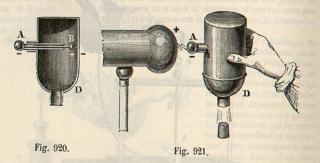
trouva qu'il se formait, en présence de l'eau ou des bases, de l'acide azotique résultant de la combinaison de l'oxygène et de l'azote de l'air.

Un grand nombre de gaz sont décomposés par l'action prolongée de l'étincelle électrique. L'hydrogène carboné, l'acide sulfhydrique, l'ammoniaque, le sont complètement; l'acide carbonique ne l'est qu'en partie, en oxygène et en oxyde de carbone. L'étincelle des machines décompose même les oxydes, l'eau et les sels; mais l'électricité statique est loin de présenter des effets chimiques aussi énergiques et aussi variés que l'électricité dynamique.

983. Expérience du pistolet de Volta. - Le pistolet de Volta est un appareil qui sert à démontrer les effets chimiques de l'étincelle électrique. Il se compose d'un petit vase de fer-blanc (fig. 920), dans lequel on introduit un mélange détonant formé de 2 volumes d'hydrogène et de 1 volume d'oxygène;



puis on le ferme hermétiquement avec un bouchon de liège. Sur la paroi latérale est une tubulure dans laquelle passe une tige métallique terminée par deux petites boules A et B, et mastiquée dans un tube de verre, qui l'isole du reste de l'appareil. Tenant celui-ci à la main, on l'approche de la machine électrique (fig. 921). Le bouton A s'électrisant alors négativement par influence, et le bouton B positivement, l'étincelle part entre le bouton A et la machine, et, dans le même instant, une deuxième étincelle jaillit entre le bouton B et la paroi du vase qui communique avec le sol par la main. C'est cette dernière étincelle qui détermine la combinaison des deux gaz. Cette combinaison étant accompagnée d'un vif dégagement de chaleur, la vapeur d'eau qui prend naissance acquiert une force expansive telle, que le bouchon est projeté avec une détonation égale à celle d'un coup de pistolet.

L'eudiomètre, dont on se sort en chimie pour faire l'analyse des gaz, est une application du pistolet de Volta. three give test matter to passage do l'elimente l'ar exemple (quand flour gos discount that so looped torving rionary of analysing doc o spanish the

LIVRE XI

ÉLECTRICITÉ A L'ÉTAT DYNAMIQUE

CHAPITRE PREMIER

PILE VOLTAÏQUE.

HISTORIQUE ET GÉNÉRALITÉS.

984. Pile de Volta. — 1º Définitions. — On donne en général le nom de piles voltaïques à toute une catégorie d'appareils qui servent à développer de l'électricité à l'état dynamique. La première pile fut inventée par Volta en 1800 : elle fut la conséquence et l'application de nombreuses expériences, que nous exposerons ci-dessous.

2º Description de l'appareil. - Il se compose d'une suite de couples ou éléments, empilés les uns sur les autres, toujours dans le même ordre. Chaque élément est formé par la superposition d'un disque de cuivre, un disque de zinc et une rondelle de drap. mouillée d'eau acidulée : les deux disques métalliques sont soudés, pour que leur contact soit mieux établi et soit préservé de l'oxydation (fig. 922). On maintient solidement tous ces couples superposés entre trois tiges ou colonnes de verre. C'est cette disposition qui a fait donner à l'appareil le nom de pile, qui lui est resté, quoiqu'on ait adopté depuis des formes très variées; celle-ci est appelée pile à colonnes ou pile de Volta.

3º Production de l'électricité dans la pile. - Loi des forces électromotrices. — Il résulte des expériences de Volta et de plusieurs autres physiciens qu'il faut considérer l'élément voltaïque (zinccuivre-eau acidulée) comme formant une chaîne continue, dans laquelle une différence de potentiels s'établit successivement entre chacune des substances en contact. Il s'établit une première différence entre le zinc et le cuivre, une deuxième entre le cuivre el l'eau acidulée, une troisième entre l'eau acidulée et le zinc. Ces différences de potentiels successives obéissent à la loi suivante,

découverte par Volta, c'est que la différence de potentiels des substances extrêmes est égale à la somme algébrique des différences de potentiels des substances intermédiaires.

On désigne sous le nom de force électromotrice chacune de ces différences des potentiels, et l'on énonce la loi de Volta, en disant que: La force électromotrice d'un élément (c'est-à-dire la force élec-

tromotrice des substances extrêmes qui le constituent) est égale à la somme algébrique des forces électromotrices successives des substances intermédiaires.

Cette loi s'applique à la pile tout entière, c'est-à-dire à l'ensemble des éléments superposés aussi bien qu'à un seul élément.

4º Distribution de l'électricité dans la pile de Volta. - La distribution de l'électricité dans la pile voltaïque est une conséquence

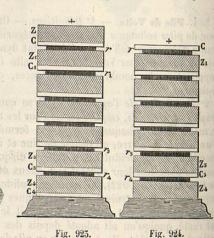


Fig. 922.

Fig. 923.

directe de la loi des forces électromotrices. Elle n'est pas la même dans la pile suivant qu'elle est isolée, ou qu'elle communique avec le sol par une de ses extrémités.

Pile non isolée. — Supposons d'abord que l'extrémité cuivre soit en communication avec le sol (fig. 923). Le potentiel sur le cuivre C4 est alors zéro; mais, la différence des potentiels sur le cuivre et le zinc d'un même couple étant constante et égale, par exemple, a + 2v, le zinc Z_4 prend le potentiel 2v; par

conductibilité, le couple C₂Z₃ prend lui-même le potentiel 2v, et comme sa force électromotrice propre lui communique le même potentiel 2v, son potentiel final est 4v. Pour la même raison, les couples suivants prennent successivement les potentiels 6v. 8v..., et le dernier couple le potentiel 2nv, n étant le nombre total des couples. Donc le potentiel croît proportionnellement au nombre des couples; et la pile étant tout entière chargée d'électricité positive, les potentiels aux deux extrémités sont 0 et 2nv.

Si la communication avec le sol était établie par l'extrémité zinc, la pile serait chargée tout entière d'électricité négative, et

les potentiels extrêmes seraient 0 et - 2nv.

Pile isolée. - Si la pile est isolée, ce qui est le cas général, le cuivre C4 conserve son électricité négative, et les deux extrémités sont respectivement électrisées, l'une positivement, l'autre négativement. Or, les deux charges positive et négative étant nécessairement égales, et la transition d'un état à l'autre ne pouvant s'effectuer qu'en passant par zéro, il faut que la partie médiane de la pile soit à l'état neutre.

On peut donc considérer une pile isolée comme l'ensemble de deux piles non isolées qui seraient juxtaposées par leurs extrémités, où le potentiel est nul. Il y a donc dans une pile complète de n éléments une moitié entièrement positive, avant pour potentiels extrêmes 0 et $+\frac{1}{2}n\times 2v$, et l'autre moitié entièrement négative, avant pour potentiels extrêmes 0 et $-\frac{1}{2}n\times 2v$. La différence des potentiels, aux deux extrémités de la pile, est donc encore 2nv, comme ci-dessus.

(Nous verrons que la théorie chimique conduit aux mêmes résultats relativement à la distribution de l'électricité dans l'intérieur d'une pile.)

5º Pôles, électrodes, courant. — Dans une pile, on nomme pôle positif l'extrémité où l'électricité positive prend le potentiel maximum, et pôle négatif celle où le potentiel est négatif, avec la même valeur absolue.

On a vu que, dans la pile à colonnes, le pôle positif est celui vers lequel sont tournés les zincs de chaque couple, et le pôle négatif celui vers lequel sont tournés les cuivres. Ajoutons que, dans toute pile, les couples étant composés d'une substance inattaquable par les acides, comme le platine, le charbon, ou peu attaquable, comme le cuivre, et d'un métal très attaquable, le zinc, c'est toujours au métal inattaquable que correspond le pôle positif, et au métal attaquable le pôle négatif.

^{1.} Cette théorie, due à Volta, a été vérifiée par Biot.

On appelle électrodes, ou rhéophores, deux fils métalliques fixés aux pôles de la pile (fig. 922), et destinés à les faire communiquer entre eux. Si l'on fait communiquer les deux pôles par l'intermédiaire des rhéophores, il se produit une décharge électrique allant du pôle où le potentiel est positif au pôle où le potentiel est négatif. Tout se passe d'abord comme si l'on réunissait les armatures d'un condensateur. Mais ici la décharge est continue, parce qu'on peut comparer la pile à une sorte de condensateur qui se charge spontanément et d'une manière continue.

On nomme courant électrique le phénomène qui résulte de cette transmission électrique continue d'un pôle à l'autre de la pile. Le courant ne prend naissance qu'au moment où cette communication est établie, ce qu'on exprime en disant que le circuit est fermé.

985. Intensité du courant électrique. — Unités d'intensité: unité absolue et unité pratique (ampère). — On appelle débit ou intensité du courant électrique la quantité d'électricité qui s'écoule, pendant l'unité de temps, entre deux sections des rhéophores de la pile.

On a choisi une unité pour les intensités de courant comme pour les autres grandeurs physiques. Cette unité a été rapportée aux unités fondamentales (centimètre-gramme-seconde), au moyen d'une formule de définition que nous ferons connaître plus loin. On l'appelle unité C.G.S ou unité absolue de courant.

Dans la pratique, on emploie une autre unité qui est plus commode : on l'a prise égale à $\frac{4}{40}$ d'unité C.G.S, et on l'appelle ampère! On évaluera donc les intensités de courant en ampères, comme on évalue les capacités en farads, les potentiels en volts et les quantités d'électricité en coulombs.

986. Historique de l'invention de la pile voltaique. — I. Epxprience de Galvani. — C'est à Galvani (de Bologne) qu'est due l'expérience fondamentale de l'électricité dynamique ou galvanisme.

Pour répéter cette expérience, on écorche une grenouille vivante, on la coupe au-dessous des membres antérieurs (fig. 925); puis l'on met à nu les nerfs lombaires, qu'on aperçoit des deux côtés de la colonne vertébrale sous la forme de filets blancs. On prend alors un arc métallique formé de deux métaux, zinc et cuivre, et, introduisant l'une des branches entre les nerfs et la colonne vertébrale, on fait toucher l'autre aux muscles de l'une des cuisses ou des jambes. A chaque contact, les muscles

se replient et s'agitent, comme si cette moitié de grenouille revenait à la vie.

Galvani, qui dès 1780 avait produit avec l'électricité des machines électriques des commotions analogues sur les grenouilles mortes, attribua le phénomène à l'existence d'une électricité inhérente à l'animal. Il admit 1° que cette électricité se développait au contact des nerfs et des muscles et les chargeait

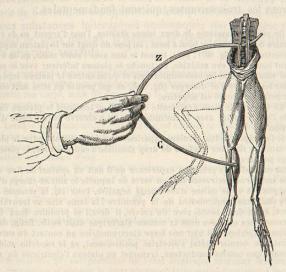


Fig. 995

comme des armatures de bouteille de Leyde; 2° que l'arc métallique ne servait que d'excitateur pour produire la décharge et la contraction.

Il appela cette électricité nouvelle fluide vitat; on la désigna encore sous les noms d'électricité animale et de fluide galvanique. Un grand nombre de savants, les physiologistes surtout, adoptèrent la théorie de Galvani; mais elle eut aussi des contradicteurs, dont le plus ardent fut Volta, professeur de physique à Pavie, déjà connu par l'invention de l'électrophore, de l'électromètre condensateur et de l'eudiomètre.

II. Expériences de Volta. — L'attention de Galvani s'était portée exclusivement sur les nerfs et les muscles de la grenouille; celle de Volta se porta sur les métaux qui servent à établir la communication. C'est à ces métaux qu'il attribua le rôle principal dans le phénomène. Il se fondait sur ce fait, que la contraction musculaire est beaucoup plus énergique lorsque l'arc métallique est formé de deux métaux hétérogènes que lorsqu'il est d'un seul métal. Il admit: 1° que c'était par l'effet même de leur contact

^{1.} Du nom du physicien français Ampère.

qu'il y avait dégagement d'électricité; 2° que les organes de l'animal ne jouaient que le rôle secondaire de conducteur, et, en même temps, d'électroscope très sensible.

A l'aide de l'électromètre condensateur (qu'il inventa à cette occasion), Volta fit de nombreuses expériences pour démontrer le développement de l'électricité par le contact des métaux. Nous citerons les trois suivantes, qui sont fondamentales.

1° On prend un système de deux lames étroites, l'une d'argent ou de cuivre et l'autre de zinc, soudées bout à bout; on pose un doigt sur le plateau supérieur de l'électromètre (fig. 907); puis, tenant le zinc avec l'autre main, qu'on a légèrement mouillée d'eau acidulée, on touche le plateau inférieur avec le cuivre. Si l'on rompt ensuite les communications et qu'on enlève le plateau supérieur, on voit les feuilles d'or diverger (fig. 908), ce qui prouve qu'elles sont électrisées: cette électricité est négative.

2° En tenant à la main l'extrémité cuivre, et en touchant le plateau en cuivre de l'électromètre avec l'extrémité zinc, on n'observe aucun signe d'électrisation.

3° Si l'on répète cette dernière expérience en interposant entre le plateau et la lame de zinc une rondelle de drap mouillée d'eau acidulée, le plateau se charge positivement.

Volta conclut de la première expérience qu'il naît au contact du zinc et du cuivre une force électromotrice, en vertu de laquelle le zinc se charge d'électricité positive et le cuivre d'électricité négative. Pour lui, la seconde expèrience était une confirmation de la première : la lame zinc se trouvant en contact, à ses deux bouts, avec du cuivre, il devait se produire deux forces électromotrices opposées dont la somme algébrique était nulle. Enfin, dans la troisième expérience, il naît une force électromotrice au contact du cuivre et du zinc; ce dernier métal s'électrise positivement, et la rondelle acidulée, n'agissant que comme conducteur, transmet au plateau l'électricité du zinc.

III. Nouvelles expériences de Galvani. — Galvani combattit cette théorie par de nouvelles expériences, dont voici les principales.

1º Il prouva que le contact de deux métaux n'était pas indispensable à la production du phénomène; en effet, il obtint des contractions en posant sur un bain de mercure pur une grenouille morte et fraîchement préparée.

2° Il fit voir qu'en mettant en contact les nerfs lombaires de la grenouille avec ses muscles cruraux, il se produit une vive contraction. Dans cette dernière expérience, les métaux ne jouaient plus aucun rôle.

3° Il finit par ne faire intervenir dans ses expériences que des substances homogènes. Il plaça sur un disque de verre une cuisse de grenouille munie de son nerf lombaire, et à côté une seconde cuisse disposée de la même manière; ayant posé le nerf de la seconde sur celui de la première, en sorte qu'au point de contact il n'y eût que de la substance nerveuse, il fit toucher les deux cuisses, et obtint une forte contraction.

REMARQUE. — L'existence de l'électricité animale était donc ainsi démontrée; elle a été mise en évidence de nos jours par Matteucci, sous le nom de courant propre de la grenouille.

IV. Théorie du contact de Volta. — Volta n'en persista pas moins à rejeter l'électricité animale et à admettre exclusivement la force électromotrice de contact. Il niait la réalité de la dernière expérience de Galvani, et expliquait les deux précédentes en étendant à deux substances hétérogènes quelconques son hypothèse sur le contact de deux métaux. Il formula sa théorie du contact dans les trois principes suivants:

1° Le contact de deux corps hétérogènes produit une force, dite électromotrice, qui a pour effet non seulement de décomposer une partie de l'électricité naturelle des corps, mais de s'opposer à la recomposition des électricités contraires rendues libres sur les deux corps, en sorte que, malgré le contact, l'un reste électrisé positivement. l'autre négativement.

2° Lorsque deux substances hétérogènes en contact se chargent d'électricités contraires, la différence algébrique de leurs tensions électriques (ou, comme on dit maintenant, de leurs potentiels) est constante, quelle que soit la tension primitive sur chacun d'eux.

Ainsi, soient deux disques zinc et cuivre mis en contact et isolés tous les deux; si l'on représente par + V la tension ou le potentiel que prend l'électricité positive sur le zinc, et par — V la tension de l'électricité négative sur le cuivre, la différence algébrique est 2V. Or, si l'on avait communiqué préalablement au système zinc-cuivre un potentiel v, positif ou négatif, la différence des potentiels qui résultent du contact scrait

$$(V + v) - (-V + v) = 2V.$$

Cette quantité 2V, indépendante de l'état électrique antérieur des deux métaux, représente et mesure la force électromotrice qui se développe à leur contact. Nous démontrerons plus loin l'identité de la force électromotrice et de la différence de potentiels, tels qu'on les définit aujourd'hui.

3° Lorsqu'on forme une chaîne continue de plusieurs métaux hétérogènes soudés bout à bout, la différence algébrique des tensions (c'est-à-dire des potentiels) sur les deux éléments extrêmes, est égale à la somme des différences analogues sur les éléments intermédiaires en contact.

Volta compléta cette théorie en démontrant les deux faits suivants :

1° La force électromotrice varie avec les substances en contact. Il divisa les corps en bons électromoteurs et en faibles électromoteurs. Dans la première classe sont les métaux et le charbon bien calciné; dans la seconde, les liquides et les corps non métalliques. Les métaux eux-mèmes ne sont pas également bons électromoteurs; le zinc et le cuivre soudés ensemble sont deux des meilleurs électromoteurs.

2° Le signe des électricités séparées dépend de la nature des substances en contact. Ainsi le plomb se charge positivement au contact des alcalis et négativement au contact des acides, tandis que le platine se charge positivement au contact des acides.

V. Théorie chimique. — La théorie du contact, comme celle de Galvani, trouva aussi de nombreux contradicteurs. Fabroni, contemporain de Volta, ne plaçait la force électromotrice ni au con-

tact des nerfs et des muscles, comme Galvani, ni au contact des métaux hétérogènes, comme Volta, mais au contact du métal et du liquide organique acidulé qui imprégnait les tissus animaux : pour lui, c'était la réaction chimique entre le liquide et le métal qui produisait la séparation des fluides. C'est en cela que consiste la théorie chimique de la force électromotrice. D'illustres savants, comme Faraday, de la Rive, Becquerel, ont rejeté la théorie du contact et admis exclusivement la théorie chimique. Aujourd'hui, tout en admettant l'origine chimique de la force électromotrice, on considère aussi comme bien démontré que le contact de deux métaux donne naissance, des deux côtés de la surface de contact, à une différence de potentiel qui reste constante, quel que soit l'état général du circuit, et l'on explique la production de l'électricité dans la pile par la théorie synthétique que nous avons exposée ci-dessus (984, 3°).

987. Modifications de la pile de Volta. — La pile de Volta a reçu, dès l'origine, divers perfectionnements destinés à en rendre la manipulation plus commode et le rendement plus régulier. Nous

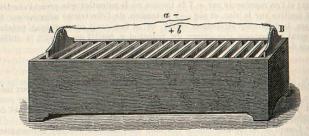


Fig. 926.

citerons, par exemple, la *pile à auges* de Cruikshank (fig. 926) et la pile de Wollaston (fig. 927). Un élément isolé et le mode d'accouplement de deux éléments de cette dernière pile sont représentés par les figures 928 et 929. Nous n'insisterons pas sur ces piles, qui n'ont plus qu'un intérêt historique.

988. Piles sèches. — Les piles sèches sont de véritables piles à colonnes, remarquables par la durée de leur action : elles sont ainsi nommées, parce que les rondelles acidulées y sont remplacées par une substance solide hygroscopique.

Le développement de l'électricité de ces piles paraît dû surtout à une action chimique : un métal attaquable s'oxyde au contact de la matière organique qui se décompose lentement et de bioxyde de manganèse qui se réduit. Dans cette réaction celui-ci s'électrise positivement, et le métal négativement.

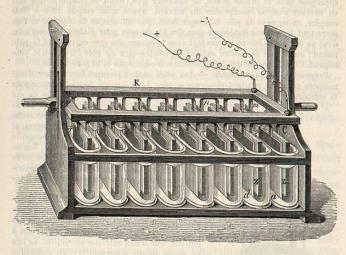
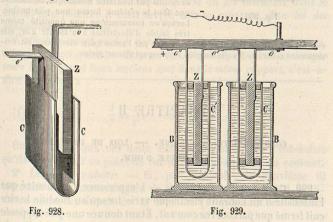


Fig. 927.

On en a construit de différentes sortes : la pile de Zamboni est la plus employée.

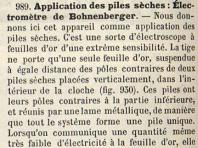


Pile de Zamboni. — Pour construire cette pile, on prend une feuille de papier étamée sur une face, et sur l'autre on fixe, avec de la colle de pâte, du

bioyde de manganèse bien lavé. Ayant superposé 7 ou 8 de ces feuilles, on les découpe avec un emporte-pièce en disques de 25 millimètres de diamètre qu'on superpose dans le même ordre, de manière que l'étain de chaque disque soit en contact avec le manganèse du suivant. Ayant ainsi empilé 1200 à 1800 couples, on termine la pile, à chaque bout, par un disque de cuivre, et l'on serre tout le système fortement avec des fils de soie, pour établir les contacts. C'est au disque de cuivre en contact avec le manganèse que correspond le pôle positif; au disque de l'autre extrémité, c'est-à-dire au pôle étain, est le pôle négatif. C'est le papier qui est la substance organique et hygroscopique.

Propriétés des piles sèches. - Les piles sèches peuvent fonctionner d'une manière continue pendant plusieurs années. Leur énergie dépend beaucoup de la température et de l'état hygrométrique de l'air. Elle est plus grande en été

qu'en hiver, et une forte chaleur peut la raviver lorsqu'elle semble éteinte. Une pile sèche de 2000 couples ne donne ni commotion ni étincelle, mais elle peut charger la bouteille de Leyde et les autres condensateurs. Toutefois il faut pour cela un certain temps, parce que, la pile étant peu conductrice, l'électricité ne se meut que lentement dans son inté-





est attirée par un des pôles et repoussée par l'autre : son électricité est évidemment contraire à celle du pôle vers lequel elle se dirige.

Fig. 930.

CHAPITRE II

CONDUCTIBILITÉ ÉLECTRIQUE. - LOIS DE POUILLET. FORMULE D'OHM.

990. Conductibilité électrique. — L'expérience a démontré que l'intensité d'un courant électrique varie lorsqu'on modifie le circuit fermé que parcourt ce courant. Étant donnée une pile supposée constante, l'intensité du courant qu'elle fournit, c'est-à-dire la quantité d'électricité qui circule, en une seconde, dans le circuit métallique extérieur, dépend de la substance, de la section et de la longueur de ce circuit. L'étude des relations qui existent entre l'intensité d'un courant et les éléments du circuit constitue le problème de la conductibilité électrique.

Ce problème a été traité par deux méthodes : 1º la méthode expérimentale, appliquée par Pouillet : elle a conduit aux lois expérimentales de Pouillet; 2º la méthode analytique, méthode à priori appliquée par Ohm : elle a conduit aux lois de la conductibilité électrique, comprises dans la formule d'Ohm. Ces résultats sont d'ailleurs parfaitement conformes à ceux de la méthode expérimentale; ils sont confirmés par les lois de Pouillet, et réciproquement.

991. Définitions préliminaires. — 1º Loi des conducteurs équivalents. - Si l'on relie les deux pôles d'une pile par un circuit métallique, dit circuit interpolaire, on constate à l'aide d'un rhéomètre1 quelconque (boussole ou voltamètre) que le courant a une certaine intensité. Si l'on augmente la longueur du circuit, ou qu'on substitue un fil fin à un gros fil, on constate que l'intensité I du courant est notablement diminuée, et devient I' < I. L'affaiblissement est incomparablement plus fort quand on substitue à une petite portion du circuit métallique une colonne d'un liquide conducteur.

Avant Pouillet, Davy était le premier qui eût comparé les différents conducteurs au point de vue de l'affaiblissement qu'ils font subir à l'intensité d'un courant, quand on les introduit dans le circuit interpolaire. Il était arrivé à la loi suivante, dite loi des conducteurs équivalents :

L'affaiblissement produit par deux conducteurs de même substance, introduits successivement dans un même circuit, est le même lorsque leurs longueurs et leurs sections sont dans le même rapport, c'est-àdire lorsqu'on a

$$[1] \qquad \qquad \frac{l}{l'} = \frac{s}{s'}, \quad \text{ou} \quad \frac{l}{s} = \frac{l'}{s'}$$

On dit alors que ces deux fils sont équivalents, c'est-à-dire qu'ils s'équivalent au point de vue de l'affaiblissement du courant. 2º Longueur réduite. - Si, par exemple, le deuxième fil introduit a une section égale à l'unité de surface, soit 1 millimètre carré, on déduit de la formule [1] qu'il faut lui donner

^{1.} Rhéomètre, signifie instrument mesureur de l'intensité des courants (de gatv, couler, et utrov, mesure).