(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) **N° de publication :** **2 889 178**

(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) **N° d'enregistrement national :** **05 51404**

(51) Int Cl[8] : **C 02 F 1/46** (2006.01), C 02 F 5/02, 1/461

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt :** 27.05.05.

(30) **Priorité :**

(43) **Date de mise à la disposition du public de la demande :** 02.02.07 Bulletin 07/05.

(56) **Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire :** *Se reporter à la fin du présent fascicule*

(60) **Références à d'autres documents nationaux apparentés :**

(71) **Demandeur(s) :** *SAINT GOBAIN SEVA Société anonyme* — FR.

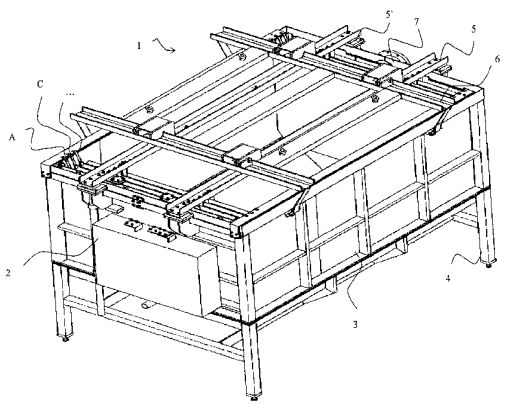
(72) **Inventeur(s) :** THERY PASCALE et FRANCY CHAUSSON HELENE.

(73) **Titulaire(s) :**

(74) **Mandataire(s) :** SAINT GOBAIN RECHERCHE.

(54) PROCEDE ET DISPOSITIF DE TRAITEMENT D'UN FLUIDE PAR ELECTROLYSE, NOTAMMENT POUR DECARBONATER L'EAU.

(57) L'invention se rapporte à un procédé de traitement d'un fluide et notamment au moins de décarbonatation de l'eau dans un réacteur (1), ledit réacteur (1) comportant au moins une anode (A) pouvant être reliée à une borne positive d'un générateur de courant (2) et au moins une cathode (C) pouvant être reliée à une borne négative dudit générateur de courant (2), caractérisé en ce que ledit fluide subit un brassage intense à l'intérieur dudit réacteur (1).



FR 2 889 178 - A1

PROCEDE ET DISPOSITIF DE TRAITEMENT D'UN FLUIDE

La présente invention se rapporte à un procédé de traitement d'un fluide et notamment au moins de décarbonatation de l'eau dans un réacteur, ledit réacteur comportant au moins une anode pouvant être reliée à une borne positive d'un générateur de courant et au moins une cathode pouvant être reliée à une borne négative dudit générateur de courant.

Elle concerne plus particulièrement l'amélioration majeure des performances d'un tel procédé et du dispositif associé, tant pendant le traitement du fluide que pendant le nettoyage des électrodes utilisées lors de la mise en œuvre du procédé de décarbonatation par électrolyse.

Le carbonate de calcium ($CaCO_3$), appelé communément calcaire, est contenu naturellement dans l'eau. Des conditions d'utilisation de l'eau font qu'il peut précipiter, générant différents types de problèmes coûteux pour l'utilisateur et notamment au niveau industriel, par entartrage des circuits de distribution, de refroidissement, … voire par la dégradation des résultats dans les procédés industriels de fabrication utilisant de l'eau.

Afin d'apporter une solution au moins partielle, voire totale, à ce problème, des procédés d'électro-réduction du carbonate de calcium ont été mis au point pour extraire sous forme solide le carbonate de calcium.

L'art antérieur connaît à ce titre la demande de brevet français N° FR-A-2 552 420 selon lequel la décarbonatation de l'eau est effectuée par électrolyse au moyen d'un signal de forme rectangulaire, produisant une densité de courant élevée permettant d'obtenir à la cathode une concentration en ions OH- telle qu'elle entraîne la formation de microcristaux de carbonate de calcium, avec précipitation subséquente de carbonate de calcium et élimination dans des capacités annexes à la capacité de traitement électrolytique, ces capacités étant positionnées en aval du réacteur accueillant les électrodes.

Dans une variante décrite dans la demande de brevet français N° FR-A-2 731 420, la précipitation immédiate du carbonate de calcium est réalisée dans l'enceinte de traitement électrolytique : l'électrolyse est effectuée entre une anode et une cathode au sein de l'eau à traiter qui constitue l'électrolyte, en constituant au préalable à la cathode un revêtement mince poreux comprenant du carbonate de calcium destiné à favoriser la croissance par nucléation et la formation de germes qui servent de support à la

naissance de cristaux de carbonate de calcium. Pour tenter d'enlever au moins partiellement ces dépôts, on produit un flux de gaz à travers les porosités de la cathode (par insufflation de gaz ou par génération d'hydrogène in situ par réduction électrolytique de l'eau) de façon que les cristaux qui se forment sur ledit revêtement poreux soient décollés de celui-ci sous l'action du flux de gaz. Ce procédé est mis en œuvre dans un réacteur comprenant une cuve et deux séries de plaques parallèles formant anodes et cathodes, que le liquide à traiter longe en flux ascendant.

La réaction électrochimique engendre la précipitation du $CaCO_3$ dans le milieu basique créé au voisinage de la (ou des) cathode(s). Ce $CaCO_3$ tombe en partie au fond du réacteur d'où il est évacué régulièrement, mais une autre partie reste sur les cathodes. Il est alors nécessaire d'opérer régulièrement un nettoyage mécanique pour éviter un blocage du système par prise en masse, ce qui impose d'arrêter le dispositif et de reproduire l'étape préalable de constitution d'un revêtement mince poreux comprenant du carbonate de calcium avant la remise en service.

Il résulte de la réaction chimique d'électrolyse de l'eau un abaissement du TH et du TAC (un adoucissement et une décarbonatation) :

- Le TH (Titre Hydrotimétrique) est l'indicateur de dureté totale de l'eau et correspond à la teneur en ions calcium et magnésium selon la relation suivante, en degrés français (°F) : $TH = ([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]) / 10^{-4}$ mol.l^{-1} (sachant que le $TH = TH_{ca} + TH_{Mg}$) ; (Rappel : 1°F = 0,2 méq.l^{-1} = 0,7 degré anglais = 0,56 degré allemand)
- Le TAC (Titre Alcalimétrique Complet) est la teneur d'une eau en alcalis (hydroxydes), en carbonates et en bicarbonates (ou hydrogénocarbonates) alcalins ou alcalino-terreux. Dans le vocabulaire courant, il donne la mesure de l'alcalinité totale.

$TAC = (2.[CO_3^{2-}] + [HCO_3^-] + [OH^-]) / 10^{-4}$ mol.l^{-1} en degrés français

- Lorsqu'il y a précipitation du $CaCO_3$, le TH_{ca} et le TAC baissent simultanément. La précipitation dépend de l'équilibre calco-carbonique et pas seulement de la teneur en calcium de l'eau. Chaque eau a un potentiel de précipitation bien précis en fonction de son utilisation. Il convient de le déterminer pour réaliser la décarbonatation adéquate.

En effet, l'entartrage le plus courant provient d'une modification de la chaîne carbonique de l'eau, entraînant une précipitation du carbonate de calcium. L'équilibre est défini par la réaction suivante :

$Ca(HCO_3)_2 \leftrightarrow CaCO_3 + CO_2 + H_2O$,

pour laquelle on peut définir une constante théorique de pH, pH_s, qui est le pH de saturation.

La modification de certains paramètres tels que le pH, la concentration en CO_2 dissout ou la température peut provoquer une rupture de l'équilibre calco-carbonique et entraîner le phénomène d'entartrage. Ainsi, l'eau est entartrante :

- Lorsque $pH_{eau} > pH_s$ car l'eau est sursaturée en $CaCO_3$;
- Lorsque $[CO_2] < [CO_2]_e$, $[CO_2]_e$ représentant la concentration en CO_2 équilibrante pour laquelle le bicarbonate de calcium reste stable en solution ; et
- Lorsque la température de l'eau augmente car sous l'effet de cette augmentation, un dégazage de CO_2 se produit du fait de la diminution de sa solubilité dans l'eau et l'équilibre calco-carbonique va tendre vers la formation de CO_2 libre à partir des bicarbonates, ce qui provoque la précipitation du $CaCO_3$.

Un but de l'invention est de proposer une amélioration majeure des procédés de l'art antérieur en proposant un procédé de décarbonatation fiable, dont le rendement peut être augmenté d'au moins 40 %, voire 50 %, voire plus encore.

Un autre but de l'invention est de proposer un procédé de décarbonatation de l'eau qui soit au moins partiellement, voire entièrement, automatique, incluant des phases d'auto-nettoyage ne nécessitant pas ou peu d'intervention humaine.

La présente invention se rapporte ainsi dans son acception la plus large à un procédé de traitement d'un fluide et notamment au moins de décarbonatation de l'eau dans un réacteur, ledit réacteur comportant au moins une anode pouvant être reliée à une borne positive d'un générateur de courant et au moins une cathode pouvant être reliée à une borne négative dudit générateur de courant, caractérisé en ce que ledit fluide subit un brassage intense à l'intérieur dudit réacteur.

Le procédé selon l'invention présente plusieurs variantes alternatives ou cumulatives pour la réalisation du brassage intense à l'intérieur du réacteur.

Dans une première variante, ledit brassage est opéré par injection de gaz dans ledit fluide à un débit au moins égal sensiblement à celui du fluide et de préférence de 2 à 10 fois celui du fluide.

Pour une cuve de traitement parallélépipédique, le débit d'alimentation en air est de préférence :

- de 3 à 10 m^3/h d'air par m^2 de surface au sol de cuve de traitement, et de préférence de l'ordre de 7 m^3/h d'air par m^2 de surface au sol de cuve de traitement, et

- de 5 à 20 m^3/h d'air par m^3 de volume de cuve de traitement et de préférence de l'ordre de 12 m^3/h d'air par m^3 de volume de cuve de traitement.

Dans une deuxième variante, ledit brassage est opéré par recirculation R réalisée par aspiration dudit fluide à au moins un endroit dans ledit réacteur et refoulement dudit fluide à au moins un autre endroit dans ledit réacteur.

Pour la mise en œuvre de cette variante, une recirculation R est, de préférence opérée entre une cuve tampon et une cuve de traitement dudit réacteur et en ce que l'eau brute est introduite non pas dans la cuve de traitement, mais dans la cuve tampon et l'eau traitée distribuée est prélevée non pas de la cuve de traitement, mais de la cuve tampon.

Ce débit de recirculation R est, de préférence, de 4 à 20 fois plus important, et de préférence encore de l'ordre de 10 fois plus important, que le débit moyen d'eau traitée distribuée en sortie de la cuve tampon.

Le débit de recirculation R en litres par heure est, de préférence au moins 10 fois, voire au moins 50 fois, plus important que le volume en litres de la cuve de traitement de laquelle est aspiré le fluide et dans laquelle est refoulé le fluide.

Dans une troisième variante, ledit brassage est opéré par au moins un moyen mécanique tel qu'un agitateur ou une hélice, animé d'un mouvement à l'intérieur dudit réacteur.

Dans toutes ces variantes, ledit brassage intense est en permanence proportionnel au débit de fluide, la proportion pouvant de préférence varier, notamment pendant une phase de nettoyage.

Selon une caractéristique particulièrement avantageuse de l'invention, au moins une et de préférence toutes les cathode(s) présente(nt) une surface ondulée.

De préférence la profondeur p d'une ondulation et de préférence de toutes les ondulation(s) est au moins de 2 mm par rapport au plan moyen de ladite cathode.

Selon une autre caractéristique particulièrement avantageuse de l'invention, la distance entre le plan moyen d'une cathode (C) et le plan moyen de l'anode (A) adjacente est comprise entre 10 et 60 mm et de préférence entre 20 et 30 mm.

Selon une autre caractéristique particulièrement avantageuse de l'invention, pendant une phase de nettoyage, ladite cathode au moins à nettoyer est reliée à une borne positive d'un générateur de courant et est soumise, de préférence, à une intensité de courant de l'ordre de 3 à 30 $A.m^{-2}$, notamment de 5 à 20 $A.m^{-2}$ et de préférence de l'ordre de 10 $A.m^{-2}$.

Selon une autre caractéristique particulièrement avantageuse de l'invention, pendant une phase de nettoyage, ladite cathode au moins à nettoyer est reliée à une borne positive d'un générateur de courant et est soumise, de préférence, à une intensité de courant de l'ordre de 1 à 3 fois l'intensité de courant utilisée pour réaliser ledit traitement.

Pendant la phase de nettoyage, un courant est appliqué aux bornes dudit générateur de courant auquel est reliée ladite cathode au moins à nettoyer pendant une durée, de préférence, de l'ordre de une à plusieurs minutes.

En outre, pendant la phase de nettoyage, un brassage intense est, de préférence provoqué à l'intérieur dudit réacteur, de manière plus préférée encore selon au moins une des variantes ci-dessus.

En outre encore, pendant le nettoyage la conductivité du fluide peut être augmentée, notamment à une valeur comprise entre 800 et 8 000 micro siemens par centimètre.

Pour augmenter la conductivité du fluide, une solution consiste à opérer une adjonction d'au moins un sel, de préférence neutre, du type Na_2SO_4.

Enfin, ladite phase de nettoyage est, de préférence, programmée pour être réalisée automatiquement à intervalles réguliers, par exemple toutes les semaines à tous les mois, voire tous les trois mois, ou sur instruction d'un système de mesure, c'est-à-dire sans intervention humaine ou avec une intervention humaine très légère.

La présente invention se rapporte également à un réacteur de traitement d'un fluide et notamment au moins de décarbonatation de l'eau pour la mise en œuvre du procédé selon l'invention.

Le réacteur de traitement comporte au moins une anode pouvant être reliée à une borne positive d'un générateur de courant et au moins une cathode pouvant être reliée à une borne négative dudit générateur de courant et est caractérisé en ce qu'il comporte des moyens de brassage intense à l'intérieur dudit réacteur et plus précisément à l'intérieur de la cuve de traitement.

Pour la mise en œuvre de la première variante du procédé, lesdits moyens de brassage intense sont, de préférence, constitués d'au moins un tuyau poreux ou percé de micro-trous, ledit tuyau étant alimenté par une pompe ou un détendeur, pour la formation de bulles dans le fluide, notamment de bulles d'air ou d'azote.

Dans cette variante, lesdits micro-trous présentent, de préférence, un diamètre inférieur ou égal à 2 mm et de préférence inférieur ou égal à 1 mm.

Pour la mise en œuvre de la deuxième variante du procédé, lesdits moyens de brassage intense sont, de préférence, constitués d'au moins une bouche d'extraction de fluide, d'au moins une bouche de refoulement de fluide et d'au moins une pompe positionnée entre ladite bouche d'extraction et ladite bouche de refoulement.

Pour la mise en œuvre de la troisième variante du procédé, lesdits moyens de brassage intense sont, de préférence, constitués d'au moins un moyen mécanique tel qu'un agitateur ou une hélice, ainsi que d'un système d'entraînement susceptible d'entraîner ledit moyen mécanique en mouvement à l'intérieur dudit réacteur.

Selon une caractéristique particulièrement avantageuse de l'invention, au moins une et de préférence toutes les cathode(s) présente(nt) une surface ondulée.

La profondeur (p, p') d'une ondulation et de préférence de toutes les ondulation(s) est au moins, de préférence, de 2 mm.

Selon une autre caractéristique particulièrement avantageuse de l'invention, la distance entre le plan moyen d'une cathode et le plan moyen de l'anode adjacente est comprise entre 10 et 60 mm et de préférence entre 20 et 30 mm.

Dans toutes les variantes de l'invention, le générateur de courant utilisé est, de préférence, capable de générer une densité de courant de l'ordre de 3 à 30 $A.m^{-2}$, notamment de 5 à 20 $A.m^{-2}$ et de préférence de l'ordre de 10 $A.m^{-2}$ dans ladite (ou lesdites) cathode(s).

Dans toutes les variantes de l'invention enfin, le réacteur comporte, de préférence, des moyens d'automatisme pour réaliser automatiquement le nettoyage de ladite cathode au moins à nettoyer à intervalles réguliers ou sur instruction d'un système de mesure.

Lesdites cathodes sont positionnées, de préférence, sur des supports facilitant leur extraction.

Pour la mise en œuvre notamment de cette possibilité, le réacteur peut comporter des moyens de guidage des électrodes, positionnés, de préférence, à l'extérieur d'une cuve de traitement.

Avantageusement, la présente invention permet ainsi de mettre en œuvre un procédé de traitement par électrolyse, et notamment de décarbonatation de l'eau,

particulièrement performant, pouvant comporter une phase de nettoyage des électrodes et qui peut être au moins partiellement, voire totalement, automatisée.

La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description détaillée ci-après d'exemples de réalisation non limitatifs et des figures ci-jointes :

- La figure 1 illustre un exemple de schéma de principe d'un réacteur de décarbonatation selon l'invention ;
- La figure 2 illustre le schéma du réacteur de décarbonatation de la figure 1 pendant la décarbonatation ;
- La figure 3 illustre une vue en perspective d'un réacteur de décarbonatation selon l'invention ;
- La figure 4 illustre une vue éclatée du réacteur de décarbonatation de la figure 3 ;
- La figure 5 illustre l'étape d'extraction des cathodes du réacteur de décarbonatation de la figure 3 ;
- Les figures 6, 7 et 9 illustrent trois façons différentes de réaliser des moyens de brassage intense par bullage ;
- Le tableau 8 illustre la variation d'abattement et de tension pendant une période de test de 60 jours d'un réacteur tel que celui illustré sur la figure 7 ;
- La figure 10 illustre un premier exemple de réalisation des moyens de brassage intense par recirculation de fluide ;
- La figure 11 illustre un second exemple de réalisation des moyens de brassage intense par recirculation de fluide ;
- Le tableau 12 illustre la variation d'abattement en fonction du temps de contact moyen en minutes pour un réacteur tel que celui illustré sur la figure 11 ;
- La figure 13 illustre un exemple de réalisation des moyens de brassage intense par mise en mouvement d'un moyen mécanique ;
- La figure 14 illustre une vue en coupe verticale d'un réacteur à chicanes, les chicanes étant formées avec des cathodes et des anodes pleines et le fluide passant par le dessus et le dessous des électrodes ;
- La figure 15 illustre une vue de dessus d'un réacteur à chicanes, les chicanes étant formées avec des cathodes et des anodes pleines et le fluide passant par la droite et la gauche des électrodes ;

- La figure 16 illustre une vue en coupe verticale d'un réacteur à chicanes, les chicanes étant formées avec des cathodes et des anodes déployées et le fluide passant par le dessus et le dessous des cathodes et à travers les anodes ;
- La figure 17 illustre un exemple de schéma de principe du réacteur de décarbonatation de la figure 1 pendant un nettoyage selon une première solution, par inversion de polarité ;
- La figure 18 illustre une anode ondulée selon l'invention ;
- La figure 19 illustre une vue partielle d'un exemple de réalisation des ondulations de l'anode de la figure 18 ;
- La figure 20 illustre une vue partielle d'un autre exemple de réalisation des ondulations de l'anode de la figure 18 ; et
- La figure 21 illustre l'évolution de l'abattement par rapport à la densité de courant, d'une part pour une cathode ondulée et d'autre part pour une cathode plane dans des conditions expérimentales identiques.

Il est précisé que les proportions entre les divers éléments représentés ne sont pas rigoureusement respectées dans ces figures afin d'en faciliter la lecture.

La figure 1 illustre le schéma de principe d'un dispositif de traitement ou réacteur de décarbonatation (1) de type connu constitué d'un générateur de courant (2), d'une cuve (3) et d'au moins une anode (A) et une cathode (C) positionnées à l'intérieur de la cuve (3) et pouvant être reliées électriquement au dit générateur (2). Chaque anode (A) et chaque cathode (C) est constituée d'une plaque positionnée sensiblement verticalement et illustrée ici en vue de dessus.

Le fluide à traiter, en l'occurrence l'eau, circule à l'intérieur de la cuve (3), entre les anodes et les cathodes.

Les cathodes sont constituées par exemple d'une plaque plane en acier inoxydable 316L et les anodes sont de type « non consommables » DSA (Dimensionally Stable Anode) par exemple en Titane revêtu de métaux nobles (IrO_2, Ir, Ta, Ru, …).

Dans le cas où plusieurs anodes et plusieurs cathodes sont positionnées dans la cuve (3), les anodes sont reliées électriquement entre elles à l'aide d'une bus-barre (BA) et les cathodes sont reliées électriquement entre elles à l'aide d'une bus-barre (BC).

Pour la décarbonatation de l'eau, une électrolyse de l'eau est opérée entre les cathodes reliées au pôle négatif du générateur (2) par l'intermédiaire de la bus-barre (BC) et les anodes reliées au pôle positif du générateur (2) par l'intermédiaire de la bus-barre (BA), comme on peut le voir sur la figure 2.

La réalisation de cette décarbonatation de l'eau engendre à la fois un dépôt de carbonate de calcium dans le fond de la cuve (3), ainsi que sur les cathodes (C).

Dans le cadre de la présente invention, c'est-à-dire lorsqu'un brassage intense par bullage intense (selon la première variante), par recirculation intense (selon la deuxième variante) ou par brassage mécanique intense (selon la troisième variante) est opéré, il a été constaté que, d'une manière surprenante et contrairement à l'enseignement de la demande de brevet français N° FR-A-2 731 420, il n'était pas nécessaire d'opérer une étape préalable de constitution sur les cathodes d'un revêtement mince poreux comprenant du carbonate de calcium avant leur utilisation, ce qui simplifie la mise en œuvre du procédé de traitement.

Un réacteur spécifique a été conçu pour tester la mise en œuvre de l'invention. Ce réacteur est illustré sur les figures 3 à 5.

Dans le réacteur de décarbonatation (1) selon l'invention, illustré figures 3 à 5, la cuve (3) est montée sur un châssis (4) comportant une trémie formant le fond de ladite cuve (3).

Les anodes (A) sont positionnées fixement à l'intérieur de la cuve (3) mais les cathodes (C) sont extractibles car elles sont toutes supportées par des supports longitudinaux (5, 5'), eux-mêmes supportés par un chariot (6).

Ainsi, il suffit de soulever le chariot (6), comme on peut le voir sur la figure 5, pour extraire en une seule opération toutes les cathodes (C).

Pour empêcher tout contact entre les anodes et les cathodes adjacentes, des moyens de guidage (10) sont prévus. Ces moyens de guidage sont constitués, sur la version illustrée, d'au moins un cylindre vertical, et de préférence, deux cylindres verticaux, relié(s) rigidement au chariot (6) et coopérant chacun avec un tube cylindrique vertical, par coulissement à l'intérieur du ou desdits tubes. Des dispositifs de centrage sont également prévus. Tous ces moyens sont prévus à l'extérieur de la cuve (3), afin de les protéger de l'action du traitement.

L'extraction des cathodes est rendue plus facile grâce à un connecteur électrique amovible du type cosse-douille. Ce système permet de brancher et débrancher les connections aisément manuellement et facilite l'extraction des électrodes.

Pendant le traitement de décarbonatation, le fluide est introduit par l'orifice (9) situé en partie supérieure de la trémie (4) et s'écoule par débordement par une évacuation située en partie supérieure de la cuve (3).

La bouche (8) située à l'extrémité inférieure de la trémie permet l'évacuation du carbonate de calcium éliminé de l'eau et décroché des cathodes, cette bouche permet également la vidange de la cuve.

Pendant le traitement de décarbonatation, le fluide subit un brassage intense à l'intérieur du réacteur (1) et plus précisément à l'intérieur de la cuve (3).

Les figures 6 à 8 illustrent différentes versions alternatives ou cumulatives de la première variante de réalisation du brassage intense selon laquelle lesdits moyens de brassage intense sont constitués d'au moins un tuyau (11, 11', 11'', 11''') poreux ou percé de micro-trous (illustrés par des points), ledit tuyau étant alimenté par une pompe ou un détendeur (non illustré), pour la formation de bulles dans le fluide, notamment de bulles d'air ou d'azote.

L'air ou l'azote est introduit dans le tuyau par l'intermédiaire d'un orifice de bullage (12, 12', 12'', 12''').

Dans la version illustrée figure 6, le tuyau souple (11) est enroulé autour du tuyau d'arrivé de l'eau situé longitudinalement sensiblement horizontalement, dans le haut de la trémie, perpendiculairement aux électrodes, à environ 15 cm de ces dernières.

Le tuyau souple (11) est enroulé de manière à ce qu'il forme au moins une boucle sur lui-même par mètre de tuyau d'arrivé de l'eau. Ce tuyau est du type de ceux utilisés pour l'arrosage automatique des jardins.

Dans la version illustrée figure 7, le tuyau (11') est rigide et positionné sur tout le pourtour intérieur de la trémie, dans sa partie haute, par soudage d'un tuyau à l'intérieur du châssis.

Cette version a été testée en utilisant une source d'air comprimée reliée à un détendeur réglé pour délivrer 0,5 bar avec les paramètres suivants :

Débit eau (L/h)	J(A/m^2)	I (A)	U (V)	Puissance (kWh/m^3)
150	7,4	40	8,5	2,27

Le Δ TH obtenu sans bullage est de 12 °F, alors que le Δ TH obtenu avec le bullage utilisant un débit d'air de 25 L/Min, soit 10 fois supérieur au débit d'eau, est de 16,6 °F. Un gain de 4,6 °F a ainsi été obtenu, ce qui représente près de 40 %.

Cette version a été testée sur un réacteur muni d'une cuve de 150 Litres de volume de réaction avec les paramètres suivants et les résultats suivants ont été obtenus à 30 jours :

	I (A)	J (A/m^2)	Débit Eau (L/h)	Débit air (L/min)	TH (°F)	TH$_{Ca}$ (°F)	TAC (°F)	Conductivité (µS/cm)	pH	Chlore libre (mg/L)
Eau brute n°1					27	25,5	18	632	7,3	
Sans bullage	30	5,6	150	0	17	10,8	9,5	450	6,8	3,0
Avec bullage	30	5,6	150	30	12,8	15	5,9	379	7,3	0,4

Tableau 1

L'abattement passe ainsi de 10,8 °F sans le bullage à 15 °F avec le bullage. Il est donc augmenté d'environ 40% avec le bullage.

Ainsi pour un même abattement souhaité, le volume de l'équipement peut être réduit d'environ 30%.

Le pH est augmenté grâce au bullage et devient identique à la valeur initiale.

L'évolution de la couche a été suivie sur 2 mois. Au démarrage, les plaques cathodiques sont exemptes de dépôt calcaire. La tension est de 8,2V et l'abattement de 15°F.

La figure 8 illustre l'évolution de la tension (V en Volts) et de l'abattement (en °F) sur une période de 60 jours (en abscisse) pendant laquelle l'essai de bullage a été réalisé.

Pendant environ 30 jours la tension augmente graduellement jusqu'à atteindre 11V. L'abattement reste stable à 15°F. Visuellement l'épaisseur de la couche déposée sur les électrodes croît et la couche se densifie durant toute cette période. Cette augmentation de tension est habituelle. Elle est provoquée par la résistance électrique de la couche de calcaire déposée.

A partir de 30 jours la tension électrique se stabilise à 11V et l'abattement demeure constant à 15°F. Visuellement la couche de calcaire continue de croître.

L'essai a été arrêté au bout de 60 jours, la tension et l'abattement n'évoluant plus.

Un autre essai a été réalisé sur une eau de caractéristiques différentes (eau N° 2). Les résultats sont en tous points similaires. Cet effet n'est donc pas lié à la qualité d'une eau particulière :

	I (A)	Débit Eau (L/h)	Débit air (L/min)	TH (°F)	TH_{Ca} (°F)	TH_{Mg} (°F)	TAC (°F)	Cond	pH
Eau brute n°2				30,2	24,6	5,7	20	589	7,15
Sans bullage	30	150	0	21,7	17,4	4,3	12	469	6,83
Avec bullage	30	150	30	17,3	13,3	4,0	6,0	383	6,9

Tableau 2

Le gain en abattement est aussi de 40%.

Le tableau suivant donne les dimensions de la cuve utilisée pour ces deux exemples, ainsi que les valeurs des paramètres de débit air par rapport à la surface et au volume de la cuve :

Hauteur	m	0,6
Largeur	m	0,5
Longueur	m	0,5
Surface	m^2	0,25
Volume	m^3	0,15
Débit Air	L/min	30
Extrapolé suivant surface	[m^3 d'air /h] /surface d'eau	7,2
Extrapolé suivant volume	[m^3 d'air /h] /volume d'eau	12

Tableau 3

Dans la version illustrée figure 9, au moins un tuyau (11'') rigide est positionné sensiblement transversalement dans le haut de la trémie, c'est-à-dire parallèlement aux électrodes, et/ou au moins un tuyau (11''') rigide est positionné sensiblement longitudinalement dans le haut de la trémie, c'est-à-dire perpendiculairement aux électrodes.

Dans la version illustrée, deux tuyaux (11'') rigides transversaux et deux tuyaux (11''') rigides longitudinaux sont utilisés. Ces tuyaux peuvent communiquer entre eux à leur intersection afin de faciliter la répartition de l'air ou du gaz injecté.

Ces tuyaux (11'', 11''') sont alimentés par un tuyau rigide non percé ou non poreux courant le long du pourtour intérieur de la trémie, dans sa partie haute.

Un effet particulièrement intéressant du bullage intense est qu'il permet de faire dégazer le CO_2 dissout dans l'eau. Ce CO_2 est en partie formé à l'anode par la réaction HCO^{3-} - e- => ½ O_2 + CO_2. Le CO_2 dissout acidifie l'eau. Le bullage intense permet ainsi de remonter le pH et donc de ré-équilibrer l'eau dans son équilibre calco-carbonique.

Le bullage intense permet de remonter le pH de 0 à 2 points.

Par le même mécanisme le bullage intense permet le dégazage du Chlore libre de l'eau. Une certaine concentration de chlore libre est profitable car il permet de désinfecter l'eau. Le traitement favorise la formation de Chlore libre par oxydation d'une partie des ions chlorures présents dans l'eau suivant la réaction Cl^- - e- => ½ Cl2. Un excès de chlore libre est cependant néfaste car il accélère fortement la corrosion des métaux dans l'eau. Le bullage intense permet donc de dégazer et d'évacuer dans l'atmosphère le chlore libre de manière à ce que la corrosivité de l'eau soit acceptable.

Le bullage intense permet de diminuer la concentration de chlore libre d'un facteur 5 à 20 jusqu'à des valeurs nulles.

En absence de bullage de gaz, la couche de calcaire formée sur les cathodes est poreuse, friable et poudreuse. Sa densité est de 1,3 et une partie du calcaire formé tombe au fond de la cuve de traitement.

L'effet le plus surprenant du bullage de gaz est que la couche de calcaire formée sur les cathodes est très dense, très dure et très compacte. Sa densité est de 1,9. Elle recouvre la totalité de la cathode. Des bourrelets recouvrent les tranches de bord des plaques cathodiques. De plus tout le calcaire extrait de l'eau reste accroché à cette couche. Il n'y a pas de dépôt de calcaire à évacuer du fond de la cuve de traitement.

Il est alors d'autant plus surprenant de constater que l'adhésion de la couche de calcaire formée en présence de bullage de gaz sur les plaques cathodiques est très faible, voire quasi nulle. La tenue de la couche de calcaire est en fait réalisée par le recouvrement total des plaques cathodiques. Celles-ci sont prises dans une coquille de calcaire.

Si les bourrelets de bords sont cassés à la main, la couche calcaire tombe en de lourdes plaques pouvant faire toute la surface de la cathode. Il est également possible de réaliser ce décrochage en exerçant une flexion sur les cathodes de manière à casser en quelques morceaux cette plaque de calcaire. De grosses plaques de calcaire se détachent alors.

Une fois la coquille cassée les plaques des cathodes sont à nu, avec de larges surfaces brillantes.

Ce comportement est très différent de celui observé lors d'un traitement sans bullage de gaz ou avec un bullage qui n'est pas intense car dans ces deux cas la couche de calcaire formée sur les cathodes est adhérente et le nettoyage complet des cathodes est difficile à réaliser.

Ces propriétés particulières du calcaire obtenu par bullage intense de gaz peuvent avantageusement être mises à profit pour assurer une maintenance mécanique extrêmement simple et efficace :

1. Extraction des cathodes de la cuve de traitement
2. Déplacement des cathodes sur une aire de nettoyage
   Cette aire de nettoyage peut être une simple benne à déchet.
3. Flexion des cathodes ou cassage des bords des coquilles de calcaire à la main ou avec un petit outil (petit marteau, pince)
   Le calcaire tombe en plaques dans l'aire de nettoyage où il peut facilement être récupéré
4. Remise en place des cathodes dans la cuve de traitement

Le nettoyage des cathodes peut aussi être réalisé au-dessus de la cuve de traitement. Les plaques de calcaire après nettoyage des cathodes tombent alors dans la cuve de traitement. Elles peuvent alors être évacuées en bas de cuve par la trémie.

L'alimentation en air est réalisée par un compresseur ou de préférence un surpresseur du type soufflant à canal latéral.

Le débit d'alimentation en air est choisi en fonction de la dimension de la cuve de traitement, il est de préférence à la fois :

- ⇨ De 3 à 10 m^3/h d'air par m^2 de surface au sol de cuve de traitement, et de préférence de l'ordre de 7 m^3/h d'air par m^2 de surface au sol, et
- ⇨ De 5 à 20 m^3/h d'air par m^3 de volume de cuve de traitement et de préférence de l'ordre de 12 m^3/h d'air par m^3 de volume de cuve de traitement.

Le débit d'alimentation en air est mesuré et réglable (débitmètre, manomètre, vanne de réglage).

Ce compresseur ou surpresseur est relié à un tuyau (11, 11', 11'', 11''') servant de nourrice de gaz et placé au fond de la cuve de traitement, sous les électrodes. L'alimentation de cette nourrice peut être souple ou rigide. Elle peut passer par le dessus de la cuve ou au travers de la paroi de la cuve.

La nourrice est située dans la cuve, sous les électrodes à une distance de 50mm à 2000 mm de ces dernières. Elle est composée d'au moins un tube souple ou préférentiellement rigide. Si ce tube est rigide il permet d'assurer le positionnement et le maintien mécanique des diffuseurs en fond de cuve. La nourrice peut aussi être composée d'un réseau de tubes connectés entre eux.

Préférentiellement, un seul tube est positionné parallèlement à la longueur de la cuve de traitement. Il peut être positionné sur un bord de cuve ou préférentiellement au centre pour garder la symétrie de l'installation.

Des diffuseurs de bulles sont reliés à cette nourrice. Ils peuvent être de forme circulaire ou tubulaire. Ils peuvent être percés de fentes de 0,5 mm à 4 mm de long ou de trous de 0,3 mm à 3 mm de diamètre.

Préférentiellement on utilisera les diffuseurs de type « fines bulles » servant à l'oxygénation des bassins d'épuration. Ces diffuseurs à membranes seront de préférence tubulaires de manière à permettre aux dépôts de tomber au fond de la cuve sans obstruer les pores des diffuseurs.

Les diffuseurs de bulles sont faits d'une membrane élastomère en EPDM percé de fentes de 1,1 mm de long et de 0,3 à 3 mm de large. L'air est insufflé par ces diffuseurs et donne des bulles de 3 mm de diamètre en moyenne (0,5 à 5 mm). Le nombre d'orifices par unité de surface est compris entre 7 et 20 par cm^2.

Ces diffuseurs « fines bulles » tubulaires seront de préférence disposés perpendiculairement à une nourrice rigide et centrale, sur un plan horizontal, sur toute la largeur de la cuve de traitement. L'écartement entre deux diffuseurs peut être compris entre 200 mm et 800 mm.

Leur nombre et leur implantation exacte dépendent de la forme de la cuve de traitement de manière à assurer un brassage maximum pour un débit d'air minimum.

La figure 10 illustre un premier exemple de réalisation de la deuxième variante de brassage intense selon laquelle lesdits moyens de brassage intense sont constitués de

deux systèmes indépendants d'aspiration/refoulement. Chaque système comporte une bouche d'extraction de fluide (13), une bouche de refoulement de fluide (14) et une pompe (15) positionnée entre ladite bouche d'extraction et ladite bouche de refoulement, des tuyaux (16, 16') reliant par ailleurs chaque bouche à la pompe.

Il est bien sûr possible de ne prévoir qu'un seul système d'aspiration/refoulement comportant une seule pompe mais plusieurs bouches d'extraction de fluide et/ou plusieurs bouches de refoulement de fluide.

Il est également possible de réaliser une aspiration en haut de cuve et un refoulement en bas de cuve.

Les bouches d'extraction de fluide et de refoulement de fluide sont situées en regard, sensiblement à la même hauteur dans le haut de la trémie, dans les faces d'extrémité longitudinale, à environ 15 cm sous les électrodes.

Une autre configuration de brassage intense par recirculation R est illustrée sur la figure 11. Dans cette configuration le brassage est opéré par recirculation sur une cuve de stockage intermédiaire appelée cuve tampon (30).

Le fonctionnement de cette configuration est le suivant :

L'eau brute (28) est déversée dans la cuve tampon (30).

La recirculation R consiste à pomper l'eau à traiter de cette cuve tampon (30) pour l'introduire dans la cuve (3) et à refouler dans cette même cuve tampon (30) l'eau traitée en sortie de la cuve (3). L'eau finalement distribuée (32) n'étant pas prélevée de la cuve (3), mais de la cuve tampon (30).

Afin d'améliorer les performances de traitement par brassage intense, il est nécessaire que le débit de recirculation R soit de 4 à 20 fois plus important que le débit moyen d'eau traitée distribuée (32) en sortie de la cuve tampon (30). Le temps de contact de re-circulation de l'eau dans le réacteur, défini comme le volume de réacteur divisé par le débit de re-circulation, est alors de 2s à 60s.

La figure 12 illustre l'abattement mesuré en fonction du temps de contact avec deux débits différents de recirculation R, l'un à 5 000 l/h et l'autre à 2 000 l/ h et sans recirculation (SR). Ces mesures ont été réalisées avec une cuve de traitement de 26 litres, une cuve tampon de 860 litres et un débit d'eau brute (28) de 0 à 138 l/h.

Sur la figure 12 le temps de contact moyen TCM est défini comme le volume de traitement divisé par le débit d'eau brute. Le TCM sans recirculation représente alors

le temps de contact moyen pour l'eau brute qui se déverse directement dans la cuve de traitement et non dans la cuve tampon.

Le tableau ci-après présente les gains de TCM nécessaires pour obtenir un abattement faible ou fort en cas de recirculation (R) de faible ou de fort débit par rapport au cas sans recirculation (SR) :

	Faible abattement				**Fort abattement**				moyenne
	Cond	TH	TAC	Moy.	COND	TH	TAC	Moy.	
Eau Brute	39,3	28,2	17,4		39,3	28,2	17,4		
Abattement visé(°F)	6	6	5		11	11	7		
Abattement visé (%)	15%	21%	29%	22%	28%	39%	40%	36%	29%
TCM nécessaire pour obtenir cet abattement :									
TCM SR (min)	27,9	26,1	36,3		51,4	52,6	49,5		
TCM avec R = 2000 L/h	18,9	14,3	32,6		50,1	56,4	47,5		
TCM avec R = 5000 L/h	12,8	10,6	12,2		40,5	38,8	38,4		
Gain TCM : R = 2000 L/h	32%	45%	10%	29%	3%	-7%	4%	0%	**15%**
Gain TCM : R = 5000 L/h	54%	59%	66%	60%	21%	26%	22%	23%	**42%**
Moyenne gain TCM : R				**45%**				**12%**	**28%**

Tableau 4

Ainsi :

- pour de faibles abattements (de l'ordre de 20%) avec des débits de recirculation forts (192 fois le volume du réacteur) : gain de 60% ;

- pour de faibles abattements (de l'ordre de 20%) avec des débits de recirculation faibles (77 fois le volume du réacteur) : gain de 29% ;

- pour de forts abattements (de l'ordre de 36%) avec des débits de recirculation forts (192 fois le volume du réacteur) : gain de 23% ;

- pour de forts abattements (de l'ordre de 36%) avec des débits de recirculation faibles (77 fois le volume du réacteur) : gain de 0%.

En conséquence, plus le débit de recirculation est élevé plus le gain est important.

Le fonctionnement du traitement est actionné en fonction de la qualité de l'eau dans le tampon. Cette qualité n'est pas constante en fonction du volume des appoints en eau brute et du dimensionnement de la cuve de traitement et de la cuve tampon.

Ce fonctionnement est particulièrement recommandé quand une cuve tampon est nécessaire par exemple en cas de besoin d'eau traitée très important mais très

ponctuel ou encore sur des tours aéroréfrigérantes semi-ouvertes où l'eau peut être traitée au fur et à mesure qu'elle se concentre.

Le fonctionnement est alors plus sûr car même en cas de panne sur le traitement d'eau, il n'y a pas de risque de rupture d'approvisionnement en eau.

Si il est nécessaire d'avoir une qualité d'eau traitée constante, il suffit de bloquer le débit des appoints en eau brute à une valeur constante et de s'assurer que l'eau est parfaitement mélangée dans le tampon. Ce fonctionnement est alors indiqué dans toutes les conditions.

La figure 13 illustre un exemple de réalisation de la troisième variante de brassage intense selon laquelle lesdits moyens de brassage intense sont constitués d'au moins un moyen mécanique (17), ici une hélice, entraînée en mouvement de rotation à l'intérieur du réacteur (1) par un système d'entraînement (18) constitué par un boîtier de réduction, un arbre d'entraînement, sensiblement vertical et un moteur électrique, ce moteur étant positionné sous la trémie, à l'extérieur du réacteur.

L'hélice comporte ici quatre pales et présente un diamètre d'environ 25 cm.

Il est également possible de prévoir plusieurs hélices, entraînées, de préférence chacune par le même moteur, afin de diminuer les coûts.

Il est par ailleurs possible d'utiliser un agitateur, du type agitateur magnétique constitué d'une capsule en matière magnétique, située à l'intérieur de la cuve (3), sous les électrodes, et entraîné en rotation par un plateau magnétique chargé inversement.

Les figures 14 à 16 illustrent d'autres exemples de réalisation de la troisième variante de brassage intense selon laquelle lesdits moyens de brassage intense sont formés en obligeant la circulation du fluide à l'intérieur de la cuve de traitement (3) à suivre un parcours présentant une pluralité de chicanes.

Dans la version illustrée aux figures 1 à 5, chaque couple anode/cathode peut être considéré comme un mini-réacteur. Tous ces mini-réateurs sont assemblés dans la cuve côte à côte, en parallèle, ce qui divise d'autant la vitesse de l'eau entre les plaques.

Pour assurer le brassage intense, il est alors possible de mettre les réacteurs en série de manière à ce que l'eau passe successivement et à grande vitesse au voisinage de toutes les cathodes. Ceci peut être obtenu en faisant circuler l'eau au travers d'un réseau de chicanes formées de préférence, par toutes les électrodes.

Les plans d'électrodes sont préférentiellement placés verticalement pour permettre le dépôt de calcaire en partie inférieure.

Dans l'exemple illustré à la figure 14, le fluide passe successivement par le dessus et le dessous des électrodes au cours du traitement.

Dans l'exemple illustré à la figure 15, le fluide passe successivement par les extrémités droite et gauche des électrodes au cours du traitement.

Dans l'exemple illustré à la figure 16, le fluide passe successivement par le dessus et le dessous des cathodes et à travers les anodes au cours du traitement.

Ces trois dispositifs requièrent des cathodes étanches à l'eau, des cathodes pleines CP.

Les deux premiers dispositifs requièrent des anodes pleines AP qui peuvent être constituées par exemple d'une plaque de titane revêtue d'oxyde de métaux nobles (anodes type DSA). Le troisième dispositifs requiert une anode en métal déployé AD revêtu d'oxyde de métaux nobles à laquelle est adjointe une membrane poreuse laissant passer le courant électrique mais d'une perte de charge au passage de l'eau suffisante pour forcer le passage de l'eau au travers des chicanes.

La figure 17 illustre une solution de nettoyage des cathodes selon laquelle une électrolyse est opérée pendant quelques instants en inversant les polarités du générateur (2). Comme on peut le voir sur cette figure 17, pendant cette phase de nettoyage les « cathodes » en Inox sont reliées au pôle positif du générateur (2) par l'intermédiaire de la bus-barre (BC) et les « anodes » en titane sont reliées au pôle négatif du générateur (2) par l'intermédiaire de la bus-barre (BA).

Cette première solution est du type « électrolyse anode-cathode inversée », encore appelée « nettoyage par inversion anode-cathode ».

Des essais ont montré l'efficacité d'une inversion de polarité pendant un temps limité et à une densité de courant donnée pour nettoyer toutes les cathodes d'un coup.

Des essais ont été en particulier menés en réalisant tout d'abord un dépôt de calcaire sur une cathode en Inox formant une couche compacte et lisse par électrolyse dans une cuve d'environ 32 litres d'eau du robinet de la ville de Paris (environ 22°F) sous un courant d'électrolyse de 4 ampères (soit J = 10 $A.m^{-2}$) et par recirculation permanente de cette eau pendant environ 2 jours.

Dans une première expérience, le générateur étant sous courant contrôlé de 4 A (soit J = 10 $A.m^{-2}$), les bornes d'alimentation ont été inversées quelques instants (de l'ordre

de quelques dizaines de secondes), ce qui a provoqué le détachement rapide de grandes plaques de calcaire qui sont tombées vers le fond de l'appareil.

En montant l'intensité à 10 ampères (soit J = 25 $A.m^{-2}$), un abondant dégagement gazeux est apparu et a provoqué le détachement du reste du calcaire. La cathode est alors apparue lisse et brillante.

On a estimé, par pesée, à au moins environ 90 % la quantité de calcaire qui a ainsi pu être récupérée.

Dans une deuxième expérience, le générateur étant sous courant contrôlé de 4 A (soit J = 10 $A.m^{-2}$), les bornes d'alimentation ont été inversées pendant 1 minute et l'intensité a été portée à 8 ampères, ce qui a provoqué le détachement d'un nuage dense de poudre de calcaire qui est tombé lentement au fond de la cuve sous forme de poudre fine.

Il est admis d'une manière générale que l'inversion de polarité est dommageable pour la durée de vie des électrodes (notamment effet d'abrasion par dégagement d'H_2) ; Cependant celle-ci peut être tolérée pendant des durées courtes. Par exemple, une inversion par semaine d'une durée inférieure à quinze minutes, à un courant double de celui utilisé habituellement, conduira à une diminution de durée de vie négligeable.

Des tests de durée de vie sur des cathodes et surtout des anodes ayant subi jusqu'à 1400 cycles d'inversion ont été par ailleurs conduits et l'état de surface des électrodes a été observé après un nombre différent de cycles. Ces tests ont montré qu'aucune dégradation des propriétés n'était réellement observée avant 500 cycles.

A raison d'une inversion par semaine, les électrodes peuvent ainsi être conservées au moins 10 ans dans le réacteur avant que leur remplacement ne devienne nécessaire.

Une autre solution de nettoyage consiste, par exemple, particulièrement pour les réacteurs ne comportant pas un grand nombre de cathodes, à introduire spécifiquement une électrode, voire deux électrodes rapportées (E, E') en Inox lors de l'opération de nettoyage dans le réacteur (1), à proximité d'une cathode à nettoyer et à réaliser pendant quelques instants (de l'ordre de quelques minutes) une électrolyse entre cette (ou ces) électrode(s) rapportée(s) et la (ou les) cathode(s) à nettoyer, en transformant cette (ou ces) cathode(s) à nettoyer en anode le temps du nettoyage.

Une troisième solution de nettoyage dite « de nettoyage par électrolyse cathode-cathode » ou « par inversion cathode-cathode » consiste à relier une cathode en inox sur deux au pôle + et les autres cathodes inox au pôle – afin de pouvoir nettoyer les électrodes polarisées positivement ; puis d'inverser le courant afin de nettoyer la deuxième moitié des électrodes inox. Dans cette configuration les grilles de titane

revêtues d'oxyde d'iridium (les anodes de la décarbonatation) ne sont pas connectées électriquement lors du nettoyage et donc ne risquent pas d'être endommagées pendant le nettoyage.

Pour le nettoyage des cathodes paires il suffit de rendre les cathodes paires anodes en les reliant à une borne positive du générateur et en remettant les cathodes impaires cathodes, c'est-à-dire en les reliant à une borne négative du générateur.

Le nettoyage des cathodes est possible par électrolyse entre deux cathodes. Il a été réalisé sur une cathode faiblement entartrée avec une densité de courant 1 à 3 fois supérieure à la densité nominale (8 $A.m^{-2}$).

L'électrolyse entre 2 cathodes nécessite une tension environ 2 fois plus élevée à densité de courant identique aux conditions standards du fait d'une épaisseur d'électrolyte doublée.

Quelle que soit la solution de nettoyage à l'intérieur de la cuve (3) choisie, pendant le nettoyage, la circulation du fluide est, de préférence, interrompue car pendant cette phase le fluide n'est pas efficacement traité ; toutefois, pendant l'inversion de polarité les moyens de brassage intense sont mis en œuvre afin d'accélérer encore l'effet de décrochage par l'inversion.

Des expériences ont montré qu'il était possible de réduire de moitié le temps nécessaire au décrochage en utilisant des moyens de brassage, à densité de courant identique.

Afin d'augmenter la surface cathodique par rapport à la surface anodique, des cathodes ondulées (C', C'') ont été réalisées.

Ces cathodes présentent des ondes longitudinales sur toute leur surface, comme on peut le voir sur la figure 18, dont la profondeur (p, p') est au moins de 2 mm et de préférence d'au moins 5 mm, dont la distance (l, l') d'une onde à l'autre est d'au moins 2 mm et de préférence d'au moins 5 mm et dont l'épaisseur (e, e') est d'au moins 0,5 mm.

Le gain en surface cathodique peut ainsi être de 50 % à 75 % et même jusqu'à 100%, voire 120 %.

Les ondulations peuvent, en coupe transversale, être en forme de U, comme illustré figure 19, ou en forme de V, comme illustré figure 20, ces formes pouvant être inversées l'une par rapport à la suivante, ou toutes selon la même direction.

Elles peuvent aussi être en forme de V à fond coupé.

Des essais ont été réalisés avec différentes densités de courant, pour une augmentation de surface d'environ 25 % avec des ondulations en forme de U, inversé l'un par rapport à l'autre, du type illustré figure 14, dont la profondeur p' est 10 mm, et la distance l' d'une onde à l'autre est de 9,5mm, pour une épaisseur e' de 0,5 mm. Les résultats sont regroupés dans le tableau ci-dessous :

Débit (mL/min)	Type de Cathode	Surface cathodique (m^2)	J (A/m^2)	I (A)	U (V)	Puissance (kWh/m^3)	Δ TH (°F)
233	Plane	0,4	8	3,2	8	1,83	11,49
233	Ondulée	0,492	6,50	3,2	8,2	1,88	12,87
233	Plane	0,4	7	2,8	7,6	1,52	12,62
233	Ondulée	0,492	5,69	2,8	8,2	1,64	15,74

Tableau 5

Comme on peut le constater, à intensité de courant identique, c'est-à-dire pour une même consommation de courant, la densité de courant induite diminue avec une cathode ondulée puisque la surface augmente et l'abattement augmente.

La figure 21 illustre ainsi, pour un temps de contact identique de 37 min, l'évolution de l'abattement (°F) en ordonnée par rapport à la densité de courant (en A/m^2) en abscisse, d'une part pour une cathode ondulée (trait plein) et d'autre part pour une cathode plane (trait pointillé) dans des mêmes conditions expérimentales.

De plus, utiliser des densités de courant plus faibles permet d'avoir une puissance consommée électrique plus faible.

Ainsi, comme on peut le voir, pour obtenir un abattement de 12,5 °F, il suffit d'une densité de courant de 6,5 A/m^2 avec une cathode ondulée, alors qu'il faut une densité de courant de 7 A/m^2 avec une cathode plane pour obtenir le même abattement dans les mêmes conditions.

Des expériences montrent par ailleurs qu'un abattement maximum est obtenu lorsqu'une anode est centrée entre deux cathodes, c'est-à-dire que la distance entre le plan moyen d'une anode et d'une cathode adjacente est la même que la distance entre cette cathode et l'anode suivante.

La présente invention est décrite dans ce qui précède à titre d'exemple. Il est entendu que l'homme du métier est à même de réaliser différentes variantes de l'invention sans pour autant sortir du cadre du brevet tel que défini par les revendications.

REVENDICATIONS

1. Procédé de traitement d'un fluide et notamment au moins de décarbonatation de l'eau dans un réacteur (1), ledit réacteur (1) comportant au moins une anode (A) pouvant être reliée à une borne positive d'un générateur de courant (2) et au moins une cathode (C) pouvant être reliée à une borne négative dudit générateur de courant (2), **caractérisé en ce que** ledit fluide subit un brassage intense à l'intérieur dudit réacteur (1).

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** ledit brassage est opéré par injection de gaz dans ledit fluide à un débit au moins égal sensiblement à celui du fluide et de préférence de 2 à 10 fois celui du fluide.

3. Procédé selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** pour une cuve de traitement parallélépipédique, le débit d'alimentation en air est de 3 à 10 m^3/h d'air par m^2 de surface au sol de cuve de traitement, et de 5 à 20 m^3/h d'air par m^3 de volume de cuve de traitement.

4. Procédé selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** le débit d'alimentation en air est de l'ordre de 7 m^3/h d'air par m^2 de surface au sol de cuve de traitement et de l'ordre de 12 m^3/h d'air par m^3 de volume de cuve de traitement.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** ledit brassage est opéré par recirculation R réalisée par aspiration dudit fluide à au moins un endroit dans ledit réacteur (1) et refoulement dudit fluide à au moins un autre endroit dans ledit réacteur (1).

6. Procédé selon la revendication précédente, **caractérisé en ce qu'**une recirculation R est opérée entre une cuve tampon (30) et une cuve de traitement (3) dudit réacteur et en ce que l'eau brute (28) est introduite dans la cuve tampon (30) et l'eau traitée distribuée (32) est prélevée de la cuve tampon (30).

7. Procédé selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** le débit de recirculation R est de 4 à 20 fois plus important, et de préférence de l'ordre de 10 fois plus important, que le débit moyen d'eau traitée distribuée (32) en sortie de la cuve tampon (30).

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 5 à 7, **caractérisé en ce que** le débit de recirculation R en litres par heure est au moins 10 fois, voire au moins 50 fois plus important que le volume en litres de la cuve de traitement (3) de laquelle est aspiré le fluide et dans laquelle est refoulé le fluide.

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** ledit brassage est opéré par au moins un moyen mécanique tel qu'un agitateur ou une hélice, animé d'un mouvement à l'intérieur dudit réacteur (1).

10. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** ledit brassage intense est en permanence proportionnel au débit de fluide, la proportion pouvant de préférence varier, notamment pendant une phase de nettoyage.

11. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu**'au moins une et de préférence toutes les cathode(s) (C', C'') présente(nt) une surface ondulée.

12. Procédé selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** la profondeur p d'une ondulation et de préférence de toutes les ondulation(s) est au moins de 2 mm par rapport au plan moyen de ladite cathode.

13. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la distance entre le plan moyen d'une cathode (C) et le plan moyen de l'anode (A) adjacente est comprise entre 10 et 60 mm et de préférence entre 20 et 30 mm.

14. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** pendant une phase de nettoyage, ladite cathode (C) au moins est reliée à une borne positive d'un générateur de courant et est soumise à une intensité de courant de l'ordre de 3 à 30 $A.m^{-2}$, notamment de 5 à 20 $A.m^{-2}$ et de préférence de l'ordre de 10 $A.m^{-2}$.

15. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** pendant une phase de nettoyage, ladite cathode (C) au moins est reliée à une borne positive d'un générateur de courant et est soumise à une intensité de courant de l'ordre de 1 à 3 fois l'intensité de courant utilisée pour réaliser ledit traitement.

16. Procédé selon la revendication 14 ou la revendication 15, **caractérisé en ce que** pendant la phase de nettoyage un courant est appliqué aux bornes dudit générateur de courant auquel est reliée ladite cathode au moins à nettoyer pendant une durée de l'ordre de une à plusieurs minutes.

17. Procédé selon l'une quelconque des revendications 14 à 16, **caractérisé en ce qu'**un brassage intense est provoqué à l'intérieur dudit réacteur (1) pendant le nettoyage.

18. Procédé selon l'une quelconque des revendications 14 à 17, **caractérisé en ce que** ladite phase de nettoyage est programmée pour être réalisée automatiquement à intervalles réguliers ou sur instruction d'un système de mesure.

19. Réacteur (1) de traitement d'un fluide et notamment au moins de décarbonatation de l'eau, en particulier pour la mise en œuvre du procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, ledit réacteur (1) comportant au moins une anode (A) pouvant être reliée à une borne positive d'un générateur de courant (2) et au moins une cathode (C) pouvant être reliée à une borne négative dudit générateur de courant (2), **caractérisé en ce qu'il comporte** des moyens de brassage intense à l'intérieur dudit réacteur (1).

20. Réacteur (1) selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** lesdits moyens de brassage intense sont constitués d'au moins un tuyau (11, 11', 11'', 11''') poreux ou percé de micro-trous, ledit tuyau étant alimenté par une pompe ou un détendeur, pour la formation de bulles dans le fluide, notamment de bulles d'air ou d'azote.

21. Réacteur (1) selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** lesdits micro-trous présentent un diamètre inférieur ou égal à 2 mm et de préférence inférieur ou égal à 1 mm.

22. Réacteur (1) selon l'une quelconque des revendications 19 à 21, **caractérisé en ce que** lesdits moyens de brassage intense sont constitués d'au moins une bouche d'extraction de fluide (13), d'au moins une bouche de refoulement de fluide (14) et d'au moins une pompe (15) positionnée entre ladite bouche d'extraction et ladite bouche de refoulement.

23. Réacteur (1) selon l'une quelconque des revendications 19 à 22, **caractérisé en ce que** lesdits moyens de brassage intense sont constitués d'au moins un moyen mécanique (17) tel qu'un agitateur ou une hélice, ainsi que d'un système d'entraînement (18) susceptible d'entraîner ledit moyen mécanique en mouvement à l'intérieur dudit réacteur (1).

24. Réacteur (1) selon l'une quelconque des revendications 19 à 23, **caractérisé en ce que** le générateur de courant est capable de générer une intensité de courant de l'ordre de 3 à 30 $A.m^{-2}$, notamment de 5 à 20 $A.m^{-2}$ et de préférence de l'ordre de 10 $A.m^{-2}$ dans ladite (ou lesdites) cathode(s) (C).

25. Réacteur (1) selon l'une quelconque des revendications 19 à 24, **caractérisé en ce qu**'au moins une et de préférence toutes les cathode(s) (C', C'') présente(nt) une surface ondulée.

26. Réacteur (1) selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** la profondeur (p, p') d'une ondulation et de préférence de toutes les ondulation(s) est au moins de 2 mm.

27. Réacteur (1) selon l'une quelconque des revendications 19 à 26, **caractérisé en ce que** la distance entre le plan moyen d'une cathode (C) et le plan moyen de l'anode (A) adjacente est comprise entre 10 et 60 mm et de préférence entre 20 et 30 mm.

28. Réacteur (1) selon l'une quelconque des revendications 19 à 27, **caractérisé en ce que** lesdites cathodes (C) sont positionnées sur des supports (5, 5') facilitant leur extraction.

29. Réacteur (1) selon l'une quelconque des revendications 19 à 28, **caractérisé en ce qu'il comporte** des moyens de guidage des électrodes (10), positionnés, de préférence, à l'extérieur d'une cuve (3) de traitement.

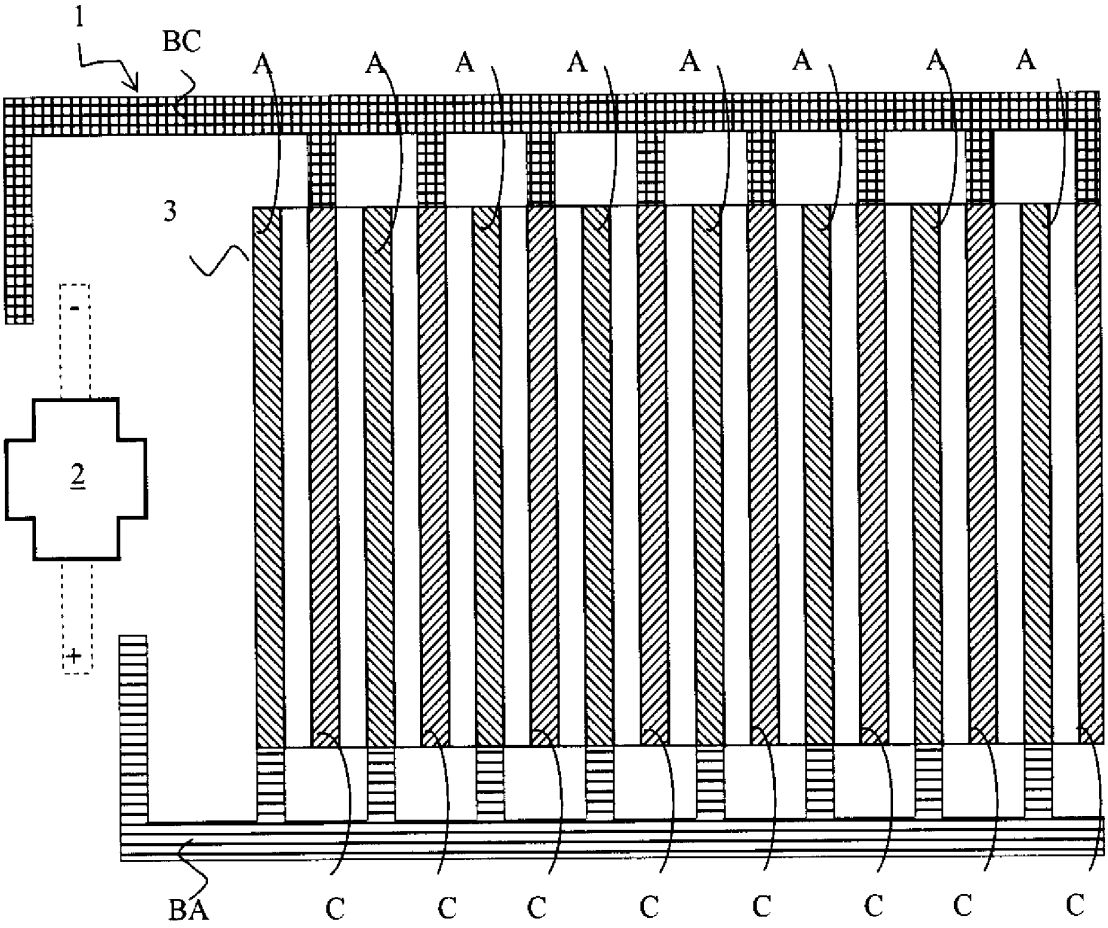


Fig. 1

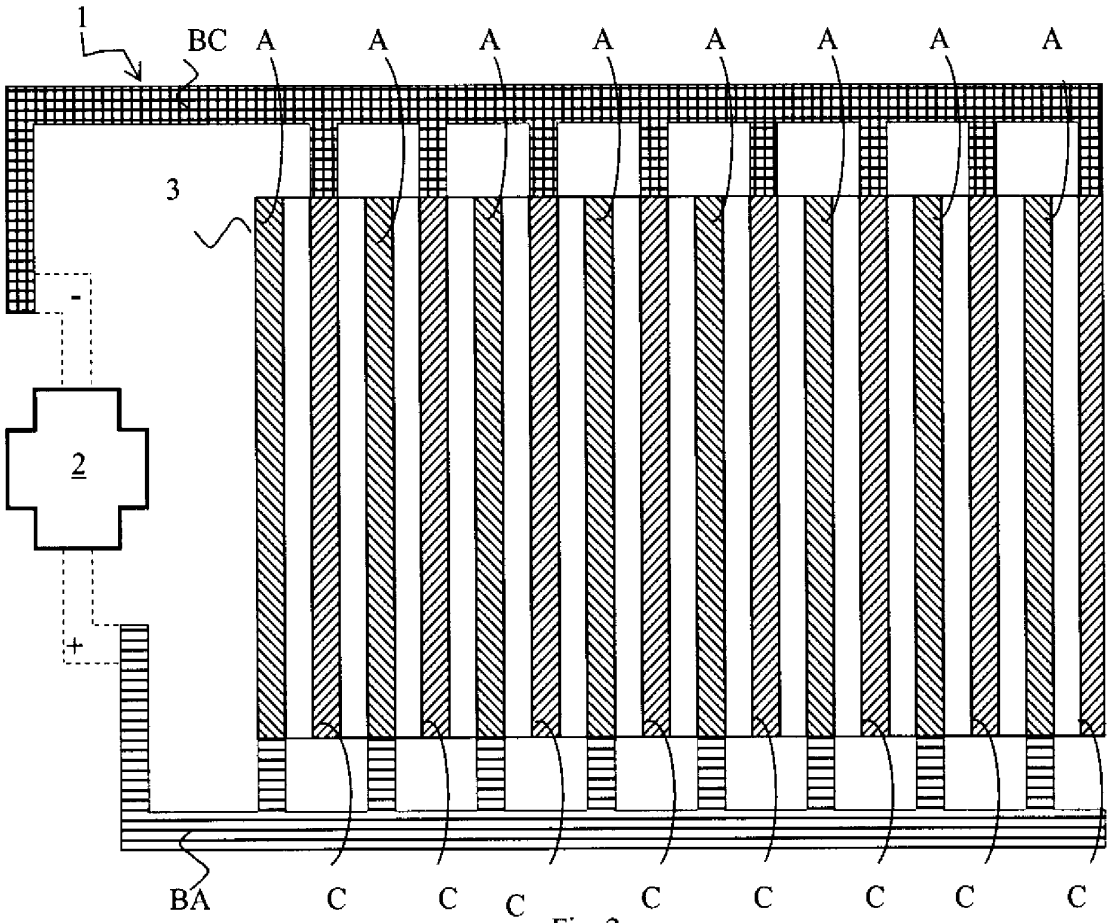


Fig. 2

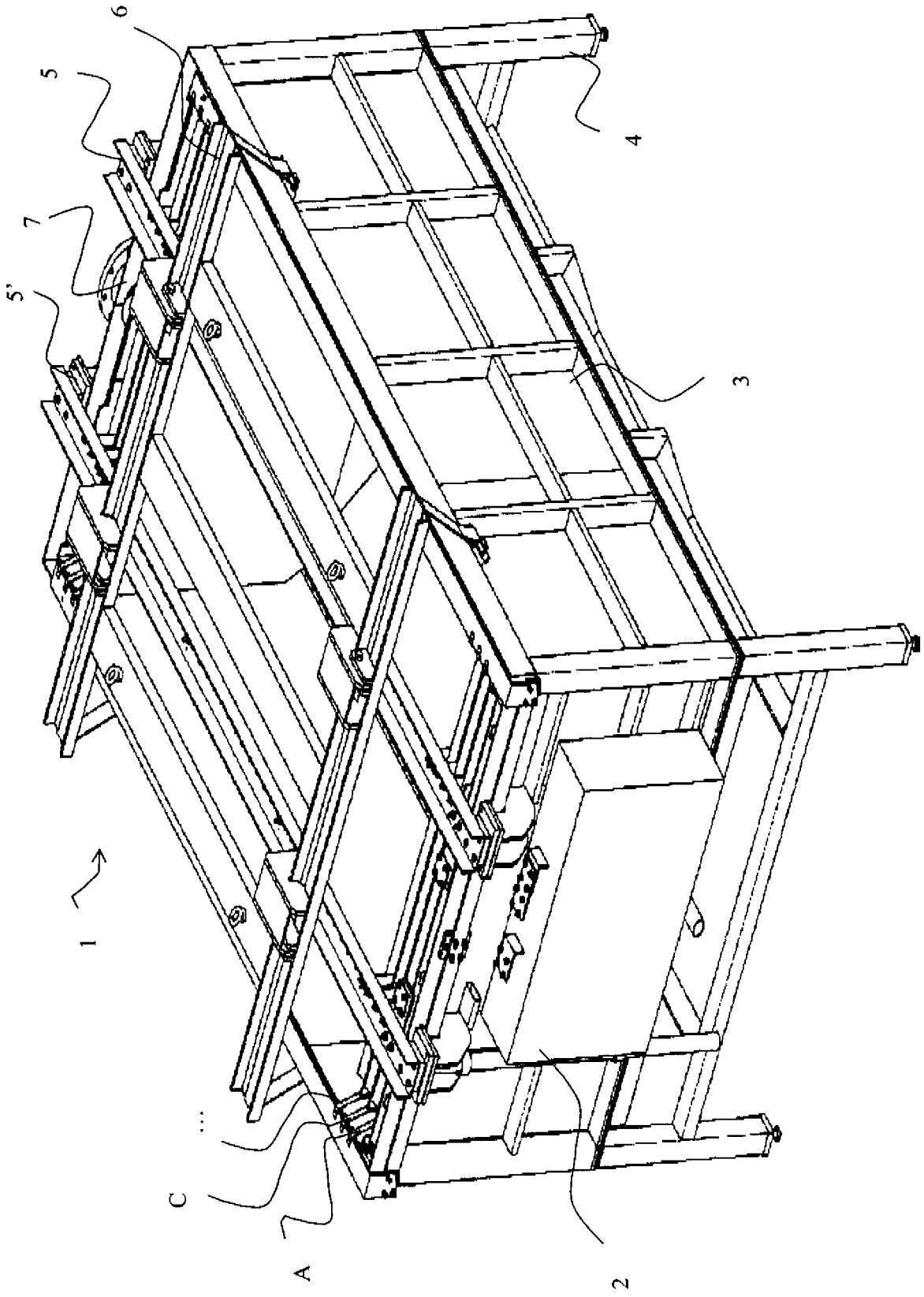


Fig. 3

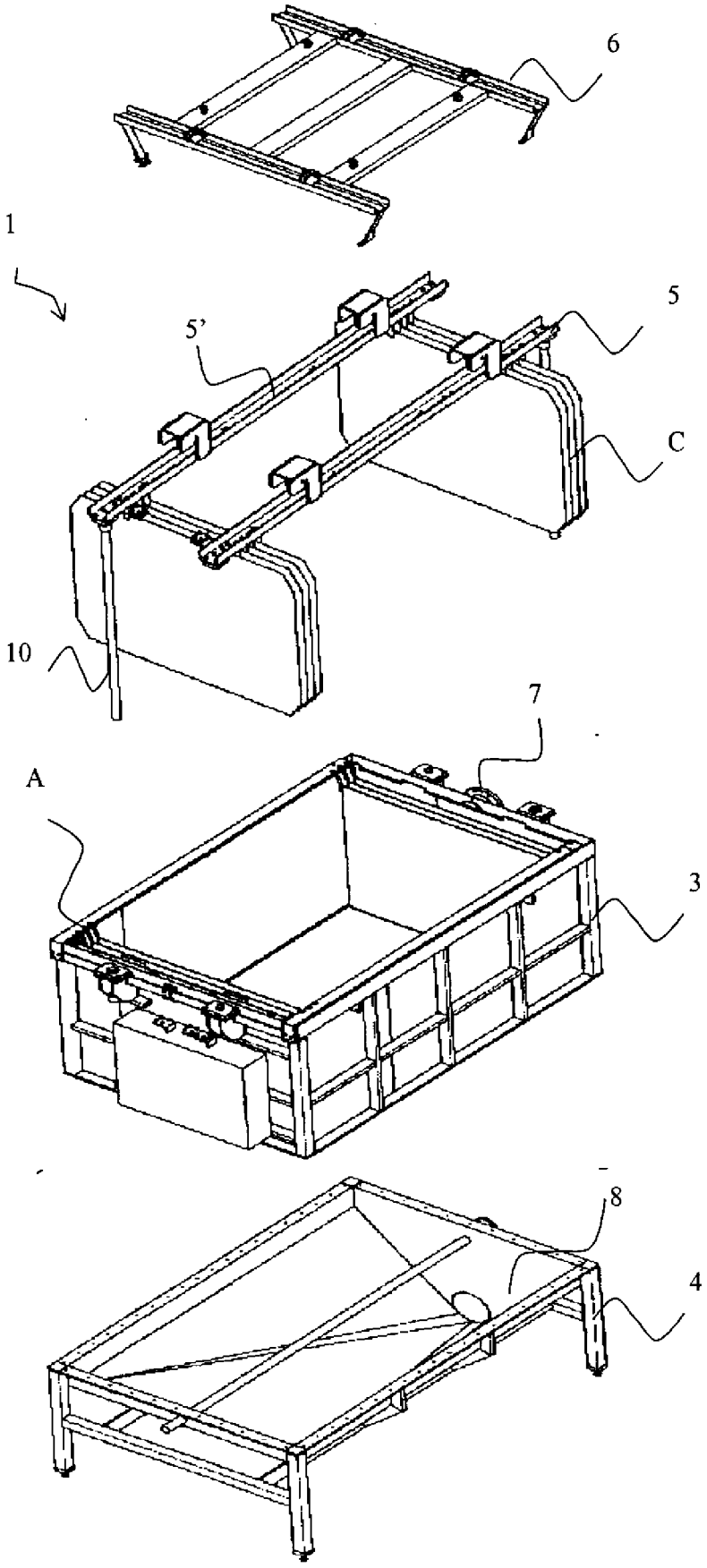


Fig. 4

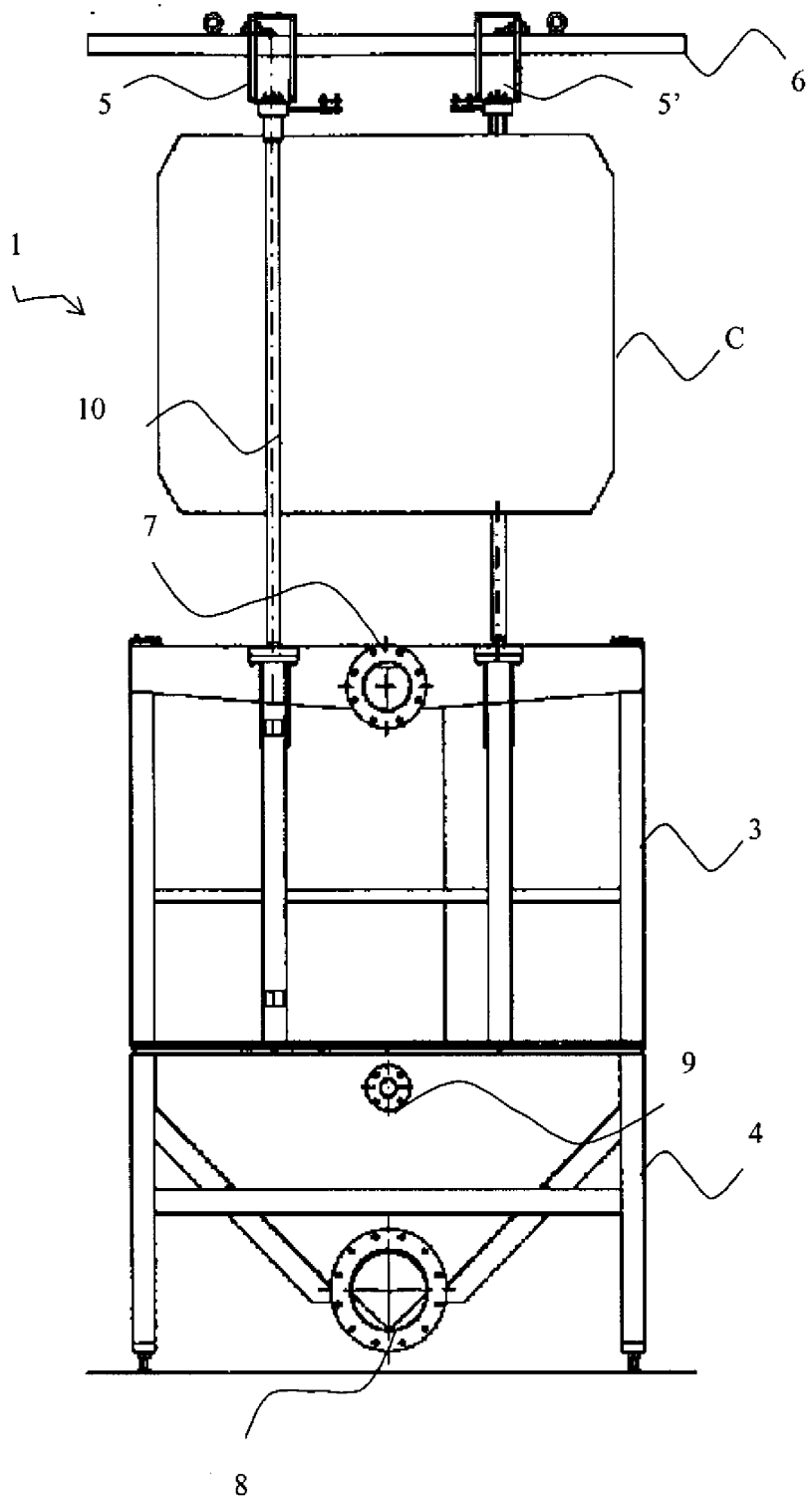


Fig. 5

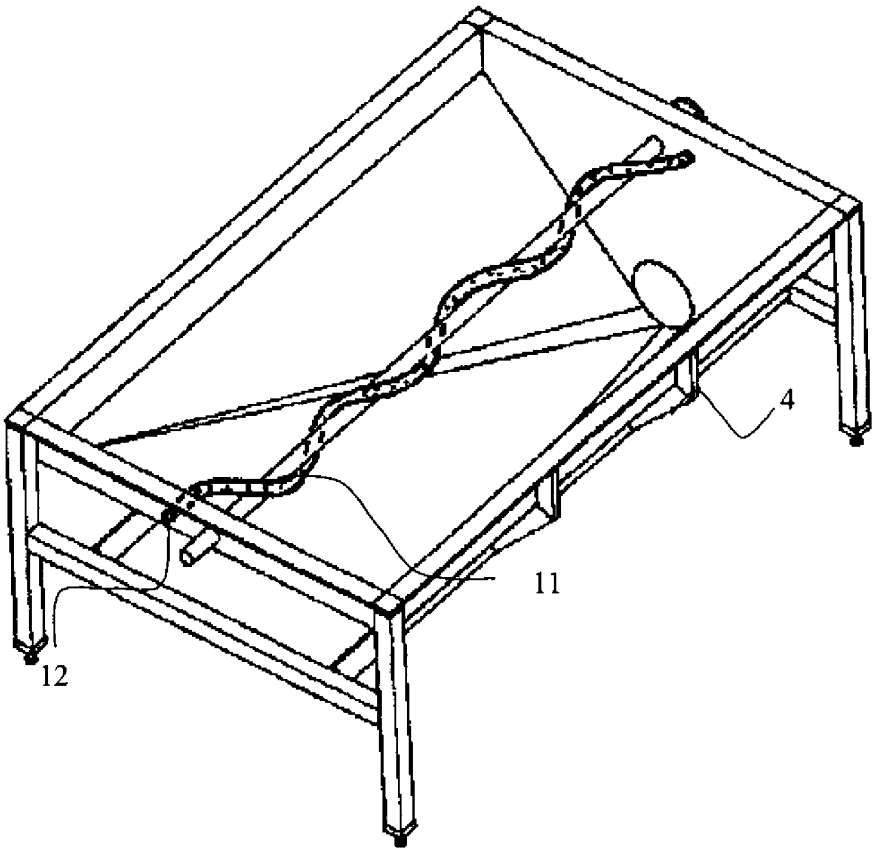


Fig. 6

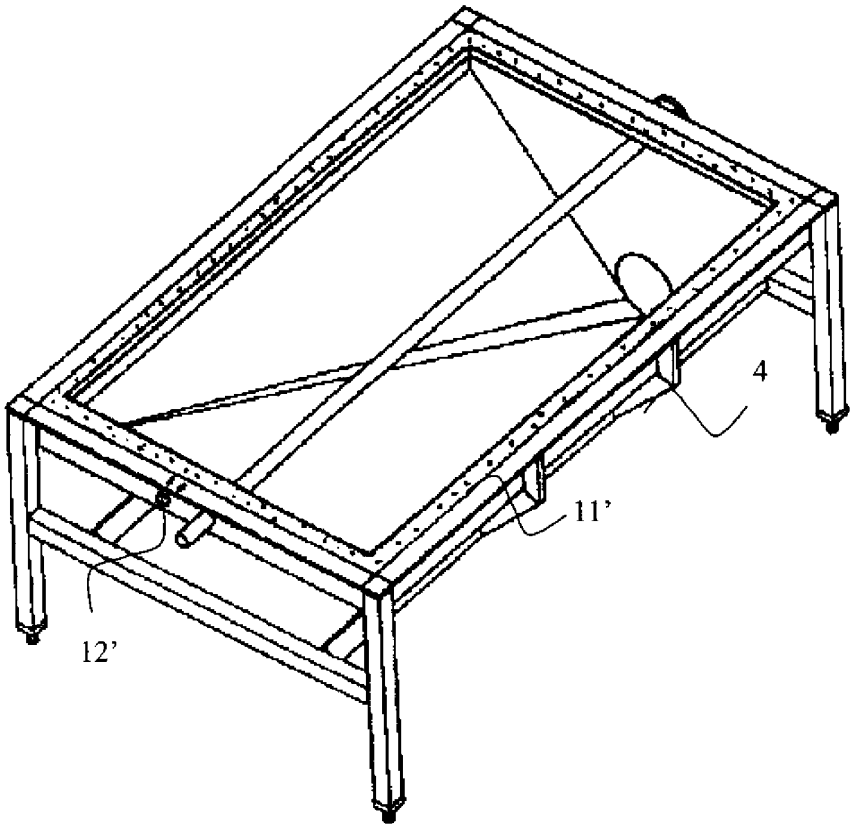


Fig. 7

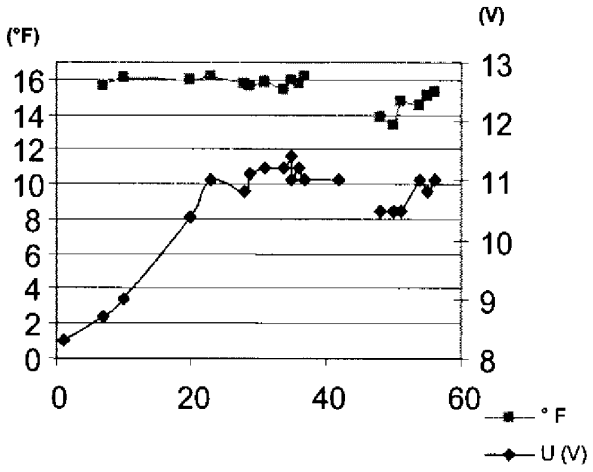


Fig. 8

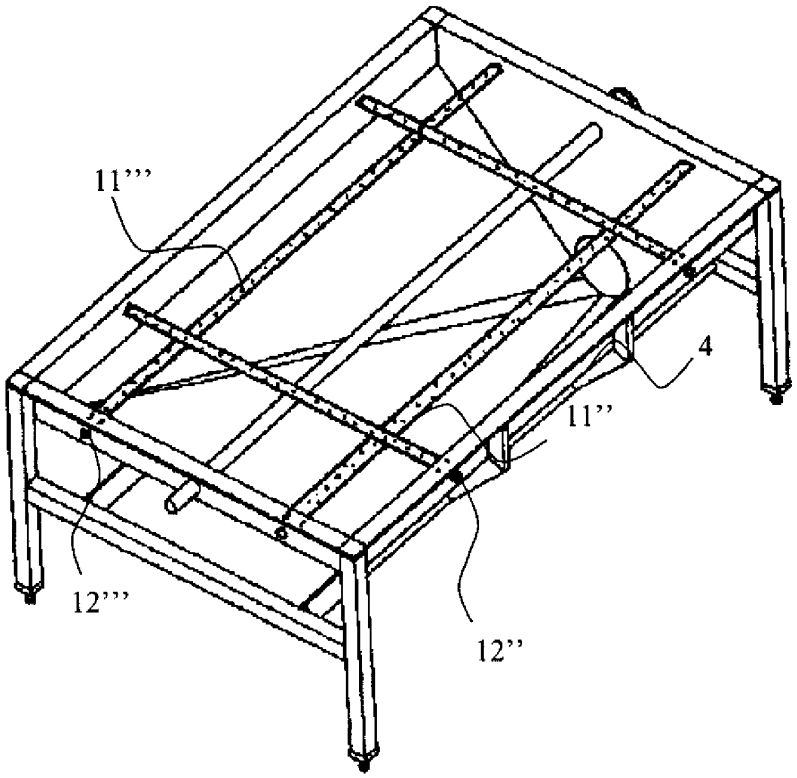


Fig. 9

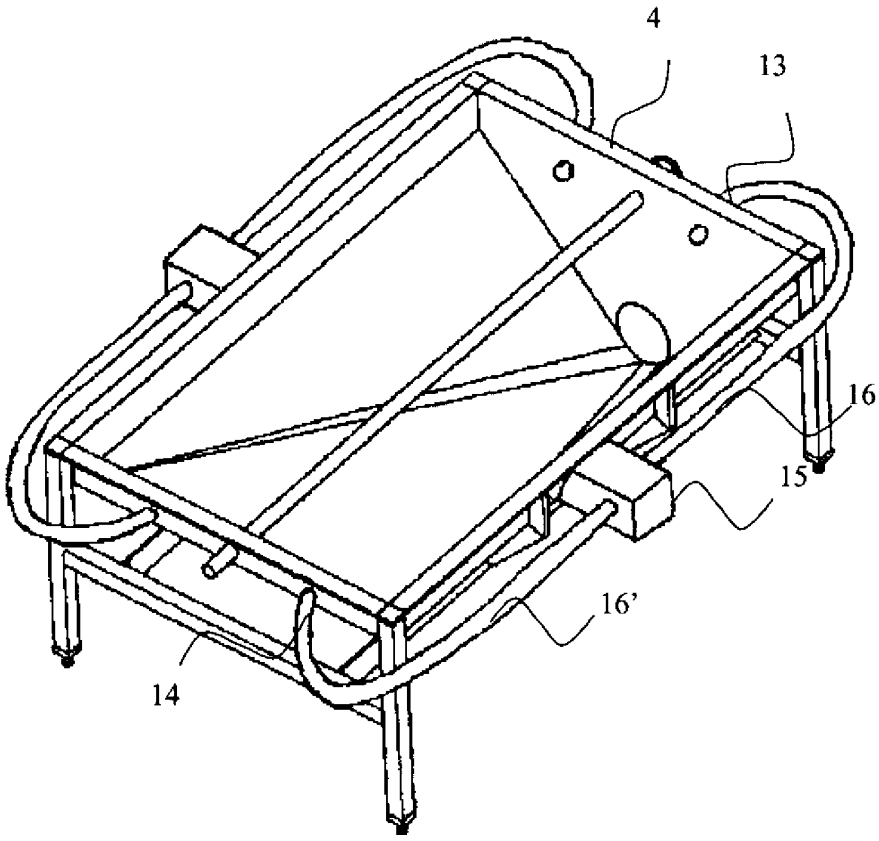


Fig. 10

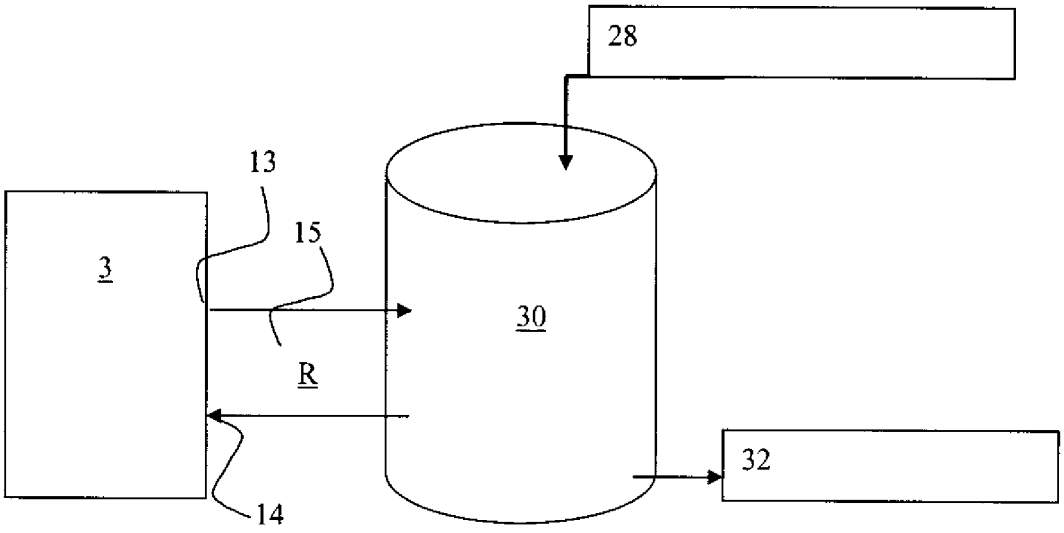


Fig. 11

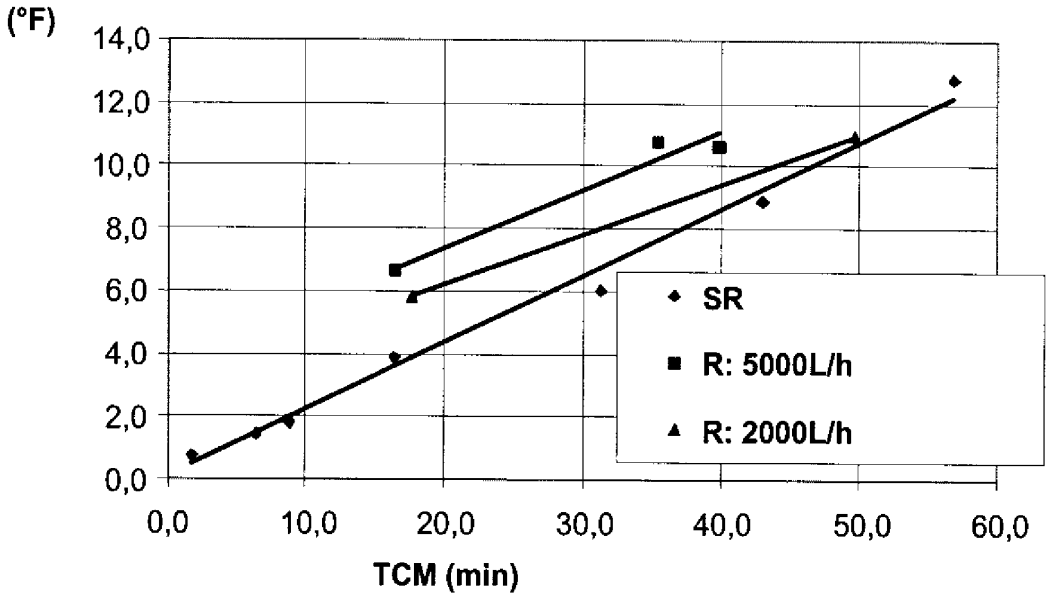

(°F)
14,0
12,0
10,0
8,0
6,0
4,0
2,0
0,0
0,0
10,0
20,0
30,0
40,0
50,0
60,0
TCM (min)
SR
R: 5000L/h
R: 2000L/h

Fig. 12

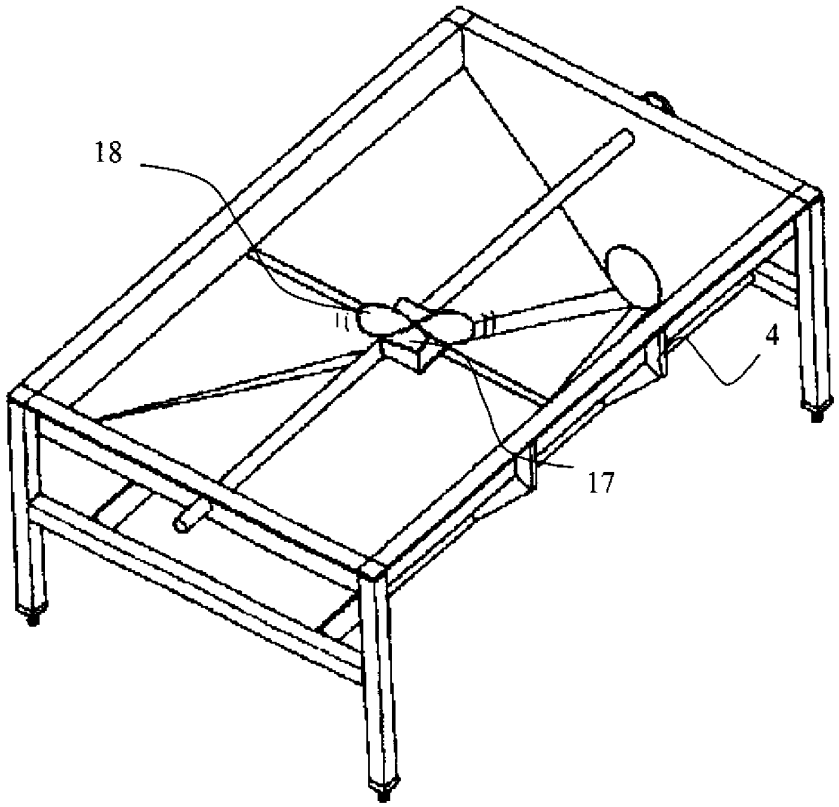

18
11
4
17

Fig. 13

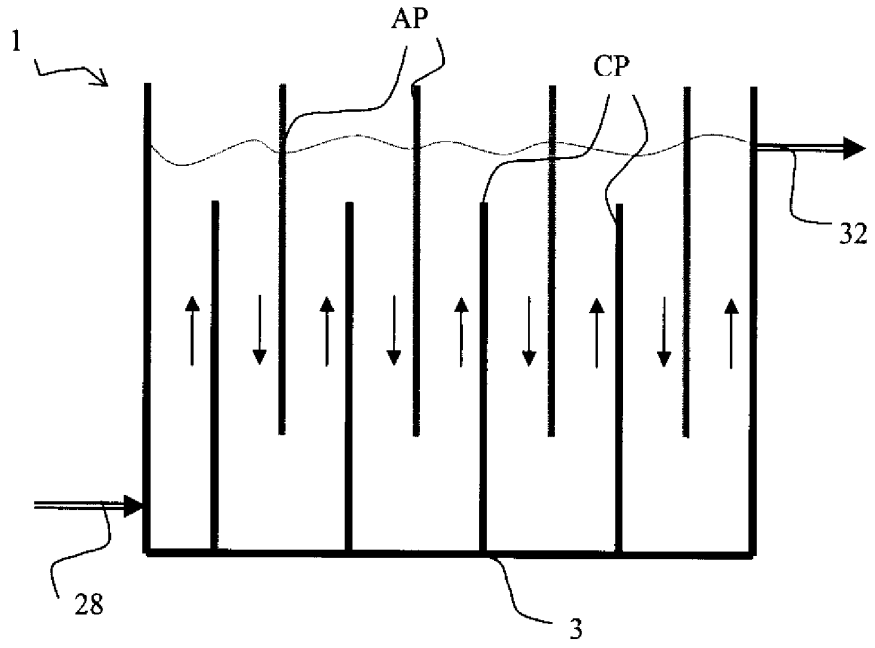


Fig. 14

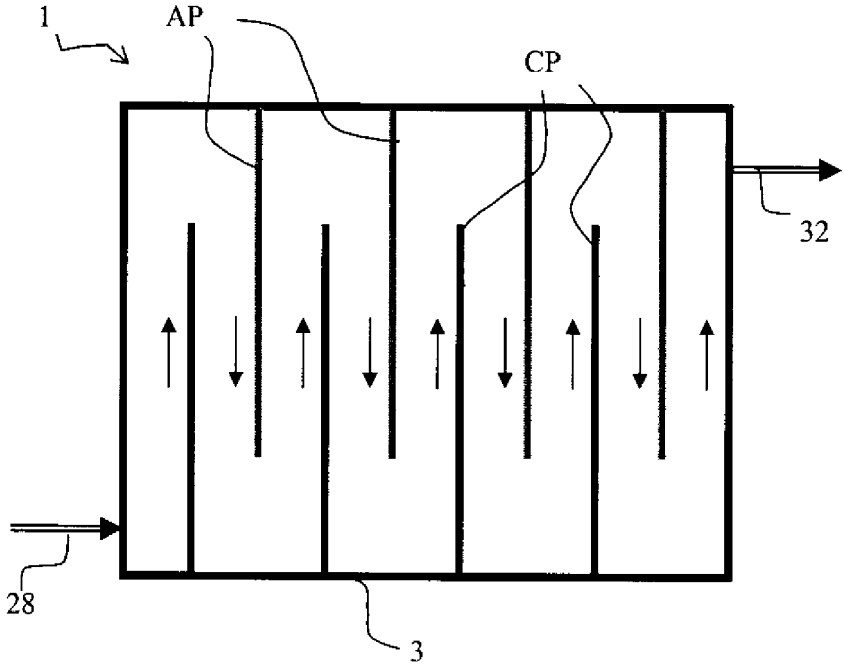


Fig. 15

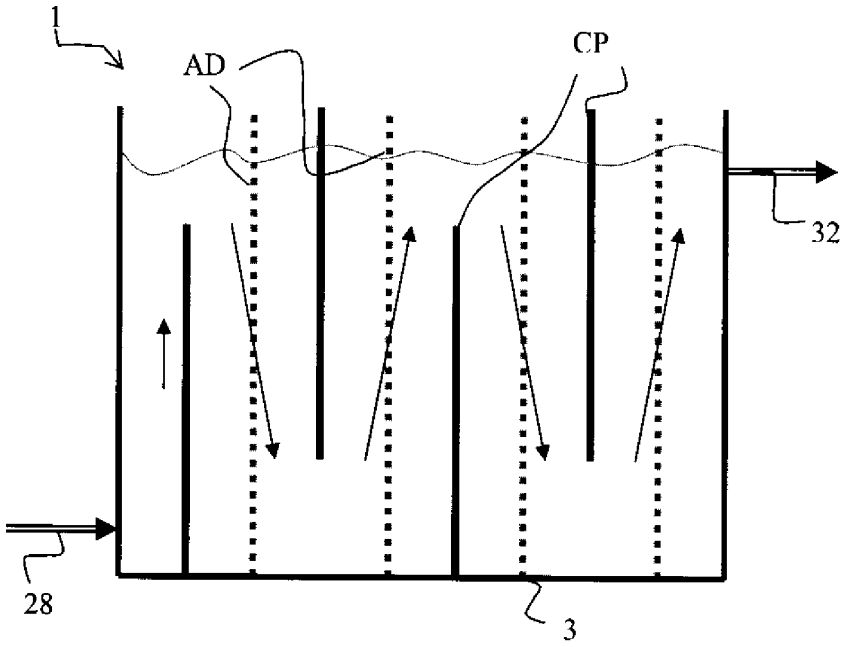


Fig. 16

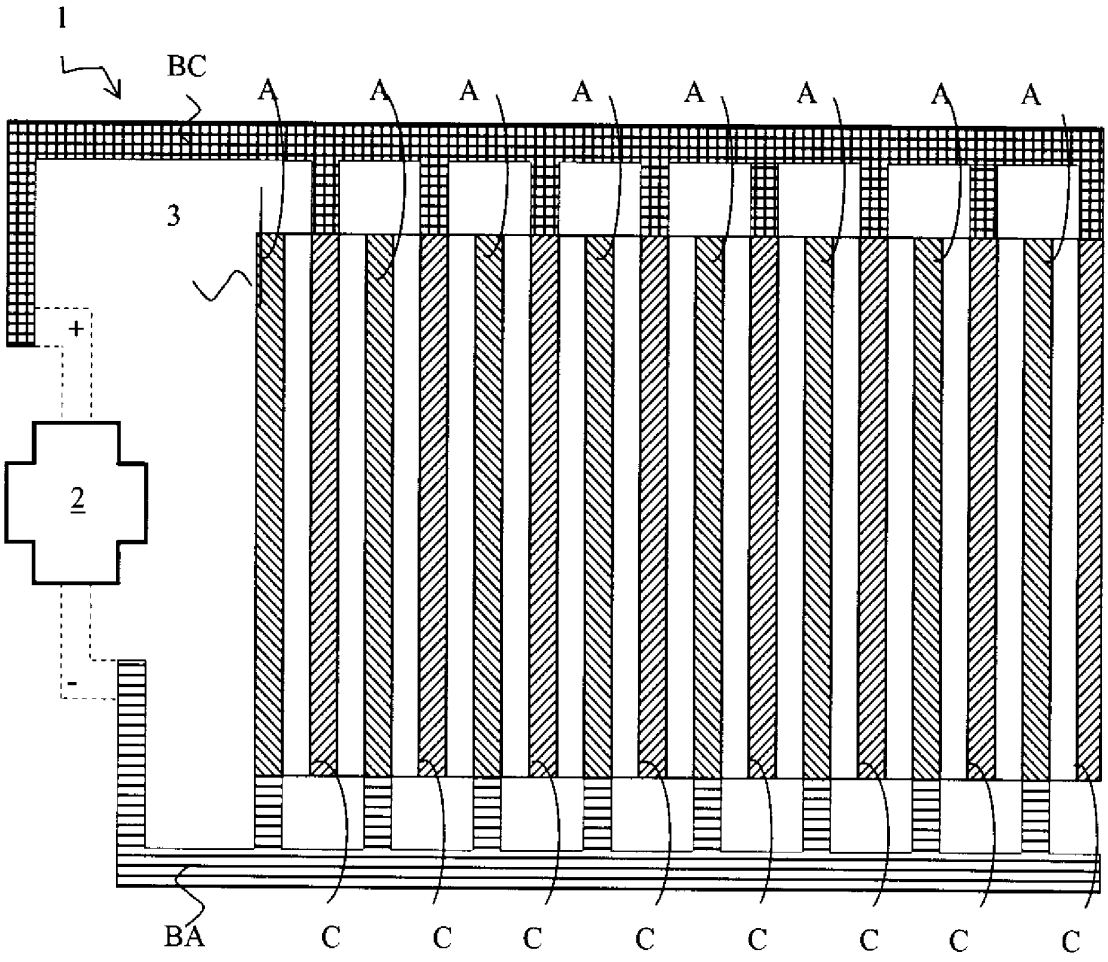


Fig. 17

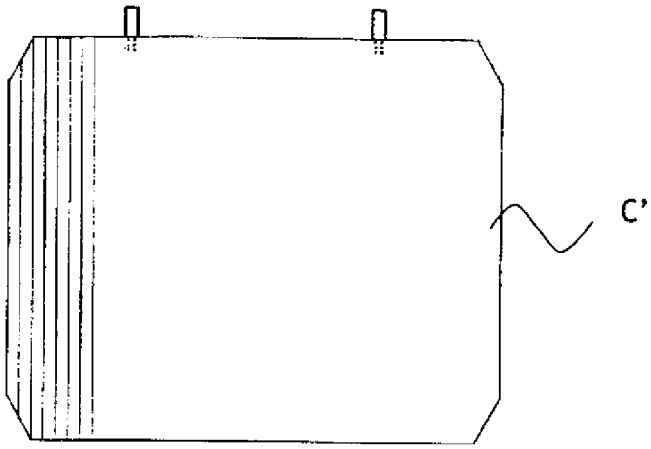


Fig. 18

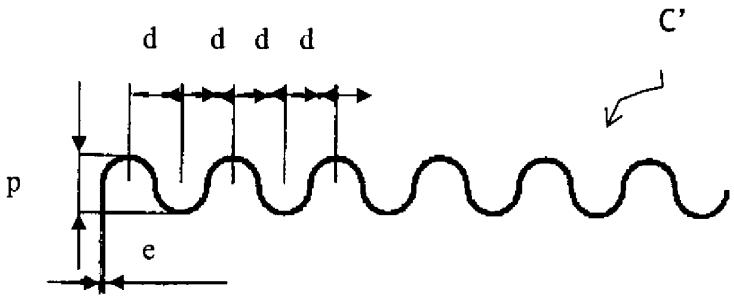


Fig. 19

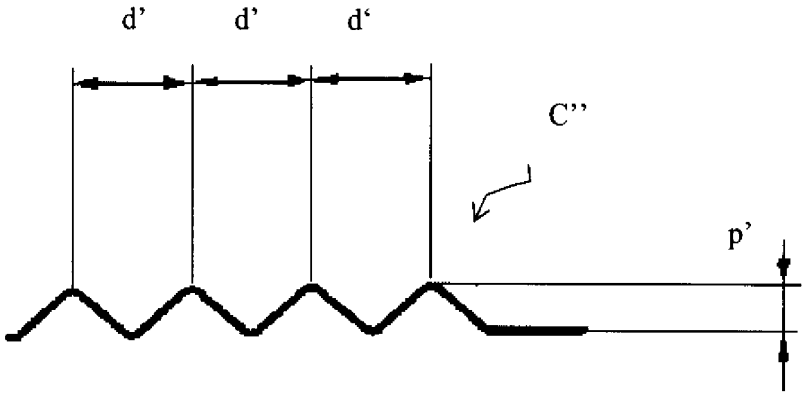

d'
d'
d'
C''
p'

Fig. 20

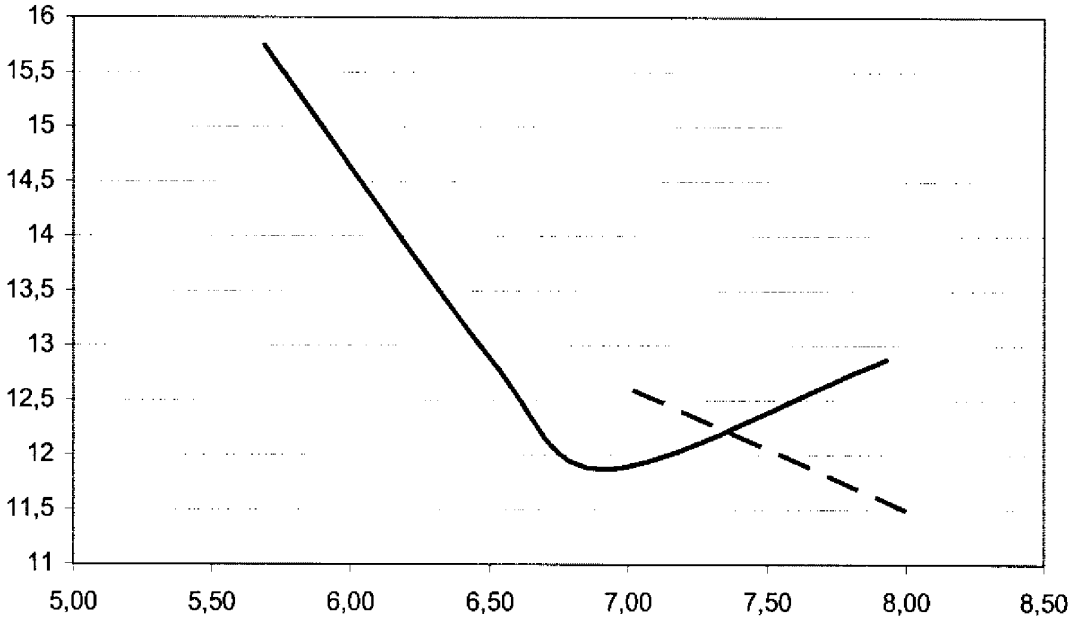

16
15,5
15
14,5
14
13,5
13
12,5
12
11,5
11
5,00
5,50
6,00
6,50
7,00
7,50
8,00
8,50

Fig. 21

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

2889178

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIETE INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement national

FA 667120
FR 0551404

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	GB 1 415 000 A (PACIFIC ENG PRODUCTION CO OF NEVADA) 26 novembre 1975 (1975-11-26) * page 4, ligne 14 - page 6, ligne 65 * * figures 1,3 *	1-29	C25B15/08 C02F5/02 C02F1/461
X	DE 146 997 C (KOSCHMIEDER H) 7 janvier 1904 (1904-01-07) * page 2, ligne 29 - ligne 73; figures *	1,2,19, 20	
X	US 2003/079998 A1 (KARIN MORDECHAI) 1 mai 2003 (2003-05-01) * alinéa [0035] - alinéa [0039] * * figure 1 *	1,19	
X	DE 298 19 451 U1 (EILENBURGER ELEKTROLYSE- UND UMWELTTECHNIK GMBH, 04838 EILENBURG, DE) 18 février 1999 (1999-02-18) * page 2; figure 1 *	1,19	
A	FR 2 667 306 A (GEMEAU) 3 avril 1992 (1992-04-03) * le document en entier *	1-29	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) C02F
A	BANNOUD A H ET AL: "ETUDE DE LA MISE AU POINT D'UN ADOUCISSEUR DE TYPE ELECTROCHIMIQUE.\A STUDY OF THE PERFECTION OF AN ELECTROCHEMICAL REACTOR FOR SOFTENING WATER" WATER RESEARCH, ELSEVIER, AMSTERDAM, NL, vol. 27, no. 8, 1 août 1993 (1993-08-01), pages 1385-1391, XP000361874 ISSN: 0043-1354 * le document en entier *	1-29	

Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
18 novembre 2005	Liebig, T

CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS

X : particulièrement pertinent à lui seul
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie
A : arrière-plan technologique
O : divulgation non-écrite
P : document intercalaire

T : théorie ou principe à la base de l'invention
E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.
D : cité dans la demande
L : cité pour d'autres raisons

.....

& : membre de la même famille, document correspondant

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0551404 FA 667120

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 18-11-2005
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
GB 1415000 A	26-11-1975	DE 2261744 A1	27-06-1974
DE 146997 C		AUCUN	
US 2003079998 A1	01-05-2003	AUCUN	
DE 29819451 U1	18-02-1999	AUCUN	
FR 2667306 A	03-04-1992	WO 9206041 A1	16-04-1992

EPO FORM P0465