



Le congrès de la SFT en 1961 : le problème inverse de reconstruction de l'état initial de la thermique à cette époque ouvre-t-il la voie à l'extrapolation pour demain ?

D. DELAUNAY,

Laboratoire de Thermocinétique, UMR CNRS 6607

École Polytechnique de l'Université de Nantes,

Nantes- Atlantique Université

FRANCE



Objectif: analyser le premier congrès de la SFT (Société Française des Thermiciens), à partir de la thermique d'aujourd'hui et répondre aux questions:

➤ l'état initial est-il cohérent avec l'état observé à $n+50$ ans?

La problème inverse de retour à l'état initial a-t-il une solution unique?

➤ qu'est-ce donc qui a fait le plus progresser les connaissances ?

Avait-on une idée sur cette question en 1961?

Méthode: prendre quelques papiers comme exemples et les rapprocher d'études actuelles, s'il y en a. On pourra ainsi mesurer où sont les ruptures.



Journées Internationales de la Transmission de la Chaleur

(Paris, 19 au 24 juin 1961)



UNIVERSITÉ DE NANTES



École d'ingénieurs de l'université de Nantes



COMITÉ D'ORGANISATION

*Président : le Professeur M. VERON,
Président de la Société Française des Thermiciens,
Ancien Président de la Société des Ingénieurs civils de France,
Ancien Président de l'Association française de Régulation et d'Automatisme,
Membre du Comité du Centre national de la Recherche scientifique.*

Membres :

MM. le Professeur J. J. BOEHM, *Université de Caracas.*
le Professeur C. BORY, *E.N.S.M.A., Faculté des Sciences de Poitiers.*
le Professeur E. BRUN, *Faculté des Sciences de Paris, Directeur du Laboratoire d'Aérothermique du C.N.R.S.*
le Professeur H. CORDIER, *E.N.S.M.A., Faculté des Sciences de Poitiers.*
R. DUPUY, *Vice-Président de l'Association des Ingénieurs de Chauffage et Ventilation de France.*
A. GOUFFÉ, *Président de la Commission de transmission de chaleur de l'Association Nationale de la Recherche Technique.*

l'Ingénieur général LEGENDRE, Directeur général adjoint de l'O.N.E.R.A.

le Professeur A. LIEBAUT (Ecole Centrale, Ecole de Chauffage industriel).

l'Ingénieur général R. MARCHAL (S.N.E.C.M.A.).

NAMY, Président de l'Association Française de Régulation et d'Automatisme, Contrôleur général de l'équipement de l'Electricité de France.

M. RIVIERE, Institut de Recherches de la Sidérurgie, Fondation de Recherches Internationales sur les Flammes.

Secrétaire : M. H. PERDON, Secrétaire général de l'Institut Français des Combustibles et de l'Energie.



Pour la cinquième fois en sept ans (54, 55, 57, 59, 61), et pour la première fois avec le concours de la jeune Société française des Thermiciens, l'Institut Français des Combustibles et de l'Energie réunit les spécialistes les plus qualifiés afin de faire le point des progrès récents ou envisagés dans un champ bien défini de la thermique.



Allocution d'ouverture. De gauche à droite, à la tribune : MM. SCHULTZ-GRÜNOW, COUTURE, VÉRON, HAUSEN, GLASER.



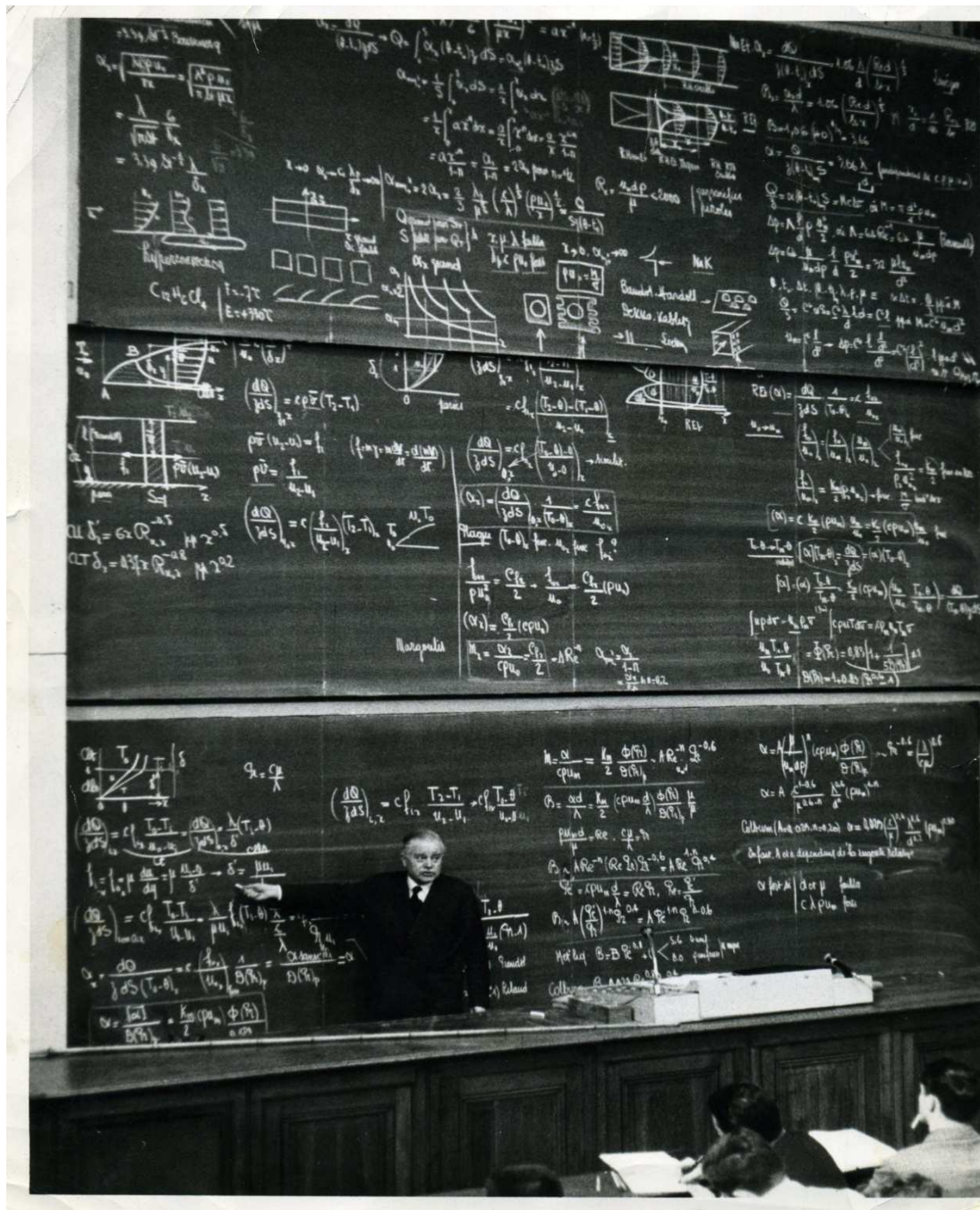
IFCE, 3 rue Henri Heine, Paris 16^{ème}



UNIVERSITÉ DE NANTES



Ecole d'ingénieurs de l'université de Nantes



Professeur Marcel VERON (1900-1984) – Premier Président de la SFT

Diplômé de l'Ecole Centrale de Paris en 1922.

Professeur de Physique industrielle à l'Ecole Centrale de Paris de 1931 à 1972.

Professeur de "chauffage industriel" au Conservatoire des Arts et Métiers de 1941 à 1954.

Chaire de Thermique Industrielle au Conservatoire National des Arts et Métiers de 1954 à 1972.



Extrait de l'avant-propos signé par le Professeur Marcel Véron:

Les récentes Journées internationales consacrées à la Transmission de la chaleur ne se laisseront pas facilement oublier de ceux qui y participèrent.

Durant ces 12 séances totalisant près de 57 heures de travail intense, réparties sur 6 jours pleins, presque tous les aspects de cette discipline furent exposés avec clarté par 90 communications et discutés avec efficacité, dans un climat euphorique et confraternel.

Elles furent l'occasion de révéler des savants éminents, mais encore trop peu connus, comme le Révérend Père CAMIA, des concepts affinés ou entièrement nouveaux, des évolutions mais aussi des mutations : L'effet Jacq en conduction, la théorie pulsatoire de Kaiser en convection, le simulateur Loeb d'échangeurs en régime variable, le calcul des contraintes thermiques selon le professeur Broglio, etc.

Ce fut en somme un plantureux et succulent repas de l'esprit, qu'il faut maintenant digérer. La digestion est toujours plus ingrate et plus laborieuse que l'ingestion, mais elle en constitue l'utile et nécessaire aboutissement.

Tel est le but du présent compte rendu, que nous avons voulu fidèle, objectif et complet. Nous nous y sommes attaché de notre mieux, avec l'aide d'une forte majorité des auteurs et interpellateurs intéressés, avec l'aide aussi de M. PERDON, que nous ne saurions trop remercier. Mais c'était là une entreprise singulièrement ambitieuse, et nous craignons bien que les Congressistes ne trouvent ici qu'un pâle reflet de discussions exaltantes et colorées.





Extrait de l'avant-propos signé par le Professeur Marcel Véron:

- la polémique ne date pas d'aujourd'hui ...
- les Sciences de l'ingénieur en gestation?

A leurs débuts, les hommes de notre génération ont maintes fois entendu nier l'utilité de la recherche, même appliquée, surtout en thermique. Après H. Le Chatelier, nous eûmes souvent l'occasion de rappeler aux empiristes que, malgré tout son génie intuitif, Bessemer n'accomplit qu'une de ses multiples inventions, le convertisseur (qui d'ailleurs suffit à sa gloire), tandis que, grâce à une discipline scientifique rigoureuse, ses émules les frères Siemens mûrissaient toutes les leurs, intéressant les domaines les plus variés.

Le radar, la bombe nucléaire et les missiles ont maintenant converti les plus incrédules. Et nul technicien de l'industrie ne s'est choqué, à notre connaissance, de voir nos Journées faire une part si importante aux recherches dites théoriques — assez austères sinon ingrates. Réciproquement, les théoriciens se sont vivement intéressés aux préoccupations des praticiens ; sans chercher à les *éblouir*, ils s'attachèrent à les *éclairer*.

Ainsi s'opérèrent une féconde association, une étroite soudure de travaux et données d'ordre scientifique avec des travaux et données d'ordre industriel, ceci pour la première fois en France (formule ressassée mais vraie en l'occurrence), comme M. l'Ingénieur général VERNOTTE nous fit l'honneur de le souligner.





Quelles étaient les préoccupations de nos aînés?

Aussi bien fondamentales qu'appliquées:

Il n'est point nécessaire, je pense, d'insister devant vous sur l'intérêt capital de notre sujet, la Transmission de la chaleur.

Ses principes conjuguent la thermique, la thermodynamique, l'hydrodynamique, l'aérodynamique, la cinétique chimique, la physique des métaux, la mécanique des solides.

Ses applications couvrent le champ presque entier des activités industrielles traditionnelles, de la Mécanique à l'Electrotechnique, du Bâtiment à la Sidérurgie, de la Production d'énergie au Génie chimique. Elles conditionnent toutes les techniques de pointe actuelles : réacteurs nucléaires et leurs échangeurs, fusées et missiles, émetteurs à haute fréquence de grande puissance, générateurs de plasma, turbines à gaz, matières plastiques, etc.

Secteurs d'intérêt : l'énergie (nucléaire), les transports (aéronautique), la défense, les transmissions, les matériaux... Toutes préoccupations d'actualité





Une clairvoyance et des propos prémonitoires...

En même temps, les doctrines évoluent ou craquent, des doutes viennent, des révisions parfois déchirantes sont en cours, de véritables mutations se préparent, intéressant des concepts qui semblaient à jamais inébranlables : hypothèse et équation parabolique de Fourier, récurrence de la conduction dans les solides, mécanisme de la convection, etc. Les modèles « discrets » de la physique quantique et de la mécanique ondulatoire continuent de transcender la physique classique. On leur doit de pouvoir prévoir le facteur d'émission d'un mélange gazeux, d'un plasma à très haute température, la conductivité d'une solution solide connaissant celle des composants, etc.

Les méthodes prévisionnelles concernant les flux et les champs thermiques s'étoffent et se complètent. Les mathématiques dites modernes étendent les possibilités du calcul analytique, à quoi viennent s'ajouter le calcul graphique, le calcul itératif ou pas-à-pas, le calcul analogique et le calcul homologique.

La simulation nécessaire des gros échangeurs de chaleur en régime variable nécessite leur mise en équations, puis leur résolution, qui avaient été entièrement négligées.

La prévision des champs thermiques commande et permet celle des champs de contrainte et de leurs interactions et couplages éventuels (flottement thermique des ailes d'avions) : chapitre passionnant, victoire sur l'empirisme, qui libérera les constructeurs d'un souci majeur et de la lourde prime d'assurance que sont les coefficients de sécurité excessifs.

Les calculatrices numériques renouvellent d'autre part le traitement des informations et les recherches d'optimums, une fois surmontés les délicats problèmes de programmation (ces optimums préoccupaient depuis longtemps les thermiciens qui, avant la lettre, pratiquaient ainsi la recherche opérationnelle).



Sur la résolution de l'équation de la conduction calorifique

Application à l'évolution thermique des lingots d'acier doux entre coulée et laminage

par

P. PARMENTIER,
Ingénieur Civil A.I. Lg. A.I.M.

et

R. SEVRIN,
Ingénieur Civil A.I. Lg.

(note: A.I.Lg. : Ingénieur de l'Université de Liège; A.I.M. : Ingénieur de l'Institut Montefiore)

- **Objectif :** calculer le temps de solidification de lingots d'acier en résolvant l'équation de la chaleur
- **Difficultés à l'époque:**
 - couplages multiphysiques « dont les interactions empêchent d'en donner une interprétation »
 - Difficultés quasi insurmontables de l'instrumentation à cœur



- méthodes indirectes pour déterminer l'évolution des fronts, comme les incomplets (arrêt de la solidification par renversement de la lingotière)
cette méthode est encore très utilisée aujourd'hui en plasturgie



- **résultats antérieurs:**

- on constate expérimentalement l'évolution en \sqrt{t} pendant une grande partie de la solidification.
- On cite les travaux de Lightfoot en 1929 qui établit la relation en \sqrt{t} , mais en ignorant la solution de Stefan-Neumann (1852) .



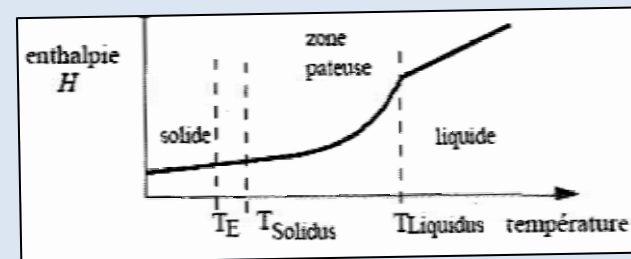
Méthode de calcul utilisée:

Celle proposée par **Sarjant R J, Slack M R en 1954** dans “ Internal temperature distribution in the cooling and reheating of steel lingots », *J. Iron Steel Inst. 177:428-444 (utilisée en 1999 pour calculer la thermique de l'injection)*

➤ linéarisation de l'équation de la chaleur

en introduisant la variable d'état enthalpie massique:

$$h(T) = \int_{T_0}^T C_p(u) du + h_0$$



et la température d'Eyres : $\Theta = \int_{T_0}^T \lambda(u) / \lambda_0 du$

L'équation à résoudre devient en 2D cartésien:

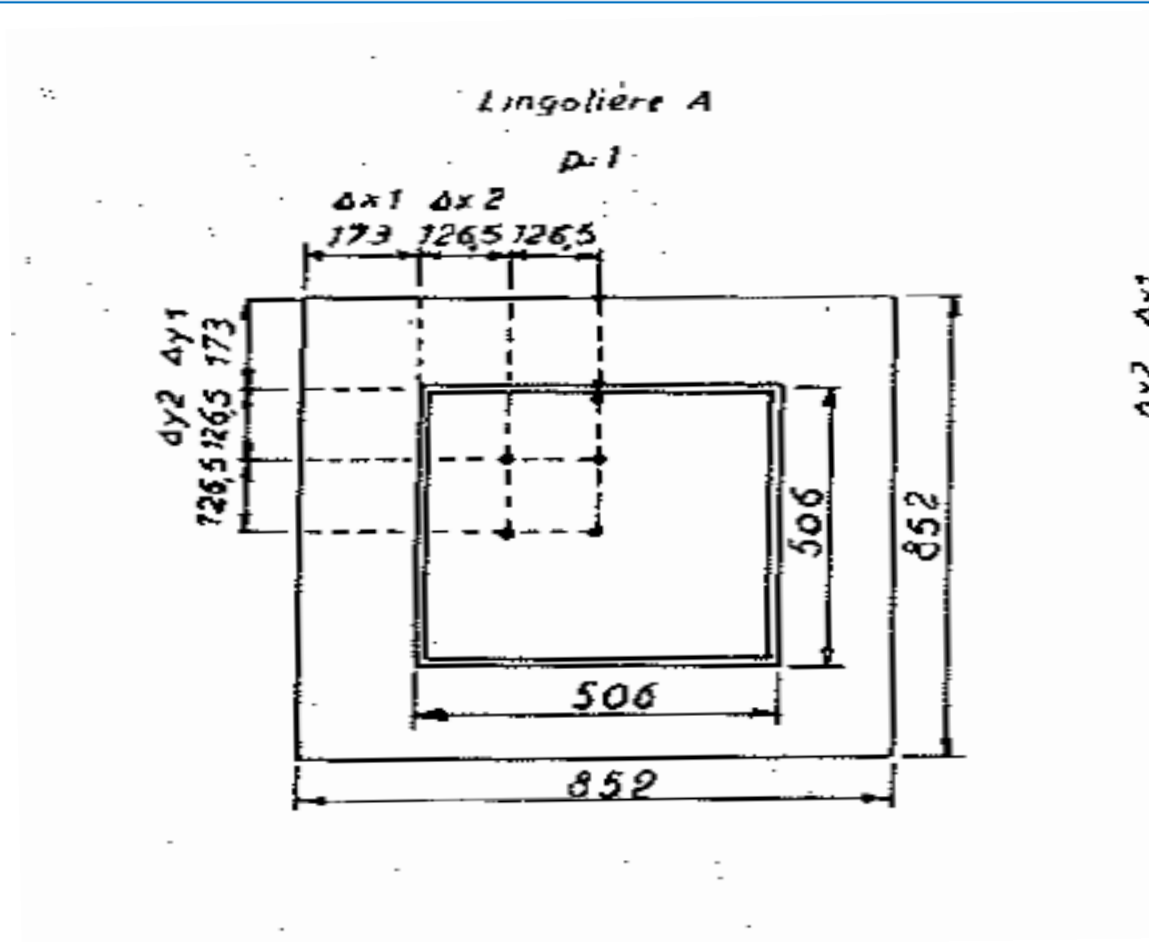
$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\lambda_0}{\rho} \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} \right)$$



➤ méthode numérique : différences finies explicites avec un maillage limité:

$$h(t + dt, i, j) = h(t, i, j) + \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} \right) (t, i, j) \lambda_0 dt / \rho$$

Explicite → condition de stabilité, donc pas de temps petit





Temps de calcul : un quart d'heure sur un IBM 650
(addition : 1,63 ms, multiplication : 12,96 ms, division : 16,90 ms,
soit 60 divisions par seconde- aujourd'hui: 16 millions de milliards
d'opérations par seconde)





On obtient ainsi la cartographie des températures, pour obtenir des formules empiriques donnant le temps de solidification à cœur .

➤ Une fois levés deux obstacles :

- les difficultés de mesures in-situ (méthodes expérimentales spécifiques)
- la vitesse de calcul

On ouvre la voie à ce que l'on obtient aujourd'hui, c'est-à-dire la résolution des équations couplées énergie, transport (chaleur, masse, espèces), les cinétiques de transformation, les retraits, ...

Et demain?

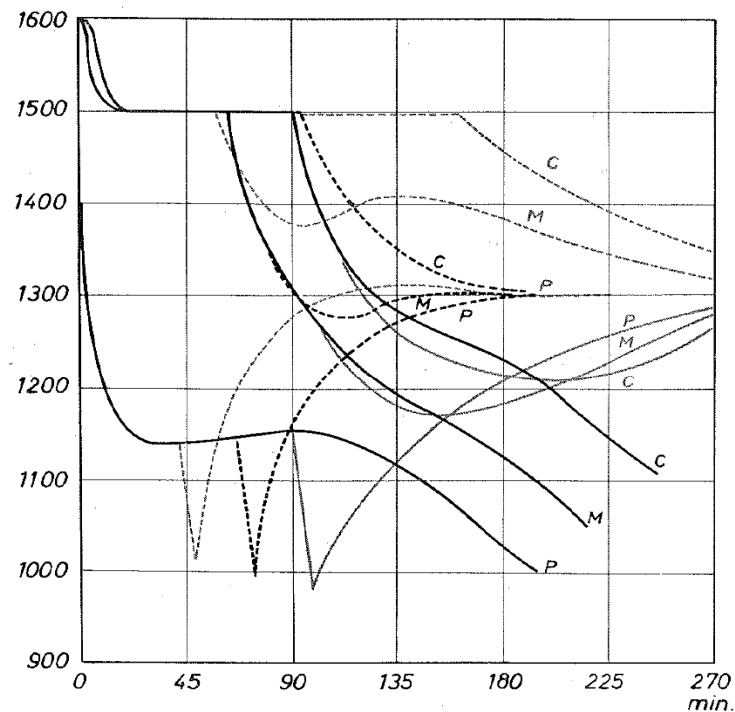


FIG. 2. — Evolution thermique en cœur C, mi-épaisseur M, et peau P de trois lingots démontés après des temps variables.



Commentaire de l'Ingénieur Général Vernotte:

Je suis persuadé qu'on ne peut guère faire mieux que ce qu'a fait M. PARMENTIER, étant donné la nature extraordinairement difficile du problème. Je voudrais rappeler que c'est un problème très célèbre que celui de la propagation de la fusion. Il a occupé il y a plus d'un siècle les mathématiciens les plus illustres; ils ont conclu effectivement à une progression suivant la racine carrée du temps. Seulement, on ne trouve cette loi que lorsqu'on choisit des conditions aux limites telles que la solution a une forme à peu près évidente *a priori*.

Mais lorsqu'on ne prend pas des conditions extraordinairement simples, le problème est pratiquement inabordable.

M. Marcel BRILLOUIN avait fait à ce sujet des exposés à l'Institut Henri-Poincaré, lesquels ont été publiés dans les annales de cet Institut en 1930.

M. Marcel BRILLOUIN était extrêmement pessimiste, d'ailleurs trop, à mon sens.

Ceci pour dire qu'on ne peut pas aborder des problèmes aussi effroyables autrement que par des méthodes de pas-à-pas, et je crois qu'on ne peut pas faire mieux, effectivement, que ce qu'ont fait M. PARMENTIER et son collaborateur.



Anomalie de la distribution des températures dans les couches superficielles d'une paroi chauffée ou refroidie

par

J. JACQ

Ingénieur en Thermique du C.N.A.M.

Ingénieur à la Direction des Études et Recherches de la RÉGIE RENAULT



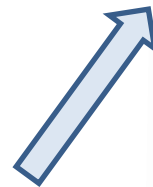
Pourquoi cette étude?



Participant, dans une équipe de recherches de la Régie Renault, à l'étude du comportement de matériaux soumis à des chocs thermiques il nous a été demandé de mesurer les grandeurs physiques capables d'apprécier les matériaux à ce point de vue.

On sait qu'une caractéristique à considérer dans le choix des matériaux constituant les moules de fonderie (surtout dans le cas des lingotières) est leur pouvoir d'absorption calorifique caractérisé par $\sqrt{\lambda c_p}$, que l'on peut encore appeler admittivité calorifique

Pour cela, l'auteur va utiliser :



l'évolution des températures à la surface $x = 0$ d'un matériau subissant pendant le temps t un flux calorifique F (déterminé expérimentalement)

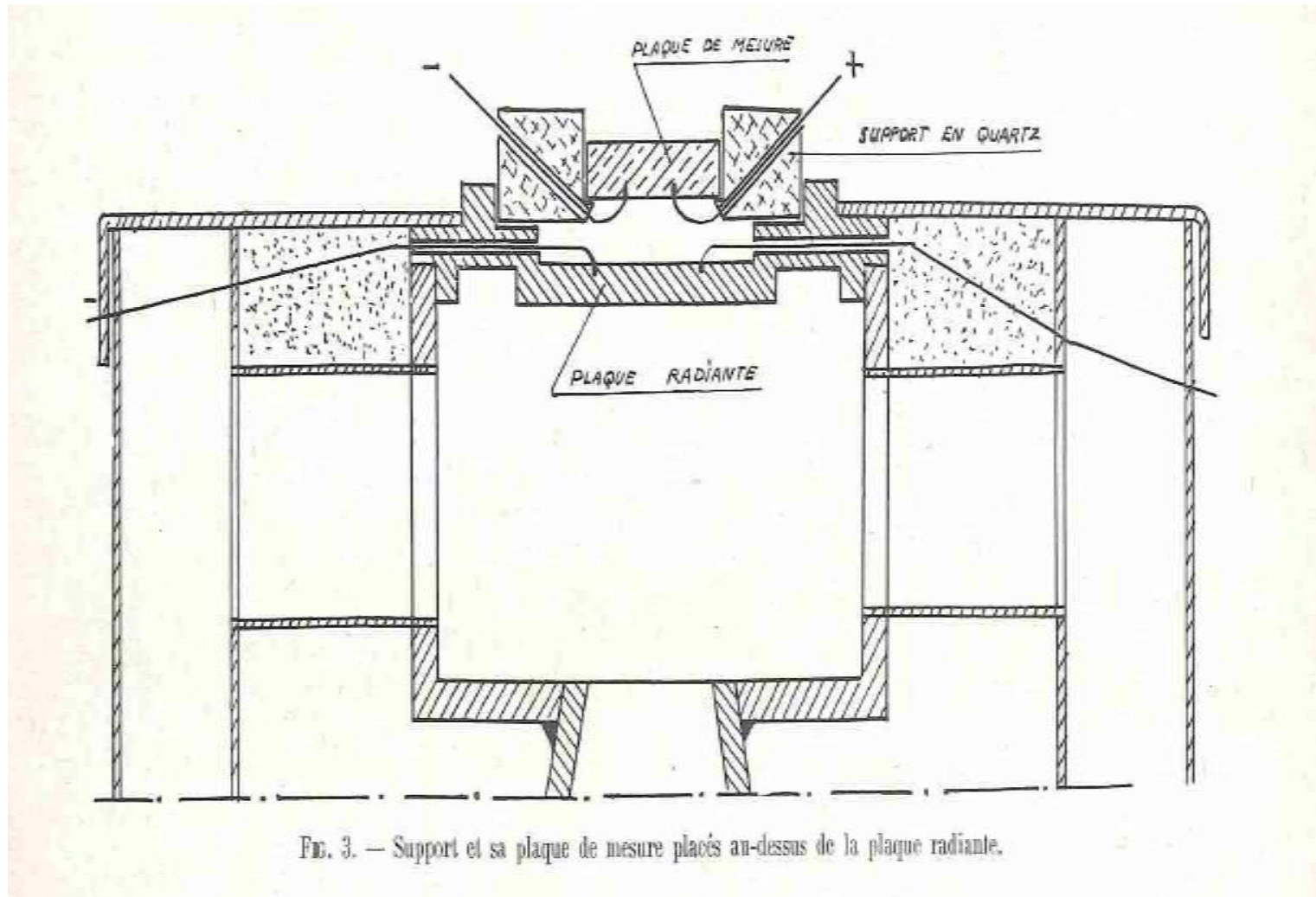
$$T_{(x=0, t)} = \frac{2F\sqrt{t}}{\sqrt{\pi} \sqrt{\lambda c_p}}$$

D'où l'on aurait tiré :

$$\sqrt{\lambda c_p} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} F \frac{\sqrt{t}}{T_{(x=0, t)}} \quad (1)$$



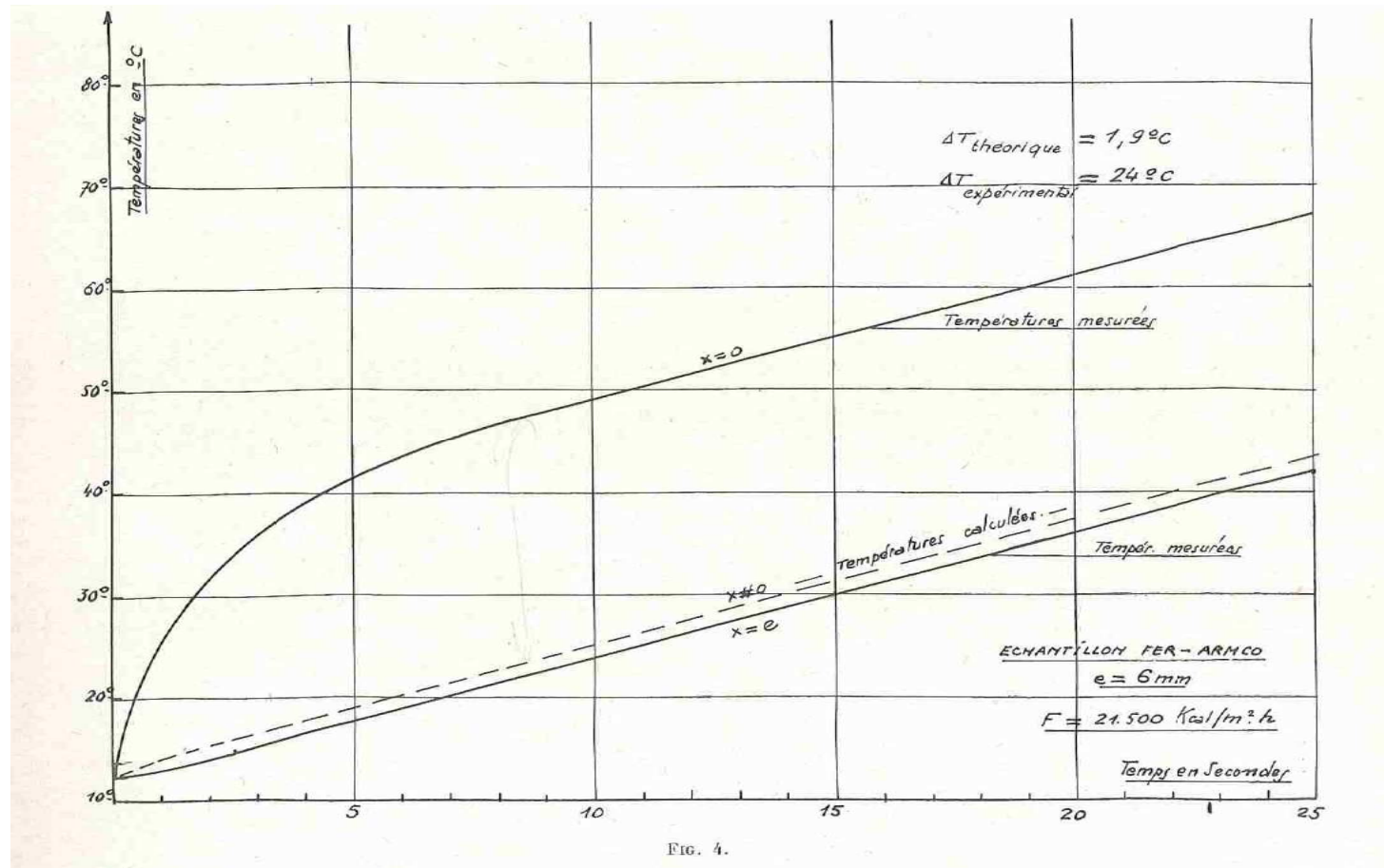
On dispose l'échantillon sur une source de chaleur, et on utilise en surface des TC semi-intrinsèques .





Monsieur Jacq a dit : « Les enregistrements effectués par un potentiomètre électrique rapide ont donné des variations de température superficielle d'un niveau plus élevé que celles qu'auraient dû donner leur admittivité calorifique réelle. »...

...« Nous étions donc en présence d'une anomalie, la singularité n'intéressant que les couches superficielles » .





Après de nombreuses expériences de contrôle, critique des mesures par TC, mesures sous vide, la conclusion s'impose:

Cette anomalie que nous pouvons appeler « effet de peau thermique » se caractérise donc par des gradients de température dans une couche superficielle, de l'ordre du dixième de millimètre, incomparablement plus grands que les gradients de température dans les couches sous-jacentes.

Nous remarquerons en particulier que l'amplitude de la singularité est indépendante de la conductivité de base du matériau et qu'elle ne prend sa pleine valeur (pour une densité de flux constante) que par l'intervention d'une forte constante de temps ($\theta_0 \cong 2$ s).

L'auteur ajoute : « Cet effet est certainement à rapprocher des phénomènes depuis longtemps constatés (résistances thermiques superficielles, saut de température à l'interface de deux milieux, etc.), dont l'origine et le mécanisme sont encore peu connus ».





Commentaires suite à cet exposé :

M. le Président VÉRON.

Pour son tout premier exposé en public, à une tribune, notre jeune ami M. Jacq a montré beaucoup d'aisance, et il fut écouté avec la plus profonde attention.

Pour qu'il en conserve la propriété morale, je proposerai que l'on appelle « effet Jacq » le phénomène qu'il a mis en évidence. Ce ne sera que justice, après cinq ans de travail et la mise au jour d'un phénomène non encore détecté, dans un domaine où cela ne sem-

blait plus possible. M. Lucas nous donnera cet après-midi son interprétation théorique, et il semble qu'en attendant, nous pourrions réserver ce point.

M. l'Ingénieur général VERNOTTE.

M. Jacq a raison de dire que la voie est ouverte, parce que, effectivement, il subsiste beaucoup de choses mystérieuses. Il semble que, dans cet essai d'expérimentation, des questions d'ordre de grandeur se posent.

La théorie de cet effet est effectuée par l'auteur suivant, qui l'attribue au flux de « rétrodiffusion ».

Théorie du phénomène d'anomalie de température dans les couches superficielles des matériaux

par

M. René LUCAS

Directeur de l'École Supérieure de Physique et Chimie
Professeur à la Sorbonne

Pouvons-nous, avec les moyens dont nous disposons aujourd'hui analyser ce papier (dont on doit apprécier la rigueur), et ceux qui l'interprètent pour expliquer l'origine de cette anomalie ou trouver l'erreur?



Laissons la conclusion du débat au président de la SFT:

M. le Président VÉRON.

Nous remercions encore le professeur LUCAS pour ses vues pénétrantes, et le R.P. CAMIA de nous avoir fait faire un pas supplémentaire vers la vérité, où la considération des électrons s'associera peut-être à celle des phonons. Dans un an ou deux, la théorie de l'effet Jacq sera sans doute plus complètement décantée, et la Société française des Thermiciens pourra utilement lui consacrer une séance plus décisive.





UNIVERSITÉ DE NANTES



École d'ingénieurs de l'université de Nantes



Résistances thermiques de contact

par

Ch. BORY et H. CORDIER,

Professeurs à la Faculté des Sciences de Poitiers.

Laboratoire d'Études Thermiques de l'École Nationale Supérieure de Mécanique et d'Aérotechnique,

Les résultats expérimentaux que nous présentons dans ce mémoire ont été obtenus au cours d'un travail d'équipe auquel ont contribué : M. R. THOMAS, docteur de 3^e cycle; R. MAIME, docteur de 3^e cycle; J.-P. BARDON et F. FOURÉ tous les deux ingénieurs E.N.S.M.A.



Motivations de ces études: les auteurs pointent le cas des ailettes serties, en notant que les coefficients d'échanges fluide-ailette sont la limitation principale. Mais...



UNIVERSITÉ DE NANTES



École d'ingénieurs de l'université de Nantes

Il en va tout autrement dans certaines techniques nouvelles, en particulier dans celles qui concernent le fonctionnement des réacteurs nucléaires. On sait que, dans certains types de réacteurs, le milieu solide dans lequel se produit la fission, et qui est de ce fait le siège d'un dégagement de chaleur, doit être complètement entouré, pour des questions de sécurité, d'une gaine métallique. La chaleur, avec une densité de flux souvent très importante, est ainsi appelée, pour pouvoir être évacuée par un fluide circulant dans le canal de dile, à passer directement du milieu fissile à la gaine.



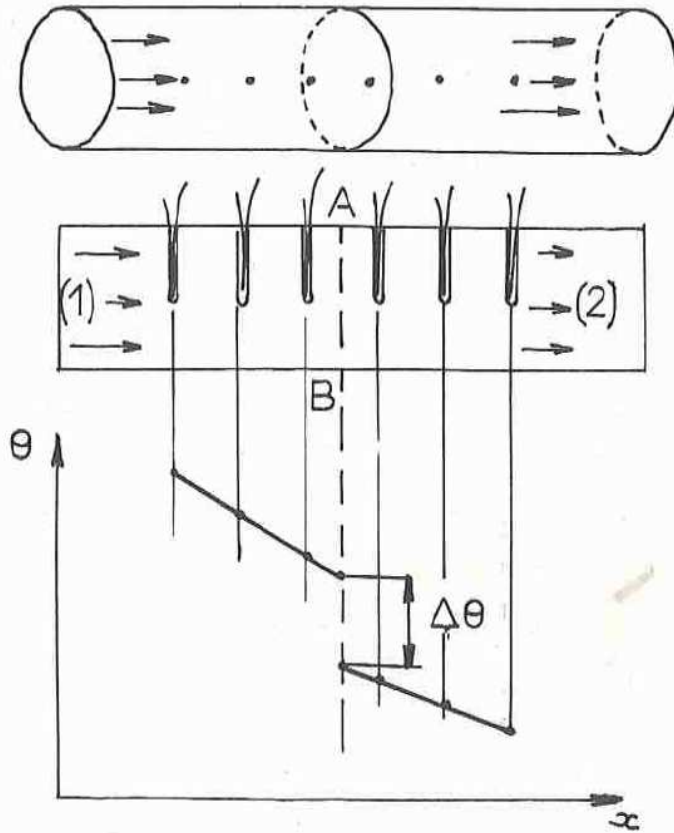


FIG. 1.

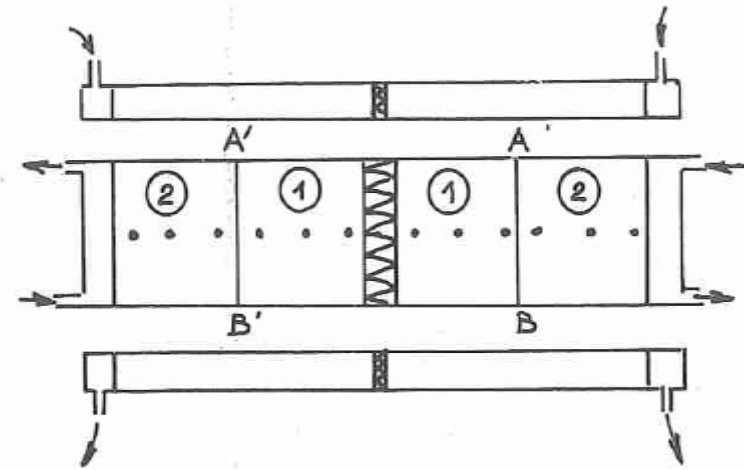


FIG. 2.

Principe de la mesure et exemple de dispositif utilisé



Dès cette époque les bases principales sont acquises

La résistance de contact peut dépendre a priori d'un certain nombre de paramètres que des expériences simples nous ont permis de mettre en évidence et dont les plus importants sont en première analyse :

- 1° L'état de surface des matériaux en contact ;
- 2° La pression de contact ;
- 3° La température moyenne de contact ;
- 4° La nature du fluide emprisonné entre les surfaces en contact.

M. le Professeur CORDIER.

Considérons une surface très polie, accolée à une surface présentant des aspérités que, pour simplifier, je supposerai régulièrement réparties (*figure d*). Elles vont être en contact par un certain nombre de points. Au flux de chaleur, elles offrent deux passages possibles :

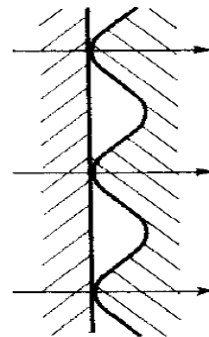


FIG. d.

Le passage direct, par les aires de contact parfait, sans saut de température, et le passage indirect hors de ces aires.

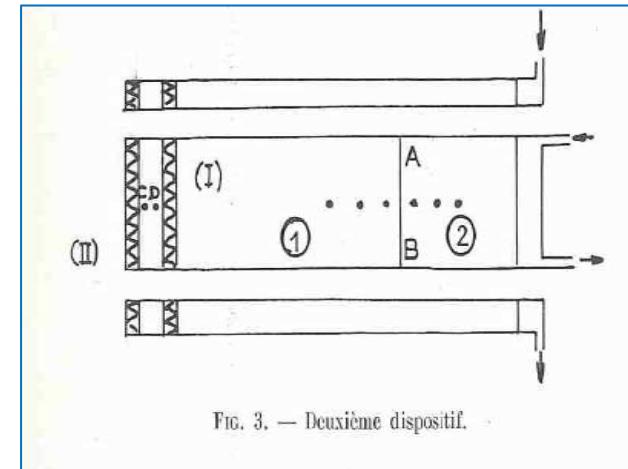


FIG. 3. — Deuxième dispositif.

Les recherches que nous avons entreprises nous ont permis de mettre en évidence des lois cohérentes et relativement simples concernant l'influence de la pression sur les résistances thermiques de contact.

Nous n'avons fait qu'effleurer l'étude des résistances de contact dans le vide, qui nous permettra sans doute d'élucider le mécanisme du passage de chaleur d'un solide sur l'autre, les gaz emprisonnés entre les deux surfaces en contact semblant jouer un rôle très important.

De plus nous avons volontairement laissé de côté, pour le moment, l'étude de l'influence de la température moyenne du contact sur la valeur de la résistance ainsi que l'étude de l'influence de l'état de surface.



Contribution à l'étude de la transmission de chaleur dans un espace annulaire à paroi intérieure chauffante ondulée

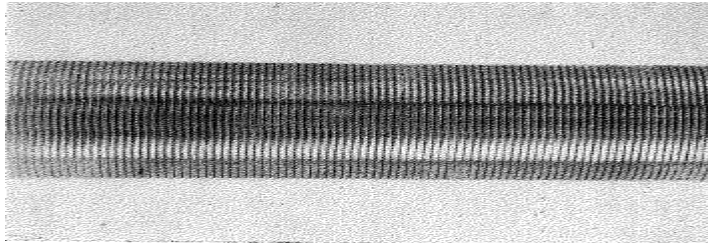
par

R. ROUDIER,

Ingénieur civil de l'Aéronautique - Docteur en mécanique des Fluides.

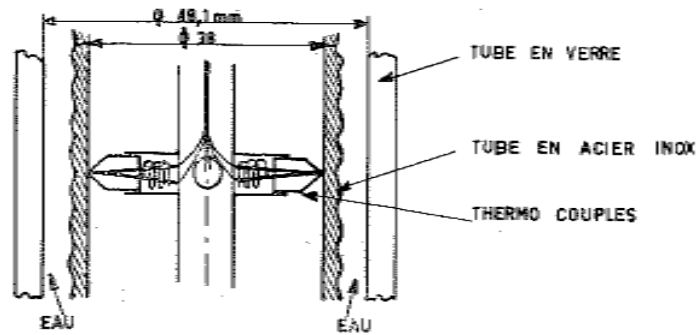
Ingénieur à l'Électricité de France, Direction des Études et Recherches, Service des Recherches thermiques

La construction des réacteurs nucléaires refroidis par l'eau a rendu nécessaires de nombreuses expériences sur la transmission de chaleur dans l'eau pour compléter l'étude du mécanisme de la convection forcée, notamment dans le cas où les surfaces d'échange comportent des rugosités artificielles diverses (stries, ondulations).



Profil des tubes (grossissement 50)

Détail de l'instrumentation



L'installation expérimentale

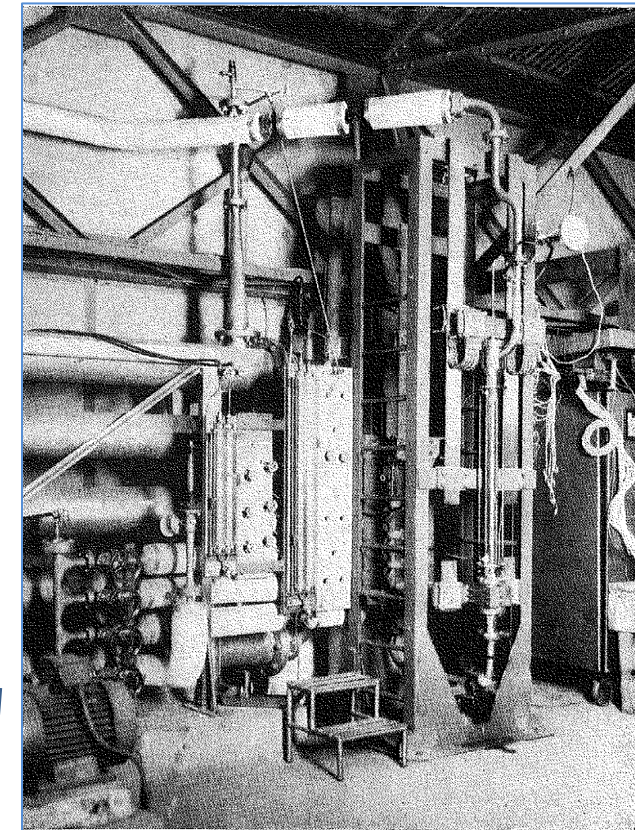


Photo 3. — Vue de la section d'essais.



Résultats augmentation des transferts et des pertes de charge (x2):

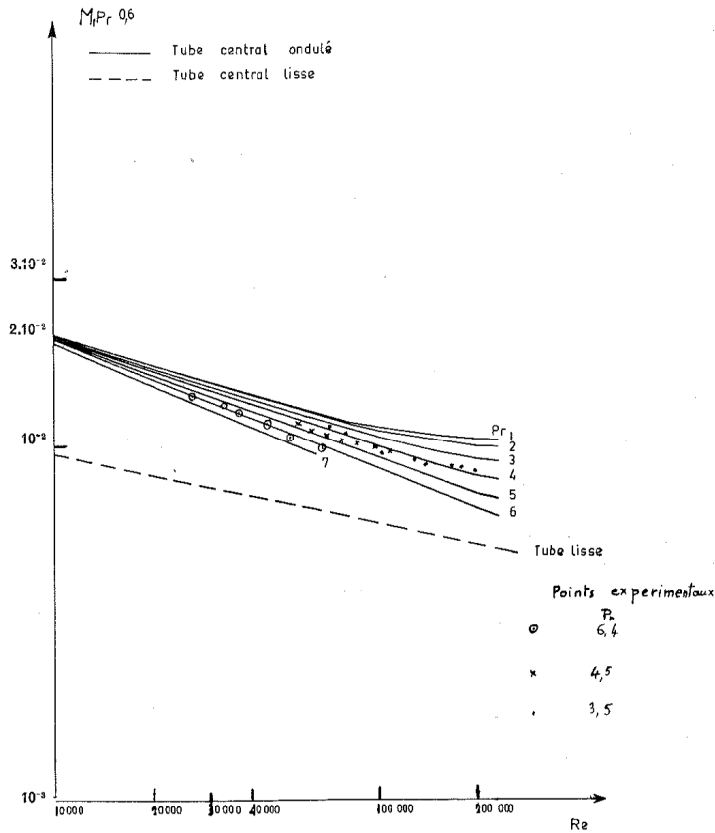
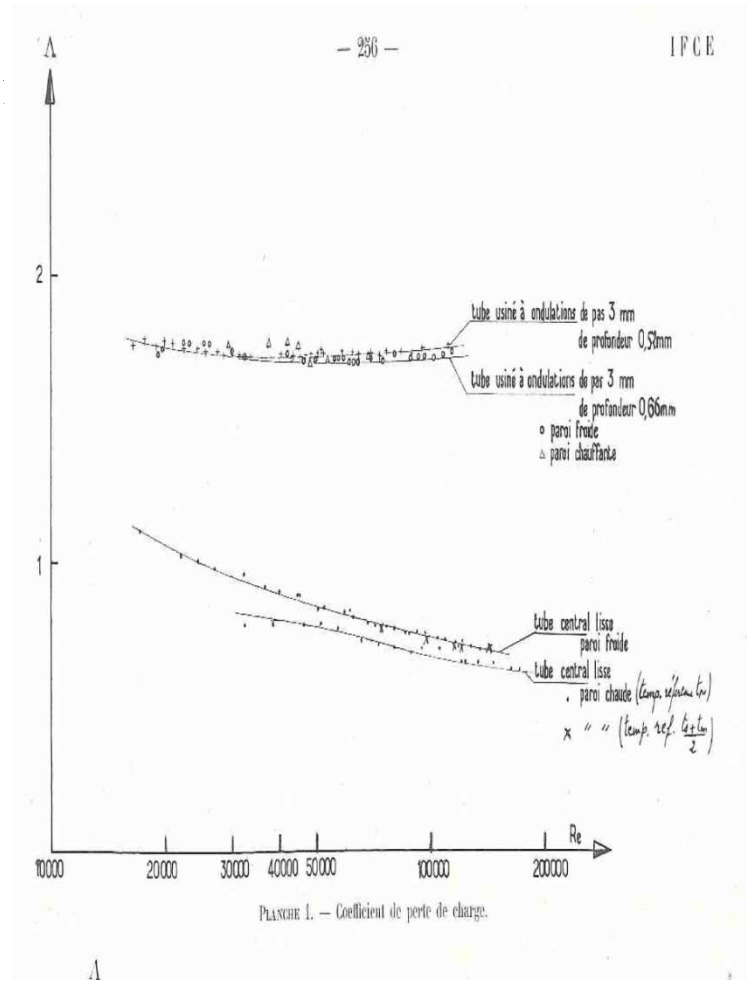


PLANCHE 6. — Essais de transfert de chaleur en espace annulaire. Variation de M_1 pour le tube chauffant à ondulations de pas 3, profondeur 0,66 mm.





Conclusions:

S'il nous faut, maintenant, dégager les conclusions de cette étude, nous pouvons dire que :

1^o Les ondulations de la paroi chauffante accroissent, dans un espace annulaire, le transfert de chaleur et la perte de charge. Elles n'agissent pas de la même manière sur l'un et sur l'autre.

2^o Dans le domaine étudié, le coefficient de perte de charge Δ reste pratiquement constant, quand le

nombre de Reynolds augmente, alors que le nombre de Margoulis est une fonction décroissante du nombre de Reynolds.

3^o L'augmentation du transfert de chaleur, due à la présence d'ondulations, est moins importante que l'augmentation de la perte de charge. Cette différence s'accroît lorsque les nombres de Reynolds et de Prandtl croissent.

Commentaires:

M. le Professeur HARTNETT.

Au sujet de la nomenclature utilisée, je viens de participer à une réunion en U.R.S.S. où étaient mentionnés divers nombres sans dimensions qui avaient des significations que je ne connaissais pas. J'ai examiné les éléments sur lesquels se fondaient ces nombres, et je me suis aperçu qu'il s'agissait de notions bien connues chez nous, sous des désignations différentes. Je constate maintenant qu'ici, vous utilisez couramment le nombre de Margoulis, qui est un peu neuf pour moi, Examinant ce nombre, il me semble qu'il n'est autre que ce que nous appelons le nombre de Stanton.

M. le Président VÉRON.

Oui.

M. le Professeur HARTNETT.

Ce qu'il nous faudrait faire, c'est appeler cela Stanton-Margoulis — et le nom russe que je ne me rappelle pas, et là on pourrait communiquer entre Américains, Français et Soviétiques.

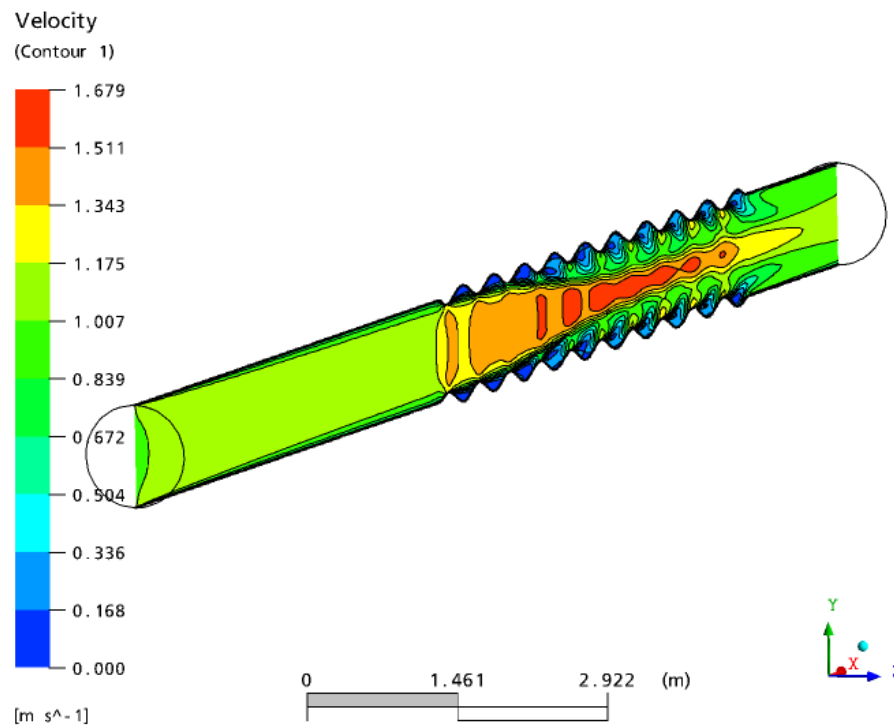
M. le Président VÉRON.

Evidemment. Comme vous l'avez proposé, on pourrait accoler les deux noms, ou les combiner : Stangoulis ou Margston (?). Mais quel serait le symbole en une seule lettre?



13^{èmes} Journées Internationales de Thermique Albi, France du 28 au 30 Août 2007, **ÉTUDE DE L'INFLUENCE DE L'AMPLITUDE D'ONDE SUR LE TRANSFERT THERMIQUE ET LES PERTES DE CHARGE DANS UN TUBE ONDULÉ**

M.Z. DAR RAMDANE, M. HAMEL, Z. DELLIL et A. AZZI., Laboratoire de Mécanique Appliquée, Faculté de Génie Mécanique, Université des Sciences et de la Technologie Mohamed Boudiaf d'Oran, ALGÉRIE



Simulation ANSYS plan de symétrie

Les résultats obtenus montrent que le tube ondulé favorise le transfert de chaleur par convection, mais il cause beaucoup de pertes de charges: pour le tube ondulé l'augmentation du nombre de Nusselt est de 1,31 % jusqu'à 18,04 %, par contre on remarque une augmentation de 6,17 % jusqu'à 43,61 % pour le coefficient de frottement (selon l'ondulation)



Convection forcée de la chaleur prélevée sur un ailetage au moyen d'écoulements secondaires provoqués

par

Jean LE FOLL,

Ancien élève de l'École Polytechnique,
Commissariat à l'Énergie atomique,
Centre d'Études nucléaires de Saclay.

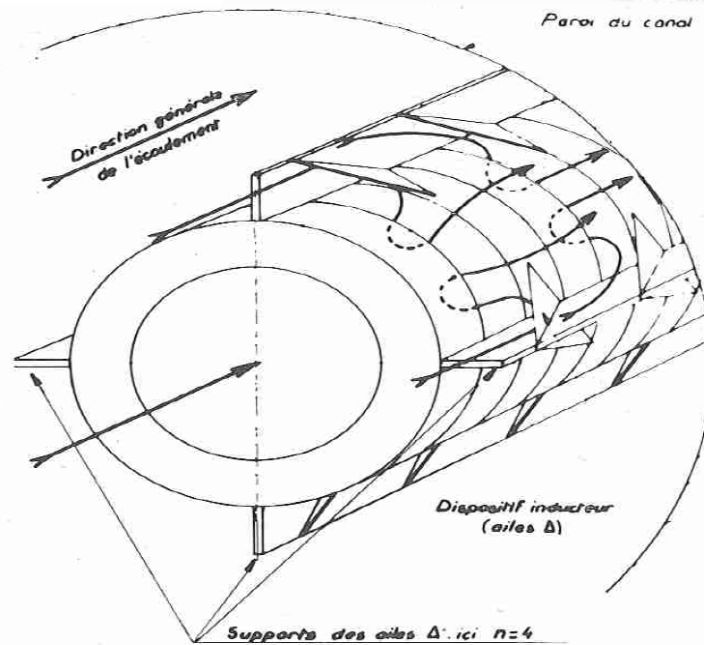


FIG. 1. — Cartouche dans son canal.
Les flèches indiquent l'aspect schématique de l'écoulement.

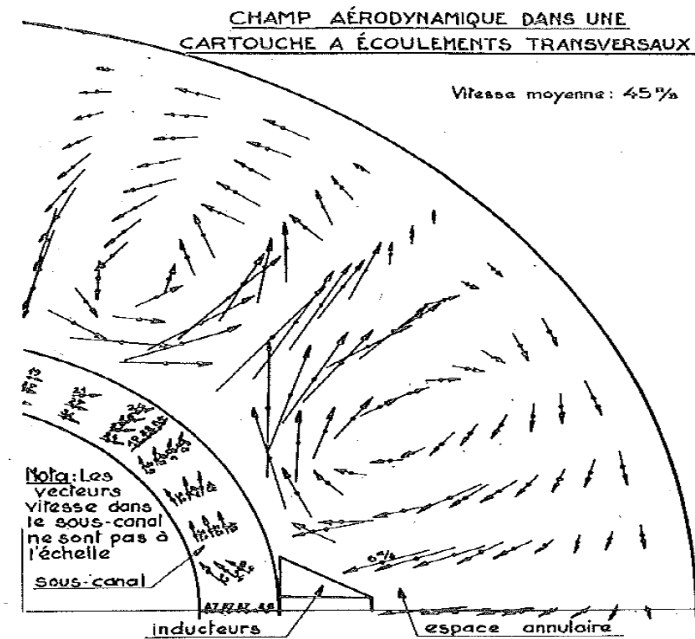


FIG. 2



Commentaire de l'auteur:

La...

turbulence n'a pas les effets mystérieux qu'on lui attribue, et en réalité il est très difficile de s'en servir. Dans le cas des ailettes transversales, où un écoulement tourne rapidement sur un angle vif, il peut y avoir une certaine turbulence, mais elle est toute petite, localisée à l'intérieur de la gorge, et elle n'en sort pas. A partir du moment où les effets de la turbulence se font sentir au loin, c'est perdu. C'est au voisinage des parois qu'il faut agir, et c'est pourquoi le meilleur système est le régime laminaire.



Journée SFT

« Intensification des Transferts dans les Échangeurs Thermiques Multifonctionnels :
Techniques, Outils d'analyse et Optimisation »



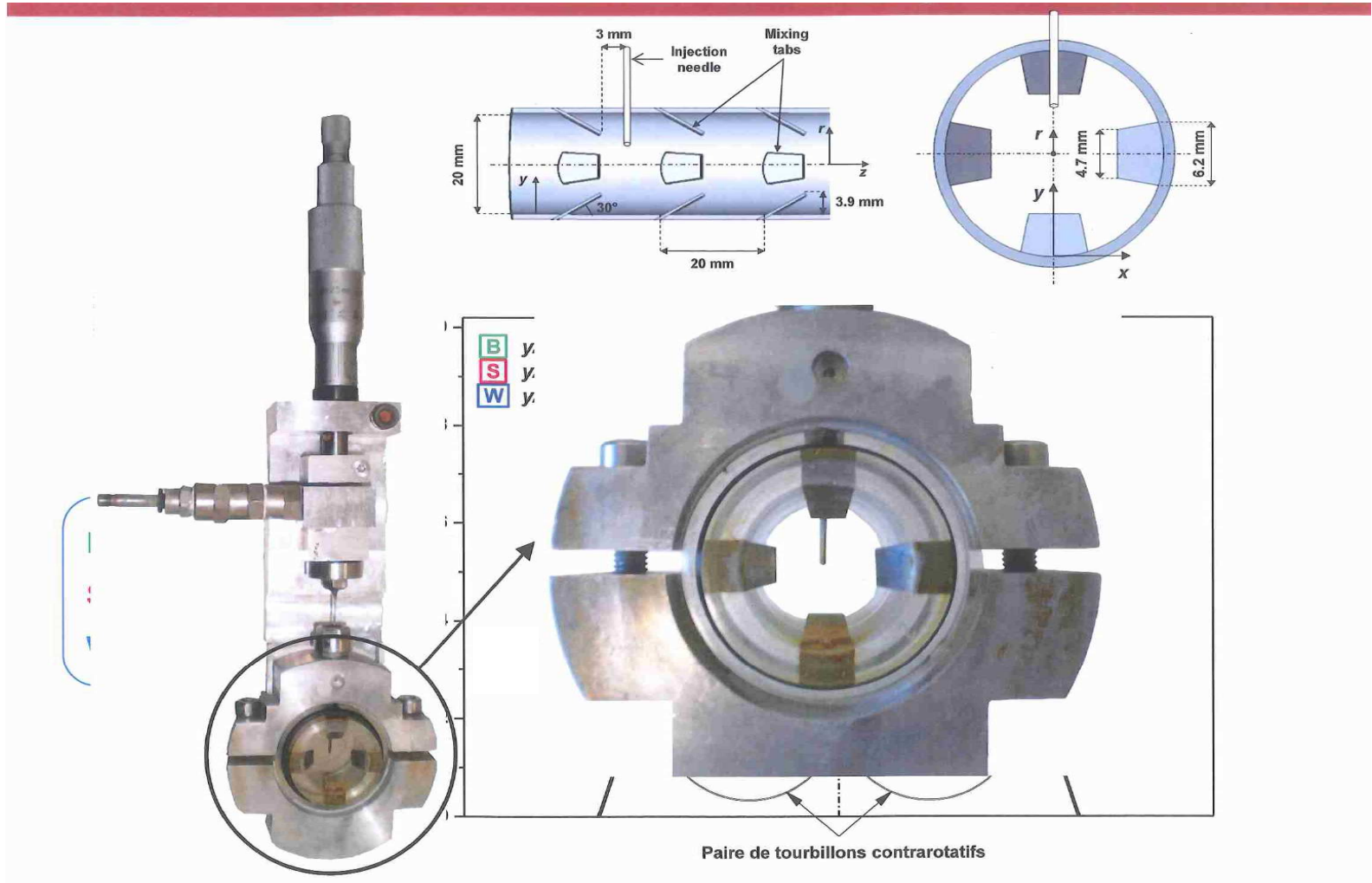
Mesure du Mélange Local et Global dans des Écoulements Complexes par une Méthode de Sonde Chimique

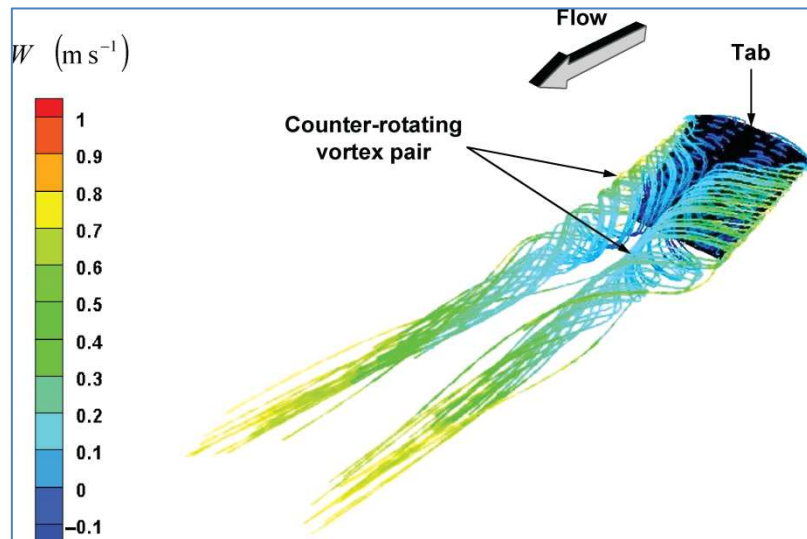
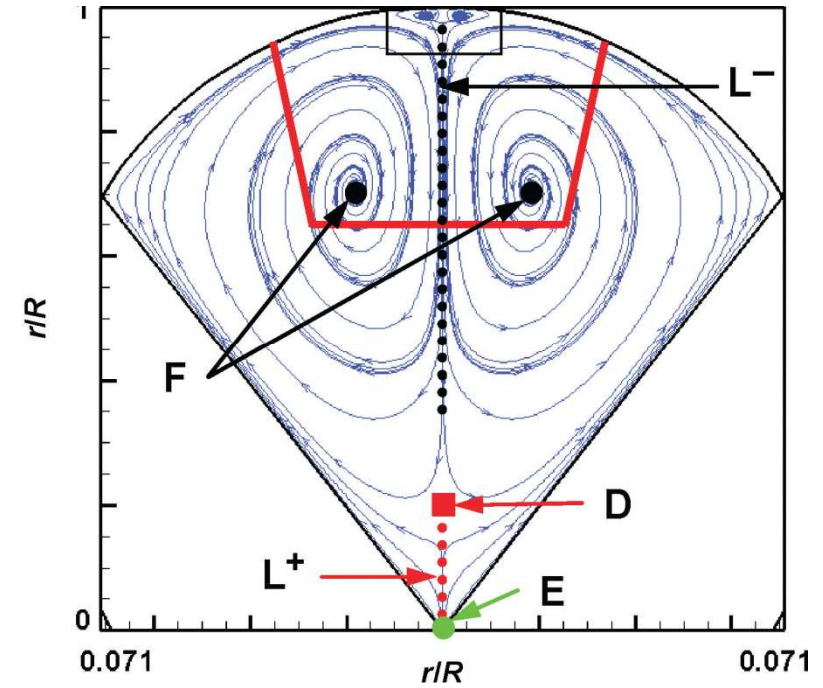
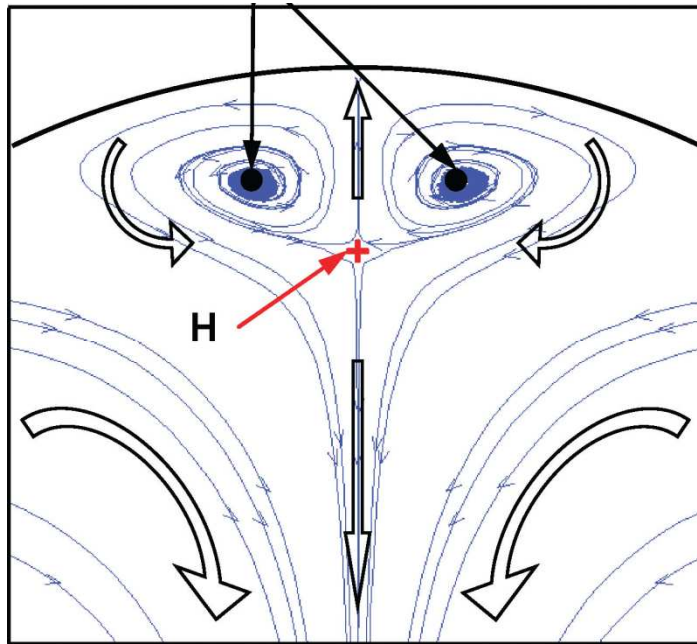
Thierry LEMENAND, Akram GHANEM,
Dominique DELLA VALLE, Hassan PEERHOSSAINI

LTN - Laboratoire de Thermocinétique de Nantes CNRS UMR 6607

Jeudi 15 Mars 2012

1





Turbulence behavior of artificially generated vorticity

Charbel Habchi; Thierry Lemenand; Dominique Della Valle; Hassan Peerhossaini, Journal of Turbulence, Volume 11, Art. No. N 36, 2010



Essais de convection en régime pulsatoire

par

R. MARCHAL,

*Ingénieur Général de l'Air, ancien Professeur à l'École Nationale Supérieure de l'Aéronautique,
Professeur à l'Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires de Saclay,
Professeur à l'École Nationale du Génie Rural.*



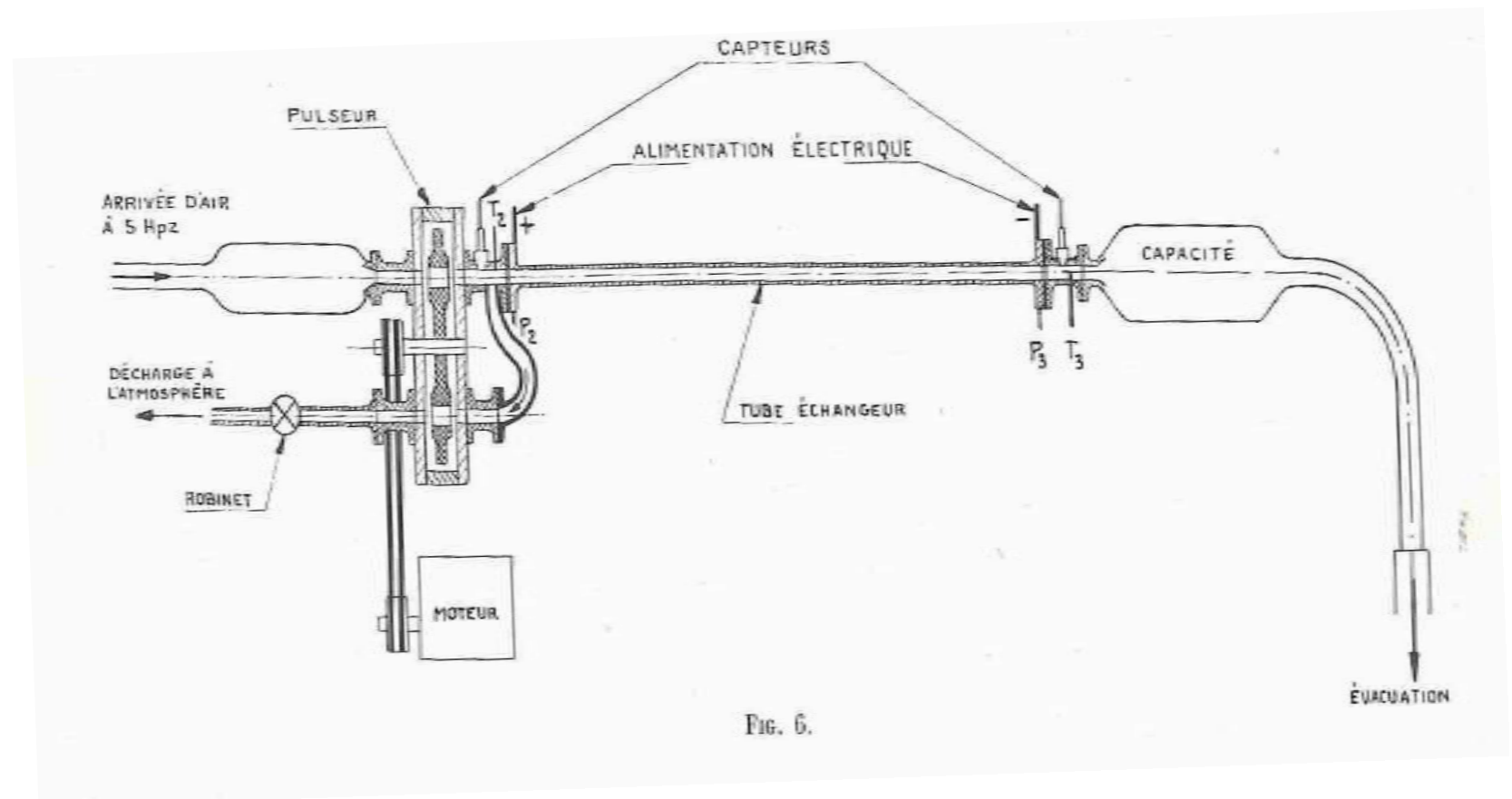
Il paraissait naturel de supposer que les écoulements pulsatoires seraient susceptibles de donner lieu à des transferts de chaleur plus actifs que ceux qu'on enregistre ordinairement, et nous avons entrepris de 1950 à 1953 un certains nombres de mesure sur les « pulsoréacteurs »



UNIVERSITÉ DE NANTES



École d'ingénieurs de l'université de Nantes





CONCLUSIONS

1° Il ne paraît pas douteux que les écoulements pulsatoires améliorent les transferts de chaleur par suppression de la couche limite. L'amélioration enregistrée actuellement peut être estimée à 30 ou 40 %.

2° Dans le cas où le courant peut naturellement prendre une forme pulsatoire (combustion pulsatoire), cette méthode paraît présenter un certain champ d'application.

3° Dans le cas où la pulsation doit être créée par des procédés artificiels, l'amortissement naturel du système a, jusqu'à présent, obligé à dépenser, pour entretenir la pulsation, une énergie hors de proportions avec l'amélioration constatée.

Commentaire Prémonitoire du Président Véron: Je ne sais pas ce qu'il faut admirer le plus dans cet exposé de l'Ingénieur général Marchal: la...

clarté dont ont du bénéficier maintes promotions d'élèves ingénieurs), son contenu, ou la modestie de sa conclusion, qu'il nous avait déjà fait prévoir en séance du Comité d'organisation. Il nous fallut alors beaucoup insister pour qu'il acceptât de surmonter sa réserve. Nous le regrettons d'autant moins que l'idée d'employer un régime d'écoulement pulsatoire peut resurgir sous telle ou telle autre forme, à peine modifiée peut-être.

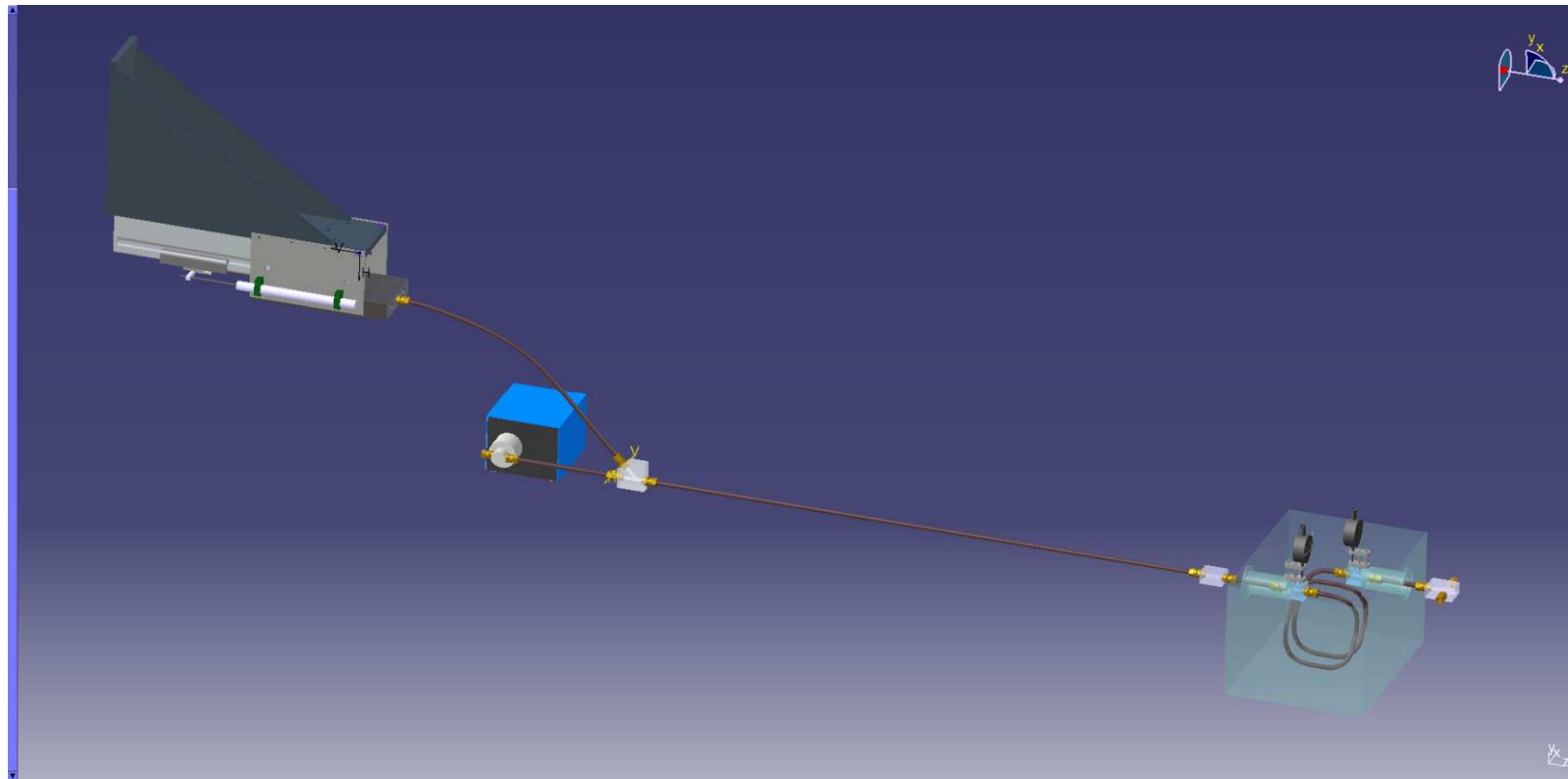
M. l'Ingénieur Général VERNOTTE.

Il s'agit essentiellement de l'intérêt des phénomènes brefs, comme je l'avais indiqué en 1934, quand j'avais parlé de l'efficacité des bouffées de chaleur; c'était même à l'occasion de ce caractère brutal de la bouffée que j'avais introduit le nom de coefficient d'arrachement, pour marquer cet effet de brutalité. Quand un phénomène est bref, il est bien plus avantageux; et un phénomène transitoire qu'on laisse se déployer dans le temps conduit, du fait de sa régularité, à des évaluations plus sûres.

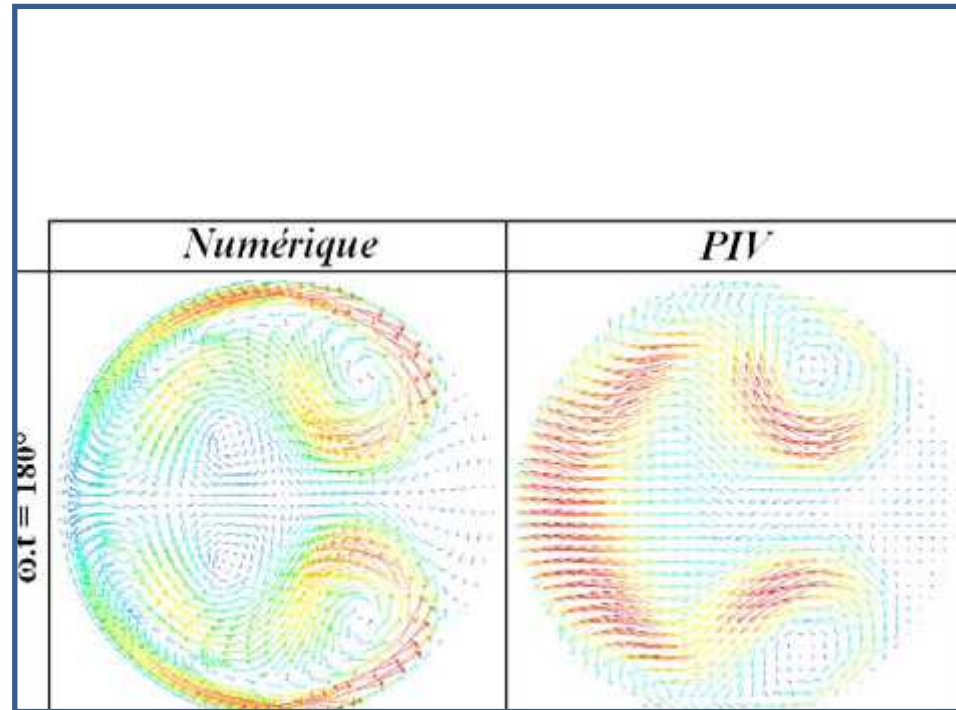




UNIVERSITÉ DE NANTES



LTN: étude d'un échangeur chaotique en écoulement pulsé (N. Lefèvre)



20ème Congrès Français de Mécanique Besançon, 29 août au 2 septembre 2011:
Evaluation du cisaillement et de l'élongation pour l'étude du mélange en écoulement de Dean laminaire pulsé
M. JARRAHI*, C. CASTELAIN, H. PEERHOSSAINI



Étude fondamentale de l'ébullition dans un réacteur nucléaire (1)

par

H. MONDIN et R. SEMERIA

Section des Transferts Thermiques du Centre d'Études Nucléaires de Grenoble.

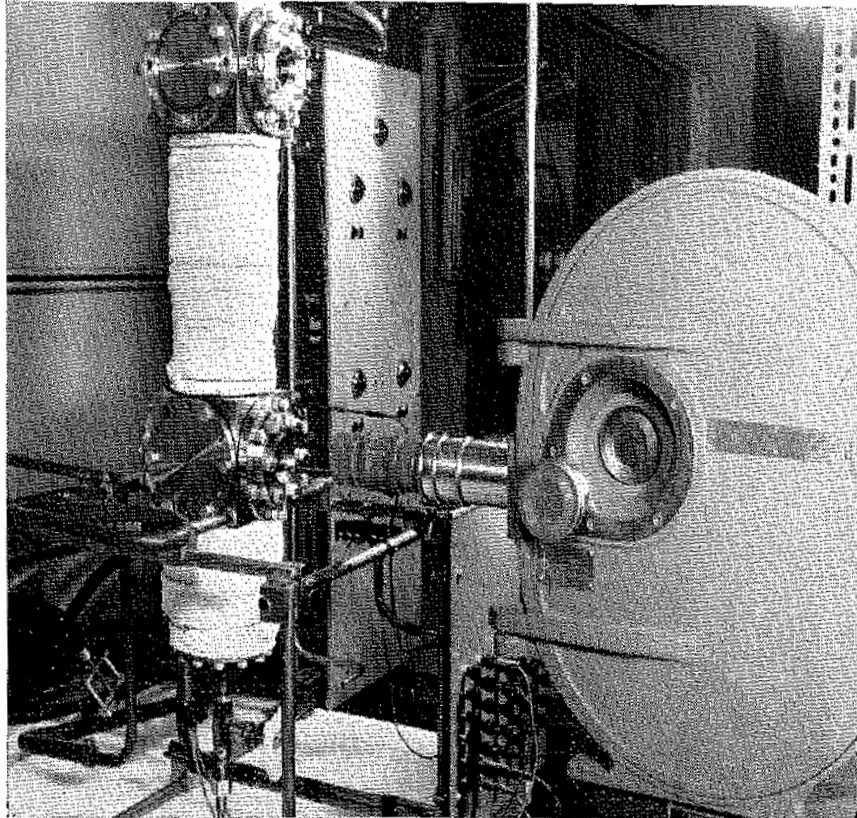


FIG. 2. — Cinématographie ultra-rapide d'ébullition en vase.

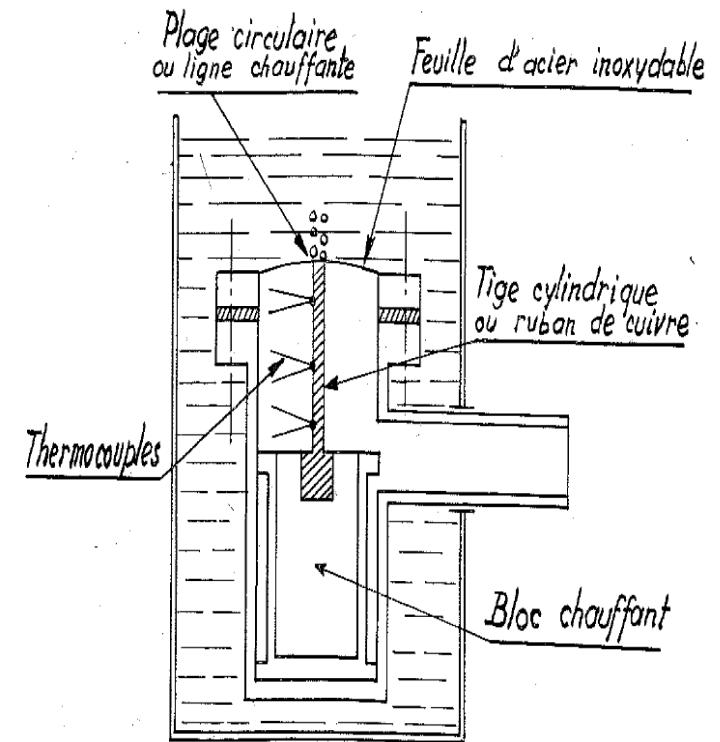


FIG. 3. -- Élément à chauffage indirect localisé sur un plan : plage circulaire ou ligne chauffante.

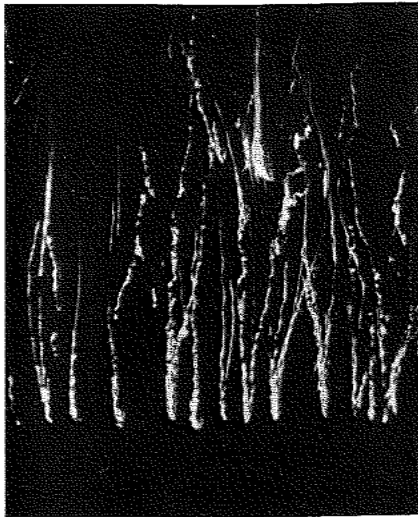


FIG. 5. — Colonnes de bulles issues d'un fil fin.

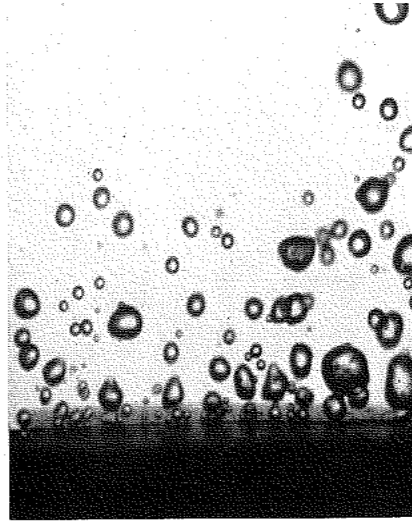


FIG. 6. — Ligne chauffante sur un plan : bulles.

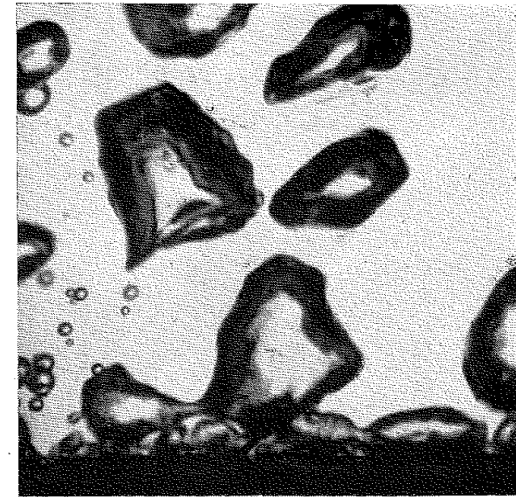


FIG. 7. — Ligne chauffante sur un plan : coalescences.

Commentaires:

M. le Président VÉRON.

Ce film expose les faits d'une façon remarquablement claire et ingénieuse. Il eût été dommage qu'il ne fût pas projeté ici. Regrettons que MM. MONDIN et SEMERIA ne nous aient pas favorisés d'une communication sur la vaporisation, au lieu de participer seulement à la discussion des communications présentées.

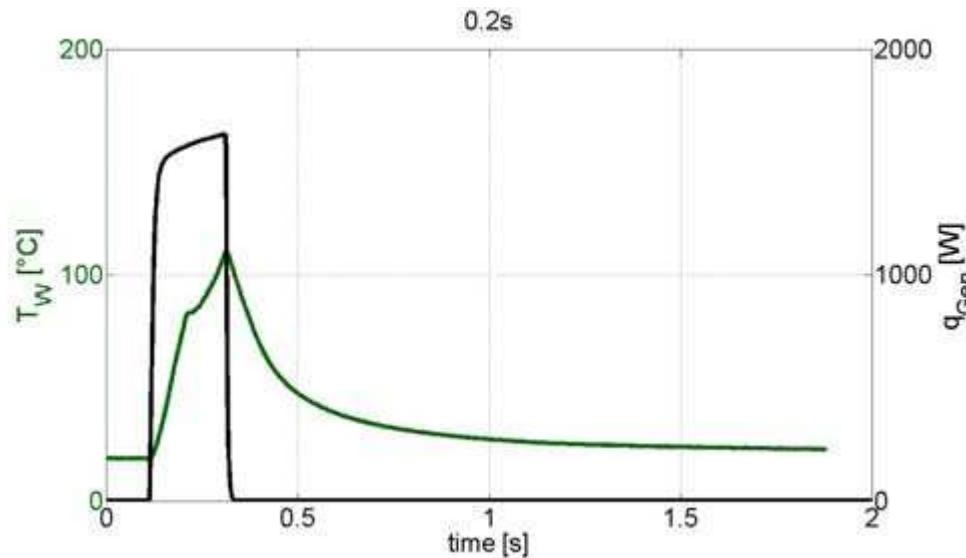
M. SEMERIA.

C'est un film de vulgarisation, destiné à l'exposition de Moscou.





Étude expérimentale des transferts thermiques en ébullition transitoire
Visentini, Roberta (2012),
Thèse INP Toulouse, Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse, Directeur : Pr. Catherine COLIN MOLL.



Température et flux à la paroi



– Tests rapides, durées en dessus de 0:1s, images de la caméra rapide. La figure montre les premières bulles et leur coalescence quelques instants après.



Transfert de chaleur à une paroi soumise à une onde de choc

par

J. CRABOL et R. KLING

(Office National d'Études et de Recherches Aéronautiques.)

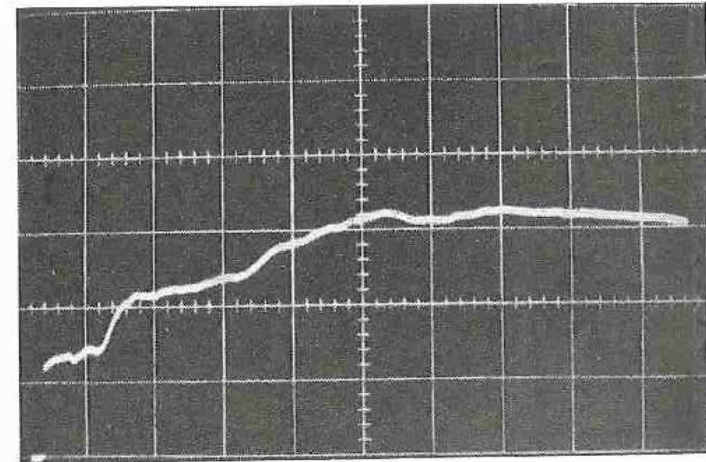
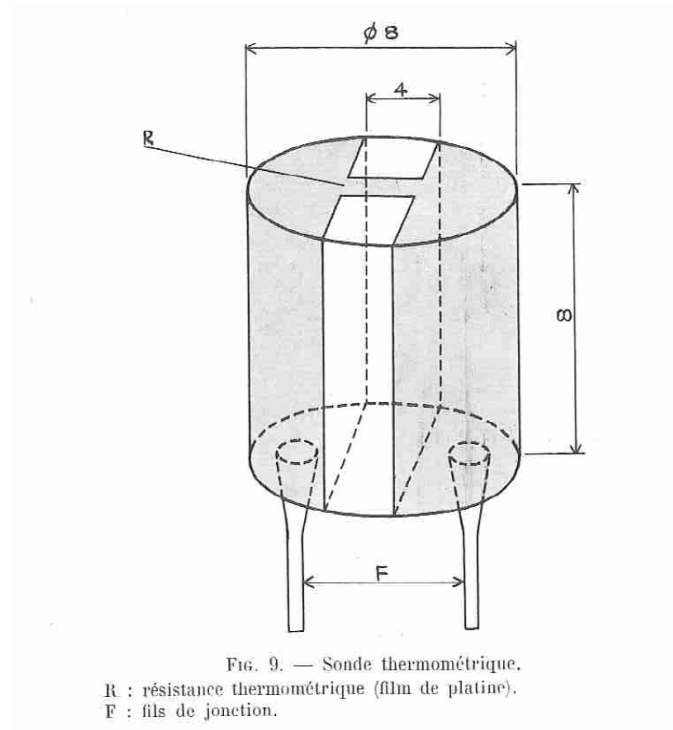


Fig. 11. — Enregistrement de température à la surface de la sonde.
Abscisses : 100 μ s par division.
Ordonnées : 20 mV par division.
 $M_1 = 3,2$.

Résultat obtenu avec un enregistreur Tektronix 551, introduit en 1958





UNIVERSITÉ DE NANTES



École d'ingénieurs de l'université de Nantes

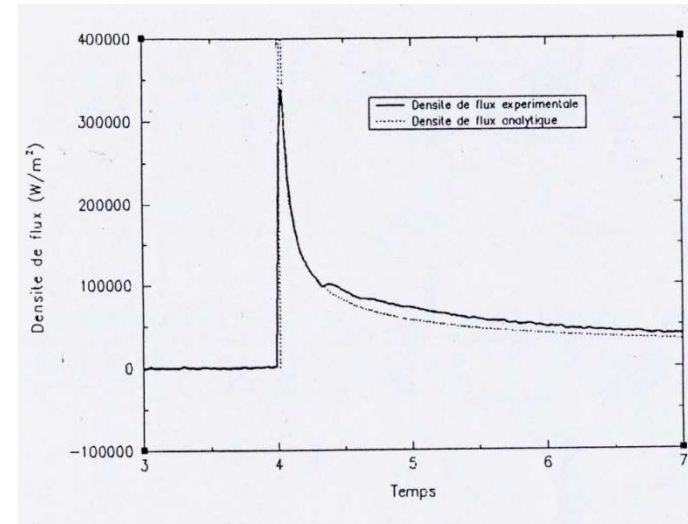
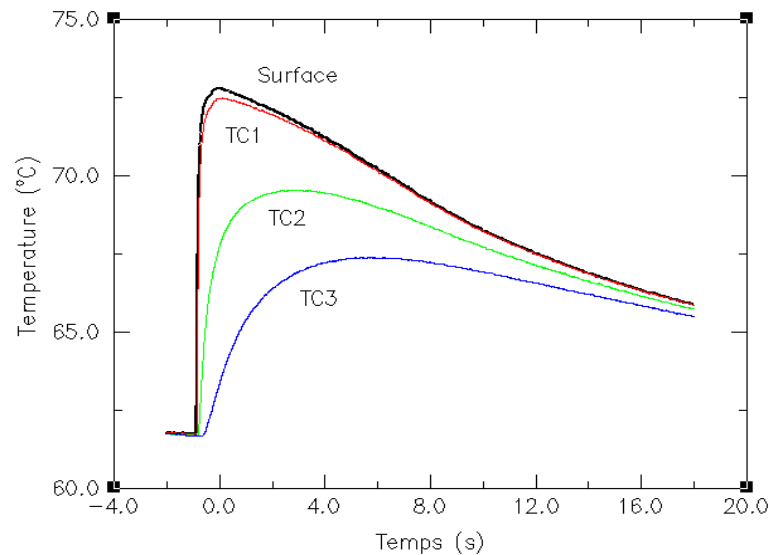


Temps de réponse avec Type K	14ns
Tension d'accélération	10kV
Prix en 1965	\$1850
Poids de l'écran	25 kilogrammes
Poids de l'alimentation	20 kilogrammes
Consommation	850 watts



Conclusion:

La détermination du flux de chaleur transmis à un solide soumis sur l'une de ses faces à l'action d'une onde de choc plane y subissant une réflexion, peut se ramener au moins pendant les premiers instants suivant le choc, à l'étude du transfert par conduction entre deux milieux se mi-infinis initialement à des températures différentes mais uniformes pour chacun d'eux, et brusquement mis en contact.





Les processus de vaporisation et le vapotron

par

Charles A. BEURTHERET,

Ingénieur E.S.E.

(L'inventeur est de la société Thomson –Houston)



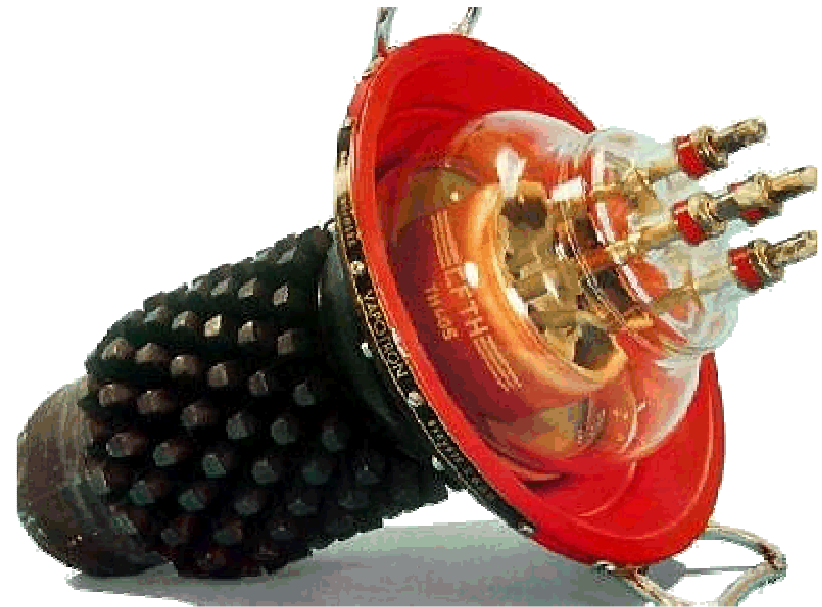
L'idée de base a consisté à munir la surface anodique d'un composant (tube électronique hyper fréquence)

d'extensions radiales massives, à faible résistance thermique, perçant le voile de vapeur, et allant chercher au-delà le contact avec le liquide et l'assurance contre la surchauffe. Un effet secondaire était escompté : la vapeur, découpée par ces protubérances, s'échapperait par les chemins multiples et créerait une turbulence facilitant le retour du liquide au contact de la paroi.

mis en service, à Paris-Villebon, en octobre 1951 ; il a assuré, actuellement, plus de 50 000 heures d'exploitation, avec une sécurité complète et un entretien minime.

Les émetteurs installés à partir de 1952 fournissent, en outre, un sous-produit non négligeable : de l'eau très chaude (jusqu'à 95 °C) capable d'assurer, notam-

Vapotron « ananas », 60 kW



...ment le chauffage central du centre émetteur, sans aucune dépense de combustible



XI. — CONCLUSION ET PERSPECTIVES D'AVENIR

Contrastant avec les techniques usuelles qui tendent à n'utiliser l'ébullition que sur des parois réputées isothermes, nous avons vu que les Vapotrons mettent en jeu, sur une paroi essentiellement non isotherme, un phénomène physique complexe qui avait échappé aux recherches fondamentales, précisément en raison des postulats admis par les chercheurs à la base de leurs travaux.

On constate que toutes les expressions mathématiques proposées — qu'elles soient empiriques et globales, ou théoriques et rattachées aux propriétés physiques des fluides — présentent un caractère commun.

Elles se réfèrent uniquement aux aspects thermodynamiques et hydrodynamiques du phénomène de vaporisation et ne tiennent aucun compte des propriétés physiques internes de la paroi, ni de son épaisseur. Cette paroi est toujours considérée implicitement comme la source parfaite d'un flux de chaleur Φ , caractérisée par sa surface d'échange A , et éventuellement par sa température t_n supposée uniforme.



Commentaires et questions:

M. le Président VÉRON.

Nous venons d'entendre un très bel exposé, présentant pour finir une invention qui fait honneur à son auteur et à notre pays, en présence de nos Amis de l'étranger. Nous venons de voir aussi un beau film, qui apporte un heureux complément et prend place dans une suite remarquable de documents visuels dont nous aurons grandement bénéficié au cours de ces journées.

M. DUPUY avait quelque chose à dire sur le caractère massif des ailettes du vapotron, mais personne ne peut empêcher M. DUPUY d'aller grimper sur les rochers de Fontainebleau le samedi après-midi, quelles que soient les circonstances.



gi - Original Print Ad

Au plateau de Fontbonne
un nouvel émetteur
 ondes moyennes
de grande puissance
 est en cours d'installation
 Il utilisera la technique révolutionnaire
 du **vapotron**
 Ce nouvel émetteur sera mis
 en service au cours de l'été 1955



VAPOTRON
 Tube émetteur de grande puissance à refroidissement par convection de vapeur d'eau. Développé par le Service de Recherches Scientifiques de la G.S. Française. L'ÉMISSION-ÉLECTRONIQUE.

*Toujours à l'avant garde
 de la Technique*

RADIO MONTE-CARLO

*demeure l'une des stations les plus modernes
 et les plus puissantes du monde*

Publicité



Une recherche encore active:

-A non-linear approach for the analysis and modelling of the dynamics of systems exhibiting Vapotron effect

C. Biserni a,*, A. Fichera b, I.D. Guglielmino b, E. Lorenzini a, A. Pagano b

International Journal of Heat and Mass Transfer 49 (2006) 1264–1273:

An innovative approach has been proposed for the analysis and modelling of the complex dynamics that arise in the subcooled boiling heat transfer phenomena that characterises an experimental Vapotron system.

In the first part of the study, the application of nonlinear time series analyses to the experimental dynamics has lead to the demonstration of the chaotic nature of the dynamical phenomena

-Les vapotrons sont utilisés dans le JET (Joint European Torus) :

Performance of Hypervapotron Beam Stopping Elements in JET

H D Falter, E Thompson.

JET Joint Undertaking, Abingdon, Oxfordshire, OX14 3EA, UK.

Une technologie non obsolète :

HITACHI KOKUSAI ELECTRIC 300 kW SHORTWAVE BROADCASTING TRANSMITTER TYPE TA-3001





Les appels d'offres étaient sûrement déjà nombreux...

le professeur GREGORIG, d'origine yougoslave, de culture allemande, émigré à Bello-Horizonte au Brésil, nous a (sur la suggestion de son ami le professeur BOEHM) adressé voici peu une communication que nous n'avions pas sollicitée, concernant la conception des condenseurs.

Le professeur GREGORIG n'a pas pu se déplacer pour vous la présenter lui-même. Notre distingué collègue allemand le docteur BRAUER, que vous avez déjà entendu dans sa propre communication, a bien voulu le suppléer presque au pied levé, les spécialistes français que nous avons consultés s'étant récusés, accaparés qu'ils sont actuellement par les consultations de E.D.F. (particulièrement pressantes en cette période de pré-vacances).

Conclusions:

➤ L'état initial est-il cohérent avec l'état observé à $n+50$ ans?

- Les travaux de l'époque sont d'une actualité surprenante
- Les préoccupations sont identiques: énergie, transports aéronautique et spatial, les communications, les procédés.
- La progression par ruptures ne permet pas de prévoir l'état final, donc...

➤ Qu'est-ce donc qui a fait le plus progresser les connaissances ?

- les moyens de calcul qui limitent les expériences et permettent de traiter les couplages.
- la miniaturisation (électronique par exemple)
- les moyens de visualisation (optique, laser, visualisation des résultats...)
- les concepts mathématiques (méthodes numériques, inverses, ...)





○ Possibilité de prendre en compte les couplages avec une description multiphysique de plus en plus affinée:

Convection thermosolutale, cinétiques, ...

○ approche multi-échelle possible avec la prise en compte de la morphologie réelle (croissance sphérolitique, composites, ...)

➤ **Avait-on une idée sur cette question en 1961?**

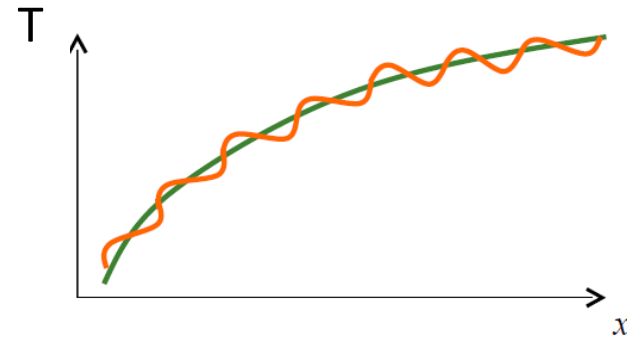
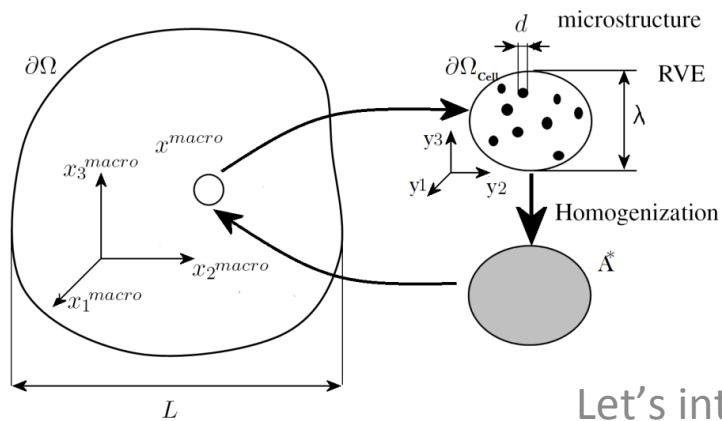
Oui, sur les moyens de calcul :

M. Véron « Les calculatrices numériques révolutionnent le traitement des informations et la recherche d'optimum » : progrès de la métrologie et des méthodes inverses

M.Véron: parlant des approches mathématiques:« La possibilité de connaître la conductivité d'une solution solide connaissant celle de ses composants »

On y arrive!

Modélisation par approche multi-échelle : homogénéisation périodique (thèse Abdel Matine)



Let's introduce dimensionless variables :

\mathbf{x} : macroscopic scale (composite)

\mathbf{y} : microscopic scale (fibres)

$$y = z / l_c \quad \text{and} \quad x = z / L = \varepsilon y$$

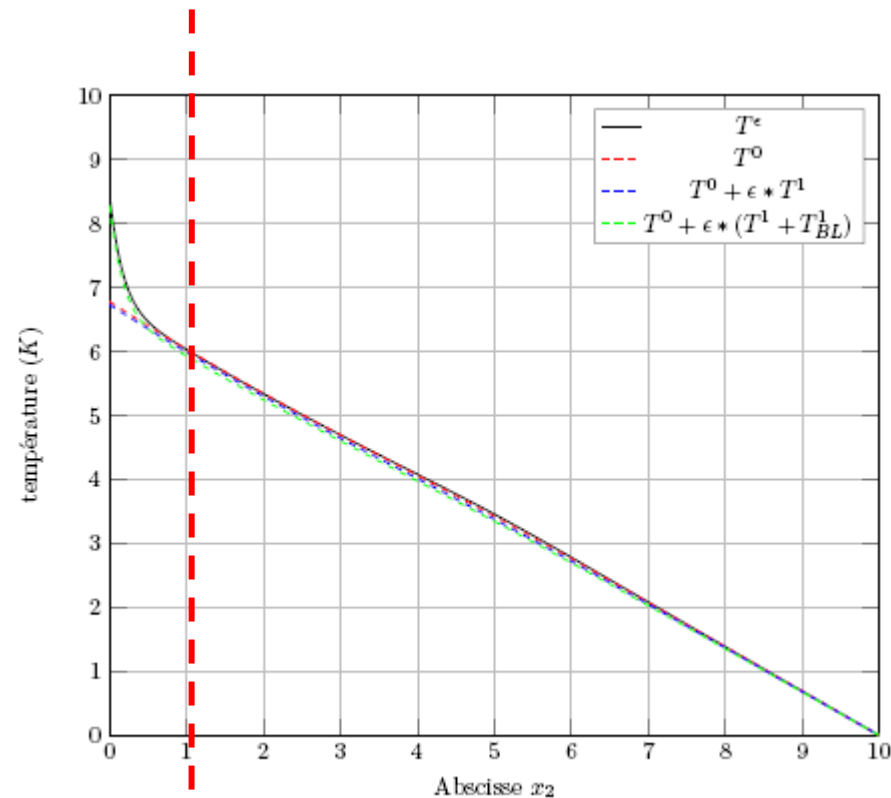
→ Scaling ratio: $\varepsilon = \lambda / L \ll 1$

The temperature field $\mathbf{u}(\mathbf{z})$ is searched under the form of a multi-scale asymptotic expansion

$$u_\varepsilon(\mathbf{z}) = u_0(x, y) + \varepsilon u_1(x, y) + \varepsilon^2 u_2(x, y) + O(\varepsilon^2)$$

L'effet Jacq existe !! (effet Jakny ?)

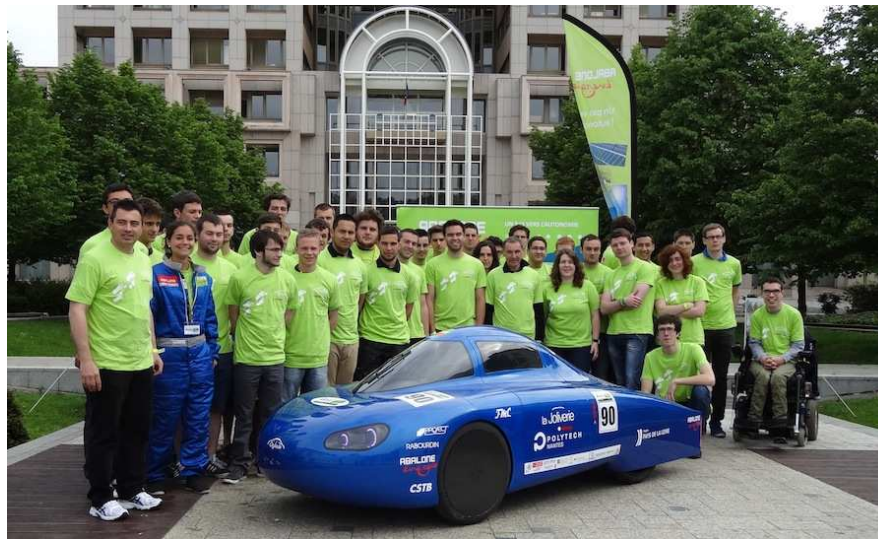
- $k_1 = 0.2W.m^{-1}.K^{-1}$ et $k_2 = 5W.m^{-1}.K^{-1}$
- Condition en $x=0$: flux imposé ($2kW/m^2$)



Dans la zone frontière la condition à la limite de flux moyen constant est modifiée



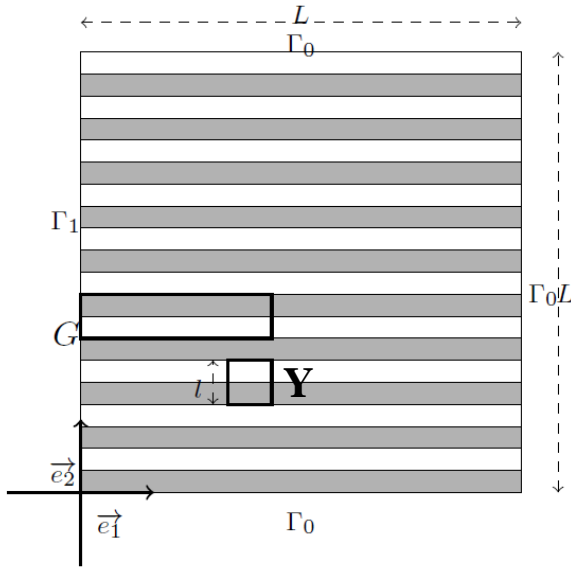
Eco-Marathon SHELL 2013 à Rotterdam



Nouveau record de l'association Polyjoule (véhicule propulsé par PàC) : 1431 km avec l'équivalent énergétique d'un litre d'essence

Homogénéisation et prise en compte des effets de bords en thermique

Application à un composite multicouche



Problème hétérogène

$$\begin{cases} \operatorname{div}_x (-\phi^\epsilon(x)) = f(x) & \text{dans } \Omega \\ \phi^\epsilon(x) = K \cdot \nabla_x T^\epsilon(x) & \text{dans } \Omega \\ T^\epsilon = 0 & \text{sur } \Gamma_0 \\ \phi^\epsilon(x) \cdot \vec{n} = F(x) & \text{sur } \Gamma_1 \end{cases}$$

Problème homogène équivalent

$$\begin{cases} \operatorname{div}_x (-\langle \phi^0 \rangle) = f(x) & \text{dans } \Omega \\ \langle \phi^0 \rangle = K^* \cdot \nabla_x T^0 & \text{dans } \Omega \\ T^0 = 0 & \text{sur } \Gamma_0 \\ \langle \phi^0 \rangle \cdot \vec{n} = F(x) & \text{sur } \Gamma_1 \end{cases}$$

Conductivité effective (calculée sur la cellule périodique)

$$K_{i,j}^* = \frac{1}{|Y|} \int_Y K (e_i - \nabla_y \chi_i) e_j \rightarrow \begin{cases} \operatorname{div}_y (K \cdot (e_i - \nabla_y \chi_i)) = 0 & \text{sur } Y \\ \chi_i \text{ est périodique} & \text{sur } \partial Y \end{cases}$$

Afin de corriger les champs de température et de flux, on se propose d'introduire, dans les développements asymptotiques de T^ϵ et ϕ^ϵ des termes supplémentaires qui tendent vers 0 lorsque l'on s'éloigne de la frontière Γ_1 .

$$\begin{cases} T^\epsilon(x) = T^0(x) + \epsilon \underbrace{((w(y) + \chi(y)) \nabla_x T^0(x))}_{T^1(x,y) + T_{BL}^1(x,y)} + \mathcal{O}(\epsilon) \\ \phi^\epsilon(x) = \underbrace{((K \cdot (e_i - \nabla_y \chi_i + \nabla_y w_i) e_j) \nabla_x T^0(x))}_{\phi^0 + \phi_{BL}^0} + \mathcal{O}(1) \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \operatorname{div}_y (K \cdot \nabla_y w_i) = 0 & \text{dans } G \\ (K \cdot \nabla_y w_i) \cdot \vec{n} = -K \cdot (e_i - \nabla_y \chi_i) e_j \cdot \vec{n} + \frac{1}{|Y|} \int_Y K \cdot (e_i - \nabla_y \chi_i) e_j \cdot \vec{n} & \text{sur } \Gamma_1'' \\ w_i \text{ est périodique} \\ w_i \text{ et } \nabla_y w_i \text{ décroissent exponentiellement lorsque } y_1 \text{ tend vers } +\infty \end{cases}$$









