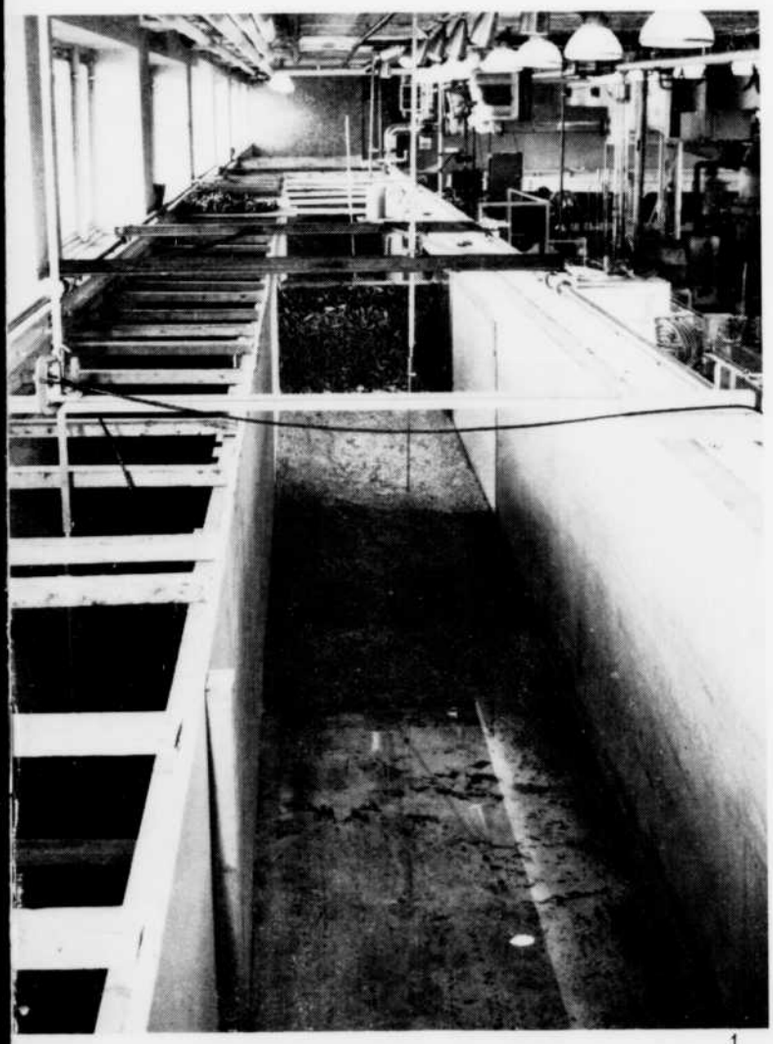
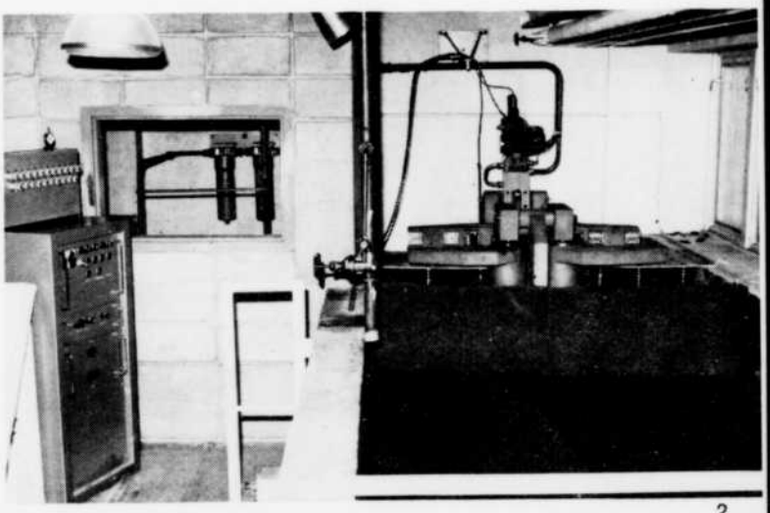
OCTOBRE 1974
No 303
60e année

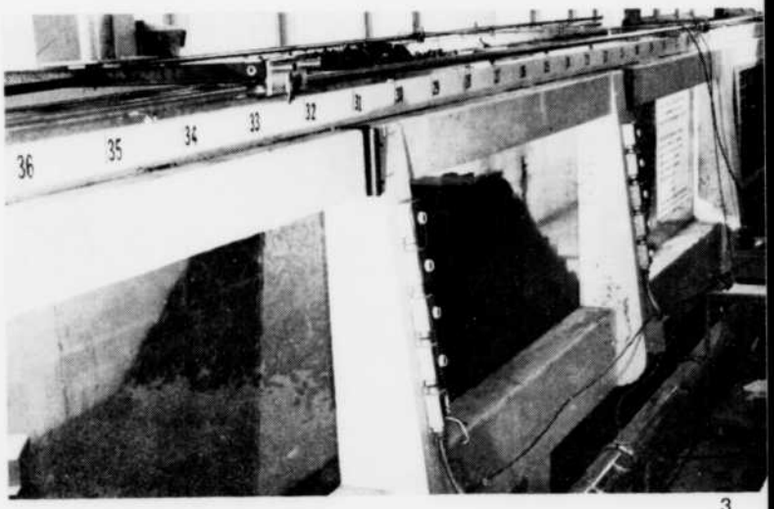
L'INGÉNIEUR



1



2



3

Affranchissement en numéraire au tarif de la troisième classe Permis No H - 23
Port de retour garanti : C.P. 6079, Succ. A, Montréal, Québec, H3C 3A7

M. Clément Crépin, Ing. P.,
27 ave des Rapides,
Québec 5, Qué.

Entre ciel et terre... à cause d'une panne de courant.

Il est loin d'être rassurant d'être pris, même pour une petite demi-heure, dans un ascenseur bondé et mal ventilé.

Ces situations n'ont pas lieu d'exister, même si les pannes de courant sont de plus en plus fréquentes. Grâce à la fiabilité des turbo-génératrices à gaz, les ascenseurs et autres matériels indispensables aux édifices peuvent continuer à fonctionner.

Les groupes électrogènes Solar donnent aux ingénieurs-conseils toute la latitude voulue pour satisfaire à la demande d'énergie des gratte-ciel.

Petites et légères, les turbines à gaz prennent moins d'espace utile que les moteurs à pistons. Elles ne requièrent pas d'assises spéciales ni d'eau de refroidissement ; on peut donc les installer n'importe où, à partir du toit jusqu'au sous-sol, même à proximité de gens qui ne doivent pas être dérangés, car elles ne font presque pas de bruit ni de vibration.

Leur échappement pollue moins l'atmosphère, selon les responsables de l'environnement. De plus, elles fonctionnent en douceur à l'aide d'une grande variété de gaz et de carburants liquides, ce qui vous assure d'une source fiable d'approvisionnement.

Ces turbines, d'une capacité de 200 à 2800 kw, ne requièrent qu'un entretien minime et quelques démarrages périodiques.

Voilà pourquoi les principaux ingénieurs-conseils recommandent de plus en plus les turbo-génératrices de secours. Ils savent bien que des entreprises telles que les compagnies Bell et Toronto Transit comptent sur les turbo-génératrices de Solar. N'importe où au pays, un représentant technique pourra vous en faire la démonstration. Il suffit d'écrire à : Solar, International Harvester Canada, Dept. W-379, 1, Place du Commerce, Montréal, Québec, H3E 1A2.

Dès que vous aurez appuyé sur le bouton, vous verrez vraiment que tout tourne rond.

Les turbines à gaz Solar

sont de vraies « dépanneuses » d'urgence

ADMINISTRATION ET RÉDACTION

a/s École Polytechnique
Case postale 6079 — Succursale « A »
Montréal, Québec, H3C 3A7
Tél. : (514) 344-4764

ÉDITEURS :

L'Association des Diplômés de Polytechnique, en collaboration avec l'Ecole Polytechnique de Montréal, la Faculté des Sciences de l'Université Laval et la Faculté des Sciences appliquées de l'Université de Sherbrooke. Publication mensuelle. — Imprimeur : Les Presses Elite.

ABONNEMENTS :

Canada	$10 / par année
Pays étrangers	$12 / par année
Vente à l'unité	$2

OCTOBRE 1974
No 303
60e année

L'INGÉNIEUR

ARTICLES

3 L'ÉVOLUTION DU MÉCANISME DE FORMATION DES PRIX DU PÉTROLE BRUT DANS LE MONDE
par Philippe Hervieu et Jean-Pierre Pellegrin

Depuis la récente crise de l'énergie, les sociétés industrielles savent qu'elles doivent compter avec la limitation des ressources que peut leur fournir notre planète. Il n'est pas étonnant que ce phénomène se soit d'abord manifesté au niveau du pétrole : le pétrole est en effet une matière première originale. Son caractère stratégique et politique, la structure spécifique de ses coûts et des agents économiques qui l'exploitent ont entraîné la création d'un mécanisme de prix dont cet article a pour but de préciser la formation historique et le fonctionnement.

23 LA GÉNÉRATION ET L'ANALYSE DE LA HOULE IRRÉGULIÈRE EN LABORATOIRE
par Yvon Ouellet, ing., D.Sc.

Les effets de la houle sur les structures maritimes sont mieux analysés à l'aide d'une simulation des phénomènes correspondants en laboratoire. Pour y arriver, cela nécessite un équipement relativement important. Cet article présente l'appareillage dont dispose le département de Génie civil de l'Université Laval pour générer et analyser la houle en laboratoire. Afin de mieux faire voir l'utilisation d'un tel système, on a décrit sommairement une application à la détermination de fonctions de transfert de deux types de structures.

RUBRIQUES

14 LE MOIS : Chroniques mensuelles
34 RÉPERTOIRE DES ANNONCEURS

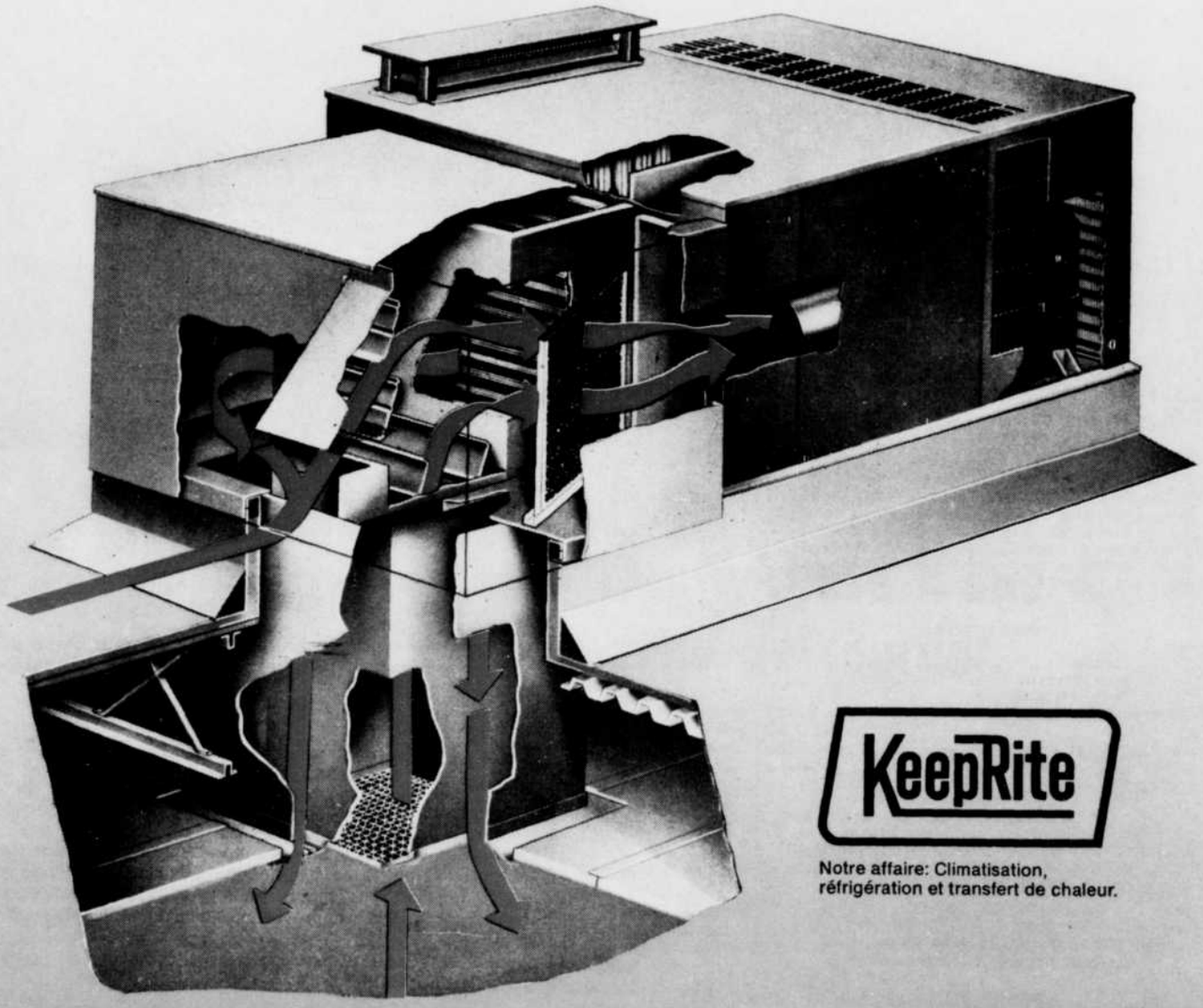
NDLR

Nous prions tous ceux qui désirent collaborer à la revue de s'adresser à la rédaction pour connaître les normes de publication.

PHOTOS COUVERTURE *(en rapport avec l'article présenté à la page 23)*

1) Vue d'ensemble du canal à houle du laboratoire d'hydraulique de l'Université Laval.
2) Générateur de houle comprenant le batteur proprement dit actionné par un piston hydraulique à l'aide d'un compresseur (n'apparaît pas sur la photo) sous le contrôle des signaux électriques, en provenance d'un appareil programmable.
3) Section des essais à parois vitrées située dans la partie centrale du canal.

Voici une installation complète de climatisation à l'oeuvre. Discrètement, à l'écart, sur un toit. C'est un système autonome comprenant chauffage au gaz et refroidissement à l'électricité. Ce n'est là qu'un des nombreux systèmes modulaires intégrés KeepRite pour toitures. Tous sont également des installations complètes de climatisation, soigneusement inspectées à l'usine, complètement chargées et prêtes à mettre en place, quelle que soit la combinaison d'éléments au gaz et à l'électricité qu'elles comportent. Avec refroidissement de 2 à 30 tonnes. Et chauffage, de 80 MBH à 400 MBH. KeepRite Products Limited, Brantford, Canada. Bureaux de vente à Montréal, Halifax, Ottawa, Toronto, Hamilton, Winnipeg, Calgary, Vancouver. Division Unifin, London, Canada.



KeepRite

Notre affaire: Climatisation, réfrigération et transfert de chaleur.

L'ÉVOLUTION DU MÉCANISME DE FORMATION DES PRIX DU PÉTROLE BRUT DANS LE MONDE

par Philippe Hervieu et Jean-Pierre Pellegrin

Notices biographiques :

M. Philippe Hervieu, *né à Valenciennes, est ingénieur de l'École Nationale Supérieure des Industries Chimiques de Nancy et diplômé du Centre d'Études Supérieures d'Économie Pétrolière. Après avoir obtenu un doctorat de 3e cycle de l'Université de Paris pour une thèse sur « Le Gaz naturel en Europe occidentale et les problèmes de sécurité des approvisionnements », M. Hervieu a été nommé, en 1969, responsable de la section Économie de l'énergie à la Direction de la Planification du Ministère des Richesses Naturelles du Québec. De 1970 à mars 1974, il dirigeait le service des études économiques et des projets spéciaux à la Direction Générale de l'Énergie de ce même ministère. Depuis mars 1974, M. Hervieu est analyste financier dans le secteur de l'énergie chez Brault, Guy et Chaput, à Montréal.*

M. Jean-Pierre Pellegrin, *né à Alger, est diplômé de l'Institut d'Études politiques de Paris, et docteur ès Sciences Économiques de l'Université de Paris I Panthéon-Sorbonne. M. Pellegrin a soutenu en juin 1972 une thèse de doctorat d'État sur « La fiscalité bancaire dans la Communauté Économique Européenne » ; depuis septembre 1972, il s'occupe, en tant qu'économiste, des problèmes d'approvisionnement en hydrocarbures à la Direction Générale de l'Énergie du Ministère des Richesses Naturelles du Québec.*

« Nous autres, civilisations, savons que nous sommes mortelles »
(Paul Valery)

Depuis déjà quelques années, notamment par la publication récente des travaux du Club de Rome, le monde a commencé à prendre conscience des distorsions provoquées par la croissance rapide des économies des divers pays industrialisés ; ces distorsions découlent de l'interrelation de trois phénomènes : épuisement des matières premières, accroissement démographique et dégradation de l'environnement. La crise de l'énergie que connaît actuellement le monde développé n'est peut-être que la première manifestation — prématurée — de cette évolution.

Bien que l'accroissement démographique et les problèmes de pollution et d'environnement aient joué un rôle dans la crise actuelle, c'est dans le fait que le pétrole est une matière première non renouvelable et limitée que l'on peut trouver la cause essentielle de la crise de l'énergie. Le phénomène a été amplifié par le fait que le pétrole n'est pas une matière première comme les autres.

Le pétrole : une matière première pas comme les autres

Le pétrole est une matière première organique, et comme presque toutes les matières premières, non renouvelable. Sa localisation dépend du simple hasard géologique : cela explique que, le plus souvent, les pays producteurs ne soient pas en même temps les pays consommateurs. Cela explique également le caractère aléatoire de la recherche pétrolière, et les coûts élevés de l'exploration.

Mais le pétrole n'est pas une matière première comme les autres : c'est d'abord un liquide, ce qui va rendre particulièrement aisés son extraction et son transport. Ce liquide est avant tout une source d'énergie, à la base de tout travail mécanique ; ses caractéristiques pratiques d'utilisation ont entraîné l'effacement pro-

gressif des sources d'énergie solides — essentiellement le charbon. Il possède un caractère stratégique et politique qui va expliquer en grande partie son économie.

Les coûts liés au pétrole ont une structure originale. La recherche et l'exploration prennent une importance particulière, les gisements pétroliers se trouvant à des profondeurs élevées : les investissements requis sont considérables ; une fois le gisement découvert, sa mise en exploitation entraîne des dépenses très réduites — sauf dans certains cas en mer particulièrement difficiles — mais il est nécessaire d'assurer la commercialisation des quantités produites.

Afin de minimiser les risques, les agents producteurs doivent intervenir aux niveaux de la transformation et de la mise en marché du produit qu'ils ont extrait. Cela explique que les compagnies pétrolières soient le plus souvent intégrées, qu'elles tentent de disposer d'une base financière solide leur permettant d'affronter par elles-mêmes les aléas de la recherche, et que la dispersion des zones productrices et consommatrices à travers le monde les aient amenées à acquérir une dimension multinationale.

Comme pour toute matière première vendue sur un marché libre, la formation des prix du pétrole dépend de la rencontre de l'offre et de la demande ; mais les caractéristiques originales de la matière première et des agents-économiques qui l'exploitent vont créer un mécanisme de prix spécifique qu'il s'agit de préciser.

La place prépondérante des États-Unis

Un trait fondamental de l'économie pétrolière doit être immédiatement souligné, car il semble déterminant pour expliquer le mécanisme de formation des prix d'un point de vue historique : il s'agit de la place prépondérante que les États-Unis n'ont cessé d'occuper dans l'industrie pétrolière depuis ses débuts. Les États-Unis ont été le premier pays à produire, à exporter et à consommer des quantités massives de pétrole brut. Ce premier phénomène a façonné, de manière déterminante, les mécanismes de formation des prix jusque dans l'immédiat après guerre. Par la suite, la nécessité de protéger le marché intérieur de production a amené les États-Unis à s'isoler en partie du marché mondial, entraînant ainsi une baisse des prix.

À la fin des années soixante, le ralentissement de l'offre et l'accroissement de la demande intérieure ont contraint les États-Unis à réviser leur politique en s'ouvrant à l'importation. Cette ponction rapidement croissante sur le marché mondial a déséquilibré les mécanismes de formation des prix, entraînant de fortes tensions à la hausse. On peut penser que, dans l'avenir, le niveau des prix mondiaux du pétrole brut sera directement relié à la politique énergétique américaine et à l'évaluation de ses chances de réalisation.

De 1859 à la fin des années quarante, le marché mondial est un marché américain

En 1939, les États-Unis produisent 63% de tout le pétrole brut extrait dans le monde : ils en consomment

ÉVOLUTION DU PRIX MOYEN ANNUEL DU PÉTROLE BRUT DE PENNSYLVANIE (en dollars par baril) 1860-1905

SOURCE: Maclean et Haigh, « The Growth of Integrated Oil Companies », pp. 50 et 59, repris dans « Évolution de la structure mondiale de l'industrie pétrolière », B. Cloutier et V. David, p. 31.

Figure 1

60% et en raffinent 71%. À la fin du XIXe siècle et au début du XXe siècle, les États-Unis constituent le seul véritable marché pétrolier dans le monde. Sur ce marché libre, les prix varient d'abord considérablement en fonction de l'offre et de la demande. Le prix du baril de pétrole brut de Pennsylvanie passe ainsi de $9.59 en 1860 à $0.49 en 1861, pour remonter à $8.06 en 1864 [1] (figure 1). Ce marché assez anarchique commence à s'organiser avec la constitution des grandes sociétés pétrolières. En effet, le secteur pétrolier, caractérisé par une forte intensité capitalistique et des risques élevés, a besoin, pour assurer un développement équilibré, d'une certaine stabilité des prix. Rockefeller, par l'intermédiaire de la Standard Oil, met en place les mécanismes de formation des prix qui régissent encore à l'heure actuelle le marché américain : ces prix sont déterminés non par les vendeurs mais par les acheteurs, ces derniers contrôlant l'acheminement du pétrole brut sur les marchés de consommation. Comme dans une économie de marché classique, le prix est bien le résultat de la confrontation de l'offre et de la demande : les vendeurs ont la possibilité de refuser le prix proposé par les acheteurs. Mais le mécanisme original de fixation des prix permet de limiter l'amplitude des fluctuations.

Le fractionnement du trust Rockefeller, en 1911, ouvre une nouvelle période d'instabilité des prix, aggravée par la mise en production, rapide et anarchique, de nouveaux gisements aux États-Unis même et en Amérique latine. Il faut attendre 1931 pour qu'une certaine stabilisation apparaisse, à la suite de la mise en place d'une législation réglementant l'exploitation des champs pétroliers.

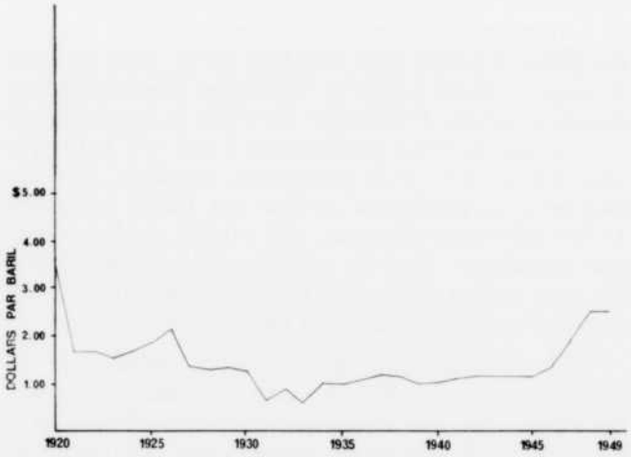
La formation des prix sur le plan mondial

Sur le plan mondial, l'effet de marché dominant joué par les États-Unis se traduit par l'établissement d'un mécanisme de fixation des prix qui devient vite artificiel. Dans un premier temps, le mécanisme consiste

simplement à répercuter, sur le plan mondial, le niveau des prix fixé librement à l'intérieur des État-Unis. Avec le développement de la production pétrolière non américaine, ce système va être maintenu arbitrairement dans le but de protéger les producteurs américains.

Les premières quantités de pétrole brut non américain commercialisées dans le monde proviennent du Mexique et du Venezuela : le centre stratégique des échanges se déplace de l'intérieur des États-Unis vers le Golfe du Mexique. Le système qui s'établit à l'époque utilise comme point de référence le niveau des prix dans les ports d'embarquement du Texas. Le prix d'un pétrole brut du Moyen-Orient ou d'Amérique Latine, en un point donné du globe, est égal au prix d'un pétrole équivalent originaire du Texas, et qui serait transporté en ce point. Pour obtenir le prix à la tête de puits d'un pétrole brut quelconque, il suffit de soustraire du prix ainsi défini le coût réel du transport supporté par le pétrole brut considéré. Ce système apparaît doublement artificiel : d'abord, il n'existe aucun lien entre le prix à la tête de puits d'un brut non américain donné et son coût de production. De plus, ce prix à la tête de puits varie en fonction des ports de destination. Ainsi, un pétrole iranien expédié dans un port de la Méditerranée orientale est facturé, à la tête de puits, à un prix plus élevé que ce même pétrole expédié en Méditerrannée occidentale.

ÉVOLUTION DU PRIX MOYEN ANNUEL DU « MID CONTINENT » de 36° API 1920-1949



SOURCE : Ralph Cassady, « Price Making and Price Behavior in the Petroleum Industry », p. 137, repris dans « Évolution de la structure mondiale de l'industrie pétrolière », op. cit., p. 33.

Figure 2

Les compagnies majeures fixent les règles du jeu

Ce système, au départ mis en place spontanément par suite de la prédominance du marché des Caraïbes, va survivre ensuite artificiellement par la seule volonté des compagnies pétrolières. Le 17 septembre 1928, le Standard Oil of New Jersey, l'Anglo Iranian et la Shell signent l'Accord d'Achnacarry par lequel sont confirmés les mécanismes de fixation des prix à partir du Golfe du Mexique. Peu de temps après, en 1931 et en 1934, les quatre autres sociétés majeures (Mobil Oil, Gulf Oil, Texaco et S.O. of California) souscrivent à leur tour à l'Accord d'Achnacarry.

Jusqu'à l'immédiat après guerre va donc se perpétuer un mécanisme de fixation des prix de plus en plus artificiel, fondé uniquement sur les niveaux américains, et résultant de structures dépassées (figure 2).

À partir de 1948 : réajustement des mécanismes de fixation des prix

Vers la fin des années quarante, un certain nombre de phénomènes économiques, déjà perceptibles auparavant, commencent à jouer. Ces modifications de la structure de l'économie pétrolière entraînent un réajustement des mécanismes de fixation des prix sur le marché mondial : mais il s'agit d'une évolution et non d'un renversement du système. La caractéristique fondamentale demeure, les États-Unis maintenant leur position de marché dominant.

L'après-guerre est avant tout marquée par l'émergence des pays du Moyen-Orient comme zone de production. De 1950 à 1960, les réserves exploitables du Moyen-Orient sont multipliées par 5.5. En 1949, l'ensemble Moyen-Orient plus Venezuela représente déjà le quart de la production mondiale. Les échanges avec l'Europe s'intensifient : les États-Unis cessent d'exporter du pétrole brut vers l'Europe et deviennent, en 1948, importateurs nets ; l'Europe prend une part croissante dans le commerce pétrolier mondial et devient dès cette époque le premier marché d'achat de pétrole brut dans le monde.

Les acteurs intervenant sur la scène pétrolière mondiale sont eux-mêmes de plus en plus nombreux. À côté des compagnies majeures commencent à intervenir d'abord des sociétés d'État, puis des indépendants américains.

Les sociétés d'État créées par les principaux pays consommateurs européens ont pour objectif d'assurer un approvisionnement au meilleur coût. Les indépendants américains, qui à l'origine ne produisaient qu'aux États-Unis mêmes, sont conduits à intervenir également sur le marché mondial pour pallier l'augmentation des coûts de production américains et profiter de la rente économique récupérée jusque là par les seules compagnies majeures. Sociétés d'États comme indépendants peuvent intervenir d'autant plus facilement que l'on commence à assister à une montée des revendications des pays producteurs. Une mésentente s'annonce entre sociétés opérant dans les zones productrices non américaines. L'intervention de l'URSS, qui offre du pétrole brut à bon marché, ajoute un nouvel élément de perturbation.

Chacun de ces phénomènes économiques va rendre de plus en plus difficile le fonctionnement des mécanismes de fixation des prix établis dans la période précédente. Cependant, ces phénomènes ne sont pas encore

assez puissants pour modifier de manière radicale le système en place.

Apparition d'un deuxième point de référence : le Golfe Persique

L'apparition d'un courant d'exportations vers l'Est des États-Unis entraîne, dès 1949, la mise en place d'un nouveau système de cotation. Il n'y a plus un, mais deux points de référence, le second étant situé dans le Golfe Persique. Le prix au second point continue d'être fixé en fonction du prix défini au premier point, c'est-à-dire dans le Golfe du Mexique. La différence essentielle avec l'ancien mécanisme est qu'une zone neutre est fixée : en cette zone, les prix au second point de référence doivent être définis de telle manière qu'il soit indifférent d'approvisionner cette zone avec du pétrole brut provenant du Golfe du Mexique ou du Golfe Persique. On peut noter que dans l'ancien mécanisme tous les points de débarquement constituaient un point neutre, ce qui expliquait la multiplicité des prix du brut du Moyen-Orient, selon la destination. Avec le nouveau système, le pétrole brut du Moyen-Orient n'a plus qu'un prix : à l'Est de la zone neutre, il est plus avantageux d'acheter ce brut. À l'Ouest, les acheteurs ont intérêt à se fournir en pétrole provenant des Caraïbes. Cette zone neutre correspond donc à un partage mondial des marchés, et apparaît comme une résultante des potentiels de production comparés des deux points de référence — les Caraïbes et le Golfe Persique.

Ce mécanisme est beaucoup plus souple que le précédent, puisque la modification de la localisation géographique du point neutre va permettre de tenir compte de l'évolution des potentiels mondiaux de production. La place du Moyen-Orient dans l'offre mondiale de pétrole brut ne cessant de croître, les compagnies sont amenées à déplacer vers l'Ouest le point neutre. Fixé à l'origine à Malte, le point neutre se déplace vers l'Angleterre en juin 1948, puis est fixé à New York, à partir de septembre 1949, par les signataires de l'Accord d'Achnacarry. Le déplacement vers l'Ouest du point neutre entraîne une baisse corrélative des prix dans le Golfe Persique : cette baisse des prix correspond au coût de transport entre l'ancien point neutre et le nouveau point neutre.

Ce point neutre aurait pu continuer à se déplacer vers l'Ouest, si le Congrès et le gouvernement américain n'étaient intervenus pour consolider la situation. En 1953, à la suite de la levée du contrôle des prix imposé pendant la guerre de Corée, les producteurs indépendants américains majorent leurs prix. Cette majoration résultait en partie de la hausse rapide des coûts de production aux États-Unis. Les compagnies majeures suivent ce mouvement de hausse qu'elles transmettent au Moyen-Orient, appliquant ainsi exactement le mécanisme précédemment défini. Cependant, l'importance de la production du Moyen-Orient, qui est effectuée à des coûts décroissants, entraîne une très forte pression au déplacement du point neutre vers l'Ouest — afin d'accroître la part du marché du pétrole non américain. Pour que les producteurs américains puissent conserver leur part du marché, ils doivent disposer d'un potentiel de production élevé — qu'ils ne peuvent obtenir que par des hauts prix, compte tenu des coûts croissants d'exploitation aux États-Unis.

Une intervention des autorités américaines se révèle donc nécessaire pour fixer des prix intérieurs à ce niveau élevé : dès 1953, alors que la situation est favorable aux acheteurs, les commissions de conservation américaines limitent la production intérieure en-dessous du « taux maximal d'exploitation rationnelle », pesant ainsi artificiellement sur l'offre. En 1955-1956, un premier programme volontaire de limitation des importations, décidé par le Président Eisenhower, va annoncer l'isolement autoritaire de 1959.

1959 : Les États-Unis s'isolent du marché mondial

En mars 1959, le Président Eisenhower décide en effet de mettre en place un système de contingentement des importations. Cette décision, isolant partiellement les États-Unis du marché mondial, va entraîner des perturbations profondes dans la formation des prix mondiaux. En effet, la décision du gouvernement américain, prise en vue de protéger la production marginale intérieure, a pour résultat de limiter la demande de pétrole non américain. En s'isolant partiellement du marché mondial, les États-Unis réduisent artificiellement la croissance de la demande de pétrole brut exporté par le Venezuela et le Moyen-Orient. Les États-Unis constituant toujours le marché directeur, cette politique se révèle déterminante dans la fixation des prix mondiaux.

La croissance rapide de l'offre mondiale de pétrole

Le contingentement de la demande américaine va avoir des effets d'autant plus sensibles qu'en face de cette demande réduite, l'offre se développe très rapidement durant la période 1960-1970. En 1956, le Moyen-Orient et l'Afrique du Nord produisaient 3 450 000 barils par jour, soit 22.1% de la production mondiale. Dix ans plus tard, la production a plus que triplé, atteignant 11 655 000 barils par jour, soit 40.8% de la production mondiale [2]. Pour la première fois, la production des pays arabes dépasse la production américaine. De nouveaux gisements sont mis en exploitation.

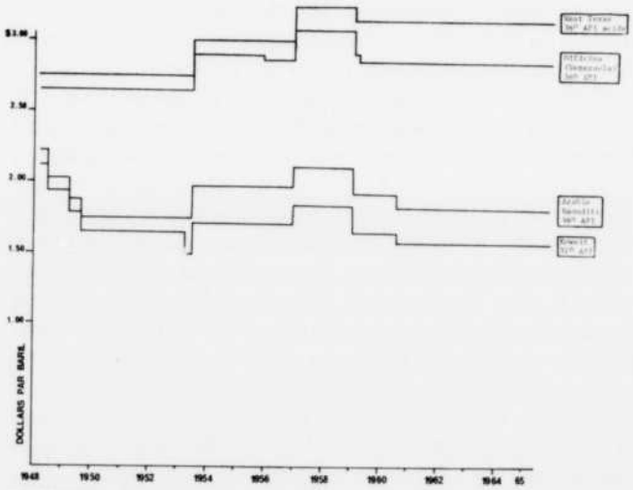
En 1955, ont lieu les premières découvertes au Nigéria, suivies, en 1956, de celles effectuées en Algérie. En 1960, sont mis à jour les gisements libyens, et à partir de 1965 commence l'exploitation des gisements *off shore* du Golfe Persique. Ajoutées à la politique américaine de réduction des importations, ces découvertes ont une incidence déterminante sur les cours mondiaux : en effet, les gisements découverts sont exploitables à des coûts très bas, et la mise en production peut être effectuée très rapidement. Ainsi, la Libye, dont les gisements sont découverts en 1960, voit sa production passer de 20 000 barils par jour en 1961 à 1 220 000 barils par jour en 1965, puis 2 600 000 barils par jour en 1968. La progression est encore plus spectaculaire pour les émirats du Golfe Persique : la production d'Abu Dhabi passe de 15 000 b/j en 1962 à 350 000 b/j en 1966. Celle de Dubai décuple entre 1969 et 1970. L'irruption sur le marché mondial de quantités massives de pétrole produit par les nouveaux

producteurs va entraîner une tendance permanente à la baisse des prix, de 1960 à 1970.

Les prix évoluent séparément dans les deux zones de référence (figure 3)

Le mécanisme de fixation des prix avec deux points de référence joue maintenant son vrai rôle : entre 1950 et 1960, les deux points ne jouaient pas un rôle égal dans la fixation des prix mondiaux, puisque le prix du pétrole brut du Golfe Persique était défini à partir des niveaux de prix dans le Golfe du Mexique. La politique américaine d'encouragement de la production conduit à maintenir les prix intérieurs à un niveau élevé. Si le mécanisme de fixation des prix avait continué à s'appliquer comme dans les années cinquante, on aurait assisté à une stabilisation équivalente des prix du Moyen-Orient. En fait, la faible croissance de la demande mondiale et le rapide développement de l'offre provoquent une baisse des prix du pétrole brut non américain : pour la première fois dans l'histoire du pétrole, les prix du Golfe Persique ne sont plus induits par les niveaux américains, mais commencent à évoluer indépendamment.

ÉVOLUTION DES PRIX AFFICHÉS
1948-1965



SOURCE: J. Masseron, « L'Économie des hydrocarbures », p. 29.

Figure 3

New York continue à jouer le rôle de point neutre : l'égalisation entre les deux zones de prix s'effectue par l'intermédiaire d'un mécanisme artificiel de compensation. Le gouvernement américain aurait pu instituer des droits de douane sur les quantités de pétrole importé. L'Administration Eisenhower préfère mettre en place un système de « tickets » d'importation : chaque raffineur américain reçoit des « tickets » correspondant aux quantités de pétrole brut qu'il a le droit d'importer. Les raffineurs de l'intérieur des États-Unis vendent ces « tickets » à ceux de la côte Est. Le prix auquel ces « tickets » sont vendus correspond à la différence de prix entre le pétrole américain et le pétrole importé. En 1968, ce coût différentiel est de $1.35 par baril pour le brut de 34° API vendu à Philadelphie.

Les pays producteurs commencent à s'organiser

La baisse des prix du pétrole du Moyen-Orient ne s'effectue pas sans résistance de la part des pays producteurs. La chute des prix entraîne une baisse des recettes de taxation, et pour la première fois commence à s'ébaucher une politique commune des pays exportateurs. L'Organisation des Pays Exportateurs de Pétrole est créée le 14 septembre 1960. Son premier objectif est d'essayer de lutter contre la baisse des prix mondiaux. Les tendances à la baisse sont trop fortes pour que l'action des pays exportateurs puisse être efficace : ceux-ci tentent alors de maintenir le niveau de leurs revenus grâce à des artifices fiscaux. De 1960 à 1962, la baisse des prix mondiaux transparaît au niveau des prix affichés : les prix affichés sont les prix auxquels un quelconque acheteur de brut peut trouver du pétrole à l'endroit de l'affichage. Ce prix se distingue du prix de cession (prix commercial effectif entre deux agents économiques indépendants) et du prix de transfert (prix appliqué entre deux sociétés associées). À partir de 1962, les pays producteurs obtiennent un « gel » de ces prix affichés, qui vont seuls servir de référence pour la définition de la dette fiscale. De plus, l'OPEP met au point un système fiscal unifié d'imposition qui est progressivement généralisé à l'ensemble des pays exportateurs. Ce système d'imposition comprend, pour chaque unité de produit, une redevance égale à 12.5% des prix affichés et un impôt sur les bénéfices de 50% au moins des bénéfices. Le bénéfice par unité de produit est égal au prix affiché diminué du coût de production et de la redevance.

Ce prix affiché perd donc sa signification économique immédiate, et devient un prix fictif servant uniquement à la définition de l'assiette fiscale.

Alors que les prix réels continuent à baisser à partir de 1962, les prix affichés restent relativement stables (malgré l'apparition d'un certain nombre de rabais). Sans réussir à contrecarrer le mouvement mondial de baisse des prix, les pays exportateurs sont cependant parvenus à consolider leurs recettes fiscales et, surtout, à construire un certain nombre « d'outils » qu'ils vont pouvoir utiliser pleinement dès que la conjoncture se renversera. Ce retournement de la conjoncture se produit en 1969, avec la réapparition de la demande américaine sur le marché mondial.

1969 : intervention massive de la demande américaine sur le marché mondial

À la fin des années soixante, la demande intérieure américaine de produits pétroliers s'accroît très rapidement par suite de l'augmentation de la croissance économique. Les mesures antipollution et le plafonnement de la disponibilité en gaz naturel amplifient ce phénomène.

L'augmentation des importations américaines

Pour satisfaire cette demande intérieure accrue tout en contingentant les importations, les autorités de

chaque État sont conduites à accepter les demandes d'augmentation de production soumises par les Compagnies pétrolières. Traditionnellement, la production autorisée correspondait à environ les deux tiers de la production potentielle possible. Dès le milieu des années soixante, cette proportion commence à croître sensiblement. En 1969, la production intérieure correspond à 81% de la production potentielle. Cette proportion ne cessera de croître, pour atteindre 100% en 1972. Le développement de la production intérieure américaine est cependant insuffisant pour compenser la progression rapide de la demande : des importations plus massives sont alors autorisées, et toute une série d'amendements à la réglementation des quotas introduits. Le gouvernement fédéral autorise par exemple les importations « hors quotas » des produits pétroliers raffinés à Porto Rico et dans les Îles Vierges. Les effets de cet assouplissement de la réglementation ne se font pas attendre : en 1964, les États-Unis avaient importé 10.8% de leur consommation de pétrole brut et 9.4% de leur consommation de produits finis. La part des importations dans la consommation globale passe à 22% en 1969, puis 31.4% en 1972. Phénomène encore plus remarquable, cet accroissement considérable des importations s'effectue principalement sur le pétrole brut en provenance du Moyen-Orient et d'Afrique. En 1970, 8.8% des importations américaines proviennent du Moyen-Orient, d'Afrique du Nord et d'Afrique Noire. En 1972, ces mêmes régions assurent 20.7% des importations américaines.

Accroissement du déséquilibre entre l'offre et la demande mondiale

Le développement très rapide des achats américains sur le marché mondial entraîne un renversement de tendance, dont l'ampleur est accrue par plusieurs autres phénomènes :

- La demande non américaine de pétrole brut se développe elle aussi très rapidement à partir de 1969. Jusqu'à cette date, la croissance annuelle de la consommation européenne et japonaise était de 8%. En 1970, la consommation de pétrole augmente brutalement de 13% en Europe et de 20% au Japon.
- En face de cette demande accrue, l'offre mondiale de pétrole progresse beaucoup plus lentement. Un certain nombre de facteurs politiques ralentissent l'augmentation de la production. Le changement de pouvoir en Libye provoque un arrêt brutal du développement de l'exploitation. La Syrie de son côté interrompt le trafic à travers la Tapline. Les pays de l'OPEP commencent à prendre conscience de leur possibilité d'action sur la production. À côté de la restriction artificielle de l'offre, aucune découverte immédiatement exploitable ne vient prendre le relais du Moyen-Orient. La mise au point des formes d'énergie substituables avait été ralentie par la baisse des prix du pétrole depuis 1960 ; les pays consommateurs se trouvent donc dépourvus de solutions de remplacement immédiatement applicables. Leurs économies s'en trouvent rendues très vulnérables au cas où une crise des approvisionnements surviendrait.

Ces différents phénomènes jouent tous dans le même sens, c'est-à-dire vers une hausse du prix du pétrole. Celle-ci va être considérablement amplifiée par la position oligopolistique prise par les pays producteurs. Comme on l'a vu, la baisse des prix des dix années précédentes avait conduit ceux-ci à s'organiser afin de protéger leurs revenus. Cette solidarité nouvelle leur permet, lorsque la conjoncture s'est renversée, de maximiser les bénéfices qu'ils peuvent retirer de cette position.

Une nouvelle zone de prix directeurs

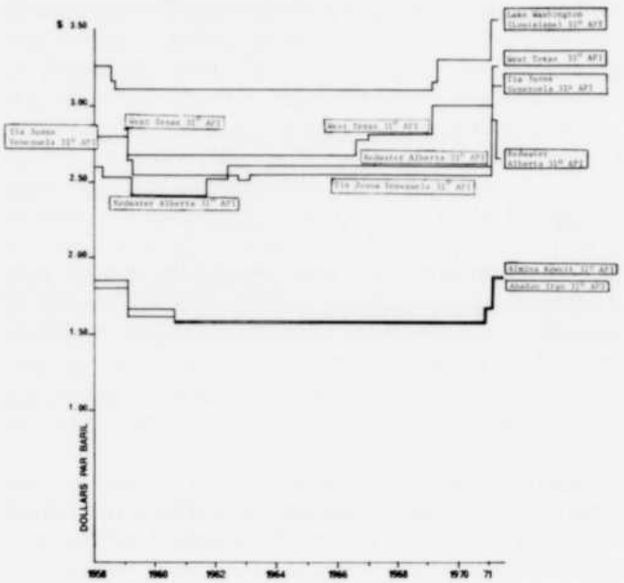
Le mécanisme de fixation des prix à partir de deux zones de référence continue à s'appliquer : cependant, le rôle directeur est maintenant joué par l'Afrique du Nord et le Golfe Persique. Le retournement de la conjoncture s'effectue assez brutalement : en septembre 1969, le roi Idriss de Libye est renversé, et un gouvernement nationaliste dirigé par le Colonel Kadhafi prend le pouvoir. Dès mars 1970, les sociétés de distribution sont nationalisées, et le gouvernement réclame une modification des méthodes d'exploitaiton de son sous-sol : réduction de la production, développement de la prospection, augmentation des prix affichés. La société Occidental, principale compagnie exploitant en Libye, accepte assez rapidement les décisions du gouvernement : en septembre 1970, elle réduit sa production et commence à acquitter un impôt sur les sociétés de 54%, calculé sur des prix affichés eux-mêmes majorés de 30¢ par baril. La facilité avec laquelle le gouvernement libyen a réussi à imposer ses décisions aux compagnies exploitant son sous-sol va avoir un effet d'entraînement considérable sur les autres pays producteurs. On peut se demander pourquoi les compagnies opérant en Libye ont accepté si facilement les conditions gouvernementales. Il faut noter que la Libye constituait le maillon le plus vulnérable dans la chaîne des intérêts des compagnies au Moyen-Orient : la première compagnie opératrice, Occidental, était une société indépendante pour laquelle la Libye constituait la seule source de pétrole brut. D'autre part, la proximité de l'Europe et la qualité du pétrole libyen rendaient les compagnies plus conciliantes face aux nouvelles exigences du gouvernement libyen.

Les accords bilatéraux entre les compagnies et les pays producteurs

Ces hausses de prix en Libye constituent le point de départ de toute une série d'accords bilatéraux entre pays producteurs et compagnies pétrolières. On peut noter que la hausse des prix qui en résulte va permettre de réduire les tensions existant sur le marché.

- d'une part, cette hausse est bien conforme au déséquilibre existant à cette époque entre l'offre et la demande ;
- d'autre part, la hausse des prix du Moyen-Orient et d'Afrique du Nord permet de diminuer l'écart existant entre les prix des deux zones de référence (figure 4).

ÉVOLUTION DES PRIX AFFICHÉS
1958-1971



SOURCE: Platt's Oil Price, Handbook and Oilmanac, 1958 1970, et Platt's Oilgram Price Service, juin 1971, repris dans « Essai d'explication de la structure des prix du pétrole brut », de P. Hervieu et C. Garon, dans Études internationales, volume II, nº 4, décembre 1971, p. 660.

Figure 4

Le premier accord bilatéral est signé à Téhéran le 14 février 1971. Cet accord, négocié entre les Compagnies pétrolières et les pays du Golfe Persique, comprend les éléments suivants : l'impôt sur les bénéfices est porté de 50% à 55%. Les prix affichés sont majorés de 33¢ par baril. Les rabais appliqués auparavant sont supprimés. Des « différentiels de qualité », selon la densité du pétrole brut, sont définis. Surtout, les accords de Téhéran contiennent une clause d'échelle mobile puisqu'ils prévoient des rajustements annuels automatiques des prix affichés pour tenir compte de l'inflation mondiale et de la hausse des prix des produits pétroliers. Les signataires s'engagent à respecter ces conditions pour une période de cinq ans.

Deux mois plus tard, le 2 avril 1971, les pays producteurs d'Afrique du Nord, et l'Arabie Saoudite et l'Irak, pour leur pétrole brut expédié en Méditerranée, signent l'Accord de Tripoli. Comme dans l'Accord de Téhéran, la convention signée à Tripoli prévoit le passage de l'impôt sur les bénéfices à 55%, ainsi qu'une augmentation des prix affichés. Les prix affichés sont majorés de 52¢ par baril. Les Accords de Tripoli définissent de plus une « prime de Suez » de 12¢ par baril, ainsi qu'une prime temporaire de fret de 13¢ par baril. L'Accord prévoit des clauses d'augmentation de prix analogues à celles signées à Téhéran.

Après six mois de crise et de négociations, les prix mondiaux du pétrole brut ont donc enregistré une hausse sensible. L'application des Accords de Téhéran et de Tripoli entraîne une augmentation du coût après impôts (tax paid cost) de l'ordre de 10 à 15%.

On aurait pu croire, après la signature de ces accords, que les prix se stabiliseraient à ce niveau. Il n'en est rien, car un nouvel élément perturbateur intervient durant l'été 1971. Le 15 août, le président Nixon décide de suspendre la convertibilité du dollar. Or, tous les prix du pétrole brut sont libellés en dollar américain. Cette modalité entraîne, lors de la dévaluation du dollar décidée le 18 décembre 1971, une réduction du pouvoir d'achat des pays exportateurs de pétrole. Les pays du Golfe Persique sont particulièrement touchés par cette mesure : leurs ventes de pétrole brut sont en effet dirigées en grande partie vers les pays à monnaie forte (Japon, Europe Occidentale). Les négociations entreprises entre Compagnies et pays producteurs aboutissent à la signature de l'Accord de Genève du 20 janvier 1972. Cet Accord prévoit une augmentation de 8.49% des prix affichés et la mise en place d'un mécanisme d'échelle mobile fondé sur l'évolution comparée des principales monnaies mondiales.

Les Accords de participation

Ces accords à peine signés, sont alors abordées les demandes des pays producteurs concernant leur participation à l'exploitation des richesses pétrolières de leur sous-sol. Dès juillet 1970, les pays membres de l'OPEP avaient chargé un comité d'étudier des propositions. La situation se présente en fait très différemment selon les pays concernés. Pour certains d'entre eux, la participation est déjà réalisée par nationalisation autoritaire : c'est le cas de l'Algérie, de l'Indonésie et du Venezuela (nationalisation prévue pour 1983). L'Iran a également déjà nationalisé son pétrole et son gaz, mais le gouvernement revendique la propriété des installations et un contrôle effectif sur la production et la commercialisation. La Libye et l'Irak procèdent à leur tour à des prises de contrôle unilatérales. Finalement, seuls l'Arabie Saoudite, le Koweit et les émirats arabes sont intéressés à un accord formel sur la participation.

Le 5 octobre 1972, les compagnies pétrolières signent à New York un accord avec l'Arabie Saoudite, Abu Dhabi, Qatar et Koweit. Cet accord prévoit la cession progressive aux États signataires d'une participation de 51% dans les concessions pétrolières. Cette cession doit être effectuée en plusieurs tranches : 25% en 1973, puis 5% de plus annuellement, de 1979 à 1982, pour finalement atteindre 51% en 1983.

Cet accord fait naître une nouvelle catégorie de pétrole brut, le « bridging crude » : il s'agit du pétrole brut appartenant désormais aux États producteurs mais que ceux-ci revendent aux compagnies opératrices. Le prix de revente est compris entre le coût après impôt et le prix affiché. Cette revente était nécessaire pour permettre aux compagnies d'honorer leurs engagements antérieurs. Les Accords de New York prévoient que le « bridging crude » doit constituer 75% du pétrole participation en 1973, 50% en 1974 et 25% en 1975.

Pour une autre partie du pétrole participation, le gouvernement dispose d'une option. Ce pétrole, le « phase-in crude », peut être commercialisé directe-

ment par les compagnies nationales ou par les compagnies opératrices, selon le choix du gouvernement. Celui-ci doit simplement prévenir avec un certain délai les compagnies opératrices de son intention de commercialiser par leur intermédiaire une partie du pétrole qu'il contrôle. Cette disposition s'avérait indispensable pour permettre aux gouvernements des pays producteurs d'organiser leurs propres circuits de commercialisation. Comme pour le « bridging crude », le prix du « phase-in crude » est compris entre le coût après impôt et le prix affiché ; ce prix est fixé au terme d'une négociation entre l'État et la compagnie opératrice. L'Accord de New York prévoit que le « phase-in crude » doit représenter 15% du pétrole participation en 1973, 30% en 1974, 50% en 1975, 70% en 1976, puis un montant dégressif à partir de 1977. Le « phase-in crude » constitue donc une sorte de transition permettant aux États producteurs de mettre en place sans heurts leurs réseaux de distribution.

Il reste enfin une part du pétrole que les pays producteurs doivent directement commercialiser. Ce pétrole brut, que certains appellent le « pétrole État », doit correspondre à 10% du pétrole participation en 1973, 20% en 1974, 25% en 1975, jusqu'à atteindre 90% en 1982.

La deuxième dévaluation du dollar, en février 1973, provoque une nouvelle crise qui se résout par la signature du deuxième Accord de Genève. Signé le 2 juin 1973, il prévoit une hausse immédiate des prix affichés de 11,9% ainsi que la mise en place d'un nouveau mécanisme de révision.

Égalisation des prix entre les deux zones de référence

Les multiples négociations et accords conclus entre compagnies et pays producteurs à partir de 1970 ont considérablement modifié la nature des relations entre les différents acteurs du jeu pétrolier. Les deux zones de prix évoluent indépendamment l'une de l'autre. Aux États-Unis, les prix continuent leur mouvement ascendant, pour tenir compte de la hausse tendancielle des coûts et afin d'encourager l'exploration. Au Moyen-Orient, le niveau des prix est maintenant déterminé par négociation entre compagnies internationales et pays producteurs. Les pays consommateurs n'interviennent que par l'intermédiaire des compagnies qu'ils contrôlent. L'écart entre les niveaux atteints par les prix dans les deux zones de référence a tendance à diminuer. L'égalisation se fait toujours sur la Côte Est américaine, par l'intermédiaire du « ticket » d'importation.

En 1972, pour la première fois, la valeur des « tickets » d'importation s'annule : cela signifie que le prix du pétrole mondial a rattrapé le niveau américain. La zone d'équi-prix se trouve maintenant effectivement sur la Côte Est des États-Unis. Le mécanisme des « tickets » d'exportation avait artificiellement empêché que cette zone se déplace vers l'Ouest. La montée rapide des prix du Moyen-Orient a ramené vers l'Est cette zone neutre.

Ce phénomène d'égalisation entre prix américains et prix mondiaux marque un tournant dans l'évolution du mécanisme de fixation des prix : à partir de cette date, les prix du Golfe Persique deviennent des prix directeurs. Les prix américains suivent la hausse des prix mondiaux, afin que la zone neutre se maintienne sur la Côte Est. En effet, si le potentiel de production américain l'avait permis, la zone d'équi-prix se serait déplacée vers l'Europe, offrant de nouveaux marchés à l'exportation pour le pétrole américain. L'insuffisance de la production américaine ne permet pas la réalisation d'un tel phénomène : non seulement les États-Unis sont incapables d'exporter du pétrole, mais il leur est de plus impossible de satisfaire leur propre demande. Il est donc nécessaire que la zone d'équi-prix continue d'être localisée aux États-Unis, et que pour cela les prix américains suivent la hausse des prix mondiaux.

La crise d'octobre 1973

La guerre Israélo-Arabe d'octobre 1973 entraîne une perturbation majeure dans les mécanismes laborieusement mis en place. Cette crise survient à un moment où les tensions entre l'offre et la demande sur le marché américain sont très fortes : comme on l'a vu, les réglementations antipollution, la croissance économique soutenue et la limitation des quantités de gaz naturel disponible ont provoqué une hausse rapide de la demande de produits pétroliers. L'offre n'a pu se développer au même rythme : on a vu que la production de pétrole brut américain était arrivée à un maximum. La production de produits raffinés ne se développe elle aussi que lentement : le niveau des prix jugé insuffisant par les investisseurs, et les réglementations protégeant l'environnement, ont entraîné une pause dans la construction de nouvelles installations de raffinage. Les besoins américains sont devenus tels que le gouvernement a été obligé d'abandonner le mécanisme des quotas d'importation. En avril 1973, le Président Nixon a annoncé la disparition progressive de ce mécanisme et l'instauration d'un système de droits de douane à l'importation. Une crise dans les approvisionnements commence à se manifester en 1973 : certains rationnements se révèlent nécessaires.

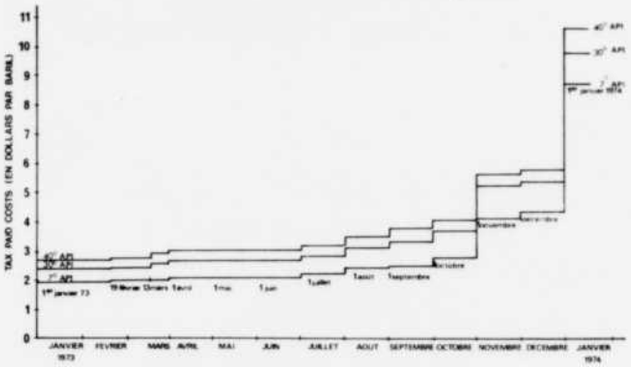
Les combats au Moyen-Orient entraînent l'interruption du transport du pétrole brut évacué à travers la Syrie. Les pays arabes producteurs de pétrole décident la mise en place d'un embargo contre les pays soutenant Israël, et une diminution de leurs livraisons aux autres pays consommateurs. Le 16 octobre, la commission ministérielle des six pays du Golfe Persique annonce une hausse de 70% des prix affichés. Aux termes des décisions prises, le prix affiché doit être défini de telle sorte qu'il soit constamment supérieur de 40% au prix réalisé de chaque brut.

La date du 16 octobre marque un nouveau tournant dans les mécanismes de détermination des prix mondiaux. Pour la première fois, le prix affiché a été défini unilatéralement par les pays producteurs du Moyen-Orient. L'époque des transactions bilatérales entre compagnies et gouvernements est terminée. D'octobre à décembre 1973, l'histoire des prix est en fait l'énumération de l'évolution des décisions unilatérales prises par les pays arabes puis par l'ensemble des pays producteurs de pétrole.

Le 19 octobre, le gouvernement libyen décide de majorer de 94% ses prix affichés. Le 25 octobre, l'Irak augmente à son tour de 70% le prix de référence de son pétrole. Le 27 octobre, le Venezuela annonce une hausse de 56% des prix de son pétrole brut (figure 5).

Par ailleurs, le pétrole brut de participation vendu directement aux enchères atteint des prix considérables : le 27 novembre, le Nigéria reçoit des offres d'achat à $15 le baril. Le 11 décembre, la société nationale iranienne des pétroles met en vente du pétrole brut à un prix compris entre $16 et $17.34 le baril. Le 14 décembre, quinze compagnies ont accepté ces prix. À la fin du mois de décembre, le Nigéria propose du pétrole brut à $22.60 le baril. Ce prix constituera le maximum offert au cours d'une vente aux enchères.

ÉVOLUTION DES TAX PAID COSTS VENEZUELIENS du 1er janvier 1973 au 1er janvier 1974



SOURCE: Platt's Oilgram Price Service, 1973, et Petroleum Intelligence Weekly, 1973.

Figure 5

La décision du 23 décembre 1973

En effet, à la fin du mois de décembre, la situation commence à se détendre et à se clarifier. Le 23 décembre, les six pays du Golfe Persique membres de l'OPEP se réunissent à Téhéran pour mettre en place un nouveau mécanisme de fixation des prix. Normalement, les pays producteurs auraient dû appliquer les règles définies le 16 octobre et fixer les prix affichés à 40% au-dessus du prix du marché. Le niveau astronomique atteint par les prix des ventes aux enchères en novembre et en décembre interdit d'appliquer cette méthode. En fait, les pays producteurs constatent qu'il n'existe plus de prix de marché pouvant servir de base de calcul. Ils décident donc d'inverser la méthode et de retenir comme base de calcul le revenu du gouvernement. Les pays producteurs du Golfe Persique tombent d'accord pour fixer à $7 la recette totale que le gouvernement saoudien doit recevoir pour la vente d'un baril d'Arabe léger de 34° API. En appliquant les règles de la fiscalité OPEP, ce chiffre correspond à un prix affiché de $11.651. La fixation de ce nouveau prix affiché représente une hausse de 111% par rapport aux prix du 16 octobre. Les pays membres ont la liberté de fixer des différentiels de soufre et de proximité pour les bruts qu'ils produisent.

Les décisions du 23 décembre marquent une pause dans la hausse des prix du pétrole commercialisé par les compagnies. Une détente se manifeste par ailleurs dans le niveau des prix du pétrole participation. En effet, les pays arabes ont décidé à la fin du mois de décembre de reprendre leurs livraisons normales vers les pays amis — tout en maintenant leur embargo contre les pays alliés d'Israël.

Le 18 mars 1974, les pays de l'OPAEP * réunis à Vienne annoncent la suspension de l'embargo à destination des États-Unis. L'ensemble des pays exportateurs décident d'autre part de maintenir les prélèvements fiscaux aux niveaux précédemment atteints, cela jusqu'au début de l'été. Ces décisions ont dans l'immédiat accentué la détente sur les marchés pétroliers, tout en consolidant l'évolution passée.

Un nouvel équilibre des forces

Les mécanismes actuels de détermination des prix, tels qu'ils ont été redéfinis depuis octobre 1973, ont fixé un nouvel équilibre des forces en présence sur le marché : le Moyen-Orient constitue la zone des prix directeurs. Ces prix sont déterminés unilatéralement par les pays producteurs, en fonction de critères qui leur sont propres et de la situation du moment. Les prix sur le marché américain, après avoir été rattrapés par les prix mondiaux dans le courant de l'année 1973, ont été en partie dépassés par ceux-ci. L'Office Fédéral de l'Énergie a classé le pétrole brut produit aux États-Unis en plusieurs catégories : la catégorie « pétrole ancien » a été soumise à un contrôle des prix. Les catégories « nouveau pétrole brut », « pétrole brut déplafonné » et « pétrole produit par pompage » ne sont pas assujetties à ce contrôle. L'Administration américaine ne pouvait en effet, pour des raisons d'économie interne, autoriser que tous les prix du pétrole domestique augmentent aussi vite que ceux du Moyen-Orient. Des hausses supérieures à celles autorisées auraient aggravé les tensions inflationnistes, en faisant apparaître une rente élevée au profit des producteurs, rente qui n'aurait pas entraîné à court et moyen termes d'augmentation sensible de la production.

Les mécanismes actuels confèrent donc un rôle prédominant à la politique des pays producteurs du Moyen-Orient. Il faut cependant souligner que celle-ci est le résultat de stratégies divergentes qui risquent fort de s'affronter dans l'avenir. En effet, les pays producteurs se trouvent placés devant le problème de l'emploi des ressources financières dont ils disposent, et de l'importance des réserves sur lesquelles ils peuvent compter. Il se trouve que les pays ayant des besoins réduits (Arabie Saoudite et émirats arabes) sont également ceux qui disposent des réserves les plus importantes : ces pays producteurs tendent donc à favoriser un développement à long terme de leurs ressources. Par contre, d'autres États comme l'Iran, l'Algérie ou même le Venezuela ont des besoins d'industrialisation importants à satisfaire à court terme,

* *Organisation des Pays Arabes Exportateurs de Pétrole.*

et ne peuvent compter que sur des réserves limitées. Pour ces pays, la stratégie à développer est la maximisation à court terme des revenus pétroliers. Les décisions de maintien des prix annoncées en mars dernier ne sont en fait qu'un compromis entre ces tendances contradictoires.

La politique américaine d'indépendance énergétique

Une fois de plus, la réalisation de la politique américaine jouera sans doute un rôle déterminant dans l'évolution future des prix. L'Administration Nixon a proposé en janvier 1974 la mise en place des mécanismes nécessaires pour assurer l'indépendance énergétique des États-Unis dans les années 1980. La réussite — problématique — de cette politique aurait les mêmes effets que les décisions d'Eisenhower de 1959. Les pays à « développement long » seraient alors les perdants, se retrouvant avec un excès de production à cette échéance. Ces pays ont donc intérêt à stabiliser le prix du pétrole de telle sorte que le niveau ainsi atteint ne favorise pas la mise en place trop rapide d'énergie de substitution dans les pays consommateurs.

Il semble donc que, sur le plan des mécanismes, il y ait peu de changements à prévoir dans l'avenir, le niveau des prix dépendant des rapports de force parmi les pays producteurs et de la réussite ou de la non-réussite de la politique d'indépendance énergétique des pays consommateurs — en premier lieu les États-Unis.

Quelle que soit l'évolution future des mécanismes de fixation des prix du pétrole, elle devrait permettre l'utilisation sans heurts de cette source d'énergie — tout en préparant les pays consommateurs à l'utilisation efficace de formes d'énergie nouvelle. Car les sociétés industrielles savent maintenant qu'elles doivent compter avec la limitation des ressources que peut leur fournir notre planète. ■

BIBLIOGRAPHIE

1. MACLEAN ET HAIGH « *The Growth of Integrated Oil Companies* », pp. 50 et 59 repris dans « *Évolution de la structure mondiale de l'industrie pétrolière* », B. Cloutier et V. David, mai 1973, p. 31.
2. SCHURR, Sam H. et HOMAN, Paul T. « *Middle Eastern Oil and the Western World* » — Prospects and Problems —, pp. 68-70.

les "je-sais-tout"

Ils sont des spécialistes dans l'équipement et les pièces électriques et mécaniques . . . mais ils sont des spécialistes avec UNE DIFFERENCE . . .

CE SONT LES GENS CHEZ NEDCO . . . Le préposé au comptoir, le spécialiste en technologie et le représentant des ventes.

Ils sont affectés au service des clients de la compagnie de fournitures électriques et mécaniques la plus jeune, la plus importante et la plus progressive au Canada.

Chacun d'eux vous aidera à déterminer au-delà de 15,000 articles à-même un stock de plus de 200 séries d'équipement dans plus de 50 succursales à travers le Canada.

Ils ont à leur disposition une série complète d'équipement électrique et mécanique . . . systèmes avertisseurs d'incendie, outillage et équipement complet pour climatisation et toutes les fournitures d'entrepreneurs, et des centaines d'autres articles.

Chacun d'eux est secondé par un immense entrepôt national offrant un service de livraison d'urgence de 48 heures.

Et chacun d'eux peut faire appel à ses collègues pour vous aider à résoudre vos problèmes particuliers.
Et plus important . . . ils font partie de l'équipe NEDCO

. . . NEDCO . . . une compagnie assez modeste pour s'intéresser à votre problème le plus minime . . . assez importante pour s'occuper promptement de votre plus gros problème.
Voilà les "je-sais-tout".

Pour plus de détails, appelez (514) 871-2061
Renversez les frais

les gens chez

NEDCO

...toute la différence

LE MOIS

OFFRES D'EMPLOI

CARNET / EN BREF

OFFRES D'EMPLOI

— **CANADIAN VICKERS LIMITED** (M. Roland Villeneuve, responsable du personnel) 5000 est, rue Notre-Dame, Montréal, Québec H1V 2B4. Tél. : (514) 256-2651 poste 449.

Cette compagnie est à la recherche d'un ingénieur diplômé en génie métallurgique pour son atelier de soudure.

Les candidats au poste devront posséder une année ou plus d'expérience dans le domaine.

Note : Les candidats intéressés sont priés de communiquer directement avec M. Villeneuve.

— **CELANESE CANADA LIMITÉE** (M. Denis Lepage, ing.) 800 ouest, boul. Dorchester, Montréal, Québec H3B 1X9. Tél. : (514) 878-1581.

La division des produits chimiques de cette compagnie est à la recherche d'un ingénieur chimiste pour occuper le poste d'ingénieur en évaluation commerciale dans ses bureaux de Montréal.

Le candidat choisi aura comme fonction principale l'analyse de la rentabilité de projets d'investissements dans l'industrie chimique.

Préférence sera donnée à un ingénieur possédant une maîtrise en administration, en recherche opérationnelle ou en génie industriel.

Le candidat choisi aura deux (2) années ou plus d'expérience en génie chimique. La langue de travail est l'anglais. Salaire minimum : $14,500 par année.

Note : Les candidats intéressés sont priés de s'adresser à M. Lepage.

— **LABORATOIRES BETZ LTD./LTÉE** (M. H.A. Condy) 75, boulevard Hymus, Pointe-Claire, Québec H9R 1E2.

Ingénieurs chimie/mécanique — Services techniques

Une organisation bien en vue dans le domaine du traitement des eaux et processus de fabrication de produits chimiques spéciaux connaît une expansion dans son département des services techniques. Conséquemment, elle offre des postes à des ingénieurs chimistes et à des ingénieurs en mécanique. Le travail consistera à fournir les services techniques à nos vendeurs et clients.

Prérequis : grand sens des responsabilités, initiative, agréable personnalité et un minimum de 2 ans d'expérience industrielle.

On demande également une expérience dans l'une des industries suivantes : raffinerie d'huile, processus chimie ou pétrochimie, fabrication acier et métaux non ferreux ainsi que le processus de l'industrie des pâtes et papiers.

Lieu de travail : Montréal.

Note : Les candidats intéressés sont priés de faire parvenir, par la poste, leur curriculum vitae aux soins de M. Condy.

— **COMMISSION DES SERVICES ÉLECTRIQUES DE LA VILLE DE MONTRÉAL** (Mme Monic Paradis, bureau du personnel) 110 ouest, boulevard Crémazie, suite 900, Montréal, Québec H2P 1B9. Tél. : (514) 384-6840.

Cette commission recherche un ingénieur diplômé en génie civil possédant de 3 à 5 ans d'expérience.

Cet ingénieur sera bilingue, rédigera avec précision et facilité et aura un caractère très sociable ; il dirigera un groupe de personnes et pourra aussi accéder à un poste de commande.

L'employé exécutera des tâches reliées à la construction et à l'exploitation d'un réseau de conduits souterrains à Montréal.

— Bénéfices marginaux intéressants
— Salaire à discuter
— Membre du Syndicat interprofessionnel de notre entreprise

Note : Prière de faire parvenir, par la poste, votre curriculum vitae complet à Mme Monic Paradis à l'adresse ci-haut mentionnée.

— **FISK & ASSOCIATES LIMITED** (M. D.O. McLennan) Édifice Dominion Square, 1010 ouest, rue Ste-Catherine, Montréal, Québec H3B 3R7. Tél. : (514) 871-8668.

Cette société recherche, pour un client, quelques ingénieurs bilingues, diplômés en génie mécanique, ayant quelques années d'expérience.

Les candidats choisis seront affectés à l'industrie du bois. Salaire à discuter.

Note : Pour renseignements supplémentaires, les intéressés sont priés de s'adresser à M. McLennan.

— **GLENDALE (QUÉBEC) LIMITÉE** (M. Guy Laperrière, agent du personnel) casier postal 397, St-Joseph de Beauce, Québec G0S 2V0. Tél. : (418) 397-5283.

Cette entreprise est à la recherche d'un ingénieur possédant une à deux années d'expérience industrielle pour le poste d'adjoint à l'ingénierie. Il aura à préparer des soumissions pour la construction de maisons mobiles, sectionnelles et industrielles.

Salaire à discuter.

Note : Les candidats intéressés sont priés de faire parvenir leur curriculum vitae ou appeler M. Laperrière au numéro ci-haut mentionné à frais virés.

— **SCHOKBÉTON QUÉBEC INC.** (M. Claude Bélier, ing.) boîte postale 240, Parc Industriel, St-Eustache, Québec. Tél. : (514) 473-6831.

Cette entreprise est à la recherche d'un jeune ingénieur diplômé en génie civil.

Le candidat choisi fera du design en structures et prendra éventuellement la direction des dessinateurs.

Note : Les candidats intéressés sont priés de communiquer avec M. Bélier.

Tout ingénieur qui acceptera un des postes offerts dans cette liste est prié d'en avertir le directeur général de l'Association des Diplômés de Polytechnique, Mlle Yolande Gingras, téléphone : (514) 344-4764

— **ROURKE, BOURBONNAIS & ASSOCIÉS,** conseillers en gestion des ressources humaines (M. Gilles Hébert, conseiller senior) 1808 ouest, rue Sherbrooke, Montréal, Québec H3H 1E5. Tél. : (514) 937-9525.

Directeur — Service du génie

Ce bureau recherche pour un client, entreprise qui fabrique des biens de consommation courante à son usine dotée de machinerie automatisée et à grands débits. Ce poste d'envergure est disponible à Montréal.

Le directeur du service du génie assumera le leadership dans la gestion d'une équipe de cadres compétents et de 150 subalternes affectés au génie manufacturier, industriel et civil, et à des projets de conception et d'investissements de même qu'à l'entretien électro-mécanique.

Le candidat devra posséder une bonne expérience à la direction d'un service de génie dans l'industrie légère à procédés continus, tels l'alimentation, le textile, le tabac, etc. Traitement initial : jusqu'à $28,000 selon qualifications.

Note : Les intéressés sont priés de soumettre leur curriculum vitae à M. Hébert avec référence au dossier 398.

— **ROY, RACINE & ASSOCIÉS,** ingénieurs-conseils (M. Robert Roy, ing.) 460, boulevard Chomedey, Chomedey, Ville de Laval, Québec H7V 2W8. Tél. (514) 681-9207.

Ce bureau est à la recherche d'un ingénieur ayant trois (3) années ou plus d'expérience en design de structures.

Salaire suivant l'expérience du candidat.

Note : Les candidats intéressés sont priés de communiquer directement avec M. Roy.

— **WOODS, GORDON & CIE,** conseillers en administration (M. U.C. Charbonneau) 630 ouest, boulevard Dorchester, Montréal, Québec H3B 1T9. Tél. : (514) 875-5835.

Cette société recherche pour une importante compagnie d'entretien en machineries complexes un ingénieur diplômé en génie électrique ayant 5 à 10 années d'expérience dans un poste de direction en qualité d'ingénieur d'usine ou de projets.

Le titulaire du poste est responsable de tous les aspects se rapportant aux problèmes d'installation de machineries complexes. Il doit aussi prendre contact avec les clients et évaluer avec exactitude leurs besoins techniques. Il dirige l'équipe des surintendants de chantiers et relève directement du gérant général.

Exigences : bilingue, aptitudes à diriger du personnel.

Le salaire est intéressant en fonction des responsabilités du poste.

Note : Toutes les demandes faisant état de l'âge, de la formation et de l'expérience devront être faites par écrit et seront traitées confidentiellement. Prière de référer au dossier no 9335.

ERRATUM

ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
L'INGÉNIEUR • No 300 — mai/juin 1974

La direction de L'INGÉNIEUR désire présenter des excuses à MM. Bernard-G. Côté et Roland-A. Dugré pour avoir confondu les photographies lors de l'annonce de leur nomination respective par le président de l'Université du Québec, M. Robert Després.

Président
Conseil d'administration

Bernard-G. Côté

Directeur général

Roland-A. Dugré, ing.

Avis aux ingénieurs des services des eaux, et à tous ceux que leurs fonctions appellent d'entretien d'un réseau municipal

Le Blue Brute est aussi en fonte ductile...mais

Le tuyau Blue Brute peut non seulement encaisser les mêmes coups que les autres, mais encore il peut être facilement inséré dans toute canalisation existante en amiante-ciment ou en fonte ductile. Cela, moyennant des frais de manutention bien moins élevés.

De nos jours, le grand point d'interrogation dans le calcul de la plupart des systèmes de distribution d'eau, c'est le nombre d'heures nécessaires au transport, à la manutention et à l'installation des tuyaux. Dans la plupart des cas, à diamètre équivalent, le tuyau Blue Brute de classe 150, en CPV, coûte moins à installer que les tuyaux en amiante-ciment et en fonte ductile. Voici pourquoi:

1. Il est plus léger que les autres types de tuyaux. Par conséquent, il faut moins d'hommes et moins de temps pour le transport et l'installation.
2. Il est livré en plus longues sections que les autres types de tuyaux. Par conséquent, on

dirigeants de compagnies de services publics à contrôler les coûts d'installation et de distribution d'eau.

résistant que les tuyaux tellement plus maniable!

peut installer une plus grande longueur de tuyaux en moins de temps, et avec moins de joints pouvant être sujets à des fuites.

3. Il se pose exactement comme les autres types de tuyaux. Par conséquent, on ne perd pas de temps à réentraîner le personnel.

4. Son coefficient d'écoulement très élevé et le fait qu'il ne se corrode pas réduisent les frais de pompage et d'entretien. Au cours des années, vous épargnerez temps et argent. Voilà pourquoi votre intérêt vous commande d'examiner le tuyau Blue Brute de J-M. Un tuyau solidement avantageux.

JM

Johns-Manville

CARNET

CHOLETTE, Albert, McGill '42, a reçu le prix R.S. Jane décerné par la Société canadienne de génie chimique. Ce prix est accordé à une personne ayant accompli des réalisations exceptionnelles en génie chimique ou en chimie industrielle. Dans le cas du Dr Cholette, cette réalisation exceptionnelle se situe au niveau d'une analyse rationnelle des procédés d'agitation. On sait que le Dr Cholette est le principal artisan de l'implantation de l'enseignement du génie chimique au Québec. Le professeur Cholette œuvre au Département de génie chimique de l'Université Laval depuis 1943.

CUSSON, Jean-René, Poly '61, auparavant à l'emploi de la Cité de Saint-Hyacinthe à titre d'ingénieur des Services techniques, est maintenant à l'emploi de Pavages Maska Inc.

GARNEAU, Raymond, Laval '63, a été nommé au poste de Directeur des opérations de la compagnie Terratech Ltée, membre du groupe des entreprises SNC.

M. Garneau est un ingénieur géotechnicien qui s'est spécialisé en mécanique des sols et techniques de fondations ; parmi les grands projets auxquels il a travaillé, on compte des routes, ponts, barrages hydroélectriques et établissements industriels.

ZAIKOFF, Danielle W., Poly '67, vice-président de l'Ordre des Ingénieurs du Québec, a été nommée au poste d'ombudsman de l'Ordre pour une deuxième année consécutive. Mme Zaikoff, en sa qualité d'ombudsman, reçoit toutes plaintes que les membres veulent bien lui transmettre, notamment dans des cas spéciaux où ils craignent que leur nom soit connu. L'ombudsman est donc tenue au secret et elle se doit de protéger l'anonymat des plaignants.

RECTIFICATIF

CARNET L'INGÉNIEUR
No 302 — septembre 1974

LOISELLE, André A., Poly '60, en congé sans solde de l'École Polytechnique, est présentement à l'emploi du bureau Lalonde, Girouard, Letendre et Associés, ingénieurs-conseils. Il y est responsable de la mécanique des sols, plus particulièrement en rapport avec un projet relié au développement de la rivière La Grande, et dont M. H.K. Pratt, autrefois ingénieur en chef de l'Hydro B.C., en est le directeur.

EN BREF

CORPORATION DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Mlle Juliette Barcelo

Au cours du mois d'août 1974, le Conseil de l'Université de Montréal nommait Mlle Juliette Barcelo au poste de Secrétaire général de l'Université pour succéder à M. Jacques Girard, récemment nommé sous-ministre adjoint au ministère de l'Éducation du Québec.

De par ses nouvelles fonctions, Mlle Barcelo devient membre de la Corporation de l'École Polytechnique de Montréal ainsi que de son Conseil d'administration.

Diplômée en droit de l'Université de Montréal et admise au Barreau du Québec en 1956, elle s'inscrivit ensuite à l'Université d'Oxford où elle obtint un B.A. et une maîtrise (Phylosophy, Politics, Economics).

Après avoir travaillé au ministère fédéral de la Citoyenneté et de l'Immigration, puis au ministère des Affaires culturelles du Québec, Mlle Barcelo fut nommée adjoint au Secrétaire général de l'Université de Montréal en 1966, puis directeur du Service du personnel enseignant, poste qu'elle occupa durant six ans avant sa nomination récente.

M. Emeric G. Léonard, ing.

Le Conseil d'administration de l'Association des Diplômés de Polytechnique a adopté, à l'unanimité des membres présents à l'assemblée régulière du 15 août dernier, une résolution désignant M. Emeric G. Léonard, ing., comme membre de la Corporation de l'École Polytechnique de Montréal, ainsi que de son Conseil d'administration pour un mandat de quatre ans, à compter du 1er septembre 1974.

Diplômé en génie civil de l'École Polytechnique en 1952, M. Léonard possède une vaste expérience dans le domaine des grands travaux routiers. Il a à son crédit des réalisations de projets d'envergure à travers la province.

En plus de ses responsabilités de directeur de la section des terrassements, ponts et structures et projets spéciaux de la compagnie Bau-Val Inc., M. Léonard est chargé de cours à l'École Polytechnique depuis 1968 et membre de plusieurs associations professionnelles, dont l'Ordre des Ingénieurs du Québec, l'Association Québécoise des Techniques Routières, la Chambre de Commerce de Montréal et membre actif de l'Association et de la Fondation des Diplômés de Polytechnique.

Les membres du Conseil d'administration de l'Association des Diplômés de Polytechnique désirent remercier M. Léonard pour le magnifique travail accompli depuis de nombreuses années, et sont assurés que ce dernier contribuera à perpétuer et même à raffermir les bonnes relations qui existent entre l'École Polytechnique et l'Association.

C'est un "spécial" pour vous...

mais pas nécessairement un "spécial" pour Hammond!

Tel transformateur ne vous est pas familier ou il est du genre inédit, mais vous pouvez compter sur l'expérience acquise dans la fabrication de 108,000 modèles.

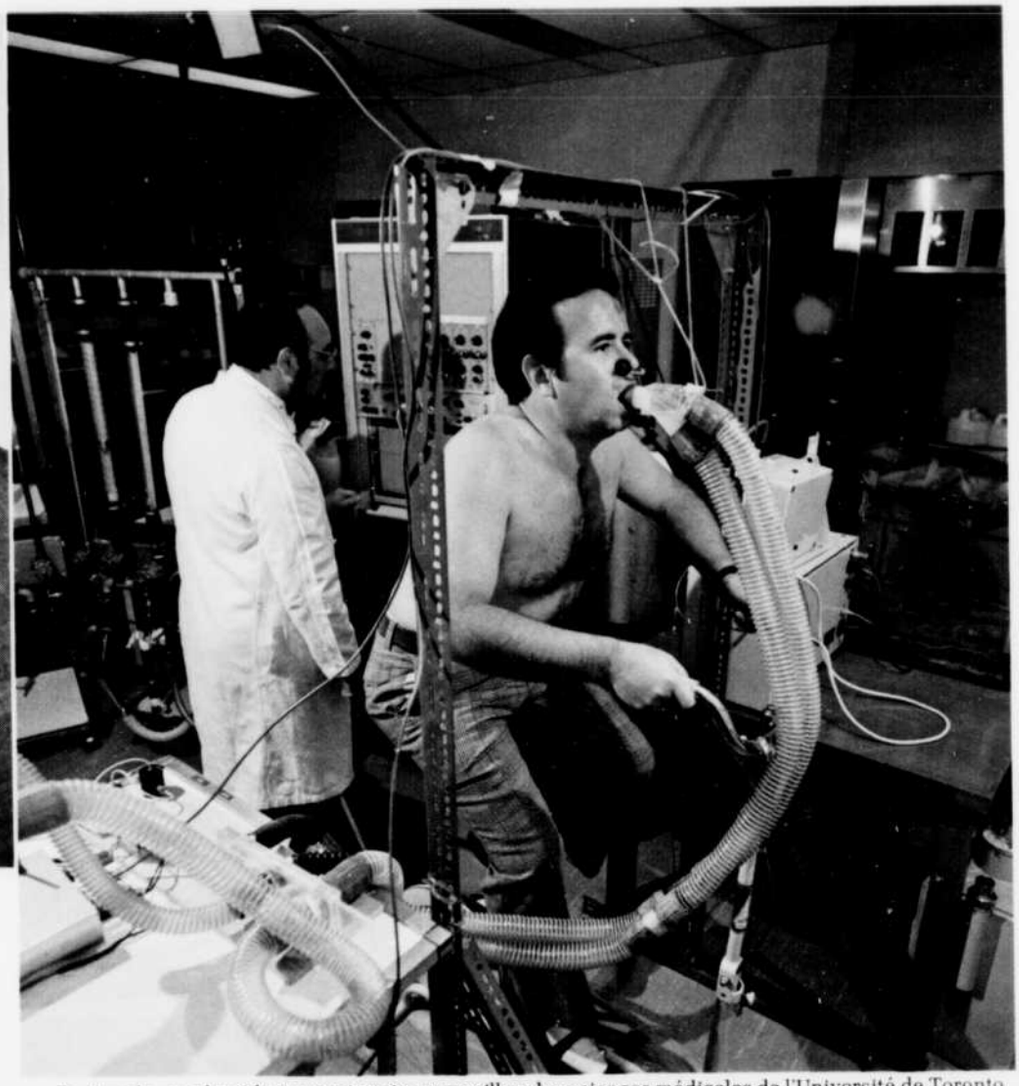
Hammond fabrique sur commande des noyaux et des bobines de quelques milliwatt à plus de 500 KVA. Les « spéciaux » sont habituellement des composantes d'un équipement original, mais il y en a d'autres en usage dans le contrôle des procédés, les appareils de mesure et une foule d'applications inusitées. La fabrication standard coûte moins, mais les commandes uniques et les prototypes comportent également des avantages économiques, en raison de notre expérience de concepteur. S'il vous faut un matériel que nos vendeurs attitrés n'ont pas et qui ne soit pas inscrit dans nos catalogues, veuillez communiquer directement avec la manufacture.

HAMMOND

HAMMOND MANUFACTURING COMPANY LIMITED • GUELPH, ONTARIO

CC/74/A2

M. Lloyd McChesney, originaire de Sudbury a suivi les cours de la Sudbury Mining and Technical School, puis ceux de Ryerson Institute of Technology où il a obtenu en 1957 un diplôme en Commerce qui lui permit de joindre immédiatement les rangs de Bechtel Canada à Toronto. Ses différents postes l'ont amené à résider à Calgary auprès de l'Alberta Gas Trunk Line; à Melbourne, en Australie, et dans le Pacifique Sud dans le cadre du projet de cuivre à Bougainville. Dans le Groënland enfin, où il s'occupa du projet Greenex. Son port d'attache est Edmonton où il assume principalement les fonctions de directeur des services administratifs et du personnel du projet de sables bitumineux de la Syncrude Canada. Lloyd est marié et père de trois enfants.



Recherche en physiologie respiratoire au pavillon des sciences médicales de l'Université de Toronto.

"Les carrières de médecin et d'ingénieur ont beaucoup de points en commun"

déclare M. Lloyd McChesney, chef de service chez Bechtel au projet d'aménagement du pavillon des sciences médicales de l'Université de Toronto. "Chaque profession, précise-t-il, est basée sur des données scientifiques. La touche personnelle de chaque individu l'enrichit et la met en valeur".

La construction du pavillon des sciences médicales illustre bien cette approche créatrice face aux délais "impossibles" à réaliser et aux problèmes "insurmontables" qui sont survenus. Des grèves, des "lockouts", et des litiges interminables ont plusieurs fois paralysé les activités de différents corps de métier sur les chantiers. Des problèmes d'insuffisance d'équipement et des ennuis causés par les retards dans la livraison des dits équipements ont gêné le travail des fournisseurs. La planification nous a permis de prévoir les difficultés et d'apporter des modifications mineures aux devis. L'unification des services d'ingénierie, de fourniture et de construction a permis de minimiser la portée de ces problèmes. Le projet n'a pas dépassé le budget établi. Certaines parties de l'édifice furent terminées, livrées et utilisées un an avant la date prévue par l'échéancier.

Les livres et les règles à calcul forment le squelette de la construction et de l'ingénierie au Canada. L'esprit de création, l'ingéniosité et une administration vraiment professionnelle donnent à ce squelette les muscles qui l'animent.

BECHTEL

CANADA 1949-1974

CANADIAN BECHTEL LIMITED

Concepteurs / Constructeurs / Directeurs de travaux

Montréal Toronto Edmonton

74/A2

EUR

LA GÉNÉRATION ET L'ANALYSE DE LA HOULE IRRÉGULIÈRE EN LABORATOIRE

par Yvon Ouellet, ing., D.Sc.

Notice biograhique :

M. Yvon Ouellet, ing., *diplômé en génie civil de l'Université Laval, a obtenu un doctorat de la même institution en 1967. Après avoir fait un stage d'un an d'études post-doctorales à l'Université Berkeley, Californie, en hydraulique maritime, M. Ouellet enseigne à l'Université Laval et y poursuit ses recherches dans ce domaine depuis 1969. Il est présentement professeur agrégé et directeur adjoint du département de génie civil.*

Introduction

La simulation en laboratoire de la houle a longtemps été l'une des préoccupations majeures de l'ingénieur maritime. Jusqu'à ces dernières années et encore aujourd'hui, la pratique courante consiste à générer une onde harmonique simple, représentation d'une hauteur et d'une période caractéristiques de la houle. Ceci a fait suite naturellement aux méthodes principalement utilisées pour analyser la houle qui conduisent à tirer les valeurs les plus représentatives de l'amplitude et de la période.

Une méthode d'analyse plus récente, mise au point par les ingénieurs en communication pour l'analyse du bruit, a été appliquée avec succès au domaine de la houle. Cette méthode, dite d'analyse spectrale, remonte pratiquement à la seconde guerre mondiale même si ses bases ont une origine plus lointaine, vers la fin du 18e siècle avec les séries de Fourier, nommées d'après le physicien français du même nom. L'analyse spectrale de la houle consiste essentiellement en une méthode plus convenable de représenter les conditions de la surface d'eau en un point donné ou en un instant donné.

Génération de la houle

Avant d'attaquer le problème de la génération de la houle proprement dit, il apparaît approprié de faire un rappel des principales méthodes employées pour déterminer les paramètres caractérisant la hauteur et la période de la houle. Les méthodes les plus utilisées sont celles du passage par zéro, de S-M-B et de P-N-J.

Méthode du passage par zéro

La méthode du passage par zéro, bien connue dans la littérature anglo-saxonne comme « Zero Crossing Method », permet d'obtenir par un simple calcul à la main des paramètres statistiques appropriés pouvant être obtenus à partir d'enregistrements de houle et plus tard utilisés dans la conception des ouvrages maritimes. En comptant le nombre de crêtes et le nombre de fois que le niveau d'eau traverse la ligne moyenne dans une direction donnée et en mesurant les amplitudes des plus hautes crêtes et des plus bas creux, on arrive à définir les grandeurs caractéristiques de la houle appartenant à un enregistrement donné.

Méthodes SMB et PNJ

D'autres méthodes du type semi-empiriques sont utilisées pour prédire les caractéristiques des ondes générées par le vent. C'est le cas par exemple de la méthode de l'onde significative développée par Sverdrup, Munk et Bretschneider et de la méthode du spectre d'ondes développée par Pierson, Neumann et James. Selon les auteurs, ces méthodes, qui sont communément appelées S-M-B et P-N-J, servent à prédire la hauteur et la période significatives des lames à partir de données météorologiques comme celles fournies par les cartes synoptiques. La hauteur significative, qui est définie comme la valeur moyenne du tiers supérieur des hauteurs de toutes les lames, correspond pratiquement à celle qui est observée visuellement. Sa période correspondante est alors appelée la période significative. Les facteurs principaux qui interviennent alors pour la génération des ondes sont la vitesse du vent, la longueur du fetch, la durée de la tempête et la profondeur d'eau. Ces deux méthodes sont basées sur des données empiriques ; toutefois, la méthode du spectre d'ondes,

qui utilise l'énergie de la houle comme référence, permet en plus d'obtenir la distribution statistique des ondes.

Générateurs de houle régulière

En parallèle avec cette description simple de l'état de la mer, on a alors mis au point des appareils pour générer artificiellement en laboratoire ces paramètres sous forme d'onde sinusoïdale. C'est le cas par exemple des types d'appareils bien connus tels que les volets souples à simple et à double articulation, les batteurs à piston, les plongeurs... On a aussi utilisé d'autres appareils spéciaux tels que les batteurs serpents, les rouleaux excentrés, les cylindres elliptiques, les roues et les cylindres à palettes, des appareils pneumatiques... On trouvera dans les articles de Biésel et Suquet une description détaillée de ces types d'appareils. Par une simple variation de la fréquence du moteur animant le mouvement et de la position appropriée de bielles, il est alors possible de changer les caractéristiques de la houle régulière générée.

Générateurs de houle irrégulière

Toutefois, ce moyen de procéder s'est avéré insuffisant dans plusieurs circonstances pour décrire les conditions complexes de l'état de la mer. On s'est alors concentré et cela principalement à partir des années 1960 à scruter de plus en plus en détail les complexités de la houle en nature et ainsi simuler ces ondes en laboratoire.

Cette méthode d'analyse, qui fut d'abord élaborée pour les travaux en télécommunications, a été par la suite appliquée avec succès à la houle. Une telle méthode, que l'on désigne comme l'analyse des spectres de puissance ou tout simplement comme l'analyse spectrale, consiste à exprimer la puissance où l'énergie moyenne présente dans le processus en fonction de la fréquence. Un spectre d'ondes présentement très utilisé en pratique est, comme nous l'avons vu, celui obtenu par Pierson, Neumann et James, lequel est basé sur la fonction de distribution statistique des amplitudes de Rayleigh telle que proposée par Longuet-Higgins.

Parallèlement à cette description, plusieurs laboratoires se sont alors équipés d'appareils pouvant générer des houles de forme plus complexe qu'une onde sinusoïdale. Il apparut d'abord tout naturel de conserver les mêmes types d'appareils que précédemment mais d'animer ceux-ci d'un mouvement plus ou moins irrégulier. Il vint d'abord à l'idée d'enregistrer le mouvement des vagues en nature comme par exemple sur bande magnétique et d'utiliser ce signal comme excitation pour le mouvement du batteur à houle. Il s'est avéré toutefois que ce moyen n'était pas suffisamment flexible pour nous permettre de faire varier sur une gamme suffisamment étendue les différents types de spectres à générer.

Générateur de houle de l'Université Laval

On s'est alors tourné vers l'utilisation de mécanismes spéciaux pour animer le batteur d'un mouvement approprié. C'est ce genre d'appareil construit par la compagnie allemande Kempf & Remmers dont dispose le laboratoire d'hydraulique de l'Université Laval et pour lequel nous allons faire une description plus détaillée. Il est conçu de telle façon qu'il est possible par une simple transformation de lui faire jouer le rôle allant du volet à simple articulation jusqu'au batteur à piston (figure 1).

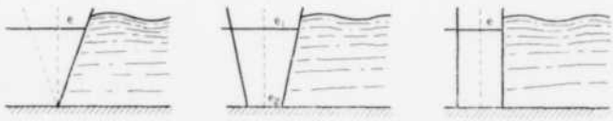


Figure 1 — Types de déplacement du batteur à houle.

Il y a trois positions disponibles pour chacune des bielles supérieures et inférieures, ce qui donne en tout neuf configurations possibles. Mais on utilise du point de vue pratique seulement les trois dispositions montrées à la figure 1, lesquelles simulent respectivement le mouvement orbital des particules en eau profonde, de profondeur intermédiaire et peu profonde tel que montré à la figure 2.

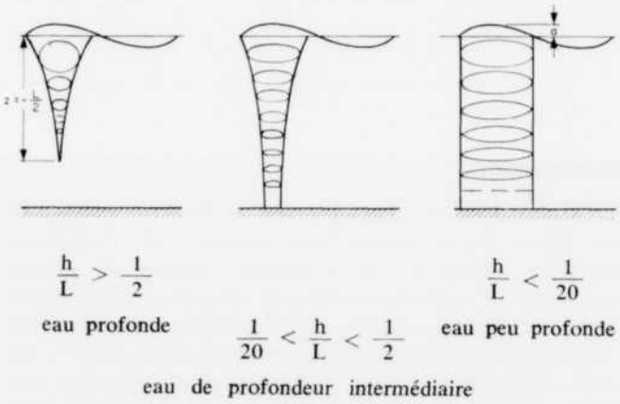


Figure 2 — Mouvements orbitaux des particules.

Le mouvement du batteur est réglé par une unité de contrôle dont le principe d'opération est basé sur la superposition de composantes harmoniques, leurs fréquences étant reliées entre elles suivant un rapport donné. Le schéma d'opération est montré à la figure 3. Celui-ci consiste principalement en un déplacement de l'extrémité d'un mince ruban d'acier qui est enroulé autour de chacune des composantes dont il est possible d'ajuster l'amplitude et le déphasage. L'ajustement de l'amplitude se fait au moyen d'un déflectomètre tandis que celui de la phase se fait directement à l'aide d'un cadran. Il est possible de faire varier la fréquence de toutes les harmoniques mais leurs fréquences relatives demeurent toujours dans un rapport constant. Le déplacement de l'extrémité du ruban est par la suite traduit en signal électrique, lequel est acheminé vers

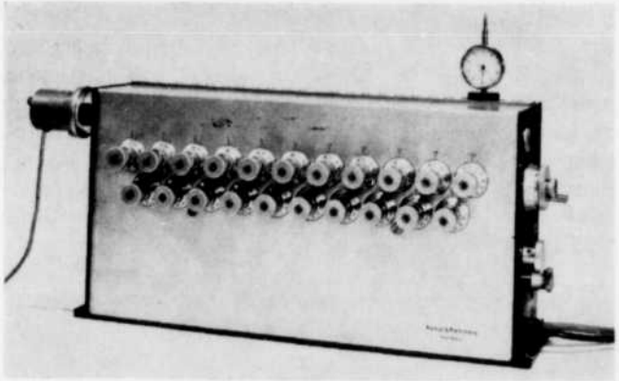


Figure 3a — Unité de contrôle — vue avant.

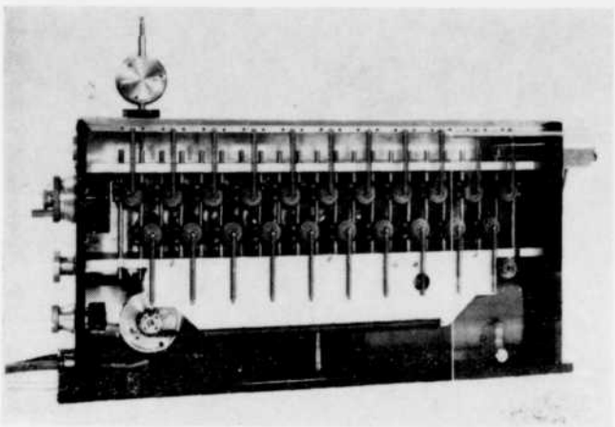


Figure 3b — Unité de contrôle — vue arrière.

Figure 4 — Ensemble volet, système de bielles et piston hydraulique du batteur à houle.

un piston hydraulique, ce dernier transmettant son mouvement au batteur proprement dit (figure 4).

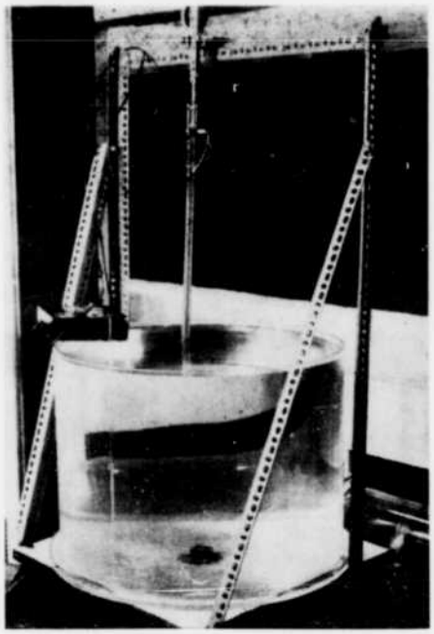
La flexibilité de générer un spectre désiré est toutefois obtenue au prix de ne pouvoir réaliser qu'un spectre discret. En effet, il en résulte que le spectre réel est simulé par un spectre dont l'énergie est concentrée à des valeurs particulières de la fréquence. C'est un problème dont il faut tenir compte lors de l'interprétation des résultats.

Analyse de la houle

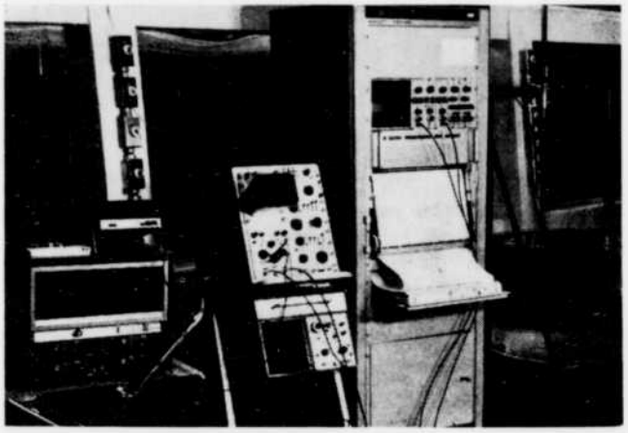
Une fois générées, les variations du niveau d'eau doivent faire l'objet de mesures. En effet, dans le cas de la houle régulière il existe des relations théoriques entre la course du batteur et l'amplitude de la houle générée en fonction de la profondeur d'eau et de la période pour les principaux types de batteurs mentionnés précédemment [1, 2]. Pour simuler la houle irrégulière, il est possible d'utiliser le principe de superposition linéaire [3] pour déterminer le spectre de courses du batteur en fonction de la fréquence du signal et déduire ainsi une courbe d'étalonnage ou plus précisément la fonction de transfert du système. Cependant à cause de la non-linéarité du phénomène et de la présence de bruits externes, il est dicté de procéder à des mesures de niveaux d'eau.

Des jauges de niveau du type résistance ou du type capacité sont les plus couramment utilisées pour effectuer de telles mesures. Celles-ci sont constituées principalement de deux tiges conductrices isolées l'une de l'autre et reliées à un enregistreur par l'intermédiaire d'un pont. Un système type de mesures de niveaux d'eau est montré à la figure 5. On peut suivre l'évolution du profil de surface à l'aide d'un enregistrement sur papier, mais il s'avère plus pratique, spécialement pour la houle irrégulière, de produire un enregistrement analogique du type FM sur bande magnétique. Comme nous le verrons ci-après, les données peuvent alors être acheminées vers l'ordinateur par l'intermédiaire d'un convertisseur analogique digital.

Avec l'avènement des ordinateurs et en raison de leur grande rapidité, l'analyse des signaux se fait en grande partie par voie numérique. Pour cela, on peut écrire un programme dans un certain langage qui permet de traiter des données qui lui sont annexées. La discrétisation des données et l'enregistrement de cette information sur un support donné, tel que sur des cartes perforées, sur bande de papier ou magnétique, nécessitent cependant un travail énorme. Pour cette raison, différents systèmes furent mis au point en vue de faciliter l'acquisition et le traitement des données et de rendre ainsi l'analyse des signaux une tâche de routine. C'est ce genre d'appareil, dit analyseur de Fourier et acquisition récente des laboratoires du département de Génie civil de l'Université Laval, que nous allons décrire plus en détail.



Jauge de niveau



Appareillage pour l'enregistrement des niveaux d'eau

Figure 5 — Système de mesures des niveaux d'eau.

Analyseur de Fourier

Cet analyseur de Fourier a été conçu par la compagnie Hewlett-Packard et porte le numéro de série HP-5451A [4]. La figure 6 montre une vue d'ensemble du système. Le système de base comprend un ordinateur (2100A) ayant une mémoire principale dont la taille peut varier de 4,096 à 32,768 mots, un convertisseur analogique-digital (5465A) avec deux canaux d'entrée, un pupitre de commande (5475A) composé de touches qui correspondent à certaines opérations, une unité d'affichage avec son unité de contrôle (5460A) qui donne la possibilité de visualiser rapidement les résultats obtenus et une machine à écrire (2752A) qui permet à l'opérateur de commander et de surveiller le déroulement du travail. Afin d'accroître la flexibilité et la rapidité du système, il est possible d'ajouter en option des unités d'entrée et de sortie telles qu'un lecteur (2748A) et un perforateur (2753B) rapides de bande de papier, une unité d'affichage graphique du type X-Y (7004B), une imprimante (2767A), des unités à bandes magnétiques (7970B) et à disques magnétiques (7900A). Un enregistreur analogique à bande magnétique du type FM (3960D) est très approprié pour enregistrer les signaux à basse fréquence avant de les acheminer dans l'ordinateur pour leur traitement éventuel. Il est aussi possible de simuler des signaux appropriés à l'aide d'un générateur de fonctions (3300A) couplé avec un générateur de bruit (3722A).

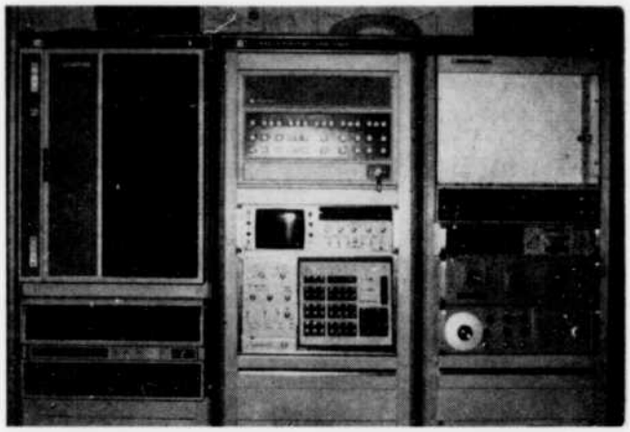


Figure 6 — Vue d'ensemble du système de l'analyseur de Fourier.

Sans oublier l'ordinateur qui constitue le cœur du système, les opérations sont manipulées par l'intermédiaire du pupitre de commande, du convertisseur analogique-digital et de l'unité d'affichage (figure 7). Les signaux analogiques sont normalement dirigés vers l'ordinateur par le convertisseur analogique digital. L'appareil permet l'entrée de deux signaux simultanés dans le but de pouvoir effectuer des opérations croisées. En ajoutant un multiplexeur, il serait possible d'aller jusqu'à 32 canaux.

Il existe trois types de contrôle sur le convertisseur analogique-digital (figure 7). Ce sont les contrôles d'échantillonnage, de signaux d'entrée et de synchronisation. Les paramètres d'échantillonnage peuvent être choisis suivant deux modes donnés c'est-à-dire en fixant la fréquence maximale ou le temps entre les échantillons ou alternativement en spécifiant la résolution dans le domaine des fréquences ou la longueur totale de l'enregistrement. On peut analyser des signaux qui possèdent des fréquences allant jusqu'à 25 k Hz. On peut entrer des signaux variant de ± 0.1 volt à ± 10 volts, tandis que la synchronisation peut se faire de façon interne, externe, libre ou sur la ligne.

À chaque opération, les résultats apparaissent sur un écran cathodique. Cette unité d'affichage (figure 7) est composée d'un écran cathodique relié à un affichage digital du facteur d'échelle, de l'axe vertical des résultats, le tout sous le contrôle de manettes qui permettent un choix varié de la présentation des résultats. Cette unité peut être reliée à un enregistreur X-Y afin de conserver les résultats qui ont un certain intérêt.

Les opérations de l'analyseur sont effectuées par la simple pression de boutons auxquels correspondent des opérations de base. Une série d'opérations peu-

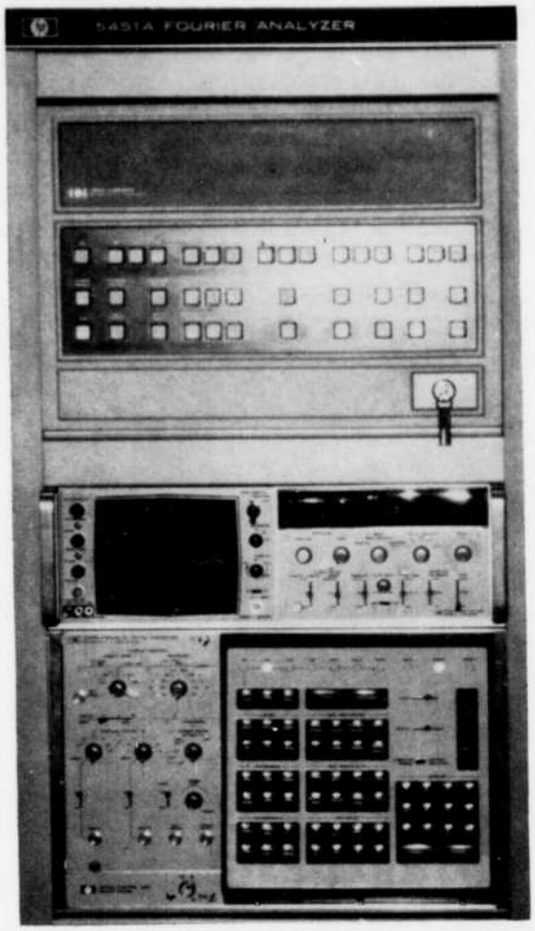


Figure 7 — Vue détaillée de l'ordinateur, du convertisseur analogique-digital, de l'unité d'affichage et du pupitre de commande.

vent être groupées ensemble et exécutées par la pression d'un seul bouton. C'est le pupitre de commande (figure 7) dont les touches sont rassemblées en groupes fonctionnels. Ce sont les commandes qui effectuent le transfert des données d'entrée et de sortie, la manipulation des données, des opérations arithmétiques, le traitement des données, la programmation, l'édition des programmes, sans oublier les commandes générales qui permettent de suivre et de contrôler les opérations du système.

Application à l'analyse de la houle de laboratoire

L'utilisation de l'analyseur de Fourier s'avère très utile pour l'analyse de la houle irrégulière générée en laboratoire. C'est le cas, par exemple, si on veut étudier l'influence du choix des paramètres pour l'analyse d'un enregistrement de houle. Ces paramètres sont principalement l'intervalle de discrétisation des données ($\triangle t$) qui est limité d'une part, par le coût du calcul et d'autre part, par le phénomène de recouvrement et la longueur de l'enregistrement T_r qui est limitée par la résolution que l'on veut obtenir dans le spectre de fréquences. D'autres paramètres intermédiaires viennent s'ajouter tels le nombre de points (N), la fréquence maximale ou la fréquence de Nyquist (F_{max}) et la résolution ($\triangle f$).

La présence de composantes déterministes peut être décelée à l'aide de la fonction d'autocorrélation :

$$R(\tau) = E\,[y(t)\,.\,y(t+\tau)]$$

$$= \lim_{T \to \infty} \frac{1}{T} \int_0^T y(t)\,y(t+\tau)\,dt \qquad (1)$$

où τ est le pas. D'autre part, on peut évaluer pour chaque bande de fréquences la contribution à l'énergie totale du signal à l'aide du spectre :

$$S_{xx}(f) = X(f)\,.\,X^*(f) \qquad (2)$$

où X (f) est la transformée de Fourier de x (t) :

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)\,e^{-i2\pi ft}\,dt \qquad (3)$$

avec :

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(f)\,e^{i2\pi ft}\,df \qquad (4)$$

et X*(f) est le complexe conjugué de X(f). Ces formules s'appliquent pour l'analyse d'un seul enregistrement, tel est le cas d'un processus stochastique stationnaire et ergodique.

Fonction de transfert d'une structure

Une autre application intéressante du système consiste à déterminer la relation qui existe entre les caractéristiques de la houle incidente et celles de la houle transmise au-delà d'une structure donnée. Pour cela, nous avons divisé le canal à houle en deux sections, l'une de 42 pouces et l'autre de 30 pouces, tel que montré à la figure 8. La section avant la plus large contenait les montages utilisés qui sont montrés sur la figure 9. Ceux-ci représentent deux types de brise-lames : l'un, une barrière fixe qui se rapproche d'un modèle mathématique et l'autre, un brise-lames flottant en forme de « A » qui semble vouloir donner des résultats intéressants. La section arrière servait pour mesurer la houle incidente (point 1) tandis que la houle transmise a été mesurée en arrière de la structure dans la section avant (point 2). Afin d'éliminer le plus possible les problèmes causés par la réflexion multiple, le canal est muni d'un amortisseur de houle à son extrémité aval et d'un filtre à houle entre le batteur à houle et la structure soumise aux conditions d'essais.

En fait, le problème peut être schématisé par un système physique souvent appelé « boîte noire », qui est soumis à une excitation donnée x(t) qui en sort transformée en y(t) (figure 10). Dans le cas présent, l'excitation est représentée par la houle incidente tandis que la réponse consiste en la houle transmise. Si l'on connaît les caractéristiques du système, on peut alors déterminer les caractéristiques de la réponse si ce dernier est soumis à une excitation donnée. D'un autre côté, on peut déterminer les caractéristiques du sys-

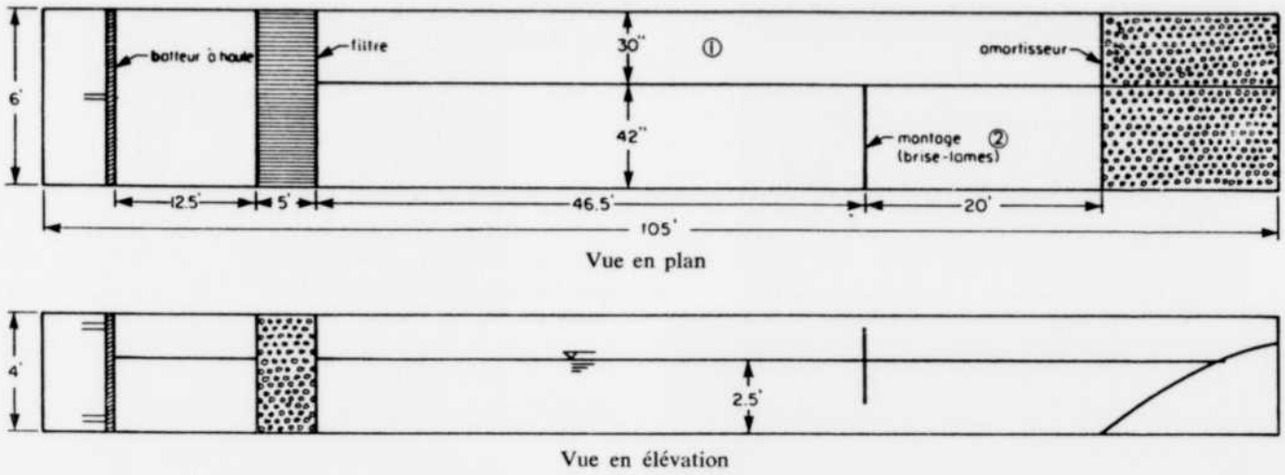


Figure 8 — Schéma du canal à houle.

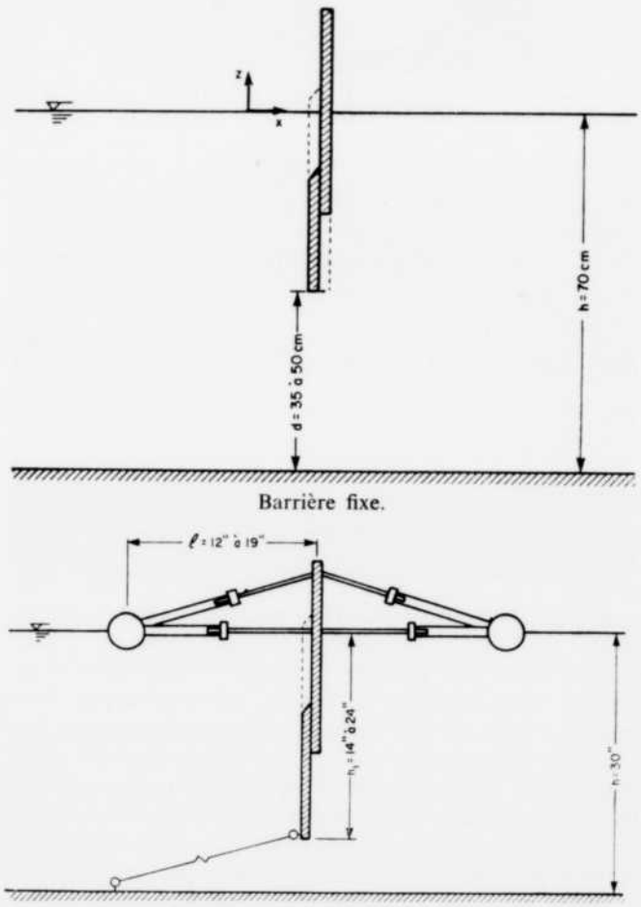


Figure 9 — Schémas des montages utilisés.

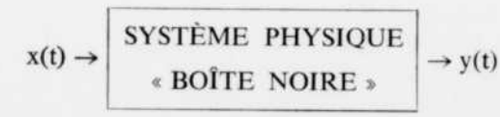


Figure 10 — Schématisation d'un système physique.

tème en mesurant les caractéristiques de l'entrée et de la sortie sans connaître ce qui se passe à l'intérieur du système d'où le qualificatif de « boîte noire ». C'est cette dernière façon de procéder que nous avons utilisée pour déterminer les caractéristiques de la structure.

Pour caractériser un système, on utilise couramment la fonction de transfert [5], dénotée ici par H(f), f désignant la fréquence en Hz. Cette fonction représente la relation entre les signaux d'entrée et de sortie ou plutôt la relation entre les transformées de Fourier de ces deux fonctions, c'est-à-dire :

$$H(f) = \frac{Y(f)}{X(f)} \qquad (5)$$

où X(f) et Y(f) sont respectivement les transformées de Fourier de x(t) et y(t). En fait, on sait que la fonction de transfert est la transformée de Fourier de la réponse impulsionnelle h(t), qui représente la réponse d'un système soumis à une impulsion unitaire. Ces expressions sont limitées à une classe importante de systèmes dits linéaires et indépendants du temps qui sont faciles à étudier et qui peuvent représenter avec une approximation satisfaisante un très grand nombre de systèmes physiques.

En pratique, l'évaluation de la fonction de transfert se détermine à partir des fonctions de densité spectrale :

$$H(f) = \frac{S_{yx}(f)}{S_{xx}(f)} = \frac{Y(f) \,.\, X^*(f)}{X(f) \,.\, X^*(f)} \qquad (6)$$

où X*(f) est le complexe conjugué de X(f) et $S_{yx}(f)$ la fonction de densité spectrale croisée de y par rapport à x. Ce moyen de procéder permet de conserver l'information sur la phase sans avoir à synchroniser les deux signaux d'entrée et de sortie.

Afin de mesurer la cohérence entre les deux signaux ou jusqu'à quel point on peut se fier à la fonction de transfert, on utilise une nouvelle quantité, dite fonction de cohérence, et définie par :

$$\gamma^2(f) = \frac{|\, S_{yx}(f) \,|^2}{S_{yy}(f) \,.\, S_{xx}(f)} \qquad (7)$$

qui a une valeur réelle égale ou inférieure à l'unité. Une valeur égale à l'unité indique une parfaite corrélation tandis qu'une valeur nulle implique le con-

traire. Dans le cas où la fonction de cohérence est nulle pour toute valeur de la fréquence, les variables x(t) et y(t) sont dites statistiquement indépendantes, tandis que pour une valeur unité, on a alors une cohérence complète. Cette fonction s'avère donc très utile pour détecter s'il y a correspondance directe entre la sortie et l'entrée, c'est-à-dire si la sortie n'est pas influencée par la présence de bruits externes ou par la non-linéarité du système.

Les figures 11 et 12 montrent des exemples d'enregistrements obtenus en simulant à l'aide du générateur de houle un spectre de Neumann [6].

$$S(\omega) = 16.4\,\pi\,\omega^{-6}\,e^{-\frac{2g^2}{U^2\omega^2}} \qquad (8)$$

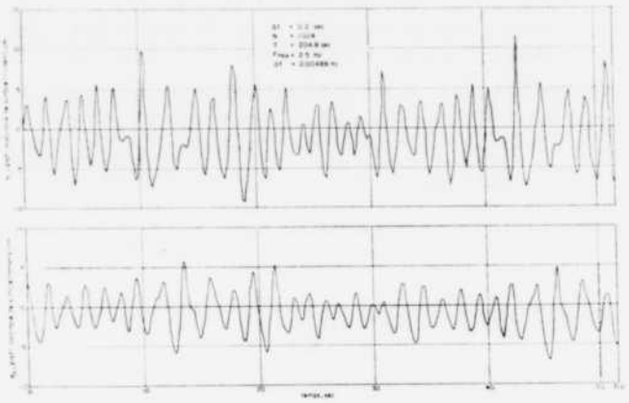


Figure 11 — Enregistrement des niveaux d'eau : barrière fixe. (Spectre de Neumann)

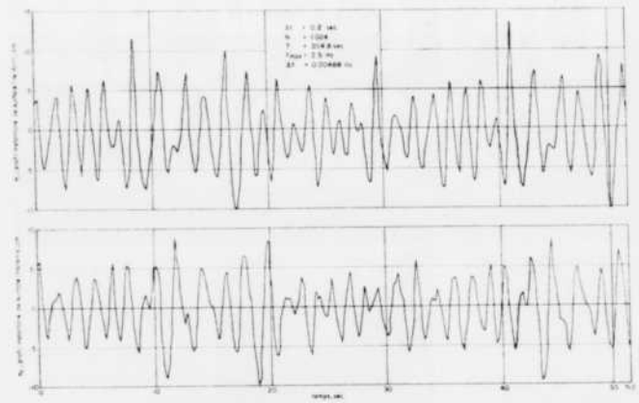


Figure 12 — Enregistrement des niveaux d'eau : brise-lames flottant en forme de « A ». (Spectre de Neumann)

où ω est la fréquence en rad./sec, U la vitesse du vent en pi/sec et g l'accélération due à la gravité en pi/sec². On a alors reproduit à l'échelle de 1:16 un spectre représentant une hauteur de houle significative de 15 pi. Comme l'équation précédente est établie en fonction de la vitesse du vent, nous avons utilisé la relation entre la vitesse du vent et la hauteur significative telle que proposée par Neumann.

La figure 11 présente les résultats obtenus avec une barrière fixe où la distance libre sous l'eau était de 45cm tandis que la figure 12 montre les résultats correspondants obtenus sur un brise-lames flottant en forme de « A » où la hauteur submergée était de 24 po et l'écartement entre les deux flotteurs de 19 po. Les autres caractéristiques sont les mêmes que celles indiquées à la figure 9. Sur chaque figure apparaissent les enregistrements des niveaux d'eau de la houle incidente et de la houle transmise.

Les figures 13 et 14 montrent respectivement pour chaque cas les valeurs calculées du spectre de la houle incidente (S_I), du spectre de la houle transmise (S_T), de la fonction de transfert (partie réelle) [H(f)] et de la fonction de cohérence [γ^2(f)]. On peut noter avec intérêt la représentation discrète des spectres. Un examen rapide des résultats nous permet de constater que les houles possédant une fréquence supérieure à une valeur donnée sont presque complètement réfléchies par la barrière fixe ; cette discontinuité n'apparaît pas pour le brise-lames flottant. À partir de ces résultats, il est alors possible de déterminer l'efficacité des différentes structures soumises à des spectres de houles dont les caractéristiques sont différentes.

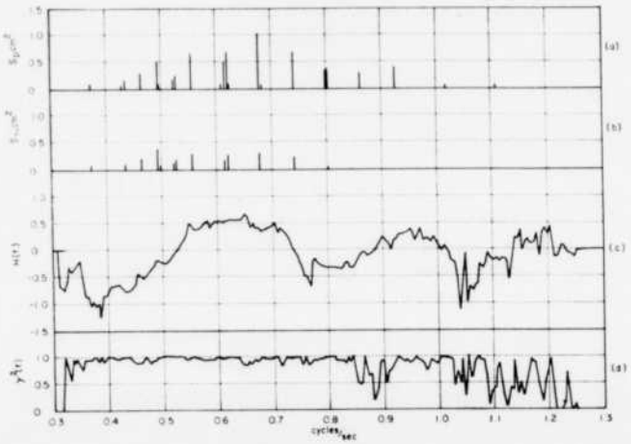


Figure 13 — Houle irrégulière, barrière fixe : spectre de Neumann.

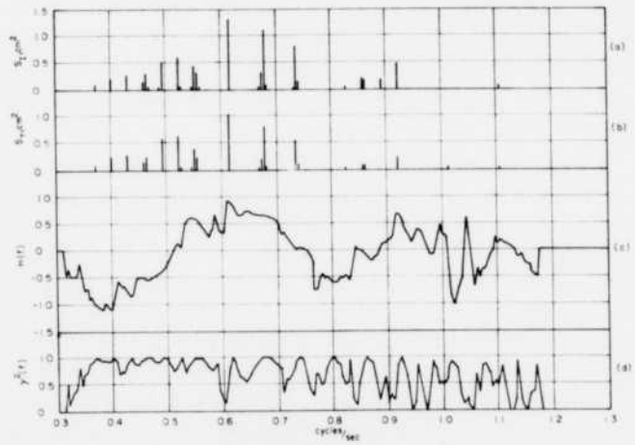


Figure 14 — Houle irrégulière, brise-lames flottant en forme de « A » : spectre de Neumann.

Conclusion

Nous avons révisé dans le présent article les moyens de simuler en laboratoire les phénomènes de houle ainsi que la façon dont les résultats sont soumis à leur

analyse. C'est pour l'ingénieur maritime un domaine important qui se reflète à plusieurs autres domaines de la science, tels qu'en physique, biologie, médecine, économie... C'est le cas, par exemple, des systèmes de communications, des systèmes de contrôle, des vibrations de structure, des bruits acoustiques, des forces de vent, des tremblements de terre, des données hydrologiques, des données bio-médicales... sans oublier le sujet dont fait mention le présent article.

Jusqu'à récemment, les méthodes d'analyse des signaux étaient surtout orientées vers le côté déterministe. Il ne sera désormais plus suffisant de se contenter dans le futur d'une synthèse déterministe des phénomènes mais il faudra chercher de plus en plus à en déterminer les caractéristiques statistiques. Le système que nous avons décrit permet alors un tel genre d'analyse pour les signaux de basse fréquence, c'est-à-dire allant jusqu'à 25 k Hz. Il est toutefois présentement possible, en modifiant le convertisseur analogique-digital, de prendre quatre signaux simultanément ayant des fréquences jusqu'à 100 k Hz.

Nous n'avons présenté dans cet article que des résultats sommaires de l'application de l'analyse spectrale à l'analyse de la houle aléatoire générée en laboratoire. Ces résultats font partie d'un programme plus élaboré qui est subventionné par le Conseil national de Recherches où nous avons étudié l'efficacité de différentes structures soumises à l'attaque de la houle irrégulière comparativement à la houle régulière. Dans cette étude, on a simulé, en plus du spectre de Neumann, d'autres spectres tels que ceux de Bretschneider[7], Moskowitz[8] et Scott[9].

Le problème posé par la génération de la houle irrégulière en laboratoire demeure un sujet où il y a encore beaucoup de place pour l'amélioration. Le générateur de houle que nous avons décrit possède un grand nombre d'avantages qu'il vaut de rappeler. En plus de la possibilité de lui faire jouer le rôle allant du volet au piston, cet appareil est surtout caractérisé par sa flexibilité à simuler différents types de spectre de houle. Cependant les fonctions du générateur sont limitées par la discrétisation des fréquences et aussi par le fait que le processus obtenu est plus ou moins aléatoire.

Plusieurs chercheurs se penchent présentement sur cette question. Le système qui semble offrir le plus de promesses est d'utiliser l'ordinateur lui-même pour imprégner un déplacement irrégulier du batteur. Sommairement, le principe consisterait à générer à partir de fonctions de distribution données une suite de nombres aléatoires (ou pseudo aléatoires) et à utiliser ces nombres pour simuler le mouvement du batteur à houle et indirectement le phénomène irrégulier du déplacement de la surface d'eau. ■

BIBLIOGRAPHIE

1. BIESEL, F. et SUQUET, F. « *Les appareils générateurs de houle en laboratoire* », La Houille Blanche, mars-avril 1951.
2. URSELL, F., DEAN, R.G. et YU, Y. S. « *Force Small-Amplitude Water Waves a Comparison of Theory and Experiment* », Journal of Fluid Mechanics, No. 7, Pt 1, 1960.
3. GILBERT, G., THOMPSON, D.W. et BREWER, A.J. « *Design and Curves for Regular and Random Waves Generators* », Journal of Hydraulic Research, No. 2, Wallingford, England, 1971.
4. HEWLETT-PACKARD « *Fourier Analysis System Operation Manual* », Hewlett-Packard, Californie, 1973.
5. ROTH, P.R. « *Digital Fourier Analysis* », Hewlett-Packard Journal, juin 1970.
6. NEUMANN, G. « *On Ocean Wave Spectra and a New Method of Forecasting Wind-Generated Sea* », U.S. Army Corps of Engineers, Beach Erosion Board, Tech. Memo 43, Décembre 1943.
7. BRETSCHNEIDER, C.L. « *Wave Variability and Wave Spectra for Wind-Generated Gravity Waves* », U.S. Army Corps of Engineers, Beach Erosion Board, Tech. Memo 118, août 1959.
8. PIERSON, W.J. Jr, et MOSKOWITZ, L. « *A Proposed Spectral Form for Fully Developed Wind Seas Based on the Similarity Theory of S.A. Kitaigorodskii* », Journal of Geophysical Research 69, No. 24, December 1964, p. 5181-5190.
9. SCOTT, J.R. « *A Sea Spectrum for Model Tests and Long-term Ship Prediction* », Journal of Ship Research, Décembre 1965.

•

GRAND SUCCÈS DU TOURNOI DE GOLF DE L'A.D.P.

Sous un soleil magnifique, plus de 225 ingénieurs ont participé, le vendredi 9 août dernier, au tournoi de golf annuel de l'Association, au club de golf de Lachute. On comptait 350 personnes au buffet qui a clôturé la journée. À cette occasion, plusieurs trophées ont été distribués au mérite et de nombreux prix ont été offerts.

Remerciements :

Les membres du Comité organisateur du tournoi de golf, ainsi que les membres du Conseil d'administration de l'A.D.P. désirent remercier bien sincèrement tous les commanditaires qui, par leur généreuse contribution, ont permis d'offrir un tournoi de haute qualité.

Félicitations aux gagnants :

- Mme Jean-Jacques LEROUX
  (gagnante du trophée pour pointage brut — 50 pour 9 trous).
- M. Jacques ALEPIN, '62
  (gagnant du trophée pour pointage brut — 72).
- M. Bertrand BOUCHARD, '58
  (gagnant du trophée pour pointage net — 69.5).

M. Roger-P. Langlois, ing., directeur de l'École Polytechnique, présente à Mme Jean-Jacques Leroux le trophée réservé à la golfeuse ayant obtenu le meilleur pointage brut.

M. Raymond Parenteau, ing., président du comité du tournoi de golf 1974, présente à M. Jacques Alepin le trophée réservé au golfeur ayant obtenu le meilleur pointage brut.

M. J.-Bernard Lavigueur, ing., président et principal de l'École Polytechnique, présente à M. Bertrand Bouchard le trophée réservé au golfeur ayant obtenu le meilleur pointage net.

Liste des donateurs

VIN

ABBDL Inc.
Alta Construction (1964) Ltée
Beauchemin-Beaton-Lapointe Inc.
Cie Miron Ltée
D'Arcy, Maurice, I.C. — Naga Inc.
Hydro Semence Inc.
Quebec Engineering Ltd.
Western Caissons (Quebec) Ltd.

CADEAUX

A.S. Distributors Inc.
Armand Sicotte & Fils Limitée
Arsenault, Garneau, Villeneuve & Associés
Audy, Verreault & Associés
Banque Canadienne Nationale
Banque Provinciale du Canada
Bau-Val Inc.
Beaudry, Dupuis, Morin, Routhier & Associés
Beaver Foundations Limited
Bégin, Charland & Valiquette (1972) Limitée
Benta Contractors Ltd.
Bouthillette & Parizeau
Boutique Guy Gareau
Brasserie O'Keefe Limitée
Canadian Bechtel Limited
Chagnon Limitée
Cidrerie Deux-Montagnes Inc.
Ciments du Saint-Laurent
Compagnie Miron Limitée
Contrôle Technique Appliqué Limitée
Côté, Langlois et Gagné
Crane Canada Ltd.
Desjardins + Sauriol & Associés Ltée
Deslauriers, Mercier & Associés
Distillerie Meagher Limitée
Dominion Bridge Company, Limited
Dorval Builders Supplies Ltd.
Doucet & Doucet Ltée
Enveloppe Montréal Inc.
Équipement Piedmont Ltée
F. Vinet Inc.
Fiberglas Canada Ltd.
Francon
Franki Canada Limitée
Hewitt Équipement Limitée
J. Meloche Inc.
Inter State Paving Inc.
Janin Construction Ltée
Jean Avard (Canada) Ltée
Jean Séguin & Associés Inc.
Jenkins Bros. Limited
Labatt Brewery Limited
Laboratoire de Béton Ltée
Laboratoire d'Inspection & d'Essais Inc.
Labrecque, Vézina & Associés
Lalande, Tétrault & Associés
Lalonde, Valois, Lamarre, Valois & Associés, Inc.
Laurion Équipement Limitée
Leclair, Riel, Dionne & Associés
Léonard & Denoncourt
Les Entreprises P.H. Desrosiers Ltée
Les Estimateurs Professionnels
Les Laboratoires Industriels et Commerciaux Limitée
Les Laboratoires Ville-Marie Inc.
Les Constructions du Saint-Laurent Limitée
Lord & Cie Limitée
Louisbourg Construction Limited
Mark Hot Inc.
Mine Equipment Co. Ltd.
Mulco Inc.
Paul Dubé & Fils Ltée
Permacon Inc.
Pétrofina Canada Ltée
Philibert Bédard Limitée
Pierre DeGuise & Associés
Pierre Desmarais Inc.
Prud'homme & Frères Ltée
Raymond Matte & Fils Limitée
St-Amant, Vézina, Vinet, Brassard
Schenley Distilleries Ltd.
Simard-Beaudry Inc.
SNC Limitée
Société d'Ingénierie Shawinigan Limitée
Spino Construction Co. Ltd.
Stinson Fortier Limitée
Tests de Fondation Inc.
Thérien Frères (1960) Ltée
Trudeau, Gascon, Lalancette & Associés
Vincent Forgues Automobiles Inc.
Westinghouse Canada Limitée
York Division of Borg-Warner (Canada) Ltd.

Voici le programme Trane d'Air Climatisé Economique

Le premier programme d'analyse complet des aspects économiques/énergie/système

Ce programme TRANE d'Air Climatisé Economique (TRACE) est une étude unique et complète, formulée à l'ordinateur, afin de comparer la portée économique des systèmes de climatisation alternatifs, ainsi que les alternatives au point de vue d'architecture, d'énergie et d'utilisation d'édifice, sur le coût initial et le coût d'exploitation de l'édifice proposé. TRACE permet à l'ingénieur professionnel de fournir une étude économique de ces alternatives au propriétaire de l'édifice et selon des termes économiques comparatifs et spécifiques.

Le besoin d'un tel programme est reconnu.

Les seules études du coût initial ne suffisent plus. Plusieurs propriétaires d'édifices exigent maintenant des études économiques de tous les facteurs qui affectent leur investissement. Ils se rendent compte qu'une évaluation des coûts initiaux et des coûts d'exploitation est nécessaire pour découvrir l'unique combinaison de systèmes de climatisation, d'énergie et d'équipement, avec un coût d'exploitation et un coût initial, qui fournira au propriétaire de l'édifice le meilleur rendement pour qu'il atteigne les objectifs financiers qu'il s'est fixé pour son projet de construction.

Le coût de fonctionnement d'un système de chauffage et de climatisation peut représenter 25 pour cent du coût total d'exploitation d'un édifice. En optimisant le système de chauffage et de climatisation, il est possible de réduire jusqu'à 25 pour cent le coût d'énergie. Dans le cas d'édifices à profit, on peut donc parler d'une augmentation en bénéfice avant amortissement pouvant atteindre dix pour cent.

En outre, il est admis qu'il faut utiliser plus prudemment les ressources énergétiques et il est prévu que les coûts d'énergie continueront d'augmenter d'une façon substantielle. Actuellement, plus de 8 pour cent de l'énergie consommée au Canada sert au chauffage et à la climatisation.

Mais il était difficile de répondre au besoin.

Optimiser les coûts d'exploitation et les coûts initiaux en rapport à la durée d'un édifice (coût du cycle de sa durée) est une tâche quasi impossible. Toutes les alternatives concernant la construction et l'architecture et affectant le rendement économique total du système de chauffage et de climatisation doivent être considérées à la phase de la conception de l'édifice.

En voici les variables:

- alternatives du plan architectural
- alternatives des sources d'énergie
- alternatives du système de climatisation
- alternatives de l'équipement mécanique
- alternatives d'utilisation de l'édifice
- alternatives économiques

L'évaluation des alternatives est donc une tâche ardue, complexe et exigeant beaucoup de temps. Par conséquent, plusieurs édifices n'ont pas de coûts optimisés de cycle de durée et plusieurs propriétaires payent beaucoup trop pour leur climatisation.

TRACE répond aux besoins

Le programme TRANE d'Air Climatisé Economique utilise l'ordinateur afin de permettre à l'ingénieur de conception de faire une étude économique comparant toutes les alternatives viables et offrant des résultats significatifs au propriétaire.

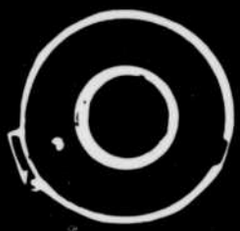
En quelques jours, TRACE permet à l'ingénieur d'études de fournir une évaluation de presque toute alternative susceptible d'affecter les aspects économiques d'un système de climatisation et d'établir un rapport optimum entre ses coûts initiaux et ses coûts de fonctionnement. A l'aide des données obtenues, l'ingénieur peut alors continuer à faire des recommandations spécifiques.

TRACE est un programme très flexible, destiné à accepter toutes les données de performance de presque tout type ou toute marque d'équipement de climatisation.

TRACE représente donc un outil qui permet à l'ingénieur de conception d'effectuer une étude économique significative, précise, détaillée, complète et à un coût

BANDE DE TEMPÉRATURE

La bande de température du Canada de la station la plus proche de l'édifice proposé. Les données de températures horaires, telles que thermomètre sec, thermomètre mouillé, point de rosée, pression barométrique, vélocité du vent et recouvrement de nuages pour un an complet, sont condensées en 12 jours de température, chacune représentant un jour pour chaque mois de l'année.



BANDE DE PERFORMANCE D'ÉQUIPEMENT

Données de performance sur le refroidissement, le chauffage, le déplacement d'air et l'équipement accessoire. Si l'équipement n'est pas indiqué, l'usager fournit les données de performance.

ENTRÉE

DESCRIPTION DE L'ÉDIFICE
- EMPLACEMENT
- ZONES
- DONNÉES DU PROJET

DESCRIPTION DES SYSTÈMES
- TYPES DE SYSTÈMES
- ÉCONOMISEUR

DESCRIPTION DE L'ÉQUIPEMENT
- TYPES D'ÉQUIPEMENT
- HAUTEUR D'ÉLÉVATION D'EAU

DONNÉES ÉCONOMIQUES
- DURÉE DE L'HYPOTHÈQUE
- FACTEURS ÉCONOMIQUES
- COÛT INITIAL
- COÛT D'ENTRETIEN

FONCTIONNEMENTS

PHASE DE CHARGE

CHARGE HORAIRE ET MAXIMUM PAR ZONE

PHASE DU PROJET

PO. CU./MIN. ET AIR D'ALIMENTATION (THERMOMÈTRE SEC) PAR ZONE

PHASE DE SIMULATION DE SYSTÈME

CHARGES HORAIRES DE L'ÉQUIPEMENT PAR SYSTÈME

PHASE DE SIMULATION DE L'ÉQUIPEMENT

CONSOMMATION D'ÉNERGIE PAR SERVICE PUBLIC

PHASE DE L'ANALYSE ÉCONOMIQUE

SORTIE

LE PROGRAMME

Le programme TRANE d'Air Climatisé Économique utilise les techniques standard industrielles et ASHRAE pour la simulation des performances de systèmes de climatisation alternatifs d'édifices, afin d'obtenir les coûts de fonctionnement de chacun. Tous les aspects économiques des alternatives sont alors analysés et comparés. Contre toute description d'édifice le programme peut comparer l'effet de quatre alternatives au point de vue économiques/équipement/système, fournissant ainsi à l'usager les critères pour prendre une décision économique.

Lorsque la chose fut possible, on utilisa comme base de calculs les techniques du guide ASHRAE et les méthodes industrielles acceptées. De plus, à la fin des phases du programme, les procédures furent vérifiées avec les principaux consultants du secteur en question. Les usagers de TRACE pourront obtenir de TRANE un manuel de documentation des plus complets.

Le programme est divisé en 5 phases principales comme à gauche. Chacune exige certaines entrées pour décrire l'édifice et mettre au point les alternatives techniques. Chaque phase effectue sa fonction propre et passe les données produites aux phases suivantes.

COMPARAISONS DES ALTERNATIVES AU POINT DE VUE ÉCONOMIQUE

abordable—une étude non seulement destinée aux systèmes de climatisation TRANE, mais pouvant atteindre les paramètres économiques généraux d'un édifice et qui affectent les aspects économiques de la climatisation.

TRACE est facile d'emploi.

Une fois que l'ingénieur possède les critères du projet et les facteurs économiques généraux affectant le choix du système de climatisation, l'alimentation de l'ordinateur peut se faire en moins d'une heure.

Le programme TRACE est exécuté au centre de traitement de l'informatique TRANE, avec un délai d'exécution d'environ deux semaines. Ce programme est à la disposition des ingénieurs professionnels moyennant une redevance. Nous invitons donc les ingénieurs-conseils à faire une évaluation détaillée du Programme TRANE d'Air Climatisé Economique. Veuillez appeler le plus proche bureau de ventes de TRANE ou écrivez-nous.

Trane Company of Canada, Limited.
401 Horner Avenue,
Toronto, Ontario M8W 2A5

50 ANS AU CANADA

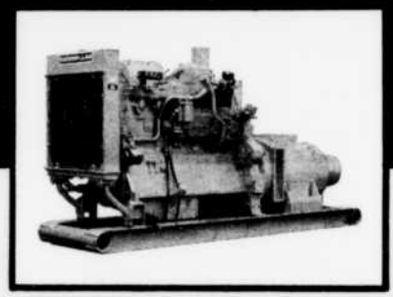
Bureaux de vente et service Trane à travers tout le pays: St-Jean, T.-N., Saint-Jean, N.-B., Halifax, Québec, Montréal, Ottawa, Sudbury, Kirkland Lake, Toronto, Hamilton, Kitchener, London, Windsor, Winnipeg, Regina, Saskatoon, Calgary, Edmonton, Vancouver

Répertoire des Annonceurs

15 Asselin, Benoit, Boucher, Ducharme, Lapointe Inc. / Tecsult International Limitée
•
18 Banque d'Expansion Industrielle
12 Bouthillette & Parizeau
•
21 Canadian Bechtel Limited
16-17 Canadian Johns-Manville Co. Ltd.
34 Compagnie Nationale de Forage et Sondage Inc.
•
30 Electrovert Ltée
•
20 Hammond Manufacturing Co. Ltd.
C III Hewitt Équipement Limitée
•
C II International Harvester Co. of Canada, Ltd.
•
C IV Jenkins Bros. Limited
•
2 KeepRite Products Limited
•
34 Laboratoire B-Sol Ltée
34 Laboratoire de Béton Ltée
34 Laboratoire d'Inspection et d'Essais Inc.
19 Laboratoires Industriels & Commerciaux Ltée, Les
34 Laboratoires Ville Marie Inc., Les
12 Lalonde, Girouard, Letendre & Associés
12 Lalonde, Valois, Lamarre & Associés
•
18 Montel Inc.
19 Mon-Ter-Val Inc.
•
13 Nedco Ltée
•
12 Quéformat Ltée
•
12 Studio Lausanne Inc.
•
32-33 Trane Company of Canada, Limited
19 Trudeau, Gascon, Lalancette et Associés
•
19 Warnock Hersey International Limited

LA GRANDE NOIRCEUR!

PEUT REVENIR! PAR MALHEUR!
Mais qu'importe . . . SI VOUS AVEZ



UN GROUPE ELECTROGENE DE SECOURS CATERPILLAR

L'obscurité due à une panne d'électricité peut causer des blessures ou des pertes de vies et entraîner des pertes considérables en équipements, matériels et salaires.

Les groupes électrogènes diésels stationnaires ou mobiles CATERPILLAR fournissent un débit sûr quel que soit l'endroit ou le moment de l'urgence.

CES ENTREPRISES SONT PREPAREES!

Edifice Hydro Québec
Forum (Canadian Arena Co.)
Université de Montréal
Hôtel Château Champlain
Edifice Police Provinciale
Tunnel Louis Hippolyte Lafontaine
Hôpital Fleury
Couvent Ste. Croix
Ecole Marie Clarac
Institut de Réhabilitation
Département de l'Incendie de Westmount
Institut de Recherches sur les Pâtes et Papiers
Station de Pompage, St. Jean, Qué.
Institut Psychiatrique Pinel
Place des Arts

CATERPILLAR Reg.

Hewitt

SERVICE

MONTREAL • QUEBEC • SEPT-ILES • VAL-D'OR • MATAGAMI • HULL • BAIE JAMES

FIG. 500-A

LE SIÈGE EST INTERCHANGEABLE

Les vannes Jenkins en bronze pour 300 lb. de pression sont composées d'éléments interchangeables dans la partie siège de manière à répondre à un grand nombre d'exigences de service.

Modèle 500-A: Remplit toutes les conditions de service d'une soupape à orifice. Comporte un disque biseauté et un joint de siège en bronze de haute résistance. Pour usage dans des conditions normales de service.

Modèle 530-A: Disque biseauté et joint de siège fabriqués en alliage au nickel. Ce genre de siège est recommandé lorsque les conditions de services sont plus rigoureuses et les opérations plus fréquentes que d'habitude.

Modèle 534-A: Disque de type à tenon et joint de siège en alliage au nickel recommandés lorsqu'il est nécessaire d'obtenir un réglage parfait et une étanchéité absolue.

Modèle 592: Pour répondre aux conditions très rigoureuses de service le disque à tenon et le joint de siège sont fabriqués d'acier inoxydable Brinnel 500 traité à la chaleur. Offre une grande résistance aux écorchures, au cisaillement et à l'abrasion.

Pour obtenir des renseignements supplémentaires sur les vannes et soupapes Jenkins, veuillez écrire à Jenkins Bros. Limited, Lachine, Québec.

JENKINS

Le spécialiste en valves

JENKINS

Jenkins Bros