

# L'ingénieur et les nouvelles mécaniques

Autor(en): **Mercier, Robert**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin technique de la Suisse romande**

Band (Jahr): **63 (1937)**

Heft 4

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-48432>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# BULLETIN TECHNIQUE

## DE LA SUISSE ROMANDE

Paraissant tous les 15 jours

### ABONNEMENTS :

Suisse : 1 an, 12 francs

Etranger : 14 francs

Pour sociétaires :

Suisse : 1 an, 10 francs

Etranger : 12 francs

Prix du numéro :

75 centimes.

Pour les abonnements  
s'adresser à la librairie  
F. Rouge & C<sup>ie</sup>, à Lausanne.

Organe de la Société suisse des ingénieurs et des architectes, des Sociétés vaudoise et genevoise des ingénieurs et des architectes, de l'Association des anciens élèves de l'Ecole d'ingénieurs de l'Université de Lausanne et des Groupes romands des anciens élèves de l'Ecole polytechnique fédérale. — Organe de publication de la Commission centrale pour la navigation du Rhin.

COMITÉ DE RÉDACTION. — Président : R. NEESER, ingénieur, à Genève. — Membres : *Fribourg* : MM. L. HERTLING, architecte ; A. ROSSIER, ingénieur ; *Vaud* : MM. C. BUTTICAZ, ingénieur ; E. ELSKES, ingénieur ; EPITAUX, architecte ; E. JOST, architecte ; A. PARIS, ingénieur ; CH. THÉVENAZ, architecte ; *Genève* : MM. L. ARCHINARD, ingénieur ; E. ODIER, architecte ; CH. WEIBEL, architecte ; *Neuchâtel* : MM. J. BÉGUIN, architecte ; R. GUYE, ingénieur ; A. MÉAN, ingénieur cantonal ; *Valais* : MM. J. COUCHEPIN, ingénieur, à Martigny ; HAENNY, ingénieur, à Sion.

RÉDACTION : H. DEMIERRE, ingénieur, 11, Avenue des Mousquetaires,  
LA TOUR-DE-PEILZ.

### ANNONCES

Le millimètre sur 1 colonne,  
largeur 47 mm. :

20 centimes.

Rabais pour annonces  
répétées.

Tarif spécial  
pour fractions de pages.

Régie des annonces :  
Annonces Suisses S. A.  
8, Rue Centrale (Pl. Pépinet)  
Lausanne

CONSEIL D'ADMINISTRATION DE LA SOCIÉTÉ ANONYME DU BULLETIN TECHNIQUE

A. DOMMER, ingénieur, président ; G. EPITAUX, architecte ; M. IMER.

SOMMAIRE : *L'ingénieur et les nouvelles mécaniques*, par M. le D<sup>r</sup> ROBERT MERCIER, professeur à l'Ecole d'ingénieurs de l'Université de Lausanne (suite et fin). — *Concours d'idées pour la construction d'un bâtiment administratif et l'aménagement de ses abords, à Lausanne*. — *L'organisation de la vente à l'exportation dans l'industrie des machines*, par M. E. LAVATER, ingénieur en chef, à Winterthur. — SOCIÉTÉS : *Société suisse des ingénieurs et des architectes*. — *Association amicale des anciens élèves de l'Ecole d'ingénieurs de Lausanne et Société vaudoise des ingénieurs et des architectes*. — BIBLIOGRAPHIE.

## L'ingénieur et les nouvelles mécaniques,

par M. le D<sup>r</sup> ROBERT MERCIER,  
professeur à l'Ecole d'ingénieurs de l'Université de Lausanne.

(Suite et fin.)<sup>1</sup>

Nous voyons maintenant que si les lois fondamentales de la mécanique classique ne sont pas applicables aux grains de matière, ou de lumière c'est pour la bonne raison que ces lois ne sont pas vérifiables. D'autres lois doivent leur être substituées qui sont d'une autre nature que celles utilisées jusqu'ici. Elles devront, dans leurs conséquences, permettre aussi bien l'explication ondulatoire des phénomènes que leur interprétation corpusculaire.

Comment donc concevoir cette nouvelle mécanique ?

La première idée venant à l'esprit serait de construire une *optique des ondes matérielles* semblable à l'optique classique. Or, en optique classique, il y a deux représentations possibles de la lumière.

a) Celle des rayons lumineux (qui donne naissance à l'optique « géométrique ») et

b) celle des ondes (base de l'optique dite « physique »).

Dans la transposition qui nous intéresse il sera intuitif d'assimiler la trajectoire des particules aux rayons lumineux et de faire correspondre à la fonction « potentiel » dont dérivent les forces, agissant sur la particule, l'indice de réfraction des milieux optiques. Une onde de longueur  $\lambda$  représentera alors très bien un flux matériel

permanent dont les constituants possèdent la quantité de mouvement  $mv$ .  $\lambda$  et  $mv$  seront reliés par la loi :

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

Mais, puisque la *longueur d'onde* représente déjà la *vitesse* des particules, la célérité de l'onde,  $u$ , pourra être différente de  $v$  et choisie en vue de compléter certaines analogies formelles entre la théorie des ondes matérielles et celle de la lumière. La *fréquence*  $\nu$  de cette onde sera elle, une mesure de l'énergie

$$\nu = \frac{E}{h}$$

Et toutes les modifications que subira cette onde en vertu des lois de l'optique classique représenteront, par le truchement de ces formules, les changements de mouvement que subissent les particules en cause.

Pour représenter maintenant un seul grain matériel, une seule onde ne suffit pas. Il faut pouvoir *localiser* ce grain et ne créer dans sa représentation par des ondes qu'une indétermination limitée. On fera appel à une superposition d'ondes de diverses fréquences et longueurs, qui, *en dehors* du domaine de la particule *s'annulent* et se compensent mutuellement par interférences et qui, par contre, sont en phase et s'ajoutent là où se trouve le grain de matière. Dans cette représentation, ce n'est plus l'analogie entre rayons et trajectoires qui nous conduit ; nous avons ici un exemple de transposition de l'optique ondulatoire et nous ferons également appel à l'équation aux dérivées partielles

$$\Delta \Phi = \frac{1}{u^2} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2}$$

<sup>1</sup> Voir *Bulletin technique* du 30 janvier 1937, page 25.

qui la régit. Mais de nouveau ici,  $u$  ne doit pas être confondu avec la vitesse  $v$  de la particule ;  $u$  n'est que la vitesse de phase des ondes. Cette équation transformée judicieusement, deviendra l'équation de la mécanique ondulatoire, de *Schrödinger*.

Ainsi la représentation d'un seul grain est réalisée par un *paquet d'ondes* dont le centre se meut avec la vitesse  $v$  du grain.  $v$  représente, dans ce cas, ce qu'on nomme la *vitesse de groupe* de ces ondes.

Or, l'existence même de la vitesse de groupe implique celle de dispersion des ondes et ici la dispersion peut provoquer, petit à petit, la disparition du paquet d'ondes. En d'autres termes, après un temps suffisamment long, l'*amplitude* de la fonction  $\Phi$  devient constante dans tout l'espace. On interprète ce fait, pour le moins curieux, en remarquant que ni la fonction d'onde  $\Phi$ , ni une fonction quelconque de celle-ci (son carré par exemple) ne représentent la particule elle-même en un point de l'espace.  $\Phi$  ne représente en quelque sorte que la probabilité de l'y trouver. La mécanique ondulatoire donne donc des résultats d'une autre nature que la mécanique classique. Elle n'offre plus la possibilité de calculer les coordonnées et la vitesse d'une particule à une époque quelconque en partant de la connaissance de ces éléments à une époque donnée. Elle permet seulement d'affirmer l'existence du grain dans un certain domaine spatial dont l'étendue augmente généralement avec le temps ; elle peut encore prédire entre quelles limites la valeur de la quantité de mouvement a le plus de chance de se trouver.

On pourrait s'attendre, par ce qui précède, à ce que la mécanique ondulatoire soit parfaitement capable de décrire les phénomènes physiques et qu'elle remplacât avantageusement la mécanique classique. La seule modification apportée à cette dernière aurait été de substituer au point matériel un système d'ondes.

Malheureusement, cet espoir (qui fut celui de bien des théoriciens il y a quelques années) doit être abandonné. En effet, si la nature ondulatoire de la matière y est représentée d'une façon qui peut, à première vue, paraître satisfaisante parce qu'encore imaginable, la nature granulaire de la lumière, elle, y est totalement négligée. Or, le dualisme de la lumière (du champ électro-magnétique), n'est pas moins important, moins sensible que celui de la matière.

L'ingénieur doit-il se féliciter ou se lamenter de ce que la mécanique ondulatoire qui remplaçait le discontinu apparent par du continu, n'ait pas tenu ce qu'elle promettait ?

Doit-il se féliciter ou se lamenter de ce que les équations aux dérivées partielles ne paraissent décidément pas aptes à représenter les réalités physiques ?

Avant de répondre, il nous faut encore donner un rapide coup d'œil à la mécanique quantique ou *mécanique des matrices*.

Celle-ci est entièrement dominée par l'idée fonamen-

tale qui a donné le jour au principe d'indétermination :

Selon le genre d'observation effectuée sur une entité physique, celle-ci apparaît avec les propriétés discontinues de ce que nous nommons *particule* ou avec le caractère périodique et continu de ce que nous nous représentons sous le nom d'ondes. En fait, le dualisme provient principalement de la manière dont l'expérimentateur agit sur l'objet qu'il étudie. Puisque son action entraîne une modification imprévisible dans les propriétés de l'objet, si l'on peut déterminer le lieu où se trouve l'objet, on utilisera la représentation corpusculaire de celui-ci ; si, par contre on peut mesurer sa vitesse avec une grande certitude, c'est la représentation ondulatoire qui prévaudra puisque sa localisation sera impossible en vertu des principes d'indétermination.

On peut poser, en règle générale : la représentation ondulatoire conviendra plus spécialement aux particules légères alors que les autres seront mieux représentées par l'image des corpuscules. Si la lumière présente si nettement le caractère d'ondes c'est parce que la masse de ses constituants est très petite : un photon de lumière jaune possède une masse de  $4,4 \times 10^{-32}$  g, alors qu'un atome d'hydrogène a une masse de  $1,6 \times 10^{-24}$  g.

Pour tenir compte de ce dualisme apparent, la nouvelle mécanique ne peut pas se mouvoir, comme la mécanique classique, dans un univers intuitif opposant la notion de grain à celle d'ondes, celle de continu à celle de discontinu, où la force, l'énergie, l'impulsion sont des grandeurs rigoureusement définies. Elle ne peut pas, cette nouvelle mécanique, faire usage des équations aux dérivées partielles (ce qui serait contraire au principe d'indétermination) ni être formulée par un principe de variation à l'instar de la mécanique de Lagrange ou de Hamilton.

Mais elle trouve son expression dans des symboles nommés *matrices* qui sont des tableaux à double entrée, à nombre quelconque d'éléments (finis ou infinis) et qui sont soumis à une algèbre spéciale. Dans cette algèbre qui est fortement inspirée des règles empiriques de combinaison, de la spectroscopie, la constante  $h$  que nous avons rencontrée si souvent dans cet exposé joue un rôle prépondérant. Et le but de cette nouvelle mécanique n'est plus de donner des phénomènes une image simple en une représentation intuitive ; c'est tout simplement *de pouvoir calculer d'avance* ce que l'observation de certains systèmes pourra faire voir ; c'est de prévoir quelles sont les propriétés que doivent avoir tels ou tels objets placés dans telle ou telle condition. Nous savons que la nature des choses nous impose certaines limites dans la connaissance ; la mécanique quantique s'en accomode et ne fait que des prévisions approximatives mais combien pleines d'intérêt pourtant. Elle nous a prédit l'existence de l'électron positif découvert depuis lors. Elle permet d'établir l'existence des deux hydrogènes moléculaires, *para* et *ortho* ; une théorie plausible des combinaisons homéopolaires, etc.

On peut dire que l'origine de toutes les modifications à apporter à la mécanique classique réside dans l'existence de la constante  $h$ .

Cette constante possède, en fait, une signification universelle : elle joue un rôle primordial chaque fois qu'il y a échange d'énergie ou d'impulsion entre la matière, la lumière ou l'électricité. C'est une grandeur dont l'existence même est totalement inconciliable avec les lois fondamentales de la mécanique. Elle est *fort heureusement* très petite. Sa nature est celle d'une grandeur mécanique peu usitée en pratique et qui a été introduite pour la première fois par Maupertuis. Elle a reçu le nom d'*action*. C'est le produit d'une quantité de mouvement par un déplacement ; ou bien d'une énergie par le temps. Cette « action » paraît étrange à l'ingénieur : il parlera volontiers de la quantité de mouvement d'un mobile, de l'énergie cinétique d'une pièce de machine, de la vitesse d'un véhicule, mais jamais il ne lui viendra à l'idée de calculer l'action d'un automobile entre deux stations ni l'action du piston d'un moteur Diesel pendant un cycle. Et surtout il n'aura jamais la notion intuitive d'une *action avec structure granulaire*. Et c'est pourtant en ceci que se distinguent les nouvelles mécaniques de l'ancienne : la matière, l'électricité, la lumière ont, selon les cas étudiés, une apparence ondulatoire ou granulaire parce que *l'action est morcelée en parcelles indivisibles* dont la grandeur est

$$h = 6,55 \cdot 10^{-27} \text{ erg. sec.}$$

Et maintenant nous sommes en mesure de donner une réponse aux questions posées en cours de route et de comprendre pourquoi nous pouvons en toute sécurité continuer à enseigner une mécanique classique.

C'est que la mécanique de Newton-Einstein est née d'un nombre imposant d'expériences de toutes sortes. Et les principes de causalité, d'inertie, des conditions initiales, etc., ne sont que la cristallisation, l'expression condensée des nombreuses lois ou règles trouvées par voie empirique quelquefois, par voie logique souvent, mais toujours échafaudées sur un univers simplifié. Les principes ont été choisis de façon à permettre de retrouver par voie déductive les théorèmes dont certaines conséquences avaient été vérifiées expérimentalement et antérieurement. En fait tous ces théorèmes sont approximatifs puisqu'en fin de compte basés sur des mesures entachées d'erreur. Et cela, on le savait et on a tout d'abord et délibérément simplifié les résultats de mesure pour pouvoir en énoncer les propriétés d'une façon simple. On a *schématisé la réalité* pour construire la mécanique. Après cet effort seulement sont venus les esprits synthétiques qui ont pu, par induction, trouver des règles dont la généralité était telle qu'il semblait difficile de les déduire logiquement de règles encore plus générales. Ainsi sont nés les *principes fondamentaux* et leur recherche fut un long travail. Le travail inverse, nous le faisons en bâtissant une mécanique par voie déductive, ce qui est plus rapide ! On a longtemps cru que les principes

représentaient mieux la *réalité* que les résultats expérimentaux. Ils ne sont en fait qu'une *première approximation* de cette réalité ; c'est ce que nous montrent les « faits nouveaux ». Et si, jusqu'à nos jours, ils ne furent jamais infirmés, c'est que nous utilisions pour leur contrôle des *masses à notre échelle*. La précision des déterminations était totalement insuffisante pour déceler ce que la mécanique des atomes a mis en lumière. Voici un exemple : Supposons que nous voulions étudier le mouvement d'un corps matériel de 1 g. Avec quelle précision pouvons-nous indiquer la position de son centre de gravité ? Nous repérons celui-ci par rapport à un mètre étalon fixe. Les méthodes optiques les plus sensibles ne permettent pas d'espérer une erreur plus petite que  $10^{-6}$  cm par exemple. Le principe d'indétermination de Heisenberg nous avertit que, dans ces conditions, la mesure de la vitesse de ce corps sera certainement entachée d'une erreur, dont la valeur est de l'ordre de

$$\Delta v = \frac{h}{\Delta x \cdot m} = \frac{10^{-27} \text{ erg. sec.}}{10^{-6} \text{ cm} \times 1 \text{ g}} = 10^{-21} \text{ cm : s.}$$

Ce qui n'a, évidemment, aucun sens, car l'énergie d'agitation thermique déjà produit un *mouvement brownien* de ce centre de gravité. Dans ce mouvement, sa vitesse moyenne est donnée par :

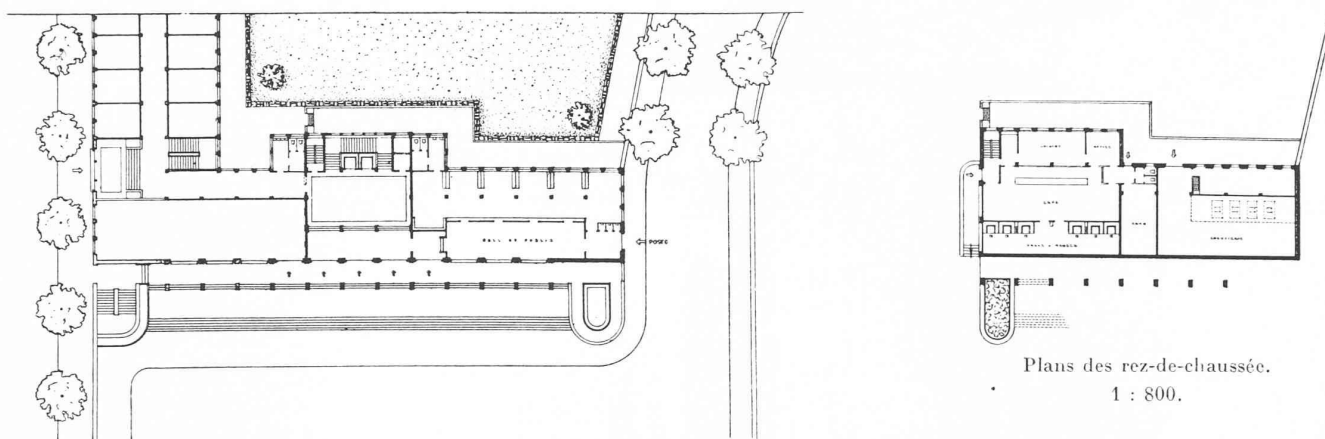
$$v = \sqrt{\frac{2kT}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 1,4 \times 10^{-16} \times 300}{1}} = 2,9 \times 10^{-7} \text{ cm : s.}$$

Nous en tirons la conclusion que, dans la mécanique des corps à notre échelle, le principe d'indétermination ne joue aucun rôle, en vertu de la petitesse de la constante  $h$ . D'ailleurs on peut montrer que la mécanique quantique *redonne la mécanique classique lorsqu'on fait tendre  $h$  vers 0*. C'est ce que l'ingénieur fait inconsciemment dans ses calculs et ce n'est certes pas au moment où l'on peut montrer que ce qu'il fait est légitime qu'il lui faut s'embarrasser de scrupules.

Sauf lorsque les masses en jeu sont très faibles la mécanique n'est pas plus fautive en supposant  $h = 0$  qu'en supposant la masse indépendante de la vitesse. Les théories d'Einstein-Lorentz avaient également fait mettre en doute, sinon les principes, du moins certains théorèmes de la mécanique de Newton. Là aussi une révision de la notion de simultanéité et du rôle de la vitesse  $C$  de la lumière a été nécessaire ; et là aussi on a montré que dans la plupart des cas, l'extrapolation  $C = \infty$ , était parfaitement légitimée.

En conclusion, les principes fondamentaux de la mécanique classique ont perdu le caractère absolu qu'on leur avait peu à peu attribué. D'autres principes leur ont été substitués qui tiennent compte d'une nouvelle constante universelle et dont l'existence interdit de penser à des lois rigoureuses, analogues à celles utilisées jusqu'ici. Mais, l'ordre de grandeur de cette constante permet, dans la plupart des cas pratiques (et tant qu'il ne s'agit pas de mécanique

## CONCOURS POUR UN BATIMENT ADMINISTRATIF, A LAUSANNE

11<sup>e</sup> prix *ex aequo* : M. Ch. Thévenaz.

d'éléments très petits), de négliger l'évolution des principes et de continuer à faire usage de ceux dont l'ingénieur s'est servi jusqu'à présent, d'autant plus qu'ils ont le grand mérite de *sembler clairs*.

La mécanique rationnelle ne perd en aucun cas son intérêt puisqu'en fait les nouvelles théories ont été construites en s'inspirant de ses résultats. De vérité absolue qu'elle semblait être, elle prend le rôle d'une *première approximation*, et ceci, en dernière analyse tout simplement parce que l'homme mesure entre 1 et 2 mètres. Les circonstances seraient totalement différentes si l'homme mesurait 1 micron : il serait aveugle d'abord, sourd probablement et sa mécanique embryonnaire car la constante d'action jouerait déjà un rôle important dans sa vie...

Félicitons-nous de notre dimension et, avant d'aborder les mécaniques quantiques, étudions d'abord à fond la mécanique classique.

## L'organisation de la vente à l'exportation dans l'industrie des machines,

par M. E. LAVATER, ingénieur en chef à Winterthur<sup>1</sup>.

La vente est l'une des fonctions vitales de chaque usine. Du moment où elle se trouve entravée — comme cela s'est produit il y a quelques années — le service de fabrication étouffe tout d'abord sous l'effet de l'engorgement des magasins, les rentrées d'argent se font rares, le chômage intervient, et il s'ensuit une décadence plus ou moins prononcée de l'entreprise. Celle-ci subit donc une perturbation semblable à celle d'un corps humain dont l'un des organes essentiels serait atteint de maladie. Or, en effet, un service de vente bien organisé remplit des fonctions comparables à celles d'un tel organe : il aspire, en quelque sorte, les produits de l'usine, les envoie par de nombreuses ramifications aux endroits éloignés où doit s'effectuer leur échange contre de l'argent ou des avoirs qui, à leur tour, sont dirigés par ses soins sur l'usine,

<sup>1</sup> Causerie faite devant la section vaudoise de la S. I. A., à Lausanne, le 18 décembre 1936.

à laquelle ils fournissent des forces nouvelles. Parallèlement à cette fonction primaire, le service de vente en remplit une autre presque aussi importante : celle d'un organe auditif par lequel l'usine apprend quels sont les besoins du marché et les désirs de la clientèle. Créer cet organisme et le maintenir vivant n'est pas chose facile. Il faut non seulement veiller à ce qu'il ne végète pas, desséché et inactif, mais aussi à ce qu'il ne grossisse pas jusqu'à devenir un abcès trop lourd et ruineux pour l'économie de l'usine. C'est pourquoi il faut en supprimer sans merci et à temps toute partie dont le fonctionnement est devenu défectueux, et, d'autre part, lui fournir constamment de l'énergie fraîche.

Pour ce faire, il n'existe pas de schéma. Dans les questions de vente, la personnalité joue un rôle éminent, et, ainsi que les hommes diffèrent les uns des autres, la vente doit être organisée différemment suivant les circonstances. Il ne peut donc être question de décrire ici la conception d'une organisation de vente déterminée, mais seulement de chercher à faire ressortir quelques points saillants du problème.

Les deux premiers qui nous serviront à subdiviser notre sujet sont, d'une part le fait que les vendeurs de matériel mécanique se recrutent presque exclusivement parmi un personnel ayant subi une formation technique, soit donc un personnel de valeur : d'autre part, le fait que la marchandise à livrer ne forme en général qu'un accessoire à des entreprises ou des travaux coûteux et fort longs à mettre sur pied, ce qui donne lieu à une organisation beaucoup plus perfectionnée que, par exemple, la vente d'articles courants.

Nous nous arrêterons d'abord à la première de ces deux considérations et étudierons rapidement les fonctions du personnel-vendeur. Ce sera, si vous voulez vous en rapporter encore une fois à notre image de l'organe humain, l'étude du fonctionnement des capillaires où se fait l'échange de la marchandise contre de l'argent. Dans la seconde partie de notre exposé, nous verrons, ensuite, comment s'établit le réseau allant du centre à ces capillaires, c'est-à-dire dans quel cadre travaillent nos vendeurs.

Pour étudier les fonctions du vendeur de machines, qu'il soit technicien ou commerçant routiné dans sa branche, qu'il soit employé de l'usine ou d'une maison indépendante, nous procéderons arbitrairement en nous guidant sur le développement normal d'une affaire, ce qui nous permettra de distinguer quatre phases de la tâche du vendeur :

Premièrement : en connaissance approfondie des propriétés des articles à vendre, rechercher les possibilités de leur application à toutes les manifestations de la vie technique ou économique du territoire considéré.

Secondement : dès la constatation d'une telle possibilité

(Suite, page 47.)