri des cavaliers qui, devant des obstacles, devenaient aussi vulnérables aux flèches que de vulgaires fantassins. Contre ces moyens de défense ont été imaginés les machines de guerre, en l'espèce pour le temps, des chariots ou forteresses mobiles, perfectionnement des premiers engins égyptiens et chinois. Les Romains imaginèrent la « tortoise », enchevêtrement de boucliers que les guerriers tenaient au-dessus de leurs têtes. Au moyen âge, le « beaufroi » servait pour amener des soldats à la hauteur du parapet des fortifications. Ces engins en bois, à roues, étaient déplacés par la force des hommes, des chevaux, du vent. Les catapultes, que nous voyons revivre aujourd'hui pour lancer les avions au-dessus de la mer, servaient au lancement de pierres et de brûlots formés par de l'étoffe, de l'huile, de la résine ou de l'asphalte. Ces brûlots étaient la réplique des feux grégeois que l'architecte Callinicus, d'Héliopolis, avait fait connaître aux Grecs de Byzance en 673, époque à laquelle ils servaient pour mettre le feu aux embarcations en bois, car la préparation avait la propriété de brûler sur l'eau. On mit en œuvre toutes sortes de *boutoirs* pour enfoncer les portes ou les parties faibles des murs protecteurs. L'armée suivit une évolution assez compliquée subordonnée à l'état social et aux conditions économiques du temps. L'établissement de l'esclavage avait inauguré un état nouveau dans le recrutement des soldats. En effet, les habitants d'un pays étaient divisés en deux groupes: les travailleurs, c'est-à-dire les *esclaves* et les *possédants* ou propriétaires qui, ayant des biens matériels à défendre, se virent contraints d'être *soldats*. Comme la guerre consommait beaucoup, il fallait produire pour éviter les famines et envoyer des vivres aux troupes des expéditions lointaines. Les esclaves ne suffirent plus à la tâche; comme d'autre part les citoyens riches n'avaient pas toujours ni la force ni l'envie ni l'humeur d'aller faire la guerre au loin ils eurent l'idée de racheter, par de l'argent,

leur obligation au service militaire. On dit que ce sont les riches marchands juifs d'Asie mineure qui inventèrent le système des *mercenaires* pour les guerres offensives et que le général Annibal fut le premier à diriger des troupes faites en partie avec des mercenaires. Pour la première fois la population civile se distinguera des guerriers; les riches marchands juifs de Carthage ne se battront qu'à la dernière extrémité. Ils confieront la guerre à des généraux professionnels, des soldats professionnels payés par eux; et les généraux qui perdront la bataille seront crucifiés. L'esprit de corps dans les armées devient l'affaire du chef. Annibal entra en Italie avec ses mercenaires espagnols, africains, gaulois, numides, italiens. Au début il put vaincre grâce à sa cavalerie légère, mais ses mercenaires ne purent tenir devant les légions solides des citoyens de Rome. Les peuples connurent alors le danger des dictatures militaires. Celle qui dura le plus longtemps ne fut abolie qu'en 1868 au Japon, où le pouvoir royal du Mikado était exercé par les *shogoun*, gouverneurs militaires du palais.

Bientôt il y eut pléthore de guerriers; qu'en faire en temps de paix? Ne pas les payer? C'était très dangereux. Rome imagina d'en faire des *soldats-colons* qui, en peuplant les territoires conquis, faisaient la garde des marches de l'Empire. La formule était bonne car elle se répandit jusqu'en Suède et en Russie où les *cosaques* ont vécu sous un statut militaire et social jusqu'en 1917.

Les armées professionnelles devinrent d'autant plus nécessaires au début de notre ère que l'enseignement du Christ se répandit. Il devint odieux pour les croyants de tuer son semblable et l'anoblissement du travail portait le premier coup à la pratique inhumaine de l'esclavage. Ceux qui socialement n'étaient pas des esclaves se mirent à travailler. Ils ne voulaient plus se battre, surtout pour des motifs déraisonnables.

Après des carnages qui n'avaient profité à personne, on en vint à une forme spécialisée de la guerre, forme qui, hélas! était trop belle pour durer. . . Le *duel guerrier* peu destructeur et pas très meurtrier. Les représentants des deux partis seuls s'affrontaient. L'histoire ancienne nous en donne quelques exemples fameux. Duel de Ménélas, roi de Sparte, contre Pâris, fils de Priam; les trois Horace contre les trois Curiaee. Puis le moyen âge se déroula sous une série de duels qui réglaient les conflits. On admettait que le résultat était le jugement de la divinité pour les païens, et de Dieu pour les chrétiens. Les dernières provocations marquantes

furent celles de François Ier à Charles-Quint au xvi^e siècle, et, au xvii^e, de Charles X de Suède à Christian de Danemark. Ce dernier fit la réponse suivante au provocateur « qu'à l'égard de son défi, c'était une preuve du besoin qu'il avait d'ellébore pour se purger le cerveau ». La graine d'ellébore, vous le savez, passait pour être profitable aux fous. Tout de même, par le moyen des duels, les peuples changeaient de maître sans douleur, comme nous changeons de ministère. Dans les campagnes, beaucoup ne s'en apercevaient même pas, il n'y avait ni la presse ni la radio pour les énerver. Les duels ne furent pas très longtemps le moyen par lequel les rois et les princes réglèrent leurs disputes, l'organisation de la féodalité remit le service militaire en honneur et avec elle apparaît l'obligation de servir le roi avec les armes, sur une base territoriale. Les mercenaires demeurèrent encore, surtout pour les armes dont le maniement demandait une certaine expérience. Les Brabançons étaient des piqueurs renommés, les Gênois des arbalétriers adroits, les Suisses des manieurs de la hallebarde; mais ces troupes mercenaires ne formaient plus le gros de l'armée, les rois ou les princes qui les payaient escomptaient plutôt sur leur fidélité pour les défendre contre les rebelles nobles qui parfois manifestaient quelques ambitions. Déjà l'existence de ces gardes de corps était la cause de soucis économiques puisque Machiavel posa cet aphorisme dans son livre *le Prince*: « Point d'argent, point de suisses ». Nous ne suivrons pas les Suisses, par exemple, jusqu'à la révolution française, nous ne parlerons pas des *Landskenets*, régiments organisés et louant leurs services au plus offrant, ni des soldats professionnels tels que les *gendarmes*, les *Reiter*, mercenaires à cheval. Tous ces tâtonnements aboutirent un peu partout, d'abord aux armées professionnelles nationales, au volontariat, puis au service militaire obligatoire.

Au moyen âge est apparue durant le xii^e siècle une arme fort meurtrière, l'*arbalète*. Dérivée de l'arc, cette arme lançait des flèches avec une violence telle qu'elles pouvaient traverser les cottes de mailles et les cuirasses minces qui s'étaient montrées être une protection suffisante contre les flèches lancées par les arcs à main des archers. L'arbalète est une véritable machine de guerre portative. L'arc en métal est monté sur un fût en bois qui permet d'épauler pour viser; l'arc est bandé au moyen d'un ressort ou d'une crémaillère à manivelle. A deux cents pieds, un bon arbalétrier manquait rarement son coup et comme la flèche était lancée

avec une très grande force, elle pouvait facilement transpercer le corps d'un homme. Les vieilles images et tapisseries du temps nous montrent souvent la chose dans les scènes de bataille. L'arme devint assez perfectionnée pour être utilisée par des arbalétriers à cheval; François Ier à Marignan avait à sa disposition une compagnie de 200 arbalétriers à cheval. L'arbalète servait aussi à la défense et les anciennes fortifications portaient des ouvertures dites arbalétrières par où l'on décochait des flèches sur les assaillants.

Il est notoire que, jusqu'au début du xive siècle, les guerriers se livraient combat avec des armes de choc comme les épées, les sabres, les poignards, les piques, les hallebardes, les lances, les stylets, les dagues, les épieux, les fourches, les fléaux, etc. et aussi avec des armes de jet, surtout la fronde, l'arc, l'arbalète. On frappait, on tranchait, on perçait, on ne se servait que de forces musculaires ou mécaniques. Le feu fut bien employé dès le viie siècle sous forme de feux grégeois, il y eut bien l'usage d'une poudre faite de charbon et de salpêtre avant l'an 1000 en Chine et aux Indes, mais cette poudre servait comme matière combustible. On profitait de ses propriétés fusantes; après inflammation, la masse se trouvait projetée en avant par l'action des gaz de la combustion qui se dégagèrent en sens contraire. Les Arabes avaient bien utilisé les feux grégeois avec du salpêtre, sous forme de feux volants ou *medfas* durant les Croisades, mais tous ces artifices étaient lancés en l'air par des engins à main ou mécaniques. Les feux volants effrayèrent beaucoup les Croisés ainsi qu'en témoignent les mémoires de Joinville, mais il n'était pas encore question de substances explosives. Nous savons aussi qu'il existait d'autres moyens plus ou moins charmants de faire la guerre, comme de couler du plomb fondu sur la tête des soldats qui s'approchaient trop près des murs ou de lancer de l'huile bouillante et d'essayer d'y mettre le feu. Toutefois dans l'ensemble, on faisait la guerre avec quelques cérémonies et les mercenaires n'avaient pas un très grand intérêt à s'entredétruire, surtout lors des batailles rangées. Le siège des places fortes était généralement plus sérieux et plus meurtrier.

La QUATRIÈME PÉRIODE dans les techniques de guerre s'est ouverte au xive siècle avec l'utilisation de la puissance explosive de la poudre noire qui devint la poudre à canon. La poudre noire, composée de charbon de bois, de soufre et de salpêtre, est originaire d'Orient où l'on trouvait le nitrate de potassium ou salpêtre. On ne sait à qui en attribuer l'invention, aussi, devant les destruc-

tions que son emploi a rendues possible, on peut bien souscrire à l'opinion de Sébastien Munster qui écrivait en 1554 que « le vilain qui apporta sur la terre une chose aussi affreuse, n'est certes pas digne d'avoir son nom inscrit dans la mémoire des hommes ». Il semble bien que les premiers usages de la poudre furent faits en Chine, vers 1232; les Chinois s'en servirent au siège de Peï-King pour mettre le feu aux constructions de bois des fortifications. Ils eurent aussi des armes faites de tubes de bambou qui pouvaient lancer du feu à distance en profitant de la force propulsive de la poudre comprimée. Mais les tubes de bambou éclataient souvent ce qui mettait le tireur mal en point.

Ce sont les Arabes qui ont fait connaître la poudre en Europe et la découverte de ses propriétés explosives a entraîné celle des *armes à feu* qui ont révolutionné l'art de la guerre. Il ne faut jamais oublier que la poudre à canon a été le seul explosif connu pendant plus de 500 ans, ce ne fut qu'en 1886 que l'on connut la poudre faite de cellulose nitrée. Il est assez heureux que les hommes se soient contentés pour se détruire d'une substance formée par un mélange qui ressemble à une recette de bonne femme . . . Tout de même, avec la poudre noire, il devint possible de lancer des projectiles beaucoup plus loin qu'avec les engins connus. Contre les balles, les boulets, les cuirasses devinrent illusoires et les fortifications précaires. On dut changer la forme des ouvrages défensifs et l'architecture militaire entraîna à modifier le plan des villes. Dans les batailles, la cavalerie céda le pas à l'artillerie.

Le document écrit le plus ancien se rapportant à la poudre en Europe, est un manuscrit de Roger Bacon datant de 1250, dans lequel il est fait mention « d'une poudre faite de salpêtre, de charbon de bois et de soufre qui fait beaucoup de bruit quand on l'enflamme ». Certains auteurs attribuent l'invention des armes à feu au moine Berthold Schwarz de Fribourg, qui en aurait parlé en 1313. Pour d'autres, l'invention des *canons* et des *bombardes* seraient antérieurs. Ce qui est certain c'est qu'un manuscrit datant de 1325, conservé à Oxford montre un dessin rudimentaire de canon posé à terre et qu'un homme allume avec une torche. Il existe aussi des actes officiels relatifs à la poudre et à son usage, qui datent de 1316 et 1326, à Florence. On sait également que la république de Venise, en 1326, fit une provision de boulets en fer et de canons en bronze pour les besoins de sa défense. En 1331, les Allemands firent le siège de Civiale en Italie avec des canons. Dès 1338, des

canons à poudre furent installés sur les côtes françaises à Hontfleur et à l'Heure pour contrarier les intentions d'invasion d'Édouard III d'Angleterre. C'est ce roi qui se servit de canons en 1339 au siège de Cambrai. Nous savons aussi qu'en 1346, à la bataille de Crécy, les Anglais mirent en ligne contre les troupes rangées en bataille selon la coutume du temps, trois petits canons qui lancèrent des boulets. L'effet fut formidable surtout sur le moral des troupes et bientôt, l'artillerie allait devenir, selon l'expression de Philippe de Commines, « choses souveraines aux batailles ». L'emploi de la poudre noire s'est généralisé autour de 1370 après l'établissement des poudrières d'Augsbourg en 1340 et de Spandau en 1344. Les Flamands passèrent maîtres pour la fabrication des armes grâce à l'avance qu'ils avaient dans l'élaboration du fer et la coulée des métaux; ils faisaient des canons montés sur des affuts en bois, on les allumait par un petit trou, ces canons étaient courts, ils prirent le nom de *bombardes* quand ils lancèrent des bombes en métal. Les premiers boulets furent en pierre, ils avaient l'inconvénient de se briser souvent au départ du coup, on en fit en plomb, puis en bronze qui étaient chers, enfin en fer qui étaient difficiles à travailler pour en faire des boules. Les projectiles devinrent avantageux quand on en découvrit en Allemagne, et aux environs de Liège en Belgique, la fabrication de la fonte, produit ferreux coulable directement dans des moules. Les canons, dont le tir s'était montré avantageux sur les murs des places fortes, ne tardèrent pas à être placés sur les bâtiments de mer et en Angleterre, des luttes assez violentes s'engagèrent entre les métallurgistes qui consommaient beaucoup de bois pour faire du fer et de la fonte afin d'armer les vaisseaux, et les constructeurs de bateaux qui se voyaient menacés de manquer de bois pour faire des embarcations. Les deux dévastaient les forêts avec cupidité. Au xve siècle Édouard IV reconquit son trône en 1471, grâce aux mercenaires bourguignons qui étaient armés de canons à main, premiers fusils fabriqués depuis la fin du xive par les Flamands. La métallurgie anglaise qui se développa si rapidement au moyen âge, grâce aux apports belges, français, allemands et à l'heureuse présence de mines de fer à proximité des forêts, se classa bientôt la première pour la fabrication des boulets en fonte. Vers 1497, le maître fondeur était un nommé Simon Ballard; sous le règne d'Henri VIII les canons en fonte étaient coulés sous les soins de Peter Baude en 1543, et les fonderies de canons au Sussex devinrent le but principal de l'industrie du fer.

Henri VIII avait sur son propre vaisseau des canons en bronze et en fer, il reconnut la supériorité des derniers et en fit couler beaucoup, ils étaient en fonte plutôt qu'en fer.

L'usage des armes à feu à main se répandit et des troupes de mercenaires suisses trouvaient facilement à s'employer quand on y mettait le prix.

Au milieu du xve siècle, pour la défense des remparts d'abord, on vit apparaître une arme un peu différente des canons et bombardes employés surtout pour démolir les fortifications, et qui était une modification des petits canons à main connus sous le nom de « *traits à poudre* », ce fut la *couleuvrine à main* ou *harquebute* d'où l'on a fait *arquebuse*. Cette arme, qui pesait une cinquantaine de livres, devait être supportée par un pic planté en terre afin de permettre à l'arquebusier d'épauler pour viser. L'arquebuse fut employée avec succès par les Espagnols et les Italiens au xvie siècle. Rappelons que le vaillant Bayard mourut d'un coup d'arquebuse en 1524 à Biagrano. Ces armes lourdes et de maniement difficile étaient caractérisées par leur mode de chargement qui était long et par leur allumage qui se fit d'abord au moyen d'une mèche, d'où l'obligation de tenir constamment du feu auprès des arquebusiers, ce qui était difficile quand il pleuvait. Puis vint l'allumage à rouet, petite roue dentée en acier qui frottait sur un morceau de pyrite, donnant une étincelle qui mettait le feu à la poudre. Vers 1570 apparut le *mousquet*, arme à feu plus facile à manœuvrer grâce à laquelle les Espagnols eurent des armées redoutables; le mousquet était si meurtrier que son usage fut interdit en France en 1653. Il avait reçu un perfectionnement important en 1630 par l'adoption de la platine à silex ou *fusil* c'est-à-dire le *briquet* venant des Indes, composé d'une pierre de silex, d'un morceau d'acier que l'on battait sur le silex, ce qui produisait une étincelle enflammant une mèche ou mieux un morceau d'amadou (masse fibreuse venant du champignon, l'amadouvier).

La platine à silex, adaptation du briquet, simple petite invention propre à faire du feu, demeura le mode d'allumage de la poudre des armes à feu portatives pendant plus de deux siècles. La platine à rouet, inventée à Nuremberg en 1515, s'étant montrée difficile à appliquer sur les arquebuses et les mousquets.

Il est notoire que la diffusion de l'emploi des armes à feu dans les siècles qui suivirent le xive a influencé beaucoup le développement de la mécanique théorique et appliquée. Puisque les hommes

pouvaient contrarier les lois de la pesanteur en lançant des corps pesants ou « graves » comme l'on disait alors, à des distances beaucoup plus grandes qu'ils pouvaient le faire sans la poudre à canon, ils voulurent s'appliquer à bien tirer, c'est-à-dire toucher le but qu'ils avaient le désir de détruire. La balistique, ou art du tir, science appliquée, s'est développée rapidement en science précise à fondements mathématiques, grâce à l'intérêt que lui ont porté les plus grands génies de tous les temps. Léonard de Vinci, Niccolo Fontana ou Tartaglia qui fit paraître le premier ouvrage sur la balistique en 1537, Galilée, le père Mersenne, Blondel, Newton l'abbé Varignon, les Bernouilli, Euler, d'Alembert, Poincaré, pour ne citer que les plus connus, ont apporté des contributions importantes à la science du tir, donc, à l'artillerie. Je ne puis résister au plaisir de vous communiquer quelques lignes de la préface du livre de François Blondel publié à Amsterdam en 1669 sur *l'Art de jeter les bombes*. Ce Blondel était maréchal de camp aux armées de Louis XIV, littérateur, professeur de mathématiques du Dauphin, architecte, il construisit la porte Saint-Denis à Paris, fit des travaux de fortifications, était membre de l'académie des Sciences, fut fort actif. Il écrivait: « Sire, peut-être je viens, un peu hors saison, offrir à Votre Majesté ce traité de *l'Art de jeter des bombes*, dans un temps où Elle vient de donner la paix à l'Europe (paix des Pyrénées 1659) et où il semble que la science de l'artillerie ne doive plus être employée qu'à faire des feux de joie. J'espère néanmoins que mon ouvrage ne lui sera pas tout à fait désagréable et qu'Elle y verra avec quelque plaisir les règles d'un art dont Elle s'est si utilement servie dans ses conquêtes et qui n'a pas été un des moindres instruments de ses victoires. J'ose me flatter qu'Elle approuvera le dessein que j'ai d'empêcher un art si noble de périr, en le réduisant aux règles certaines de la mathématique et donnant moyen aux élèves de s'y perfectionner. D'ailleurs, sire, c'est dans le temps de la paix, à bien parler, que l'on doit étudier le métier de la guerre, et il ne faut pas attendre à en acquérir la connaissance, qu'on soit obligé de le mettre en pratique ».

Cette page aurait pu fort bien s'adresser au roi d'Angleterre, à propos de bombes d'avions . . . en 1939!

Et bien, tous ces théoriciens, qui ont d'abord rectifié les erreurs de la mécanique d'Aristote, ont permis de concevoir des méthodes améliorant la précision du tir, puis d'obliger la mécanique appliquée, la métallurgie, la chimie, l'ingéniosité des hommes à travailler au

perfectionnement des armes à feu et de la poudre. Vous me direz que c'était là des besognes diaboliques qu'il eût mieux valu ne pas entreprendre. Je serais pleinement de cet avis si j'étais certain que vous ayez perdu tout instinct belliqueux ou désir de convoitise et que la terre soit peuplée d'êtres semblables, mais c'est hélas une créance à laquelle je me refuse. Et je continue en vous disant que les armes à feu, les mousquets, les mortiers lançant des bombes, se virent remplacés petit à petit par les *fusils*, les *pistolets*, les *revolvers* qui datent tout de même de 1550 et qui devinrent avec le sabre l'arme de la cavalerie, alors que le fusil et la baïonnette à douille se mettant au bout du fusil furent, en 1703, sous Vauban, les armes de choix de l'infanterie. Les armes vinrent à conditionner les armées et la troupe se divisa en trois groupes bien distincts quant à leurs fonctions: l'infanterie, la cavalerie, l'artillerie, cette dernière se subdivisant en deux sur terre, car nous ne parlons pas des armements des vaisseaux, artillerie de siège ou de place et artillerie de campagne, c'est-à-dire mobile et destinée à appuyer l'infanterie.

La poudre noire, désignée au début poudre à canon, d'arquebuse, de serpentine, de couleuvrine, était faite vers 1445, en galettes que l'on réduisait en grumeaux. Sa composition varia très peu jusqu'en 1870, on y trouvait toujours du salpêtre, du soufre, du charbon de bois. On s'aperçut que les effets étaient plus réguliers lorsqu'elle était plus fine et uniforme, mais à cause des dangers de la fabrication l'art du poudrier resta dans l'enfance longtemps; pensez qu'en 1760, un artilleur fameux, d'Arcy, écrivait que « ce qu'il y a de plus certain dans la poudre, c'est son incertitude »...

Dans la plupart des pays, et en France jusqu'en 1775, la fabrication de la poudre était confiée à des adjudicataires par exemple pour neuf ans. L'État recevait sa poudre à un prix très bas et le fabricant pouvait faire son bénéfice par la vente de la poudre de chasse qu'il avait le droit de produire.

Je passe sur les modifications apportées aux armes pour ne retenir que quelques perfectionnements vraiment importants, comme l'emploi de boulets creux, de boulets chargés de balles, de boîtes à mitrilles, d'obus de forme ogivale, invention anglaise, des fusées à percussion qui font éclater les obus au moment où ils touchent un obstacle, des fusées fusantes qui provoquent l'éclatement à une distance choisie. On parvint à amortir le recul des bouches à feu par des freins ce qui permit de tirer plus vite et d'éviter une mise en batterie fort laborieuse après chaque coup.

Les moyens de pointage et les corrections du tir requèrent des perfectionnements grâce aux mécanismes de haute précision. Le chargement par la culasse mobile formant verrou a simplifié beaucoup le travail aux batteries libérant les artilleurs de besognes dangereuses. Les fusils évoluèrent aussi vers une certaine perfection. La découverte du pasteur écossais Alexandre Forsyth en 1807, utilisant les propriétés du fulminate de mercure détonnant par simple percussion, d'abord appliquée aux fusils de sport et de chasse, s'imposa dans les armes à feu militaires vers 1820. Le *fusil à aiguille* supplanta le fusil à briquet, la percussion sur une capsule de fulminate enflammant la poudre dans le canon de l'arme, ce qui permettait le tir même sous la pluie. Au XVIII^e siècle, les travaux des théoriciens purent être appliqués et l'on fit des rayures à l'intérieur des canons de fusil et dans l'âme des canons ce qui donna une plus grande justesse de tir. Ce fut l'avènement des armes *carabinées*, on y enfonçait les balles à coup de maillet mais en 1841 apparut en Prusse, le chargement par la culasse supprimant l'opération laborieuse du chargement par la bouche. Le fusil à aiguille de Dreyse datant de 1841, se vit adopté rapidement après les victoires de la Prusse en 1866, puis on parvint à supprimer le crachement des gaz et à alléger le fusil après les inventions de Chassepot et Gras en 1874. Pouvant tirer plus facilement, plus loin et avec plus de précision, le fusil et le canon devinrent des armes très meurtrières; les armes à feu maniées par l'infanterie et l'artillerie purent tenir en échec la cavalerie qui s'était montrée si redoutable pendant longtemps grâce à sa vitesse et à son effet de surprise. Du moment qu'on pouvait se mettre à l'abri derrière un bouquet d'arbres, on pouvait descendre les cavaliers et tomber leur monture avec quelques douzaines de bons tireurs. La poétique bravoure des escadrons partant à la charge devenait une inutile folie. Atteindre l'ennemi à la plus grande distance possible et même le toucher sans être vu pouvait paraître un désir utopique car l'usage de la poudre noire laissait toujours une trace de fumée visible de fort loin. Or, vers le milieu du XIX^e siècle les chimistes firent la découverte des explosifs nitrés. Nitro-cellulose en 1833 trouvée par Braconnot, nitro-glycérine en 1847 trouvée par Sobrero, rendue utilisable sous forme de dynamite en 1860 par Nobel. Les premières allaient trouver des emplois militaires après les travaux anglais d'Abel (1863) et ceux des Français Berthelot et Vieille. Ces poudres, et tant d'autres nouvelles, sont caractérisées par une grande puissance, une très grande vitesse de

détonation et l'absence de fumée visible, ce qui les fait désigner : *poudres sans fumées*. Après bien des déboires, ces poudres nouvelles furent employées au chargement des obus qui furent alors doués d'une force de brisance considérable; puis au tir des projectiles lourds; même au chargement des cartouches, concurremment avec la poudre noire qui demeure avantageuse dans certains cas. Ces explosifs *modernes*, datent à peine d'un siècle; ils ont changé beaucoup la puissance destructive et la force de pénétration des projectiles. L'artillerie a fait des progrès marqués depuis 1880 et durant la guerre de 1914-1918 son usage a un peu modifié les tactiques de guerre. Nous remarquerons cependant que, jusqu'en 1915, la technique de la guerre demeure subordonnée aux armes à feu. On ne peut omettre de parler d'une arme à feu particulière déjà éprouvée dans des guerres avant celle de 1914 et qui s'est révélée et demeure encore aujourd'hui l'arme la plus meurtrière dont l'homme se soit servi contre ses semblables : la *mitrailleuse*. Cette machine de guerre est née, en principe, avec l'artillerie du xiv et du xv siècles. On disposait en ligne une série de bouches à feu et on s'arrangeait pour les faire partir ensemble. Les effets étaient foudroyants et de nature à arrêter l'élan des troupes les plus braves, prises de front ou de flanc. Ce système de mitraille fut abandonné vers 1540, il y eut bien au début du xix^e siècle les boîtes à mitrailles qui étaient des bombes ou simples boîtes lancées en l'air par des canons et qui, lors de leur éclatement dispersaient une pluie de balles sur la tête des soldats dans une zone plus étendue que celle couverte par les éclats d'un obus ordinaire, mais la véritable mitrailleuse, c'est-à-dire un *fusil à répétition* alimenté par un magasin attaché à la machine, est d'invention américaine et servit durant la guerre de Sécession. On en fit à canon unique et à canons multiples jusqu'au jour où apparut le *canon revolver de Hotchkiss* tirant 300 coups par minute. Puis vint la *mitrailleuse* du type *Maxim* pouvant donner le départ à 500 ou 600 balles par minute. Vous concevez facilement que quelques hommes bien cachés, pourvus de mitrailleuses et d'une provision de cartouches mises en bandes sur des rubans souples peuvent tenir tête longtemps à des régiments entiers et tomber beaucoup d'hommes, en « fauchant » le terrain sans même se préoccuper de viser juste. Ce qui compte c'est la quantité de projectiles qui peut tomber en un temps très court sur une superficie aussi grande que possible. L'homme isolé est à la merci de cette faux articulée qu'est la balle. Pensez enfin qu'on ne peut détruire un poste de mitrailleur que par surprise ou par un coup de canon bien placé, vous comprendrez

alors pourquoi l'artillerie éloignée s'attachait surtout à détruire les nids de mitrailleuses et que pour cela, il était prudent de labourer le terrain par une quantité formidable d'obus de tout calibres lors de la guerre de 1914.

Le 22 avril 1915 s'est inaugurée une CINQUIÈME PÉRIODE dans les techniques de guerre par l'emploi d'une arme nouvelle: *les gaz de combat*. Il y eut bien, comme souvent, quelques antécédents et l'emploi de substances toxiques dispersées dans l'atmosphère pour emposter l'ennemi paraît remonter en Chine au XIII^e siècle où l'on s'est servi de gaz délétères pour but militaire. Après cette époque, quelques tentatives n'eurent pas beaucoup de succès sans doute, car on ne trouve pas traces de protestations. Il n'en fut pas de même en 1915 et, une fois la surprise passée, toutes les armées furent pourvues de gaz de combat. La guerre chimique, ainsi qu'on peut la désigner, est véritablement un procédé nouveau de combat, comportant des développements et surtout des effets totalement différents de ceux obtenus par les anciens procédés, même les armes à feu. Entre le combat avec les armes à feu et les gaz, il existe une différence capitale, qui est l'*effet acoustique*. Dans le cas des projectiles lancés par les poudres, on peut dire que le danger cesse à peu près en même temps que le bruit; avec les substances chimiques, le danger apparaît et persiste après l'effet acoustique. Si le gaz n'a pas de couleur, on ne peut compter sur la vue pour nous renseigner de sa présence. Reste l'odeur; si elle est désagréable, l'instinct de conservation commande la fuite vers les endroits où l'odeur est moindre; si elle est tolérable en tant qu'odeur, c'est un danger d'asphyxie ou d'intoxication, ou bien simplement la mise en action de réflexes incontrôlables provoquant des éternuements, des larmes, des vomissements, toutes résultantes aboutissant à mettre le soldat incapable de défense ou d'attaque.

La substance chimique a d'autres caractères encore qui se manifestent longtemps après le contact, telles les manifestations physiopathologiques de l'ypérite ou gaz moutarde. Les gaz, les poussières toxiques, les liquides pulvérisés peuvent se répandre loin du lieu de l'explosion des projectiles qui les ont amenés; plus lourds que l'air, ces composés chimiques pénètrent dans les abris naturels ou artificiels, même fortifiés, s'ils ne sont pas étanches.

Sachez que l'on a trouvé des morts jusqu'à dix milles du lieu d'une explosion accidentelle de huit mètres cubes de phosgène liquide, à Hambourg en 1928. Enfin et surtout, n'oubliez pas que les substances chimiques de combat peuvent être déversées en

tout point d'un territoire par des bombes d'avion ou de simples réservoirs qu'il suffit d'ouvrir pendant le mouvement de l'avion pour faire des nuages lourds qui rendraient irrespirable l'air des zones choisies.

L'histoire nous témoigne que, chaque fois qu'un nouveau procédé de combat est apparu, ceux qui ne l'avaient pas ont élevé des protestations dans l'espoir vraiment puéril de décider l'adversaire à ne pas s'en servir. Le plus souvent, dans l'état de guerre, de tels mouvements sont l'aveu d'une faiblesse qui est plutôt de nature à encourager l'adversaire qui se sent en possession d'une arme pouvant lui assurer la victoire. La riposte est le seul correctif à un tel état de chose, quelle que soit l'idée que l'on ait d'une morale de guerre, si on n'est pas convaincu que toute guerre est foncièrement immorale, au moins pour des chrétiens. Partout, après la guerre de 1914—1918, on a critiqué la guerre chimique, surtout lorsqu'on a pu constater qu'elle pouvait attaquer les populations civiles, loin des fronts de bataille. Les conférences de désarmement, que j'ai toujours qualifiées d'enfantines, se sont efforcées d'obtenir des États l'engagement de ne pas user des gaz de combat dans les guerres, futures et particulièrement de ne pas les répandre au moyen de l'aviation. Jusqu'ici, dans la guerre actuelle, je ne pense pas que ce soit par respect d'une signature, au moins des côtés allemand, italien et japonais si la guerre des gaz n'a pas été ouverte.

L'opinion générale est que la guerre chimique est un procédé barbare de combat. En est-il vraiment ainsi? Du point de vue militaire, je ne le pense pas et je me rangerais plutôt du côté des militaires américains, sans que mon état de chimiste y soit en cause, qui déclarent que le mode de combat par les gaz doit être regardé comme le plus humain. Il est bon d'expliquer un peu sur quoi repose cette prétention. Je vais le faire rapidement. Pour l'ensemble des combattants de la guerre de 1914, les causes de mort ont été:

<i>par les balles, mitrailleuses surtout</i>	54. 6%
<i>par les éclats d'obus</i>	14. 5
<i>par les obus</i>	13. 0
<i>par les gaz</i>	8. 9
<i>par les balles de fusil</i>	7. 0
<i>par les grenades</i>	0.42
<i>par les baïonnettes, pistolets, sabres, avions</i>	0.36
<i>par moyens divers</i>	1.22

Dans l'armée américaine qui a subi fortement les attaques aux gaz sur l'ensemble des pertes, on estime à 1.73% les morts dues aux gaz, et les invalidités permanentes se sont chiffrées à 33 cas sur 70,552 hommes gazés. Enfin, on a calculé que pour tous les pays, il a fallu fabriquer *une tonne et demie de gaz toxique pour causer la mort d'un homme*. Avec les explosifs, malgré le gaspillage inévitable, on compte avoir dû employer 500 livres pour faire un blessé ou un mort. Je vous rappelle le sombre bilan de cette guerre que l'on croyait être la dernière: sur 68,321,638 hommes mobilisés, 8,319,552 sont morts et 21,119,212 sont sortis blessés de la tourmente.

A tout prendre, dans l'obligation de se battre, est-il plus sauvage de répandre des gaz asphyxiants dans l'atmosphère que de plonger sa baïonnette dans le cœur d'un homme, même si on ne le connaît pas?

Malgré les chiffres, il n'en demeure pas moins que la guerre aux gaz soit fort redoutable, surtout si on l'étend aux populations civiles pour qui elle est un puissant moyen de démoralisation, à cause du mystère dont elle s'entoure et de l'ignorance normale des gens qui sont exposés à la subir. Ici n'est pas le temps de m'étendre sur ce moyen de combat actuellement éclipsé par d'autres qui nous font entrer dans la SIXIÈME PÉRIODE des techniques de guerre dont le début peut se fixer en 1939.

Bien que nous vivions d'un peu loin toutefois cette période, et sans doute à cause de cela, il est difficile de la caractériser en quelques mots fussent-ils aussi généraux que la *mécanisation des forces armées*. La guerre, que les Allemands ont déclanchée en 1939, a été conduite avec un esprit totalement différent de celui qui a dirigé toutes les hostilités dans le passé. Ce n'était un secret pour personne que, bien avant le présent conflit, le maréchal allemand Ludendorff avait exposé dans un livre public les principales caractéristiques de la guerre totale que sa nation se préparait à entreprendre. Voici l'essentiel de ce texte auquel beaucoup trop n'ont pas voulu porter attention: « La guerre totale n'épargne rien. Toutes les armes y seront employées, surtout les plus cruelles qui sont les plus efficaces. Il faut repousser toute tentative d'humaniser la guerre. Une guerre doit être déclenchée par surprise, brusquement, sans pourparlers diplomatiques. L'action militaire intensive doit être non seulement dirigée contre l'armée adverse, mais encore et surtout contre la population civile afin de détruire et d'annihiler la valeur spirituelle et morale de la population, valeur

qui lui donne seule la force d'être et de rester à la hauteur des exigences de la guerre totale.» Par guerre totale, on entendait une action brutale, rapide, la *guerre-éclair* dirigée non seulement sur les troupes armées mais surtout contre les forces de l'arrière, sur les centres nerveux du ravitaillement et de la population. Pour ce faire, point n'était besoin de heurter de front les défenses et les fortifications, il n'était pas nécessaire de rencontrer des troupes pour livrer combat, il suffisait de porter l'attaque en arrière des armées au moyen des *avions* et de se frayer un chemin coûte que coûte au point reconnu le plus faible dans le système de défense de l'adversaire, cela au moyen de véhicules rapides motorisés, blindés et armés, le *char d'assaut* ou tank. Usage intensif de l'avion et du char d'assaut telle peut être la caractéristique de la période moderne de mécanisation. Plus de chevaux: des moto-cyclettes pouvant rouler partout. Plus de poussé cailloux, fantassins faisant à pied de longs trajets, mais des troupes transportées en automobile. Plus d'immobilité dans des tranchées ou des forts, une grande mobilité de groupes d'hommes peu nombreux ayant pleine initiative, les « commandos » pour attaquer un objectif précis, sans être obligés d'attendre des ordres d'un quartier général éloigné. Au lieu de nids de mitrailleuses enterrés, des chars blindés mobiles et armés, en nombre tel qu'une colonne puisse déferler à 40 milles à l'heure sans être disloquée pour s'introduire aussi loin que possible en profondeur, sans se préoccuper de se couvrir ou d'assurer sa retraite. Le mot d'ordre, bousculer les organisations de l'arrière généralement sans grandes défenses. Avec l'aviation, de bombardement, de chasse et autre, est né l'avion transportant des *parachutistes* armés; autre nouveauté chargée d'espionnage ou de destruction des points stratégiques non seulement militaires mais ceux concourant à la production totale du pays: ponts, écluses, gares, entrepôts, barrages, centrales électriques ou téléphoniques, usines métallurgiques, etc. Les chars d'assaut, nous l'avons dit, avaient fait merveille dans le passé. On en avait reparlé en 1769 qui devaient être mus par la machine à vapeur de Cugnot, Napoléon Ier avait écrit un mémoire sur la voiture automobile de guerre, mais des difficultés mécaniques trop grandes, encore en 1900, avaient fait écarter cet engin comme pouvant être utilisé sur les champs de bataille. Le char de combat fit de nouveau son apparition en 1916, un peu grâce à la ténacité du premier lord de l'amirauté d'alors, Winston Churchill; sa propulsion était assurée par un moteur à explosion du type automobile

et, ce qui devait assurer son succès, les roues étaient remplacées par un dispositif de déplacement particulier: la *chenille*. La chenille dérivée de la roue à pieds datant de 1770, employée vers 1886 aux États-Unis pour les tracteurs agricoles, puis en 1907 par Rochet et Schneider en France, pour des voitures militaires, fit du tank le véhicule passe-partout capable de remplir sa première fonction: détruire les barrages de fils barbelés et traverser les tranchées pour prendre les troupes à revers. Les chars de 1918 étaient plutôt de petites dimensions. En 1939, seuls les Russes et les Allemands croyaient à l'avantage des chars lourds pesant jusqu'à 60 tonnes, véritables forteresses blindées et armées roulant à 30 ou 60 milles à l'heure, traversant les tranchées, les rivières, montant les talus, renversant les maisons des villages et pouvant tuer au canon, à la mitrailleuse, très peu vulnérable de loin. Ces deux nations, aux idées révolutionnaires ou audacieuses, préparèrent la guerre telle qu'elles pensaient la faire. Ailleurs, on se lançait timidement dans la construction de petits chars dits de reconnaissance et l'on croyait que l'avion ne servirait pas beaucoup plus que durant la guerre de 1914, c'est-à-dire à prendre des photographies en effectuant des reconnaissances. Certes on prévoyait des batailles dans l'air entre avions de chasse ou de combat aménagés pour la lutte aérienne, on songeait bien aux bombardements possibles sur les troupes, mais on croyait encore à l'existence de villes dites *ouvertes*, c'est-à-dire respectables parce que dépourvues de défenses militaires. Nous savons tous que ces illusions d'honnêtes gens sont tombées les unes après les autres, il n'est qu'à se souvenir du sort de la ville ouverte d'Amsterdam où, en quelques minutes, un bombardement aérien fit plus de 50,000 victimes. Le bombardier d'aujourd'hui n'a rien de commun avec le lanceur de bombes de 1918 qui volait relativement bas et à faible vitesse, pouvant être touché dans l'air par des canons ordinaires ou des balles de fusil. Il vole très haut, plonge verticalement, transporte plusieurs tonnes de bombes d'une puissance brisante redoutable même sur des couvertures bétonnées. Dans une même journée, il peut servir plusieurs fois car sa vitesse de quelques 500 milles à l'heure et son rayon d'action lui permettent de rester en l'air longtemps. La nuit, il peut s'éclairer par les bombes incendiaires qu'il lance; la lueur des incendies lui sert à diriger son tir, et, dans certains cas, il peut s'aventurer assez bas pour tirer de la mitrailleuse sur les terriens. Je vous fais grâce d'autres descriptions d'avions, armes de guerre mécaniques simplement montés

par 4 ou 5 hommes. Je ne m'étendrai pas non plus sur les chars de combat, cuirassés terrestres, je vous demande seulement ce que pouvaient faire des hommes parmi les plus vaillants et les plus déterminés, armés de fusils, de baïonnettes, de mitrailleuses et de canons, lorsque surgissait à l'horizon, un mastodonte de 70 tonnes, large de 10 pieds, haut de 8, long de 30, roulant à 40 milles à l'heure, conduit par des hommes invisibles, crachant la mitraille de 3 côtés à la fois? Vous devez comprendre que l'héroïsme est un sacrifice inutile et que si l'esprit veut subsister dans le monde, ce n'est pas en méprisant la mécanique, mais plutôt en l'asservissant pour se défendre.

Je suis bien tenté aussi de vous signaler l'existence d'une SEPTIÈME PÉRIODE dans les techniques de guerre, celle qui s'attaque sournoisement aux forces de résistance morale des individus: la *propagande*, ou l'espionnage qui s'est organisé avec une audace insoupçonnée même dans les périodes les plus fielleuses de l'histoire. Jusqu'au tourisme, ce sport international anodin, qui est mis à profit pour s'infiltrer dans les parties vives des nations. C'est aussi la guerre des ondes, par la radio, à laquelle vous demandez fébrilement des nouvelles propres à vous ébranler l'entendement ou à vous rendre insensibles aux maux des autres. Est-ce tout? Pour aujourd'hui, oui. Vous avez pu remarquer que les périodes se sont succédées dans les méthodes de guerre selon un ordre en rapport avec le développement des conquêtes techniques et scientifiques de la civilisation, mais que ces périodes ont couvert d'abord des milliers d'années, puis des centaines, puis des cinquantaines, puis des dizaines. Cette précipitation ne manque pas d'être inquiétante pour l'avenir, car vous pensez bien que tout n'est pas épuisé dans nos possibilités maléfiques. Déjà on a prononcé le mot de guerre par les *microbes*, faire naître des épidémies de choléra, de peste ou autres gentilles en arrosant les villes de bouillons de culture... On a parlé de rayons de la mort... tuer à distance par des ondes électromagnétiques sera peut-être un jeu d'enfant quand l'homme saura produire économiquement des étincelles dirigées analogues à la foudre. Concentrer des courants électriques et les faire porter au loin des myriades d'électrons engendrant des effets thermiques à distance, mais cela se fait déjà dans les fours électriques où l'on fond tous les métaux. Seulement en ce moment, on opère à des distances de quelques pieds. Et celui qui trouvera le moyen de faire des explosions telles qu'elles provoqueront à distance des ondula-

tions de la croûte terrestre analogues à celles des tremblements de terre? Et celui qui provoquera dans l'atmosphère des déplacements d'air et d'eau analogues aux trombes? Et celui qui saura utiliser l'énergie de désintégration des atomes? Et celui... mais je m'arrête; le génie d'un Jules Verne ou d'un Wells pourrait continuer, n'anticipons pas davantage pour maintenant. Vous devez me croire assez pessimiste pour me trouver « effrayant » et pourtant si on allait pouvoir un jour tuer la guerre en la préparant? Remarquez-vous que nos engins actuels, font plus de destructions matérielles que d'hécatombes? Si un beau jour les hommes allaient trouver le moyen de paralyser mutuellement leurs machines de guerre; étant tous désarmés, ils arriveraient sans doute à s'entendre? Pour ma part, je suis plutôt porté à croire qu'un moyen matériel sera plus propice à empêcher les guerres puisque les raisons morales qui en ont proclamé l'odieuse pendant vingt siècles de christianisme n'y ont pas suffi. Les hommes n'écoutent pas les enseignements nobles pour en tirer profit dans leurs relations avec les autres. Avez-vous pensé un peu que l'éducation et la pratique de beaucoup de jeux entretiennent l'esprit belliqueux et le désir intéressé de gagner à tout prix? Toutes ces parades sportives d'apparence innocentes donnent aux peuples le goût de la force, de la victoire; on couvre cela sous le signe de l'hygiène, de la santé de la race, mais, a y bien observer on attise le feu barbare de la haine du parti adverse, du clan, des autres tout simplement. Je me souviens avoir assisté à une joute de hockey, sport pour lequel, en principe j'avais beaucoup d'admiration. J'espérais me régaler d'habileté et d'élégance dans un jeu difficile à mener. J'ai été profondément déçu quand j'ai compris que les spectateurs étaient seulement deux clans ennemis qui ne cherchaient qu'à s'invectiver, hurlants des mots de haine, de mort avec une rage qui m'a peiné profondément. C'est de ce jour-là que j'ai compris que mon pacifisme était une utopie. Pour espérer un jour la paix sur la terre, ne faudrait-il pas commencer par ne plus *entretenir* la haine?

Louis BOURGOIN, I.C.,

Professeur à l'École Polytechnique.

LES MATHÉMATIQUES EN FRANCE AU XIX^e SIÈCLE

Les mathématiques modernes constituent la science abstraite par excellence. Nous ne donnons pas ici au mot « abstrait » le sens que les mathématiciens-chercheurs sentent qu'il a réellement, ou du moins le sens qu'ils auraient voulu lui donner. Le sens tel, que s'il avait été adopté, ce mot ne pourrait être employé que d'une manière absolue. Aucune expression mathématique ne saurait alors être plus abstraite qu'une autre. Mais formuler une telle définition de l'abstrait serait trop fastidieux et d'ailleurs cela nous aurait écarté inutilement de notre sujet. Car ici le mot « abstrait » traduit en langage d'ingénieur signifie « inapplicable », disons le mot — « inutile ». Inutile dans la vie quotidienne, inutile dans le sens « réaliste » — mot si cher à tant de gens de notre époque.

La grandeur des mathématiciens du XIX^e siècle consiste à avoir compris cette beauté de la science mathématique en elle-même, à avoir introduit des notions qui ne dérivent pas des nécessités techniques. Pour Cauchy, Galois, Poncelet et tant d'autres il ne s'agissait même pas de résoudre des équations qui permettent d'avoir une vue exacte sur les mouvements célestes. C'est la joie de penser, de conclure, d'analyser les êtres dont la seule substance est un ensemble de postulats, formulés ou non, qui pousse à la découverte, pourquoi donc ne pas agir en accord avec ce sentiment ? Pourquoi ne pas prendre comme seule source et comme seul but de cette création mathématique la joie de connaître des vérités mathématiques et disons-le — la joie de la création mathématique elle-même ? Les mathématiciens du XIX^e siècle ont formé des branches nouvelles extrêmement éloignées des réactions du monde extérieur. Pour les esprits mathématiques du XIX^e siècle le comportement d'une fonction, la loi de distribution des nombres premiers avait la même importance que la loi de gravitation. En tout cas il aurait été impossible, pour un Galois, par exemple, de trouver un seul argument *mathématique* qui puisse le convaincre que la loi de gravitation est plus importante qu'un phénomène quelconque de la théorie des groupes.

Ceci n'est pas du tout en contradiction avec le fait que de très grands mathématiciens du XIX^e siècle, dont un des plus grands, Henri Poincaré, aient cherché et aient réussi à appliquer leurs

idées à la physique ou à l'astronomie. Certes, on ne formait pas au *xix*^e siècle une exclusive contre les mathématiques inspirées par le monde extérieur, mais nous croyons qu'il y a lieu de souligner le fait que si la physique ou l'astronomie intervenaient parfois dans la création des grands mathématiciens de ce siècle, elles constituaient la *source* et non pas le but de cette création. Ceci ne fait donc que confirmer, nous semble-t-il, le fait que ce qu'on cherchait dans l'expérience était avant tout un sujet mathématique. Une fois celui-ci trouvé — quelle que soit sa source — l'esprit s'en emparait, le modelait; et souvent le physicien ou l'astronome qui le connaissait à « l'état nu » aurait eu de la peine à le reconnaître à sa sortie de l'esprit du mathématicien.

Il nous semble qu'on devrait appeler le *xix*^e siècle le siècle de l'abstraction ou si l'on préfère le siècle des mathématiques pures.

Les mathématiques du *xviii*^e siècle étaient encore sous l'influence des découvertes de Newton. Il semble que les grands savants de ce siècle furent fascinés par les possibilités que les lois de la mécanique pouvaient fournir à la spéculation mathématique. Et, quelle que soit la grandeur des conceptions d'un Lagrange, d'un Legendre ou d'un Laplace, jamais ces maîtres n'ont cherché, n'ont osé ou n'ont peut-être même pas soupçonné la possibilité de s'écarter de la grand'route menant des principes mécaniques aux conclusions — toujours mécaniques. Des vérités profondes ont été énoncées par exemple concernant des fonctions certes importantes — solutions d'équations importantes — mais personne au *xviii*^e siècle n'a pensé qu'on pourrait étudier des fonctions plus générales, des fonctions plus abstraites.

Ce sont les mathématiciens français qui au *xviii*^e siècle ont fait les plus grandes contributions à cette mathématique que j'appellerais d'inspiration newtonienne. Mais ce sont encore des mathématiciens français qui ont inauguré le *xix*^e siècle mathématique — le siècle abstrait.

Il est important de remarquer que c'est au *xix*^e siècle que la *profession* mathématique est née. Ceci grâce à la création des grandes écoles qui ont fourni des professeurs et qui à leur tour avaient besoin de maîtres. C'est aussi grâce à la création des revues mathématiques où les chercheurs pouvaient lire les travaux de leurs prédécesseurs et où ils pouvaient faire connaître leurs recherches personnelles.

C'est ainsi que l'École Polytechnique fut créée en 1794 (Monge, Lagrange y furent les premiers maîtres).

L'Université (impériale) de Paris et l'École normale supérieure furent créées en 1808.

En même temps que fut inaugurée l'École Polytechnique, parut le premier numéro du *Journal de l'École Polytechnique*. Les *Annales Gergonne* paraissaient de 1810 à 1831. Le journal mathématique le plus important de cette époque et qui d'ailleurs a gardé toute son importance, est celui créé par Léonville — le *Journal des mathématiques pures et appliquées*, fondé en 1836.

Les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* commencèrent à paraître, sur l'initiative d'Arago, à partir de 1835.

Citons encore le *Bulletin des Sciences mathématiques* qui fut créé en 1872 par Darboux. Et, enfin, la création, en 1874 de la Société Mathématique de France qui a commencé la publication du *Bulletin de la Société mathématique de France*.

Celui qui, de par la période sur laquelle s'étend son activité scientifique, a commencé le XIX^e siècle est Auguste Cauchy (1789—1851). Mais il fut aussi probablement le plus grand représentant de ce siècle et aussi le plus caractéristique.

L'activité de Cauchy fut immense. Avec ses 700 mémoires il a certainement battu tous les records. L'influence de son œuvre est grande autant par les résultats qu'il a obtenus que par la méthode de travail. C'est Cauchy qui a introduit la notion de la rigueur comme nous la comprenons aujourd'hui. Il est peut-être le premier aussi à avoir eu besoin de la rigueur, car il est le premier à avoir abandonné l'algorithme pour le raisonnement gonflé de matière logique. Il aurait suffi à Cauchy de transcrire quelques mémoires de ses prédécesseurs en son langage pour qu'il prouve au monde la nécessité de la bonne définition et de la grande précaution dans la démonstration — et par là même il aurait rendu un service immense à la science. Mais il a écrit de cette même manière un nombre immense de mémoires d'une nouveauté révolutionnaire.

La rigueur n'est pas seulement une méthode, elle constitue une branche autonome en mathématiques, en tout cas c'est la rigueur qui donne naissance aux théorèmes dont l'existence aurait paru sans elle tout à fait inutile. Ne citons pour exemple que le critère de Cauchy pour la convergence de séries, qui donne une condition nécessaire et suffisante pour cette convergence. Il est certain qu'ou-

tre l'importance de ce critère en tant qu'outil, il est aussi à la base de l'axiomatique moderne de topologies extrêmement importantes.

Comme autre exemple où la rigueur constitue la matière du sujet citons l'intégrale de Cauchy.

Les nombres complexes ont été connus longtemps avant Cauchy, mais c'est lui qui a introduit la notion de fonctions d'une variable complexe et c'est lui qui a démontré les théorèmes fondamentaux de leur théorie. La théorie des fonctions analytiques (monogènes comme disait Cauchy) ainsi introduite est peut-être la branche la plus riche et qui a le plus les aspects de la perfection dans les mathématiques modernes.

Il paraît que chaque fois qu'un auteur faisait paraître un travail concernant les fonctions analytiques, Cauchy exprimait l'opinion que les résultats obtenus étaient implicitement contenus dans ses propres recherches. S'il voulait dire par là que les résultats en question étaient plus ou moins une conséquence immédiate de la « formule (intégrale) de Cauchy », sa remarque pourrait être appliquée bien souvent encore de nos jours. Elle pourra probablement être toujours appliquée.

Les « théorèmes d'existence » et les « théorèmes d'unicité » fournissent aux mathématiques modernes une de ses caractéristiques les plus frappantes. Le premier, et peut-être le plus important de ces théorèmes, a été donné par Cauchy. C'est le théorème d'existence et d'unicité dans la théorie des équations différentielles. Ce théorème à lui seul aurait suffi pour marquer le passage d'une époque de mathématiques algorithmiques à une époque où le calcul d'une expression joue un rôle moins important que l'étude des propriétés du concept donné par cette expression. Souvent on juge du formalisme d'une recherche suivant qu'un théorème d'existence est démontré ou non.

Il ne peut évidemment être question d'énumérer ici tous les résultats — même seulement les plus importants — de Cauchy. Nous croyons avoir indiqué l'esprit de ses recherches. On rencontre rarement une branche de la théorie des fonctions, de l'algèbre, ou de l'analyse compris dans le sens le plus général, où le nom de Cauchy ne soit évoqué dans la base même de ces domaines. Remarquons encore que c'est aussi Cauchy qui fut l'initiateur de la pédagogie mathématique moderne, et en lisant ses *Exercices de mathématiques* on a presque l'impression de lire un manuel, et un bon manuel, écrit de nos jours.

Le xix^e siècle a fourni le plus pur génie mathématique — Évariste Galois (1811—1832). Ce jeune homme turbulent, mort en duel à 20 ans, après un séjour en prison pour des raisons politiques, a écrit son œuvre la plus importante la veille de sa mort. Ce travail contient la base de la théorie des groupes algébriques (La théorie des substitutions fut déjà élaborée par Cauchy.). Galois a pu ainsi définitivement résoudre la question de la solvabilité par radicaux d'une équation algébrique. Il a écrit d'autres travaux certainement importants, mais qui se sont perdus: l'un d'eux a été égaré par Cauchy.

Charles Hermite (1822—1901) fut un des esprits mathématiques les plus fins du xix^e siècle. Il a démontré la transcendance du nombre e — et ce n'est que par imitation de sa méthode que plus tard fut démontrée la transcendance de π , ce qui a définitivement montré l'impossibilité de la quadrature du cercle. Toute sa vie Hermite s'intéressait aux fonctions elliptiques, et c'est grâce à ses recherches qu'on peut maintenant intégrer toute fonction elliptique. Son étude de la fonction modulaire a rendu des services immenses à plusieurs branches des mathématiques modernes.

Plusieurs recherches d'Hermite sont contenues dans sa correspondance avec Thomas-Jean Stieltjes (1856—1894). Les travaux de ce dernier sur les fractions continues, les séries asymptotiques et sur la théorie des moments sont restés fondamentaux.

Comme mathématicien dont les recherches furent d'une inspiration directe des idées de Cauchy sur les fonctions analytiques il y a lieu de citer Joseph Liouville (1807—1875), le fondateur du *Journal des Mathématiques pures et appliquées* (appelé souvent 'Journal de Liouville'). Son activité s'étendait également sur la théorie des nombres, où il s'occupait surtout de l'approximation des nombres algébriques par des nombres rationnels.

Bien que la vie et l'activité mathématique de Camille Jordan (1838—1922) s'étendent en grande partie sur le xx^e siècle, ses recherches importantes, à savoir la mise au point de la théorie de Galois, et son œuvre la plus personnelle concernant les fonctions d'une variable réelle et la topologie le rangent parmi les fondateurs du xix^e siècle mathématique. On peut le considérer comme l'initiateur des recherches qui ont rendu célèbres nos maîtres immédiats: Émile Borel, René Baire et Henri Lebesgue (mort en 1941).

Une des plus grandes figures, dont une grande partie de l'œuvre fut conçue vers le dernier quart du dernier siècle, fut Henri Poincaré

(1854—1912). Mais ses recherches sur l'analyse situs, les fonctions fuchsienues, les équations différentielles, les fonctions entières et la mécanique céleste furent tellement vastes, et son influence tellement grande, que dans cette conférence nous ne pouvons que les mentionner. Nous croyons que s'il fallait choisir seulement deux noms du dernier siècle mathématique, on choisirait probablement Cauchy et Poincaré.

N'oublions pas que le xix^e siècle a vu la naissance de la géométrie pure avec les travaux de Michel Charles (1793—1880) (rapport anharmonique, division homographique, relation d'involution) et de la géométrie projective avec l'œuvre de Jean-Victor Poncelet (1788—1867).

Quant à la géométrie infinitésimale, qui fut tellement cultivée au xix^e siècle, ne citons qu'un de ses plus grands promoteurs: Gaston Darboux (1842—1917).

Mais le siècle abstrait a vu aussi paraître les travaux fondamentaux de la physique mathématique, car c'est au xix^e siècle que Jean-Baptiste Fourier (1768—1830) et Siméon-Denis Poisson (1781—1840) ont fait paraître les travaux qui font rattacher à ces noms des notions de tout premier ordre: séries de Fourier, intégrale de Poisson.

Nous ne ferons que citer les noms des mathématiciens qui tout en commençant leurs recherches au xix^e siècle ont continué ou continuent à travailler de nos jours. Émile Picard (1856—1941), Jacques Hadamard (1865) et Émile Borel (1871). Suivis des savants venus aux mathématiques au début de ce siècle, ils contribuent à la gloire de la science française.

S. MANDELBROJT

LA PIPE-LINE DE PORTLAND À MONTRÉAL

HISTORIQUE

Dès l'antiquité le transport de l'eau se faisait déjà par canal et aqueduc pourvu que la pente fût suffisante et qu'il n'y eût aucune interruption ni ascension. Ces aqueducs étaient ouverts; ceux que les Romains construisirent en Italie et dans les Gaules existent encore aujourd'hui et prouvent que les ingénieurs d'alors connaissaient les propriétés d'écoulement des liquides. Plus tard, quand la fabrication des tuyaux fit son apparition, le même principe fut suivi, avec cette différence toutefois qu'avec un tuyau fermé on pouvait remonter les pentes, pourvu que la pression fût suffisante; et dès lors le génie hydraulique avait à sa disposition un outil ou appareil beaucoup plus utile: le tuyau. Le transport ou l'écoulement de l'huile dans un tuyau se fait selon les mêmes principes que ceux de l'eau, sauf, toutefois, que si l'eau conserve la même viscosité à toute température au-dessus de son point de congélation, l'huile, au contraire, possède des viscosités différentes pour différentes températures.

Les pipe-lines ou oléoducs ressemblent donc aux aqueducs, et leurs inventeurs ne firent que copier ces derniers.

L'origine de la pipe-line ou oléoduc, remonte à quelques années après le forage, en 1859, du fameux puits "Drake" près de "Oil City" en Pennsylvanie. Cette pipe-line rudimentaire de quelques milles de longueur, et faite d'un tuyau de fonte de deux pouces de diamètre assemblé par joints d'étoupe, démontrait la confiance et la vision de ses constructeurs. De cet humble début, l'industrie du transport du pétrole par pipe-line a pris une expansion telle, qu'aujourd'hui un réseau de 130,000 milles de lignes principales transporte plus de 4 millions de barils d'huile par jour.

Les premières pipe-lines étaient faites de tuyaux de fer assemblés au moyen de brides boulonnées (Flanges); mais ce ne fut pas long que des tuyaux d'acier joints par des collets filetés, les remplacèrent.

Les premières pipe-lines furent limitées au pétrole brut, car les fuites nombreuses occasionnées par ces joints visés découragèrent leur utilisation pour le transport des produits finis plus dispendieux. Cette situation qui dura environ 40 ans, fut vite modifiée par l'avènement de la soudure à l'acétylène. La nouvelle

Les vignettes illustrant cet article ont été obtenues de M. William F. Finney, président, Portland-Montreal Pipe Line Company.

soudure adoptée d'emblée, les joints soudés eurent tôt fait de succéder aux joints vissés. Introduite en 1914, la soudure à l'acétylène fut bientôt remplacée par la soudure électrique et les pipe-lines sillonnant les immenses champs pétrolifères, furent bientôt soudées d'un bout à l'autre.

Le succès de joints soudés fut tel, que les fuites disparurent et la pipe-line fut dès lors adoptée pour le transport de produits finis. La première pipe-line à servir au transport de la gazoline, fut construite au Wyoming en 1917, et quoiqu'alors jugée d'un œil douteux par les anciens constructeurs de pipe-lines, elle était un succès dès le début, les pertes par fuites, jusqu'alors nombreuses, étant du coup éliminées.

Depuis 1920, toutes les pipe-lines ont des joints soudés. Ceci amena évidemment le développement d'une technique spéciale de soudure afin d'accélérer la construction des pipe-lines et en diminuer le coût. Quoique la soudure à l'acétylène et celle à l'électricité ont leurs avantages particuliers, la soudure à l'électricité est supérieure, et de beaucoup la plus employée.

L'amélioration des méthodes de soudure, hâta la fabrication du tuyau fait de plaques d'acier et soudé à l'électricité. Ce tuyau fut bientôt suivi par le tuyau sans joint (*seamless pipe*) lequel est produit au moyen d'un lingot d'acier que l'on perfore et allonge à la forge. Ce tuyau sans joint longitudinal, produit un tube soudé aux joints transversaux seulement et qui, à travers les plaines et les vallées, au sommet des montagnes comme sous les rivières, élimine tous dangers de fuite car les joints soudés sont aussi forts, sinon plus forts, que le tuyau lui-même. Ces soudures, exemptes d'occlusion gazeuse et d'intrusion métallique à l'intérieur, donnent un joint parfait.

Le succès de la pipe-line permet de dire que c'est un moyen sûr et satisfaisant de transporter non seulement le pétrole brut, mais aussi les produits finis à travers les continents et sous toutes conditions. Ceci est même encore plus vrai dans les temps troublés que nous traversons, car une pipe-line sous terre est moins susceptible d'être endommagée par des causes extérieures.

La construction de la première pipe-line de Pennsylvanie fut amenée par les demandes exorbitantes de conducteurs de voitures-citernes d'alors. La même compétition persista par la suite, et de nos jours la pipe-line ne peut retenir le commerce du transport du pétrole que si elle entre en compétition avec les bateaux-citernes, les barges, les chemins de fer et les camions.

Ceci est une loi fondamentale qui assure le succès ou la faillite d'un projet de transport par pipe-line; nous reviendrons plus loin sur la discussion économique d'un tel projet.

Les pipe-lines, sillonnant les États-Unis en tous sens, reliant entre eux les champs pétrolifères aux raffineries situées dans les centres de grande consommation, forment un réseau faisant partie intégrale de la richesse économique et de la défense nationale américaine.

LA PIPE-LINE PORTLAND-MONTRÉAL

Ce projet fut conçu surtout en vue de libérer un certain nombre de navires-citernes. En effet, la majeure partie du pétrole, alimentant les grandes raffineries des quatre compagnies d'huile de Montréal-Est, vient de l'Amérique du Sud et des États-Unis. Ces navires-citernes, en déchargeant leur cargaison à Portland (Maine), au lieu de contourner la Nouvelle-Écosse et la Gaspésie et de remonter le St-Laurent jusqu'à Montréal, sauvent environ 2,000 milles aller et retour de leur parcours ou encore 12 jours sur un voyage total de 30 jours en moyenne. Ces navires-citernes sauvent donc environ le tiers de leur parcours.

Un autre point de vue, cette fois d'ordre économique, vient aussi en ligne de compte dans la conception de ce projet. Vu que le St-Laurent n'est pas navigable durant cinq mois d'hiver, les raffineries devaient accumuler des stocks de pétrole pour leurs opérations d'hiver; ce qui nécessitait durant les mois d'été, des navires citernes additionnels, qu'on ne pouvait libérer qu'à l'hiver. Les raffineries de Montréal-Est étaient en outre obligées d'opérer à surproduction l'été, et au ralenti l'hiver, créant ainsi un écart considérable de la marche normale.

LOCALISATION DU PROJET

Construire une pipe-line de Portland à Montréal, au point de vue ingénieur, ne présentait pas de difficultés insurmontables, quoique le terrain fût très accidenté, surtout dans le New Hampshire. Mais construire ce pipe-line dans un temps record de 142 jours était autre chose. D'abord il s'agissait de choisir le parcours le plus avantageux dans ce dédale de vallées, de gorges et de montagnes que sont les montagnes Blanches du New Hampshire et du Vermont. Les méthodes ordinaires d'arpentage et de relevé topographique étaient hors de question à cause du temps extrêmement limité réservé à ce stage de la construction. De plus, lorsque les

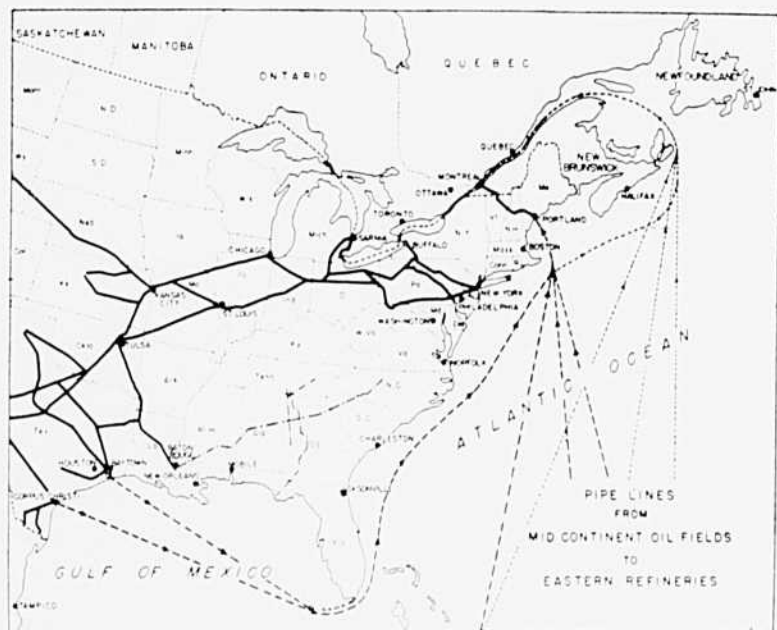


Fig. 1

Reseau des pipe-lines de l'est du continent américain.

ingénieurs américains firent l'examen préliminaire de la route à suivre dans les états de la Nouvelle-Angleterre, ils constatèrent avec surprise, qu'il n'existait pas de cartes topographiques d'une précision suffisante permettant de projeter une ligne de localisation. Ils eurent donc recours à la photographie aérienne pour faire leur relevé à travers le Maine, le New Hampshire et le Vermont. Les avions survolèrent cette région prenant des photographies à 17,000 pieds d'altitude.

En étudiant ces photographies aériennes à l'aide de stéréoscopes, lesquels donnent du relief aux photographies, le choix de la route de la pipe-line fut relativement facile: de fait il n'était pas nécessaire d'obtenir des contours très précis, mais plutôt une appréciation générale des élévations, et cela dans le but d'établir des stations de pompage dont les différences de niveau entre chacune, ne fussent pas trop considérables. Aux alentours du Mont Washington, la pipe-line s'élève à 2,200 pieds d'altitude: point le plus élevé du parcours.

Dans le Québec, les ingénieurs n'eurent pas cette difficulté. D'abord le terrain était moins accidenté, le point le plus élevé étant

de 1,800 pieds au Mont Sutton; mais, grâce surtout à notre bon système de cartes militaires préparées par le gouvernement fédéral, il était facile de faire un relevé topographique. Les ingénieurs américains furent épatés par la précision de ces cartes. Sauf, une couple de voyages en avion pour examiner le terrain en général et en particulier, un certain endroit dans les montagnes de Sutton où il fut nécessaire d'étudier une passe très difficile, aucun arpentage aérien ne fut nécessaire du côté canadien.

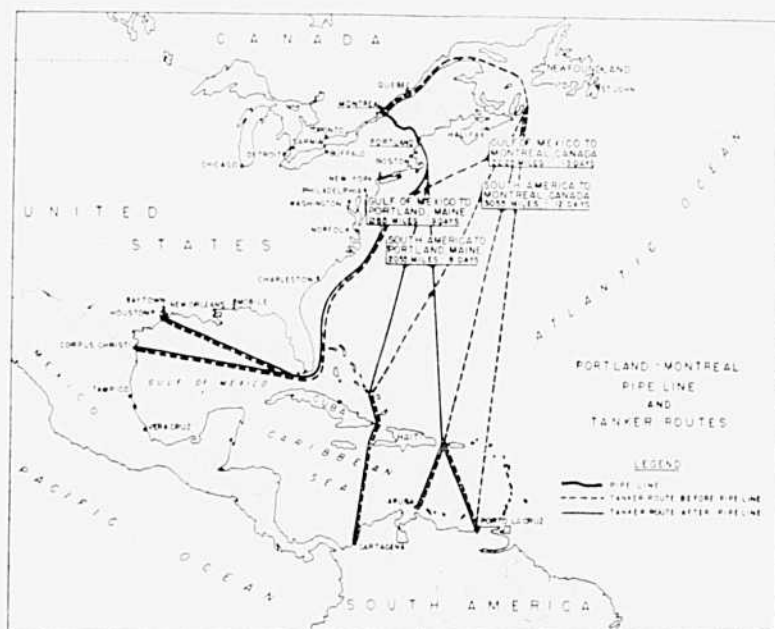


Fig. 2

Carte indiquant la route suivie par les pétroliers venant à Montréal de l'Amérique du Sud.

Comme preuve de l'efficacité de nos cartes militaires, citons le cas de Highwater, lorsqu'il fallut y choisir l'emplacement de la station de pompage. Pour satisfaire aux exigences de la douane des deux pays, il fallait que cette station fût sur la ligne internationale, de préférence toute la station dans le Canada et la valve d'entrée, ainsi que les compteurs, du côté américain.

Après l'examen de plusieurs endroits, l'ingénieur en chef remarqua, en consultant les contours de nos cartes militaires, qu'il devait y avoir un plateau sur le dessus d'une colline près de la

frontière, environ un mille et demi à l'ouest de la route reliant Massonville (Québec) à North Troy (Vermont) et à peu près à deux milles du petit village de Highwater.

Les cartes militaires indiquaient ce plateau comme étant entre 860 et 870 pieds d'altitude. Un relevé topographique, à partir du point de repère géodésique (bench mark) de Highwater, donna 868 pieds comme altitude.

Une fois le choix du parcours arrêté, les arpenteurs tracèrent celui-ci sur le terrain, pendant que les expropriateurs acquièrent le terrain nécessaire. Ce droit de passage est de 35 pieds de largeur sur un parcours de 236 milles et dans la province de Québec seule, on dût traiter avec pas moins de 300 propriétaires. Ce droit de passage n'est pas l'acquisition d'une portion de terrain, comme dans le cas d'un chemin de fer ou d'une route, mais simplement une servitude sur ce terrain payée au pied linéaire au propriétaire du terrain en plus des divers dommages causés aux récoltes, clôtures, arbres, etc., durant la construction. Une fois la pipe-line construite et enterrée, le propriétaire du terrain conserve sa propriété sujette cependant à l'exercice paisible et utile de la servitude. Aux endroits où sont les stations de pompage, une superficie appréciable de terrain dût être acquise, non seulement pour la station elle-même, mais aussi pour l'emplacement des résidences des opérateurs.

La construction proprement dite commença au début de juillet 1941 à Gorham, New Hampshire. Deux contrats furent alloués à deux compagnies de construction différente. La section de 78 milles de longueur, de Gorham à Portland, fut octroyée à la "Oklohoma Contracting Co." et celle de Gorham à Montréal, de 158 milles de longueur, à la "Williams Brothers Corp." de Tulsa, Oklohoma.

Deux compagnies furent également formées pour la construction et l'opération de cette pipe-line. La section de Portland à la frontière canadienne opère sous le nom de Portland-Montreal Pipe Line Co., et est une compagnie américaine. La section canadienne de Highwater à Montréal, soit un parcours de 70 milles est opérée par la "Montreal Pipe Line Co. Limited", une compagnie canadienne.

CONSTRUCTION

Cette pipe-line de 236 milles de longueur est faite de tuyaux, sans joint longitudinal, de 12 pouces de diamètre et dont la paroi à $\frac{3}{8}$ de pouce d'épaisseur; chaque section est de 40 pieds et pèse

environ 54 livres au pied linéaire, soit une tonne par section. Il fallut 32,000 tonnes de tuyau pour le projet entier.

Chacune de ces sections est soudée l'une à l'autre au moyen de l'arc électrique produit par des générateurs portatifs. Chaque bout de tuyau présente une face inclinée sur la verticale, de sorte que, mis bout à bout, la cannelure formée entre les deux tuyaux est remplie avec du métal fondu provenant de la barre de soudage.

Sous les rivières navigables, on posa deux tuyaux côte à côte. A cette fin, on utilisa deux tuyaux de 10 pouces de diamètre et dont la paroi était de $\frac{1}{2}$ pouce d'épaisseur. De plus, les joints, déjà soudés, furent recouverts d'un manchon d'acier comme mesure de prudence.

Pose

Cette pipe-line repose au fond d'une tranchée de 4 à 5 pieds de profondeur. L'excavation fut pratiquée par des excavateurs à godets, lorsque le terrain le permettait. Quand le sol contenait trop de cailloux ou de racines on se servit de pelles mécaniques; la dynamite eut raison du roc.

Le tuyau, de fabrication américaine, d'abord amené aux stations de chemin de fer, fut transporté par camions sur le chantier et dispersé le long de la tranchée. Deux tracteurs munis de treuils latéraux assemblèrent ce tuyau.

Chaque section amenée bout à bout, est tenue en place par un fermoir pendant que les soudeurs font le joint. On enlève ensuite le fermoir puis les soudeurs continuent à appliquer du métal jusqu'à la formation d'un bourrelet assez épais pour en garantir la solidité.

Pour suivre les configurations du terrain, il faut nécessairement faire des courbures. Comme ce tuyau d'acier est en soi très flexible, les deux tracteurs servant à la pose, se chargèrent de cette besogne. Pendant que l'un des tracteurs retient de son poids le tuyau en place, l'autre au moyen de son treuil latéral en relève une des extrémités pour effectuer la courbure de rayon désiré. Les tuyaux, une fois soudés ensemble et suffisamment courbés pour épouser la forme du terrain, reposent sur des traverses de bois au-dessus de la tranchée, en attendant l'inspection avant de les enterrer.

Inspection

Pour vérifier si les joints sont étanches, on laisse des ouvertures à tous les milles environ. Par ces ouvertures on y fait passer,



Fig. 3

Parcours de la pipe-line Portland-Montréal.

poussé par l'air comprimé, un racloir qui nettoie le tuyau de toute matière étrangère qui aurait pu s'y introduire. Le racloir une fois sorti à l'autre extrémité, on scelle le tuyau au moyen d'une bride fermée (blind flange) et l'on élève la pression d'air jusqu'à environ 100 livres. L'inspecteur badigeonne chaque joint d'une solution de savon et toute fuite d'air est alors décelée par une bulle, indice d'une soudure défectueuse. Disons, en passant, que ces joints soudés sont tellement parfaits que pas un ne fut trouvé réellement défectueux. Une fois cet essai terminé, les deux sections sont soudées l'une à l'autre, le tuyau descendu au fond de la tranchée puis enterré.

Expansion ou contraction

Les innombrables courbures, que possède le tuyau, servent en même temps de joints d'expansion ou de contraction, car cette pipe-line subit évidemment des elongations ou des contractions dues aux changements de température. De plus ces courbures accentuent la flexibilité, de sorte que si le terrain subit des mouvements dus à la gelée, le tuyau peut suivre ces mouvements avec facilité.

Traverse du Richelieu

La section canadienne traverse, outre les rivières Mississiquoi et Yamaska, la rivière Richelieu à quelques milles en amont de Belœil. A cet endroit le Richelieu a 1,200 pieds de largeur. On dut d'abord creuser une tranchée dans le lit de la rivière pour enfouir le tuyau, car celle-ci est navigable. On utilisa pour la pose du tuyau un système ingénieux et rapide. L'on commença par souder une série de tuyaux, formant une section d'environ 650 pieds, que l'on étendit sur le sol perpendiculairement à la rivière. L'on attacha l'une des extrémités de la section à une barge, et un puissant tracteur, attaché à cette section, la poussa à travers la rivière, l'extrémité attachée à la barge étant tenue hors de l'eau. Lorsque cette première section fut poussée à travers la rivière on y souda, à la suite, une deuxième section que le tracteur remorqua d'une manière identique. On y posa ainsi deux tuyaux parallèles de 10 pouces de diamètre. Bien entendu on fit du sondage pour s'assurer que chaque section reposait au fond de la tranchée creusée dans le lit de la rivière. Cette opération prit environ 3 jours. La nature du sol au fond de la rivière était telle, que la tranchée se remplit le printemps suivant.

Traverse du Saint-Laurent

La pipe-line traverse le fleuve Saint-Laurent de Boucherville à Montréal-Est: le fleuve à cet endroit à une largeur de 13,000 pieds laquelle comprend trois îlots et 6,000 pieds de chenail principal.

Vu la navigation, il fallut enfouir la pipe-line dans le lit du fleuve. A cette fin, on dut creuser une tranchée d'environ 20 pieds de profondeur. Ceci était nécessaire en vue du creusage futur du Saint-Laurent. La pipe-line repose donc environ 55 pieds plus bas que le niveau moyen du fleuve, de sorte que si l'on creuse celui-ci à 45 pieds, la pipe-line serait encore enfouie à 10 pieds sous le lit du fleuve.

Le lit du Saint-Laurent, à cet endroit, se composait de gravier et d'argile durci dans lequel étaient noyés d'innombrables gros cailloux. Une immense drague à godets fut utilisée pour ce creusage.

Aux endroits où il y avait du roc, on dut dynamiter. Cette opération fut confiée aux entreprises de "Marine Industries" et dura plusieurs semaines, vue la nature difficile du sol.

Comme il était essentiel que le tuyau repose aussi horizontalement que possible afin d'éviter toute courbure dangereuse, on

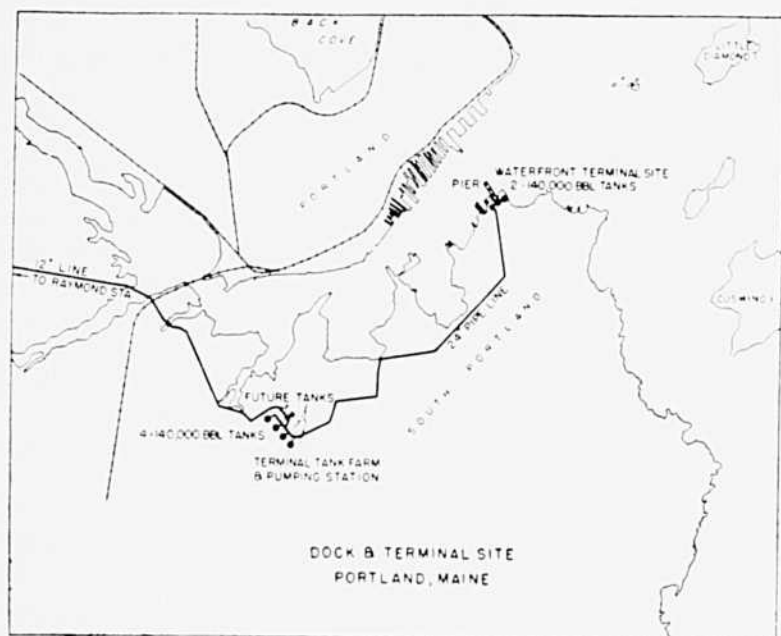


Fig. 4

Aménagement du port à South Portland.

dut faire des sondages continuels pour s'assurer que le fond de la tranchée était aussi de niveau que possible.

La pipe-line à travers le fleuve consiste en deux tuyaux d'acier jumelés de 10 pouces de diamètre et dont la paroi à $\frac{1}{2}$ pouce d'épaisseur. En plus d'être soudé, chaque joint fut recouvert d'un manchon d'acier et le tuyau enduit de peinture asphaltique pour éliminer la corrosion. Cet enduit asphaltique ne fut employé que sous les rivières, ailleurs le tuyau resta nu.

L'emploi de deux tuyaux ajoute un facteur de sécurité; que l'un vienne à couler, l'autre est là jusqu'à la réparation du premier. De plus si l'on voulait augmenter la capacité de la pipe-line en la doublant d'un autre tuyau, les deux tuyaux jumelés posés sous le Richelieu et le Saint-Laurent seraient déjà en place. On éliminerait un nouveau creusage, opération qui serait dangereuse pour le tuyau déjà existant, sans compter un coût additionnel de creusage. On se sert toutefois des deux tuyaux jumelés dans les opérations normales de pompage.

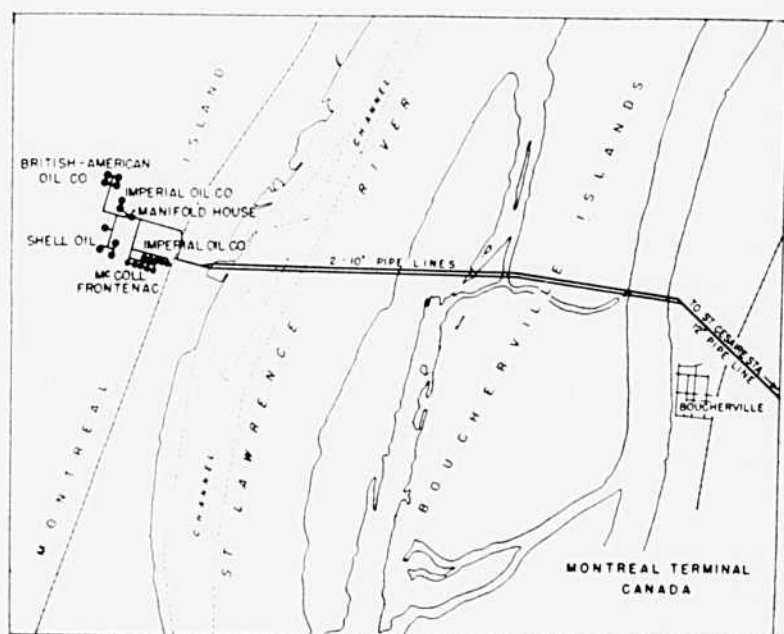


Fig. 5

Aménagement du terminus à Montréal-Est.

Posage du tuyau à travers le Saint-Laurent

Pour poser ce tuyau jumellé à travers le fleuve, on se servit d'une barge montée d'un échafaudage incliné. Sur une autre barge attachée à côté de la première, on assembla quatre sections de tuyaux bout à bout. Ces sections une fois hissées sur l'échafaudage, on les aligna et à chaque joint on boulonna des contre-poids de 500 livres. A chaque joint on relia encore le tuyau jumellé par des traverses de bois afin de le maintenir parallèle, surtout durant le temps de la pose, car une fois enterré dans le lit de la rivière, sa position relative ne variera plus.

A mesure qu'une section était soudée à la précédente, on avançait la barge progressivement et l'assemblage du tuyau glissait sous l'eau. Afin que les tuyaux ne se courbent pas dangereusement, des pontons derrière la barge soutenaient l'assemblage de tuyaux qu'on descendit ainsi progressivement, au moyen de câbles, au fond de la tranchée. En plus d'être soudé à l'arc électrique, chaque joint fut recouvert d'un manchon le quel, étant également soudé au

tuyau, assure une plus grande solidité au joint tout en ajoutant un plus grand facteur de sécurité.

STATIONS DE POMPAGE

Pour pousser le pétrole à travers cette pipe-line de 236 milles de Portland à Montréal, on construisit huit stations de pompage situées à tous les trente milles environ. Ces stations de pompage sont situées à Portland, Raymond et North Waterford dans le Maine, à Gorham et Lancaster dans le New Hampshire, et à West Burke dans le Vermont, puis finalement à Highwater et Saint-Césaire dans le Québec.

Chaque station contient deux pompes indépendantes. Ces pompes actionnées par engrenage et mues chacune par un moteur électrique de 500 forces sont du type à double pistons horizontaux. Ces deux pompes travaillent en parallèle cependant qu'une seule suffit pour pousser l'huile à débit réduit. Chaque station pompe le pétrole jusqu'au réservoir de la station suivante. De ce réservoir, le pétrole est soutiré par les pompes de cette station et ainsi de suite jusqu'à Montréal. Chaque station de pompage opère donc indépendamment l'une de l'autre. Ceci donne une grande flexibilité dans l'opération. En effet, une station peut arrêter de pomper pendant un certain temps, sans affecter les autres stations. Cet arrêt est limité toutefois par la capacité du réservoir de cette station. Celui-ci a environ une capacité de 40,000 barils; donc au taux de 50,000 barils par jour, il se remplirait en 20 heures.

En plus d'être indépendantes les unes des autres, ces stations possèdent un arrangement de tuyauterie telle qu'on peut sauter une station directement: c'est-à-dire que sur le parcours total, on peut n'utiliser que la moitié des stations par exemple. Évidemment dans ce cas, le débit journalier est diminué d'autant.

PRESSIONS ET TEMPÉRATURES

Au début nous mentionnions que l'huile, ou si l'on veut le pétrole, suit les mêmes lois hydrostatiques que l'eau. Ainsi le théorème de Bernoulli, sur l'écoulement des liquides dans les conduites, s'applique également dans le cas du pétrole, sauf que ce dernier possède des propriétés différentes de celles de l'eau, pour ce qui regarde sa densité par exemple: il est plus léger que l'eau. Contrairement à l'eau qui possède un point de solidification défini, le pétrole n'a pas de point de solidification, mais à mesure que la température s'abaisse il s'épaissit: c'est-à-dire, que sa visco-

sité augmente jusqu'à devenir semi liquide, semi solide, et finalement, si la température est suffisamment basse, complètement solidifié. De plus cette propriété de changer de viscosité en fonction de la température est particulière à un pétrole ou une huile donnée, c'est-à-dire, que différents pétroles ou différentes huiles n'ont pas des viscosités identiques à une même température, et que de plus, certaines huiles sont plus susceptibles que d'autres aux changements de la température.

Ce n'est que par des expériences nombreuses et répétées que l'on est parvenu à dresser des abaques ou tables donnant par exemple la perte de charge dans une conduite pour un débit connu et une viscosité connue à une température donnée. Les ingénieurs calculant le diamètre d'une pipe-line pour un débit donné doivent donc faire intervenir tous ces facteurs, de viscosité, de densité et de perte de charge par friction par longueur unitaire, et cela pour des pétroles dont les propriétés sont à peu près semblables. Ils arrivent ainsi à établir pour un débit donné, la pression et l'énergie requises par les pompes des différentes stations.

Dans le cas de la pipe-line de Portland à Montréal, les deux pompes à pistons de chaque station, travaillant en parallèle, opèrent à une pression moyenne de 750 lbs par pouce carré lorsque le débit est de 50,000 barils par jour; or trente milles plus loin, à l'arrivée de l'huile à l'autre station, la pression n'est plus que de 30 à 40 lbs.

Lorsque, toutefois la température de l'huile baisse et que celle-ci s'épaissit dans la conduite, le débit diminue et les pressions augmentent. La vitesse d'écoulement est d'environ 5 pieds à la seconde ou de 3 milles à l'heure. Le pétrole partant de Portland prend donc pour parcourir la distance de 236 milles jusqu'à Montréal, environ 75 heures ou 3 jours. Les pressions maximums d'opération d'une pipe-line varient suivant l'épaisseur des parois du tuyau et la qualité de l'acier. Dans cette étude on a adopté un facteur de sûreté de quatre.

AMÉNAGEMENT DU PORT A PORTLAND

A Portland on dut aménager un quai pour les pétroliers. On choisit la baie de Casco qui est libre de glace, l'hiver. On dut creuser un chenal afin de permettre aux plus gros pétroliers d'y

venir, même à marée basse. Près du quai on construit deux réservoirs de 140,000 barils chacun.

Le quai de déchargement est relié à la première station de pompage 4 milles plus loin, à Portland, par une conduite de 24 pouces de diamètre: ce qui permet un déchargement rapide des pétroliers, soit dans les réservoirs du quai, soit dans les quatre autres réservoirs de 140,000 barils de la station de pompage de Portland. C'est de ces réservoirs que la station de Portland s'alimente. La capacité d'emmagasinage à Portland est donc de 840,000 barils ou 30,000,000 gallons. Les 235 milles de pipe-line contiennent à eux seuls 150,000 barils.

TERMINUS DE MONTRÉAL-EST

Le terminus de la pipe-line à Montréal-Est consiste en un système de tuyauterie distribuant le pétrole à des réservoirs d'où les différentes raffineries clientes de la pipe-line s'alimentent, chacune avec le pétrole qui lui appartient.

SÉPARATION DES PÉTROLES DE DIFFÉRENTES ORIGINES

Lorsque le même genre de pétrole, c'est-à-dire, un pétrole provenant du même champ pétrolifère, est pompé, il n'y a aucune difficulté de danger ou contamination d'une cargaison à l'autre. Toutefois, lorsque des cargaisons de provenance différente, c'est-à-dire des pétroles possédant des caractéristiques différentes, doivent être pompées, cela présente un certain problème. On ne peut plus dans ce cas se servir des réservoirs de trop plein à chaque station, car il y aurait contamination d'un pétrole avec l'autre; alors on attèle les pompes directement sur la pipe-line et on les opère ainsi en série d'une station à l'autre. Dans ce cas il faut avoir soin de régler le débit de chaque station, de façon qu'il soit identique, car autrement il y aurait surpression à certaine station pendant que d'autres opéreraient dans le vide.

En plus, on insère dans ce cas un râteau que le pétrole pousse devant lui et qui le sépare de la cargaison de pétrole précédente, si celle-ci est différente. Évidemment un dispositif à chaque station permet d'enlever ce râteau avant le passage du pétrole dans les pompes et son insertion après.

Même si l'on pompe continuellement du pétrole de même sorte, il faut passer ce râcloir de temps à autre afin de débarrasser l'intérieur du tuyau des dépôts de paraffine qui peuvent s'y former plus ou moins vite suivant le genre du pétrole. Bien entendu, une ligne téléphonique relie chaque station afin que les opérateurs puissent communiquer entre eux en tout temps.

CONSIDÉRATIONS ÉCONOMIQUES

Il ne faut pas oublier qu'une pipe-line est un moyen de transport comme tout autre transport public, et si l'on assume qu'elle doit entrer en compétition avec les autres moyens de transport, tel que pétroliers, chemins de fer, camions-citernes, la première considération est son coût de construction, puis ses frais d'opération et finalement l'intérêt sur le capital investi. Le coût moyen incluant le coût des stations de pompage opérées par moteurs Diesel, de différentes grosseurs de pipe-line, est indiqué ici dans le tableau No 1. Ces chiffres compilés en juin 1941, aux États-Unis, doivent être maintenant révisés, selon les conditions présentes, et considérés plus élevés. Ces chiffres sont basés sur une capacité de pompage de réserve de 50%: ce qui est nécessaire pour obvier aux fluctuations saisonnières et aussi aux conditions de pompage de différents pétroles.

La quantité en barils, indiquée au tableau No 1 est établie pour du pétrole de gravité 36 A.P.I., du mid-continent, en assumant une pression de pompage de 1,000 livres au pouce carré, et des stations de pompage à tous les 30 milles en moyenne, tenant compte des différentes élévations.

Les coûts d'opération indiqués à droite du tableau No 1 sont basés sur une dépréciation de $3\frac{1}{4}\%$ et le total comprend un profit de 8% sur le capital investi, après avoir payé les impôts. Ce tableau indique que le coût par baril pour un trajet de 100 milles seulement est plus élevé que pour chaque 100 milles sur une pipe-line de 1,000 milles de longueur. Ceci est facile à comprendre car les frais d'administration et dépenses générales restent à peu près les mêmes pour un projet de courte comme de plus grande distance, et par conséquent, deviennent plus bas par baril par unité de distance de 100 milles, lorsque le projet est plus long.

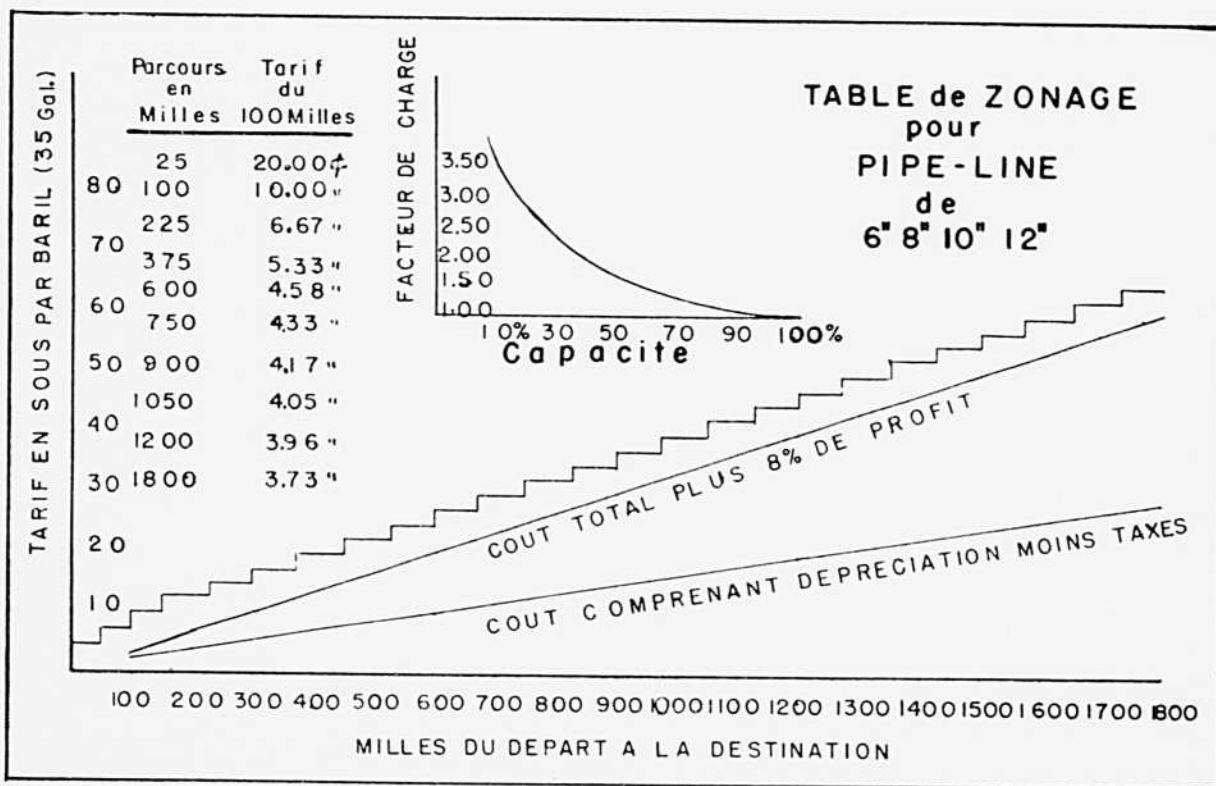
Ces chiffres sont des estimations, basés sur l'expérience générale, de différentes grosseurs de pipe-line dans diverses localités, et

TABLEAU No 1

PIPE-LINE POUR PÉTROLE BRUT — COUT DE CONSTRUCTION
ET FRAIS D'OPERATION — POMPES A PISTON OPERÉES PAR DES
MOTEURS DIESEL AVEC 50% DE CAPACITÉ ADDITIONNELLE

Grosueur du tuyau	Barils-Jour	Coût par mille	Coût des stations par Mille	Coût total		Coût d'opération par baril			
						100 milles	500 milles	1000 milles	1500 milles
4"	5,000	\$4,400	\$2,400	\$6,800	Opération	7.98c	28.19c	52.03c	77.30c
					Dépréciation	1.21	5.48	12.11	18.16
					Sous-total	9.19c	33.67c	64.14c	95.46c
					8% gain	2.98	14.90	29.81	44.71
					Impôt	1.61	8.03	16.05	24.08
					Total	13.78c	56.60c	110.00c	164.25c
6"	10,000	\$8,800	\$1,950	\$10,750	Opération	4.47c	16.08c	29.18c	41.52c
					Dépréciation	0.96	4.79	9.57	14.36
					Sous-total	5.43c	20.87c	38.75c	55.88c
					8% gain	2.35	11.78	23.56	35.34
					Impôt	1.27	6.35	12.69	19.03
					Total	9.05c	39.00c	75.00c	110.25c
8"	20,000	\$12,300	\$3,700	\$16,000	Opération	2.95c	9.44c	16.71c	24.46c
					Dépréciation	0.71	3.56	7.12	10.68
					Sous-total	3.66c	13.00c	23.83c	35.14c
					8% gain	1.75	8.77	17.53	26.30
					Impôt	0.94	4.72	9.44	14.16
					Total	6.35c	26.16c	50.80c	75.60c
10"	40,000	\$15,800	\$5,700	21,500\$	Opération	2.07c	6.71c	10.81c	17.52c
					Dépréciation	0.48	2.39	4.79	7.18
					Sous-total	2.55c	9.10c	15.60c	24.70c
					8% gain	1.18	5.89	11.78	17.67
					Impôt	0.63	3.17	6.35	9.52
					Total	4.36c	18.16c	33.73c	51.89c
12"	60,000	\$18,600	\$7,150	\$25,750	Opération	1.70c	5.49c	9.18c	14.86c
					Dépréciation	0.38	1.91	3.82	5.73
					Sous-total	2.08c	7.40c	13.00c	20.59c
					8% gain	0.94	4.70	9.41	14.11
					Impôt	0.51	2.53	5.07	7.60
					Total	3.53c	14.63c	27.48c	42.30c

Ces chiffres furent compilés en juin 1941 et doivent être révisés maintenant pour tenir compte de l'augmentation de la main-d'œuvre et des matériaux.



naturellement, ils doivent être modifiés pour tenir compte des différents facteurs dans l'étude d'un nouveau projet.

Le tarif théorique pour une pipe-line servant au transport du pétrole brut est indiqué au graphique Z-1, que nous allons maintenant interpréter. Par exemple, si l'on doit pomper du pétrole à 500 milles, le graphique indique un coût de $17\frac{1}{2}$ c par baril, lequel couvre le revenu nécessaire pour les frais d'opération, les taxes et les profits. Ceci sert de guide pour l'établissement du tarif, qu'on doit majorer à $22\frac{1}{2}$ c, pour tenir compte des charges variables. On a établi un système de zônage qui donne une certaine marge permettant de concurrencer les tarifs compétitifs des autres moyens de transport. Ceci veut dire qu'un tarif de $22\frac{1}{2}$ c par baril, couvre une zone de 450 à 525 milles, et ainsi de suite pour d'autres distances. On doit apporter certaines modifications, toutefois, pour tenir compte du facteur de charge, de la localité, de la grosseur du tuyau, du genre de pétrole pompé, etc.

L'expérience a montré, durant les nombreuses années que les pipe-lines ont opéré, que celles-ci doivent entrer en concurrence avec tout autre moyen de transport compétitif et que dès lors elles doivent rapporter un profit raisonnable. Ceci varie avec les projets et les localités et un projet dont les opérations seront de courte durée devra rapporter un plus gros revenu pour balancer des pertes futures. On doit allouer une fluctuation libérale dans les profits d'opération d'une pipe-line afin d'être protégé contre les mauvaises années et les difficultés imprévues.

CONCLUSIONS

La construction de la pipe-line de Portland à Montréal fut un projet difficile, vu la nature du terrain à travers le Maine, le New Hampshire et le Vermont; la plupart du temps on dut traverser du terrain rocailleux. Dans la province de Québec, toutefois, le projet était relativement facile, puisque, sauf aux alentours du Mont Sutton, le reste du parcours était en terrain plat et facile. En plus des problèmes de construction, il ne fut pas facile d'obtenir à temps la machinerie nécessaire. On dut même emprunter des pompes centrifuges usagées en attendant que les pompes à pistons commandées puissent être fabriquées et livrées. Toutes ces difficultés furent vaincues une à une grâce à l'expérience des ingénieurs

et des entrepreneurs, de sorte que le projet fut réalisé en 142 jours; ce qui nécessita de longues heures de travail et des dépenses additionnelles, mais tous ces efforts furent couronnés de succès.

La pipe-line estimée originalement à \$8,500,000 ne coûta pas loin de \$10,000,000, soit un peu plus de \$40,000 le mille.

Le premier pétrolier venant de l'Amérique du Sud arriva à Portland le 4 novembre, les opérations de pompage commençant le 5 novembre 1941. Ce pompage d'essai, après quelques difficultés d'ordre mineur, continua pour quelques jours, et le 10 novembre, à une cérémonie présidée par le gouverneur Sewell, du Maine, la pipe-line était officiellement déclarée en opération. Le pétrole arriva à Montréal le 16 novembre, et depuis la pipe-line est en opération continue desservant les différentes raffineries de Montréal-Est en pétrole, produit si vital à l'activité industrielle et économique du Canada, particulièrement en temps de guerre.

Paul LEBEL,

Ingénieur diplômé de Polytechnique (126).

ONOMASTIQUE LAURENTIENNE

Jacques Cartier ayant découvert le jour de la St-Laurent un large fleuve qu'il appela d'abord Canada, lui donna, plus tard, le nom du Saint; et, semblable au grain de senevé dont parla le P. Vimont lors de la fondation de Montréal (la littérature du tricentenaire en est pleine), St-Laurent a proliféré, si j'ose m'exprimer ainsi. Il n'est que de feuilleter les publications géographiques, géologiques, économiques, touristiques de ce pays pour être bien vite perdu dans cette innombrable famille éponyme: le fleuve St-Laurent, le golfe St-Laurent, la région du St-Laurent, les Terres-Basses du St-Laurent, le pays du St-Laurent, la plaine laurentienne, qu'il faudrait, selon certains, appeler plaine *Laurentine*, la pénéplaine laurentienne, la région laurentienne, les provinces laurentiennes (à ne pas confondre avec la Province du St-Laurent), le plateau laurentien, le bouclier laurentien, le gneiss et le granite laurentiens, la *Laurentia*, qui n'a aucun rapport avec la *Laurentie*, les *Laurentides* enfin . . . et j'en oublie probablement.

Il y a là matière à d'innombrables confusions, à d'interminables discussions issues d'une simple erreur de mots ou d'acception de mots, à des discours où personne n'entendra rien, mais où chacun admirera l'orateur de se comprendre soi-même, ou d'en donner l'illusion. La clarté, belle qualité française, n'a-t-elle pas ses droits au Canada, ou, si l'on préfère, les Canadiens n'ont-ils pas droit à la clarté française? Essayons donc d'y voir clair.

* * *

1. *Saint Laurent*: diacre de l'Église de Rome, martyrisé sous Valérien, en 258. Fête le 10 août. Voilà qui est indiscutable.

2. *Le Saint-Laurent*: il s'agit du fleuve; *a priori*, cette expression ne peut guère désigner qu'un fleuve ou un bateau: aucun risque de confusion entre ces deux choses, il est donc inutile de dire « le fleuve St-Laurent »; si cette expression n'est pas un *pur* anglicisme, puisqu'on la lit constamment dans les *Relations* des Jésuites du XVII^e siècle, elle ressemble furieusement *aujourd'hui*, à un anglicisme, car on ne dit pas « le fleuve Seine », « la rivière Marne », « le fleuve Mississipi ». ¹

¹ On dirait plutôt « le fleuve de Seine », qui reste une *apposition* comme « la ville de Blois ». Mais il y a aussi des « de » qui marquent la possession, et qu'il est non seulement incorrect ou coupable, mais *absurde* de supprimer: la rivière de Saïgon, la rivière de Matane, le canal de Lachine; on doit dire, de même, la rivière du Lièvre (ou, mieux: au Lièvre), la rivière au Renard. L'anglais juxtapose, le français lie par une préposition. On ne répétera jamais assez que la *correction grammaticale* est indispensable à la langue française. Ni le géographe, ni l'ingénieur ne doivent négliger d'analyser et de châtier leur style.

3. *Le golfe St-Laurent.* Le golfe que forme, en s'évasant, l'immense estuaire du St-Laurent est le golfe du St-Laurent. C'est d'ailleurs ainsi que le désigne Baulig dans la *Géographie Universelle* de Vidal de la Blache et Gallois. Les Anglais eux-mêmes, au surplus, mettent la préposition et disent: *Gulf of St. Lawrence*.

4. *La région du St-Laurent,* d'après G. A. Young (*Géologie et Minéraux industriels du Canada*, Ottawa, 1929) est une région physiographique et géologique qui s'étend de Québec (et même d'Anticosti) à l'Ontario méridional, hors et en bordure du Bouclier canadien. Lorsqu'on ne parle que de la province de Québec, le sens de l'expression se restreint corrélativement (F. Vézina, *Notre Milieu*, p. 54). R. Blanchard dit *région laurentienne* (cité par B. Brouillette, *ibid.*, p. 46), B. Brouillette *plaine laurentienne* (*ibid.*, pp. 49, 81), P. Dagenais enfin *terres-basses du St-Laurent* (*ibid.*, p. 107), tout cela dans le même volume, et pour la même région québécoise. Mais celle-ci se subdivise: la partie qui s'étend entre l'amont du lac St-Pierre et l'estuaire est appelée *plaine du St-Laurent* par Blanchard (*ibid.*, p. 46), et *pays du St-Laurent* par F. Vézina (*ibid.*, p. 54). Il y a là, évidemment, abus de termes voisins qui ne désignent pas la même chose: c'est vouloir la confusion. Pourquoi pas *plaine de Québec*, *plaine de Montréal*, pour les deux subdivisions dont on vient de parler, et pourquoi pas *vallée du St-Laurent* pour l'ensemble? Tout fleuve a une vallée, et chacun sait ce que c'est que la vallée d'un fleuve. Celle du St-Laurent commence, comme le fleuve, au *déversoir du lac Ontario*, à Kingston; quant à la partie au nord et à l'ouest de ce lac, elle n'a pas plus de droits à être patronnée par notre Saint que les rives du lac Michigan: si Toronto est dans la « région du St-Laurent », Chicago y est aussi ce qui est insoutenable. Au surplus, personne n'a jamais inféodé à Saint-Laurent la rive sud du lac Ontario: alors, pourquoi la rive nord? Qu'on nomme donc *plaine de Toronto* cette rive nord, ou de tel autre nom qu'on voudra, mais non pas région, ni plaine, ni vallée du St-Laurent.

5. Les provinces laurentiennes sont, pour Baulig (*op. cit.*), celles de Québec et d'Ontario: or cette dernière a fort peu de titre au qualificatif, comme il vient d'être dit. On ne voit pas, d'ailleurs, qu'il soit si nécessaire d'avoir non seulement un nom pour chaque province, mais encore un nom pour chaque groupe de 2 ou 3 provinces voisines.

6. La *province du St-Laurent* n'est ni le Québec, ni l'Ontario: d'après M. E. Wilson (*Geology* 1888-1928; Geol. Soc. of Amer., 1941, p. 274), c'est une *province géologique*, partie sud du Bouclier Canadien, limitée (très grossièrement) au parallèle de 52°. Ce nom n'a aucune raison d'être, puisqu'une grande partie de ladite province se draine vers la baie d'Hudson: *province méridionale* du Bouclier canadien, par exemple, eût été plus adéquat.

7. La *Laurentia* fait partie de cette famille de vieux môles continentaux baptisés par Edouard Suess de noms merveilleusement sonores: *Laurentia*, *Fennoscandia*, *Gondwana*, *Terre d'Angara*...; elle s'étend du Labrador au Texas, de l'Archipel arctique à l'Alabama; bien grande juridiction pour le saint Diacre de l'Eglise de Rome. Suess eût été mieux inspiré en forgeant *Mississippia*, par exemple, mais il est trop tard.

Résignons-nous donc à une expression moins poétique, la *Vieille Plate-forme* nord-américaine, sœur de 5 ou 6 autres vieilles plates-formes continentales. Voilà saint Laurent déchargé d'un ministère.

8. Il ne faut pas confondre *Laurentia* et *Laurentie*, qui est une appellation poétique de la province de Québec. Nous ne prétendons pas dicter des lois aux poètes: qu'ils gardent donc ce mot, si la rime le veut, ou pour le charme de l'oreille. Mais un bon Canadien, respectueux des Règlements de l'Administration, sait qu'il doit mettre, sur ses lettres: Montréal, P.Q., ou encore Montréal, Qué.: au moins, « ça a du bon sens ».

9. En 1854, Logan, premier géologue canadien, qualifia de *laurentiens* certains gneiss et granites qui abondent au nord de l'Outaouais; un autre géologue, Lawson, eut le tort, plus tard, d'appliquer ce même nom à des granites de l'Ontario occidental, qui ne correspondent pas tout à fait à ceux de l'Outaouais. Il essaya, en 1911, de corriger sa bévue, mais assez maladroitement, puisqu'il appela *algomans* des granites qui, en fait, semblent du même âge que les *laurentiens* de Logan, tandis qu'il conservait ce dernier mot pour d'autres roches. Dès lors, il y a ambiguïté, donc danger pour la clarté, et il faut éviter *laurentien* autant que possible. Sauf étude de détail d'une zone bien délimitée, on dira: *granites et gneiss archéens*, à la fois pour les roches de Logan, et pour les deux catégories de granites de l'Ontario occidental: l'Archéen est la partie la plus ancienne des Temps précambriens, et les trois

types rocheux en question s'y rattachent; d'autre part, il est assez rare que la distinction de Lawson soit à la fois nécessaire et possible.

Géologiquement, il y a une différence fondamentale, qui se reflète de façon frappante dans la topographie, entre le Bouclier canadien, formé des roches cristallines précambriennes, et les régions limitrophes, la plaine de Montréal par exemple, faites de couches sédimentaires horizontales. Or nous avons vu que le gneiss laurentien de Logan est précambrien; la Province du St-Laurent (Wilson) ainsi que les Laurentides, en contiennent. Au contraire la région du St-Laurent (Young), ou région laurentienne (Blanchard) ne montrent aucune formation laurentienne, puisque là où apparaît le laurentien on est, par définition, dans le Bouclier canadien, et non pas dans la région laurentienne..... L'Anglo-Saxon se prélassé dans l'illogisme; mais comment s'étonner que cette géologie-là rebute le Canadien français?

10. « Pour qu'on aime la géographie », il faudrait d'abord mettre ordre à ce fatras, simplifier le vocabulaire en éliminant les termes ambigus ou trompeurs. Mais E. Miller, dans le livre qu'il a publié sous le titre qu'on vient de lire, n'en montre guère le chemin, et consacre un chapitre (pp. 236-242) à exposer la différence entre *laurentien* (sens de Logan) et *Laurentin* (qui, d'après E. Reclus, signifie « qui se rapporte au St-Laurent »). En fait, *laurentin* est infiniment peu employé, et c'est fort bien ainsi; ne ressuscitons pas ce mot, malgré son irréprochabilité sémantique; voilà du moins une source d'erreurs, de confusions, de discussions académiques qui s'est tarie d'elle-même.²

11. *Plateau laurentien*, *Bouclier laurentien* sont employés par quelques auteurs comme synonymes de *Bouclier canadien* (P. Mauffette, *Les Laurentides de la région de Montréal*, REV. TRIM. CAN., mars 1942, p. 68). En anglais, Ph. B. King (*An outline of the structural geology of the U.S.*, Washington, 1932) dit *Laurentian Shield* et a tort, comme les autres. Le « bouclier » en question, — puisque bouclier il y a — occupe la moitié du Canada, dont il déborde à peine la frontière sud; on peut donc, à juste titre, le dire *canadien*, et saisir cette occasion de ne pas l'inféoder inuti-

² On pourrait encore proposer *laurentien* (comme *Atlante*, *Atlantide*, *atlantéen*), qui rime avec *céruléen* (alors que *laurentidien*, *atlantidien* sont laids, et ne riment guère qu'avec *quotidien*). Espérons que personne ne s'avisera d'introduire effectivement ce mot, qui ne ferait qu'augmenter la confusion.

lement au martyr de Valérien. Dans *Un Monde était leur empire*, Ringuet (Dr Philippe Panneton) fait entre *bouclier canadien* et *bouclier laurentien* une distinction — jusqu'alors inédite, sauf erreur — qui paraît dénuée de tout fondement géologique, géographique ou autre: complication absolument inutile. Évitions, surtout, de varier les épithètes pour l'agrément du style: soyons *précis* d'abord. Un terme approché au lieu du mot juste n'a jamais donné d'élégance à la phrase.

12. La *pénéplaine laurentienne*, d'après P. Mauffette (*op. cit.*, p. 70) est la pénéplaine qui *au début de l'ère tertiaire*, occupait la région des Laurentides actuelles. Surélevée et burinée par l'érosion au cours du Tertiaire, cette pénéplaine n'en est plus une, car ses reliques forment les sommets des montagnes. S'il faut absolument lui donner un nom, qu'on prenne donc la précaution de bien marquer qu'il s'agit d'une surface ancienne: *pénéplaine tertiaire des Laurentides*, par exemple, ce qui est un peu long, mais est-on si pressé, et a-t-on si souvent à en parler?

13. Les *Laurentides*, enfin: ce joli mot fut forgé par l'historien Garneau (1845) pour désigner « une chaîne . . . de montagnes . . . dont la direction est parallèle au St-Laurent », et que d'ailleurs il ne délimitait pas exactement (*cf.* E. Miller, *Pour qu'on aime la Géographie*, p. 236); Miller s'en charge, mais en changeant complètement la définition de Garneau: les Laurentides, sous sa plume, deviennent « le rebord continental (?) » du Bouclier canadien, et s'étendent du nord de la côte du Labrador au Grand lac de l'Ours (*op. cit.*, pp. 238-240)! On ne saurait l'en approuver; que toutes ces hauteurs aient une origine géologique comparable (au surplus, pas identique), soit, mais géographiquement elles sont si différentes, si discontinues, et s'étendent sur une telle longueur qu'il ne faut pas les désigner d'un seul nom. Qu'y a-t-il de commun au St-Laurent et aux falaises du Labrador? Et aux territoires du Nord-Ouest? Là, d'ailleurs, les hauteurs sont si peu marquées qu'on ne peut vraiment les appeler montagnes, et qu'elles ne méritent pas un nom propre.

P. Mauffette étend ses Laurentides de l'Outaouais au détroit de Belle-Isle; il les limite par un beau pointillé sinueux, mais sans dire pourquoi . . . B. Brouillette (*Notre Milieu*, pp. 46, 47) entoure les siennes d'une courbe assez étrange, englobant Mont-Laurier et La-Tuque, mais excluant la région du Saguenay et même le

Parc des Laurentides, ce qui est un comble. Heureusement, P. Dagenais, dans le même volume (p. 107) compense cette criante injustice par une magnifique générosité: « Le géographe applique généralement (?) ce terme à une immense étendue de terrains entièrement logés sur l'extrémité méridionale . . . du Bouclier canadien »; les Laurentides-Dagenais comprennent l'Abitibi-Témiscamingue (!) mais les bornes en sont aussi peu définies que celles des auteurs précédents. S'agit-il de tout le bassin versant du fleuve? De la *Province du St-Laurent* de M. E. Wilson? L'étude en question cependant, ne concerne que la zone « où les colons et les bûcherons ont édifié leurs modestes demeures », ce qui revient à donner au mot Laurentides un sens démographique: « partie du Bouclier canadien où le peuplement est appréciable ». Nous voilà infiniment loin du texte et de l'idée de Garneau!

Pour conserver au mot un *sens*, une *force* — qu'il mérite, parce qu'il sonne bien — il faut de toute nécessité lui donner une définition, et éviter qu'il s'applique à un pays trop vaste et trop hétérogène.

— Unité au point de vue situation: la bordure (interne) du Bouclier canadien, dans sa partie *parallèle au St-Laurent*;

— Unité morphologique: il s'agit de *montagnes*, petites à vrai dire, mais le mot implique d'assez nombreuses pentes abruptes, et des dénivellations qui obligent parfois à lever la tête.

Le problème, hélas! n'est pas résolu pour autant: où commencent, où finissent les *montagnes*? Nous savons qu'il n'y a pas de *chaîne*, mais un massif, ou des massifs dont le relief s'adoucit graduellement vers le nord, l'est et l'ouest. Si l'on suit la limite même du Bouclier canadien de Lachute au Saguenay, et même au delà, on laisse, au nord, des montagnes indiscutables; celles-ci, en s'éloignant du fleuve, décroissent peu à peu: les côtes *s'abaissent*, tandis que les fonds de vallées s'élèvent. Passé la Gatineau, à l'ouest du Mont-Laurier, ou sorti de la cuvette du Lac-St-Jean, vers l'amont, le pays n'est plus montagneux, mais seulement ondulé. Longitudinalement, parallèlement au fleuve, dirons-nous que le Parc des Algonquins, en Ontario, fait partie des Laurentides? Et vers le nord-est? 120 milles environ au delà du Saguenay, les sommets s'écartent de l'estuaire pour aller former un vaste plateau où l'altitude ne descend nulle part au dessous de 2,000 pieds, et qui se suit jusqu'à la côte du Labrador: cette zone, de ce fait, paraît bien se rattacher aux monts du Labrador plutôt qu'aux

Laurentides. Aux géographes de décider: qu'ils s'accordent entre eux, et qu'ils concluent. Mais il est indispensable qu'on sache, sinon tracer avec précision le contour des Laurentides, du moins, en bon français, en langage scientifique de géographe, ce qu'il faut entendre par ce nom.

* * *

Résumons-nous: le Saint-Laurent, c'est le fleuve: il a son cours, son golfe, sa vallée, et chacun sait ce que cela veut dire. *Région, plaine, terres-basses, pays* du St-Laurent sont à éviter (sauf si l'on désire rester dans le vague), parce que mots trop voisins, et mal définis. Et il ne faut pas, sous prétexte d'éviter les répétitions, dire *laurentien*, ni même *laurentin*, pour « du St-Laurent »; parler du cours séquanien ou de la vallée marneuse serait, pour un Français, du galimatias.

Il ne faut employer *laurentien* qu'à bon escient: le sens *géologique* de Logan, prime, bien qu'il faille le regretter, car *archéen* est, neuf fois sur dix, assez précis, et il est toujours moins ambigu.

Enfin les Laurentides reprendront quelque dignité si, grâce à une définition « officielle », on cesse de galvauder leur nom.

Le signataire de ces lignes n'a pas autorité pour poser des règles, ou imposer son opinion; son but est moins de suggérer des solutions que de signaler le problème, de susciter la controverse d'où jaillit la lumière. Il demande la *clarté*, car le génie français s'énervé, dans ce brouillard où le Britannique se complaît. Chaque auteur crée son vocabulaire, sans trop se soucier, bien souvent, du sens précis qu'il attribue aux mots; il cite ses prédécesseurs ou ses collègues, ne les critique pas . . . et ne les respecte pas davantage. La littérature s'encombre ainsi de références contradictoires où, pour voir clair, il faudrait être juriste anglais. Qu'on *ose* donc critiquer les auteurs, qu'on *ose*, sans fausse modestie, les désapprouver, si la *logique* et la précision du langage l'exigent. L'onomastique laurentienne est devenue une bouteille à l'encre qu'il importe de nettoyer, une jungle alors qu'on voudrait un jardin. Se trouvera-t-il une autorité habile à statuer à son endroit, et qu'on respectera ?

Maurice DANLOUX-DUMESNILS,
Ingénieur civil des Mines.

LE GÉNIE ET L'ESPRIT DE L'HOMME

SOMMAIRE.— Cet article a été écrit pour servir d'introduction au cours d'Analyse des Déformations et des Contraintes que l'auteur a donné en 1943 à l'École Polytechnique de Montréal. Les considérations sur la nature du travail rationnel et du travail expérimental et sur leur importance relative en tant qu'instruments de l'ingénieur ont cependant une portée très générale. L'auteur envisage le problème en suivant les lignes de la philosophie classique.

1.— L'ingénieur est la personne qui a de l'« ingéniosité » pour utiliser les forces de la nature. Les ingénieurs constructeurs, civils et mécaniciens, utilisent tout particulièrement les forces qui existent à l'intérieur des corps et résistent aux déformations.

Dans la philosophie classique on fait une différence entre matière et forme. Cette différence est à la base de toute la métaphysique aristotélicienne et thomiste.

Je ne voudrais pas trop forcer les conceptions d'Aristote, mais je crois que je peux dire, analogiquement, et en le faisant je reste en dedans des grandes lignes de la philosophie classique, je crois que je peux dire en parlant analogiquement, que le problème qui se présente à l'ingénieur est aussi un problème où nous rencontrons la *matière* et la *forme*.

Les études sur la composition des matériaux, sur leur fabrication et leurs propriétés sont des études sur la *matière*, ou sur les matériaux eux-mêmes. Les études pour calculer des pièces, la théorie des structures, la théorie de l'élasticité, l'élasticimétrie, sont des études sur la *forme*.

L'étude de la nature des matériaux et de leur amélioration est la première partie de la science de l'ingénieur constructeur. Elle est peut-être la plus importante. Elle comprend par exemple l'obtention de nouveaux types d'acier à résistance élevée, ou de plastiques qui étaient inconnus il n'y a pas encore longtemps. Elle comprend aussi l'étude de nouveaux procédés pour traiter le bois, lui permettant d'arriver à des résistances aussi élevées que celles du "plywood".

L'autre partie de la science de l'ingénieur est l'étude des formes à donner aux matériaux. On peut la considérer en principe indépendante de la première partie. Mais elle ne l'est pas complètement. Il y a certainement une relation entre les formes à donner et la nature des matériaux à employer, et c'est peut-être une des caractéristiques du bon ingénieur de savoir donner à chaque maté-

riau la forme qui lui est la plus appropriée. Il ne faudrait pas par exemple, comme on l'a fait très souvent il y a quelques années vouloir à tout prix donner aux constructions en béton les mêmes formes qu'on avait déjà données aux constructions en fer, ni aux constructions en fer les mêmes formes qu'on était habitué à donner aux constructions en bois. On peut dire cependant qu'en un certain sens, le problème des formes à donner est indépendant de celui des matériaux à employer. C'est que le problème des formes à donner est essentiellement un problème de distribution de contraintes et pour la plupart des cas, dans la période élastique, la distribution des contraintes est indépendante de la nature du matériau.

Nous sommes donc arrivés à poser le problème de l'ingénieur constructeur en ces mots: il s'agit de transmettre des forces ou charges d'un point de l'espace à un autre au moyen de pièces ou de structures. Les forces qui se transmettent à travers ces pièces produisent des tensions ou contraintes et des déformations à leur intérieur. Le problème est donc de savoir: *a)* comment ces contraintes et ces déformations vont se distribuer dans les pièces ou, ce qui revient au même, quelle est la forme la meilleure à donner à ces pièces pour que les contraintes se distribuent de la façon la plus avantageuse; *b)* quel est le meilleur matériau à choisir et comment va-t-il réagir en face de contraintes auxquelles il est soumis.

2.— Pour résoudre ce problème de la transmission des charges d'un point à un autre point de l'espace, l'ingénieur se trouve tout d'abord devant le fait que les charges à transmettre peuvent être au repos, ou en mouvement. Le plus souvent les deux sortes de charges agiront ensemble sur les pièces, mais quand l'intensité ou la vitesse des charges en mouvement est petite par rapport aux charges en repos on considère que les charges sont « statiques ». Dans le cas contraire l'ingénieur doit envisager le problème du point de vue « dynamique ».

Si en observant la nature des charges, l'ingénieur trouve qu'elles peuvent être statiques ou dynamiques, en observant la nature des matériaux qui transmettent les charges, il trouve qu'ils peuvent avoir des caractéristiques très différentes. Parmi ces caractéristiques il y en a une, l'élasticité, que l'ingénieur rencontre très souvent et qui est relativement facile à déterminer. Plusieurs de ces matériaux se comportent tout d'abord comme élastiques, puis, à mesure que l'intensité des charges augmente,

ils subissent des déformations *plastiques*, et finalement ils se *rompent*. Cette façon de se comporter devant les charges n'est pas universelle mais elle est très commune. Par ailleurs elle permet une étude théorique poussée et relativement facile de la période élastique. C'est ainsi que l'ingénieur pour résoudre son problème de la transmission des charges doit tenir compte de trois périodes dans le comportement de la matière qui déterminent trois parties dans son étude: élasticité, plasticité, rupture.¹

Charges statiques ou dynamiques à transmettre; périodes élastique ou plastique, et rupture des matériaux à utiliser: l'ingénieur doit tenir compte de toutes ces conditions autant pour choisir le matériau qu'il va utiliser que pour lui donner sa forme. L'étude de la distribution des contraintes et des déformations devra tenir compte, et de la nature des charges et de la nature des matériaux. La distribution des contraintes et des déformations n'est indépendante de la nature des charges et de la nature des matériaux, que pour certains cas particuliers. La forme et la matière sont étroitement liées.

Charges statiques ou dynamiques; élasticité, plasticité, rupture: les problèmes qu'elles présentent peuvent être envisagés d'un point de vue théorique ou d'un point de vue expérimental.

Il y a des gens qui haïssent les théories; ils en font, sans le savoir, comme les gens qui détestent toute religion et militent dans la religion des « sans-Dieu », ou comme le bourgeois de Molière qui faisait de la prose sans s'en rendre compte. Aujourd'hui il est impossible de bâtir sans théorie. Le nombre d'équations dans un livre est bien loin d'être un indice de sa valeur. Le manque d'équations est bien loin d'être un indice de l'intelligence de l'auteur.

Il est aussi difficile de bâtir aujourd'hui sans faire des expériences. Il y a des gens aussi qui tiennent l'expérience en antipathie. L'expérience est une manière de connaître la réalité et la seule chose qui est vraiment importante c'est de connaître la réalité.

3.— La nature du travail rationnel est très différente de la nature du travail expérimental.

¹ Comme toute vue schématique, cette façon de présenter le problème est bien loin de tenir compte de toutes les complexités de la réalité.

Le travail rationnel, dans l'espèce le travail mathématique, est logique, abstrait, rigoureux. On part d'un certain nombre d'hypothèses, très réduit en général, et tout le reste n'est qu'un enchaînement d'affirmations qui s'appuient les unes sur les autres, et dont la validité est conditionnée par la validité de celles qui leur servent d'appui. Le travail rationnel tend, par soi, aux lois générales, et aux grandes synthèses. L'esprit rationnel n'est pas satisfait avec des faits individuels ou des lois particulières, il cherche de grands principes et il veut en tirer des conclusions.

Le travail empirique ou expérimental est plus humble. L'expérimentateur étudie des cas particuliers, et s'il tire inductivement des conclusions ce n'est qu'après de nombreux essais. Les conclusions encore ne sont que de portée limitée et ne s'appliquent qu'aux faits qui ont été étudiés. Ainsi que l'esprit rationnel tend aux lois générales et aux grandes synthèses, l'esprit expérimental tend à l'analyse.

Devant ces deux instruments de connaissance l'esprit critique doit être toujours éveillé. Son attitude sera différente cependant par rapport aux travaux théoriques, d'ordre rationnel, que par rapport aux essais d'ordre expérimental. Il faudra demander au théoricien la mesure dans laquelle ses hypothèses sont en accord avec la réalité. Il faudra lui demander si ses conclusions ne sortent pas en dehors du champ de validité des hypothèses et il faudra finalement lui exiger que ses élucubrations abstraites ne perdent pas de vue la réalité physique.

Le travail expérimental doit être jugé surtout au point de vue de la précision des instruments de mesure. Il faudra tenir compte des conditions dans lesquelles les expériences ont été réalisées. Il faudra enfin demander à l'investigateur de ne pas tirer des lois concernant des cas qui sont en dehors du domaine qu'il a étudié.

Le travail logique, abstrait, présente des dangers. Il est très utile à ce sujet de lire quelques-unes des préfaces de M. H. Bouasse. Celle qu'il a écrite pour sa *Théorie de l'élasticité, résistance des matériaux* est particulièrement instructive. « Les mathématiciens ont tout gâché, déversant leur incomparable bêtise sur les sciences les plus étrangères à leurs habituelles occupations (.....) Le mathématicien a le réel en horreur (.....) il sacrifie le bon sens. Pour généraliser il réduit la nature à des schèmes (.....) le vide est son élément, la forme est son dieu (.....). Nous devons éveiller chez nos étudiants l'esprit de finesse; il est toujours temps de fourrer de

l'algèbre, ce qui est trop souvent une occupation de manœuvre intelligent. On se trompe bien moins en regardant le phénomène qu'en regardant son équation.»

On ne peut pas nier que tout cela soit rigoureusement exact. L'amour de la poésie des formules est un amour malsain pour un ingénieur.

Les dangers qui se présentent à l'esprit « expérimentaliste » ne sont pas moindres. Le président de l'université de Chicago a publié récemment un travail très important sur l'éducation aux États-Unis. En voici un paragraphe :

« Il ne faut pas croire que tout ce qui porte le nom de science mérite le respect dû à la science. Prenez par exemple la conclusion étonnante d'un article lu à la dernière assemblée de l'Association américaine pour le Progrès des Sciences, par M. Henry I. Baldwin, du département des Forêts du New Hampshire. D'après la revue *Science* M. Baldwin a trouvé que, au début de l'hiver les arbres empêchent que la neige arrive jusqu'au sol. Il a découvert aussi que la neige dans la forêt dure d'une à trois semaines plus longtemps qu'à la campagne. »²

Un des instructeurs au Massachusetts Institute of Technology reçut dernièrement un rapport d'un étudiant, où l'étudiant disait : « Pendant la première guerre mondiale on prouva que les aviateurs avec boussole trouvaient leur route plus facilement que ceux qui n'en avaient pas ».

Il fallait une guerre et l'« expérience » pour obtenir cette constatation.

Remarquons que les conclusions sont rigoureusement exactes. Ce qui nous fait sourire c'est la façon de les obtenir.

On pourrait dire, il me semble, que, dans une certaine mesure, la science française a accentué le développement du travail rationnel tandis que la science américaine est en train d'accentuer celui du travail expérimental. Et il est très curieux, quoique tout à fait explicable, que ce soit un Français, M. Bouasse, qui proteste contre les mathématiciens, et que ce soit un Américain, M. Hutchins, qui demande plus de culture rationnelle.

4.— De toutes ces différentes parties de la science de l'ingénieur : étude de la nature des matériaux, leur comportement et les formes à leur donner sous charges statiques et dynamiques, tenant

² Hutchins, Robert Maynard—Education for Freedom, *Harpers' Magazine*, Octobre 1941.

compte des déformations élastiques, plastiques ou de la rupture, je ne vais m'occuper ici que de la partie qui correspond à l'étude de la distribution des contraintes pendant la période élastique, et quand les charges appliquées peuvent être considérées comme statiques.

Cette étude sera donc incomplète si l'on se rapporte au problème total que l'ingénieur doit envisager. Elle est cependant de toute première importance. Tout d'abord parce que pour certains problèmes elle est suffisante. Ensuite parce que pour les problèmes où elle n'est pas suffisante elle signifie une approximation nécessaire, ou base de départ.

Il me semble que l'on peut reconnaître trois états successifs dans le développement de la connaissance de la distribution des contraintes dans les corps soumis à des charges.

On peut appeler le premier, état empirique ou de grossière approximation. On arrive à lui le plus souvent par une certaine intuition primaire, ou par des expériences grossières.

Le deuxième état dans le développement de la connaissance est celui du raisonnement mathématique. C'est celui de la théorie de l'élasticité. Avec des formules on peut calculer la distribution des contraintes. Ce deuxième état implique un progrès considérable sur le premier, non seulement parce qu'il est plus rigoureux, mais surtout parce que les théories « prévoient », les théories donnent des lois générales et permettent ainsi d'avancer les connaissances.

Ce deuxième état cependant ne saurait être définitif. Les théories n'ont qu'un but, connaître ce qui se passe dans la réalité. C'est donc la réalité, dans ce cas la matière elle-même, qui va prononcer le dernier mot. Le troisième état est celui des expériences. On pourrait l'appeler état de la mesure de l'élasticité, ou de l'élasticimétrie³.

Il s'agit de trois « étapes » et de trois « états », parce que c'est dans cet ordre qu'ils sont apparus dans l'histoire de la connaissance, et parce que, à un certain moment, ils se sont dans une

³ Cet état non plus ne saurait être définitif. C'est la réalité qui doit dire le dernier mot, non pas l'expérience. Il y a des cas où la théorie est plus proche de la vérité que l'expérience, par exemple dans l'étude des facteurs de concentration. La concentration produite par un trou circulaire dans un champ élastique uniforme est égale à 3. Tous les extensomètres cependant donnent des valeurs inférieures, parce qu'ils ne mesurent que des moyennes, et la concentration est un maximum.

certaine mesure, « stabilisés », chaque état s'efforçant de prédominer sur l'autre.

On commence à avoir aujourd'hui une idée plus synthétique des trois états, intuitif, rationnel et expérimental, du développement de la connaissance. On commence, et je crois qu'on le fait avec justice, à regarder ces trois états comme trois pas. Ils sont venus un après l'autre dans l'histoire, parce que c'était dans la nature même des choses que l'intuition empirique devait venir avant le raisonnement, et celui-ci avant le contrôle final de l'expérience.

Mais ces trois pas ne sont pas du tout exclusifs; ils se trouvent tous les trois ensemble dans la science moderne. Nous avons toujours besoin de la théorie de l'élasticité pour les principes généraux qui nous permettront de résoudre complètement certains cas, de prévoir la solution de certains autres. Nous avons toujours besoin des expériences qui contrôlent les résultats des théories, et qui résolvent des cas que la théorie n'a pas été capable de résoudre. Nous avons enfin toujours besoin de l'intuition, soit pour découvrir des solutions mathématiques, soit pour trouver la meilleure façon de réaliser une expérience.

L'expérience et la raison doivent marcher de pair, s'appuyant et se contrôlant mutuellement. Des fois l'expérience devancera le raisonnement, résoudra des problèmes que le raisonnement n'a pas pu résoudre, et fournira des données qui permettront au raisonnement de contrôler l'expérience. D'autre fois c'est la théorie rationnelle qui sera à la tête de l'expérience, et lui imposera des conditions, et arrivera jusqu'à lui demander de confirmer ses propres conclusions.

Tout cela n'est pas très étonnant si l'on songe que l'homme n'est pas une association de facultés, mais un entier, divisible en pensée, mais indivisible en réalité.

5.— Le problème élasticimétrique peut donc être envisagé, ou bien d'un point de vue théorique ou bien d'un point de vue expérimental. C'est-à-dire, ou bien on fait des calculs en utilisant des procédés mathématiques et en se basant sur certaines hypothèses ou bien on mesure expérimentalement les contraintes, ou les déformations correspondant aux contraintes. Il y a d'une part la théorie de l'élasticité; de l'autre part l'élasticimétrie.

La théorie de l'élasticité est une science très ancienne qui est tombée dans un certain oubli au début du siècle. On n'y voyait

que des raisonnements abstraits, sans rapport avec la réalité. Aujourd'hui elle n'est pas seulement une matière fondamentale dans toutes les écoles d'ingénieurs, elle est un élément essentiel dans la connaissance de l'ingénieur constructeur. Elle présente des raisonnements longs et des formules encombrantes: c'est le prix qu'il faut payer, non seulement pour avoir une compréhension exacte du phénomène élastique, mais très souvent, pour pouvoir le résoudre. Rien de plus faux que de croire que ces formules ne sont qu'une élucubration de l'esprit sans application pratique. Je ne m'occuperai ici cependant que des éléments de la théorie de l'élasticité nécessaires à montrer son application, et à servir de base à l'élasticimétrie.

Élasticimétrie est un mot composé: mètre (signifiant mesurer) et élasticité. Il s'agit donc de la *mesure* de l'élasticité, non pas du « calcul » ou « théorie » de l'élasticité.

Pour mesurer l'élasticité, il faut employer des méthodes expérimentales. Il y a donc différents appareils qui permettent de le faire. Je passerai en revue ces différents appareils et je donnerai des exemples de leurs applications. Il est évident, cependant, qu'on ne saurait pas mesurer l'élasticité des matériaux sans connaître ce qu'est l'élasticité. En d'autres mots, il est indispensable de commencer par des notions fondamentales d'élasticité, avant d'étudier des méthodes élasticimétriques proprement dites.

On peut développer la théorie de l'élasticité de deux façons. Quelques auteurs préférèrent de commencer par la théorie de l'élasticité bidimensionnelle. Cette méthode a un avantage: on va du plus simple au plus compliqué. Les formules de l'élasticité bidimensionnelle non seulement sont les plus employées, mais elles sont aussi beaucoup plus faciles à déduire. La méthode présente cependant un désavantage puisqu'on ne peut pas généraliser les résultats de l'élasticité bidimensionnelle, pour couvrir les cas à trois dimensions. Quand un problème à trois dimensions se présente, il faut déduire les formules spécialement pour le cas à trois dimensions.

Pour une science théorique, la méthode qui consiste à aller du général au particulier semble bien plus logique. On déduit les formules une seule fois pour le cas général de l'élasticité tridimensionnelle et quand on doit résoudre les problèmes en deux dimensions, la simplification est immédiate et l'application est directe.

6.— Il y a une idée fondamentale qui va informer, pour ainsi dire par le dedans, tout le développement du cours. Cette idée est

d'éveiller l'inquiétude au sujet des méthodes employées dans la résistance des matériaux classique. Il s'agit d'acquérir un esprit critique qui permette de juger la validité des formules que l'on trouve dans les *manuels*. La plupart des formules que l'on trouve dans la résistance des matériaux sont exactes seulement pour certains cas particuliers. Elles se basent sur des hypothèses qui, très souvent, ne correspondent pas à la réalité des faits. L'application de ces formules, sans une exacte notion du champ de leur validité, pourrait conduire à des erreurs très graves.

Ce que je dis de la résistance des matériaux par rapport à la théorie de l'élasticité pourrait être dit aussi de la théorie de l'élasticité par rapport à la réalité elle-même. La théorie de l'élasticité n'est qu'une approximation de la réalité. Cela n'empêche qu'elle élargit considérablement les connaissances et qu'elle donne une compréhension bien plus profonde du phénomène physique à étudier.

Le but de ce cours est bien plus de montrer l'usage d'un instrument, que de résoudre des cas particuliers. Je me limite à montrer comment on utilise la théorie de l'élasticité et à expliquer les théories de la rupture. Les cas concrets ne sont analysés que pour servir d'exemple à l'application des méthodes.

7.— Plusieurs seront déçus en voyant les difficultés si grandes que la théorie de l'élasticité doit vaincre, pour arriver à de bien pauvres résultats. Il est vrai que les problèmes que la théorie de l'élasticité peut résoudre sont peu nombreux en comparaison de ceux qui se présentent dans la pratique. Il est vrai aussi que les solutions qu'elle trouve sont limitées à la période élastique dans leur application. Mais il est vrai aussi, que la théorie de l'élasticité est une base nécessaire pour l'étude de la plasticité et de la rupture. Il est vrai surtout, que la théorie de l'élasticité permet de « comprendre » mieux, de saisir de plus près, le phénomène. Un ingénieur qui a le « sens » de la théorie de l'élasticité et qui connaît les propriétés de ses matériaux peut donner libre cours à son intuition et « corriger » les résultats donnés par la théorie. L'ingénieur qui n'a pas compris le problème dans sa totalité court un grand risque d'erreur grave.

L'ingénieur n'est pas un « homme de science », il n'est pas non plus un « technicien ». Pour avoir de l'« ingéniosité », pour utiliser les forces de la nature, il faut que l'ingénieur soit en même temps un homme de science et un technicien. L'homme de science

« connaît », le technicien « exploite ». Il faut que l'ingénieur ait les connaissances scientifiques nécessaires pour la meilleure utilisation des forces de la nature.

Plus l'ingénieur aura de connaissances scientifiques, plus il sera en mesure de faire développer la technique. On nous a dit, et non sans raison, qu'il est possible de louer des mathématiciens pour leur faire résoudre des équations. On peut louer aussi des techniciens pour leur faire enregistrer des résultats d'expériences; et ils coûtent encore moins cher que les mathématiciens. Il est bien plus difficile par contre d'avoir un ingénieur qui comprenne la totalité du problème, qui soit capable de donner du travail au mathématicien et au technicien et qui soit en mesure de comprendre les travaux des deux.

* * *

Ce cours doit beaucoup à M. S. Timoshenko. C'est déjà un lieu commun aux États-Unis que de reconnaître la dette due à M. Timoshenko. Il ne m'a donc pas semblé nécessaire d'indiquer spécifiquement les paragraphes où je me suis inspiré plus directement de lui, mais j'ai eu très souvent sous mes yeux sa *Théorie de l'élasticité*.

Mon ancien professeur à l'École Nationale des Ponts et Chaussées, M. A. Caquot est celui qui a su me montrer avec plus de clarté l'importance de la théorie de l'élasticité comme base de la résistance des matériaux, le besoin de la connaissance du cercle de Mohr, et l'importance de la courbe de résistance intrinsèque.

La partie proprement élasticimétrique doit beaucoup aux auteurs allemands: E. Lehr (*Spannungsverteilung in Konstruktionselementen*) et F. Rotscher und R. Jaschke (*Dehnungsmessungen und ihre Auswertung*). On reconnaîtra facilement aussi l'influence du professeur A. de Forest, du Massachusetts Institute of Technology.

Ma formation en photoélasticimétrie a été réalisée à Paris par M. V. Tesar. La façon d'envisager certains problèmes est un résultat direct de ses leçons.

L'introduction ainsi que le reste du cours ont pu être conduits à bon terme grâce à l'aide constante, reçue par l'auteur, de son ami M. R.-A. Frigon.

A.-J. DURELLI,
École Polytechnique.

LA GÉOMÉTRIE DE L'UNIVERS

Les préoccupations des savants au sujet de la vraie géométrie de l'espace physique, sont de fraîche date. Dans la période pré-scientifique de l'histoire, il n'en était certainement pas question: l'astronomie babylonienne et l'arpentage égyptien utilisaient des règles topologiques approximatives pour la solution pratique de leurs problèmes, sans étendre à l'espace les caractères généraux de leurs résultats. D'autre part, jusqu'aux recherches d'Euclide, les Grecs eurent le temps d'oublier les origines empiriques de la géométrie, et d'organiser celle-ci sur une base purement rationnelle. Les thèses de Démocrite, les arguments des Sceptiques, et plus tard les méthodes peu orthodoxes d'Archimède, ne réussirent pas à ébranler la foi hellénique dans l'universalité des principes de la géométrie. Platon en arriva même à fonder cette universalité sur la transcendance des Idées qui fixent les figures une fois pour toutes. Et malgré son souci de l'expérience, Aristote justement fasciné par la nécessité de l'universel, ne pensa pas à voir le décalage qui existe entre le produit de l'abstraction au second degré et les constructions parfaites du géomètre. Pour éviter les objections provoquées par la différence de nature posée entre la géométrie et la physique, Kant imagina cette doctrine subjectiviste des mathématiques, où les figures géométriques sont construites a priori dans l'intuition pure, sans avoir recours à l'expérience directe de ces figures. Malgré les transformations subies par les théories physiques, personne n'avait encore pensé à poser le problème de la géométrie de l'univers.

Ainsi donc, jusqu'aux recherches de Gauss sur les surfaces courbes et aux travaux de Lobatchefski et de Bolyai sur une géométrie indépendante du postulat classique des parallèles, la géométrie d'Euclide était la seule qu'on avait conçue, et on ne pensait même pas à la possibilité d'une géométrie différente. Par son indépendance logique provenant de l'universalité de ses notions et de ses principes, et par sa féconde application aux sciences expérimentale, la géométrie euclidienne symbolisait l'heureuse alliance de la raison et de l'expérience. Et cette alliance semblait si naturelle, qu'on n'avait jamais songé à la contester, mais bien à l'expliquer et à la justifier. Ainsi, le raisonnement géométrique

n'était qu'une application du raisonnement en général aux concepts géométriques. Et ceux-ci n'intéressaient le philosophe que pour autant qu'ils pouvaient servir d'illustration à la théorie de l'origine des idées et de la nature de la pensée.

La première brèche dans cette attitude de bonne foi a été faite par Gauss. Quand il eut acquis la conviction de la possibilité d'une géométrie différente de celle d'Euclide, il voulut s'assurer si cette possibilité trouvait quelque contrepartie dans l'expérience: il se mit alors à faire des mesures de triangulation dans le Harz, pendant que son contemporain Schweikart essayait sa *géométrie astrale*, où il déterminait son hypothèse non euclidienne avec des considérations astronomiques comme exemple. Avec la publication des travaux de Lobatchefski et de Bolyai, et leur justification subséquente, l'attention se porta sur la construction de *modèles* non euclidiens: les premiers furent établis par Helmholtz qui pensa ainsi relier la géométrie au comportement mécanique des corps dans l'espace. Riemann alla plus loin, en suggérant que la structure métrique de l'espace physique doit dépendre des forces qui s'y trouvent. Et Clifford complétait cette idée, en avançant l'hypothèse que l'espace physique souffre certaines déformations du fait de la présence de la matière. Ce sont là les premières lueurs qui, à cinquante ans d'intervalle, annonçaient les vagues contours de la théorie de la relativité.

Or c'est la belle synthèse d'Einstein qui a posé nettement le problème de la géométrie de l'univers, au début de notre siècle. La doctrine de la relativité restreinte, en ne s'appliquant qu'à des systèmes de référence en mouvement uniforme, n'abordait qu'une phase théorique du problème. Mais avec la théorie de la relativité générale, qui embrasse des systèmes accélérés, les justifications et les vérifications devenaient actuelles. La géométrie et la physique, que séparent leurs objets formels respectifs, s'unissent pratiquement dans la théorie de la relativité. L'espace-temps à quatre dimensions de la relativité restreinte introduit la cinématique dans la géométrie; et l'espace-temps à quatre dimensions de la relativité généralisée, englobe la dynamique dans la géométrie. Les déviations géométriques provoquées par la matière dans l'espace physique, sont alors expliquées par la courbure même de l'espace, et non plus par l'hypothèse de la gravitation. Le choc ainsi produit sur nos habitudes de penser, s'est manifesté par des controverses passionnées. Maintenant que tout cela s'est tassé, il convient d'aborder

froidement le problème de la géométrie de l'univers, et de prendre position dans la perspective générale de la philosophie traditionnelle.

I — LES CONDITIONS OPÉRATOIRES DE L'ESPACE

La route est bien longue pour arriver à l'espace géométrique en partant des données immédiates de l'expérience. Tout en maintenant la thèse fondamentale que l'espace se trouve en acte dans l'esprit et en puissance dans les choses, nous pouvons bien nous demander quelles sont les étapes nuancées que doit suivre la pensée pour poser en acte cet espace avec ses caractères fondamentaux.

Il est évident que les débuts de notre intuition sensible, cette prise de conscience de nos expériences tactilo-visuelles, ne nous permettent pas plus que la conception de relations topologiques générales. La mémoire et l'intellection de positions relatives d'objets, nous donnent bien les idées très générales de volume, de surface, de ligne et de point, ainsi que des rapports plus ou moins précis de ces êtres mathématiques. Mais à ce stade, on n'a encore ni une métrique rigoureuse, ni une systématisation des relations ordinales de ces divers éléments. C'est pourquoi certains empiristes vont même jusqu'à proposer un *espace privé* pour chaque être pensant, et à relier les caractères communs de ces espaces particuliers pour *construire* l'espace physique commun d'une part, et l'espace abstrait du géomètre de l'autre. Sans avoir à entamer une controverse sur ce point, nous ferons remarquer que la construction de l'espace physique ou géométrique ne saurait se substituer à l'abstraction: en effet, les *caractères communs* des espaces particuliers impliquent une activité de l'intelligence qui les reconnaît comme tels; ce qui revient à reconnaître la priorité de l'appréhension et de l'abstraction sur toute opération constructive.

Nous pouvons donc admettre l'étape des espaces privés, et celles de la construction de l'espace physique et de l'espace géométrique respectivement; mais à condition de placer entre elles cette étape de généralisation qui justifie, dans l'ordre des faits, la doctrine classique de l'universel. Mais il ne faut point s'arrêter, pour cela, au stade de généralisation et d'abstraction, en exigeant l'identité de ses résultats avec la géométrie euclidienne. Celle-ci comporte une idée très précise d'un étalon de mesure pour les longueurs comme pour les angles: or, si l'idée de cet étalon peut être simplement conçue, la *précision* de cette idée exige une construction.

Cette opération était passée inaperçue pendant la longue époque où la géométrie euclidienne seule était connue. Il convient donc de la décrire, de montrer la nécessité formelle de ses résultats alternatifs, et de fixer les principes de choix pour ces buts déterminés.

Si les éléments des postulats géométriques nous sont donnés par l'expérience, la forme et la systématisation des postulats comportent un caractère conventionnel, dû à l'existence de systèmes alternatifs et à l'impossibilité de la déduction absolue. Ajoutons, cependant, que ce caractère conventionnel n'est pas absolu ou arbitraire, du moment qu'il est justifiable par réduction en termes de la variété des données empiriques et des règles de la droite pensée. Pour adopter un étalon de mesure, deux voies s'offrent à nous: l'une consiste à poser par convention un postulat de mesure, et à déterminer ensuite par l'observation, l'ensemble des relations géométriques qui décrivent la structure métrique de l'espace. L'autre pose d'abord un système de postulats exprimant un ensemble de relations géométriques générales, et cherche ensuite par des expériences quel étalon de mesure elles impliquent. Dans les deux cas, c'est donc l'expérience, épaulée de considérations méthodologiques de simplicité et de catégoricité, qui détermine le choix de l'étalon de mesure. Et ce choix oblige à son tour d'accepter la géométrie qu'il entraîne comme étant celle de l'univers. Il est à noter ici que ce choix ne modifie aucunement le caractère propre et immédiat des expériences du départ.

C'est la première méthode qui a été adoptée jusqu'ici. Il est vrai que l'histoire peut montrer que son utilisation a été précédée en gros par une masse plus ou moins ordonnée d'expériences, ce qui nous rapprocherait de la seconde méthode. Mais du point de vue formel, on peut l'accepter comme première: aussi, l'effort des mathématiciens avait-il porté à décrire le comportement des corps en termes de cet étalon (euclidien) une fois adopté, quitte à compléter leurs descriptions par des hypothèses physiques qui sauvaient les apparences. Il est néanmoins compréhensible qu'ils puissent être mis en face de tels détails empiriques de comportement des corps, qu'il devienne difficile de les décrire convenablement en termes de l'étalon choisi. Dans ce cas, c'est encore l'expérience qui les forcerait à changer d'étalon, et partant, de système de relations géométriques pour décrire l'univers. Or, c'est ce qui est arrivé à la suite de la constitution de la théorie de la

relativité. Notons ici cependant, que ce changement d'étalon n'a pu être opéré que du fait de son existence formelle: en effet, les géométries non-euclidiennes existaient déjà quand Einstein recherchait un appareil mathématique pour enrober ses théories.

La seconde méthode semblerait plus directe. Donnons-en d'abord un exemple facile à comprendre. Supposons que nous n'ayons que des notions générales de géométrie, sans que nos concepts soient précisés dans le détail, et que nous procédions à des mesures de triangulation. En répétant des expériences minutieuses sur un grand nombre de triangles, il sera naturellement impossible de trouver toujours exactement 180 degrés pour la somme des angles intérieurs de chaque cas. Disons pour simplifier que cinquante cas nous donnent 180 degrés, vingt 179 degrés, et trente 181 degrés; et qu'en répétant ces expériences, la proportion des résultats reste à peu près la même pour chaque centaine de cas. La première question qui vient à l'esprit est de savoir ce qui produit ces différences: une double réponse nous est immédiatement suggérée, l'une subjective et l'autre objective. Ou bien on attribuerait ces différences à la variation de l'équation personnelle (erreurs des sens, imprécision des vérifications, indice de l'inexactitude matérielle des instruments et des triangles); ou bien encore on pourrait la rattacher à la structure géométrique de l'univers.

Voyons maintenant comment on procéderait pour établir la géométrie de l'univers dans ces deux alternatives. Tout d'abord, l'une et l'autre présupposent un postulat épistémologique: la croyance que cette géométrie est unique, et qu'elle ne doit pas changer pour satisfaire tel cas particulier de triangulation, ou telle région de l'espace. Dans la première alternative, l'esprit est tenté d'éliminer ces variations subjectives, en choisissant *l'étalon le plus simple* à manier. On dirait alors que le triangle unique et idéal qui sert de modèle à tous les autres, devrait avoir 180 degrés pour la somme intérieure de ses angles; car cette caractéristique donne un ensemble de relations géométriques plus simple à manier. Les différences de mesures n'affecteraient pas alors la détermination de ce triangle idéal, par rapport auquel on les expliquerait en faisant appel aux variations de l'équation personnelle. Pour légitime qu'il soit, ce procédé rejoint la première méthode que nous exposons tantôt: n'étant pas absolu et exclusif, il n'élimine pas la possibilité de changer l'étalon pour les mêmes raisons que nous faisons valoir au sujet de la première méthode.

La seconde alternative procède analytiquement. Elle part de l'hypothèse du triangle à 179 degrés, puis à 180 degrés, puis à 181 degrés, et cherche dans chaque cas quels principes premiers elle implique. Elle permet de voir ainsi que chaque cas comporte une conception différente des parallèles; et que cette triple conception à son tour comporte une spécification différente de la droite; et qu'enfin, cette triple spécification demande une structure différente pour l'espace géométrique. La nécessité d'un choix apparaît alors de nouveau. Il sera guidé ici, non plus par une norme subjective ou structurale de simplicité, mais par le besoin de l'application universelle du système adopté. Et il ne s'agit pas non plus d'un choix basé uniquement sur des considérations statistiques, surtout si le champ des expériences est limité. Pour reprendre notre exemple des triangulations successives, on serait tenté de choisir le triangle de 180 degrés, du fait qu'il reviendrait plus souvent dans les vérifications que les deux autres. Mais il serait plus juste de considérer la totalité de la science et de faire les inductions nécessaires avant de se prononcer. C'est ainsi que les quelques vérifications de la théorie générale de la relativité, malgré la proportion énorme de triangulations opérées auparavant en faveur de la géométrie euclidienne, ont suffi pour donner l'avantage à l'hypothèse du triangle à plus de 180 degrés, c'est-à-dire à la géométrie riemannienne.

L'exemple de triangulation que nous venons d'analyser peut être maintenant précisé davantage, pour déterminer ainsi les conditions opératoires de l'espace. En partant des données sensibles, comme le veut justement la méthode aristotélicienne, nous devons considérer le comportement des corps matériels. Dès le départ, un postulat important et qui passe souvent inaperçu, doit être posé: c'est que les corps matériels sont supposés *rigides*, comme le veut notre expérience immédiate mais grossière d'objets tels que des pierres ou des barres de fer. Un petit trou ou une marque quelconque sur un tel objet peut représenter un point matériel; et deux points distincts peuvent donner l'idée d'une ligne ou d'une longueur. Pour arriver à établir des constructions et des relations générales entre des points et des lignes, il nous faut encore commencer par des opérations empiriques.

On peut ainsi partir d'un corps matériel pris comme base de comparaison, et sur lequel on aurait marqué quatre points A, B, C, D, et faire les expériences suivantes: (1) En appliquant ce corps

sur une surface de diverses manières, on marque sur celle-ci des points correspondants à A, B, C, D. Si l'on remarqua alors que l'application de trois points A, B, C du corps sur trois points A^1 , B^1 , C^1 de la surface, donne immédiatement et simultanément la congruence de D sur le point D^1 , on peut conclure que la surface est rigide, et partant que l'ensemble des points A, B, C, D est également rigide, comme c'est aussi le cas pour toute paire des points envisagés. (2) Mettons en contact A et A^1 ainsi que B et B^1 , et faisons faire un mouvement au corps de base sans interrompre ce contact: si ce mouvement permet de conserver un contact permanent entre l'une ou l'autre des paires de points (C et C^1) ou (D et D^1), on dit que A, B, C ou A, B, D sont en ligne droite. (3) Si ce même mouvement permet le contact permanent de deux paires de trois points, mais non pas des deux points restants, on dit qu'il y a des points hors d'une droite. En poursuivant des opérations analogues, on s'élève à la notion de plan, puis de l'espace, et des relations entre ces diverses notions. On sait que c'est l'idée de mouvement qui servit à Péri pour construire les postulats de la géométrie euclidienne.

L'idée de longueur, qui est capitale en géométrie métrique, peut se concevoir en généralisant des opérations de congruence. Nous pouvons prendre comme étalon, un corps matériel sur lequel on aurait fixé deux points, et reconnaître alors que la rigidité du corps et de la paire de points se maintient pendant le déplacement de ce corps: c'est poser l'invariance de la distance de ces deux points, qui est alors prise comme base de comparaison. En l'appliquant successivement sur une droite quelconque, on peut alors déterminer la longueur de cette droite, c'est-à-dire la proportion fixe entre les deux longueurs. Nous possédons alors les éléments nécessaires pour faire des mesures de corps étendus quelconques, et pour élever dans l'abstraction les résultats de nos opérations.

Nous retrouvons ainsi notre expérience de triangulation du départ, que nous pouvons maintenant compléter par les considérations suivantes: si la triangulation donne pour la somme des angles intérieurs une valeur inférieure, égale ou supérieure à deux droits, on dira que la *courbure du plan* est négative, zéro ou positive. Et la courbure des trois plans mutuellement perpendiculaires en un point, déterminera la valeur de la *courbure de l'espace* en ce point. Nous entrevoyons alors deux conséquences importantes: la première a trait à la valeur de vérité des géométries formelle-

ment constituées sur chacune de ces alternatives; et la seconde concerne l'application de ces systèmes à la recherche scientifique.

Pour ce qui est de la première conséquence, il s'agit surtout de vérité formelle; et nous supposerons pour cette discussion, que la systématisation et l'axiomatisation de ces divers systèmes est déjà faite et acceptée comme telle. Il apparaît alors que chacun d'eux est le développement logique des combinaisons possibles impliquées dans un groupe initial d'axiomes, qui énoncent sous la forme de propositions hypothétiques, des relations possibles entre des points et cohérentes entre elles. Ces points sont les termes indéfinissables et quelconques de ces relations, et leur ensemble constitue l'espace. Les axiomes peuvent être plus ou moins intuitifs, mais ils doivent respecter les règles de la logique. C'est ainsi que la critique sévère à laquelle furent soumis les divers systèmes de géométrie établis au cours du siècle dernier, a montré nettement leur caractère hypothético-déductif.

Parmi tous ces systèmes possibles, il en est dont les axiomes correspondent plus exactement aux données de la connaissance sensible. Jusqu'à maintenant, et malgré l'existence des géométries non-euclidiennes, les principes du système euclidien étaient les seuls dont on affirmait l'accord avec l'expérience. Or s'il est vrai que l'espace euclidien dérive par abstraction de l'espace physique, rien ne nous oblige à conclure de ce fait que notre intuition spatiale nous donne exclusivement l'espace euclidien; et que cet espace soit le seul qui convienne à notre expérience. Il est d'autres possibilités, qui sont précisées davantage par la seconde conséquence à laquelle nous avons fait allusion, et qu'il convient maintenant d'analyser.

II — LA DESCRIPTION ANALYTIQUE DE L'UNIVERS

On connaît les circonstances remarquables qui ont mené à l'établissement et à la consolidation de la théorie de la relativité. Il est utile de s'y référer, car c'est le succès de cette théorie qui a mis dans le domaine de l'actualité la question de la géométrie de l'univers. Il est facile de comprendre les rapports entre ces deux problèmes. Nous avons vu que l'élaboration d'un système de géométrie comporte le postulat de la rigidité des corps, et l'invariance des relations des points d'une figure géométrique soumise à un mouvement. Nous aurions pu ajouter que ce double postulat est

fondé sur une certaine croyance au caractère absolu de l'espace euclidien, et partant, en l'existence d'un système absolu de référence en regard duquel nous pourrions vérifier au besoin la rigidité des corps et l'invariance de leurs relations géométriques. Or l'interprétation de certaines expériences concernant la lumière (résultats de Michelson-Morley) a conduit Einstein à rejeter la possibilité de déterminer physiquement un pareil absolu: avec la relativité restreinte, il se débarrassa des systèmes privilégiés dans la description des mouvements uniformes; et avec la relativité générale, il parvint à éliminer le besoin de systèmes privilégiés dans les calculs des mouvements accélérés.

Cette mise au point ne se fit pas d'une manière arbitraire; mais bien en utilisant les implications de la mécanique classique, et en en modifiant l'interprétation en regard des faits. Pour abrégé, nous ne citerons que le *principe d'équivalence* auquel Einstein a donné une forme positive. Ainsi, en mécanique classique, le poids d'un corps est proportionnel à la résistance qu'il offre à tout changement de son mouvement. Pour employer le langage du physicien, le poids d'un corps est sa masse gravitationnelle, et sa résistance à tout changement de mouvement est sa masse d'inertie. Des expériences classiques prouvent décisivement cette proportionnalité entre la masse de gravitation et la masse d'inertie. Mais la science newtonienne ne peut fournir une explication de cette proportionnalité; et elle ne l'utilise même pas à fond, puisqu'elle développe séparément en quelque sorte les lois des phénomènes d'inertie et de ceux de la gravitation.

Amené à réfléchir sur les transformations possibles à faire subir à la mécanique classique pour rendre compte de certains phénomènes qui ne cadraient pas avec ses principes, Einstein conçut l'idée d'utiliser cette proportionnalité des deux masses comme la pierre d'achoppement de sa théorie. En réinterprétant quelques expériences classiques de corps en mouvement, on peut se placer successivement dans la position de l'un ou de l'autre des corps, et décrire ainsi l'ensemble de l'expérience. On s'aperçoit alors que certaines relations restent invariantes; ce qui indique d'importantes équivalences dans l'interprétation des faits, couvrant probablement des réalités plus profondes. Cette situation permit à Einstein de poser ce principe que des champs gravitationnels homogènes sont entièrement équivalents à des champs d'inertie produits par une accélération rectiligne uniforme. Cela revient à dire que

nous n'avons aucun moyen physique de distinguer le repos absolu de mouvements rectilignes uniformément accélérés. De plus, les mouvements que la mécanique classique considérait comme rectilignes et uniformément accélérés, pouvaient tout aussi bien être représentés dans un champ gravitationnel.

Dans ces conditions, on peut bien prendre comme base de nos descriptions de phénomènes un espace doté d'un champ de gravitation, au lieu d'en rester à l'espace absolu auquel on ajouterait des champs de force inexplicables, chaque fois que des faits le demanderaient. Mais alors cet espace ne pouvait plus être l'espace euclidien; car le principe de la rigidité des corps en mouvement n'était plus de mise dans cette nouvelle conception de l'univers. Déjà notre soi-disant intuition de l'espace euclidien, était profondément ébranlée au cours des développements de la théorie de la relativité, par certaines hypothèses suggestives comme celle de Fitzgerald-Lorentz sur la contraction des corps en mouvement. Il fallait en prendre son parti: la géométrie d'Euclide ne convient aucunement à des configurations spatiales dans un champ de gravitation. Il s'agissait alors de donner une représentation analytique de cette nouvelle situation. Les quelques explications élémentaires que nous allons donner à ce sujet, permettront de mieux comprendre le sens des distinctions et des conclusions que nous voulons établir.

On sait que l'espace euclidien est caractérisé analytiquement comme un vaste système de mailles cubiques pouvant être prises comme des *coordonnées cartésiennes*. La structure métrique de cet espace est décrite par la formule qui exprime l'élément différentiel de la distance entre deux points infiniment voisins, en termes des différences des coordonnées de ces points. On peut donc poser

$$ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2$$

Et si l'on peut utiliser des coordonnées curvilignes dans l'espace euclidien, la formule de l'élément de distance en termes de ces coordonnées, peut toujours être transformé sous la forme cartésienne.

Mais sur une surface courbe (et dans un espace courbe à plus forte raison), il est impossible d'utiliser un système cartésien pour une région finie. Pour fixer des positions, il faut introduire dans ce cas des *coordonnées gaussiennes* ou intrinsèquement curvilignes. En posant u_1 et u_2 pour les coordonnées d'un point sur une surface

curviligne, la distance entre deux points infiniment voisins, soit (u_1, u_2) et $(u_1 + du_1, u_2 + du_2)$ est donnée par

$$ds^2 = g_{11}du_1^2 + 2g_{12}du_1du_2 + g_{22}du_2^2$$

Dans cette formule, les g sont des fonctions de u_1 et u_2 et sont appelés les composantes du tenseur métrique fondamental. La mesure de la courbure de la surface est une fonction des g et de leurs dérivées. Dans les exposés classiques de la géométrie différentielle, on envisage une surface curviligne comme plongée dans l'espace euclidien ordinaire. Les g sont alors exprimés comme des fonctions des dérivées des coordonnées cartésiennes par rapport aux coordonnées gaussiennes.

Toutefois ce détour n'est aucunement nécessaire. Aussi le savant moderne préfère avec raison considérer les g dans leur sens physique immédiat, en utilisant des méthodes appropriées de la géométrie analytique. Or ce sens physique est indiqué par la relativité restreinte dans son interprétation de l'espace et du temps. Du moment que cette théorie a montré l'impossibilité pratique de systèmes privilégiés pour le mouvement uniforme, l'espace et le temps deviennent relatifs. L'un et l'autre dépendent du mouvement et de la position des corps se déplaçant relativement les uns aux autres. La position d'un événement physique exige alors trois coordonnées spatiales et une coordonnée temporelle reliées ensemble en un tout analytique. Dans un pareil ensemble tétradiimensionnel, l'élément de la distance de deux points infiniment proches s'exprime par

$$ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2 + dw^2$$

où l'intervalle invariant ds caractérise la métrique spatio-temporelle de l'univers physique. Dans cette formule, on a $w = i c t$, où l'on a t pour le temps indiqué par une montre dont le comportement spatial est sujet à la relativité, on a c pour la vitesse de la lumière prise comme un absolu physique intervenant dans toute constatation expérimentale, et i pour le symbole de l'imaginaire qui différencie cette quatrième coordonnée des trois autres.

Il reste maintenant à passer de la relativité restreinte à la relativité générale; c'est-à-dire de prendre en considération un univers nanti géométriquement d'un champ gravitationnel, et d'en exprimer analytiquement l'élément de distance. Nous avons déjà dit qu'il n'est plus possible de construire des mailles carté-

siennes dans un pareil univers, et d'autant plus que les corps supposés rigides autrement, subissent ici des déformations qui ne permettent pas la construction d'un système euclidien. Le champ gravitationnel influence ici aussi bien les étalons de mesure spatiale que le régime de marche des montres. Aussi, la métrique d'une région contenant un tel champ ne peut plus être caractérisée par l'expression de ds que nous venons de donner pour l'univers de la relativité restreinte. Il faut donc établir une métrique entièrement nouvelle.

Suivant un vieux principe mis au point par Leibniz, l'ordre de la nature est impliqué dans l'influence mutuelle que des entités immédiatement voisines exercent entre elles. C'est ce principe de continuité que Riemann a reporté dans sa *géométrie infinitésimale*: ici les relations fondamentales du système sont fixées définitivement pour des points qui sont infiniment rapprochés; et sur cette base, des équations fonctionnelles permettent d'élever la structure du système tout entier. En utilisant cette puissante méthode, Einstein supposa que dans des régions infiniment petites de l'univers, la géométrie euclidienne diffère si peu de toute autre, qu'elle suffit pratiquement pour une première description des phénomènes. Et il parvint à construire l'équation tensorielle fondamentale,

$$ds^2 = \sum g_{ij} dx_i dx_j$$

pour l'élément de distance de deux événements infiniment voisins. Dans cette formule, cependant, nous n'avons pas uniquement une donnée géométrique, mais aussi une signification physique; et cela en raison du sens géométrique que nous avons reconnu à la gravitation. Ici les symboles dx_i et dx_j représentent les différences entre deux points infiniment voisins dans la direction des quatre coordonnées spatio-temporelles; et le symbole g_{ij} représente des fonctions de dx_i et de dx_j qui sont les potentiels du champ gravitationnel, et qui déterminent les relations entre ces différences à chaque point.

En langage plus simple, l'équation tensorielle indique que le vrai mouvement d'une particule libre décrit une *géodésique* (et non plus une droite ordinaire) dans un univers spatio-temporel courbe. Des artifices de méthode et de calcul viennent alors résoudre les importantes questions de détail qui se présentent, comme celle de l'établissement de l'étalon de mesure pour ds en un point parti-

culier de l'espace-temps dans un univers riemannien. Il est facile de comprendre que pour certaines conditions-limites, les g prennent des valeurs qui correspondent à un système de référence galiléen, ce qui nous ramène à la géométrie euclidienne. Mais lorsque ces conditions ne sont pas remplies, la géométrie de l'univers est non-euclidienne; et dans ce cas, en vertu du principe d'équivalence, il faut introduire dans cette géométrie un champ gravitationnel. Par conséquent, la fonction tensorielle g_{ij} qui permet la variation de notre système géométrique, détermine également la présence et la nature du champ de gravitation. Et du moment que le tenseur métrique et le tenseur gravitationnel sont identiques, il est possible de trouver la raison de la structure géométrique spécifique de l'univers.

En effet, la physique classique considère les champs gravitationnels comme des effets de la matière. Mais puisque les tenseurs gravitationnels sont assimilés maintenant aux tenseurs métriques, il est permis de considérer la structure géométrique du continuum spatio-temporel comme un effet de la distribution de la matière également. C'est ce qui a porté Einstein à rechercher la loi qui exprimerait cette relation intime entre la gravitation et la géométrie. Or, dans la physique classique, l'équation différentielle de Poisson

$$\Delta \Phi = 2 \pi \rho$$

indique la manière dont la matière (ρ) détermine (Φ) qui est le champ gravitationnel. Conformément à son analyse, Einstein remplace le champ scalaire (Φ) par le champ tensoriel (g_{ij}), et le scalaire (ρ) de la masse par le tenseur matière-énergie (T_{ij}) qui exprime la densité de la matière et sa tension interne. Il arrive ainsi à l'équation

$$R_{ij} - \frac{1}{2} g_{ij} R = -K T_{ij}$$

où K est une constante et R_{ij} et R représentent des développements des fonctions g_{ij} de nature complexe. Cette équation exprime la loi définitive de la théorie de la relativité générale.

Sans préjudice pour la différence essentielle de l'objet formel de la géométrie et de celui de la physique, l'étroite coordination de ces deux sciences se trouve ainsi accomplie d'une façon remarquable. L'équation d'Einstein permet aux physiciens d'en déduire toute la série des phénomènes classiques et des phénomènes nou-

veaux qui ont enrichi nos observations. La relativité des intervalles de temps et d'espace, la courbure des rayons de lumière, le comportement du périhélie de Mercure, le déplacement des raies spectrales, et d'autres phénomènes deviennent de simples déductions de cette équation fondamentale. Nous avons déjà dit que dans certaines conditions-limites, on peut retomber dans la géométrie euclidienne; et c'est ce que permet encore de faire l'interprétation de cette équation. Enfin, sous certaines conditions relatives à la distribution de la matière, on obtient un *univers fini* sous une forme cylindrique (Einstein) ou sous une forme sphérique (De Sitter). Allant plus loin, Weyl a effectué l'union des champs gravitationnels et électromagnétiques: pour cela, il prit comme point de départ un étalon de distance qui est fonction de la position, ce qui donne une géométrie non-riemannienne; et il construisit un tenseur contenant les dix variables des g d'Einstein et quatre variables supplémentaires qui permettent la déduction des équations de Maxwell pour le champ électromagnétique. Enfin Einstein lui-même perfectionna ces travaux avec sa théorie du « champ unitaire » qui permet une représentation mathématique et uniforme du champ de gravitation et du champ électromagnétique. Et la science ne s'arrêtera point là.

Il convient maintenant d'analyser le sens épistémologique de ces merveilleux développements mathématiques. En particulier, on peut se demander si l'espace non-euclidien a un caractère intuitif; s'il s'adapte plus parfaitement au monde sensible; si l'espace et le temps sont relatifs en soi; et enfin si l'union de l'espace et du temps en un continuum tétradimensionnel donne une meilleure image objective du monde sensible.

III — LA FORME ET LES DIMENSIONS DU MONDE

L'utilisation exclusive et satisfaisante de la géométrie euclidienne pour la description spatiale des phénomènes jusqu'à ces derniers temps, a provoqué certains malentendus au sujet des niveaux bien différenciés de l'abstraction mathématique, des caractères de l'espace, et de la signification spécifique des systèmes noneuclidiens. En éliminant ces malentendus, on peut légitimement rapprocher les découvertes récentes de l'épistémologie traditionnelle,* en nuancant cette dernière, et en débarrassant

la première de certaines interprétations philosophiques arbitraires, qui n'ont d'autre résultat que d'en diminuer la valeur.

Selon la pensée scolastique, la géométrie dérive du monde sensible par abstraction; et même certains de ses principes s'obtiennent par induction. Les concepts géométriques résultent d'une simple abstraction de la matière sensible commune et même de la matière intelligible particulière: ils ne conservent que la matière intelligible commune, sans laquelle on n'aurait plus la quantité extensive qui fait l'objet de la géométrie. De même l'espace s'obtient par une abstraction au second degré: il se trouve matériellement dans les choses en raison de leur extension; mais il n'a d'existence formelle que dans l'esprit. On voit donc que la matière de la géométrie trouve sa juste place dans le cadre de la théorie traditionnelle de l'universel.

L'exactitude de ces doctrines ne demande pas toutefois qu'on en restreigne l'application à la géométrie euclidienne. Elles sont vraies parce qu'elles sont générales et applicables à tout système de concepts ayant comme départ l'appréhension de l'étendue. En effet, elles permettent des distinctions fondamentales qui s'accordent entièrement avec les données actuelles de la science. Nous insisterons pour commencer sur deux points précis: l'analyse de l'abstraction de la matière sensible commune des corps étendus; et la description du passage de l'espace physique à l'espace géométrique.

En ce qui concerne la première question, voyons comment s'obtiennent les notions géométriques. En partant de la considération d'objets sensibles, l'esprit élimine leurs qualités secondes et leur mouvement, pour ne garder que leur forme et leur grandeur. De ce premier palier, il dépouille les corps solides abstraits ainsi obtenus, de leur grandeur et de leurs dimensions particulières, pour s'élever au concept de corps solides en général. Enfin, en enlevant même l'étendue aux objets atteints sur ce second palier, l'abstraction parvient à donner l'essence ou la forme même de ces objets. Telle est l'opération qu'Aristote nous décrit, et qui

* Voir aussi nos études: *Geometry and Reality* (Proc. Aristotelian Society, 1922) — *Einstein and Idealism* (Mind, 1922) — *The Significance of the Space-Time Continuum* (Monist, 1923) — *L'Adaptation de la Géométrie au Monde Sensible*, (Revue Néo-Scholastique, 1926) — *Geometrical Ontologism* (International Congress of Mathematics, 1928) — *Invention and Description in Mathematics* (Proc. Aristotelian Society, 1930) — *La Connaissance Géométrique* (Revue de l'Université d'Ottawa, 1941).

se répète pour les autres concepts spéciaux de la géométrie, tels que les surfaces et les lignes, qui sont extraits d'une certaine façon des corps solides qui les contiennent en puissance. Et l'on notera ici que ces concepts, qui sont moins riches que celui de l'espace ou du volume, sont bien imaginables puisqu'ils sont contenus en quelque sorte dans ces autres concepts plus rapprochés des objets sensibles.

Il convient de remarquer que ces abstractions successives ne nous donnent pour commencer que les notions générales de volume, de surface, de ligne et de point, sans en spécifier des formes particulières. Il en résulte que la droite et le plan doivent être construits par l'esprit; car *aucune* expérience sensible ne nous donne directement ces figures. Porté par son désir légitime de simplifier ses abstractions, le mathématicien antique leur donne un coup de pinceau ici et là, et finit par passer à la limite. Une fois sa géométrie idéale construite avec ces éléments, il veut l'appliquer telle quelle au monde sensible, qui contient cependant tous les accidents matériels qu'il avait dû enlever pour aboutir aux notions générales (mais spécifiques) de la géométrie. Or la résistance de la nature à cette simplification arbitraire se manifeste dans tous les domaines de la science, par le besoin d'ajouter des hypothèses physiques à la géométrie, pour donner une bonne description quantitative de la nature. En astronomie, nous avons eu successivement les hypothèses des sphères concentriques d'Eudoxe, des épicycles de Ptolémée, de l'héliocentrisme de Copernic, des mouvements elliptiques de Képler, de la gravitation universelle de Newton, de la dynamique céleste de Laplace, avec toutes les familles d'hypothèses parallèles requises par les autres sciences. Et tout cela, pour sauver une géométrie construite en extrapolant macroscopiquement les données de l'abstraction.

L'explication de ce décalage se trouve justement dans le passage à la limite qu'on avait négligé d'analyser en détail. Est-il vraiment nécessaire de *corriger* les données idéalisées de l'expérience, pour obtenir exclusivement une seule géométrie? Si même on voulait soutenir qu'il est normal que l'universel soit plus riche que les cas particuliers sur lesquels il se fonde, cette richesse n'exige pas nécessairement une modification *essentielle* des données de l'expérience. L'idée de ligne en générale est plus riche que celle d'une ligne particulière; mais elle est différente de celle de ligne

droite. Et l'on ne saurait certainement pas soutenir que la notion de droite soit plus universelle et plus parfaite que celle de la ligne en général. Ceux qui voudraient soutenir que cette correction s'impose, en arrivent non seulement à dénaturer la spécificité des notions géométriques, mais encore à confesser implicitement une épistémologie platonicienne ou kantienne. En effet, la correction comporte un étalon extérieur qui en dirige l'opération: comme cet étalon ne saurait être ici l'expérience qu'il s'agit de corriger, il doit être une idée innée, que ce soit selon une raison transcendente ou selon des conditions subjectives de la connaissance.

Insistons sur ce point en nous servant d'un exemple. L'abstraction au premier degré ne nous donne jamais une ligne droite parfaite ou un triangle parfait ayant des angles intérieurs égaux à deux droits. Dans ces deux cas, le passage à la limite est bien permis quand on s'élève au second degré de l'abstraction. Mais les raisons de simplicité, ou de moindre effort, ou d'approximation suffisante qu'on pourrait invoquer dans ces circonstances, ne sont ni péremptoires ni exclusives. Il est tout aussi bien permis de rapprocher autant que possible des résultats de la première étape de l'abstraction, ceux qu'on obtient en éliminant des corps la matière sensible commune et la matière intelligible particulière. En se rapportant à l'analyse des triangulations donnée plus haut, on peut voir ainsi que les droites et les triangles non euclidiens sont obtenus de l'expérience tout aussi bien et directement que les notions correspondantes du système euclidien.

Voudrait-on penser qu'on obtiendrait des conclusions différentes en se rabattant sur la notion d'espace? Rien de positif ne justifie cette prétention: le passage de l'espace physique à l'espace géométrique confirme au contraire la thèse que nous présentons. Considérons pour commencer les caractères d'homogénéité et d'isotropie de l'espace. Au point de vue formel, ces deux caractères ne conviennent pas exclusivement au système euclidien, mais à tout espace ayant une courbure constante. On ne saurait donc tirer de ces deux caractères les postulats et les définitions spécifiques de la géométrie euclidienne uniquement. Pour cela, il faudrait leur ajouter l'hypothèse que la courbure de l'espace est nulle. C'est alors seulement que la somme des angles intérieurs d'un triangle est égale à deux droits: cette propriété des triangles rectilignes ne découle donc pas de l'homogénéité et de l'isotropie de l'espace, mais bien de la valeur de son paramètre dans le sens

défini auparavant. Par conséquent, on ne saurait pas diminuer la valeur ontologique des systèmes non-euclidiens, en se prévalant de l'homogénéité et de l'isotropie de l'espace, même en lui ajoutant les postulats de la rigidité des figures et de leur invariance dans un mouvement.

Du point de vue matériel, il faudrait prouver que le paramètre de l'espace physique est nul, avant de déclarer que le système euclidien est plus objectif que tout autre. En raison de notre connaissance macroscopique des phénomènes, on pouvait décrire ceux-ci jusqu'à maintenant au moyen de la géométrie euclidienne: tout se passait donc comme si notre espace était euclidien. Pourtant, sans avoir même besoin de se référer au succès de l'application des géométries nouvelles aux faits physiques, on pouvait déjà nourrir des doutes sur la nullité du paramètre spatial en réfléchissant sur les effets de la présence de la matière. Au siècle dernier, le mathématicien Clifford avait fait cette suggestion, bien avant qu'on n'eût l'idée d'utiliser en physique les géométries noneuclidiennes.

On peut discerner une conséquence de cette situation dans les expériences de triangulation que nous avons analysées précédemment. L'impossibilité de trouver toujours 180 degrés dans chacune de ces expériences, ne doit pas être ramenée exclusivement à des conditions subjectives: sans éliminer complètement celles-ci, on peut légitimement supposer que la conformation de l'espace peut bien être responsable de ces décalages. Et nous avons vu qu'en remontant de ces résultats d'arpentage à leurs principes, par la méthode régressive, on obtient des géométries différentes pour chacun de ces groupes d'expériences. En dernière analyse, l'univers n'exige donc pas que la somme des angles d'un triangle équivale à deux droits; et comme ce principe est équivalent au postulat euclidien des parallèles, il serait faux de soutenir que ce dernier et le système entier qui lui sert de cadre, ont une valeur ontologique plus grande que n'est le cas pour d'autres systèmes.

Certes, on peut dire qu'en éliminant toute matière et toute force de l'espace, celui-ci n'aurait aucune raison d'avoir une courbure. Mais alors l'espace ainsi pensé est bien plus loin de la réalité sensible, qu'un autre espace abstrait qui tiendrait compte d'une constante de courbure dans sa constitution géométrique et analytique. Il est donc clair que ce dernier espace est plus proche des phénomènes, puisque ceux-ci causent inéluctablement des défor-

mations dans l'étendue; et que la généralisation de cette situation exige un paramètre positif ou négatif dans leur description mathématique. En nous basant sur l'objectivité du monde extérieur et la théorie traditionnelle de la connaissance, nous pouvons donc dire que l'espace non-euclidien est aussi intuitif, sinon davantage que l'espace euclidien. Il est même nécessaire de l'intégrer dans nos habitudes intuitives, de la même façon que nous nous sommes habitués à considérer comme plus intuitive la conception héliocentrique du monde par rapport aux idées que les anciens se faisaient à ce sujet.

Il nous reste à démêler une dernière difficulté, qui couvre plutôt une confusion qu'une objection véritable: elle a trait aux *dimensions de l'univers*. Ainsi par exemple, certains penseraient contester la validité des systèmes non-euclidiens sous prétexte qu'il n'existe pas de corps non-euclidien, parce que l'espace réel a trois dimensions et qu'il est impossible d'en imaginer un qui en ait quatre ou davantage. Cette difficulté implique clairement un rapprochement des géométries non-euclidiennes avec l'espace à plusieurs dimensions. Aussi se résout-elle facilement en rappelant que ce rapprochement, toujours possible dans certaines conditions, n'est pas nécessaire. Mais il convient d'insister davantage sur ce point, en précisant tout d'abord l'idée de dimension.

Le sens courant de cette notion dérive des opérations mentales qui nous donnent l'idée abstraite de l'espace. En reprenant les stades de l'ascension aristotélicienne vers l'intellection des concepts géométriques, on se rappellera que la notion de volume se précise quand on dépouille les objets sensibles de leur matière sensible particulière et commune, pour n'en retenir que leurs attributs quantitatifs. Or il faut trois opérations consécutives en partant du volume pour éliminer complètement l'étendue: la première donne la surface, la seconde la ligne, la troisième le point. En reprenant ces opérations en sens inverse en partant du point, une première opération donne la ligne, une seconde la surface, et une troisième le volume. Du moment que l'abstraction ne nous donne pas autre chose que le volume en relation directe avec l'expérience, on peut dire que la caractérisation quantitative de l'étendue demande au maximum trois opérations, c'est-à-dire trois étalons, c'est-à-dire trois dimensions. En s'élevant de l'idée de volume en général à celle de l'espace, nous conservons nos trois étalons pour ce dernier. Par conséquent, il est tout à fait juste de soutenir que l'espace

physique ou réel n'a que trois dimensions; et que l'espace abstrait qu'on obtient immédiatement de ce dernier, doit avoir trois dimensions aussi. Il est également juste d'affirmer, qu'on peut *penser* des espaces pluridimensionnels en utilisant des analogies permises; mais qu'il est impossible de les *imaginer* comme tels dans l'ordre de l'étendue.

Qu'on y prenne garde cependant: dire que l'espace physique ou que l'espace abstrait qu'on en dérive immédiatement n'a que trois dimensions, ce n'est pas dire que seul l'espace euclidien a trois dimensions. Rien ne prouve, en effet, l'identité matérielle et formelle de ces deux espaces: le premier étant plus général que le second, peut bien être capable de différences spécifiques jouissant de cette même tridimensionalité. Or, on sait déjà que les postulats classiques de l'espace immédiatement abstrait, omettent toute référence à un paramètre spatial, parce qu'ils impliquent tacitement et justement que la courbure de l'espace euclidien est nulle. Mais on sait aussi que les travaux de Lie ont prouvé que ces postulats classiques connotent en réalité trois groupes distincts d'espaces; et que cette distinction s'explique par rapport à la valeur du paramètre spatial de chaque groupe. Dans ces conditions, on ne saurait donner une marque exclusive à cette thèse fort juste de la cosmologie traditionnelle, que l'espace euclidien convient bien à la nature de l'étendue sensible. Cette convenance existe aussi pour les espaces non-euclidiens à trois dimensions.

Il serait donc hors de propos de faire intervenir la dimensionnalité de l'espace contre le caractère intuitif des géométries non-euclidiennes; et de soutenir qu'il n'y a pas de corps non-euclidiens, même si ces corps ont nécessairement des dimensions autres que nos objets d'expérience. D'autre part, on connaît déjà l'erreur qui consiste à confondre les géométries non-euclidiennes avec la métageométrie: cette dernière comporte nécessairement ces espaces à plus de trois dimensions; tandis que les premières n'ont pas nécessairement plus de trois dimensions.

Pourtant, encore un coup, ne dit-on pas que l'univers décrit par la théorie de la relativité à quatre dimensions? Tel est bien le cas; mais il s'agit ici de l'univers et non point de l'espace physique. Dans la nouvelle figure du monde, l'espace physique conserve bien ses trois dimensions, tout en s'habillant des structures non-euclidiennes. Mais l'univers comme tel est un concept plus large que celui d'espace: il comprend aussi le temps. C'est l'union analy-

tique (mais non réelle) de l'espace et du temps, qui nous donne un univers à quatre dimensions. On peut alors se poser une double question: si cette union analytique est justifiable à un titre quelconque; et si la description des phénomènes qu'elle permet donne une image plus objective du monde.

Répondre à la première question, ce serait reprendre l'histoire de la théorie de la relativité et celle des découvertes mathématiques de ces cent dernières années. Pour tranquilliser certaines appréhensions, nous insisterons sur le caractère analytique, par opposition à la différence réelle, des termes de cette union. Ces entrelacements ne sont-ils pas courants même en mécanique classique? Dans l'équation élémentaire de la vitesse ($v = c/t$) on divise machinalement l'espace par le temps, sans se soucier des réalités différentes sous-jacentes à ces deux notions; et l'on pourrait multiplier de pareils exemples. Il n'y a donc rien de singulier pour la théorie de la relativité à proclamer dès le début l'union analytique de l'espace et du temps. De même, la relativité de ces deux notions doit être entendue quant aux moyens physiques dont nous disposons pour les mesurer. En effet, le comportement des étalons de mesure de l'espace et du temps ne saurait être ramené à quelque absolu d'ordre physique, puisqu'il ne peut pas exister d'absolu d'ordre physique au sens profond du mot.

On voit bien ici le sens particulier de *dimension*. Il ne s'agit plus de l'étalon de mesure de l'espace physique en tant qu'espace; mais bien de l'étalon analytique qui, réuni en faisceau avec d'autres étalons semblables, sert à caractériser la situation réelle d'un événement dans l'ensemble de l'univers physique. Cette conception de la dimension peut alors être étudiée sous trois aspects différents: le sens logique, lorsqu'il s'agit de la dimension d'une classe; le sens algébrique, quand il s'agit du nombre qui sert de coordonnée dans un système de référence; et enfin le sens topologique, quand il s'agit du nombre des opérations à faire pour préciser une situation donnée. Tous ces aspects sont basés en dernière analyse sur des nécessités physiques, et se trouvent justifiés par des analogies fondamentales. Le choix du nombre de ces dimensions à employer dans une description physique, apparaît alors comme une question de convenance et de méthode. A ce sujet, il est un principe capital qui s'affirme dans la science moderne: c'est la tendance à mathématiser les phénomènes, en compliquant l'appareil technique qui les décrit, au détriment des hypothèses purement qualitatives.

C'est ce qui explique en particulier la multiplication des dimensions en physique.

Dans l'univers considéré macroscopiquement comme un ensemble, la position d'un point-instant exige quatre étalons: c'est ainsi que le monde de la théorie de la relativité a quatre dimensions. Cela ne veut pas encore dire que l'espace soit courbe: l'espace minkowskien de la relativité restreinte ne l'est pas. Mais l'intervention d'un champ gravitationnel, comme nous l'avons vu, exige l'adoption d'une géométrie riemannienne. Il est important de noter cette distinction entre un espace courbe et un espace à plusieurs dimensions.

D'autre part, dans l'univers considéré microscopiquement comme c'est le cas pour le monde sousatomique, la position de points-instants exige parfois pour la description un nombre considérable de dimensions. C'est ce qui se passe en mécanique quantique, où le nombre d'étalons requis pour rendre compte des mouvements des éléments d'un atome, dépend du nombre atomique et du poids atomique de cet atome. On voit ici que les dimensions sont considérées dans leur sens algébrique.

En attendant la synthèse qui arriverait à mettre ensemble la relativité et les quanta en obéissance au principe de l'unité de la nature, peut-on dire que la description des phénomènes physiques à l'aide de géométries aussi complexes nous donne une image objective du monde? Il serait difficile de le nier, même si l'on n'est pas tenu d'attribuer à l'une et à l'autre de ces théories une valeur définitive de vérité. Les sciences se développent selon un progrès réel qu'il faut accepter avec joie, car il répond à leur nature même. Mais il est tout aussi imprudent de s'en servir d'enthousiasme au profit de faux systèmes philosophiques à la mode, que de les dénoncer hâtivement au nom d'une saine philosophie qu'on persiste à tenir attachée à ces habitudes de penser qui ne correspondent plus à la situation actuelle. La vraie sagesse consiste à bien analyser ces progrès, à y préciser les distinctions qu'ils comportent pour éviter des erreurs d'interprétation, et enfin à tenter d'annexer tous leurs éléments positifs aux principes de la vraie philosophie. Car en somme, la vérité est une et persiste comme telle sous les phases multiples de notre conquête de l'univers.

Thomas GREENWOOD,

*Professeur à l'Université d'Ottawa,
Maître de Conférences à l'Université de Londres.*

LE LANCEMENT DES NAVIRES

Le lancement d'un navire a pour objet de lui faire quitter le plan incliné sur lequel il a été édifié et de le faire flotter. En somme c'est la naissance d'un bateau.

On peut construire un navire dans une cale sèche, puis le faire flotter en admettant l'eau graduellement dans cette cale. On peut encore le construire sur un terrain avoisinant une rivière, et le transporter sur un funiculaire marin jusqu'à ce qu'il flotte. Ces deux manières ne constituent pas un véritable lancement. En effet, on constate que dans chacun des cas, le vaisseau est absolument sous contrôle tant qu'il ne flotte pas; mais dans un lancement proprement dit, le vaisseau demeure sans contrôle depuis le moment où l'on coupe les saisines de retenue jusqu'à ce qu'il flotte librement.

Comme la plupart des chantiers maritimes sont situés le long des rives inclinées des rivières ayant une marée et que le sol est alluvial, la construction de plans inclinés permanents, ou couettes, nécessite généralement une fondation solide de pilotis afin de supporter les bloes de quilles pendant la construction du navire et de pouvoir, lors du lancement, porter le poids du navire sur les berceaux avant et arrière, et sur les couettes vives. Les pilotis sont enfoncés par rangées perpendiculaires à la ligne de centre de la quille. L'espacement de ces rangées varie avec le poids du navire, mais dans la plupart des cas il est d'à peu près 4 pieds.

Sur la ligne de centre du plan incliné on place une rangée de bloes de pin rouge, de 12 à 18 pouces de côté, sur lesquels est posée la quille du navire. (*fig. 1*) Ces bloes sont juxtaposés sur une hauteur de 5 pieds au-dessus du sol, afin de laisser aux ouvriers un accès facile à la carène du navire et de donner un espace suffisant pour le lancement. Les bloes inférieurs ont à peu près 6 pieds de long; ceux du dessus sont plus courts (Dans la *fig. 1*, les bloes supérieurs ont été enlevés pour le lancement). La ligne que forme le sommet des bloes de quilles est inclinée de façon à ce que le bout qui touche l'eau soit plus bas que l'autre bout. Cette pente est ordinairement un peu plus que $\frac{1}{2}$ pouce par pied. La pente des couettes, sur lesquelles le navire glisse à l'eau après que la coque est construite, est plus forte que celle des bloes de quille; elle est



Courtoisie de "Marine Engineering and Shipping Review"

Fig. 1 — Lancement par la poupe.

de 11/16" ou de 3/4" au pied. Plus le vaisseau est lourd, plus la pente est faible, parce que la force qui cherche à l'entraîner s'accroît avec l'inclinaison et est directement proportionnelle au poids.

Un navire est lancé par la poupe ou de côté. Les vaisseaux moyens et les petits bateaux sont encore lancés de côté (voir *fig. 2*), mais ceci entraîne une perte d'espace considérable sur l'estran ou plage du chantier; de plus, toutes les grues et les échafaudages placés entre la rivière et le navire doivent être enlevés avant le lancement. C'est une façon commode de lancement dans une rivière étroite, mais elle entraîne des dangers de chavirement du navire à cause de la forte tendance qu'il a de donner à la bande en touchant l'eau. Le roulis est alors très fort et le bateau peut revenir frapper le bout des couettes dormantes et s'endommager. Les couettes sont plus inclinées que dans le lancement par l'arrière du bateau, et au lieu de deux couettes, il y en a plusieurs. Ce mode de lancement par le côté offre l'avantage de construire le vaisseau sur une quille horizontale, rendant plus facile la pose des pièces verticales perpendiculairement à cette quille.

Dans un lancement par le bout ou lancement par la poupe, les couettes ne doivent pas être construites à angle droit avec le bord de la rivière, à moins que celle-ci ne soit très large; elles doivent plutôt former un angle de 15 à 30 degrés. Le bateau ainsi dirigé arrivera dans la profondeur d'eau nécessaire sans qu'il y ait danger qu'il aille se frapper sur la rive opposée de la rivière. Si le lancement s'effectue dans un canal restreint, on doit prévoir des appareils spéciaux afin d'arrêter le vaisseau aussitôt qu'il a entièrement quitté les couettes.

Pour un lancement par la poupe (voir *fig. 1*), des dormantes sont construites de chaque côté de la quille du vaisseau; la distance qui les sépare est habituellement le 1/3 du bau, ou largeur du navire au pont supérieur. Cette distance laisse sous le bateau un bon espace qui permet de travailler au déplacement des blocs de quilles et sert aussi à diminuer la hauteur du berceau dans les bouts du navire où, étant donnée la finesse de la coque, une forte quantité de planches superposées est requise. Au-dessus des dormantes, sont posées les couettes vives sur lesquelles est érigée la structure du berceau, dans lequel la coque repose lorsque les ventrières (*bilge blocks*) et les étançons (*shores*) sont enlevés. Si la chose est possible, on place les couettes sous une traverse longitudinale



Courtoisie de "Marine Engineering and Shipping Review"

Fig. 2 — Lancement de côté.

afin qu'une partie rigide de la structure du bateau résiste à la pression exercée sur la coque.

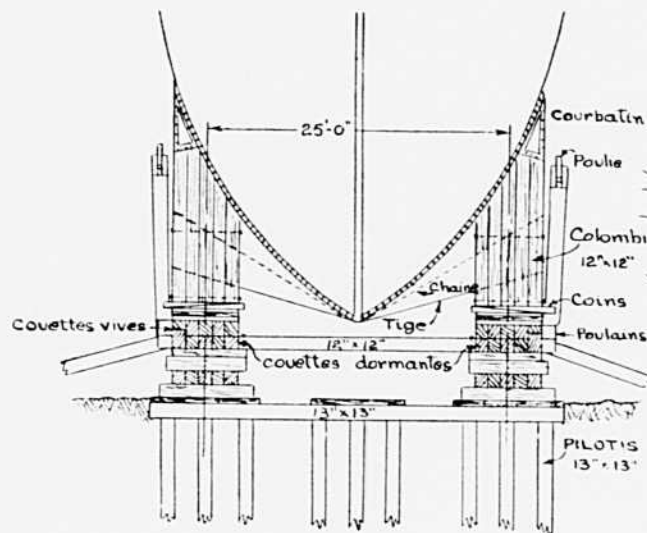
Les blocs servant à supporter les couettes dormantes sont placés à tous les 3 ou 4 pieds. La lice empêche les couettes vives de glisser à côté des couettes dormantes lors du lancement. La lice est soutenue par des étançons espacés d'à peu près 10 pieds (voir *figs 1, 3 et 4*).

Une couche de lubrifiant est introduite entre les couettes dormantes et les couettes vives un peu avant le lancement; la surface libre des couettes dormantes est de même enduite de graisse aussi loin que le permet le niveau de l'eau à marée basse. On prévient les mouvements prématurés par une sorte d'arc-boutant appelé poulains (*dog-shores*) (voir *figs 3 et 4*) destiné à retenir les couettes vives aux couettes dormantes, et arrangé de façon à être relâché au moment voulu. Le ber est construit de façon à se détacher du vaisseau lorsque celui-ci est à l'eau; il flotte et on le ramène sur la grève.

Les couettes vives sont d'abord assemblées dans leur position sur les couettes dormantes sans la couche intermédiaire de lubrifiant, et sur elles le berceau peut alors être construit. A l'avant et à l'arrière est érigé une structure de pièces de bois de charpente placée perpendiculairement entre le fond du navire et les couettes vives et connue sous le nom de colombiers (*poppets*) avant et arrière. Ils sont aussi appelés berceaux de proue et berceaux de poupe.

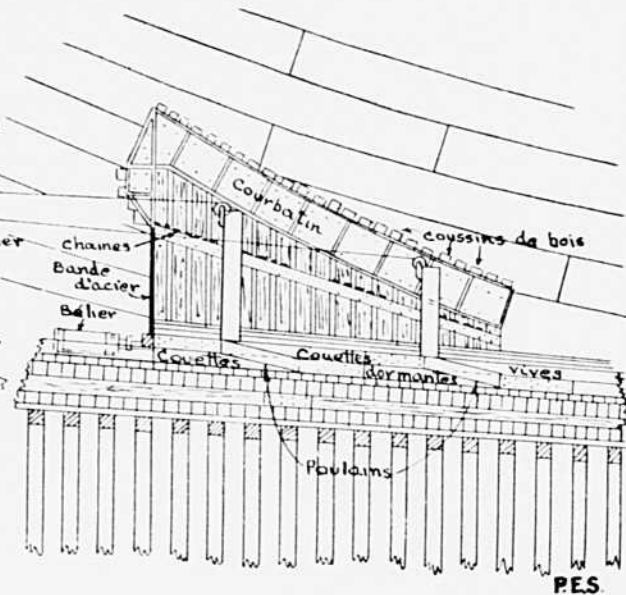
Les extrémités inférieures de ces colombiers reposent sur les couettes vives et leurs extrémités supérieures aboutissent sur des courbatins (*brackets*) soudés à la coque du vaisseau et y sont attachés afin de prévenir toute tendance à capoter vers l'extérieur. Les extrémités inférieures des colombiers sont attachées en travers sous la coque afin de les empêcher de s'étendre. Sous les parties aplaties de la carène du bateau on place des membres, ou grosses pièces de bois, longitudinalement dans le but de remplir l'espace entre le bouchain (*bilge*) et la surface supérieure des couettes vives (*figs 3 et 4*).

Les colombiers et les membres longitudinaux ne sont pas en contact direct avec les couettes vives. De longs coins, dont le bout le plus épais est à l'extérieur, les en sépare. Les coins sont placés à environ $\frac{1}{2}$ pouce les uns des autres et sont fixés suffisamment pour tenir jusqu'au moment où il faudra les coincer en position



BERCEAUX DE PROUE

Fig. 3



BERCEAU DE PROUE, VUE DE CÔTÉ

Fig. 4

pour le lancement. Le poids du ber et des couettes vives est porté jusqu'ici sur des séparateurs qui sont insérés entre les couettes vives et les couettes dormantes à environ dix pieds d'intervalle, et dont l'épaisseur égale celle du lubrifiant servant au lancement.

Ce lubrifiant comprend une couche de base d'environ $\frac{1}{2}$ pouce d'épaisseur de stéarine qui est ordinairement appliquée chaude, et une autre couche de graisse plus légère appliquée à la main. Le but de cette couche de base est d'aplanir toute inégalité sur les dormantes, et d'obtenir une surface dure et lisse pour la deuxième couche.

Quand arrive le temps du lancement les séparateurs sont retirés, et des équipes d'hommes travaillant de concert enfoncent les coins sous le berceau jusqu'à ce qu'il soit en contact avec la carène du navire et les courbatins. Le vaisseau est maintenant soulevé des blocs de quille et des étançons du bouchain d'une hauteur permettant de les retirer. Un certain nombre de blocs et d'étançons sont laissés en place jusqu'au moment précédant immédiatement le lancement. Le navire repose maintenant sur le lubrifiant. On l'empêche de glisser en bas des couettes à l'aide de poulains placés sur chacune des couettes vives.

Les berceaux, colombiers, couettes vives et couettes dormantes sont faits de bois de charpente de 12, 18 et même 24 pouces de côté, suivant la grosseur et le poids du vaisseau. Ils sont assemblés par des boulons, des bandes d'acier, des chaînes, des crampons et des chevilles.

La longueur du berceau est environ 80% de la longueur du navire. La longueur des couettes vives est d'abord choisie d'après la longueur et le poids des parties du bateau qui dépasse l'avant et l'arrière du berceau. Elle dépend aussi de la hauteur de la charpente requise (packing) aux extrémités du berceau. Lorsque c'est possible les bouts des couettes vives sont situés sous les cloisons transversales ou sous quelque autre membre rigide de la structure du navire.

La largeur des couettes est déterminée par le poids du lancement:

Ainsi: W = poids de lancement du bateau et du berceau en tonnes

L = longueur du berceau ou des couettes vives

b = largeur de chaque couette

alors: $2b \times L =$ la superficie des couettes vives; la pression moyenne par pied carré sur les couettes $= \frac{W}{2b \times L}$

L'expérience a démontré que la superficie des couettes vives devrait être telle que la pression par pied carré ne dépasse pas 2.5 tonnes, pression moyenne permise pour le lubrifiant.

Ainsi: $2.5 = \frac{W}{2b \times L}$; d'où la largeur de chaque couette, $b = \frac{W}{5L}$

Avant le lancement, on doit prendre les mesures nécessaires afin qu'il n'y ait pas de poids lourds sur le pont supérieur ou à une trop grande hauteur au-dessus de la quille. On doit aussi fixer les pièces mobiles et déconnecter les lignes électriques, les prises d'air comprimé, etc. Lorsqu'on lance la plupart des navires, afin qu'ils soient le plus léger possible on omet les chaudières, la machinerie, les cheminées, les mâts, etc., mais l'hélice est généralement posée. On fait un calcul approché du poids du navire, de la position du centre de gravité tant vertical qu'horizontal, du centre de gravité lorsqu'il flotte et de la hauteur métacentrique. Si le métacentre n'occupe pas une position qui rend le navire stable on doit le lester pour abaisser son centre de gravité.

Maintenant faisons un examen des forces qui agissent sur la structure du bateau pendant la descente sur les couettes (*figs 5 à 11*). Pendant que le vaisseau descend, son centre de gravité approche l'extrémité des couettes, arrive à elle et enfin la passe. Dans ces différentes étapes, une partie du poids du vaisseau est portée par la poussée de la partie arrière du vaisseau qui est entrée dans l'eau, et le reste est supporté par les parties avant du berceau qui sont encore en contact avec les couettes. Dès que le centre de gravité a passé le bout des couettes, le moment de poussée autour du point *E* devrait être plus grand que le moment du poids autour du même point. S'il n'en est pas ainsi, le vaisseau cherchera à basculer et le poids sera concentré sur le bout des couettes dormantes. Pour éviter une telle condition, les couettes dormantes doivent s'étendre plus loin dans l'eau ou elles peuvent être arquées.

A mesure que le vaisseau descend sur les couettes, la poussée d'Archimède s'accroît jusqu'au point où la poupe commence à lever, et le vaisseau commence à pivoter sur la partie avant du berceau où le poids est concentré. Cette charge sur le colombier avant est la différence entre le poids du vaisseau et la force de

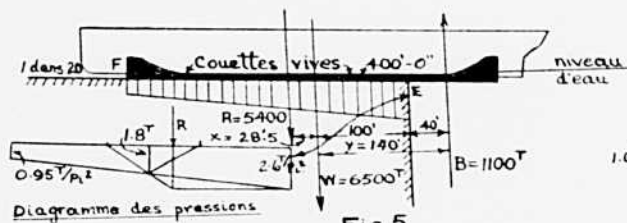


Fig. 5

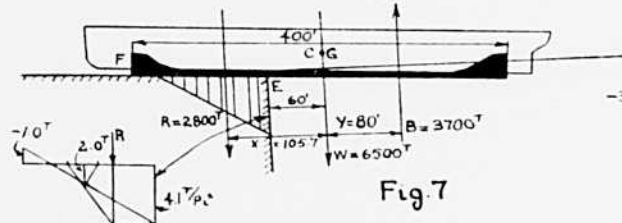


Fig. 7

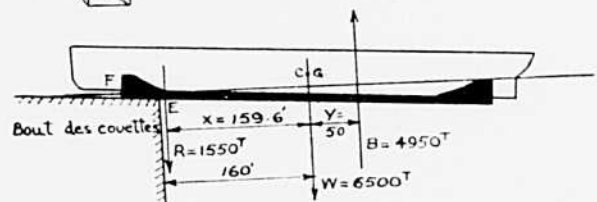


Fig. 9

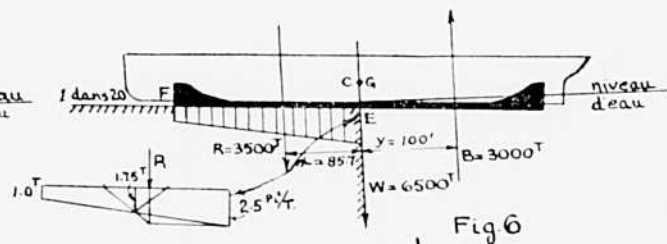


Fig. 6

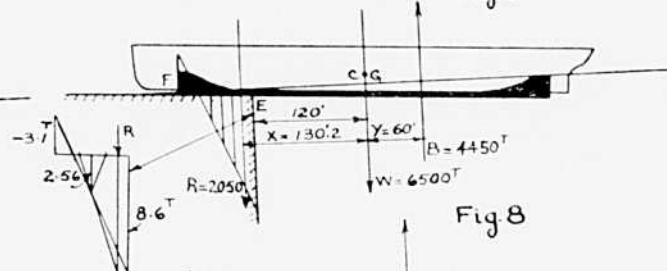


Fig. 8

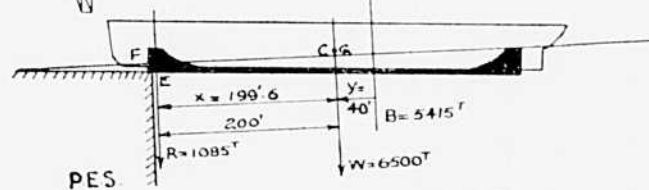


Fig. 10

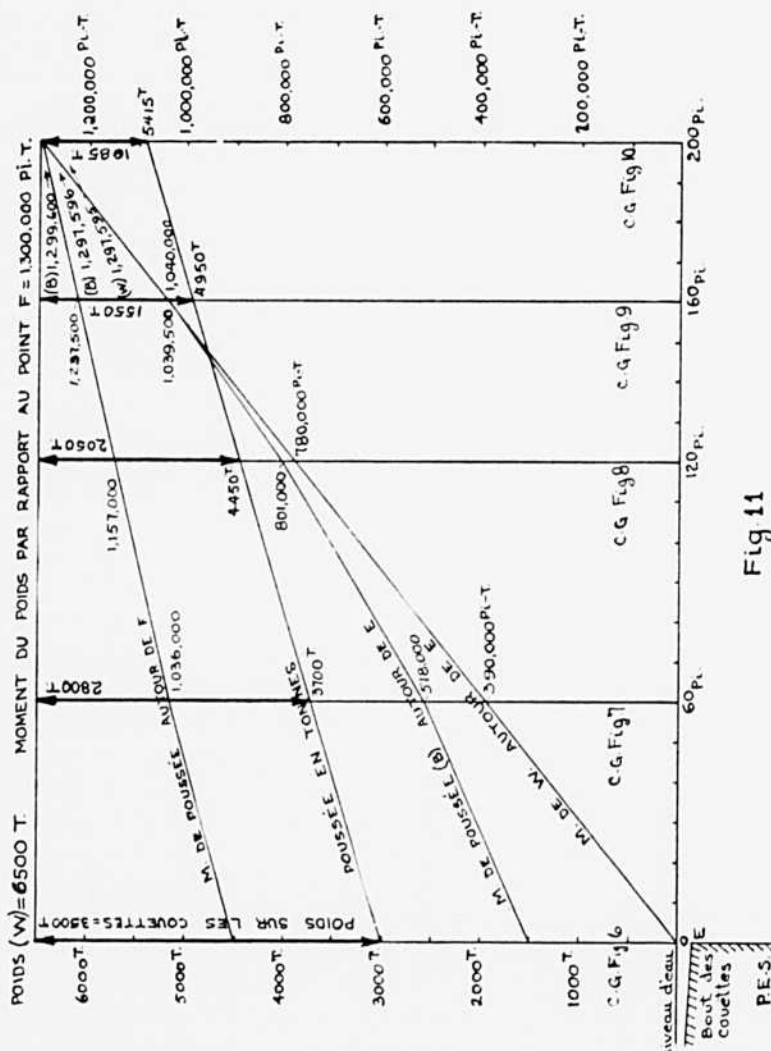


Fig. 11

poussée. Le berceau est rendu flexible sur une certaine longueur à l'avant, afin de fournir une plus grande surface de contact avec les couettes quand cette charge se fait sentir.

Les figures de 5 à 10 montrent un navire de 500 pieds de long, ayant un poids de lancement de 6,500 tonnes, à différents points lors de sa descente sur les couettes; les poids, les forces de poussée, les résultantes, les bras de leviers et les pressions sur les couettes

en tonnes par pied carré sont indiqués sur les figures. Les courbes de la *fig. 11* nous permettent de connaître le poids du vaisseau sur les couettes, la force de poussée et leurs moments autour des points *E*, *F*, pour n'importe quelle position du vaisseau lors du lancement.

Dans la *fig. 5* la résultante $R = W - B$, et, le moment de la force de poussée par rapport au centre de gravité égale $B \times Y$; d'où nous trouvons le point d'application de la résultante à une distance $X = \frac{B \times Y}{R}$. La valeur de la résultante R se retrouve sur le graphique No 11 entre la ligne du poids total du navire et la ligne des forces de poussée. La pression moyenne sur les couettes est calculée d'après cette valeur de R ; la longueur des couettes est de 500 pieds $\times$ 80% = 400 pieds et la largeur de chaque couette égale 5 pieds.

La pression moyenne pour la position de la *fig. 5* égale $\frac{5400}{300 \times 5 \times 2} = 1.8$ tonnes par pied carré; la pression maximum en *E* est 2.6 tonnes par pi. car. et la pression minimum en *F* est 0.95 tonne pi. car. Il y a un diagramme des pressions pour chacune des positions montrées.

Il est à remarquer que le moment du poids total du navire par rapport au point *F* est constant et égal à 1,300,000 pi. tonnes, car le poids de 6,500 tonnes agissant au centre de gravité est toujours à la même distance du point *F*.

Si le moment de la poussée B par rapport au point *F* excède le moment du poids total par rapport au même point, le bateau pivotera au point *F* et toute la force résultante R sera concentrée sur l'avant du berceau (voir *fig. 11*).

D'après les schémas 7, 8, 9, le vaisseau a une tendance à lever de la proue et à basculer au point *E*, comme on peut le constater d'après les pressions négatives indiquées sur les graphiques de pression. En pratique cette pression négative est diminuée par la succion qui se forme entre les couettes vives et les couettes dormantes, à cause de l'épaisse couche de suif et d'huile.

Dans la position de la *fig. 9*, le moment de la poussée par rapport à *E* égale 1,039,000 pi. tonnes et le moment du poids égale 1,040,000 pi. tonnes. Cette différence de 500 pi. tonnes dans les moments et le fait que la résultante tombe en dehors du bout des couettes nous montre bien la tendance qu'a le vaisseau de basculer au point

E. C'est une position instable qui se produit occasionnellement lors du lancement d'un bateau; la proue lève, puis à mesure que la poussée d'Archimède augmente elle baisse et peut endommager les couettes en les frappant. Dans cette position toute la résultante R (1,550 tonnes) est concentrée sur le bout des couettes dormantes sur une longueur de 5 pieds environ; ce qui donne une pression de

$$\frac{1550}{5 \times 5 \times 2} = 31 \text{ tonnes par pi. car.}$$

Cette pression n'est pas excessive

et n'est d'ailleurs que momentanée car le navire descend les couettes à une vitesse de 18 à 23 pieds par seconde, prenant environ 60 secondes depuis le moment du départ jusqu'à ce que le vaisseau soit complètement à l'eau.

La *fig. 10* nous montre le vaisseau au moment où il quitte les couettes; la résultante de 1,085 tonnes est appliquée sur le bout des couettes dormantes.

Lorsque le vaisseau est à flot, il possède une quantité de mouvement assez forte pour l'entraîner pendant un certain temps. Alors, si le vaisseau est lancé dans une rivière étroite, il faudra l'arrêter avant qu'il atteigne la rive opposée. Le moyen le plus employé pour arrêter un vaisseau après qu'il a laissé les couettes dormantes, consiste à lui attacher, à l'aide de câbles d'acier de différentes longueurs, des paquets de chaînes disposés de chaque côté des couettes. Les tas de chaînes se déplacent successivement par paire à mesure que le câble, qui les relie au navire, se tend.

Avant le lancement, l'énergie potentielle que possède le navire est égale au produit du poids du bateau par la distance verticale dont le centre de gravité sera abaissé. Pendant le lancement, une partie de l'énergie est dépensée par la force de poussée et par la résistance du lubrifiant et de l'eau; le reste sera absorbé par le déplacement des tas de chaînes. Pour le lancement du *Queen Mary*, 2,350 tonnes de chaînes furent utilisées.

Lors du lancement d'un bateau, on procède toujours à la cérémonie du baptême en s'aidant d'une bouteille de champagne qu'on a souvent soin d'emplir d'eau gazeuse. J'ai lu quelque part que les Anglais s'étaient beaucoup offusqués d'une cérémonie américaine où, à cause de la prohibition, on avait baptisé un navire avec un gallon de crème glacée.

Paul-E. SALVAS, I.C., S.E.I.C.

Diplômé de Polytechnique (43)

REVUE DES LIVRES

Nous recevons des Éditions FIDES (Centrale de la J.E.C., 430-est, rue Sherbrooke, Montréal), les ouvrages suivants:

A — COLLECTION « FACE AU MARIAGE »:

No 1 — « Mon Fiancé », par Gérard Petit, 29 pages.

No 4 — « Ton corps et ton amour », par Gérard Petit, 31 pages.

No 3 — « La mode », par André Legault, 30 pages.

No 14 — « Puis-je lire n'importe quoi ? » par Gérard Petit, 32 pages.

No 15 — « Les fréquentations modernes », par Gérard Petit, 32 pages.

Les titres suggèrent assez que ces tracts s'adressent à la jeunesse. Les questions soulevées sont vieilles, presque toutes, comme l'humanité elle-même. Les réponses sont vieilles aussi, ou plutôt sont toujours jeunes, comme l'Évangile et comme l'Église, et c'est ce qui fait leur prix. La doctrine est solide, l'expression est souvent pittoresque et vivante, l'esprit est profondément chrétien. Le zèle apostolique et l'amour des jeunes âmes animent les auteurs que, sans les connaître, je crois jeunes aussi. . . . J'ai un peu oublié de quel « ton » j'aimais qu'on me parlât quand j'avais 16 ou 18 ans; c'est pourquoi j'ai été parfois un peu agacé à la lecture de ces petits livres: la faute en est sans doute à moi seul, qui ai perdu depuis longtemps hélas! la fraîcheur et la naïveté de l'adolescence. Mais les jeunes lecteurs à qui sont destinés ces pages, les liront d'un œil plus frais, et en tireront, je le souhaite, tout le fruit qu'en espèrent non seulement les auteurs, mais encore tous ceux-là qui ont à cœur le bien-être physique et moral de notre belle jeunesse.

B — COLLECTION « CONNAISSEZ-VOUS ? »:

No 1 — « Connaissez-vous Hitler ? », par Gérard Chevalier, 46 pages, \$0.10.

Ceux qui liront ce tract ne pourront que répondre: Non. Le texte, en effet, ne répond pas au titre, ou n'y répond que très peu. Je veux bien qu'il y ait rapport étroit entre Hitler et le national-socialisme, dit nazisme; mais, tracer les grandes lignes du nazisme et philosopher sur le racisme, ce n'est pas répondre à la question: « Connaissez-vous Hitler ? » De celui-ci, presque rien que la moustache et la mèche sur l'œil.

De plus, à lire M. Chevalier, c'est bien effrayant si nous admirons Hitler et ses idées. Ainsi, à la p. 4: « Cet emballement facile (pour le régime hitlérien) et cette superficialité de vue, nous les rencontrons malheureusement chez beaucoup des nôtres que leur culture et leur position sociale devraient rappeler à plus de pondération et à plus de sagesse ». A la p. 36: « Il importe au plus haut point d'y insister, tant pour défendre la valeur suprême de Dieu, que pour chasser les erreurs qui circulent malheureusement trop chez nos gens ». Si c'était vrai, ce serait en effet bien « malheureux ». Mais « nos gens » ne sont pas si malades; ils ont plus « de pondération et de sagesse ». Ou alors que le gouvernement fasse interner « beaucoup des nôtres que leur culture et leur position sociale » ne devraient pas sauver du camp de concentration, s'ils sont aussi « emballés » qu'on le dit. M. Chevalier fait de la propagande maladroite, et il la fait en mauvais français. Jugez-en par ces paroles: « . . . même si la guerre ne poussait en évidence son acuité ». (p. 4) « Or, si Hitler et ses collaborateurs affichent très haut de jeter les bases d'une nouvelle conception de la vie . . . » (p. 9) « Le premier fondement de son œuvre, qu'il énonça au Reichstag . . . » (p. 11) etc. Soyons charitables aux Éditions FIDES: ce n'est pas ce genre de prose qui assure la vie et la réputation d'une œuvre.

No 4 — « Connaissez-vous Roosevelt? » par Gérard Chevalier, 28 pages, \$0.10.

La prière d'insérer nous dit que « l'auteur, en quelques pages, a réussi un portrait complet de cette figure universellement connue », et que cette « brochure répond à tous les points d'interrogation que l'on peut se poser au sujet d'un personnage en vue ». Il y a, dans cette prière d'insérer, quelque exagération.

QUELQU'UN M'ATTEND, par Friedla Stadler. Traduit du hongrois par C. Nagy de Kael. Éditions Spes, rue Soufflot, 17, Paris, 208 pages, \$0.60.

Livre recommandable surtout par l'intensité de l'esprit chrétien qui l'anime. La jeune fille qui songe à fonder un foyer solide, y trouvera toute une série de conseils, de la plus noble inspiration, sous une forme souvent pittoresque et spirituelle, agrémentée d'une ironie fine et piquante.

THE CANADIAN SOCIAL SCIENCE RESEARCH COUNCIL. First annual report 1940-1941. Published by the Council, Ottawa, 1942, 30 pages.

LA CORPORATION DES AGRONOMES DU QUÉBEC. Rapport sur l'exercice 1941. Brochure de 71 pages.

PROGRAMME GÉNÉRAL À L'USAGE DES ÉCOLES MOYENNES ET RÉGIONALES D'AGRICULTURE, par Jean-Charles Magnan, inspecteur des écoles d'agriculture.

Guide technique, pédagogique et administratif pour l'enseignement agricole du degré intermédiaire — 1941 — Service de la propagande — Division des écoles d'agriculture. Ministère de l'Agriculture, Province de Québec. 111 pages.

POLARIMETRY, SACCHARIMETRY AND THE SUGARS, par Frederick J. Bates. Circulaire No 440 du «National Bureau of Standards». In-So de 810 pages avec 128 figures et 150 tableaux. Relié, toile. Prix: \$2.00. En vente chez le «Superintendent of Documents», Washington, D.C., 1942.

Cet ouvrage constitue une monographie très complète du sujet. La première partie comprend une étude mathématique des principes physiques ainsi que la description détaillée de l'appareillage utilisé en polarimétrie. Le point de vue historique n'a pas été oublié, mais l'auteur s'occupe surtout des données récemment acquises.

Suit ensuite une discussion très complète des différentes méthodes utilisées pour l'analyse du sucre brut et raffiné. Les méthodes physico-chimiques récentes (conductibilité électrique, colorimétrie, réfractométrie, turbidité, concentrations en ions hydrogène, viscosité, etc.) reçoivent une attention toute particulière. Les résultats des études faites par le «National Bureau of Standards» sur ces méthodes y sont consignés.

Les propriétés des sucres et de leurs dérivés ainsi que les méthodes de préparation de ces substances sont ensuite étudiées dans tous leurs détails. Une mise au point de toute la littérature sur ce sujet est suivie de la description des méthodes pratiques les plus recommandables.

Plusieurs des tables incluses dans ce volume étaient inédites jusqu'à ce jour. On trouve également dans ce document un résumé critique des mémoires présentés au dernier Congrès de la Commission internationale pour l'Étude des Méthodes d'Analyse du Sucre. Chaque chapitre est complété par une bibliographie.

VIE DE L'ASSOCIATION

Le dernier article paru sous cette rubrique date de février dernier et il fut consacré en entier à l'assemblée et au banquet annuels. Il contenait, entre autres choses, les rapports relatifs à l'assemblée générale tels qu'ils furent présentés par le conseil, le secrétaire-trésorier et par les conseils des sections. Nous passerons en revue cette fois-ci, les activités du conseil et des comités depuis le début de l'exercice 1943.

ACTIVITÉS DU CONSEIL

Le conseil de l'Association s'est réuni quatre fois depuis l'assemblée générale annuelle: le 17 février, le 10 mars, le 24 mars et le 5 mai. Voici quelques détails sur les points d'intérêt de ces assemblées:

Rapport financier du banquet: Ce rapport accuse un très léger surplus, mais un surplus tout de même. C'est là une chose qui ne s'est pas présentée depuis nombre d'années. Les recettes s'élèvent à \$822.25 et les dépenses à \$812.87. Le maigre bénéfice est donc de \$9.38. L'assistance fut un record, 359 personnes étant présentes, parmi lesquelles on comptait 322 diplômés et finissants.

Abonnement à la REVUE TRIMESTRIELLE CANADIENNE: le conseil de l'Association a, comme par le passé, abonné à la REVUE TRIMESTRIELLE CANADIENNE tous ses membres en règle et ceux qui ont des arrérages d'un an. 529 membres recevront la revue au cours de 1943.

Suspension des membres en arrérages de plus de trois ans: Onze diplômés de Polytechnique ont été rayés des cadres de l'Association pour cause de non-paiement de leur cotisation pendant plus de 3 années consécutives. Ces diplômés ne recevront plus les avis de convocation et les publications de l'Association.

Admission de nouveaux membres: six diplômés de Polytechnique ont été admis. Ce sont MM. Paul-Émile Piché (1914), Gilbert Manseau (1935), P.-M. Bastien (1938), Gaspard Labelle (1939), Chs-Ed. Campeau (1941) et J.-D. Noël (1941). De plus, tous les élèves finissants au nombre de 35 ont payé leur première cotisation et ont été admis dans notre Association.

Impression des règlements: le conseil a fait réimprimer les règlements de l'Association tels qu'ils ont été amendés lors des dernières élections générales. La nouvelle copie a déjà été livrée à tous les membres de l'Association.

Comité de la REVUE TRIMESTRIELLE CANADIENNE: le conseil a maintenu en fonction le comité de la R. T. C.; suivant la décision prise, ce comité s'est réuni une fois par mois. Ses membres ont contribué à l'apport de nouveaux revenus d'annonces et de nouveaux collaborateurs. La tâche la plus importante du comité est de préparer un document historique sur la revue.

Formation de la Commission du Service Civil dans la province de Québec: le conseil de l'Association, avec l'appui de la section de Québec, a préparé un mémoire sur la participation des ingénieurs dans le service civil de la Province. Il en ressort que 213 ingénieurs diplômés sont au service du gouvernement. La grande majorité d'entre eux tombent sous l'empire de la future commission. Parmi ces 213 ingénieurs, 184 sont diplômés de Polytechnique. Le mémoire a été transmis au Premier Ministre de la Province avec une résolution le priant de nommer un ingénieur parmi les membres de cette commission. Copie de la résolution a été envoyée à la Corporation des Ingénieurs professionnels de la province de Québec.

Attribution des médailles aux finissants de mai dernier: le conseil a attribué encore cette année aux finissants une médaille d'or, une médaille d'argent et deux médailles de bronze. Les noms des récipiendaires sont donnés ci-après dans la liste des nouvelles.

Banquet annuel de 1944: les préparatifs du 29^e banquet annuel sont déjà commencés. Le conseil a fait le choix du conférencier d'honneur et des démarches sont présentement faites auprès de lui. Le banquet aura lieu au Windsor où la salle est déjà réservée.

Réunion des délégués de promotion: les délégués de promotion ont tenu leur assemblée du printemps le 7 avril 1943. A cette assemblée deux nouveaux délégués ont été installés: MM. J.-E. Bonaventure (1914) et Henri Audet (1943). Nombre de questions ont été discutées et la campagne annuelle de recrutement a été lancée. Les résultats de cette campagne sont donnés plus bas sous le titre de « Comité de recrutement ».

ACTIVITÉS DES COMITÉS PERMANENTS

Conférences

Le comité a convié les membres de l'Association à six réunions depuis les débuts de l'exercice: en janvier, il y eut une soirée de films sur l'aluminium et une conférence de M. Van den Broek sur la théorie "Limit Design" utilisée en résistance des matériaux.

En mars, M. John G. Holm donna une conférence sur « L'Ingénieur et la Guerre ». En avril, M. Paul LeBel (1925), nous présenta des films sur le caoutchouc synthétique et M. Huet Massue (1913) nous donna de très intéressantes statistiques sur le chauffage domestique des habitations. En mai, le Dr P. M. Haenni, de la compagnie Aluminum Laboratories Limited, nous parla de l'« Utilisation de l'aluminium après la guerre ». Il avait été question d'organiser deux visites d'industries à la fin du printemps. Des circonstances imprévues nous ont empêchés de donner suite à ce projet.

Placement

Les nouvelles du placement ont été bonnes depuis les débuts de l'exercice; un mouvement assez important vers l'industrie a été remarqué parmi nos membres. Les élèves de Polytechnique se sont en majorité placés pour l'été. Quant aux finissants de mai dernier, tous ont trouvé de l'emploi à des conditions intéressantes; les salaires offerts ont sans aucun doute atteint un record cette année et les besoins de l'industrie pour les services de techniciens sont tels que les jeunes gens ont des chances inespérées de prendre une expérience très profitable pour l'avenir.

Recrutement

Il est intéressant de noter que depuis le 7 avril, date du lancement de la campagne de recrutement, jusqu'au 1er juillet, la somme de \$410.25 a été versée en cotisations sur un total prévu de près de \$450.00. 39 nouveaux membres ont été admis dans l'association; parmi ceux-ci, il faut compter 35 finissants. Si l'on tient compte que ces chiffres sont compilés pour le 1er juillet, il y a lieu de croire que nous obtiendrons et dépasserons même l'objectif fixé. La campagne de recrutement ne se termine qu'à l'automne et on peut compter que le nombre des membres en règle qui se chiffre à 508 sera quelque peu augmenté.

NOUVELLES

— M. Alphonse Bélanger (1910), a été élu échevin de la ville d'Outremont.

— M. Arthur Duperron (1910), gérant général adjoint de la Cie des Tramways de Montréal, a été réélu président de la "Canadian Transit Association".

— M. J.-E. Bonaventure (1914) a été nommé délégué de sa promotion par le conseil de notre association.

— M. Oscar Bessette (1916) a quitté dernièrement le département des munitions et approvisionnements pour devenir ingénieur de la cité de Drummondville.

— M. A. Latour (1918) quitte le ministère de la voirie pour devenir ingénieur de la cité à Ville LaSalle.

— M. Maurice Gérin (1920) de la compagnie Fairbanks-Morse a été nommé membre de la Corporation de l'École Polytechnique.

— M. Édouard Prévost (1921) quitte la compagnie Defence Industries pour travailler au compte du Conseil National des Recherches aux laboratoires de l'Université de Montréal.

— M. Adrien Genest (1925) quitte le ministère de la voirie pour entrer au service du département des travaux publics de la ville de Montréal.

— M. Charles Langlois (1931) quitte le ministère de la voirie pour devenir secrétaire-trésorier et ingénieur de la ville de Sillery.

— M. Roland Desjardins (1933) quitte le ministère de la voirie pour passer à l'emploi de Marine Industries Limited, à Sorel.

— M. Roland Chevette (1934) a été nommé ingénieur de division au service du drainage du ministère de l'Agriculture.

— M. Charles Marsan (1934) vient d'être promu ingénieur divisionnaire à Plessisville pour le ministère de la voirie.

— M. J.-Marcel Pinet (1934) a été nommé ingénieur de division au service du drainage du ministère de l'Agriculture.

— M. René Dupuy (1935) a quitté le "British Air Commission" pour s'enrôler dans le Corps d'Aviation Royal Canadien, dans le département du génie aéronautique.

— M. C.-R. Godin (1935) a laissé son emploi à la compagnie Canadian General Electric pour faire du professorat à Polytechnique.

— M. P.-Émile Cadrin (1936) quitte la compagnie Sorel Industries pour entrer à l'emploi de Dominion Rubber Munitions Limited, à Trois-Rivières.

— M. Jean de Sève (1937) qui était dans le C.A.R.C. est maintenant à l'emploi de la firme Aluminum Co. à Arvida.

— M. Roland-A. Lemieux (1937) quitte la ville de Sillery pour devenir gérant de la cité à Arvida.

— M. Paul-Émile Hallé (1938) quitte le ministère provincial des travaux publics pour occuper le poste d'ingénieur-gérant de la St. Lawrence Sea Products, à Tabatière, Qué.

— M. Maurice Lespérance (1938) quitte le ministère de la voirie pour entrer au service de la compagnie Dominion Rubber, au Cap-de-la-Madeleine.

— M. Henri Vinet (1938) occupe maintenant le poste d'ingénieur de la ville de Dorval.

— M. Gilbert Coupienne (1940) quitte le ministère de la voirie pour entrer au service de la Canadian Vickers Limited.

— M. Marcel Lamarche (1940) quitte la compagnie Price Bros. Limited et travaille maintenant pour la compagnie Canadian Fairbanks-Morse.

— M. Bernard Beaupré (1941) a obtenu sa Maîtrise en hygiène à l'Université de Toronto. Il est maintenant à l'emploi du ministère de la santé et du bien-être social.

— M. C.-Édouard Campeau (1941), à l'emploi de la ville de Montréal, est passé du service des travaux publics au service d'urbanisme.

— M. Ernest Dauphinais (1941) occupe maintenant le poste de surintendant de la compagnie de téléphone Saguenay-Québec, à Chicoutimi.

— M. Clément Forest (1941) laisse le service de l'aviation civile pour travailler à la Cie Beauharnois Light, Heat & Power.

— M. Bernard Denault (1942) quitte la compagnie Dominion Rubber et travaille pour l'Inspection Board of the United Kingdom and Canada.

— M. René Dansereau (1942) a gagné le prix Ernest Marceau pour son travail intitulé: Étude comparative de la construction par rivure et soudure d'un pont route en acier.

— M. Paul Laberge (1942) quitte la firme Brown Corporation pour la compagnie Donoughue Bros. Limited, à la Malbaie.

— M. Chs.-Édouard Mercier (1942) travaille maintenant pour la compagnie Marine Industries.

— M. Maurice Valiquette (1942) autrefois à l'emploi de Sorel Industries Limited travaille maintenant pour Marine Industries Limited, à Sorel.

— MM. Marcel Gaudreau et Paul-Émile Salvat (1943) ont reçu respectivement la médaille d'or et la médaille d'argent de l'Association des Diplômés de Polytechnique, et MM. Florian

Leroux et Maxime Joubert (1943) une médaille de bronze pour l'excellence de leurs travaux de fin d'études présentées devant le Conseil de Perfectionnement de Polytechnique en mai dernier.

LES NÔTRES SOUS LES DRAPEAUX

Le major Maurice Nantel (1933) du corps des ingénieurs royal canadien est de retour d'Europe. Il vient d'être licencié de l'active et versé dans la réserve. Il doit reprendre son poste à la régie des services publics.

Le major Alexandre Dugas (1933), du régiment de Maisonneuve, qui était de retour au pays, est maintenant reparti en Europe. Il est aux quartiers généraux de l'armée canadienne en Angleterre.

Le lieutenant Paul Gingras (1927) du corps des ingénieurs royal canadien en Angleterre est de retour au Canada. Il vient d'être licencié de l'armée canadienne.

Le major Réal Bélanger (1925) du régiment de Maisonneuve est de retour au Canada après un séjour de 3 ans en Angleterre.

Le major Guy Montpetit (1929) est retourné en Angleterre après un séjour aux quartiers généraux de l'armée canadienne à Ottawa.

NÉCROLOGIE

Monsieur Urgel-P. Boucher (1889), ingénieur du ministère des travaux publics, est décédé en février dernier. Il était né en 1867 et avait fait ses études à l'École Normale de Montréal avant d'entrer à Polytechnique. Il avait été président de notre Association en 1927.

Monsieur Hector Cadieux (1907) est décédé en mars dernier à l'âge de 56 ans. Il avait fait ses études au Mont-Saint-Louis et à sa sortie de Polytechnique, il avait été assistant-ingénieur de la ville de Westmount. Il fut ensuite à l'emploi de la ville de Montréal puis devint ingénieur de la ville de St-Hyacinthe. Il a plus tard abandonné l'exercice de sa profession et ouvrit une agence de nouvelles qu'il opéra jusqu'à sa mort.

FIN D'ANNÉE UNIVERSITAIRE À POLYTECHNIQUE

Le conseil de perfectionnement de Polytechnique s'est réuni le 12 mai pour examiner les thèses de fin d'études des étudiants qui ont complété leurs cours d'ingénieur cette année.

Le conseil était composé d'ingénieurs et de spécialistes de l'extérieur, aussi bien que de professeurs et d'ingénieurs de Polytechnique, réunis sous la présidence du Directeur de Polytechnique. Parmi ceux qui en faisaient partie cette année, on trouve MM. Milton L. Hersey, président de Canadian Tube & Steel Products Limited, Roméo Gauvreau, président de Sullivan Consolidated Mines Limited, J. B. White, directeur du personnel, Aluminum Co. of Canada, J.-G. Caron, membre du Bureau de Revision des Estimations de la Cité de Montréal, Joseph-Édouard Simard, vice-président de Sorel Industries Limited, Alfred-H. Paradis, président de Paradis & Sons Limited, le vice-maréchal de l'Air de Niverville, officier commandant de la division d'entraînement numéro 3 du Corps d'Aviation Royal Canadien, J. A. McCrory, vice-président et ingénieur en chef de Shawinigan Engineering Co. Limited, H.-A. Gibeau, directeur des Travaux publics de la Cité de Montréal, J.-A. Ouimet, assistant-ingénieur en chef de la Société Radio-Canada, Ernest Gohier, ingénieur en chef, ministère de la Voirie, F. J. McHugh, ingénieur de la compagnie Dominion Bridge, A.-C. Attendu, directeur des usines d'avionnerie de Canadian Car & Foundry Co. Limited, Jean Lapeyre, ingénieur de la compagnie Engineering Products of Canada, R. S. Eadie, président du chapitre de Montréal de l'Engineering Institute of Canada, Donald J. Munro, président, LaSalle Coke Co., J.-A. Laprés, gérant des ventes, Canada Cement Co., Louis Trudel, secrétaire général adjoint de l'Engineering Institute of Canada, et plusieurs autres parmi les ingénieurs diplômés de Polytechnique.

Les travaux présentés cette année étaient très variés et relevaient de plusieurs spécialités de l'art de l'ingénieur. C'est ainsi qu'il était question de mécanique, de moteurs et de machines thermiques, d'électricité et de communications, de métallurgie, de chimie industrielle, de résistance des matériaux, de travaux publics, de génie sanitaire, etc., ainsi qu'on peut s'en rendre compte par la liste suivante:

TRAVAUX DE FIN D'ÉTUDES DES ÉLÈVES DE LA 67^e PROMOTION
(1943)*Chimie industrielle*

M. Benoit Baribeau — « Traitement de la gazoline de "cracking" par le procédé Gray. »

M. C.-Édouard BRUNETTE — « Usine pour la fabrication de l'aniline en partant du gaz de houille ». »

M. François CHADILLON — « Production de la cyanamide dans la région de Montréal ». »

M. P.-Émile DOUVILLE — « Usine de fabrication du kaolin à Gracefield, Qué. »

M. Aurèle St-Laurent — « Aménagement d'un atelier de nitruration ». »

Électricité et Communications

M. Henri Audet — « Projet de locomotive à moteur Diesel (appareillage électrique) ». »

M. Jean Cadieux — « Projet et réalisation d'un tableau de contrôle pour convertisseur synchrone ». »

M. J.-Léon Grondines — « Calcul d'un transformateur à haute tension ». »

M. Jean-Luc Laroche — « Installation du système électrique à bord des navires ». »

M. J.-Charles Lavallée — « Projet de filtre passe-bande ». »

M. Hubert Lebrun — « Sous-station électrique pour le district de St-Hyacinthe ». »

M. Jean Ménard — « Étude d'un four à induction et du circuit d'alimentation ». »

M. Marcel Pageau — « Calcul et essais de câbles téléphoniques ». »

M. Bernard Séguin — « Contrôle automatique d'un ascenseur électrique ». »

M. Bernard Thibault — « Étude comparative du coût de l'électricité pour une ferme par moteur à gazoline, moteur à vent et par ligne de transmission ». »

Mécanique

M. Robert Boyd — « Projet de locomotive à moteur Diesel (appareillage mécanique) ». »

M. Marcel Gaudreau — « Installation pour la préparation de l'air liquide pour une production de 350 mètres cubes à l'heure (à Sorel) ».

M. Maxime Joubert — « Étude et construction d'un dispositif d'enregistrement des courbes charges-déformations ».

M. Conrad Laverdure — « Amélioration de la tuyauterie conductrice de vapeur ainsi que de la chaufferie à Toilette Moderne.

Thermodynamique

M. Florian Leroux — « Les performances du moteur d'avion suralimenté en altitude standard ».

M. Paul-René MADORE — « Projet de locomotive à moteur Diesel (étude du moteur) ».

M. P.-Émile Salvas — « Calcul d'une centrale de chauffage sur un bateau ».

M. Maurice Turgeon — « La vapeur comme source d'énergie aux usines de Associated Textiles of Canada Limited ».

Résistance des matériaux

M. Roland Auger — Étude de l'écoulement dans les aciers doux en fonction des mises en charge et de la vitesse ».

M. Maurice Magnan — « Étude de la distribution des contraintes au moyen des pellicules minces ».

M. Jean Trudeau — « La ductilité des métaux et alliages et l'effet d'entailles sous des charges statiques, axiales et excentriques ».

Génie sanitaire

M. Marcel Lebel — « Établissement d'un aqueduc à St-Charles-de-Bellechasse ».

M. Maurice Pépin — « Système d'égouts à Laval-sur-le-Lac avec traitement des eaux usées ».

M. Rosaire Vaillancourt — « Agrandissement de l'usine de filtration de la ville de Ste-Rose ».

Travaux publics et bâtiments

M. François Mousseau — « Passage inférieur à Dorval pour la nouvelle route Montréal-Ste-Anne ».

M. Robert Quintal — « Gymnase universitaire à voûte parabolique ».

Industries diverses

M. Fernand Labrosse — « Établissement d'un atelier pour les réparations électriques ».

M. Jacques Sansfaçon — « Augmentation de la production à la carrière de Shawinigan Chemicals Limited, à Bedford, de 600 à 1,200 tonnes par jour ».

M. Jacques Shooner — « Construction d'une usine pour la fabrication des produits d'alimentation animale ».

M. Laurent Thauvette — « Établissement d'une scierie sur la rivière Bourlamaque ».

DIPLOMES DÉCERNÉS AUX ÉLÈVES DE LA 67^e
PROMOTION (1943)

INGÉNIEURS (SECTION « MÉCANIQUE-ÉLECTRICITÉ »)

Ingénieur avec grande distinction

GAUDREAU, Marcel

Monsieur Gaudreau a aussi obtenu la médaille de S. E. le Lieutenant-Gouverneur de la Province, accordée à l'élève finissant premier de sa promotion pour toute la durée des études et dont la moyenne générale des points est d'au moins 70%. Monsieur Gaudreau reçoit aussi la médaille d'or de l'Association des Diplômés de Polytechnique, offerte à l'étudiant ayant présenté la meilleure thèse.

Ingénieurs avec distinction

LABROSSE, Fernand

AUGER, Roland

SALVAS, Paul-Émile

LEROUX, Florian

AUDET, Henri

Monsieur Salvas a aussi obtenu la médaille d'argent de l'Association des Diplômés de Polytechnique, offerte à l'étudiant qui s'est classé deuxième dans ses travaux d'application.

Monsieur Leroux a aussi obtenu la médaille de bronze de l'Association des diplômés de Polytechnique.

Ingénieurs avec succès

BOYD, Robert	MADORE, Paul-René
GRONDINES, J.-Léon	CADIEUX, Jean
TRUDEAU, Jean	JOUBERT, Maxime
LE BRUN, Hubert	LAVALLEE, Jean-Charles
MAGNAN, Maurice	THIBAUT, Bernard
PAGEAU, Marcel	TURGEON, Maurice
LAROCHE, Jean-Luc	LAVERDURE, Conrad
MÉNARD, Jean	

Monsieur Joubert a aussi obtenu la médaille de bronze de l'Association des Diplômés de Polytechnique.

INGÉNIEURS (SECTION « TRAVAUX PUBLICS — BÂTIMENTS »)

Ingénieurs avec succès

QUINTAL, Robert	SANSFAÇON, Jacques
LEBEL, Marcel	SHOONER, Jacques
MOUSSEAU, François	VAILLANCOURT, Rosaire
THAUVETTE, Laurent	PÉPIN, Maurice

Monsieur Quintal a aussi obtenu le prix Ernest Cormier (\$25) pour succès au cours d'Architecture.

INGÉNIEURS (SECTION « CHIMIE INDUSTRIELLE »)

Ingénieurs avec distinction

BARIBEAU, Benoît	BRUNETTE, Charles-Édouard
------------------	---------------------------

Ingénieurs avec succès

CHADILLON, François	DOUVILLE, Paul-Émile
---------------------	----------------------

Monsieur Douville a aussi obtenu le prix de la Cinquantième Promotion de l'École Polytechnique (\$50), offert à l'élève finissant qui a présenté la meilleure thèse industrielle.

BACHELIERS ÈS SCIENCES APPLIQUÉES

Bachelier avec grande distinction

GAUDREAU, Marcel

Bacheliers avec distinction

BARIBEAU, Benoît	SALVAS, Paul-Émile
LABROSSE, Fernand	LEROUX, Florian
AUGER, Roland	AUDET, Henri
BRUNETTE, Chs-Édouard	

Bacheliers avec succès

BOYD, Robert	THAUVETTE, Laurent
GRONDINES, J.-Léon	MADORE, Paul-René
CHADILLON, François	CADIEUX, Jean
DOUVILLE, Paul-Émile	JOUBERT, Maxime
QUINTAL, Robert	SANSFACON, Jacques
LEBEL, Marcel	SHOONER, Jacques
LE BRUN, Hubert	LAVALLEE, Jean-Charles
MAGNAN, Maurice	THIBAUT, Bernard
PAGEAU, Marcel	TURGEON, Maurice
MOUSSEAU, François	VAILLANCOURT, Rosaire
LAROCHE, Jean-Luc	PÉPIN, Maurice
MÉNARD, Jean	LAVERDURE, Conrad
TRUDEAU, Jean	

PRIX DÉCERNÉS À DES ÉLÈVES NON FINISSANTS

Prix de l'Engineering Institute of Canada (\$25)

MIRON, Jacques

Prix de la Banque d'Épargne (Ordre)

LALANDE, Jacques-Bernard	LEMIEUX, Jacques-Raymond
--------------------------	--------------------------

Prix de l'Association canadienne-française pour l'Avancement des Sciences (\$10)

Attribué à l'élève de troisième année ayant le mieux réussi en mathématiques, physique et chimie:

BOUTHILLIER, Jean

La recherche du téléphone aide le perfectionnement du Radar



Tout le monde parle du Radar, « la plus puissante arme secrète de la guerre ». De très courtes ondes radiophoniques, insensibles à l'obscurité et au brouillard, rebondissent en heurtant des objets solides, même aussi petits qu'un avion. Comme elles sont projetées et réfléchies à la vitesse de la lumière, elles peuvent révéler l'approche d'avions ennemis à 180 milles de distance. Par ce moyen on peut pointer avec une précision étonnante des batteries de tir contre avion et guider infailliblement des avions de chasse vers leur proie.

D'abord imaginé en Grande-Bretagne et aux États-Unis, le Radar compte à son actif une part éclatante de la victoire remportée dans la bataille d'Angleterre, la défaite écrasante de la marine italienne par les Anglais au large du cap Matapan et la destruction d'avions et de navires japonais, évalués à des millions de dollars, par les Américains. Malheureusement l'Allemagne et le Japon disposent maintenant de moyens semblables, quoiqu'inférieurs, de détection radiophonique et de radiogoniométrie.

Dans la course au perfectionnement des modes actuels de détection et la production massive de l'équipement Radar, les laboratoires montés par l'industrie des communications jouent un rôle de premier plan. Trois ans avant Pearl Harbour, les laboratoires du téléphone Bell travaillaient déjà à la mise au point d'appareils de détection radiophonique.

Les laboratoires de téléphone possédaient des données importantes comme point de départ. Durant la dernière guerre les ingénieurs du téléphone s'étaient occupés de perfectionner des détecteurs de sons qui étaient alors les seuls types connus.

Pour mettre en service la téléphonie transocéanique ils s'étaient intéressés à l'étude des ondes courtes et de leur rebondissement de la terre à l'ionosphère durant la transmission outre-mer.

En 1938, Lloyd Espenschied et R. C. Newhouse, des laboratoires du téléphone Bell, éprouvèrent un nouveau modèle d'altimètre, ou indicateur de dénivèlement du terrain, qui mesure l'altitude d'un avion en faisant rebondir une onde radiophonique très courte de l'avion au sol et retour.

Vers la même époque des savants mirent au point un indicateur à rayons cathodiques par lequel les officiers d'un aéroport peuvent surveiller la marche d'un avion qui s'approche et guider le pilote par radiotéléphonie pour lui permettre d'atterrir sans accident au milieu de la pluie et du brouillard.

Finalement, les ingénieurs du téléphone entreprirent une étude spéciale des ondes ultra-courtes nécessaires au fonctionnement du Radar.

Outre la fabrication de divers modèles d'équipement Radar, les industries manufacturières du téléphone prêtent aussi leur concours pour l'entraînement de milliers de techniciens nécessaires à l'exploitation de ce mode de signalisation, et fournissent des ingénieurs pour initier les troupes armées à l'usage de cet équipement sur plusieurs fronts de combat.



UNE nouvelle science, la science électronique, est en train de bouleverser le monde. Les électrons, ces petites particules d'électricité pure ont un rôle important à jouer dans les destinées du monde. Au moyen d'un tube à vide, semblable à la lampe de radio, on peut maintenant orienter le cours de puissants navires de guerre, transporter à travers l'espace la voix de ceux qui combattent, diriger le tir de canons vers des cibles rendues invisibles par l'obscurité, le brouillard ou la distance. Après la victoire, l'œuvre de l'électronique en temps de paix commencera. Vous aurez un poste de radio d'où tout brouillage aura disparu, vous aurez un nouveau moyen de protection contre l'incendie et autres dangers, votre médecin apprendra de nouveaux faits concernant le corps humain qui lui permettront de vous sauver la vie.

Pour vous renseigner quant à la nature et à l'étendue de cette nouvelle science, la Canadian General Electric vous offre un magnifique bulletin illustré en couleurs, intitulé "Electronics—a New Science for a New World", donnant des précisions absolument sûres à ce sujet. Adressez-nous le coupon ci-contre immédiatement.



TOUT RADIO GENERAL ELECTRIC
EST UN INSTRUMENT

électronique



Canadian General Electric
Company Limited,
212-ouest, rue King,
Toronto, Ont.

Il m'intéresserait de recevoir un exemplaire de votre nouveau bulletin "Electronics—a New Science for a New World".

Nom

Adresse

Ville

6.143

CANADIAN GENERAL ELECTRIC CO.
LIMITED

Hommages à l'Association des Diplômés de Polytechnique

•

PRICE BROTHERS & COMPANY, LIMITED QUÉBEC

Fondée en 1817

Usines à pulpe et papier-journal :

KENOGAMI - JONQUIERE - RIVERBEND

Scieries :

RIMOUSKI - PRICE - MATANE

CHIMIE • PHYSIQUE • BACTÉRIOLOGIE

Verrerie *Pyrex*.

Outillage *Précision*.

Étuves *Freas* et *Thelco*.

Balances de précision

Creusets et coupelles *Battersea* et *D. F. C.*

Concasseurs, pulvérisateurs, fours *Braun*
pour Laboratoires de Mines.

Canadian Laboratory Supplies Ltd.

296, RUE SAINT-PAUL OUEST, MONTRÉAL

Un journal honnête

et bien fait...

LE DEVOIR

est un quotidien rédigé avec
soin et honnêteté pour un
public intelligent, respec-
table et instruit.

Achetez et lisez

LE DEVOIR

tous les jours

Il est intéressant, bien informé, impartial, propre.

ADMINISTRATION ET RÉDACTION:

430, rue NOTRE-DAME EST :-: MONTRÉAL

20

LA GUERRE NOUS ENSEIGNE DES LEÇONS

La guerre fait mieux apprécier certaines choses qu'il faut faire durer plus longtemps; ainsi en est-il de l'argent que vous gagnez. Demandez notre brochure gratuite: "Savoir mieux dépenser pour mieux vivre", vous la lirez avec profit.



Dominion Life
THE ASSURANCE COMPANY

Fondée en 1889

1405, rue Peel, MONTRÉAL

PAUL BABY
Gérant provincial

ÉMILE DAoust

A. J. PINARD

Gérants adjoints

ON TROUVE TOUJOURS

A LA

LIBRAIRIE DEOM

UN choix important de beaux livres anciens et modernes, des éditions originales, rares ou curieuses des meilleurs écrivains des XIXe et XXe siècles et les ouvrages nouveaux, en exemplaires ordinaires ou sur grand papier, d'une sélection d'auteurs contemporains.

1247 RUE ST-DENIS

TÉLÉPHONE: HA. 2320

MONTRÉAL



L'Alimentation des Combattants

On utilise aujourd'hui des dispositifs électroniques, perfectionnés par les ingénieurs de la Compagnie Westinghouse, pour économiser notre réserve d'étain.

Une nouvelle méthode, suivie dans les usines de laminage, permet de faire le placage des tôles d'acier avec une mince pellicule d'étain . . . et pour rendre cette pellicule parfaitement lisse, uniforme et à l'épreuve de la corrosion, le feuillard d'acier doit être chauffé uniformément afin que l'étain se répande sur toute sa surface.

On a résolu ce problème en ayant recours à l'électronique. L'appareillage Westinghouse pour le chauffage par induction aide les usines de zingage à fournir le matériel des contenants utilisés pour la mise en conserve des aliments destinés aux hommes et aux femmes enrôlés dans les forces combattantes.

Westinghouse

Le nom qui signifie: Tout en Electricité

CANADIAN WESTINGHOUSE COMPANY LIMITED
HAMILTON ET MONTRÉAL

La

BANQUE CANADIENNE NATIONALE

est à vos ordres

pour toutes vos opérations

de banque et de placement

Actif, environ \$180,000,000

**LES PUBLICATIONS DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE****Métaux**, par Louis Bourgoïn.

Volume in 8° de 660 pages avec 145 figures. Prix broché, \$3.75

Métallurgie — Vol I — **Métallurgie physique**, par Louis Bourgoïn.

Volume in 8° de 708 pages avec 196 figures. Prix broché, \$4.00

LA TRADITION "K & E"

La familière marque de fabrique "K & E" est de vieille tradition parmi les ingénieurs de l'École Polytechnique. Elle est synonyme de précision et de bonne fabrication, de qualité sans compromis.

Cherchez toujours la marque "K & E" sur les règles à calcul, instruments de dessin, fournitures de bureaux de dessinateurs, matériel d'arpentage. Vous constaterez que c'est invariablement la meilleure.

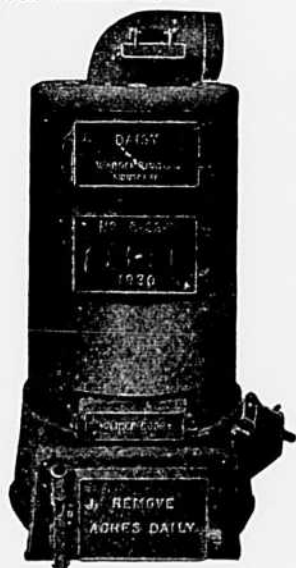
KEUFFEL & ESSER CO.

NEW YORK

CHICAGO, SAN-FRANCISCO, LOS ANGELES, SAINT-LOUIS, DÉTROIT, MONTRÉAL

Tél. FAIkirk 2848

Fondée en 1912



Wilfrid Pageau

PLOMBIER-COUVREUR

—
Poseur d'appareils à gaz et à
eau chaude

—
SPECIALITE: REPARATIONS

—
Travail fait soigneusement
et à prix modéré.

Bureau et Atelier: 984 Rachel Est



Les lampes Sorex — de fabrication canadienne et de qualité éprouvée — sont traditionnellement sûres et de fonctionnement nettement économique. Elles sont faites essentiellement pour donner un bon service et plus d'heures de lumière par dollar.

THE SOLEX COMPANY, LIMITED

Montréal - Toronto - Winnipeg - Vancouver



Epargnez pour vous-mêmes et pour aider votre pays

Les exigences actuelles sont plus grandes que celles d'autrefois et chacun doit faire sa part même au prix de quelques sacrifices.

LA BANQUE PROVINCIALE DU CANADA

Siège Social :

221 ouest, rue Saint-Jacques — Montréal

320 succursales et bureaux

"Où l'épargnant dépose ses économies..."

Une réponse immédiate sera donnée

à toutes les demandes concernant

LA PRODUCTION OU L'ENTRETIEN DU MATÉRIEL

Moteurs Diesel F-M	Balances Fairbanks
Alimentateurs de charbon	Matériel de Transmission
Machines-outils	Chariots d'usine
Pompes et Moteurs	Matériaux réfractaires
Accessoires d'automobile	Matériel d'atelier
Equipement pour les entrepreneurs	
Soupapes et accessoires pour systèmes de chauffage	
Appareils pour la manutention des matériaux	
Equipement de soudure et électrodes	

Vous pouvez toujours recourir au service Fairbanks-Morse, car il fonctionne dans tout le Canada. Quinze succursales situées aux points stratégiques entre Halifax et Victoria ainsi que des entrepôts établis aux endroits les plus commodes garantissant l'efficacité de notre service.



The **CANADIAN Fairbanks-Morse** COMPANY
Limited

297, Boulevard Charest
Québec, Qué.

980, rue Saint-Antoine
Montréal, Qué.

266, rue Spadina
Ottawa, Ont.

Ministère du secrétariat de la Province

● Les fonctions du Secrétariat de la Province de Québec sont tout à fait d'ordre social. L'oeuvre qu'il accomplit est d'une importance capitale pour le développement de la Province.

● Les compagnies de la Province, qui désirent bénéficier de la Loi des compagnies de Québec, doivent s'adresser au Secrétariat de la Province, afin d'obtenir leur charte d'incorporation; c'est ce ministère, également, qui émet les licences et permis autorisant les compagnies étrangères à exploiter quelque commerce ou industrie et à vendre ou autrement aliéner leur capital et leurs actions en cette Province. Les unes et les autres sont tenues de fournir au Secrétariat un rapport annuel de leur activité.

● Depuis quelques années, la population tout entière a compris l'importance de l'Instruction publique. Le Secrétariat de la Province n'a rien négligé pour répandre l'enseignement primaire et supérieur, afin d'outiller notre jeunesse, dans la préparation de son avenir. Outre les allocations octroyées aux universités et aux collèges classiques, il assure, avec le Département de l'Instruction publique, le maintien de l'enseignement primaire, dans les villes, et surtout dans nos campagnes.

● Il a la haute direction des principales écoles d'enseignement supérieur: l'Ecole Polytechnique, l'Ecole des Hautes Etudes Commerciales, les Ecoles des Beaux-Arts, les Ecoles Techniques, les Ecoles d'Arts et Métiers, directement subventionnées par lui, et qui visent à la formation d'une élite dans le monde de la finance, du commerce et de l'industrie.

● Chaque année, des cours du soir sont donnés, qui permettent aux jeunes travailleurs sérieux de continuer leurs études et d'acquérir des connaissances nouvelles, souvent indispensables dans l'exercice de leurs devoirs journaliers.

● Le Secrétariat de la Province s'intéresse aussi au progrès des sciences, des lettres et des arts. Chaque année, des bourses d'études sont accordées à nombre de nos jeunes gens, pour permettre à ceux-ci de compléter leur formation à l'étranger. Déjà, plusieurs des nôtres ont fait honneur à la Province, dans les domaines scientifique, artistique ou littéraire.

● Ce ministère a attaché une importance toute spéciale, cette année, au développement de l'art musical, dans cette province. Une enquête préliminaire a été conduite, sous son autorité, en vue de rendre possible la réorganisation de cet enseignement chez nous. De plus, une vive impulsion a été donnée récemment à l'enseignement du solfège, dans les écoles.

● La vie d'un peuple dépend de son éducation nationale, et le Secrétariat de la Province de Québec ne veut rien épargner pour préparer la jeunesse au rôle prépondérant qu'elle devra jouer dans l'avenir.

● Et voilà le résumé succinct des principales activités du Secrétariat, qui occupe sa place bien à lui dans le Gouvernement, et dont l'importance primordiale ne peut être mise en doute.

L'HONORABLE HECTOR PERRIER,

Ministre.

JEAN BRUCHESI,
Sous-Ministre.

DUPUIS



“NASSAU” FEUTRE DUVET

Chapeaux d'automne en véritable feutre DUVET et de la fameuse marque NASSAU... Hommes, jeunes gens, étudiants venez choisir le vôtre dans ces formes nouvelles à bord baissé bordé ou tout uni. Teintes automnales de bleu aviation, gris acier clair, gris perle, héron, pierre brune, brun dunbar. Entrées de têtes 65/8 à 7 1/2. CHACUN

6.50

DUPUIS — rez-de-chaussée (Ste-Catherine)

Dupuis Frères

LIMITÉE

ALBERT DUPUIS, président

A.-J. DUGAL, v.-p. et dir.-gér. ARMAND DUPUIS, sec.-trés.