

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

(11) Nº de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

3 024 274

(21) Nº d'enregistrement national : 15 56903

(51) Int Cl⁸ : G 21 F 9/30 (2016.01), G 21 F 9/12

(12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 21.07.15.

(30) Priorité : 22.07.14 JP 2014-148748.

(43) Date de mise à la disposition du public de la demande : 29.01.16 Bulletin 16/04.

(56) Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : Ce dernier n'a pas été établi à la date de publication de la demande.

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

Demande(s) d'extension :

(71) Demandeur(s) : KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA — JP.

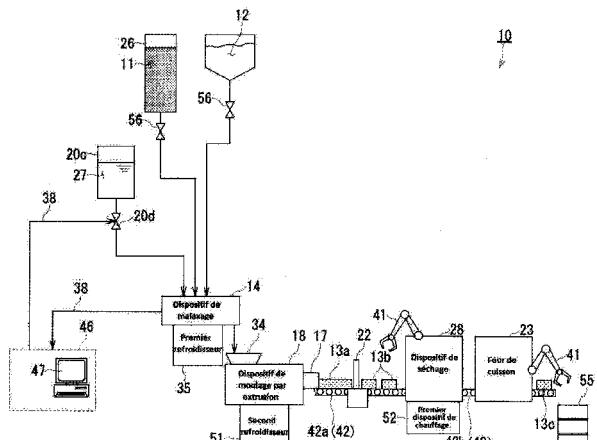
(72) Inventeur(s) : NOHARA YUSUKE, KAWANO SHOHEI, SAYANO AKIO, OBATA MASAMICHI et TAKAHASHI RYOTA.

(73) Titulaire(s) : KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA.

(74) Mandataire(s) : CABINET FEDIT LORIOT.

(54) PROCÉDÉ DE FABRICATION DE CORPS SOLIDIFIÉ DE DÉCHETS RADIOACTIFS ET DISPOSITIF DE FABRICATION POUR CORPS SOLIDIFIÉ.

(57) Un procédé de fabrication d'un corps de déchets radioactifs solidifié (13c) comporte une étape de malaxage (S 12 à S18) destinée à assurer le malaxage, ensemble, avec un agent de moulage, d'un adsorbant inorganique qui a adsorbé des radionucléides afin de produire un corps malaxé, une étape de réglage (S 14 à S17) destinée à régler une teneur en eau du corps malaxé de manière à la régler dans une plage prédéterminée, une étape de moulage (S 19) destinée à assurer le moulage du corps malaxé par extrusion, une étape de coupe (S20) destinée à assurer la coupe, suivant un intervalle spécifié, du corps malaxé extrudé en une forme de barre, et une étape de cuisson (S22) destinée à assurer la cuisson du corps malaxé coupé en un corps solidifié.



PROCEDE DE FABRICATION DE CORPS SOLIDIFIE DE DECHETS
RADIOACTIFS ET DISPOSITIF DE FABRICATION POUR CORPS
SOLIDIFIE

Dans son domaine, la présente invention se rapporte à un procédé de fabrication d'un corps solidifié d'un adsorbant inorganique dans lequel des radionucléides sont adsorbés.

5 Dans la technique antérieure, une installation de production d'énergie nucléaire présente un cycle d'eau passant à travers une unité de production de vapeur, une turbine à haute pression, une turbine à basse pression, un condenseur, une pompe d'alimentation en eau et un dispositif de chauffage d'eau d'alimentation, selon cet ordre, l'eau légère revenant ensuite à l'unité de production de vapeur.

10 La turbine à haute pression et la turbine à basse pression sont entraînées par la vapeur produite par l'unité de production de vapeur afin d'entraîner une génératrice destinée à produire de l'énergie électrique.

15 Dans une installation de production d'énergie à réacteur à eau bouillante (BWR), un réacteur fait bouillir de l'eau légère. Le réacteur fonctionne également en tant que le générateur de l'unité de production de vapeur.

Si toutes les sources d'énergie vers le réacteur BWR sont perdues du fait d'un important tremblement de terre ou d'un important tsunami, l'alimentation en eau du réacteur s'arrête et, sans eau, le réacteur chauffe.

Lorsque le réacteur chauffe en continu sans eau, la fusion d'un cœur de

combustible ou l'endommagement d'une cuve de réacteur sous pression peuvent se produire.

Parallèlement, lorsqu'un tel accident sévère se produit, de l'eau de refroidissement est délivrée à l'intérieur de la cuve de réacteur sous pression à 5 partir de l'extérieur dans le but de refroidir de manière stable la chaleur de désintégration du cœur de combustible.

Si la cuve de réacteur sous pression subit des dommages lorsque l'eau de refroidissement est délivrée, l'eau de refroidissement contaminée délivrée qui contient des éléments nucléaires radioactifs fuit à travers la partie endommagée.

10 Pour purifier une grande quantité d'eau contaminée de manière radioactive à haute concentration, des radionucléides doivent être éliminés en utilisant un adsorbant tel qu'un adsorbant inorganique.

Dans un tel traitement de purification en utilisant l'adsorbant, des déchets radioactifs de l'adsorbant et analogue sont produits de manière indirecte.

15 Lorsqu'il est supposé que le cœur de combustible est fondu, les déchets secondaires contiennent du césium radioactif à haute concentration (Cs 137) et analogue et présentent une dose de radiation élevée.

20 Pour assurer un stockage intermédiaire à long terme et une mise en décharge finale des déchets radioactifs, il est, par conséquent, nécessaire de solidifier les déchets radioactifs et de maintenir les déchets radioactifs dans un état stable.

Plusieurs procédés de solidification d'adsorbants inorganiques contenant des radionucléides tels que du Cs 137 et du strontium ont été décrits.

25 Par exemple, les radionucléides sont adsorbés par un adsorbant inorganique tel que de la mordénite de synthèse, pressés et moulés par une presse à caoutchouc, cuits dans un four atmosphérique à une température de 1200°C environ afin d'assurer la solidification.

Il a aussi été décrit un procédé d'ajout d'une solution aqueuse alcaline à des déchets céramiques comportant une substance radioactive, de remplissage d'une capsule métallique, avec les déchets céramiques et la solution aqueuse alcaline, et 30 d'application, sur l'ensemble des déchets céramiques, d'un traitement sous pression isostatique à chaud de manière à mouler ainsi un corps solidifié. Pour mieux saisir

l'arrière plan technique, le brevet japonais N° 2807381 ou le brevet japonais N° 3071513 peuvent, par exemple, être utilisés en tant que référence.

Toutefois, lorsque les radionucléides sont cuits à une température élevée de 1200°C environ, la volatilisation du Cs 137 adsorbé par l'adsorbant inorganique est anticipée.

Par exemple, lorsque les radionucléides sont maintenus pendant trois heures à 1200°C, la vitesse de volatilisation du Cs 137 adsorbé par l'adsorbant inorganique est de 0,02 à 0,22 %.

Lorsque les déchets céramiques contenant la substance radioactive remplissent la capsule métallique ensemble avec la solution aqueuse alcaline, une installation mécanique importante doit être utilisée afin de mettre en œuvre le traitement de pressage isostatique à chaud.

En outre, puisqu'il dure un certain temps, le traitement n'est pas approprié au traitement de grandes quantités de déchets.

En résumé de l'invention et dans le but de résoudre le problème précédent, un objectif de celle-ci est de créer un procédé de fabrication d'un corps de déchets radioactifs solidifié et un dispositif de fabrication du corps solidifié, permettant la mise en décharge finale stable d'une grande quantité de radionucléides dans un processus simple et supprimant la volatilisation des radionucléides au cours de la fabrication du corps solidifié.

Un procédé de fabrication d'un corps de déchets radioactifs solidifié selon la présente invention comporte : une étape de malaxage destinée à assurer le malaxage, ensemble, avec un agent de moulage, d'un adsorbant inorganique qui a adsorbé des radionucléides afin de produire un corps malaxé ; une étape de réglage destinée à régler une teneur en eau du corps malaxé de manière à la positionner dans une plage prédéterminée ; une étape de moulage destinée à assurer le moulage du corps malaxé par extrusion ; une étape de coupe destinée à assurer la coupe, suivant un intervalle spécifié, du corps malaxé extrudé en une forme de barre ; et une étape de cuisson destinée à assurer la cuisson du corps malaxé coupé en un corps solidifié.

De préférence, l'étape de réglage est mise en œuvre ensemble avec le

malaxage dans l'étape de malaxage.

De préférence, l'étape de réglage comporte : une étape de séchage destinée à sécher l'adsorbant inorganique à un de stade préalable de l'étape de malaxage ; et une étape d'alimentation proportionnelle destinée à délivrer l'adsorbant inorganique sec, l'eau et l'agent de moulage suivant un rapport fixe.

5 De préférence, le procédé comprend, en outre, une étape de séchage de corps coupé destinée à sécher le corps malaxé coupé dans l'étape de coupe.

De préférence, dans au moins une de l'étape de séchage et de l'étape de séchage de corps coupé, l'adsorbant inorganique ou le corps malaxé est séché par 10 la chaleur spontanée basée sur la désintégration nucléaire du radionucléide contenus dans l'adsorbant inorganique.

De préférence, l'étape de moulage est mise en œuvre sous une atmosphère dépressurisée.

15 De préférence, l'hydrogène produit est extrait dans au moins une étape parmi l'étape de séchage, l'étape de malaxage, l'étape de moulage, l'étape de séchage de corps coupé et l'étape de cuisson.

De préférence, au moins l'un du poids, d'une dose de radiation superficielle et d'une dose de radiation de corps solidifié du corps solidifié cuit et stocké dans un conteneur de stockage est mesuré.

20 Un dispositif de fabrication d'un corps de déchets radioactifs solidifié selon la présente invention comporte : un dispositif de malaxage destiné à malaxer un adsorbant inorganique qui a adsorbé des radionucléides et un agent de moulage afin de produire d'un corps malaxé ; une unité de réglage afin d'assurer le réglage d'une quantité d'eau à malaxer ensemble avec l'adsorbant inorganique et l'agent de moulage ; un réservoir creux qui comporte un orifice de moulage et contient le corps malaxé ; une unité d'extrusion qui extrude le corps malaxé à partir de l'orifice de moulage et moule le corps malaxé ; une unité de coupe qui coupe, suivant un intervalle spécifié, le corps malaxé extrudé sous une forme de barre ; et un four de cuisson afin d'assurer la cuisson du corps malaxé coupé en un corps solidifié.

30 De préférence, l'unité de réglage comporte une unité de mesure qui mesure

une teneur en eau du corps malaxé dans le dispositif de malaxage.

De préférence, l'unité de réglage est une unité de séchage d'adsorbant afin d'assurer le séchage de l'adsorbant inorganique avant qu'il soit délivré au dispositif de malaxage.

5 De préférence, le dispositif de fabrication comprend, en outre, un dispositif de séchage afin d'assurer le séchage du corps malaxé coupé.

De préférence, au moins l'un du dispositif de séchage et du four de cuisson comporte un bras de robot qui empile les corps malaxés coupés.

10 De préférence, le dispositif de fabrication comprend, en outre, un convoyeur agencé dans au moins une section parmi les sections agencées entre le dispositif de malaxage et l'unité d'extrusion, entre l'unité d'extrusion et le dispositif de séchage et entre le dispositif de séchage et le four de cuisson, le convoyeur assurant le transfert du corps malaxé.

15 Selon la présente invention, le procédé de fabrication d'un corps de déchets radioactifs solidifié et le dispositif de fabrication du corps solidifié sont créés, permettant la mise en décharge finale stable d'une grande quantité de radionucléides dans un processus simple et supprimant la volatilisation des radionucléides dans la fabrication du corps solidifié.

Une brève description des dessins va maintenant être donnée.

20 La figure 1 est un schéma de configuration simplifié d'un dispositif de fabrication d'un corps de déchets radioactifs solidifié selon un premier mode de réalisation ;

25 la figure 2 est une vue en coupe agrandie d'un dispositif de malaxage d'un dispositif de fabrication selon le premier mode de réalisation et de différents éléments raccordés au dispositif de malaxage ;

la figure 3 est une vue en coupe transversale schématique montrant un exemple d'une unité de réglage dans laquelle une unité de mesure est placée à l'extérieur d'un dispositif de malaxage ;

30 la figure 4 est une vue en coupe transversale agrandie d'un exemple d'une unité de réglage dans laquelle une unité de mesure est agencée à l'extérieur d'un dispositif de malaxage ;

la figure 5 représente une sortie et une entrée qui peuvent être raccordées directement par l'intermédiaire d'une tuyauterie, par soudage ou analogue ;

5 la figure 6A est un graphe montrant un résultat expérimental obtenu par mesure de la densité d'un corps coupé, pour lequel de la chabazite est utilisée en tant qu'adsorbant inorganique, en fonction d'une température de maintien au cours de la cuisson ;

10 la figure 6B est un graphe montrant un résultat expérimental obtenu par mesure de la densité d'un corps coupé, pour lequel du titanate de silicium cristallin est utilisé en tant qu'adsorbant inorganique, en fonction d'une température de maintien au cours de la cuisson ;

la figure 7 est un algorithme d'un procédé de fabrication d'un corps de déchets radioactifs solidifié (désigné simplement ici par "procédé de fabrication") selon le premier mode de réalisation ;

15 la figure 8 est un algorithme d'un procédé de fabrication selon un deuxième mode de réalisation ;

la figure 9 est un schéma de configuration simplifié d'un dispositif de fabrication selon le deuxième mode de réalisation ;

la figure 10 est un schéma de configuration simplifié d'un dispositif de fabrication selon un troisième mode de réalisation ;

20 la figure 11 est une vue en coupe transversale schématique montrant un exemple d'un agencement d'un dispositif de malaxage et de tuyauteries de sortie sur le dispositif de moulage par extrusion ;

25 la figure 12 est une vue en coupe agrandie d'un dispositif de malaxage d'un dispositif de fabrication selon un quatrième mode de réalisation et de différents éléments raccordés à un dispositif de malaxage ;

la figure 13 représente un exemple concernant un corps de déchets radioactifs solidifié selon un mode de réalisation ; et

30 la figure 14 est un tableau montrant des données expérimentales obtenues lors de la fabrication d'un corps solidifié par malaxage d'un agent de moulage, qui est du kaolin, avec un adsorbant inorganique.

Ensuite, des modes de réalisation vont être expliqués ci-dessous en se

référant aux dessins, en commençant par un premier mode de réalisation.

En se référant aux figures 1 et 2, montrant un dispositif de fabrication 10 d'un corps de déchets radioactifs solidifié (désigné simplement ci-après par "dispositif de fabrication 10") (figure 1) et un dispositif de malaxage 14 (figure 2) 5 du dispositif de fabrication 10 selon le premier mode de réalisation et différents éléments raccordés au dispositif de malaxage 14, le dispositif de fabrication 10 selon le premier mode de réalisation comporte le dispositif de malaxage 14 afin d'assurer le malaxage de l'adsorbant inorganique 11 qui a adsorbé des radionucléides et l'agent de moulage 12 afin de produire le corps malaxé 13, une 10 unité de réglage 20 afin d'assurer le réglage de la quantité d'eau à malaxer ensemble avec l'adsorbant inorganique 11 et l'agent de moulage 12, un réservoir creux 15 qui comporte un orifice de moulage 17 et contient le corps malaxé 13, une unité d'extrusion 16 qui extrude le corps malaxé 13 à partir de l'orifice de moulage 17 du réservoir creux 15 et moule le corps malaxé 13, une unité de coupe 15 22 qui coupe, à un intervalle spécifié, le corps malaxé 13a extrudé en une forme de barre, et un four de cuisson 23 afin d'assurer la cuisson du corps malaxé coupé (le corps coupé) 13b en corps solidifié 13c.

Le dispositif de malaxage 14 assure le malaxage de l'adsorbant inorganique 11 qui a adsorbé des radionucléides et l'adjvant de moulage 12 afin de produire 20 le corps malaxé 13.

L'adsorbant inorganique 11 et l'agent de moulage 12 sont malaxés ensemble avec de l'eau par un rouet de malaxage 43 entraîné en rotation par un moteur 29.

Un adsorbant inorganique contenant de la chabazite ou du titanate de silicium cristallin en tant que composant principal est utilisé de manière 25 appropriée en tant qu'adsorbant inorganique 11.

L'adsorbant inorganique 11 n'est pas limité au précédent et peut être du silicate d'aluminium, de la clinoptilolite, de l'herchérite ou analogue, présentant une caractéristique d'adsorption de substance radioactive.

L'adsorbant inorganique 11 est utilisé, par exemple, dans une tour 30 d'absorption installée dans une centrale nucléaire.

Dans la tour d'absorption, l'adsorbant inorganique 11 est contenu dans une

pluralité de cuves 26 raccordées en série et adsorbe des radionucléides à partir d'eau contaminée par radioactivité, passant à travers les cuves 26.

5 Lorsque l'eau contaminée par la radioactivité est passée à travers le groupe de cuves raccordées en série pendant une durée prédéterminée, une (première) cuve la plus en amont 26 est retirée, et une seconde cuve 26 décalée afin de remplacer la cuve la plus amont 26. Une nouvelle cuve 26 est ajoutée du côté le plus en aval.

10 En général, l'adsorbant inorganique 11 de la cuve retirée 26 est maintenu dans la cuve 26 ou collecté dans une trémie d'adsorbant 31 (figure 9) et stocké temporairement.

15 L'adsorbant inorganique 11 stocké de cette manière est placé dans le dispositif de malaxage 14 et malaxé ensemble avec l'agent de moulage 12 et l'eau 27.

Puisque l'adsorbant inorganique 11 est contenu dans les cuves 26 à travers 15 lesquelles l'eau contaminée par la radioactivité est passée, souvent l'adsorbant inorganique 11 contient déjà un certain degré d'humidité.

Lorsque l'adsorbant inorganique 11 est placé dans le dispositif de malaxage 14, si une teneur en humidité de l'adsorbant inorganique 11 est supérieure ou égale à une quantité de l'eau 27 à délivrer, l'eau 27 n'a pas été délivrée.

20 L'agent de moulage 12 est ajouté à l'adsorbant inorganique 11 dans un état pulvérulent et malaxé afin de communiquer une certaine plasticité à l'adsorbant inorganique 11 et facilite le moulage par extrusion.

Un agent de moulage contenant un minéral à base d'argile en tant que composant principal est utilisé de manière appropriée pour l'agent de moulage 12.

25 Des exemples de l'agent de moulage 12 du minéral à base d'argile appliqués comportent la bentonite, le kaolin (la kaolinite), l'halloysite, le chrysotile, la pyrophyllite, le talc, la muscovite, la phlogopite, la séricite, la chlorite, la bédellite, et la vermiculite.

En particulier, la bentonite et le kaolin sont facilement et économiquement 30 disponibles et peuvent être utilisés.

On peut noter que, lors du malaxage, la température du corps malaxé 13

peut excéder 100°C du fait de la chaleur de frottement et de la désintégration nucléaire des radionucléides compte tenu du malaxage.

Si le malaxage est poursuivi à une telle température élevée, une fréquence de détérioration ou de défaillance du dispositif de malaxage 14 et des différents dispositifs couplés au dispositif de malaxage 14 augmente.

Si la température du corps malaxé 13 n'est pas commandée, il est aussi difficile de régler la quantité d'eau 27 en prenant en compte la vaporisation de l'humidité.

Par conséquent, une première unité de refroidissement 35 est agencée sur le dispositif de malaxage 14 afin de maintenir la température du corps malaxé 13 à 50°C environ.

L'unité de réglage 20 assure le réglage de la quantité d'eau à malaxer ensemble avec l'adsorbant inorganique 11 et l'agent de moulage 12.

Lorsque le corps malaxé 13 est moulé par moulage par extrusion, de manière à empêcher qu'une fissuration se produise sur le corps moulé par extrusion 13a formé par le moulage par extrusion et à maintenir une forme appropriée, il est nécessaire de régler la teneur en eau du corps malaxé 13 après le malaxage à une teneur en eau appropriée.

Une plage appropriée pour la teneur en eau du corps malaxé 13 après le malaxage est étroite. Par exemple, lorsque l'agent de moulage 12 est de la bentonite, la teneur en eau appropriée est de $35\% \pm 0,3\%$ environ.

Lorsque l'agent de moulage 12 est du kaolin, la largeur de la plage appropriée de la teneur en eau est aussi faible que $\pm 0,3\%$ environ.

C'est-à-dire que, dans le but de maintenir une quantité à ajouter nécessaire de l'agent de moulage 12 à une quantité minimum et de produire le corps malaxé 13a présentant la viscosité appropriée pour le moulage par extrusion, il est important de régler la teneur en eau du corps malaxé 13.

Le dispositif de fabrication 10 comporte, par conséquent, l'unité de réglage 20 et assure le réglage de la teneur en eau du corps malaxé 13.

L'unité de réglage 20 comporte, par exemple, une unité de mesure 20a (20) qui mesure une teneur en eau du corps malaxé 13 dans le dispositif de malaxage

14 et une unité d'alimentation en eau 20c (20) qui est raccordée au dispositif de malaxage 14 et délivre l'eau 27 au dispositif de malaxage 14.

En tant qu'unité de mesure 20a, par exemple, un hygromètre basé sur un procédé à quatre électrodes, qui est un type d'un procédé par résistance électrique, 5 un hygromètre basé sur un procédé par capacitance ou un hygromètre basé sur un procédé diélectrique peut être utilisé.

On peut noter que l'ensemble de ces hygromètres doivent corriger une valeur mesurée en prenant en compte la désintégration nucléaire des radionucléides.

10 L'unité de mesure 20a peut être placée à l'extérieur du dispositif de malaxage 14.

Par exemple, la figure 3 est une vue en coupe schématique montrant un exemple de l'unité de réglage 20 dans laquelle l'unité de mesure 20a est placée à l'extérieur du dispositif de malaxage 14.

15 Comme cela est montré sur la figure 3, l'unité de mesure 20a peut être une unité de mesure par infrarouge 20a1 (20a) qui est placée à l'extérieur du dispositif de malaxage 14 et mesure une teneur en eau d'un échantillon collecté.

20 L'unité de mesure par infrarouge 20a1 sèche l'échantillon avec un rayonnement infrarouge et mesure une teneur en eau de l'échantillon à partir d'une variation sur la masse de l'échantillon avant et après le séchage.

L'échantillon est envoyé à l'unité de mesure par infrarouge 20a1, par exemple, à partir d'un tube de prélèvement 20f (20) agencé à proximité d'une sortie 19 du dispositif de malaxage 14.

25 Sur le tube de prélèvement 20f, une vanne de prélèvement 20e (20), qui est normalement fermée, et une pompe de prélèvement 20g (20) sont agencées.

Lorsque le corps malaxé 13 est malaxé pendant une durée préterminée, une partie du corps malaxé 13 à proximité de la sortie 19 est aspirée et collectée par la pompe de prélèvement 20g.

30 Une valeur de mesure de la teneur en eau mesurée par l'unité de mesure 20a est transmise, par exemple, à une salle de commande 46 à l'extérieur du dispositif de fabrication 10 par l'intermédiaire d'une ligne 38 et contrôlée par un agent de

contrôle.

Des seuils de limite supérieure et de limite inférieure sont définis pour la valeur de mesure à transmettre. Lorsque la valeur de mesure excède les seuils, une notification est affichée sur un écran de contrôle 47.

5 Un signal concernant une quantité à délivrer de l'eau 27 déterminée par l'agent de contrôle sur la base de la notification est envoyé à l'unité d'alimentation en eau 20c par l'intermédiaire de l'écran de contrôle 47.

10 L'unité d'alimentation en eau 20c reçoit le signal, ouvre une vanne de commande 20d (20) et délivre l'eau 27 au dispositif de malaxage 14 suivant la quantité à délivrer déterminée.

On peut noter que le niveau d'humidité du corps malaxé 13 peut être réglé en délivrant de l'agent de moulage 12.

15 La ligne 38 peut être reliée, par exemple, au moteur 29 du rouet de malaxage 43 afin de régler un temps de fonctionnement du moteur 29 (c'est-à-dire, une durée de malaxage).

Par exemple, même si la teneur en eau du corps malaxé 13 est trop élevée, il n'est pas facile d'extraire uniquement l'eau 27 à partir du corps malaxé 13.

20 Par conséquent, la teneur en eau du corps malaxé 13 est réglée de manière à être comprise dans une plage prédéterminée en augmentant la durée de malaxage de manière à vaporiser l'eau 27.

La teneur en eau peut être réglée en reliant la ligne 38 à une source d'énergie 35a (35) et en réduisant le refroidissement de la première unité de refroidissement 35 afin de vaporiser l'humidité du corps malaxé 13.

25 Evidemment, on peut noter que le réglage peut aussi être réalisé de manière automatique, non pas par l'intermédiaire de l'agent de contrôle, en reliant la ligne 38 au moteur 29, à la source d'énergie 35a, la vanne de commande 20d, ou analogue.

En se référant de nouveau à la figure 2, les explications concernant le dispositif de fabrication 10 se poursuivent.

30 Le corps malaxé 13 produit par le dispositif de malaxage 14 est moulé par extrusion par un dispositif de moulage par extrusion 18.

Le dispositif de moulage par extrusion 18 comporte le réservoir creux 15, qui comprend l'orifice de moulage 17 et contient le corps malaxé 13, et l'unité d'extrusion 16 qui extrude le corps malaxé 13 à partir de l'orifice de moulage 17 du réservoir creux 15 et assure le moulage du corps malaxé 13.

5 Le corps malaxé produit 13 est déchargé à partir de la sortie 19 du dispositif de malaxage 14 et introduit par une entrée 34 du réservoir creux 15.

Le corps malaxé déposé 13 est extrudé à partir de l'orifice de moulage 17 du réservoir creux 15 par l'unité d'extrusion 16 et forme le corps moulé par extrusion 13a (13).

10 L'unité d'extrusion 16 est, par exemple, une vis agencée à l'intérieur du réservoir creux 15 et entraînée en rotation par une unité d'entraînement 24.

Comme dans le dispositif de malaxage 14, dans le dispositif de moulage par extrusion 18, une seconde unité de refroidissement 51 qui refroidit le réservoir creux 15 est agencée.

15 De la même manière que la première unité de refroidissement 35, la seconde unité de refroidissement 51 empêche une augmentation de la température du fait de la désintégration nucléaire ou de la chaleur de frottement due à la rotation de l'unité d'extrusion 16.

20 Par exemple, la déformation de l'orifice de moulage 17, la détérioration de l'unité d'extrusion 16, et la vaporisation excessive de l'humidité du corps malaxé 13 peuvent être empêchées par la seconde unité de refroidissement 51.

L'unité de coupe 22 coupe le corps moulé par extrusion 13a suivant un intervalle spécifié.

25 A proximité de l'extrémité distale de l'orifice de moulage 17 du dispositif de moulage par extrusion 18, par exemple, un convoyeur de moulage 42a (42) qui transporte le corps moulé par extrusion 13a est agencé.

30 Le corps moulé par extrusion 13a déchargé à partir de l'orifice de moulage 17 est coupé en une forme de bloc par l'unité de coupe 22, dont une lame de coupe 22a est agencée perpendiculairement au convoyeur de moulage 42a, et transféré vers un dispositif de séchage 28.

On peut noter que le convoyeur de moulage 42a est, de manière désirable,

un convoyeur réalisé en métal qui est moins dégradé par le rayonnement radioactif, par comparaison à un convoyeur en caoutchouc.

Une variante du dispositif de malaxage 14 montrée sur la figure 2 et différents éléments raccordés au dispositif de malaxage 14 vont être expliqués en 5 se référant aux figures 4 et 5.

On peut noter que, sur les figures 4 et 5, l'eau 27, l'adsorbant inorganique 11 et l'agent de moulage 12 montrés sur la figure 2 ne sont pas montrés.

La sortie 19 du dispositif de malaxage 14 ne doit pas nécessairement toujours être agencée au-dessus de l'entrée 34 du dispositif de moulage par 10 extrusion 18 comme cela est montré sur la figure 2.

Par exemple, en fonction d'une relation de position entre le dispositif de malaxage 14 et le dispositif de moulage par extrusion 18, comme cela est montré sur la figure 4, le dispositif de malaxage 14 et le dispositif d'extrusion 18 peuvent être reliés par l'intermédiaire d'un convoyeur de transport 42b (42).

15 De manière similaire, les cuves 26 et le dispositif de malaxage 14 peuvent être reliés par le convoyeur de transport 42b.

En reliant les éléments utilisant le convoyeur 42 de cette manière, même si 20 les éléments sont agencés séparément du fait d'un problème de conception ou analogue, le corps solidifié 13c peut être fabriqué de manière continue sans travail manuel d'un opérateur.

Comme cela est montré sur la figure 5, la sortie 19 et l'entrée 34 peuvent être raccordées directement par l'intermédiaire d'une tuyauterie 60, par soudage ou analogue.

En reliant directement la sortie 19 et l'entrée 34 par l'intermédiaire de la 25 tuyauterie 60, il est possible d'empêcher que l'air extérieur ne s'introduise dans le dispositif de moulage par extrusion 18 chaque fois que l'entrée 34 est ouverte.

C'est-à-dire que, même si le corps malaxé 13 est délivré en continu au dispositif de moulage par extrusion 18, l'air extérieur ne s'introduit pas par un interstice entre la sortie 19 et l'entrée 34. La dépressurisation du dispositif de 30 moulage par extrusion 18, expliquée de manière détaillée dans un troisième mode de réalisation, est facilitée.

Les explications se poursuivent en se référant de nouveau à la figure 1.

Le dispositif de séchage 28 contient le corps coupé 13b pendant plusieurs heures à plusieurs jours et sèche le corps coupé 13b.

Pour assurer le chauffage dans le dispositif de séchage 28, la chaleur 5 spontanée basée sur la désintégration nucléaire des radionucléides contenus dans l'adsorbant inorganique 11 peut être utilisée.

L'adsorbant inorganique 11 est, par exemple, contenu dans la cuve 26 la plus en amont présentant une vitesse d'absorption de radionucléides élevée comme cela a été décrit précédemment.

10 Le corps coupé 13b comportant l'adsorbant inorganique 11 produit de la chaleur en permanence.

Par conséquent, même si une unité de chauffage n'est pas utilisée dans le dispositif de séchage 28, il est possible d'augmenter la température du dispositif de séchage 28 avec la chaleur spontanée du corps coupé 13b et de sécher le corps 15 coupé 13b.

Toutefois, la température peut être commandée de manière précise en chauffant le dispositif de séchage 28 avec un premier dispositif de chauffage 52 placé dans le dispositif de séchage 28, en complément de la chaleur spontanée.

En tant que procédé de traitement de séchage, il est possible d'utiliser ce que 20 l'on appelle un dispositif de traitement par lots chauffant, par exemple, le corps coupé 13b, après introduction du corps coupé 13b dans le dispositif de séchage 28 avec un bras de robot 41 placé dans le dispositif de séchage 28.

Le traitement de séchage peut aussi être mis en œuvre en un dispositif de traitement en continu en insérant le convoyeur 42 à l'intérieur du dispositif de 25 séchage 28 et en augmentant la longueur de trajet du convoyeur 42 à l'intérieur.

Un four de cuisson 23 assure la cuisson du corps coupé 13b en un corps solidifié 13c.

Dans le four de cuisson 23, l'air est utilisé en tant qu'atmosphère et le corps coupé 13b est cuit pendant de une à cinq heures.

30 Une température de consigne du four de cuisson 23 est réglée dans une plage de 700°C à 900°C.

La figure 6A est un graphe montrant un résultat expérimental obtenu en mesurant la densité du corps coupé 13b, pour lequel de la chabazite est utilisée en tant qu'adsorbant inorganique 11, en utilisant, en tant que variable, une température de maintien au cours de la cuisson.

5 La figure 6B est un graphe montrant un résultat expérimental obtenu en mesurant la densité du corps coupé 13b, pour lequel du titanate de silicium cristallin est utilisé en tant que l'adsorbant inorganique 11, en utilisant, en tant que variable, la température de maintien au cours de la cuisson.

10 Sur chacune des figures 6A et 6B, on peut voir que la densité de l'adsorbant inorganique 11 peut être augmentée de 1,2 à 2,4 g/cm³ par cuisson du corps coupé 13b à la température de maintien de 700°C à 900°C.

D'autre part, si la température de consigne est inférieure à 700°C, le corps solidifié 13c obtenu par cuisson du corps coupé 13b ne peut pas être amené à la densité permettant d'obtenir une résistance à la compression suffisante.

15 Si la température de consigne est supérieure à 900°C, un chlorure de Cs 137 présentant un point de fusion/ point d'ébullition relativement faible se vaporise et se disperse.

20 C'est-à-dire, qu'on peut voir qu'en réglant la température de consigne du four de cuisson 23 dans la plage de 700°C à 900°C, il est possible d'obtenir le corps solidifié 13c présentant des résistance et densité suffisantes sans volatilisation du Cs 137.

Le corps solidifié cuit 13c est contenu et stocké, par exemple, dans un conteneur de stockage 55 par le bras de robot 41, après que le poids et une dose de radiation de surface du corps solidifié 13c ont été mesurés.

25 En outre, de manière similaire, le poids et une dose de radiation de surface du conteneur de stockage 55, qui contient le corps solidifié 13c, sont mesurés.

Les poids et les doses de radiation de surface sont ensuite utilisés de manière à assurer la gestion du corps solidifié 13c.

30 On peut noter que, parmi les éléments décrits précédemment, en particulier, les éléments présentant des températures élevées, le rouet de malaxage 43, l'unité d'extrusion 16, l'orifice de moulage 17 et le convoyeur de moulage 42a sont

formés de manière désirable en un métal résistant à l'usure.

Le métal résistant à l'usure est, par exemple, un métal revêtu d'un alliage à base de nickel-chrome, de carbure de tungstène, ou analogue présentant une dureté élevée.

5 Un procédé de fabrication selon le premier mode de réalisation va être expliqué de manière détaillée en se référant à la figure 7 (voir les figures 1 et 2 comme cela est approprié).

10 La figure 7 est un algorithme d'un procédé de fabrication d'un corps de déchets radioactifs solidifié (désigné simplement ci-après par "procédé de fabrication") selon le premier mode de réalisation.

En premier, une vanne d'alimentation 56 et la vanne de commande 20d sont ouvertes afin de délivrer l'adsorbant inorganique 11, l'agent de moulage 12 et l'eau 27 au dispositif de malaxage 14 (S11).

15 Comme cela a été décrit précédemment, lorsque l'adsorbant inorganique 11 contient une humidité excessive, aucune nouvelle introduction d'eau 27 ne doit être mise en œuvre.

Une ouverture 36 est obturée par une section de couvercle 61 et l'adsorbant inorganique 11. L'adsorbant inorganique 11, l'agent de moulage 12 et l'eau 27 sont malaxés (S12).

20 Pendant le malaxage, une teneur en eau du corps malaxé 13 en cours de malaxage est mesurée par l'unité de mesure 20a de manière continue ou après chaque période fixe (S13).

25 Si la teneur en eau mesurée est inférieure ou égale à une limite inférieure d'une plage appropriée (OUI à S14), de l'eau 27 est délivrée à partir de l'unité d'alimentation en eau 20c (S15) afin de malaxer de nouveau l'adsorbant inorganique 11, l'agent de moulage 12 et l'eau 27 (vers S12).

Si la teneur en eau est supérieure ou égale à une limite supérieure de la plage (NON en S14 et OUI en S16) la durée de malaxage est, par exemple, augmentée afin de vaporiser l'eau 27 (S17 : vers S12).

30 On peut noter que le réglage de la teneur en eau peut être déterminé par l'agent de contrôle qui assure le contrôle dans la salle de commande 46 ou peut

être une commande automatique du moteur 29, de l'unité d'alimentation en eau 20c, et analogue sur la base d'une valeur de mesure.

Le malaxage et le réglage sont répétés jusqu'à ce que le corps malaxé 13 présente une teneur en eau correcte et une viscosité appropriée (S14 : NON, S16 : 5 NON, S18 : NON ; vers S12).

Le corps malaxé 13 suffisamment malaxé (OUI en S18) est placé dans un réservoir creux 15 du dispositif de moulage par extrusion 18 et moulé par extrusion (S19).

Après que le corps malaxé 13 a été mis en place, une partie creuse du 10 réservoir creux 15 est scellée par une section de couvercle 21.

Dans l'atmosphère dépressurisée par la pompe à vide 33, le moulage par extrusion est mis en œuvre alors que des bulles d'air du corps malaxé 13 sont éliminés.

Le corps moulé par extrusion 13a est coupé par l'unité de coupe 22 suivant 15 un intervalle spécifié (S20).

Le corps coupé 13b est séché par le dispositif de séchage 28 (S21).

On peut noter que, comme cela a été décrit précédemment, pour le séchage du corps coupé 13b, la chaleur spontanée sur la base de la désintégration nucléaire des radionucléides contenus dans l'adsorbant inorganique 11 peut être utilisée.

20 Evidemment, en plus de la chaleur spontanée, la température du dispositif de séchage 28 peut être commandée en chauffant le dispositif de séchage 28 avec le premier dispositif de chauffage 52.

Le corps coupé 13b est cuit dans un four de cuisson 23 pendant une à cinq heures (S22).

25 Une température de cuisson à c'est instant est comprise dans une plage de 700°C à 900°C.

Le corps solidifié cuit 13c est introduit et stocké dans le conteneur de stockage 55 après que les poids et dose de radiation de surface du corps solidifié 13c ont été mesurés.

30 En outre, de manière similaire, les poids et dose de radiation de surface du conteneur de stockage 55 sont aussi mesurés.

Les poids et doses de radiation de surface sont ensuite utilisés afin d'assurer la gestion du corps solidifié 13c.

Comme cela a été décrit précédemment, avec le procédé de fabrication selon le premier mode de réalisation, il est possible d'assurer une mise en décharge finale stable d'une grande quantité de radionucléides avec un procédé simple. En 5 outre, il est possible de fabriquer le corps solidifié 13c des radionucléides tout en supprimant la volatilisation des radionucléides au cours de la fabrication.

Avec le dispositif de fabrication 10 selon le premier mode de réalisation, il est possible de mettre en œuvre le procédé de fabrication de manière efficace.

10

Un deuxième mode de réalisation va maintenant être décrit.

La figure 8 est un algorithme d'un procédé de fabrication selon un deuxième mode de réalisation.

La figure 9 est un schéma de configuration simplifié du dispositif de fabrication 10 selon le deuxième mode de réalisation.

15

Dans le procédé de fabrication selon le deuxième mode de réalisation, comme cela est montré sur la figure 8, une étape de réglage comporte une étape de séchage (S31) destinée à sécher l'adsorbant inorganique 11 à un niveau préliminaire de l'étape de malaxage (S33) et une étape d'alimentation proportionnelle (S32) destinée à délivrer l'adsorbant inorganique séché 11, l'eau 20 27 et l'agent de moulage 12 suivant un rapport fixe.

20

Dans le but de mettre en œuvre un tel procédé de fabrication, l'unité de réglage 20 du dispositif de fabrication 10 selon le deuxième mode de réalisation comporte, comme cela est montré sur la figure 9, une unité de séchage d'adsorbant 20h (20) destinée à assurer le séchage de l'adsorbant inorganique 11 avant d'être 25 délivré au dispositif de malaxage 14.

Comme cela a été expliqué dans le premier mode de réalisation, l'adsorbant inorganique 11 à malaxer adsorbe souvent suffisamment de radionucléides et présente une radioactivité élevée.

30

Par conséquent, dans le but de minimiser l'accès d'un opérateur à proximité du dispositif de fabrication 10, le dispositif de fabrication 10 et le procédé de fabrication doivent être configurés avec des structure et commande simples

présentant une faible fréquence de défaillance ou d'inspection.

Dans le but de traiter de manière efficace l'adsorbant inorganique 11 produit en grande quantité, il est désirable d'adopter un dispositif de traitement continu en tant que partie principale du procédé de fabrication.

5 Par conséquent, le procédé de fabrication implique, de manière désirable, des étapes qui ne nécessitent pas de commande précise, qui dépend d'un état initial de l'adsorbant inorganique 11, autant que possible à mi-chemin du traitement continu.

10 Par conséquent, dans le deuxième mode de réalisation, au niveau préliminaire de l'étape de malaxage (S33), en premier, dans l'étape de séchage (S31), l'adsorbant inorganique 11 est séché par l'unité de séchage d'adsorbant 20h.

Par exemple, si l'adsorbant inorganique 11 est entièrement séché, une différence sur la teneur en eau de l'adsorbant inorganique 11 avant le malaxage n'affecte pas une teneur en eau du corps malaxé 13 après le malaxage.

15 L'adsorbant inorganique 11 séché est collecté dans la trémie d'adsorbant 31 et délivré au dispositif de malaxage 14, par quantité fixe à la fois, par la vanne de trémie 31a (31).

Si l'eau 27 et l'agent de moulage 12 sont délivrés à l'adsorbant inorganique 11 par quantité fixe à la fois (S32), il est possible de régler de manière précise un rapport d'alimentation des composants du corps malaxé 13 avant le malaxage.

20 Selon l'étape de réglage, il est possible de régler précisément la teneur en eau du corps malaxé 13 avant le malaxage. Par conséquent, il n'est pas nécessaire de placer l'unité de mesure 20a (figure 2) dans le dispositif de malaxage 14.

En outre, il est possible de régler la teneur en eau avec une commande 25 uniforme indépendante d'une quantité d'humidité de l'adsorbant inorganique 11 avant l'étape de réglage.

Toutefois, un tel réglage peut être mis en œuvre en plus de l'unité de mesure 20a agencée dans le dispositif de malaxage 14.

30 On peut noter que, dans l'étape de séchage (S31), comme dans l'étape de séchage de corps coupé (S21), il est désirable d'utiliser la chaleur spontanée sur la base de la désintégration nucléaire des radionucléides contenus dans l'adsorbant

inorganique 11.

Naturellement, comme dans le dispositif de séchage 28, l'unité de séchage d'adsorbant 20h peut être chauffée par un second dispositif de chauffage 57 afin de commander la température de l'unité de séchage d'adsorbant 20h en plus de la chaleur spontanée.

On peut noter que, dans le deuxième mode de réalisation, une structure et un procédé de fonctionnement sont identiques aux structure et procédé de fonctionnement dans le premier mode de réalisation, à l'exception que l'étape de réglage implique l'étape d'alimentation proportionnelle (S32) et l'étape de séchage (S31). Par conséquent, des explications redondantes sur la structure et le procédé de fonctionnement sont omises.

Sur les figures, des composants présentant les mêmes configurations ou fonctions sont désignés par les mêmes signes et références numériques et des explications redondantes sur les composants sont omises.

Les étapes à partir d'une étape de moulage (S34) jusqu'à une étape de cuisson (S37) sur la figure 8 sont identiques aux étapes à partir de l'étape de moulage (S19) jusqu'à l'étape de cuisson (S22) dans le premier mode de réalisation.

De cette manière, avec le procédé de fabrication selon le deuxième mode de réalisation, en plus des effets du premier mode de réalisation, il est possible de produire le corps malaxé 13 présentant une teneur en eau précise sans contrôle et réglage de la teneur en eau du corps malaxé 13 dans l'étape de malaxage (S33).

En outre, il est possible de régler la teneur en eau avec une commande uniforme indépendamment d'un niveau d'humidité de l'adsorbant inorganique 11 avant l'étape de réglage.

En résultat, une défaillance ou inspection de l'unité de mesure 20a (figure 2) n'a pas à être prise en compte et le procédé de fabrication est simplifié. Par conséquent, il est possible d'exécuter facilement le procédé de fabrication dans un dispositif de traitement continu.

Un troisième mode de réalisation va maintenant être décrit.

La figure 10 est un schéma de configuration simplifié du dispositif de

fabrication 10 selon un troisième mode de réalisation.

Dans un procédé de fabrication selon le troisième mode de réalisation, l'hydrogène produit est éliminé dans au moins une étape parmi l'étape de séchage (S31), l'étape de malaxage (S12 à S18 et S33), l'étape de moulage (S19 et S34), 5 l'étape de séchage de corps coupé (S21 et S36) et l'étape de cuisson (S22 et S37) dans le premier mode de réalisation ou le deuxième mode de réalisation.

L'adsorbant inorganique 11 ou le corps malaxé 13 dans l'unité de séchage d'adsorbant 20h, le dispositif de malaxage 14, le dispositif de moulage par extrusion 18, le dispositif de séchage 28 et le four de cuisson 23 contiennent de 10 l'humidité.

L'humidité peut être décomposée par la radioactivité des radionucléides adsorbés par l'adsorbant inorganique 11 et produit de l'hydrogène à l'intérieur du dispositif de malaxage 14.

Toutefois, sur l'ensemble de l'unité de séchage d'adsorbant 20h, du dispositif 15 de malaxage 14, du dispositif de moulage par extrusion 18, du dispositif de séchage 28 et du four de cuisson 23, dans le but d'empêcher la dispersion des radionucléides, les parties d'ouverture sont fermées au cours de leur fonctionnement.

Par conséquent, l'hydrogène produit est retenu en partie haute à l'intérieur de 20 ces éléments.

Dans le but d'empêcher l'explosion de l'hydrogène retenu en partie haute et de densité croissante, comme cela est montré sur la figure 10, des tuyauteries d'évacuation 25 sont agencées pour ces éléments.

Les tuyauteries d'évacuation 25 sont raccordées à une unité d'extraction 25 d'hydrogène 48 telle qu'un catalyseur d'absorption en platine, palladium, ou analogue qui élimine l'hydrogène circulant à travers les tuyauteries d'évacuation 25.

En outre, un orifice d'évacuation de l'unité d'extraction de l'hydrogène 48 est raccordé à l'unité d'extraction de radionucléides 49 qui adsorbe des 30 radionucléides.

L'unité d'extraction de radionucléides 49 est, par exemple, un filtre HEPA

ou un filtre à charbon formé de charbon actif.

Avec l'unité d'extraction d'hydrogène 48 et l'unité d'extraction de radionucléides 49, il est possible d'empêcher l'explosion du dispositif de malaxage 14 du fait de l'hydrogène sans disperser les radionucléides à l'extérieur des éléments.

La figure 11 est une vue en coupe schématique montrant un exemple de l'agencement du dispositif de malaxage 14 et des tuyauteries d'évacuation 25 dans le dispositif de moulage par extrusion 18.

Les atomes d'hydrogène sont légers. L'hydrogène gazeux s'élève et est retenu en partie haute à proximité des surfaces supérieures des éléments.

Par conséquent, comme cela est montré sur la figure 11, les tuyauteries d'évacuation 25 sont, de préférence, agencées sur les surfaces supérieures ou sur une partie aussi élevée que possible d'une partie en phase gazeuse.

Des vannes d'évacuation 58 agencées sur la tuyauterie d'évacuation 25 sont ouvertes au cours du fonctionnement des éléments respectifs tel que le malaxage. L'hydrogène est déchargé ensemble avec d'autres gaz.

On peut noter que les tuyauteries d'évacuation 25 ne sont pas limitées à être intégrées dans une unité d'extraction d'hydrogène 48 montrée sur la figure 10 et peuvent être agencées indépendamment les unes des autres.

Des unités d'extraction d'hydrogène 48 et des unités d'extraction de radionucléides 49 peuvent être agencées sur les tuyauteries d'évacuation 25 respectives.

Des pompes d'évacuation 53 qui évacuent de manière forcés le gaz dans les parties internes du dispositif de malaxage 14 peuvent être agencées dans les tuyauteries d'évacuation 25 respectives.

Lorsque, par exemple, l'intérieur du dispositif de malaxage 14 est dépressurisé par la pompe d'évacuation 53, le mélange de gaz dans le corps malaxé 13 par le malaxage peut aussi être supprimé.

En supprimant le mélange du gaz, il est plus facile d'éliminer les bulles d'air dans le dispositif de moulage par extrusion 18 expliquée de manière détaillée dans un quatrième mode de réalisation.

Lorsqu'une quantité produite d'hydrogène est importante, il est possible d'évacuer de manière sûre l'hydrogène retenu en partie haute.

On peut noter que, dans le troisième mode de réalisation, une structure et un procédé de fabrication sont identiques à la structure et au procédé de fabrication 5 dans le premier mode de réalisation ou le deuxième mode de réalisation à l'exception que l'hydrogène est extrait dans les étapes et les éléments par la tuyauterie d'évacuation 25 et l'unité d'extraction d'hydrogène 48. Par conséquent, des explications redondantes sur la structure et le procédé de fabrication sont omises.

10 Sur les figures, des composants présentant les mêmes configurations ou fonctions sont désignés par les mêmes références numériques et signes et des explications redondantes sur les composants sont omises.

15 Comme cela a été décrit précédemment, avec le procédé de fabrication ou le dispositif de fabrication 10 selon le troisième mode de réalisation, en plus des effets du premier mode de réalisation et analogue, il est possible d'empêcher l'explosion du fait de l'hydrogène produit au cours des étapes.

Par la dépressurisation de l'intérieur du dispositif de malaxage 14 avec la tuyauterie d'évacuation 25, il est possible de réduire le mélange de bulles d'air dans le corps malaxé 13.

20 Un quatrième mode de réalisation va maintenant être décrit.

La figure 12 est une vue en coupe transversale agrandie du dispositif de malaxage 14 et du dispositif de fabrication 10 selon un quatrième mode de réalisation et de différents éléments raccordés au dispositif de malaxage 14.

25 Le dispositif de fabrication 10 selon le quatrième mode de réalisation comporte, comme cela est montré sur la figure 12, sur le réservoir creux 15, une tuyauterie d'admission 39 sur laquelle une pompe à vide 33 est agencée.

La tuyauterie d'admission 39 peut être utilisée en tant que tuyauterie d'évacuation 25 comme cela est montré sur la figure 12.

30 Toutefois, la pompe à vide 33 est agencée sur la tuyauterie d'admission 39. L'intérieur du réservoir creux 15 est plus sûrement dépressurisé par la pompe à vide 33 que l'autre tuyauterie d'évacuation 25.

Lorsque le corps malaxé 13 est introduit dans le réservoir creux 15, l'entrée 34 du réservoir creux 15 est obturée par la section de couvercle 21. La partie creuse du réservoir creux 15 est scellée.

La partie creuse est dépressurisée pratiquement jusqu'au vide par la pompe à 5 vide 33 et le moulage par extrusion est mis en œuvre.

Par le moulage du corps malaxé 13 sous une atmosphère dépressurisée, les fines bulles d'air contenues dans le corps malaxé 13 sont éliminées.

On peut noter que, dans le quatrième mode de réalisation, une structure et 10 un procédé de fabrication sont identiques à la structure et au procédé de fabrication des premier mode de réalisation à troisième mode de réalisation à l'exception que l'intérieur du réservoir creux 15 est dépressurisé par la tuyauterie d'admission 39 et la pompe à vide 33. Par conséquent, des explications redondantes sur la structure et le procédé de fabrication sont omises.

Sur les figures, des composants présentant les mêmes configurations ou 15 fonctions sont désignés par les mêmes références numériques et signes de référence et des explications redondantes sur les composants sont omises.

Comme cela a été décrit précédemment, avec le dispositif de fabrication 10 selon le quatrième mode de réalisation, puisque les bulles d'air sont éliminées, en plus des effets du premier mode de réalisation, il est possible de réduire le volume 20 du corps moulé par extrusion 13a, moulé en extrudant le corps malaxé 13. En outre, il est possible de supprimer la fissuration.

Un premier exemple va maintenant être décrit.

Un exemple se rapportant au corps de déchets radioactifs solidifié 13c selon un mode de réalisation va être expliqué en se référant à la figure 13.

25 La figure 13 est un tableau montrant des données expérimentales obtenues lors de la fabrication du corps solidifié 13c par malaxage de l'agent de moulage 12, qui est de la bentonite, avec l'adsorbant inorganique 11.

Une table A sur la figure 13 représente des données expérimentales obtenues lorsque de la chabazite est utilisée en tant que composant principal de 30 l'adsorbant inorganique 11.

En premier, l'adsorbant inorganique 11 contenant de la chabazite en tant que

composant principal est séché jusqu'à ce qu'une teneur en eau diminue à 0 %.

De la bentonite pour 5 % environ de l'adsorbant inorganique 11 et de l'eau 27 pour 40% environ de la masse totale de l'adsorbant inorganique 11 sont ajoutés à l'adsorbant inorganique 11. L'adsorbant inorganique 11 auquel est ajouté la 5 bentonite et l'eau 27 est malaxé par le dispositif de malaxage 14 pendant dix minutes environ afin de fabriquer le corps malaxé 13.

Une teneur en humidité du corps malaxé 13 après le malaxage est de 35% environ.

Ensuite, l'orifice de moulage rectangulaire 17 dont les dimensions sont de 10 15×36 mm est fixé sur le dispositif de moulage par extrusion 18. Le corps malaxé 13 de 5 kg environ est placé dans le dispositif de moulage par extrusion 18.

La vitesse d'extrusion est réglée à 30 mm/mn. Le corps malaxé 13 est moulé par extrusion à partir de l'orifice de moulage 17 pendant qu'il est malaxé par une vis.

15 Le corps moulé par extrusion 13a en forme de barre plate continue présentant un plan de coupe dont les dimensions sont de 15×36 mm est obtenu par moulage par extrusion.

20 Le corps moulé par extrusion 13a est coupé par l'unité de coupe 22 suivant un intervalle de 200 mm de long afin d'obtenir le corps coupé 13b présentant les dimensions de 15×36×200 mm.

Le corps coupé 13b est maintenu dans un four électrique, dans lequel l'atmosphère est composée d'air, à 900°C pendant trois heures et cuit.

En résultat, les dimensions du corps solidifié cuit 13c sont de 11×27×190 mm, un rapport de réduction de volume (= volume du corps solidifié cuit 25 13c/volume de poudre de matériau) du corps solidifié 13c est égal à 0,39, la densité du corps solidifié 13c est égale à 2,4 g/cm³ et un niveau de volatilisation du Cs 137 est inférieur ou égal à 0,01 % (non détecté).

30 L'ensemble des trois échantillons d'essai prélevés à partir du corps solidifié 13c indiquent une résistance à la compression mesurée supérieure ou égale à 50 MPa. Une augmentation de la résistance du fait de la solidification est confirmée.

Un deuxième exemple va maintenant être décrit.

La même démonstration expérimentale est mise en œuvre pour l'adsorbant inorganique 11 contenant du titanate de silicium cristallin en tant que composant principal. Des résultats indiqués par une table B de la figure 13 sont obtenus.

5 Toutefois, une quantité de bentonite, qui est l'agent de moulage 12, est définie à 30 % environ de l'adsorbant inorganique 11.

Ceci est dû au fait que, puisque le titanate de silicium cristallin présente une faible viscosité par comparaison à la chabazite, une quantité plus importante de bentonite est ajoutée afin d'empêcher une fissuration sur le moulage par extrusion.

10 Dans le but d'empêcher une fissuration sur le moulage par extrusion, le plan de coupe est conçu de manière à présenter une forme carrée de 25×25 mm.

Ceci est dû au fait que, en formant la plaque de coupe de forme carrée, par comparaison à une charge appliquée lorsque la plaque de coupe est réalisée d'une forme rectangulaire, une charge est appliquée de manière isotropique et une fissuration peut se produire.

15 On peut noter que des conditions sélectionnées autres que les conditions expliquées précédemment sont définies de manière identique aux conditions sélectionnées pour l'expérimentation mise en œuvre avec l'adsorbant inorganique 11 contenant de la chabazite en tant que composant principal.

C'est-à-dire qu'une durée de malaxage est réglée à dix minutes, une teneur 20 en humidité du corps malaxé 13 après le malaxage est réglée à 35% environ, une quantité du corps malaxé 13 introduite dans le dispositif de moulage par extrusion 18 est réglée à 5 kg, une vitesse d'extrusion est réglée à 30 mm/mn, le corps coupé 13b est fabriqué avec une longueur de coupe réglée à 200 mm, et le corps coupé 13b est maintenu dans un four électrique, dans lequel l'atmosphère est composée 25 d'air, à 900°C pendant trois heures.

En résultat, les dimensions du corps solidifié 13c sont de 19×19×150 mm, la densité du corps solidifié 13c est égale à 2,1 g/cm³, un rapport de réduction de volume du corps solidifié 13c sur le matériau pulvérulent est égal à 0,56, et un niveau de volatilisation du Cs 137 est inférieur ou égal à 0,01 % (non détecté).

30 L'ensemble des trois échantillons d'essai prélevés à partir du corps solidifié 13c indiquent une résistance à la compression mesurée supérieure ou égale à 50

MPa. Une augmentation de la résistance du fait de la solidification est confirmée.

Il est vérifié d'après l'exemple 1 et l'exemple 2 décrits précédemment que, dans le corps moulé par extrusion 13a fabriqué en ajoutant de la bentonite à l'adsorbant inorganique 11 contenant de la chabazite ou du titanate de silicium cristallin en tant que composant principal, une réduction sur le volume de même qu'une réduction sur le rapport de réduction de volume et une augmentation de la densité sont observés et la résistance à la compression augmente à une valeur supérieure ou égale à 50 MPa.

Un troisième exemple va maintenant être décrit.

10 Comme cela est montré sur la figure 14, un exemple dans lequel l'adsorbant inorganique 11 est de la chabazite et du titanate de silicium cristallin et l'agent de moulage 12 est du kaolin est représenté.

15 Comme la bentonite, le kaolin est facilement et économiquement disponible, est peu probablement sujet à une décomposition par radiation, et peut être utilisé de manière appropriée pour la fabrication du corps solidifié 13c à base des déchets radioactifs.

La figure 14 est un tableau montrant des données expérimentales obtenues lors de la fabrication du corps solidifié 13c par malaxage de l'agent de moulage 12, qui est du kaolin, avec un adsorbant inorganique 11.

20 Une table C et une table D sur la figure 14 sont des données expérimentales obtenues respectivement lorsque de la chabazite et du titanate de silicium cristallin sont utilisés en tant qu'adsorbant inorganique 11.

25 On peut noter que, dans l'exemple 2, une structure et un procédé de fabrication sont identiques à la structure et au procédé de fabrication de l'exemple 1, excepté que l'agent de moulage 12 est du kaolin et le rapport de mélange du kaolin est défini à une valeur supérieure au rapport de mélange de la bentonite. Par conséquent, des explications redondantes sont omises.

30 Des parties présentant les mêmes configurations ou fonctions expliquées en se référant à la figure sont désignées par des références numériques et signes identiques aux références numériques et signes des parties expliquées en se référant à la figure 13.

En premier, les données expérimentales de la table C montrée sur la figure 14 vont être expliquées.

Du kaolin pour 30 % environ de l'adsorbant inorganique 11 et une quantité appropriée de l'eau 27 sont ajoutés à l'adsorbant inorganique 11 contenant de la 5 chabazite en tant que composant principal. L'adsorbant inorganique 11 ajouté au kaolin et à l'eau 27 est malaxé par le dispositif de malaxage 14 pendant dix minutes environ afin de fabriquer le corps malaxé 13.

Une teneur en humidité du corps malaxé 13 après le malaxage est égale à 29 % environ.

10 Ensuite, l'orifice de moulage rectangulaire 17 dont les dimensions sont de 50×100 mm est fixé sur le dispositif de moulage par extrusion 18. Le corps malaxé 13 de 20 kg environ est introduit dans le dispositif de moulage par extrusion 18.

15 La vitesse d'extrusion est réglée à 30 mm/mn. Le corps malaxé 13 est moulé par extrusion à partir de l'orifice de moulage 17 pendant qu'il est malaxé par une vis.

20 Le corps moulé par extrusion en forme de barre plate continue 13a présentant un plan de coupe dont les dimensions sont de 50×100 mm est obtenu par moulage par extrusion. Le corps moulé par extrusion 13a est coupé par l'unité de coupe 22 suivant un intervalle de 200 mm environ de long afin d'obtenir le corps moulé par extrusion 13a dont les dimensions sont de 50×100×200 mm.

Le corps moulé par extrusion fabriqué 13a est maintenu dans un four électrique, dans lequel l'atmosphère est composée d'air, à 900°C pendant trois heures et cuit.

25 En résultat, les dimensions du corps solidifié 13c sont de 49×98×196 mm, un rapport de réduction de volume du corps solidifié 13c est égal à 0,67, la densité du corps solidifié 13c est égale à 2,07 g/cm³, et un niveau de volatilisation du Cs 137 est inférieur ou égal à 0,01 % (non détecté).

30 L'ensemble des trois échantillons d'essai prélevés à partir du corps solidifié 13c indiquent une résistance à la compression mesurée supérieure ou égale à 50 MPa. Une augmentation de la résistance du fait de la solidification est confirmée.

On peut noter une différence par rapport aux données expérimentales du mode de réalisation montré sur la table A de la figure 13 qui est qu'une quantité du kaolin ajoutée est importante, avec 30%, par comparaison à la quantité de bentonite ajoutée à l'adsorbant inorganique 11.

5 Ceci indique que le kaolin présente une faible viscosité par comparaison à la bentonite. En fonction d'une augmentation de l'agent de moulage 12 à ajouter, le rapport de réduction de volume après la cuisson est légèrement supérieur à 0,67.

Toutefois, le rapport de réduction de volume est inférieur ou égal à 1,0, ce qui est une valeur normalement admise.

10 Le plan de coupe est défini avec des dimensions de 50×100 mm. Le corps moulé par extrusion 13a est coupé par la lame de coupe 22a de l'unité de coupe 22 à une longueur de 200 mm. Des dimensions du corps moulé par extrusion 13a sont définies à 50×100×200 mm.

15 Les dimensions peuvent être déterminées librement tant que les dimensions restent inférieures ou égales aux dimensions de 50×100×200 mm. Une différence due aux dimensions affecte difficilement le résultat de l'expérimentation.

Un quatrième exemple va maintenant être décrit.

La même démonstration expérimentale est mise en œuvre pour l'adsorbant inorganique 11 contenant du titanate de silicium cristallin en tant que composant 20 principal. Des résultats indiqués par la table D de la figure 14 sont obtenus.

Toutefois, une quantité de kaolin est définie à 60 % environ de l'adsorbant inorganique 11.

Ceci est dû au fait que, puisque le titanate de silicium cristallin présente une 25 faible viscosité par comparaison à la chabazite, une quantité plus importante de kaolin est ajoutée afin d'empêcher une fissuration sur la pièce de moulage par extrusion.

Pour les mêmes raisons, une quantité d'humidité due à l'eau ajoutée est relativement importante à 32 %.

On peut noter que des conditions de réglage autres que les conditions de 30 réglage expliquées précédemment sont définies à des valeurs identiques aux conditions de réglage de l'expérimentation mise en œuvre pour l'adsorbant

inorganique 11 contenant de la chabazite en tant que composant principal.

C'est-à-dire, qu'une durée de malaxage est définie à dix minutes, une teneur en humidité du corps malaxé 13 après le malaxage est définie à 35%, une quantité du corps malaxé 13 placé dans le dispositif de moulage par extrusion 18 est défini 5 à 20 kg, la vitesse d'extrusion est définie à 30 mm/minute, le corps moulé par extrusion 13a est fabriqué avec les dimensions de 50×100×200 mm, et le corps moulé par extrusion 13a est maintenu dans un four électrique, dans lequel l'atmosphère est composée d'air, à 900°C pendant trois heures.

En résultat, les dimensions du corps solidifié 13c sont de 44×88×176 mm, la 10 densité du corps solidifié 13c est égale à 1,68 g/cm³, un rapport de réduction de volume du corps solidifié 13c est égal à 1,0 et un niveau de volatilisation du Cs 137 est inférieur ou égal à 0,01 % (non détecté).

L'ensemble des trois échantillons d'essai prélevés à partir du corps solidifié 13c indiquent une résistance à la compression mesurée supérieure ou égale à 50 15 MPa. Une augmentation de la résistance du fait de la solidification est confirmée.

Il est vérifié, à partir de l'exemple 3 et de l'exemple 4 décrits précédemment, que même lorsque le kaolin est l'agent de moulage 12, des effets équivalents aux effets obtenus lorsque la bentonite est l'agent de moulage 12 dans le mode de réalisation sont obtenus.

20 Il est vérifié, selon les modes de réalisation décrits précédemment, que le corps solidifié 13c fabriqué par les procédés de fabrication selon les modes de réalisation présente une résistance en pression et un rapport de réduction de volume suffisant pour permettre un stockage à long terme et que le Cs 137 ne se volatilise pas au cours de la fabrication.

25 Plusieurs modes de réalisation ont été expliquées précédemment. Les modes de réalisation sont toutefois présentés comme des exemples et ne sont pas destinés à limiter la portée de l'invention.

Les modes de réalisation peuvent être mis en œuvre sous d'autres formes 30 différentes. Différents remplacements, omissions, changements, et associations des modes de réalisation peuvent être mis en œuvre sans s'écartez de l'esprit de l'invention.

Les modes de réalisation et variantes des modes de réalisation sont contenus dans la portée et l'esprit de l'invention et sont intégrés dans la description précédente de l'invention.

5 Avec le procédé de fabrication selon au moins l'un des modes de réalisation décrits précédemment, il est possible de mettre en œuvre une mise en décharge finale stable de grandes quantités de radionucléides suivant un processus simple. En outre, il est possible de fabriquer le corps solidifié 13c à base de radionucléides tout en supprimant la volatilisation des radionucléides au cours de la fabrication du corps solidifié 13c.

10 Avec le dispositif de fabrication 10 selon au moins l'un des modes de réalisation décrits précédemment, il est possible d'assurer la mise en œuvre de manière efficace du procédé de fabrication.

15 Alors que certains modes de réalisation ont été décrits, ces modes de réalisation ont été présentés uniquement à titre d'exemple, et ne doivent pas être considérés comme limitant la portée de l'invention. Evidemment, les nouveaux modes de réalisation décrits ici peuvent être mis en œuvre suivant une variété d'autres formes ; en outre, différents changements, omissions et substitutions sur la forme des modes de réalisation décrits ici peuvent être réalisés sans s'écartez de l'esprit de l'invention.

REVENDICATIONS

1. Procédé de fabrication d'un corps de déchets radioactifs solidifié
5 comprenant :

une étape de malaxage (S12 à S18) destinée à assurer le malaxage, ensemble, avec un agent de moulage, d'un adsorbant inorganique qui a adsorbé des radionucléides afin de produire un corps malaxé ;

10 une étape de réglage (S14 à S17) destinée à régler une teneur en eau du corps malaxé de manière à la régler dans une plage préterminée ;

une étape de moulage (S19) destinée à assurer le moulage du corps malaxé par extrusion ;

une étape de coupe (S20) destinée à assurer la coupe, suivant un intervalle spécifié, du corps malaxé extrudé en une forme de barre ; et

15 une étape de cuisson (S22) destinée à assurer la cuisson du corps malaxé coupé en un corps solidifié.

2. Procédé de fabrication du corps de déchets radioactifs solidifié selon la revendication 1, dans lequel l'étape de réglage est mise en œuvre ensemble avec le malaxage dans l'étape de malaxage.

20 3. Procédé de fabrication du corps de déchets radioactifs solidifié selon la revendication 1 ou 2, dans lequel l'étape de réglage comporte :

une étape de séchage destinée à sécher l'adsorbant inorganique à un stade préalable de l'étape de malaxage ; et

25 une étape d'alimentation proportionnelle destinée à délivrer l'adsorbant inorganique sec, l'eau et l'agent de moulage suivant un rapport fixe.

4. Procédé de fabrication du corps de déchets radioactifs solidifié selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, comprenant, en outre, une étape de séchage de corps coupé (S21) destinée à sécher le corps malaxé coupé dans l'étape de coupe.

30 5. Procédé de fabrication du corps de déchets radioactifs solidifié selon la revendication 4, dans lequel, dans au moins une de l'étape de séchage et

de l'étape de séchage de corps coupé, l'adsorbant inorganique ou le corps malaxé est séché par la chaleur spontanée basée sur la désintégration nucléaire des radionucléides contenus dans l'adsorbant inorganique.

6. Procédé de fabrication du corps de déchets radioactifs solidifié
5 selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel l'étape de moulage est mise en œuvre sous une atmosphère dépressurisée.

7. Procédé de fabrication du corps de déchets radioactifs solidifié
selon la revendication 4, dans lequel l'hydrogène produit est extrait dans au moins
une étape parmi l'étape de séchage, l'étape de malaxage, l'étape de moulage,
10 l'étape de séchage de corps coupé et l'étape de cuisson.

8. Procédé de fabrication du corps de déchets radioactifs solidifié
selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel au moins l'un du
poids, d'une dose de radiation superficielle et d'une dose de radiation de corps
solidifié du corps solidifié cuit et stocké dans un conteneur de stockage est
15 mesuré.

9. Dispositif de fabrication (10) d'un corps de déchets radioactifs
solidifié (13c) comprenant :

un dispositif de malaxage (14) destiné à malaxer un adsorbant inorganique
(11) qui a adsorbé des radionucléides et un agent de moulage (12) afin de produire
20 d'un corps malaxé (13) ;

une unité de réglage (20) afin d'assurer le réglage d'une quantité d'eau (27) à
malaxer ensemble avec l'adsorbant inorganique et l'agent de moulage ;

un réservoir creux (15) qui comporte un orifice de moulage (17) et stocke le
corps malaxé ;

25 une unité d'extrusion (16) qui extrude le corps malaxé à partir de l'orifice de
moulage et moule le corps malaxé ;

une unité de coupe (22) qui coupe, suivant un intervalle spécifié, le corps
malaxé extrudé sous une forme de barre ; et

30 un four de cuisson (23) afin d'assurer la cuisson du corps malaxé coupé en
un corps solidifié.

10. Dispositif de fabrication (10) d'un corps de déchets radioactifs

solidifié selon la revendication 9, dans lequel l'unité de réglage comporte une unité de mesure (20a) qui mesure une teneur en eau du corps malaxé dans le dispositif de malaxage.

11. Dispositif de fabrication (10) d'un corps de déchets radioactifs
5 solidifié selon la revendication 9 ou 10, dans lequel l'unité de réglage est une unité de séchage d'adsorbant (20h) afin d'assurer le séchage de l'adsorbant inorganique avant qu'il soit délivré au dispositif de malaxage.

12. Dispositif de fabrication (10) d'un corps de déchets radioactifs solidifié selon l'une quelconque des revendications 9 à 11, comprenant, en outre, 10 un dispositif de séchage (28) afin d'assurer le séchage du corps malaxé coupé.

13. Dispositif de fabrication (10) d'un corps de déchets radioactifs solidifié selon la revendication 12, dans lequel au moins l'un du dispositif de séchage et du four de cuisson comporte un bras de robot (41) qui empile les corps malaxés coupés.

15 14. Dispositif de fabrication (10) d'un corps de déchets radioactifs solidifié selon la revendication 12 ou 13, comprenant, en outre, un convoyeur (42a) agencé dans au moins une section parmi les sections agencées entre le dispositif de malaxage et l'unité d'extrusion, entre l'unité d'extrusion et le dispositif de séchage et entre le dispositif de séchage et le four de cuisson, le 20 convoyeur assurant le transfert du corps malaxé.

1/14

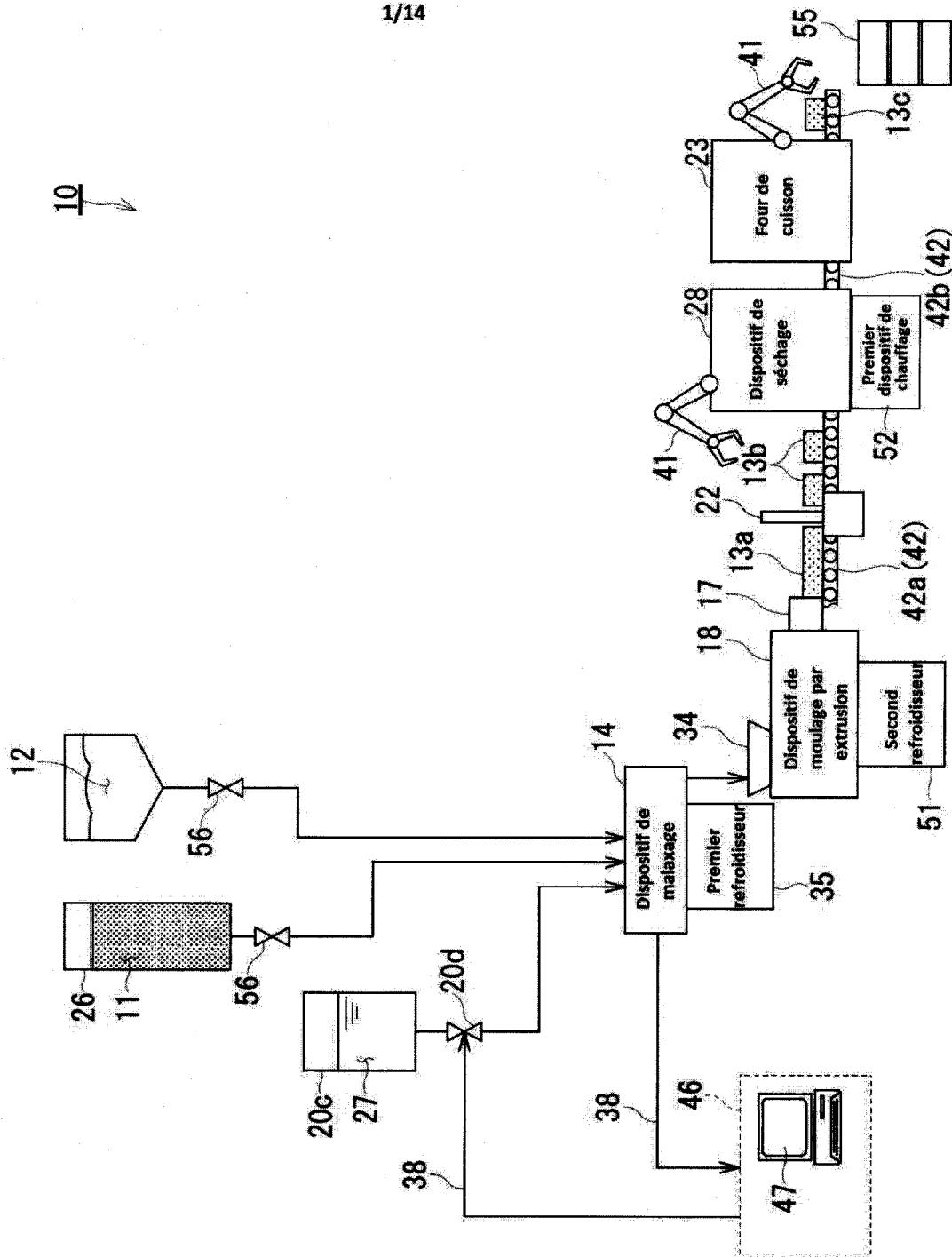


FIGURE 1

2/14

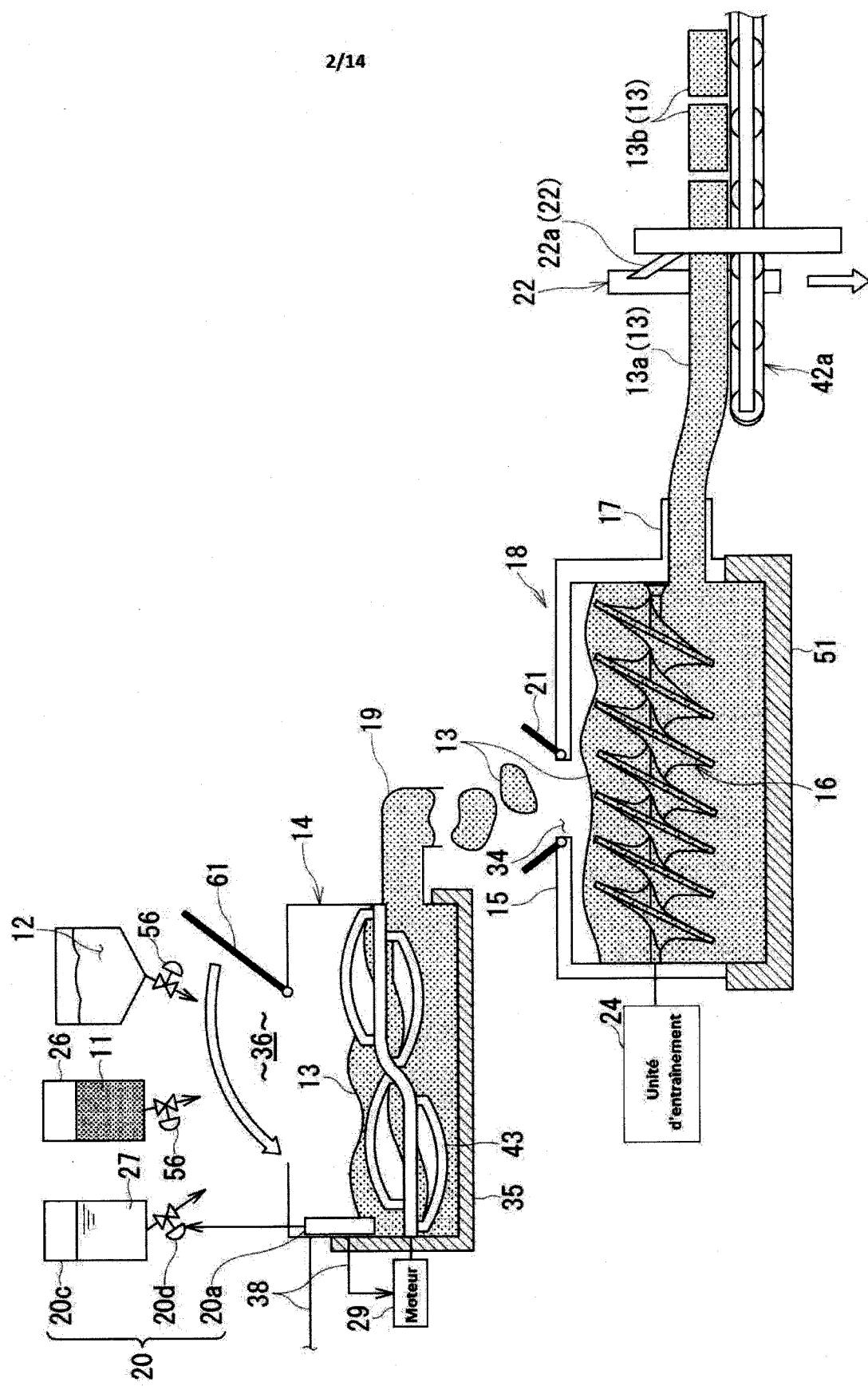


FIGURE 2

3/14

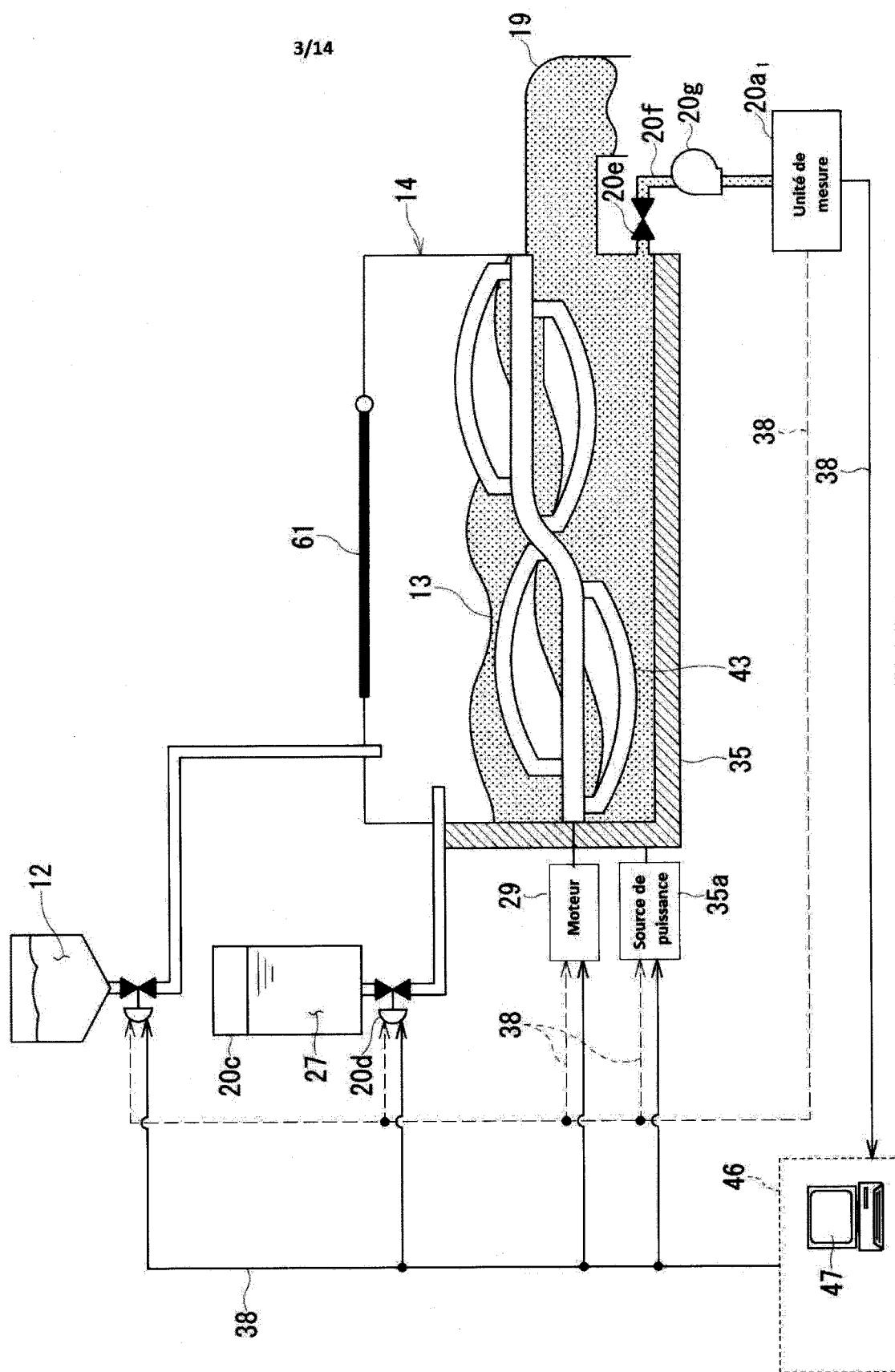


FIGURE 3

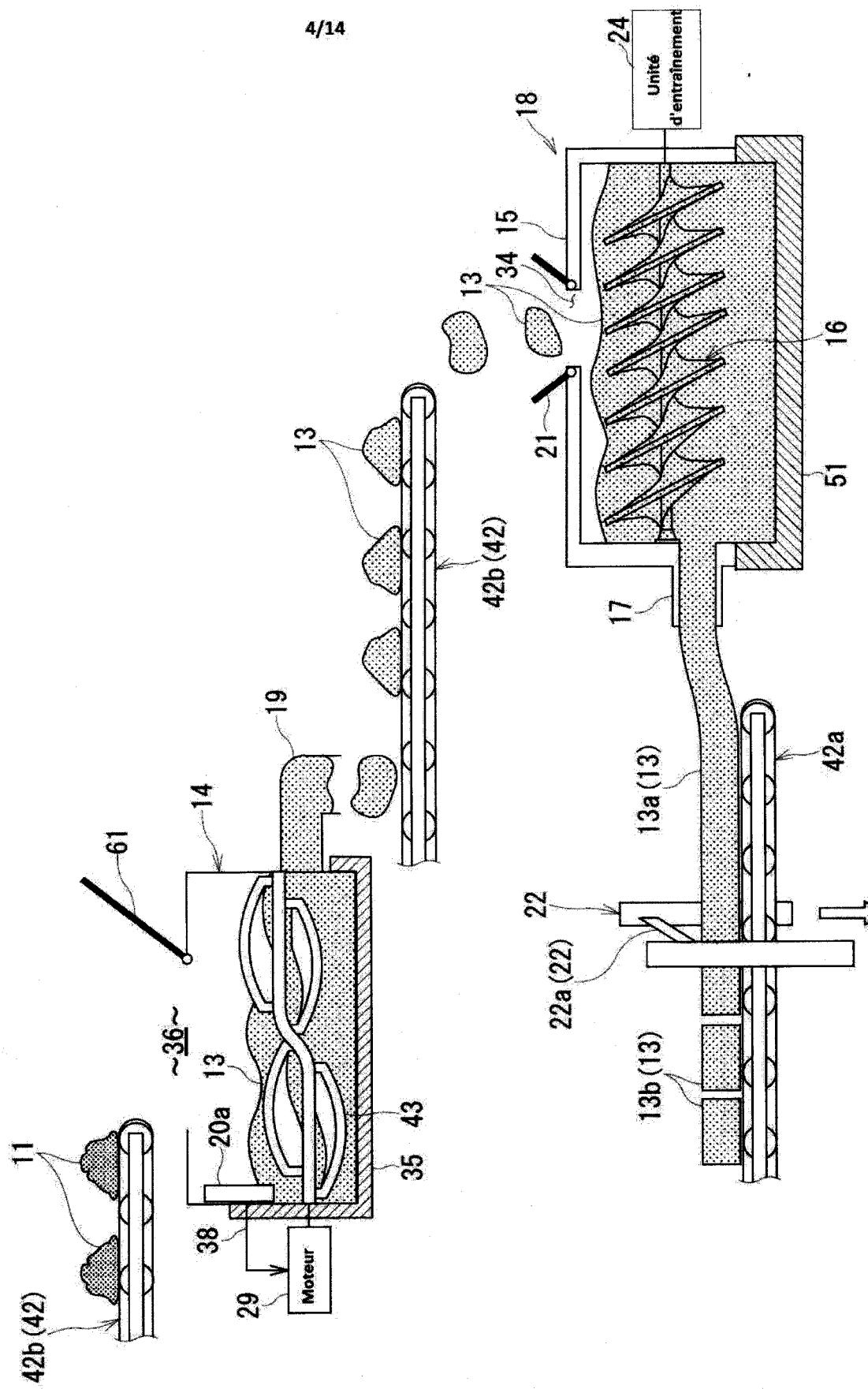


FIGURE 4

5/14

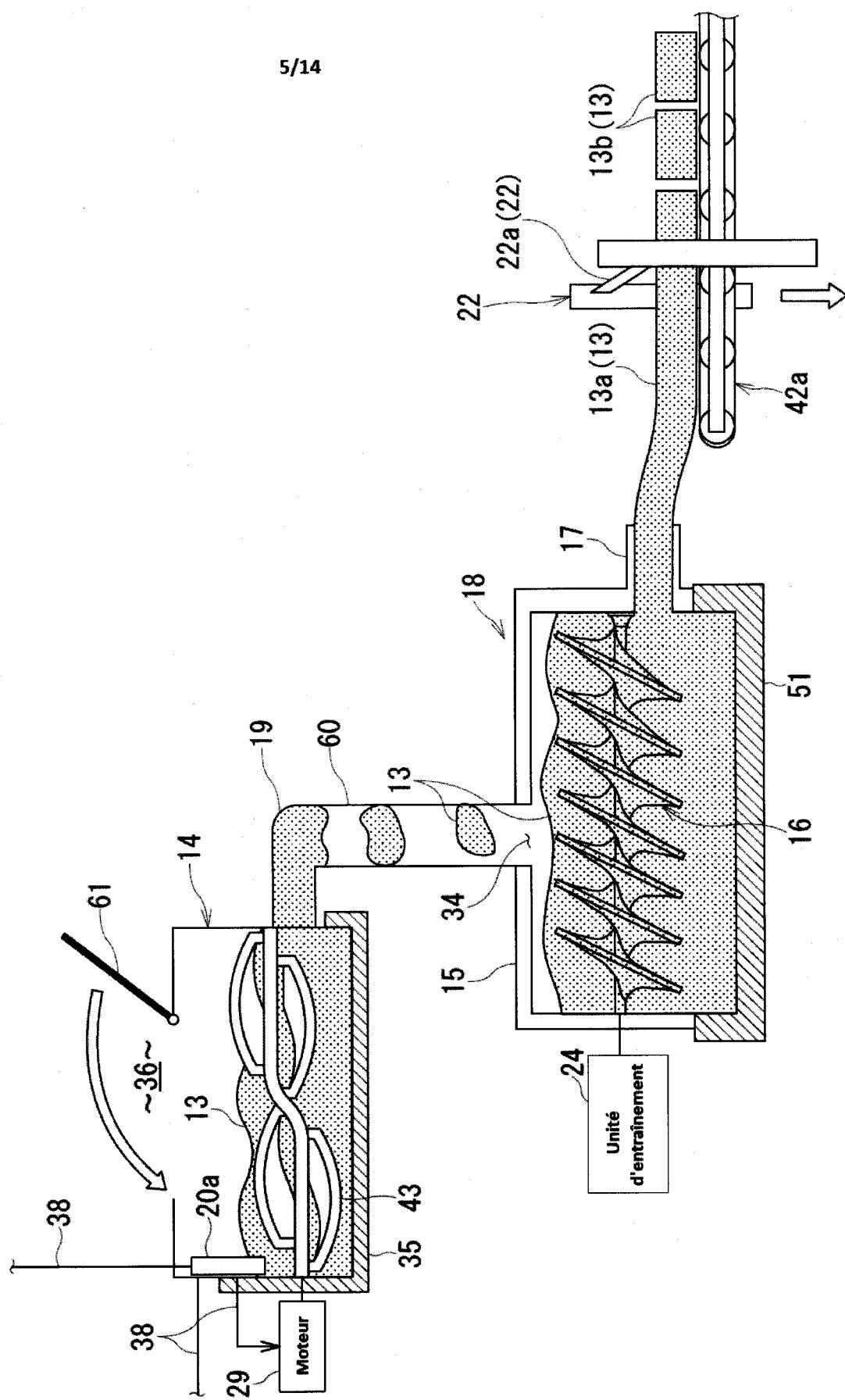
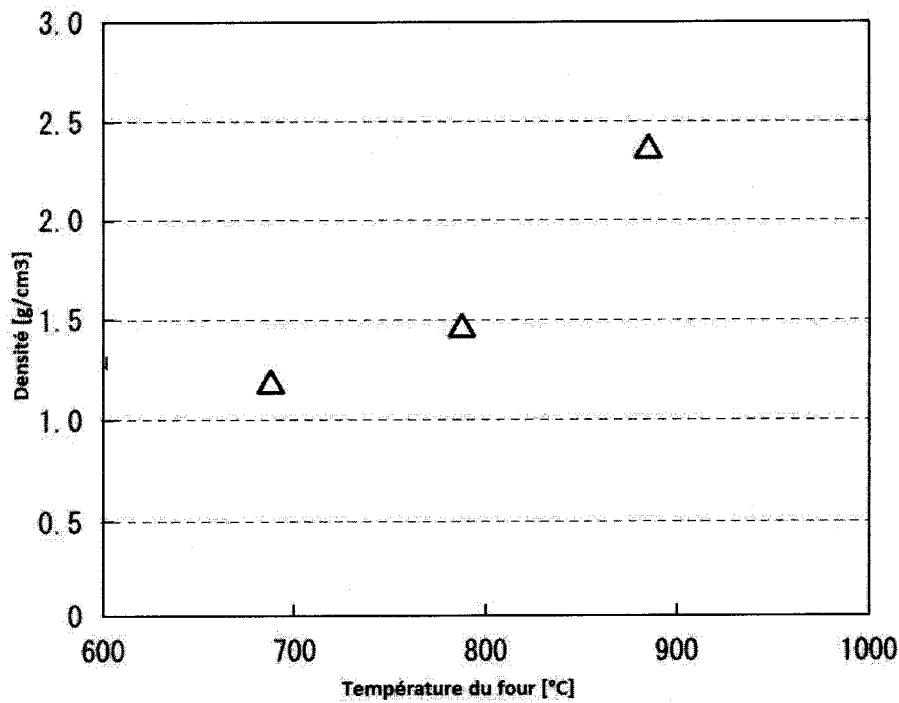
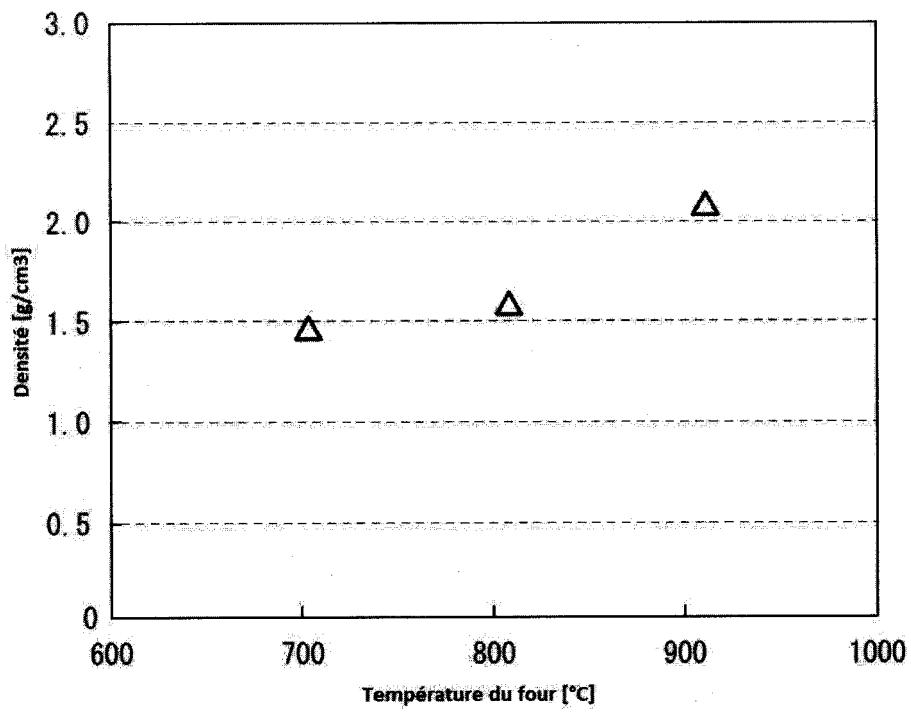


FIGURE 5

6/14

**FIGURE 6A****FIGURE 6B**

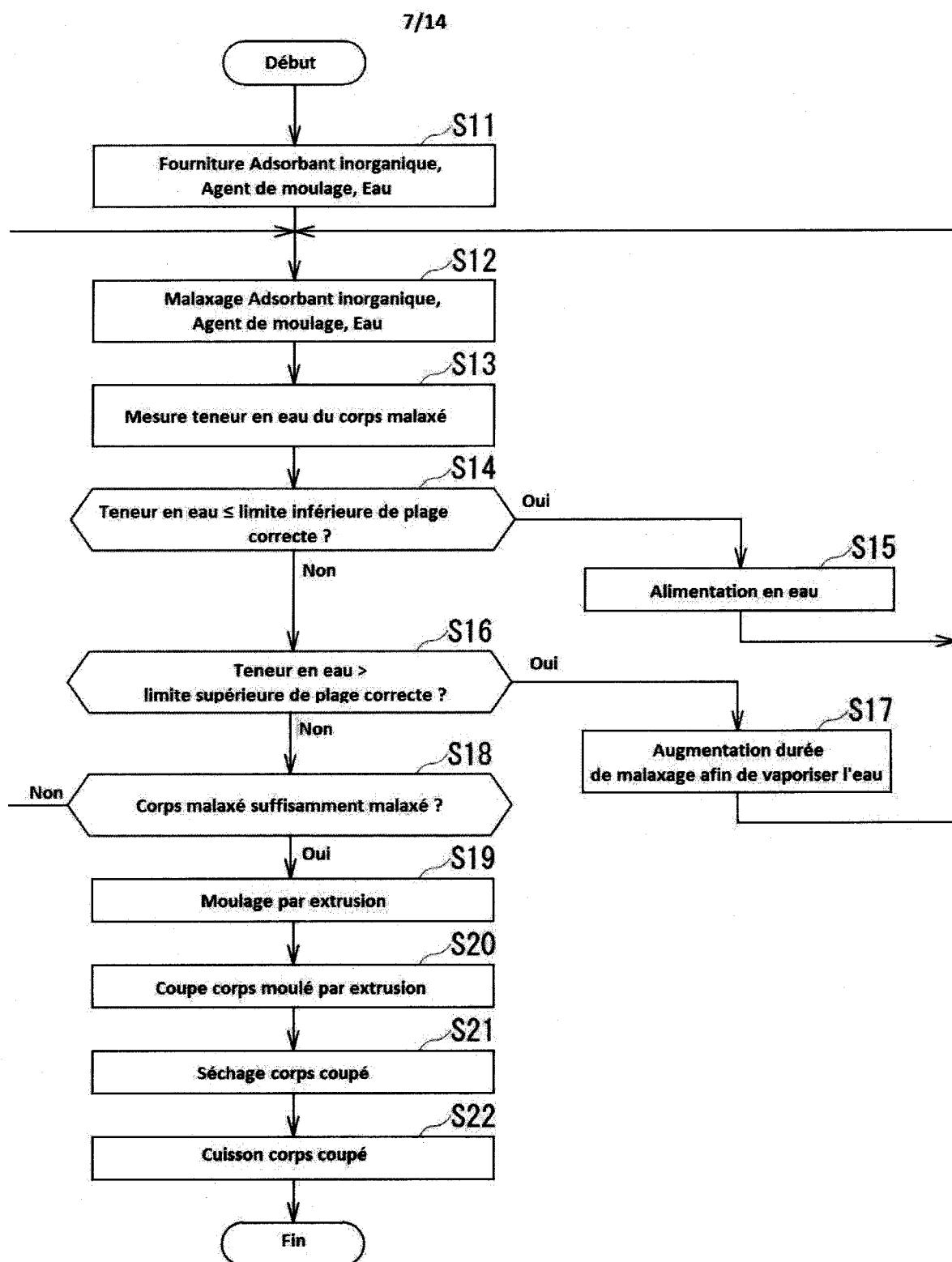


FIGURE 7

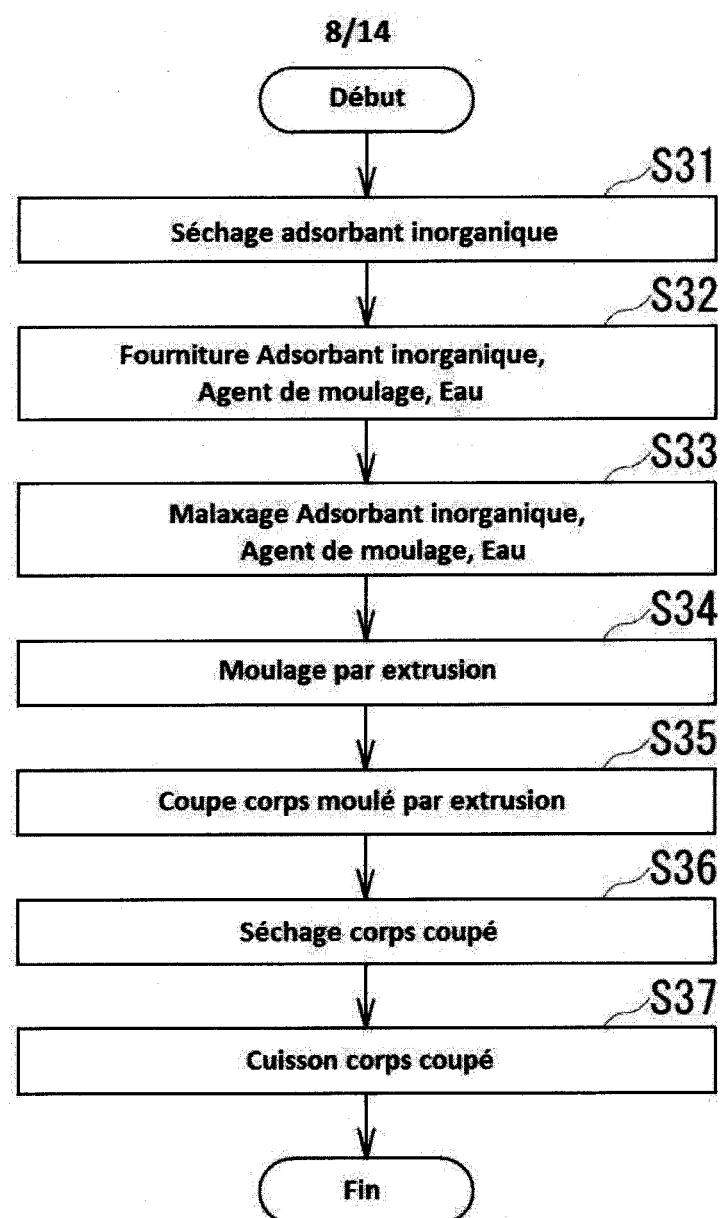


FIGURE 8

9/14

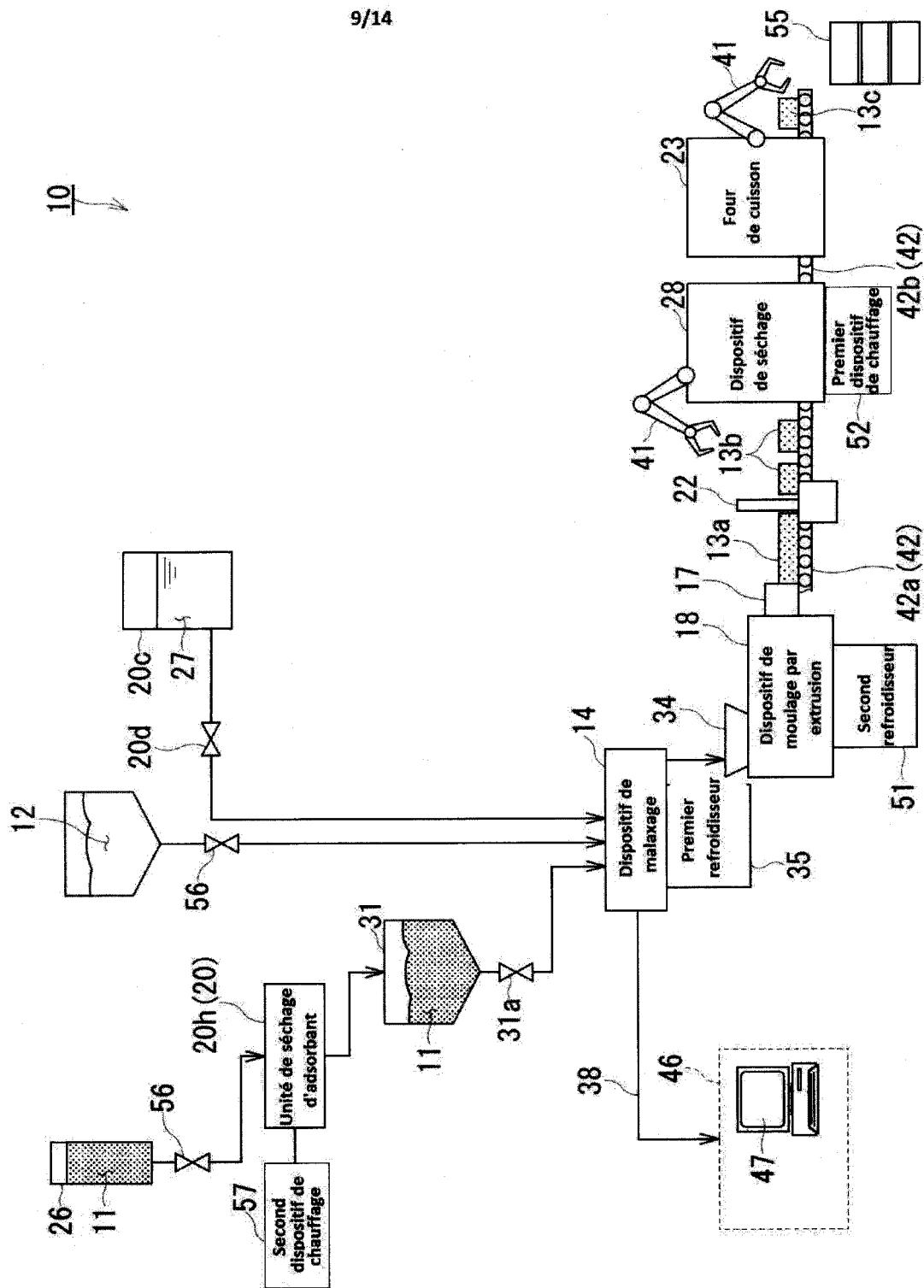


FIGURE 9

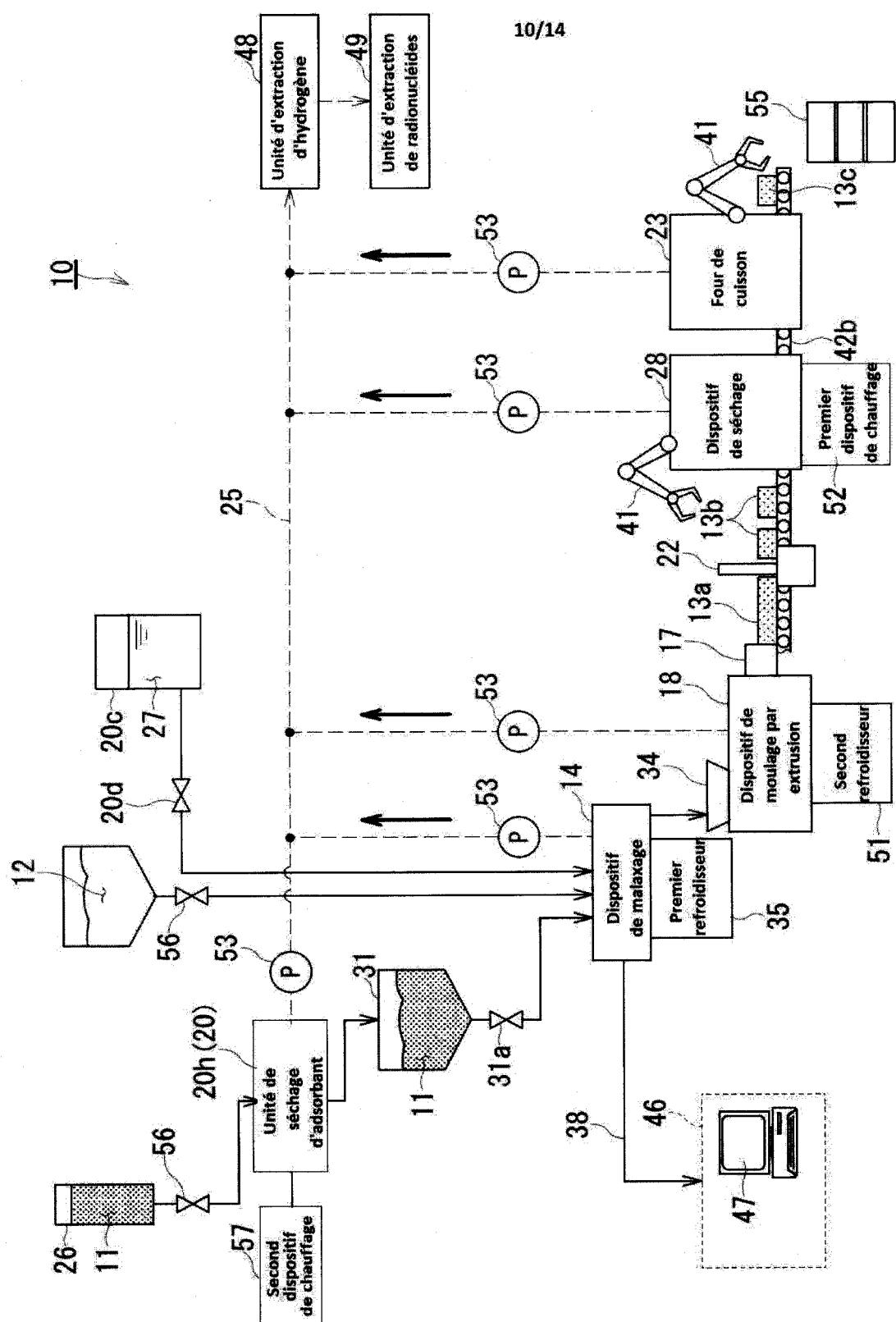


FIGURE 10

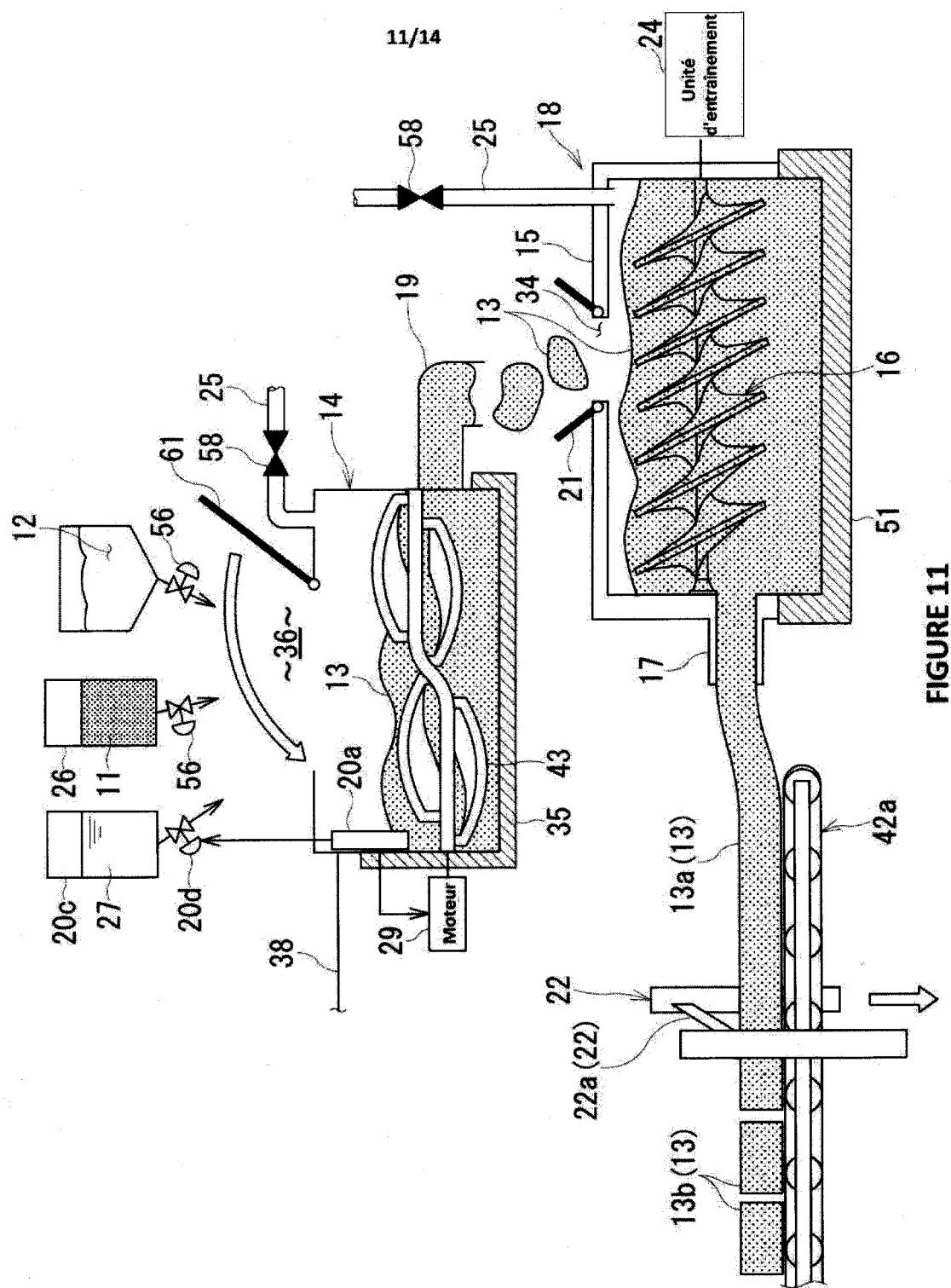
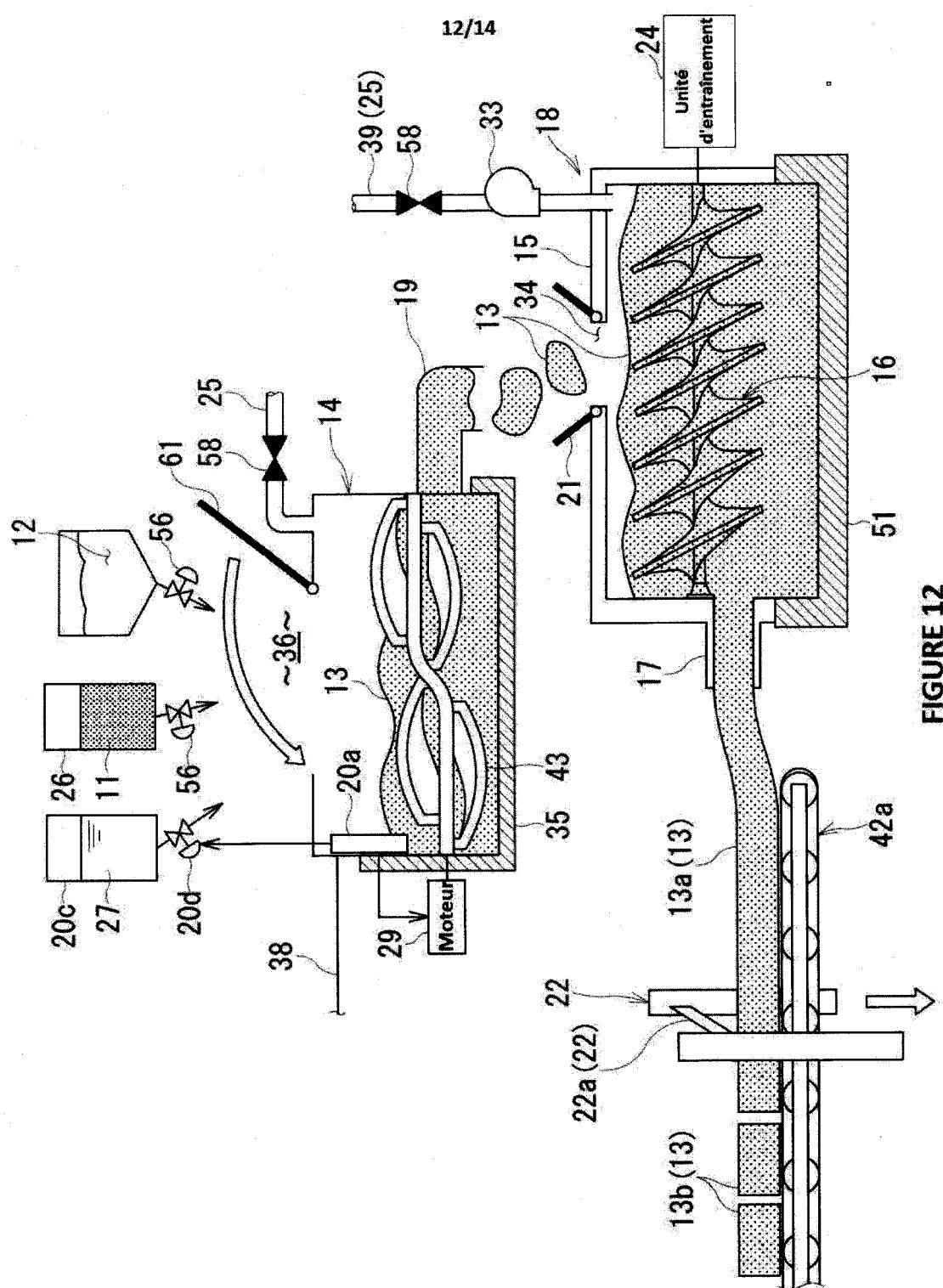


FIGURE 11



13/14

		Table A	Table B
Sélection conditions expérimentales	Adsorbant inorganique	Chabazite	Titanate de silicium Cristallin
	Bentonite	Environ 5 %	Environ 30 %
	Durée de malaxage	10 mn	10 mn
	Teneur en eau	35 % environ	35 % environ
	Section transversale efficace	15 x 36 mn	25 x 25 mn
	Corps malaxé	5 kg	5 kg
	Vitesse d'extrusion	30 mm/mn	30 mm/mn
	Intervalle de longueur	200 mm (>15*36*200mm)	200 mm (>15*36*200mm)
	Ambiance gazeuse	Atmosphère	Atmosphère
	Température de cuisson	900°C	900°C
Résultats	Temps de cuisson	3 heures	3 heures
	Volume	11*27*190mm	19*19*150mm
	Densité	2,4 g/cm ³	2,1 g/cm ³
	Rapport de réduction de volume	0,39	0,56
	Quantité volatilisée de Cs 237	inférieure à 0,1 %	inférieure à 0,1 %
	Résistance à la compression (3 échantillons)	supérieure à 50 Mpa	supérieure à 50 Mpa

FIGURE 13

14/14

		Table C	Table D
Sélection conditions expérimentales	Adsorbant inorganique	Chabazite	Titanate de silicium Cristallin
	Kaolin	Environ 30 %	Environ 60 %
	Durée de malaxage	10 mn	10 mn
	Teneur en eau	29 % environ	32 % environ
	Section transversale efficace	50 x 100 mn	50 x 100 mn
	Corps malaxé	20 kg	20 kg
	Vitesse d'extrusion	30 mm/mn	30 mm/mn
	Intervalle de longueur	200 mm (>50*100*200mm)	200 mm (>50*100*200m m)
	Ambiance gazeuse	Atmosphère	Atmosphère
	Température de cuisson	900°C	900°C
Résultats	Temps de cuisson	3 heures	3 heures
	Volume	49*98*196mm	44*88*176mm
	Densité	2,07 g/cm3	1,68 g/cm3
	Rapport de réduction de volume	0,67	1,0
	Quantité volatilisée de Cs 237	inférieure à 0,1 %	inférieure à 0,1 %
	Résistance à la compression (3 échantillons)	supérieure à 50 Mpa	supérieure à 50 Mpa

FIGURE 14