

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

⑫

N° 81 00643

⑤④ Dispositif à haute tension, notamment accélérateur de particules, avec structure à électrodes discrètes non enveloppantes.

⑤① Classification internationale (Int. Cl. ³). H 05 H 5/04; H 01 J 1/88.

②② Date de dépôt..... 15 janvier 1981.

③③ ③② ③① Priorité revendiquée :

④① Date de la mise à la disposition du
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 28 du 16-7-1982.

⑦① Déposant : CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (CNRS), résidant en France.

⑦② Invention de : Michel Letournel.

⑦③ Titulaire : *Idem* ⑦①

⑦④ Mandataire : Cabinet Regimbeau, Corre, Martin et Schrimpf,
26, av. Kléber, 75116 Paris.

L'invention concerne les dispositifs travaillant sous de hautes tensions, et plus particulièrement, mais non exclusivement, les machines électrostatiques à haute tension continue.

5 Ces machines servent notamment comme accélérateurs de particules. On comprend aisément qu'une machine allant jusqu'à 10 MV (mégavolts) peut communiquer à une particule possédant une charge électronique négative une énergie de 10 Mev (énergie au niveau de l'électrode
10 haute tension). Un raffinement (accélérateurs dits tandem) consiste alors à inverser la charge puis à faire subir à nouveau à la particule, maintenant chargée positivement, l'accélération liée au passage de 10 MV à zéro volts. On peut alors doubler l'énergie, et même aller plus loin en
15 communiquant plusieurs charges positives à la particule.

Il demeure que l'énergie d'accélération est liée à la valeur de la haute tension. Et les accélérateurs électrostatiques sont quelque peu handicapés par le fait qu'actuellement, leurs dimensions augmentent très vite
20 avec la valeur maximale désirée pour la haute tension.

Une solution connue pour réduire les dimensions consiste à prévoir une électrode-écran entre l'électrode à haute tension, et la cuve ou réservoir de la machine, qui définit le potentiel zéro (référence de
25 potentiel). L'électrode-écran définit une surface équipotentielle, et est portée à un potentiel intermédiaire convenable, ce qui fait qu'en apportant des charges électriques, on peut modifier la répartition des champs électriques entre l'électrode haute tension et le ré-
30 servoir, et notamment diminuer le champ en certaines régions là où il était trop proche de la valeur du champ disruptif, tout en l'augmentant ailleurs, là où il était inutilement faible. Il en résulte la possibilité de

réduire la taille du réservoir. Cette solution souffre cependant de plusieurs inconvénients :

- 5 . dans les machines de grande taille, le soutien d'une seule électrode-écran pose déjà de réels problèmes mécaniques ;
- . en venant figer une surface de potentiel intermédiaire, l'électrode-écran n'apporte qu'une amélioration limitée, qui ne peut être augmentée qu'en prévoyant plusieurs écrans successifs, chose quasi rédhibitoire ;
- 10 . par essence, l'électrode-écran fait matériellement obstacle entre l'électrode principale à haute tension et le réservoir. Cet aspect est très gênant, car le fonctionnement pratique de l'accélérateur requiert la mesure d'un certain nombre de grandeurs - dont la
- 15 valeur réelle de la haute tension - qui supposent que l'électrode haute tension soit électriquement "visible" du réservoir (c'est-à-dire qu'il subsiste une certaine influence électrostatique entre l'électrode principale et le réservoir, pour le passage d'effluves Corona,
- 20 notamment).

Tout ceci fait que les électrodes-écrans sont peu commodes à utiliser.

Par ailleurs, les accélérateurs électrostatiques travaillent à la tension maximale, c'est-à-dire à une
25 tension telle que, là où le champ est le plus élevé, il soit néanmoins juste en dessous du champ électrique disruptif. Pour cette raison, on remplit l'espace interne délimité par le réservoir d'un gaz diélectrique approprié, sous pression, en évitant autant que possible d'y mettre
30 des corps conducteurs susceptibles de modifier la géométrie du champ électrique définie par les électrodes actives.

De ce fait, la géométrie demeure celle de l'électrode principale, qui est cylindrique de révolution dans les accélérateurs tandem en ligne. Si r désigne la distance radiale par rapport à l'axe de révolution, l'amplitude du champ électrique varie en fonction de $1/r$, et le potentiel varie selon une fonction logarithmique de r . Si l'on veut multiplier la haute tension maximale par 2, il faut donc multiplier la dimension radiale du réservoir par un facteur nettement plus grand que 2.

10 De surcroît, l'énergie stockée à l'intérieur du réservoir augmente beaucoup, elle aussi. Cela aggrave les risques de dommages à l'accélérateur lors d'un claquage.

La présente invention vient améliorer sensiblement la situation, en autorisant une réduction significative de la taille du réservoir, pour une haute tension donnée, ou bien en permettant pour une taille de réservoir donnée, d'atteindre une valeur plus élevée de la haute tension.

20 L'invention permet aussi de diminuer la contrainte électrique sur l'électrode principale, toutes choses égales par ailleurs.

L'invention a donc également pour but d'éviter des dommages à des parties essentielles de la machine lors 25 d'un claquage.

Plus généralement, l'invention s'applique aussi dans le cas où l'isolant interposé entre les électrodes actives et le réservoir est autre qu'un gaz. Elle s'applique encore lorsque la référence de potentiel est définie autrement que par une enveloppe réservoir, par exemple par les 30 parois d'un local (c'est le cas, notamment pour les machines dites "à l'air").

Ainsi, on part d'un dispositif à haute tension du type comportant une électrode principale à haute tension, espacée par rapport à un corps formant référence de potentiel.

5 Il a été observé que l'on peut y disposer une structure à électrodes auxiliaires discrètes, montée non enveloppante autour de l'électrode principale, et agencée pour dévier les lignes de champ électrique de manière à les rendre, au moins en partie, sensiblement parallèles. 10 De cette manière, il est possible à la fois de demeurer en dessous du champ disruptif, et d'arriver à une faible diminution du champ électrique lorsque l'on s'éloigne radialement de l'électrode haute tension. Ceci permet de réduire l'espacement à respecter entre l'électrode prin- 15 cipale et la référence de potentiel, pour une même tension.

L'invention s'applique chaque fois qu'un dispositif haute tension approche les conditions critiques de champ disruptif.

20 Elle trouve une application préférentielle dans les machines électrostatiques telles que les accélérateurs, qui comportent en outre, en combinaison avec les éléments précédents, un empilement axial d'électrodes secondaires, interposées entre la référence de potentiel et l'électrode principale, ces électrodes secondaires 25 comprenant des plateaux ou anneaux équipotentiels, interconnectés par des résistances pour former diviseur de tension, ainsi qu'un dispositif pour apporter des charges électriques à l'électrode principale. En règle générale, le corps formant référence de potentiel com- 30 prend une cuve ou réservoir entourant l'ensemble des électrodes.

Un accélérateur électrostatique du type

tandem direct comporte en plus un deuxième empilement axial d'électrodes secondaires, semblable au premier, et disposé symétriquement de celui-ci par rapport à l'électrode principale.

5 Il est souhaitable alors que la structure à électrodes auxiliaires discrètes agisse non seulement au niveau de l'électrode principale à haute tension, mais aussi à celui des électrodes secondaires.

10 Pour cela, on peut prévoir que la structure à électrodes auxiliaires discrètes s'étende également au niveau d'électrodes secondaires.

En variante, ou en complément, au moins une autre structure à électrodes auxiliaires discrètes est prévue au niveau de certaines électrodes secondaires.

15 Très avantageusement, on prévoit aussi des moyens de liaison pour porter la structure à électrodes auxiliaires discrètes à un potentiel en relation prédéterminée avec celui de l'électrode principale.

20 Le ou les potentiels d'alimentation des électrodes discrètes peuvent être fournis par une source de tension externe, éventuellement une autre machine électrostatique de plus faibles puissance et tension.

25 Dans un mode de réalisation préférentiel, ces moyens de liaison comprennent au moins un bras reliant la structure à électrodes auxiliaires discrètes à une électrode secondaire.

30 Selon un aspect important de l'invention, un tel bras possède alors une section droite croissante à partir de l'électrode secondaire. Il suit, à proximité de cette électrode secondaire, une surface équipotentielle partant de celle-ci, (en l'absence de bras et d'électrodes auxiliaires discrètes) ; puis il s'en écarte progressivement ensuite. De cette manière, on porte les électrodes discrètes à un potentiel différent de celui

qui existerait à leur place en leur absence. Ceci contribue pour beaucoup - avec la configuration des électrodes auxiliaires discrètes, ainsi que leurs caractéristiques électriques, conductivité notamment - à la possibilité
5 de rendre les lignes de champ électrique parallèles, au moins localement.

Dans la technique, on appelle "tube de force" la surface engendrée par les lignes de champ électrique s'appuyant sur un contour fermé (pris par exemple sur une
10 électrode). Le flux électrique est constant le long d'un tube de force. Il en résulte que si les lignes de champ divergent, le tube s'évase, et par conséquent le champ électrique diminue. On appelle "tube de force unité" le tube de force traversé par l'unité de flux.

15 Ainsi, la structure à électrodes discrètes selon l'invention est agencée de sorte que les tubes de force allant directement de l'électrode haute tension (et/ou des électrodes secondaires) au réservoir aient pour la plupart une section droite de surface sensiblement constante ou très peu croissante.
20

Préférentiellement, mais non nécessairement, la structure à électrodes auxiliaires discrètes est agencée de sorte que la plus grande partie du flux électrique émanant de l'électrode principale atteigne directement
25 l'électrode de référence de potentiel, sans atteindre les électrodes discrètes.

Si l'on considère maintenant des réalisations particulières, la structure à électrodes discrètes - ou chacune de ces structures, s'il y en a plusieurs - peut
30 comporter un seul ensemble de conducteurs interconnectés.

Dans une variante intéressante, chaque structure à électrodes discrètes comporte plusieurs ensembles de conducteurs interconnectés portés à des potentiels voisins. Ces conducteurs définissent ensemble
35 une géométrie comparable à celle des conducteurs interconnectés du cas précédent.

En pratique, il est avantageux que la structure à électrodes discrètes comporte au moins un anneau conducteur disposé coaxialement à l'électrode principale.

5 Il est également avantageux que la structure à électrodes discrètes comporte des barres parallèles à l'électrode principale. De préférence, ces barres sont distribuées sur un contour cylindrique coaxial à l'électrode principale.

10 Lorsqu'on prévoit une seule structure à électrodes discrètes au niveau de l'électrode principale, ladite structure peut être avantageusement disposée près de l'électrode principale, ou au contraire près de la cuve-réservoir, sur laquelle les électrodes discrètes
15 pourront alors s'appuyer par l'intermédiaire d'isolateurs haute tension.

Selon une autre variante de l'invention, les électrodes auxiliaires discrètes s'étendent sur plusieurs niveaux entre l'électrode principale et la référence de
20 potentiel, de même, éventuellement, qu'entre les électrodes secondaires et la référence de potentiel. On arrive alors à de véritables "rideaux" d'électrodes entre le réservoir d'une part et l'électrode haute tension et/ou le reste de la colonne, d'autre part.

25 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui va suivre, et des dessins annexés, qui illustrent différents modes de réalisation de l'invention, et sur lesquels :

30 . les figures 1 et 2 illustrent schématiquement un accélérateur électrostatique classique, du type tandem direct ;

. les figures 3 à 5 illustrent schématiquement un premier mode de réalisation de l'invention dans un tel accélérateur ;

5 . les figures 6 à 8 illustrent schématiquement un second mode de réalisation de l'invention dans le même accélérateur ;

. les figures 9 à 11 sont des diagrammes de champ électrique permettant de mieux comprendre l'invention ; et

10 . les figures 12 à 16 illustrent schématiquement des variantes du mode de réalisation des figures 3 à 5.

Comme précédemment indiqué, l'invention est susceptible de beaucoup d'applications. La description détaillée ci-après, non limitative, se place dans le cas d'une machine électrostatique destinée à servir d'accélérateur de particules.

15 Les figures 1 et 2 illustrent schématiquement un accélérateur de particules de la technique antérieure, construit en tandem direct (le faisceau de particules est en ligne droite à l'intérieur de l'accélérateur). Plus
20 précisément, l'appareil est du type dit "Empereur" ou MP.

La référence de potentiel est définie par une cuve ou réservoir T, symétrique, de forme générale tronconique prolongée par des cylindres de part et d'autre.

25 Au centre du réservoir T est placée l'électrode haute tension, ou électrode principale, notée EP (dans la technique des accélérateurs, on l'appelle aussi couramment "électrode terminale").

30 Un accélérateur tandem comporte deux étages M1 et M2, situés respectivement de part et d'autre de l'électrode principale EP. Chaque étage est constitué d'un empilement axial ("colonne") d'électrodes secon-

daires, interposées entre l'électrode principale EP et le réservoir T.

En règle générale, ces électrodes secondaires sont elles-mêmes subdivisées en plusieurs sections, comprenant chacune une suite d'anneaux conducteurs minces ou plateaux équipotentiels, et ces sections sont délimitées par des électrodes plus larges, dites sections mortes. Des résistances de valeur élevée, non représentées, sont interconnectées avec les anneaux équipotentiels, les sections mortes et l'électrode principale, pour faire de l'ensemble un diviseur de tension résistif.

Sur la figure 1, on distingue :

- une première électrode large ou section morte EO/1 ;
- une première section S1 de plateaux équipotentiels H11 à H18 (en fait le nombre de ceux-ci est bien supérieur à 8) ;
- une nouvelle section morte large E1/2 ;
- une deuxième section S2 de plateaux équipotentiels H21 à H28 ; et ainsi de suite jusqu'à la quatrième section active S4 d'électrodes secondaires, dont la dernière H48 est reliée par une résistance de grande valeur à l'électrode principale EP.

Dans le second étage M2 de l'accélérateur, la structure est la même, avec trois sections mortes E 5/6, E 6/7 et E 7/8 délimitant quatre sections actives (S5 à S8) de plateaux équipotentiels entre l'électrode haute tension EP et la dernière électrode large E 8/0 reliée à la référence de potentiel.

Le contour externe de l'ensemble des électrodes actives, y compris l'électrode principale EP, est ici cylindrique de révolution. Dans d'autres cas - accélérateur simple ou accélérateur tandem replié -

l'électrode principale est sphérique à son extrémité libre.

5 Par ailleurs, l'accélérateur peut être vertical, ce qui suppose une hauteur importante et amène à prévoir des aménagements spéciaux pour la maintenance, ou bien horizontal, disposition plus commode, mais nécessitant le maintien mécanique de la colonne, qui incorpore alors un assemblage de poutres en treillis, réalisées en matière isolante.

10 Une pompe PG assure le remplissage du réservoir avec un gaz diélectrique approprié sous pression, tel que de l'hexafluorure de soufre. En variante on pourrait faire le vide.

15 Il reste à apporter des charges électriques à l'électrode principale EP pour élever la tension. Ceci se fait par exemple (figure 2) à l'aide d'une courroie transporteuse CC, montée dans la colonne, et tournant en continu sur deux poulies placées l'une en bout et l'autre dans l'électrode principale. Côté extrémité un ou des frotteurs viennent apporter des charges positives (par exemple) sur la courroie. Dans l'électrode principale, un autre système frotteur récupère ces charges pour les appliquer à l'électrode principale EP.

25 On va maintenant décrire brièvement un exemple d'utilisation pratique (figure 2). Une source d'ions SI envoie un faisceau d'ions positifs IP1 dans un dispositif ADE qui les charge négativement (apport d'électrons). Après déviation sélective par un premier aimant d'analyse AA1, les ions négatifs sont introduits dans la zone active de l'accélérateur (premier étage M1). Dans l'électrode principale (EP), la charge des ions est inversée par un "soustracteur d'électrons" SDE (matériau de très faible épaisseur dit épilucheur ou "stripper"). Le deuxième

étage M2 accélère alors davantage les ions positifs ainsi obtenus ; en sortie, ce faisceau IP2 est dévié par un second aimant d'analyse AA2, puis distribué par un aimant d'aiguillage AA3 vers des cibles d'utilisation, telle
5 CE1.

Pour d'autres données sur les accélérateurs électrostatiques et leurs applications, on se référera aux documents suivants :

- 10 - The 12, 15 and 20 MEV Tandem Van de Graaff Accelerators, John L. Danforth, paper n° DP 62-905 présenté au Northeastern district meeting of the American Institute of Electrical Engineers, Boston, Mass, May 9, 1962 ;
- Electrostatic Accelerators, K.W. Allen, section IA du volume 40A "Pure and Applied Physics" de l'ouvrage
15 "Nuclear Spectroscopy and Reactions" édité par Joseph Cerny, Academic Press, New York and London, 1974.

Le premier mode de réalisation est illustré sur les figures 3 à 5. La figure 3 se compare à la figure 1, par rapport à laquelle elle est agrandie, la partie de
20 droite, symétrique, étant enlevée. Les figures 4 et 5 sont des coupes vues de gauche respectivement selon les lignes de coupe B-B et A-A de la figure 3.

Par ailleurs, la figure 3 est représentée comme une vue en coupe verticale, sauf pour la colonne
25 centrale d'électrodes, vue de l'extérieur.

Le tube accélérateur TA est illustré au centre en trait tireté.

On retrouve sur la figure 3 les quatre sections S_1 à S_4 de plateaux équipotentiels, intercalées entre
30 les sections mortes E 0/1, E 1/2, E 2/3, E 3/4 et l'électrode haute tension EP.

Selon l'invention on prévoit, au moins au

niveau de l'électrode haute tension EP, une structure D d'électrodes auxiliaires discrètes, non enveloppantes, qui comprend ici les éléments suivants :

- 5 - anneau conducteur DA1, coaxial à l'électrode haute tension EP, au niveau du bord gauche de celle-ci ;
- anneau conducteur DA'1, placé symétriquement du premier, mais au niveau du bord de droite de l'électrode EP ;
- 10 - une série de barres DL1 à DL6 (figure 5) parallèles au contour externe de l'électrode haute tension, et distribuées sur un contour cylindrique coaxial à celle-ci.

Comme le montre la figure 5, les anneaux DA sont interconnectés avec les barres DL. Par ailleurs, ils peuvent être pleins ou creux.

- 15 Une tension choisie, supérieure à celle qui serait présente au niveau des barres DL et anneaux DA en leur absence, est appliquée à ceux-ci. Bien que cette alimentation puisse provenir d'une source extérieure, telle qu'une machine électrostatique Van de Graaff à
- 20 simple étage, communiquant avec les électrodes discrètes par un orifice ménagé dans le réservoir T, il est considéré actuellement comme préférable d'alimenter les électrodes discrètes DA et DL à partir du diviseur de tension interne.

- 25 Ainsi des bras conducteurs de piquage tels que DB 11 et DB 14 relient l'anneau DA1 à la section morte E 3/4. Des bras symétriques font de même, de l'autre côté, pour l'anneau DA'1 (ces six bras DB'11 à DB'16 sont
- 30 électriquement, plusieurs bras régulièrement distribués sont ici préférables, pour un bon positionnement mécanique.

La figure 10 montre l'effet des bras DL, ici DL5 et DL6, à l'aide d'une carte du champ électrique (lignes essentiellement radiales) et des équipotentielles (lignes essentiellement circonférentielles).

5 Dans la zone I, les lignes de champ (la majorité) qui vont directement de l'électrode haute tension EP (potentiel V) au réservoir T sont rendues parallèles (par rapport à la divergence des rayons partant de EP, qui définiraient les lignes de champ en
10 l'absence des barres DL).

En conséquence, la surface en section droite des tubes de force augmente moins (de préférence peu ou pas du tout) lorsque l'on va de l'électrode haute tension au réservoir, et le champ reste plus constant (c'est-à-dire
15 qu'il diminue moins).

Dans la zone II, peu de tubes de force unité (un seul sur le schéma) vont de EP à DL5, alors que beaucoup (ici 4, délimités par 5 lignes de champ) vont de DL5 à T. Le potentiel de DL5 et DL6 est supposé égal
20 à $3V/4$. Le flux reçu de DL5 par EP est donc rendu faible, par rapport au flux passant de DL5 au réservoir T. Occupant une plus large place, le flux de DL5 au réservoir T réalise par la même une canalisation étroite des tubes de force allant directement de EP à T.

25 Si la haute tension est positive, le tube de force allant de EP à DL5 trouvera une faible charge négative sur DL5. De l'autre côté de DL5, une charge positive nettement plus élevée correspond aux tubes de forces allant de DL5 au réservoir T.

30 La figure 9 montre l'effet des anneaux DA, ici DA1, DA'1 et DA2 (décrits ci-après).

Comme précédemment, la zone I concerne les

lignes de champ qui passent par exemple entre DA1 et DA'1, et vont directement de EP à T. Ces lignes de champ sont rendues ici légèrement convergentes (en direction axiale), ce qui compense leur divergence en section droite radiale (non représentée). Les tubes de force vont alors
5 demeurer de section constante (ou lentement croissante). Le champ électrique diminue donc peu radialement.

En zone II, un tube de force étroit (faible flux) va de EP à DA'1 (par exemple) alors que le tube de forces
10 entre DA'1 et T est large. En d'autres termes, l'élément correspondant à DA'1 sur EP est petit, alors qu'il est grand (flux plus important) sur le réservoir T, d'où la canalisation des lignes de champ entre EP et T.

De leur côté, les bras tels que DB11, contribuent un peu à l'amélioration de la géométrie du champ électrique, à la façon des barres DL.
15

Sur la figure 3, le dispositif se complète d'un anneau torique DA2 (semblable à DA1) mais agencé au niveau de la section morte E 3/4 ; son alimentation
20 est assurée par des bras de piquage DB21 à DB26 provenant de la section morte précédente E 2/3. Enfin, un autre anneau torique DA3, placé au niveau de l'électrode secondaire du type section morte E 2/3, est alimenté par les bras conducteurs DB 31 à DB 36 à partir de la
25 section morte E 1/2.

On remarquera la taille décroissante des anneaux DA1 à DA3, lorsqu'on part de l'électrode haute tension, et que la tension diminue ensuite.

Les bras DB diminuent également de DB11 à DB21
30 puis DB31. En plus de cela, chaque bras a une section droite qui évolue entre son point de piquage et sa liaison à l'anneau associé.

Près du point de piquage, la section droite du bras est très aplatie radialement (voir la coupe du bras DB31 en figure 4), au niveau du plateau équipotentiel H 24, ce qui perturbe peu la géométrie cylindrique préexistante du champ électrique. En même temps, la forme du bras suit alors une équipotentielle partant du point de piquage (ici la section morte E 1/2).

Progressivement, le bras s'écarte ensuite de l'équipotentielle, vers l'extérieur, si bien qu'il amène à l'anneau DA3 un potentiel supérieur à celui qui règnerait en son emplacement, du seul fait de la colonne centrale (électrodes principales et secondaires) et du réservoir.

La forme finale en section droite d'un bras DB est à peu près la même que celle de l'anneau DA, ainsi que d'une barre DL, à savoir un triangle curviligne, proche d'une forme en coeur, et dont une pointe est orientée vers l'axe de la colonne centrale.

Le nombre des électrodes, leur forme et leur emplacement peuvent être définis expérimentalement, en s'aidant d'orthogrammes, par exemple cartographies de Lehmann, ou procédé rhéographique, qui permettent le tracé des lignes de champ électrique et des équipotentielles et ce de façon à rester partout juste en dessous et aussi près que possible du champ électrique disruptif. A cet égard, les principes généraux sont indiqués notamment dans la publication "The design of the electric field in a Van de Graaff generator" J.W. Boag, Monograph n° 63, part IV des Proceedings de l'Institution of Electrical Engineers, Londres, publié le 15 mai 1953.

Les figures 3 à 5 illustrent un premier mode de réalisation qui comporte à la fois des anneaux toriques DA, des barres parallèles DL au niveau de l'électrode

de haute tension, des bras d'alimentation DB (qui ont aussi un rôle un peu comparable à celui des barres DL).

Dans sa partie illustrée, l'appareil comporte trois structures indépendantes (articulées autour de DA1, DA2 et DA3). En pratique, on peut se contenter aussi d'une seule structure, placée alors de préférence au niveau de l'électrode haute tension EP. Et l'on peut ne prévoir que les tores DA ou que les bras DL ; même les bras DB peuvent être réduits (un seul suffit pour l'alimentation), voire supprimés dans le cas d'une alimentation externe.

Un second mode de réalisation de l'invention apparaît sur les figures 6 à 8. Comme le précédent, il est constitué de barres DL, d'anneaux DA et d'un bras DB 10, mais cet ensemble constitue ici une seule structure d'électrodes discrètes interconnectées. Par ailleurs, les électrodes sont ici proches du réservoir T, auquel elles sont reliées par l'intermédiaire d'isolateurs haute tension tels IA10, IA14, IA20, IA24, IA30, IA34 placés au niveau des anneaux DA (quatre isolateurs à angles droits sur les figures 7 et 8).

Le bras d'alimentation unique part de la section morte E 1/2 (figures 6 et 7), pour rejoindre l'anneau torique DA30 ; placé au niveau de la section morte E 2/3, celui-ci est relié par six barres telles que DL31 et DL34 à l'anneau suivant DA20, qui est à peu près au niveau de la section morte E 3/4. A nouveau, six barres telles que DL21 et DL24 relient l'anneau DA20 à l'anneau DA10, situé près du bord de l'électrode haute tension. Enfin, six barres DL11 à DL16 sont régulièrement distribuées autour de l'électrode centrale, parallèlement à celle-ci.

Les formes, nombres et emplacements des électrodes sont déterminés comme précédemment.

Le bras DB10 part de la section mince très aplatie (voir la coupe de la figure 7, au niveau du plateau équipotentiel H23). Sa section s'élargit radialement progressivement jusqu'à la forme en coeur déjà citée, tandis que le bras s'écarte de l'équipotentielle qu'il suivait à son départ de la section morte E 1/2.

Le potentiel est ensuite transmis d'un anneau DA à l'autre par les barres DL, jusqu'aux barres DL11 à DL16 parallèles à l'électrode principale EP. (potentiel V).

La figure 11 illustre l'effet des barres telles que DL12 et DL13 sur le champ électrique, le potentiel de ces barres étant supposé égal à $V/4$.

Dans la zone I, les lignes de champ qui vont directement de l'électrode haute tension EP au réservoir T sont rendues sensiblement parallèles.

Dans la zone II, on atteint ici le cas limite où aucune ligne de champ ne va de l'électrode EP aux barres DL 12 et DL 13, alors que des lignes de champ vont des barres au réservoir, en s'évasant pour canaliser les autres lignes de champ entre EP et T (zone I). En d'autres termes ces barres DL12 et DL13 représentent un "extremum électrostatique", apportant des charges d'une seule polarité qui modifient la géométrie du champ électrique.

L'effet des anneaux DA, des autres barres DL21 - DL26 et DL31 - DL36 ainsi que du bras DB10 n'est pas illustré ; il est comparable à ce qui est montré sur la figure 9 pour les anneaux et sur la figure 11 pour les autres éléments.

On observera à cet égard que les barres DL21 à DL26 et DL31 à DL36 ne sont pas parallèles à la colonne axiale. En revanche, tout comme les barres DL11 à DL16, elles suivent de très près le contour d'une surface équipotentielle, telle qu'elle serait définie en leur absence par le réservoir T, l'électrode haute tension EP et les électrodes secondaires (plateaux équipotentiels et sections mortes).

Bien entendu, ce second mode de réalisation est susceptible des mêmes variantes que le premier.

En plus de celles qui ont déjà été mentionnées, une variante importante du premier mode de réalisation est illustrée par les figures 12 à 13 : les bras, anneaux et barres constituant les électrodes discrètes ont maintenant à leur tour une structure divisée.

Sur la figure 12, on voit le bras DB31 en structure divisée, rejoignant l'anneau DA3, également en structure divisée. Comme le montre la coupe de la figure 12A, cet anneau DA3 se compose de minces barres annulaires 300 à 309, disposées pour reproduire sensiblement le contour externe en forme générale de coeur de la figure 3.

De son côté, le bras DB31 comprend de minces barres rectilignes telles que 310 à 315. La barre mince 310 vient de la section morte E 1/2 et va jusqu'à l'élément 300 de l'anneau DA3. La barre mince 311 relie les anneaux 309 et 301 à un plateau équipotentiel H21. De même les barres minces 312, 313, 314 et 315 relient respectivement les plateaux équipotentiels H22, H23, H24 et H25 aux éléments 308 et 302, 307 et 303, 306 et 304 et enfin 305 seul. Les interconnexions entre 309 et 301 ainsi que 308 et 302, etc., n'ont pas été représentées pour simplifier le dessin. Par ailleurs, les plateaux

équipotentiels concernés H21 à H25 ont été représentés espacés, pour une meilleure compréhension. Bien entendu, la colonne conserve en fait la structure régulière illustrée dans sa partie S1.

5 Avec cette construction divisée, la structure à électrodes discrètes se compose donc de plusieurs parties portées à des potentiels voisins. Cette construction est intéressante notamment dans les cas où il est difficile de rester en deçà du champ disruptif. Ce peut être le cas pour le bras DB31, en raison de la transition brusque que présente le réservoir T, de la forme cylindrique à la forme conique, à ce niveau.

10 La figure 13 est une vue de droite de l'appareil de la figure 12, compte tenu de la brisure ; on y voit deux éléments 302 et 303 de l'anneau DA3, les autres n'étant pas représentés.

15 Cette figure comporte aussi les éléments des bras tels que DB31 et illustre le contour de ces bras au niveau de l'anneau DA3 : on remarque que le contour défini par les éléments des bras est ici également en forme de coeur.

Cette construction divisée peut naturellement s'étendre aux éléments tels que DA2 et DB21 - DB26, ainsi que DA1 et DB11 - DB16 de la figure 3.

25 La figure 14 montre l'agencement obtenu pour les éléments DA1 et DB11 (en l'absence de barres DL). Cette structure, semblable à celle des figures 12, 12A et 13, ne sera pas décrite à nouveau.

30 La figure 15 montre la même structure (côté bas de l'appareil), mais cette fois avec des barres DL parallèles à l'électrode principale, ici la barre DL4. La figure 16 est une vue en coupe de cette barre DL4, constituée d'éléments minces 400 à 415, répartis sur un

contour en forme de coeur. Ces éléments sont interconnectés symétriquement par les éléments de l'anneau DA1, 415 est relié à 401, et ainsi de suite.

5 On voit qu'il est possible de réaliser intégralement en structure divisée le mode de réalisation des figures 3 à 5. Cela peut s'appliquer bien entendu aussi au second mode de réalisation des figures 6 à 8.

10 Dans ce qui précède, il y a un seul niveau d'électrodes discrètes entre l'électrode principale (ou les électrodes secondaires) et le réservoir.

Il peut être avantageux d'en prévoir plusieurs niveaux. Par exemple on peut, dans le même accélérateur, mettre plusieurs structures concentriques selon la figure 15 3 et/ou selon la figure 6 ; les points de piquage sur la colonne sont bien entendu adaptés pour fournir les potentiels appropriés.

2 Dans de telles structures concentriques, on peut aligner radialement les barres correspondantes telles que DL1 figure 5) des différents niveaux. On aura cependant intérêt le plus souvent à les décaler angulairement les unes par rapport aux autres.

25 Bien entendu, l'homme de l'art pourra concevoir de nombreuses autres variantes à partir des modes de réalisation décrits ci-dessus.

30 On remarquera que les formes et dispositions des électrodes sont importantes dans la présente invention. A ce titre, les dessins sont à incorporer à la description, pour servir en tant que de besoin à la définition de l'invention.

Selon l'invention, l'énergie stockée dans l'espace interélectrode, à l'intérieur du réservoir, est subdivisée en plusieurs parties, qui concernent soit

des électrodes auxiliaires intermédiaires (parmi l'ensemble de celle-ci), soit l'électrode centrale à haute tension. Les différents "domaines" d'énergie ainsi délimités sont séparés et découplés les uns des autres :

5 chaque tube de lignes de champ électrique -ou lignes de force- partant du réservoir T, peut être délimité pour aboutir à une électrode déterminée.

Ainsi, il est possible de dimensionner les différents éléments de l'appareil pour que le premier

10 claquage atteigne préférentiellement une électrode auxiliaire discrète moins vulnérable, tout en concentrant moins la répartition d'énergie sur l'électrode principale à haute tension EP.

Par ailleurs, pour une même valeur de la

15 haute tension maximale de l'électrode principale EP, la charge portée par cette électrode est réduite substantiellement et par conséquent l'énergie électrique associée.

L'invention permet non seulement l'amélioration

20 tion des accélérateurs et autres machines électrostatiques existants, mais aussi la conception de machines de structure entièrement nouvelles dans lesquelles

- la taille des électrodes, et notamment de l'électrode haute tension est réduite ; il en est de même pour le

25 réservoir T ;

- la forme générale de l'ensemble peut être définie à partir d'un réservoir T défini par une surface conique, dont la base n'est pas nécessairement circulaire ;
- on peut alors prévoir un ensemble d'électrodes discrètes

30 qui s'appuient sur la colonne centrale, et forment dans l'espace interélectrodes un rideau d'électrodes discrètes quasi parallèles.

Il peut y avoir plusieurs rideaux différents quant au nombre des électrodes et à leur forme. Ces rideaux peuvent alors être fabriqués très économiquement à partir de simples tubes d'acier inoxydable de section
5 circulaire.

Par exemple, on peut ainsi définir, dans un réservoir intégralement conique (sauf au niveau de l'électrode principale), une colonne mince, munie de nombreuses sections de plateaux équipotentiels, séparées par des
10 sections mortes étroites. Et tout ou partie de ces sections mortes sont reliées chacune à une structure d'électrodes auxiliaires discrètes telle que celle de la figure 6, par exemple.

Un tel accélérateur demeure de taille raisonnable, tout en permettant de donner à des particules une
15 énergie nettement supérieure à ce que l'on obtient avec les accélérateurs électrostatiques actuels.

Bien entendu, la présente invention n'est pas limitée aux modes de réalisation décrits, et s'étend à
20 toute variante conforme à son esprit. En particulier, elle concerne tout aussi bien les accélérateurs simple étage ou en tandem replié, ainsi que les autres machines électrostatiques, et plus généralement tout dispositif à haute tension, continue ou alternative.

D'un autre côté, on a décrit plus haut une
25 structure à électrodes discrètes comprenant d'une part des anneaux toriques coaxiaux de diamètre identique ou différent, et d'autre part des barres longitudinales, parallèles ou inclinées sur l'axe des tores constituant les
30 anneaux. On peut prévoir en variante des électrodes discrètes combinant ces deux géométries, et possédant par exemple une allure hélicoïdale, éventuellement spiralée.

REVENDEICATIONS

1. Dispositif à haute tension, du type
comportant une électrode principale à haute tension (EP),
espacée par rapport à un corps (T) formant référence de
potentiel, caractérisé par le fait qu'il comporte une
5 structure à électrodes auxiliaires discrètes (DA, DB,
DL), montée non enveloppante autour de l'électrode
principale, et agencée pour dévier les lignes de champ
électrique de manière à les rendre, au moins en partie,
sensiblement parallèles, ce qui permet de réduire
10 l'espacement à respecter entre l'électrode principale et
la référence de potentiel.

2. Dispositif selon la revendication 1,
caractérisé par le fait qu'il comporte en outre un
empilement axial d'électrodes secondaires (S1, S2, S3,
15 etc.), interposées entre la référence de potentiel et
l'électrode principale, ces électrodes secondaires
comprenant des plateaux ou anneaux équipotentiels (H),
interconnectés par des résistances pour former diviseur
de tension, ainsi qu'un dispositif (CC) pour apporter
20 des charges électriques à l'électrode principale, et
par le fait que le corps formant référence de potentiel
comprend une cuve ou réservoir (T) entourant l'ensemble
des électrodes.

3. Dispositif selon la revendication 2,
25 caractérisé par le fait qu'il comporte un deuxième
empilement axial d'électrodes secondaires (S5 à S8),
semblable au premier, et disposé symétriquement de
celui-ci par rapport à l'électrode principale.

4. Dispositif selon l'une des revendications
30 2 et 3, caractérisé par le fait que la structure à
électrodes auxiliaires discrètes (DA20, DA30) s'étend
également au niveau d'électrodes secondaires (E 2/3 ;

E 3/4).

5 5. Dispositif selon l'une des revendications 2 à 4, caractérisé par le fait qu'au moins une autre structure à électrodes auxiliaires discrètes (DA2, DA3) est prévue au niveau de certaines électrodes secondaires (E 2/3 ; E 3/4).

10 6. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé par le fait qu'il comporte des moyens de liaison (DB) pour porter la structure à électrodes auxiliaires discrètes à un potentiel en relation prédéterminée avec celui de l'électrode principale (EP).

15 7. Dispositif selon la revendication 6, caractérisé par le fait que les moyens de liaison comprennent au moins un bras (DB11 ; DB10) reliant la structure à électrodes auxiliaires discrètes (DA1, DL1 ; DA30, DL34) à une électrode secondaire (E 3/4 ; E 1/2).

2 8. Dispositif selon la revendication 7, caractérisé par le fait que le bras (DB11, DB10) possède une section droite croissante à partir de l'électrode secondaire (E 3/4, E 1/2) et qu'il suit, au moins à proximité de cette électrode secondaire, une surface équipotentielle partant de celle-ci.

2 9. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé par le fait que la structure à électrodes auxiliaires discrètes (DA, DL) coopère avec la référence de potentiel (T) de sorte que les tubes de force s'évasent vers celle-ci.

30 10. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisé par le fait que la structure à électrodes auxiliaires discrètes est agencée de sorte que la majorité des tubes de force émanant de l'électrode principale passent sans atteindre les électrodes discrètes (Figures 10 et 11).

11. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisé par le fait que la ou chaque structure à électrodes auxiliaires discrètes comporte un seul ensemble de conducteurs interconnectés (Figures 3 et 6).

5 12. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisé par le fait que la structure à électrodes discrètes comporte plusieurs ensembles de conducteurs interconnectés portés à des potentiels voisins (Figures 12, 14, 15).

10 13. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 12, caractérisé par le fait que la structure à électrodes discrètes comporte au moins un anneau conducteur disposé coaxialement à l'électrode principale (DA 1 ; DA 10).

14. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 13, caractérisé par le fait que la structure à électrodes discrètes comporte des barres parallèles à l'électrode principale (DL1 ; DL11 ; 501 ; 601 ; 701 ; 801).

20 15. Dispositif selon la revendication 14, caractérisé par le fait que lesdites barres sont distribuées sur un contour cylindrique coaxial à l'électrode principale (DL1 - DL6 ; DL11 - DL16).

25 16. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 15, caractérisé par le fait que les électrodes auxiliaires sont proches de l'électrode principale (Figure 3).

30 17. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 16, caractérisé par le fait que les électrodes auxiliaires sont proches de la cuve (Figure 6), sur laquelle elles s'appuient par l'intermédiaire d'isolateurs haute tension (IA10, IA20, IA30).

18. Dispositif selon l'une des revendications
1 à 14, caractérisé par le fait que la structure à
électrodes auxiliaires discrètes s'étend sur plusieurs
niveaux entre l'électrode principale (EP) et la référence
de potentiel (T).

5

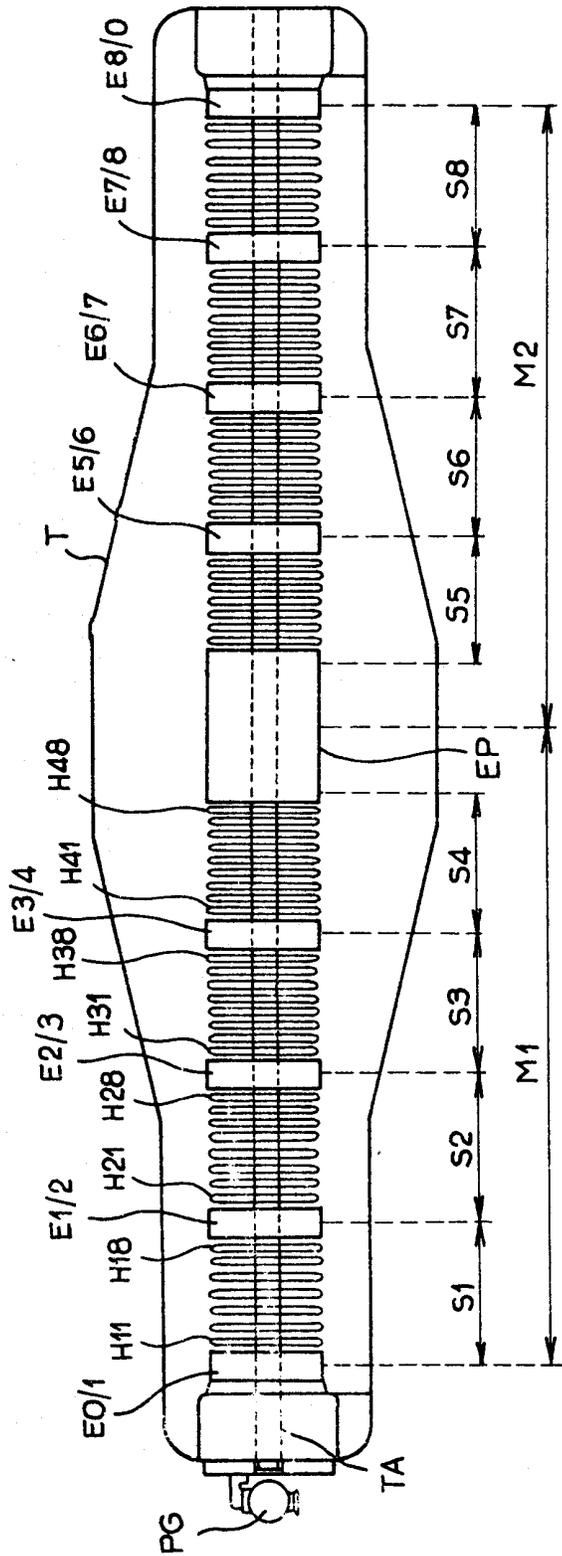


FIG. 1

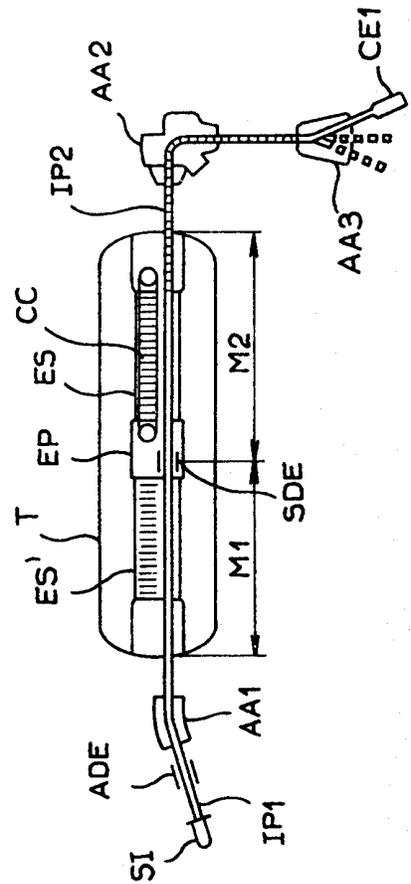


FIG. 2

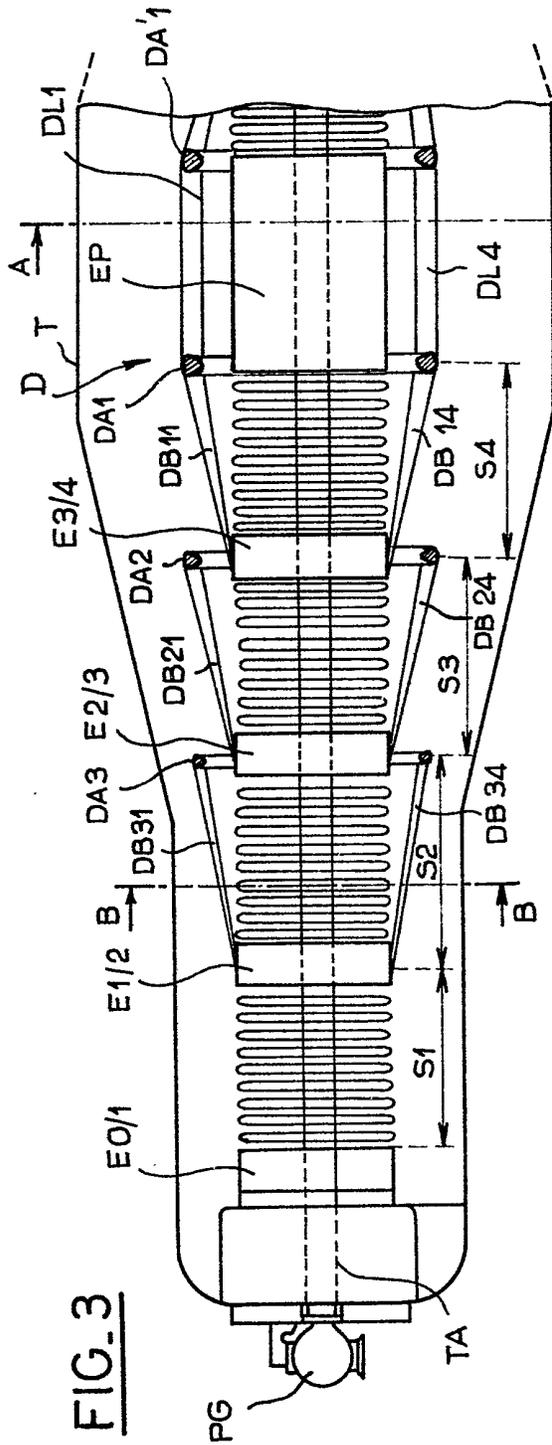


FIG. 3

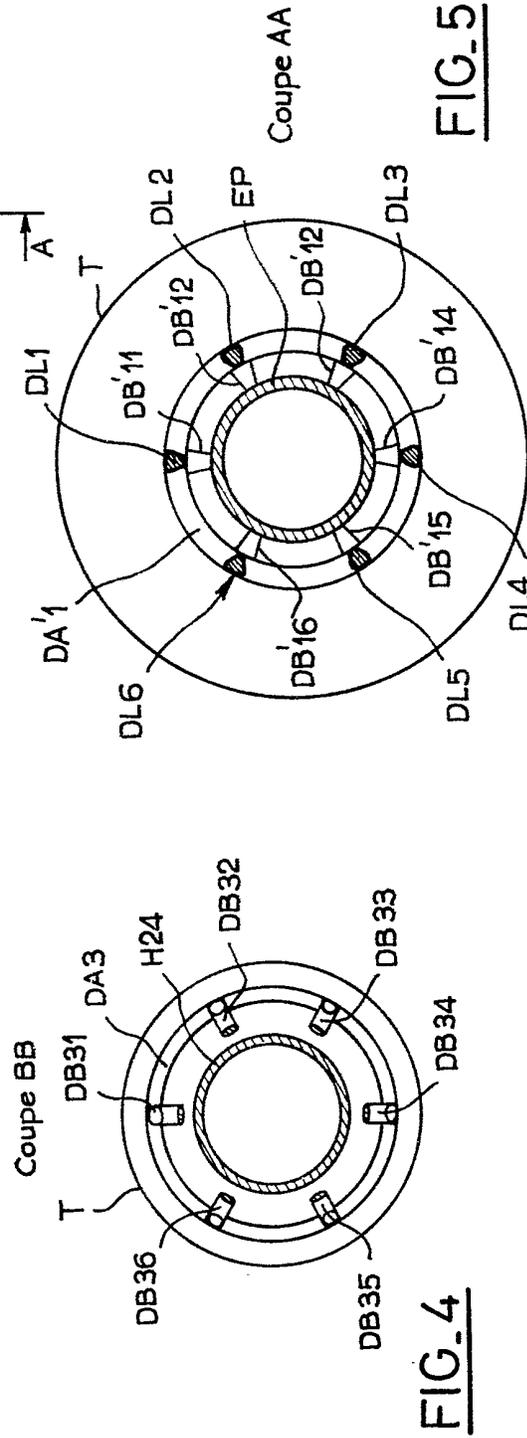


FIG. 4

FIG. 5

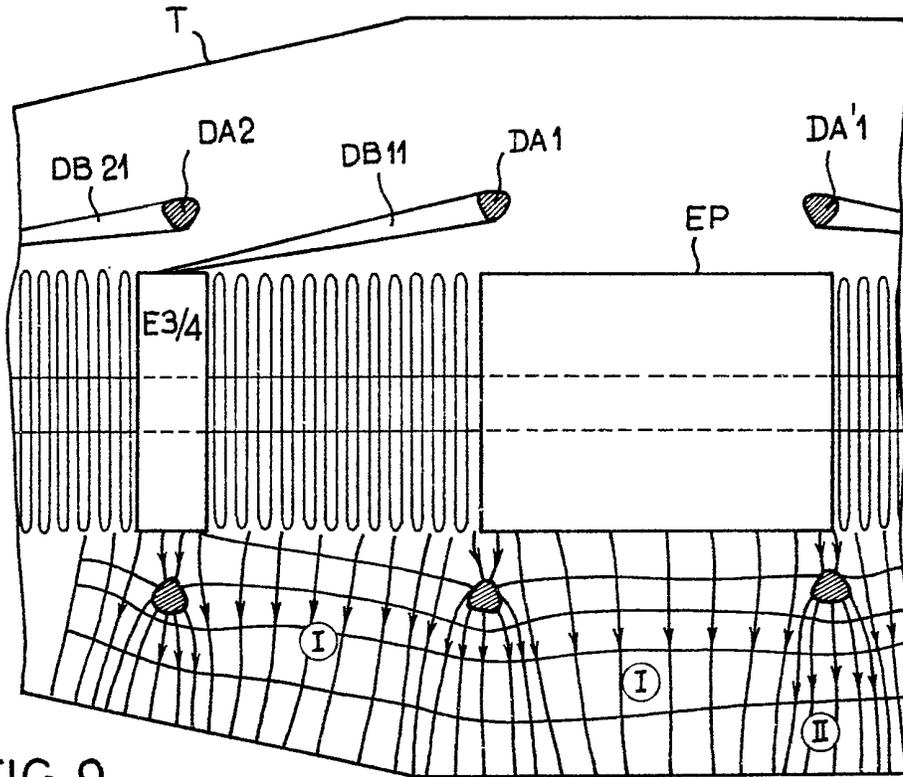


FIG. 9

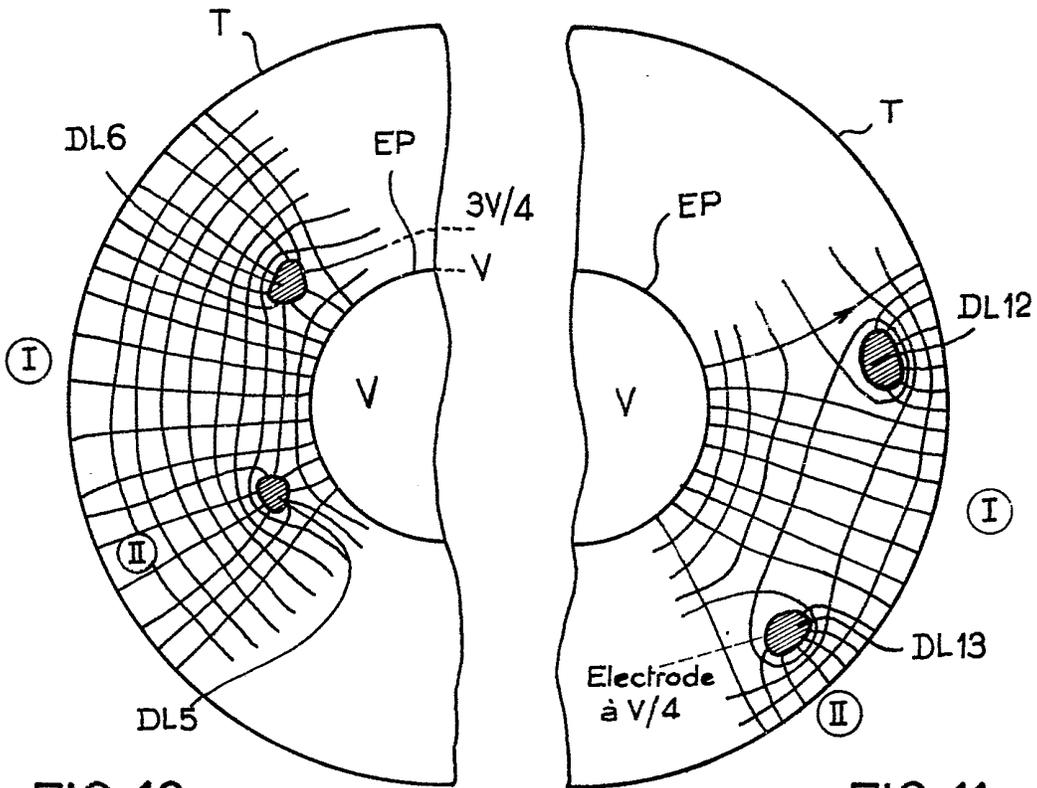


FIG. 10

FIG. 11

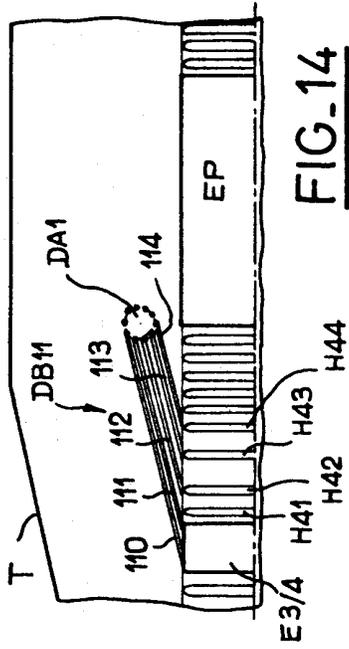


FIG. 14

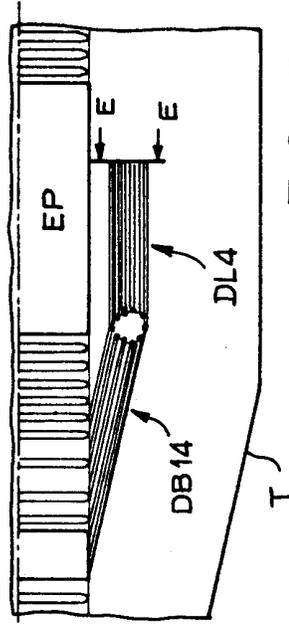


FIG. 15

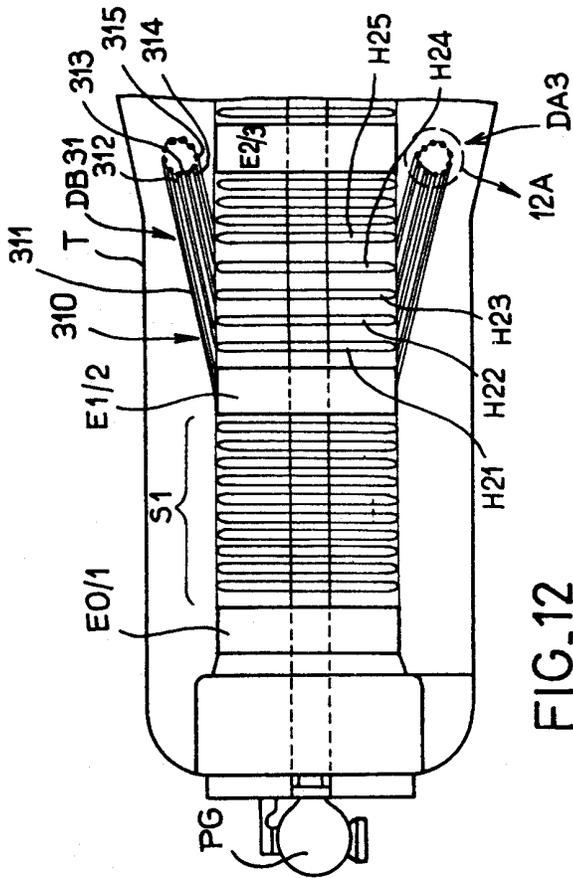


FIG. 12

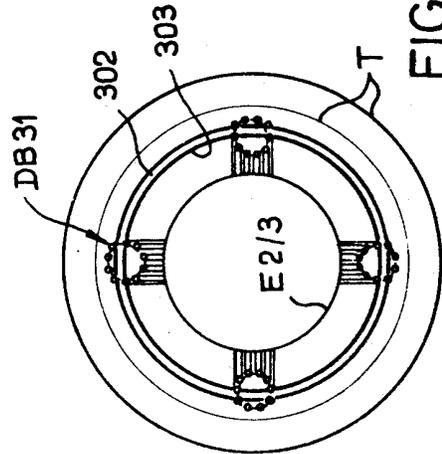


FIG. 13

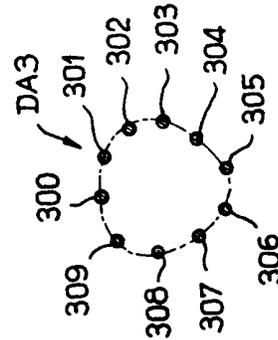


FIG. 12A

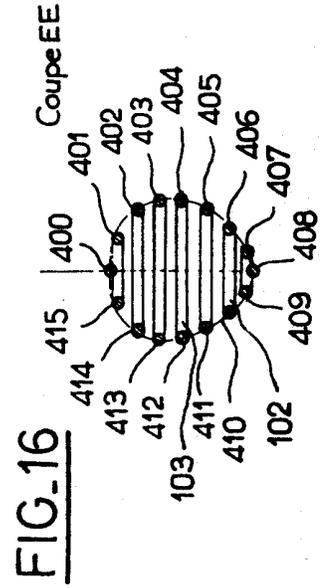


FIG. 16