



(12) FASCICULE DE BREVET

- (11) N° de publication : **MA 30835 B1** (51) Cl. internationale : **C02F 1/00; B01D 61/24**
- (43) Date de publication : **02.11.2009**

-
- (21) N° Dépôt : **30829**
- (22) Date de Dépôt : **11.04.2008**
- (71) Demandeur(s) : **DRAOUI MOHAMED, N°3, RESIDENCE MIMOSA, BD IBN BADIS EL JADIDA (MA)**
- (72) Inventeur(s) : **DRAOUI MOHAMED**

-
- (54) Titre : **UTILISATION D'EFFLUENTS URBAINS ET INDUSTRIELS EN DESSALEMENT**
- (57) Abrégé : LE PROCÉDÉ UTILISE LE GRADIENT DE CONCENTRATION EN NA₂CO₃ QUI EXISTE ENTRE LES EFFLUENTS URBAINS ET INDUSTRIELS À L'EAU À DESSALER (EAU DE MER, EAU SAUMÂTRE) POUR EFFECTUER LE DESSALEMENT PAR DIALYSE SIMPLE. IL SE COMPOSE D'UN ENSEMBLE DE CELLULES 1, 2, ...,N, DISPOSÉES EN SÉRIE. CHAQUE CELLULE EST CONSTITUÉE D'UNE MEMBRANE DE DIALYSE PERMÉABLE AUX IONS NA⁺ ET CL⁻. L'EAU À DESSALER ET LES EFFLUENTS CIRCULENT À CONTRE-COURANT. DANS CHAQUE CELLULE, LE CONTACT ENTRE LES DEUX LIQUIDES À TRAVERS LA MEMBRANE, MET EN JEU UN GRADIENT DE CONCENTRATION EN NA₂CO₃ QUI PROVOQUE LA DIFFUSION DES IONS NA⁺ ET CL⁻ DANS LA SOLUTION LA MOINS CONCENTRÉE, LES EFFLUENTS, ET PERMET AINSI LE DESSALEMENT DE L'EAU. DURANT LE PROCESSUS, L'EAU À DESSALER LARGUE LE SEL DISSOUT PAR FRACTIONS SUCCESSIVES, JUSQU'À OBTENTION DE L'EAU DOUCE EN SORTIE. LES EFFLUENTS SE CHARGENT EN NA₂CO₃, AU FUR ET À MESURE DE LEUR PROGRESSION.

ABREGE

Utilisation d'effluents urbains et industriels en dessalement

Le procédé utilise le gradient de concentration en NaCl qui existe entre les effluents urbains et industriels et l'eau à dessaler (eau de mer, eau saumâtre) pour effectuer le dessalement par dialyse simple. Il se compose d'un ensemble de cellules 1, 2, ..., n, disposées en série. Chaque cellule est constituée d'une membrane de dialyse perméable aux ions Na^+ et Cl^- . L'eau à dessaler et les effluents circulent à contre-courant. Dans chaque cellule, le contact entre les deux liquides à travers la membrane, met en jeu un gradient de concentration en NaCl qui provoque la diffusion des ions Na^+ et Cl^- dans la solution la moins concentrée, les effluents, et permet ainsi le dessalement de l'eau. Durant le processus, l'eau à dessaler perd le sel dissout par fractions successives, jusqu'à obtention de l'eau douce en sortie. Les effluents se chargent en NaCl, au fur et à mesure de leur progression.

Figure d'abrégé : Fig.1

02 NOV 2009

La présente invention a pour objet un procédé de dessalement d'eau de mer et d'eau saumâtre, pour la production d'eau douce à usage domestique (eau potable), agricole ou industriel.

CIRCONSTANCES ET ETAT DE LA TECHNIQUE ACTUELS

5 • Les ressources en eau douce, souterraines et de surface, sont devenues insuffisantes dans bien des régions à travers le monde et font craindre une pénurie dans un proche avenir. De ce point de vue, le dessalement d'eau de mer et d'eau saumâtre constitue une approche stratégique capable de répondre aux besoins sans cesse croissants en
10 eau potable.

Les techniques mises en œuvres aujourd'hui pour le dessalement d'eau saumâtre et d'eau de mer sont multiples et variées.

On peut en citer les plus courantes :

- 15 • les procédés de séparation membranaire, dont l'électrodialyse, l'osmose inverse ;
- les procédés thermo-mécaniques, dont la thermo-compression par vapeur ;
- les procédés thermiques, dont la distillation, la congélation.

L'inconvénient majeur de ces techniques est leur caractère énergivore : elles sont grandes consommatrices d'énergie. Dans le
20 domaine de l'eau de mer, l'osmose inverse qui a tendance aujourd'hui à prendre le pas sur les autres procédés, nécessite malgré tout, la mise en œuvre d'une puissance électrique importante, en dépit des améliorations apportées en termes de récupération d'énergie sur le rétentat. Dans l'état actuel de la technique, il ne faut pas moins de 2
25 kwh par m³ d'eau douce produite, pour effectuer le dessalement par osmose inverse d'une eau de mer de salinité 35 g/l. Ce ratio reste encore élevé par rapport au coût énergétique de production d'eau potable, au moyen des procédés conventionnels de traitement d'eau douce.

30 • Par ailleurs, les eaux de rejet que sont les eaux usées, eaux pluviales et eaux industrielles, ont l'avantage d'être disponibles dans les agglomérations, à coût presque nul. En l'absence de ressources de meilleure qualité, la réutilisation des eaux de rejet constitue une alternative.

- cette alternative est d'autant plus envisageable que le traitement des effluents avant rejet est devenu indispensable pour la protection de la santé et de l'environnement, compte-tenu de l'expansion des agglomérations et du développement industriel.

5 • Cependant, mis à part quelques applications industrielles (eaux de chaudière, circuits de refroidissement, entr'autres), les possibilités de réutilisation des eaux de rejet traitées restent toutefois limitées, en raison des risques d'ingestion par l'homme. Le recyclage en milieu urbain (arrosage des parcs, réutilisation en immeubles), la

10 réalimentation des nappes ou l'irrigation de certaines cultures, comportent des risques réels de contamination par des agents pathogènes.

- En tout état de cause, la réutilisation des eaux de rejet traitées ne répond pas directement aux besoins des populations en eau potable.

15 OBJET DE L'INVENTION - Fig. 1, planche 1/2

Le présent procédé de dessalement d'eau de mer et d'eau saumâtre se base sur l'utilisation des eaux de rejet. Par eaux de rejet nous entendons :

- les effluents urbains que sont les eaux usées et les eaux pluviales ;
- les effluents industriels.

20 Par la suite, nous désignerons par effluents urbains et industriels, ou simplement "effluents", l'ensemble de ces eaux de rejet.

Le procédé utilise le gradient de concentration en NaCl qui existe entre les effluents urbains et industriels d'une part et l'eau à dessaler d'autre part (eau de mer, eau saumâtre), pour effectuer le dessalement par dialyse simple.

25 La figure 1 illustre le principe du procédé. Il se compose d'un ensemble de cellules de dialyse 1, 2, ..., n, disposées en série.

En référence à ce dessin, les autres éléments d'installation sont :

Pt1 : prétraitement éventuel de l'eau à dessaler, pour l'élimination des matières colloïdales, notamment.

30 Pt2 : prétraitement des effluents pour les adapter à l'échange ionique à travers les membranes de dialyse, afin d'éviter notamment, le colmatage de ces membranes ;

TF : traitement final de l'eau douce produite, en fonction de l'usage envisagé.

S_0, S_{m1}, S_{m2} : conductivimètres pour mesure de la salinité à l'entrée du système

$S_1, S_2 \dots S_n$: conductivimètres mesurant la salinité de l'eau à dessaler, en
5 sortie des cellules.

E_0 : conductivimètre pour mesurer la salinité des effluents, à l'entrée du système.

$E_1, E_2, \dots E_n$: conductivimètres mesurant la salinité des effluents, en sortie des cellules.

10 $V_1, V_2, \dots V_n$: vannes motorisées commandant le débit à l'entrée des cellules.

a : arrivée d'eau à dessaler (eau de mer, eau saumâtre)

b : sortie eau douce

c : arrivée des effluents

15 d : sortie des effluents chargés en sel.

p : pompe d'alimentation en eau à dessaler

CR : collecteur de recyclage

Chaque cellule est constituée d'une membrane de dialyse perméable aux ions Na^+ et Cl^- et imperméable à l'eau et aux autres ions. L'eau à dessaler et les
20 effluents circulent à contre-courant. Dans chaque cellule, le contact entre les deux liquides à travers la membrane, met en jeu un gradient de concentration en NaCl qui provoque la diffusion des ions Na^+ et Cl^- dans la solution la moins concentrée, les effluents, et permet ainsi le dessalement de l'eau.

Durant le processus, l'eau à dessaler perd le sel dissout par fractions
25 successives, jusqu'à obtention de l'eau douce en sortie. Les effluents se chargent en NaCl, au fur et à mesure de leur progression.

En ce qui concerne la maîtrise du processus de dessalement, la figure 1 indique le principe d'une des solutions possibles industriellement, à savoir le contrôle de salinité en sortie des cellules, en vue d'avoir un taux de sel stable
30 au niveau de chaque cellule.

Une manière simple d'y parvenir consiste à procéder comme suit.

Le débit des effluents reste constant tout au long du procédé. Du côté eau à dessaler, le débit en sortie de la cellule (i-1) se divise en deux parties :

- une fraction est dirigée sur la cellule i pour continuer l'échange avec les effluents ;
- le reste est renvoyé sur le collecteur de recyclage CR.

Le débit recyclé en sortie de la cellule ($i-1$) est tel que la salinité de l'eau en sortie de la cellule i soit égale à la valeur de consigne. Pour ce faire, la vanne motorisée V_i à l'entrée de la cellule i est asservie au conductivimètre S_i qui mesure la salinité de l'eau à dessaler, en sortie de cette cellule. Ainsi, le taux d'ouverture de la vanne V_i sera ajusté en fonction de la salinité mesurée pour ramener cette salinité à la valeur de consigne.

10 Les valeurs de consigne sont fixées en sortie des cellules, par salinité dégressive dans le sens de l'écoulement de l'eau à dessaler.

Les vannes motorisées permettent de régler le débit d'échange dans les cellules et par conséquent, le débit recyclé au niveau de chaque cellule. L'eau recueillie au fur et à mesure dans le collecteur de recyclage CR est renvoyée à l'entrée du système pour être mélangée à l'eau à dessaler, en amont de la cellule n° 1. S_{m2} est la salinité de l'eau à l'entrée de la cellule 1, après mélange entre l'eau à dessaler, de salinité S_0 et l'eau recyclée, de salinité S_{m1} .

L'eau douce obtenue en fin de procédé, à la sortie de la cellule n , fait l'objet d'un traitement final, fonction de l'utilisation envisagée. Pour de l'eau potable, il peut s'agir par exemple d'osmose inverse, reminéralisation et désinfection.

Concernant les effluents, ceux-ci doivent obligatoirement subir un prétraitement en début de procédé, à l'entrée de la cellule n , afin de prévenir le risque de colmatage des membranes de dialyse.

VARIANTES

25 • membranes de dialyse : elles sont imperméables à l'eau et perméables aux ions Na^+ et Cl^- . Les membranes peuvent être choisies avec des perméabilités étendues à d'autres ions, en plus de Na^+ et Cl^- , suivant la nature et la composition des effluents et en fonction de la qualité d'eau douce à obtenir, laquelle dépendra de l'utilisation envisagée : eau potable, usage agricole, application industrielle.

30 • conduite du process : Le contrôle de salinité de l'eau à dessaler tout au long du processus, comme illustré par la figure 1, constitue un exemple de ce qui peut être fait pour maîtriser le procédé. Il y a lieu de noter que dans ce

cas, le débit d'eau douce produite varie en cours de processus, en fonction de la composition des effluents à l'entrée. On peut envisager d'autres manières de conduire le procédé, avec d'autres appareils de commande et de mesure en ligne.

- 5 • En raison du prétraitement nécessaire des effluents, le procédé peut s'insérer dans les process d'épuration d'effluents urbains et industriels. Il peut donc être entièrement intégré aux stations d'épuration.

AVANTAGE DU PROCEDE

Le procédé, objet de l'invention, fait intervenir des effluents et ne fait
10 appel à aucun apport direct d'énergie électrique. Il s'agit d'un procédé de dessalement d'eau de mer et d'eau saumâtre constitué de cellules de dialyse disposées en série, utilisant les effluents urbains et industriels comme exutoire. Les consommations de puissance électrique sont celles occasionnées
15 par les équipements auxiliaires, comme les pompes d'alimentation en eau à dessaler; et ces consommations sont relativement faibles. Les effluents pouvant être mobilisés à moindres coûts, le présent procédé met à profit la disponibilité des effluents urbains et industriels pour effectuer le dessalement
20 d'eau de mer et d'eau saumâtre par dialyse simple, en utilisant le gradient de concentration en NaCl qui existe entre les effluents et l'eau à dessaler. Il apparaît dès lors, que le coût du m³ d'eau dessalée au moyen de ce procédé, est de loin inférieur aux coûts connus jusqu'alors, notamment par la technique d'osmose inverse.

MISE EN ŒUVRE PARTICULIERE DU PROCEDE - Fig. 2, planche 2/2

Une mise en œuvre particulière du procédé fait l'objet de la figure 2. En
25 référence à ce dessin, nous avons : 1, 2, 3, 4 : les cellules de dialyse

a : arrivée d'eau de mer

b : sortie eau adoucie

c : arrivée d'effluents urbains (eaux usées + eaux pluviales)

d : sortie des effluents chargés en sel.

30 p : pompe d'alimentation en eau de mer

CR : collecteur de recyclage

Pt : prétraitement des effluents, avec élimination des matières colloïdales notamment.

- * Conductivimètres sur l'eau de mer
 - $S_0 = 35,2 \text{ g/l}$: salinité eau de mer
 - $S_{m1} = 10,4 \text{ g/l}$: salinité globale des eaux recyclées (mélange)
 - $S_{m2} = 19,7 \text{ g/l}$: salinité de l'eau à l'entrée de la cellule 1
 - 5 Salinités en sortie cellules, côté eau de mer = valeurs de consigne
 - $S_1 = 13,3 \text{ g/l}$; $S_2 = 8 \text{ g/l}$; $S_3 = 3 \text{ g/l}$
 - $S_4 = 1,3 \text{ g/l}$
 - * Conductivimètres sur effluents
 - $E_0 = 0,5 \text{ g/l}$: salinité des effluents à l'entrée
 - 10 salinités en sortie cellules, côté effluents :
 - $E_4 = 1 \text{ g/l}$; $E_3 = 2,5 \text{ g/l}$; $E_2 = 5,5 \text{ g/l}$; $E_1 = 10,6 \text{ g/l}$
 - * V2, V3 : vannes motorisées asservies aux conductivimètres S2 et S3 respectivement
 - débit effluents $Q = 10 \text{ m}^3/\text{h}$
 - 15 • débits eau de mer :
 - arrivée eau de mer : $q_0 = 3 \text{ m}^3/\text{h}$
 - total recyclé : $q_{01} = 5 \text{ m}^3/\text{h}$
 - fraction recyclée par branche : $q_{02} = 2,3 \text{ m}^3/\text{h}$
 $q_{03} = 2,7 \text{ m}^3/\text{h}$
 - 20 → entrée cellules :
 - $q_1 = 8 \text{ m}^3/\text{h}$; • $q_2 = 5,7 \text{ m}^3/\text{h}$; • $q_3 = 3 \text{ m}^3/\text{h}$ = débit d'eau adoucie
- APPLICATION DU PROCÉDÉ À L'ÉCHELLE INDUSTRIELLE**
- Le procédé se prête à l'application industrielle de par son fonctionnement en cycle continu, la maîtrise du processus de dessalement qu'il met en œuvre,
- 25 ainsi que sa conception modulaire.
- La disposition en série des cellules de dialyse a pour objet d'affiner le dessalement. Un module contiendra plus ou moins de cellules en étages, selon le degré de dessalement désiré. Par ailleurs, la disposition de ces modules en parallèle permet d'augmenter le débit d'eau douce en sortie.
- 30 Une installation industrielle comprend plusieurs modules en parallèle, chaque module contenant un certain nombre de cellules disposées en série.

el 1

REVENDICATIONS

1°/ Procédé de dessalement d'eau de mer et d'eau saumâtre constitué de cellules de dialyse disposées en série, utilisant les effluents urbains et industriels comme exutoire, **caractérisé en ce qu'il met à profit la**
5 disponibilité des effluents urbains et industriels pour effectuer le dessalement d'eau de mer et d'eau saumâtre par dialyse simple, en utilisant le gradient de concentration en NaCl qui existe entre les effluents et l'eau à dessaler.

2°/ Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'il peut** s'insérer dans les process d'épuration d'effluents urbains et industriels.



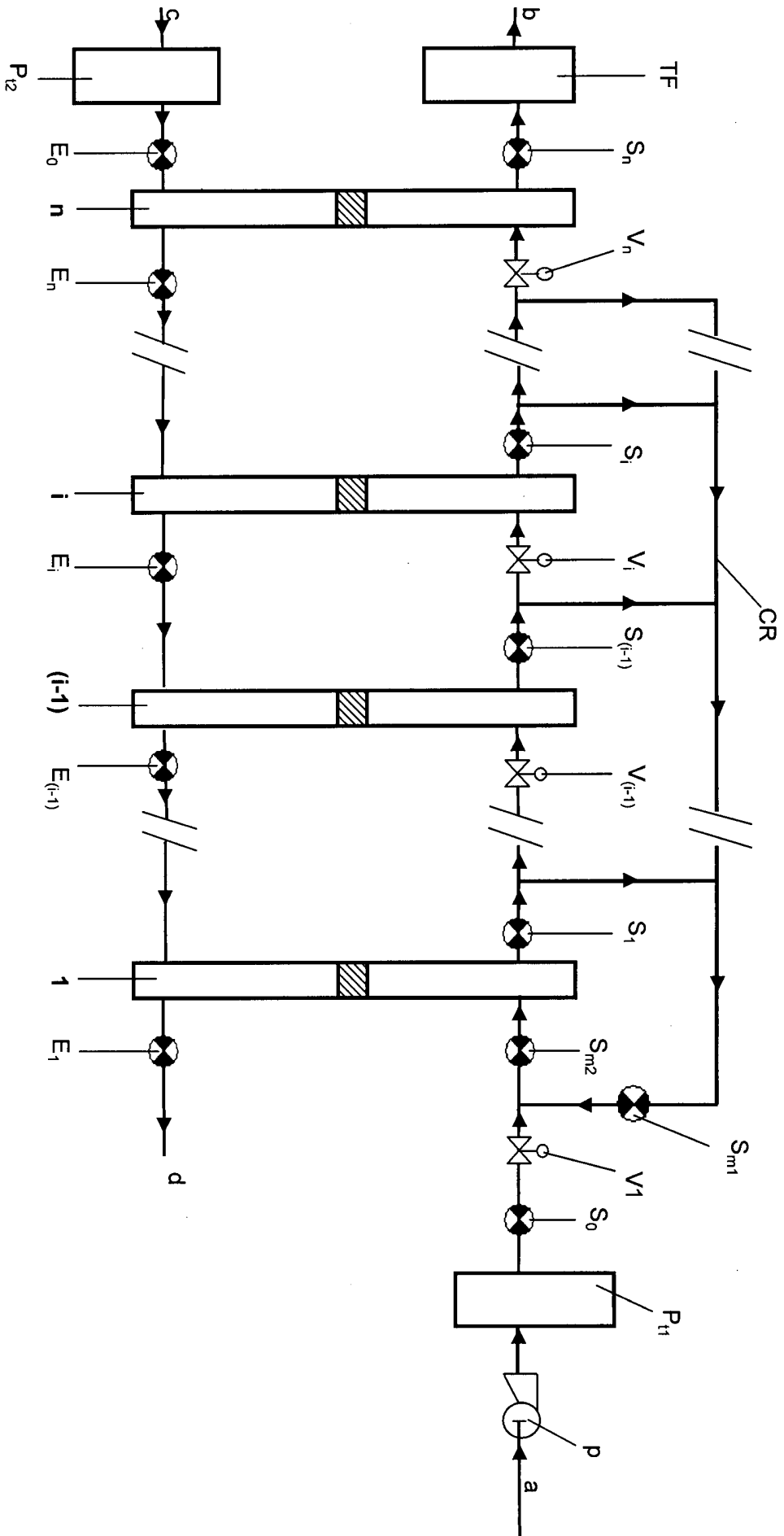


Fig. 1

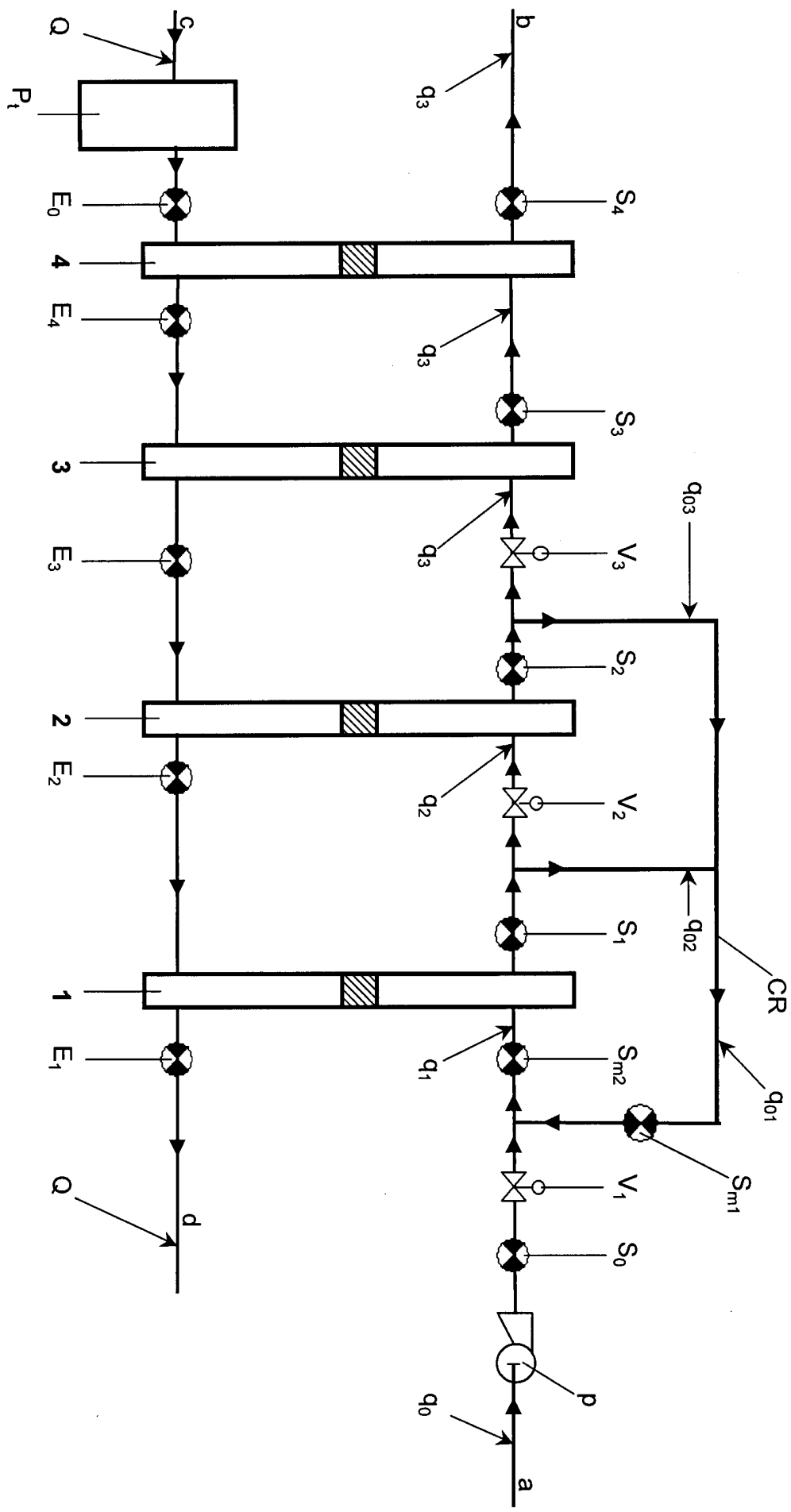


Fig. 2

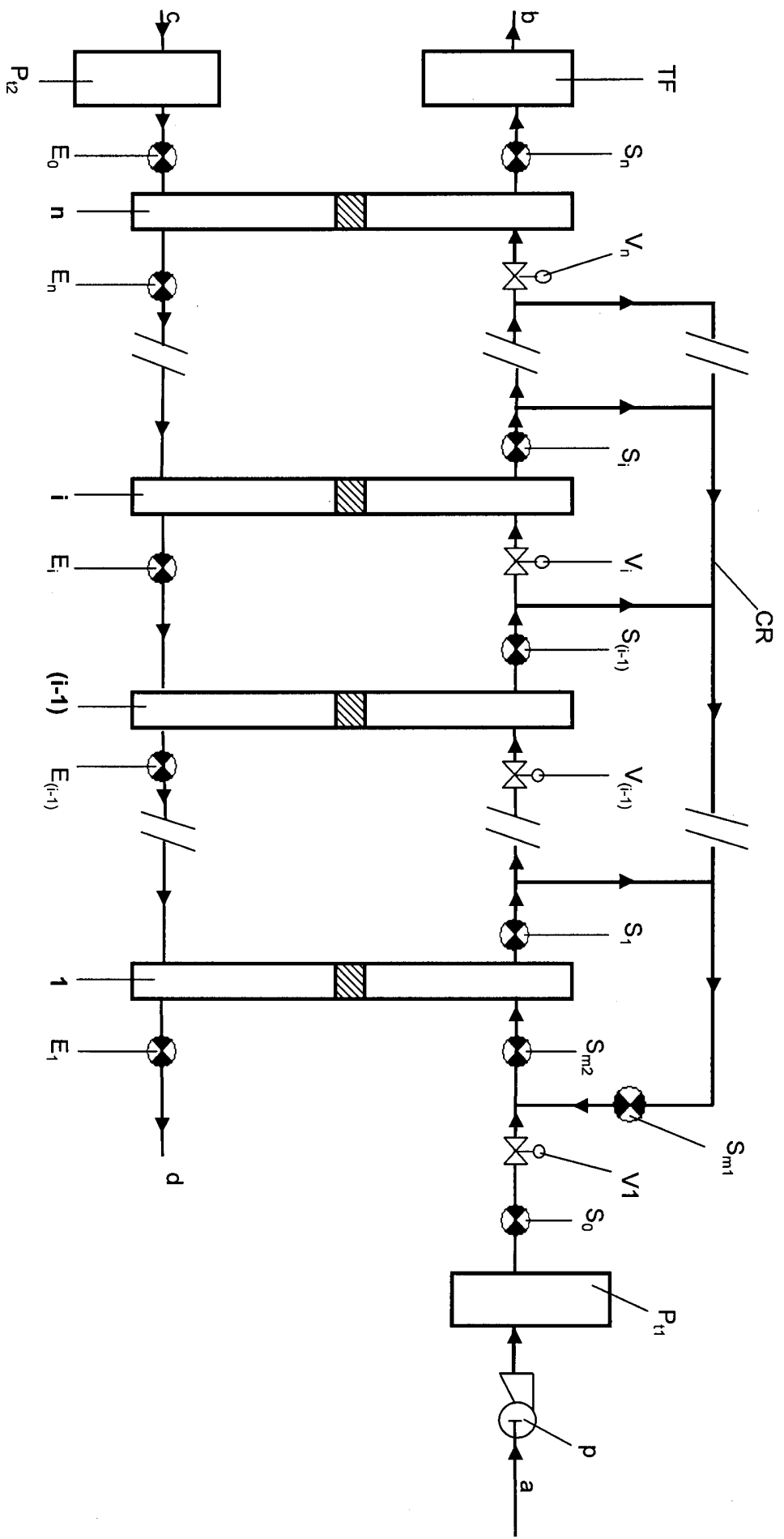


Fig. 1