

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international

(43) Date de la publication internationale
16 avril 2020 (16.04.2020)



(10) Numéro de publication internationale
WO 2020/074794 A1

(51) Classification internationale des brevets :

G21C 3/62 (2006.01) G21C 19/48 (2006.01)

C01G 43/00 (2006.01) G21C 21/00 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/FR2018/052504

(22) Date de dépôt international :

09 octobre 2018 (09.10.2018)

(25) Langue de dépôt :

français

(26) Langue de publication :

français

(71) Déposant : FRAMATOME [FR/FR] ; 1 place Jean Millier
Tour Areva, 92400 COURBEVOIE (FR).

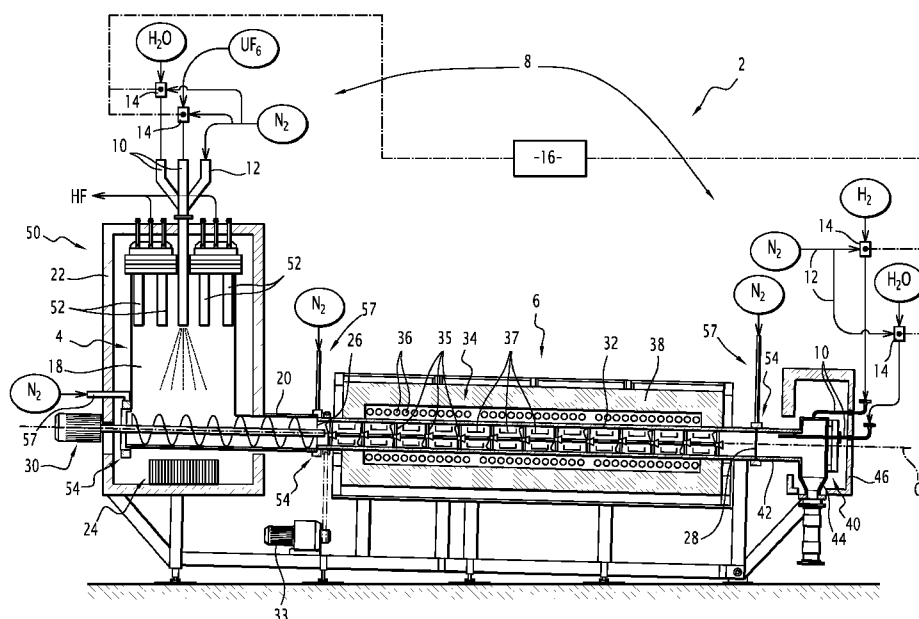
(72) Inventeurs : MESONA, Bruno ; 10 rue du Levant, 26320
Saint Marcel Les Valence (FR). HEBRARD, Stéphane ; 4
rue Nationale, 13122 Ventabren (FR).

(74) Mandataire : BLOT, Philippe et al. ; 2, place d'Estienne
d'Orves, 75441 PARIS CEDEX 09 (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO,
AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA,
CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ,
EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR,
HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR,
KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG,
MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM,
PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC,

(54) Title: INSTALLATION AND METHOD FOR CONVERTING URANIUM HEXAFLUORIDE INTO URANIUM DIOXIDE

(54) Titre : INSTALLATION ET PROCÉDÉ DE CONVERSION D'HEXAFLUORURE D'URANIUM EN DIOXYDE D'URANIUM



(57) Abstract: The installation for converting uranium hexafluoride (UF_6) into uranium dioxide (UO_2) comprises a hydrolysis reactor (4) for converting UF_6 into uranium oxyfluoride powder (UO_2F_2), a pyrohydrolysis furnace (6) for converting the UO_2F_2 powder provided by the reactor (4) into UO_2 powder, a supply device (8) comprising reagent injection pipes (10) for injecting UF_6 , water vapor or H_2 , and a control system (16) configured to control the supply device (8) in such a way as to supply at least one of the reagent injection pipes (10) with a neutral gas during a phase of stopping or starting the conversion installation.

(57) Abrégé : L'installation de conversion d'hexafluorure d'uranium (UF_6) en dioxyde d'uranium (UO_2) comprend un réacteur

[Suite sur la page suivante]

SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR,
TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée:

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

(4) d'hydrolyse pour la conversion d' UF_6 en poudre d'oxyfluorure d'uranium (UO_2F_2), un four (6) de pyrohydrolyse pour la conversion de la poudre d' UO_2F_2 fournie par le réacteur (4) en poudre d' UO_2 , un dispositif d'alimentation (8) comprenant des conduits d'injection de réactif (10) pour l'injection d' UF_6 , de vapeur d'eau ou d' H_2 , et un système de pilotage (16) configuré pour commander le dispositif d'alimentation (8) de manière à alimenter au moins un des conduits d'injection de réactif (10) avec un gaz neutre lors d'une phase de mise à l'arrêt ou de démarrage de l'installation de conversion.

INSTALLATION ET PROCEDE DE CONVERSION D'HEXAFLUORURE D'URANIUM EN DIOXYDE D'URANIUM

La présente invention concerne le domaine de la production de poudre de dioxyde d'uranium (UO_2), destinée notamment à la fabrication de pastilles d' UO_2 pour crayons de combustible nucléaire.

Il est possible d'enrichir de l'uranium sous forme d'hexafluorure d'uranium (UF_6). Il est cependant nécessaire ensuite de convertir l' UF_6 en UO_2 pour fabriquer des pastilles d' UO_2 .

Pour ce faire, il est possible de convertir de l' UF_6 gazeux en oxyfluorure d'uranium (UO_2F_2) par hydrolyse dans un réacteur, en injectant de l' UF_6 gazeux et de la vapeur d'eau sèche dans le réacteur pour obtenir de la poudre d' UO_2F_2 , puis de convertir la poudre d' UO_2F_2 en poudre d' UO_2 par pyrohydrolyse dans un four, en faisant circuler la poudre d' UO_2F_2 dans le four et en injectant de la vapeur d'eau sèche et du dihydrogène (H_2) gazeux dans le four.

La réaction d'hydrolyse est réalisée sous atmosphère de gaz neutre (ou gaz inerte), de préférence sous atmosphère d'azote. Pour ce faire, du gaz neutre est injecté dans le réacteur en formant un flux gazeux balayant le réacteur.

US6136285 et US7824640 divulguent une installation de conversion d' UF_6 en UO_2 comprenant un réacteur d'hydrolyse et un four de pyrohydrolyse pour la mise en œuvre d'un tel procédé de conversion.

Lors de la fabrication d' UO_2 , il est souhaitable d'éviter toute accumulation d'uranium (U) au sein de l'installation de conversion pour des raisons de sécurité et de sûreté (criticité). En outre, un des coproduits résultant des conversions successives $\text{UF}_6 \rightarrow \text{UO}_2\text{F}_2 \rightarrow \text{UO}_2$ est le fluorure d'hydrogène (HF) gazeux, qui est très toxique et corrosif. Il est donc important d'assurer l'évacuation en continu et le stockage du HF hors de l'installation de conversion.

Lors des arrêts intempestifs ou programmés de l'installation de conversion, il existe un risque d'accumuler des produits de réaction ou des réactifs dans l'installation. Il est alors nécessaire de maintenir l'installation dans une configuration de sécurité et sûreté maximale en veillant à ne pas atteindre la masse critique en U à l'intérieur de l'installation, en évitant toute réaction d'une part entre l'hydrogène et l'oxygène (risque d'explosion) et d'autre part entre HF et H_2O (formation d'acide fluorhydrique) et en ne provoquant pas de bouchage de l'installation du fait de l'agglomération de la poudre.

De plus, l' UF_6 qui est injecté dans l'installation sous forme gazeuse cristallise en dessous de sa température de sublimation ($56,4^\circ\text{C}$ sous 1 atm). La cristallisation de l' UF_6

a pour conséquence un blocage dur des organes mobiles de l'installation et le bouchage du dispositif d'injection des gaz réactifs dans le réacteur.

Par ailleurs, la présence de produits réactifs ou de réaction dans l'installation peut présenter un risque pour la sécurité des opérateurs devant intervenir en cas d'arrêt de l'installation. Les principaux risques à l'ouverture de l'installation sont liés à l'absence d'air dans l'installation (anoxie des opérateurs), à la toxicité de l'HF et au risque de contamination interne et externe par l'uranium.

Un des buts de l'invention est de proposer une installation de conversion d' UF_6 en UO_2 dont la sécurité et la sûreté sont améliorées dans les phases d'arrêt de l'installation.

A cet effet, l'invention propose une installation de conversion d'hexafluorure d'uranium (UF_6) en dioxyde d'uranium (UO_2), l'installation de conversion comprenant :

- un réacteur (4) d'hydrolyse pour la conversion d' UF_6 en poudre d'oxyfluorure d'uranium (UO_2F_2) par réaction entre de l' UF_6 gazeux et de la vapeur d'eau sèche injectés dans le réacteur (4) ;

- un four de pyrohydrolyse pour la conversion de la poudre d' UO_2F_2 fournie par le réacteur en poudre d' UO_2 par réaction de la poudre d' UO_2F_2 avec de la vapeur d'eau sèche et du dihydrogène (H_2) gazeux injectés dans le four;

- un dispositif d'alimentation comprenant des conduits d'injection de réactif pour l'injection d' UF_6 , de vapeur d'eau ou d' H_2 , chaque conduit d'injection de réactif étant configuré pour alimenter le réacteur ou le four et

- un système de pilotage configuré pour commander le dispositif d'alimentation de manière à alimenter au moins un des conduits d'injection de réactif avec un gaz neutre lors d'une phase de mise à l'arrêt ou de démarrage de l'installation de conversion.

Selon des modes de réalisation particuliers, l'installation de conversion comprend une ou plusieurs des caractéristiques optionnelles suivantes, prises isolément ou selon toutes les combinaisons techniquement possibles :

- le système de pilotage est configuré pour commander le dispositif d'alimentation de manière à alimenter chaque conduit d'injection de réactif avec un gaz neutre lors d'une mise à l'arrêt ou d'un démarrage de l'installation de conversion ;

- le dispositif d'alimentation comprend, en plus des conduits d'injection de réactif, au moins un conduit d'injection de gaz neutre pour injecter du gaz neutre dans le réacteur lors d'une phase de production pour la conversion de l' UF_6 en UO_2 sous atmosphère de gaz neutre ;

- le dispositif d'alimentation comprend un conduit d'injection de gaz neutre pour alimenter le réacteur en gaz neutre en formant un jet de gaz neutre séparant un jet d' UF_6

et un jet de vapeur d'eau issus de conduits d'injection de réactif débouchant dans le réacteur ;

- le système de pilotage est configuré pour alimenter chacun des conduits d'injection de réactif avec un gaz neutre, en alimentant les conduits d'injection de réactif séquentiellement de l'amont vers l'aval ou de l'aval vers l'amont de l'installation de conversion en considérant le sens de déplacement de l'uranium dans l'installation de conversion ;

- le système de pilotage est configuré pour, en phase d'arrêt de l'installation de conversion, successivement arrêter l'alimentation en UF_6 du réacteur et la remplacer par une alimentation en gaz neutre, puis arrêter l'alimentation en vapeur d'eau sèche du réacteur et la remplacer par une alimentation en gaz neutre, puis optionnellement, après évacuation de toute la poudre d' UO_2F_2 du réacteur, arrêter un dispositif de transfert configuré pour transférer la poudre d' UO_2F_2 du réacteur vers le four, puis arrêter l'alimentation en H_2 du four et la remplacer par une alimentation en gaz neutre, puis arrêter l'alimentation en vapeur d'eau sèche du four et la remplacer par une alimentation en gaz neutre, puis, optionnellement, après évacuation de toute la poudre d' UO_2 du four et refroidissement d'un tambour du four, arrêter la rotation du tambour ;

- le système de pilotage est configuré pour, en phase de démarrage de l'installation de conversion, successivement injecter du gaz neutre dans le réacteur et le four par les conduits d'injection de réactif et les conduits d'injection de gaz neutre pendant une étape de mise en chauffe de l'installation de conversion ; puis remplacer l'alimentation en gaz neutre par les conduits d'injection de réactif du four et du réacteur par une alimentation en gaz réactifs, en procédant à l'alimentation des conduits d'injection de réactif en gaz réactifs séquentiellement de l'aval vers l'amont de l'installation de conversion en considérant le sens de déplacement de l'uranium dans l'installation de conversion.

L'invention concerne aussi un procédé de conversion d'hexafluorure d'uranium (UF_6) en dioxyde d'uranium (UO_2) dans une installation de conversion comprenant un réacteur d'hydrolyse pour la conversion d' UF_6 en poudre d'oxyfluorure d'uranium (UO_2F_2) par réaction entre de l' UF_6 gazeux et de la vapeur d'eau sèche injectés dans le réacteur, et un four de pyrohydrolyse pour la conversion de la poudre d' UO_2F_2 fourni par le réacteur en poudre d' UO_2 par réaction entre l' UO_2F_2 et de la vapeur d'eau sèche et du dihydrogène (H_2) gazeux injectés dans le four, le procédé comprenant les étapes de :

- convertir de l' UF_6 en UO_2 en alimentant le réacteur et le four en gaz réactifs via des conduits d'injection de réactif pendant une phase de conversion, chaque conduit d'injection de réactif débouchant dans le réacteur ou dans le four; et

- alimenter au moins un conduit d'injection de réactif avec un gaz neutre pendant une phase de mise à l'arrêt ou de démarrage de l'installation de conversion.

Selon des modes de mise en œuvre particuliers, le procédé de conversion comprend une ou plusieurs des caractéristiques optionnelles suivantes, prises isolément ou selon toutes les combinaisons techniquement possibles :

- au cours de la phase de mise à l'arrêt ou de démarrage de l'installation de conversion, chaque conduit d'injection de réactif est alimenté en gaz neutre ;

- au cours d'une phase de production du gaz neutre est injecté dans le réacteur via au moins un conduit d'injection de gaz neutre pour réaliser la conversion sous atmosphère de gaz neutre ;

- la mise à l'arrêt de l'installation de conversion comprend une étape de purge pendant laquelle les conduits d'injection de réactif sont alimentés en gaz neutre séquentiellement de l'amont vers l'aval de l'installation de conversion en considérant le sens de déplacement de l'uranium ;

- il comprend, dans une phase de mise à l'arrêt de l'installation de conversion, les étapes successives de arrêter l'alimentation en UF_6 du réacteur et la remplacer par une alimentation en gaz neutre, puis arrêter l'alimentation en vapeur d'eau sèche du réacteur et la remplacer par une alimentation en gaz neutre, puis, optionnellement, après évacuation de toute la poudre d' UO_2F_2 du réacteur, arrêter un dispositif de transfert configuré pour transférer la poudre d' UO_2F_2 du réacteur vers le four, puis arrêter l'alimentation en H_2 du four et la remplacer par une alimentation en gaz neutre, puis arrêter l'alimentation en vapeur d'eau sèche du four et la remplacer par une alimentation en gaz neutre, puis, optionnellement, après évacuation de toute la poudre d' UO_2 du four et refroidissement d'un tambour du four, arrêter la rotation du tambour ;

- il comprend, dans une phase de démarrage de l'installation de conversion, les étapes successives de injecter du gaz neutre dans le réacteur et le four par les conduits d'injection de réactif et les conduits d'injection de gaz neutre pendant une étape de mise en chauffe de l'installation de conversion ; puis remplacer l'alimentation en gaz neutre par les conduits d'injection de réactif du four et du réacteur par une alimentation en gaz réactifs, en procédant à l'alimentation des conduits d'injection de réactif en gaz réactifs séquentiellement de l'aval vers l'amont de l'installation de conversion en considérant le sens de déplacement de l'uranium.

L'invention et ses avantages seront mieux compris à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple et faite en référence à l'unique Figure qui est une vue schématique d'une installation de conversion d' UF_6 en UO_2 .

L'installation de conversion 2 illustrée sur la Figure 1 comprend un réacteur 4 d'hydrolyse pour la conversion d' UF_6 en poudre d' UO_2F_2 par réaction entre de l' UF_6 gazeux et de la vapeur d'eau sèche injectés dans le réacteur 4.

L'installation de conversion 2 comprend un four 6 de pyrohydrolyse pour la conversion de la poudre d' UO_2F_2 fournie par le réacteur 4 en poudre d' UO_2 par réaction de la poudre d' UO_2F_2 avec de la vapeur d'eau sèche et de l' H_2 gazeux injectés dans le four 6.

L'installation de conversion 2 comprend un dispositif d'alimentation 8 configuré pour injecter les gaz réactifs (UF_6 gazeux, vapeur d'eau sèche et H_2 gazeux) dans le réacteur 4 et dans le four 6.

Le dispositif d'alimentation 8 est alimenté à partir de sources de gaz réactifs, comprenant au moins une source d' UF_6 gazeux, au moins une source de vapeur d'eau sèche et au moins une source d' H_2 gazeux.

Le dispositif d'alimentation 8 comprend des conduits d'injection de réactif 10 pour l'injection des gaz réactifs dans le réacteur 4 et dans le four 6.

Les conduits d'injection de réactif 10 comprennent un conduit d'injection d' UF_6 alimentant le réacteur 4, un premier conduit d'injection de vapeur alimentant le réacteur 4, un deuxième conduit d'injection de vapeur alimentant le four 6 et un conduit d'injection d' H_2 alimentant le four 6.

Le dispositif d'alimentation 8 est en outre configuré pour l'injection d'un gaz neutre dans le réacteur 4, en particulier en phase de production de l'installation de conversion 2, de façon que la conversion d' UF_6 en UO_2F_2 s'effectue sous une atmosphère de gaz neutre. Le dispositif d'alimentation 8 comprend un ou plusieurs conduits d'injection de gaz neutre 12 pour l'injection de gaz neutre dans le réacteur 4.

De préférence, le dispositif d'alimentation 8 est en outre configuré pour l'injection de gaz neutre dans le réacteur 4 et dans le four 6 en phases de mise à l'arrêt et de démarrage, de façon à maintenir une atmosphère de gaz neutre dans réacteur 4 et dans le four 6 lorsque l'installation de conversion 2 n'est pas en phase de production. Le dispositif d'alimentation 8 comprend un ou plusieurs conduits d'injection de gaz neutre 12 pour l'injection de gaz neutre dans le four 6.

Le dispositif d'alimentation 8 est configuré pour permettre l'injection de gaz neutre dans le réacteur 4 sans injecter de gaz neutre dans le four 6.

En phase de production, le dispositif d'alimentation 8 injecte du gaz neutre dans le réacteur 4 pour réaliser la conversion d' UF_6 en poudre UO_2F_2 sous une atmosphère de gaz neutre, sans injecter de gaz neutre dans le four 6. Le gaz neutre injecté dans le réacteur 4 en phase de production est nommé « gaz neutre de balayage » par la suite. En

phase de mise à l'arrêt et/ou de démarrage, le dispositif d'alimentation 8 injecte du gaz neutre dans le réacteur 4 et dans le four 6 pour maintenir une atmosphère de gaz neutre.

Le dispositif d'alimentation 8 est alimenté par au moins une source de gaz neutre. Le gaz neutre est de préférence de l'azote (N_2).

5 L'alimentation du four 6 en gaz neutre pendant une phase de mise à l'arrêt ou de démarrage peut être réalisée par exemple par l'intermédiaire d'un conduit d'injection de gaz neutre 12 dédié débouchant dans le four 6 ou par l'intermédiaire d'un conduit d'injection de réactif 10 comme expliqué ci-dessous.

10 Le dispositif d'alimentation 8 est configuré pour permettre l'alimentation d'au moins un conduit d'injection de réactif 10 avec du gaz neutre, et de préférence pour l'alimentation de chaque conduit d'injection de réactif 10 avec un gaz neutre.

Tel qu'illustré sur la Figure 1, le dispositif d'alimentation 8 comprend un actionneur 14 de commande d'alimentation disposé à l'entrée de chaque conduit d'injection de réactif 10, l'actionneur 14 permettant de raccorder le conduit d'injection de réactif 10 sélectivement à la source de gaz réactif correspondante ou à une source de gaz neutre.

20 Chaque actionneur 14 permet de commander l'alimentation en fluide du conduit d'injection de réactif 10 associé. Chaque actionneur 14 est par exemple une vanne, en particulier une vanne trois voies permettant de raccorder le conduit d'injection de réactif 10 sélectivement à la source de réactif associée ou à une source de gaz neutre.

25 Tel qu'illustré sur la Figure 1, le dispositif d'alimentation 8 comprend, pour l'injection de gaz réactifs dans le réacteur 4, deux conduits d'injection de réactif 10, à savoir le conduit d'injection d' UF_6 et le premier conduit d'injection de vapeur, et un conduit d'injection de gaz neutre 12 débouchant dans le réacteur 4 de manière à injecter un jet de gaz neutre entre un jet d' UF_6 et un jet de vapeur d'eau sèche.

30 Dans cette configuration, la réaction entre l' UF_6 et la vapeur d'eau sèche se produit à distance des sorties des conduits d'injection de réactif 10, une fois que les flux sont mélangés, et non à proximité des sorties des conduits d'injection de réactif 10, ce qui pourrait entraîner la formation de poudre dans les conduits d'injection de réactif 10 et leur colmatage. Dans un mode de réalisation avantageux, le jet d' UF_6 , le jet de gaz neutre et le jet de vapeur d'eau sèche sont concentriques.

35 L'installation de conversion 2 comprend un système de pilotage 16 de l'installation de conversion 2, configuré pour commander l'installation de conversion 2 et notamment le dispositif d'alimentation 8. Le système de pilotage 16 commande en particulier les actionneurs 14 du dispositif d'alimentation 8.

Le système de pilotage 16 pilote le dispositif d'alimentation 8 selon différents modes de fonctionnement de l'installation de conversion 2.

Dans un mode de production de l'installation de conversion 2, le système de pilotage 16 est configuré pour commander le dispositif d'alimentation 8 pour l'injection des gaz réactifs dans le réacteur 4 et dans le four 6 par les conduits d'injection de réactif 10.

Dans un mode de mise à l'arrêt de l'installation de conversion 2, le système de pilotage 16 est configuré pour commander le dispositif d'alimentation 8 pour l'alimentation d'au moins un des conduits d'injection de réactif 10 avec du gaz neutre, et de préférence l'alimentation de chaque conduit d'injection de réactif 10 avec du gaz neutre.

L'alimentation des conduits d'injection de réactif 10 avec du gaz neutre lors d'une mise à l'arrêt de l'installation de conversion 2 permet d'inertiser l'installation de conversion 2 et de purger les conduits d'injection de réactif 10 de tout gaz réactif encore présent dans ces conduits d'injection de réactif 10.

Ceci permet d'éviter qu'une réaction ne se produise entre des gaz réactifs résiduels pendant une phase d'arrêt de l'installation de conversion 2, ce qui pourrait entraîner la génération incontrôlée de poudre d' UO_2F_2 , de poudre d' UO_2 ou d' HF , potentiellement dangereux pour des opérateurs amenés à intervenir sur l'installation de conversion 2 pendant la phase d'arrêt de l'installation de conversion 2.

L'alimentation d'un conduit d'injection de réactif 10 en gaz neutre lors d'un démarrage permet la montée en température de l'installation de conversion 2 et l'alimentation de l'installation de conversion 2 en réactifs lorsque les paramètres de la réaction sont atteints dans le réacteur 4, respectivement le four 6.

Pendant la phase de production, le système de pilotage 16 pilote le dispositif d'alimentation 8 pour l'injection de gaz neutre dans le réacteur 4 via les conduits d'injection de gaz neutre 12 appropriés, en plus de l'injection des gaz réactifs via les conduits d'injection de réactif 10, de sorte que l'hydrolyse est réalisée sous une atmosphère de gaz neutre. Le gaz neutre n'est pas injecté dans le four 6.

Pendant la phase de mise à l'arrêt, de préférence, le système de pilotage 16 pilote le dispositif d'alimentation 8 pour l'injection de gaz neutre dans le réacteur 4 et dans le four 6 pour maintenir l'atmosphère de gaz neutre dans le réacteur 4 et dans le four 6.

L'injection de gaz neutre pendant la phase d'arrêt est réalisée via les conduits d'injection de réactif 10, et éventuellement en outre via les conduits d'injection de gaz neutre 12 alimentant le réacteur 4 et/ou le four 6.

L'alimentation des conduits d'injection de réactif 10 avec du gaz neutre pendant la mise à l'arrêt de l'installation de conversion 2 permet alors une injection supplémentaire de gaz neutre, en plus de celle réalisée par les conduits d'injection de gaz neutre 12.

Tel qu'illustré sur la Figure 1, le réacteur 4 délimite une chambre de réaction 18 dans laquelle débouchent les conduits d'injection de réactif 10 alimentant le réacteur 4 en UF_6 gazeux et en vapeur d'eau sèche, et dans laquelle se produit la conversion de l' UF_6 en UO_2F_2 par hydrolyse. L' UO_2F_2 ainsi obtenu se présente sous la forme d'une

5 poudre tombant au fond de la chambre de réaction 18.

Le réacteur 4 possède une tubulure de sortie 20 s'étendant à partir de la chambre de réaction 18 et raccordée au four 6 pour transférer la poudre d' UO_2F_2 du fond de la chambre de réaction 18 vers le four 6.

L'installation de conversion 2 comprend une enceinte thermique 22 entourant le réacteur 4 et un dispositif de chauffage 24 pour chauffer le volume interne de l'enceinte thermique 22 et donc le réacteur 4.

10

Le four 6 possède une entrée 26 raccordée à la tubulure de sortie 20 du réacteur 4 pour recevoir la poudre d' UO_2F_2 et une sortie 28 pour fournir la poudre d' UO_2 .

L'installation de conversion 2 comprend un dispositif de transfert 30 pour transférer la poudre d' UO_2F_2 de la chambre de réaction 18 vers le four 6. Le dispositif de transfert 30 comprend ici une vis sans fin motorisée entraînée par un moteur pour pousser la poudre d' UO_2F_2 de la chambre de réaction 18 vers l'entrée 26 du four 6.

15

Le four 6 comprend un tambour 32 présentant un axe central C, dont une extrémité axiale forme l'entrée 26 et l'extrémité axiale opposée forme la sortie 28 du four 6.

20

Le tambour 32 est prévu pour la circulation de la poudre d' UO_2F_2 de l'entrée 26 vers la sortie 28 avec circulation de vapeur d'eau sèche et d' H_2 dans le four 6 à contre-courant de la poudre d' UO_2F_2 .

Le tambour 32 est monté rotatif autour de son axe central C incliné par rapport à l'horizontale de sorte que l'entrée 26 est plus élevée que la sortie 28, la rotation du tambour 32 provoquant l'avancée de la poudre de l'entrée 26 vers la sortie 28.

25

Le four 6 comprend un dispositif d'entraînement en rotation 33 motorisé configuré pour l'entraînement du tambour 32 en rotation autour de son axe central C. Le dispositif d'entraînement en rotation 33 comprend par exemple un moteur et un dispositif de transmission, par exemple à chaîne ou à courroie, couplant le moteur au tambour 32.

30

En option, le four 6 est avantageusement muni d'une manivelle qui permet de faire tourner le tambour 32 manuellement en cas de défaillance du dispositif d'entraînement en rotation 33.

Le tambour 32 est de préférence muni de chicanes 35 disposées à l'intérieur du tambour 32 pour contrôler l'écoulement des gaz réactifs et le temps de passage de la poudre dans le four 6.

35

En option, le tambour 32 est muni d'organes de relevage 37 disposés en saillie sur la surface interne du tambour 32 et configurés pour soulever et faire retomber la poudre présente dans le tambour 32 du fait de la rotation du tambour 32 autour de l'axe central C, pour améliorer le mélange de la poudre et favoriser une mise en contact homogène des particules de poudre avec les gaz réactifs circulant dans le tambour 32. Les organes de relevage 37 se présentent par exemple sous la forme d'aubes de relevage ou de cornières de relevage réparties sur la surface interne du tambour 32.

Dans un mode de réalisation avantageux, le tambour 32 du four 6 et le dispositif de transfert 30 de la chambre de réaction 18 sont configurés pour fonctionner indépendamment l'un de l'autre, en particulier pour permettre l'arrêt de l'un tout en maintenant le fonctionnement de l'autre.

Dans l'exemple illustré, le tambour 32 du four 6 et le dispositif de transfert 30 de la chambre de réaction 18 sont configurés pour une rotation indépendante de la vis sans fin du dispositif de transfert 30, d'une part, et du tambour 32, d'autre part, et en particulier pour l'arrêt de la rotation de l'un parmi la vis sans fin et le tambour 32 tout en maintenant la rotation de l'autre.

Cette disposition permet, dans les phases de mise à l'arrêt de l'installation de conversion 2, de finir d'évacuer la poudre d' UO_2 du four 6 alors que le réacteur 4, et notamment le dispositif de transfert 30, est déjà à l'arrêt.

Le deuxième conduit d'injection de vapeur et le conduit d'injection de H_2 alimentent le tambour 32 par la sortie 28 pour la circulation de la vapeur d'eau sèche de pyrohydrolyse et de l' H_2 de la sortie 28 vers l'entrée 26 du four 6.

Le four 6 comprend un dispositif de chauffage 34 pour chauffer le tambour 32. Le dispositif de chauffage 34 comprend des éléments chauffants 36 entourant le tambour 32 et répartis le long du tambour 32. Le four 6 comprend une enceinte thermique 38 entourant le tambour 32 et les éléments chauffants 36.

L'installation de conversion 2 comprend un dispositif de collecte 40 pour collecter la poudre à la sortie 28 du four 6. Le dispositif de collecte 40 comprend une tubulure d'entrée 42 raccordée à la sortie 28 du four 6 et débouchant dans un récipient de collecte 44. Le dispositif de collecte 40 comprend une enceinte thermique 46 entourant le récipient de collecte 44. Le deuxième conduit d'injection de vapeur et le conduit d'injection d' H_2 débouchent de préférence dans le récipient de collecte 44.

L'installation de conversion 2 comprend un dispositif de captage 50 pour capter et évacuer les gaz remontant dans le réacteur 4, comprenant les gaz réactifs en excès, du fluorure d'hydrogène (HF) résultant de la conversion et le gaz neutre.

Le dispositif de captage 50 est disposé dans le réacteur 4, de préférence dans une région supérieure de la chambre de réaction 18.

Le dispositif de captage 50 comprend une pluralité de filtres 52 pour retenir les matières solides pouvant être entraînées par les gaz remontant dans le réacteur 4; notamment des particules d' UO_2F_2 , voire d' UO_2 .

Les filtres 52 sont par exemple constitués d'un matériau poreux permettant le passage des gaz réactifs en excès, du gaz neutre et de l' HF résultant de la réaction de conversion de l' UF_6 en UO_2F_2 puis en UO_2 tout en conservant une capacité de rétention des particules d' UO_2F_2 ou d' UO_2 . Dans un mode de réalisation privilégié, les filtres 52 sont fabriqués en céramique ou en superalliage base nickel.

L'installation de conversion 2 comprend des dispositifs d'étanchéité 54 pour assurer l'étanchéité entre le dispositif de transfert 30 et la chambre de réaction 18, entre le réacteur 4 et le four 6 et entre le four 6 et le dispositif de collecte 40. Les dispositifs d'étanchéité 54 sont disposés à la jonction entre le dispositif de transfert 30 et la chambre de réaction 18, entre la tubulure de sortie 20 du réacteur 4 et l'entrée 26 du four 6, et à la jonction entre la sortie 28 du four 6 et la tubulure d'entrée 42 du dispositif de collecte 40. Les dispositifs d'étanchéité 54 assurent l'étanchéité en autorisant la rotation du dispositif de transfert 30 par rapport au réacteur 4 et la rotation du tambour 32 du four 6 par rapport au réacteur 4 et au dispositif de collecte 40.

A cet effet, comme illustré sur la Figure 1, l'installation de conversion 2 comprend par exemple des alimentations de pressurisation 57 agencées pour alimenter les dispositifs d'étanchéité 54 avec un gaz neutre de pressurisation.

Les dispositifs d'étanchéité 54 sont pressurisés avec un gaz neutre, et de préférence à l'azote. La pression du gaz neutre alimentant les dispositifs d'étanchéité 54 est égale ou supérieure à celle présente dans l'installation de conversion 2 pour éviter toute dissémination de poudre à l'extérieur de l'installation de conversion 2.

En fonctionnement, pendant un mode de production, le système de pilotage 16 pilote les actionneurs 14 pour raccorder chaque conduit d'injection de réactif 10 à la source de réactif correspondante. Chaque conduit d'injection de réactif 10 est alimenté en réactif. Il en résulte que le réacteur 4 et le four 6 sont alimentés en gaz réactifs.

L' UF_6 et la vapeur d'eau sèche injectés dans le réacteur 4 réagissent ensemble pour former de la poudre d' UO_2F_2 . La poudre d' UO_2F_2 est introduite dans le four 6 où elle réagit avec le flux de vapeur d'eau sèche de pyrohydrolyse et d' H_2 pour se convertir en poudre d' UO_2 .

Lorsque le système de pilotage 16 détecte qu'un arrêt de l'installation est nécessaire ou reçoit une instruction de mise à l'arrêt de l'installation, le système de

pilotage 16 met en œuvre une étape d'inertage et de purge de l'installation de conversion 2.

Pour ce faire, le système de pilotage 16 commande les actionneurs 14 pour raccorder chaque conduit d'injection de réactif 10 à une source de gaz neutre. Chaque conduit d'injection de réactif 10 est ainsi alimenté en gaz neutre.

De préférence, le système de pilotage 16 est configuré pour commander les actionneurs 14 pour raccorder les conduits d'injection de réactif 10 à une source de gaz neutre séquentiellement de l'amont vers l'aval de l'installation de conversion 2 en considérant le sens de déplacement de la poudre depuis le réacteur 4 vers le récipient de collecte 44. Ceci permet d'effectuer une purge des gaz réactifs progressive et complète, de l'amont vers l'aval de l'installation de conversion 2, plus précisément ici du réacteur 4, du four 6 et du dispositif de collecte 40 jusqu'au récipient de collecte 44.

Avantageusement, en phase d'arrêt normal de l'installation, le système de pilotage 16 est configuré pour successivement

- arrêter l'alimentation en UF_6 du réacteur 4 et la remplacer par une alimentation en gaz neutre, de préférence via le conduit d'injection de réactif 10 alimentant le réacteur 4 en UF_6 , puis

- arrêter l'alimentation en vapeur d'eau sèche du réacteur 4 et la remplacer par une alimentation en gaz neutre, de préférence via le conduit d'injection de réactif 10 alimentant le réacteur 4 en vapeur d'eau sèche, puis

- après évacuation de toute la poudre d' UO_2F_2 du réacteur 4, arrêter le dispositif de transfert 30, puis

- arrêter l'alimentation en H_2 du four 6 et la remplacer par une alimentation en gaz neutre, de préférence via le conduit d'injection de réactif 10 alimentant le four 6 en H_2 , puis

- arrêter l'alimentation en vapeur d'eau sèche du four 6 et la remplacer par une alimentation en gaz neutre, de préférence via le conduit d'injection de réactif 10 alimentant le four 6 en vapeur d'eau sèche, puis,

- après évacuation de toute la poudre d' UO_2 du four 6 et refroidissement du tambour 32, arrêter la rotation du tambour 32.

De préférence, le système de pilotage 16 pilote les actionneurs 14 des conduits d'injection de gaz neutre 12 pour maintenir une injection du gaz neutre dans le réacteur 4 pendant l'étape de purge de l'installation de conversion 2 par l'intermédiaire de ses conduits d'injection de gaz neutre 12.

Ensuite, une fois les conduits d'injection de réactif 10 purgés de gaz réactifs, dans une étape de coupure d'alimentation, le système de pilotage 16 commande les

actionneurs 14 pour arrêter l'alimentation en gaz neutre des conduits d'injection de réactif 10 et des conduits d'injection de gaz neutre 12. De préférence, le système de pilotage 16 commande les actionneurs 14 pour couper l'alimentation en gaz neutre des conduits d'injection de réactif 10 et d'injection de gaz neutre séquentiellement de l'aval vers l'amont de l'installation de conversion 2 en considérant le sens de déplacement de la poudre depuis le réacteur 4 vers la sortie 28 du four 6. Ceci permet d'assurer un balayage du four 6 et du réacteur 4 à l'aide du gaz neutre jusqu'à la fin de l'étape de purge et de l'étape de coupure d'alimentation. En variante, la coupure d'alimentation en gaz neutre de l'aval vers l'amont peut être réalisée manuellement.

Cette étape est réalisée de préférence lorsque l'installation de conversion 2 est mise à l'arrêt pour réaliser une opération de maintenance, en particulier une opération de maintenance requérant l'intervention d'un ou plusieurs opérateurs, pour éviter le risque d'anoxie.

En variante, l'alimentation en gaz neutre est maintenue jusqu'au redémarrage de l'installation de conversion 2. Cette étape est mise en œuvre par exemple lorsque l'arrêt de l'installation de conversion 2 est dû par exemple à l'activation d'une sécurité ne nécessitant pas d'intervention d'un opérateur avant le redémarrage de l'installation de conversion 2.

Dans une étape de démarrage ou de redémarrage de l'installation de conversion 2, le dispositif d'alimentation 8 est configuré pour injecter du gaz neutre dans le réacteur 4 et le four 6 par les conduits d'injection de réactif 10 et les conduits d'injection de gaz neutre 12 pendant la mise en chauffe de l'installation de conversion 2. Lorsque la température dans l'installation de conversion est suffisante, par exemple 500 °C dans le four 6, le dispositif d'alimentation 8 est configuré pour démarrer l'alimentation en gaz réactifs par les conduits d'injection de réactif 10 en lieu et place du gaz neutre séquentiellement, de préférence de l'aval vers l'amont de l'installation de conversion 2, par exemple selon la séquence suivante : vapeur d'eau sèche pour la pyrolyse dans le four 6, puis H_2 dans le four 6, puis arrêt de l'alimentation en gaz neutre du four 6 par les conduits d'injection de gaz neutre 12, puis vapeur d'eau sèche pour l'hydrolyse dans le réacteur 4, puis UF_6 dans le réacteur 4.

Pendant l'étape de purge, l'étape de coupure d'alimentation et l'étape de démarrage ou de redémarrage, le dispositif de captage 50 est actif pour capter les gaz présents dans le réacteur 4 et dans le four 6.

L'installation de conversion 2 et le procédé de conversion ne sont pas limités au mode de réalisation et au mode de mise en œuvre décrits ci-dessus.

Dans le mode de réalisation décrit, chaque conduit d'injection de réactif 10 est alimenté en gaz neutre dans l'étape de purge. En variante, il est possible que seule une partie des conduits d'injection de réactif 10 soit alimentée en gaz neutre dans l'étape de purge ou de démarrage.

5 De manière générale, le dispositif d'alimentation 8 est configuré pour l'alimentation du conduit d'injection d' UF_6 , du premier conduit d'injection de vapeur d'eau, du deuxième conduit d'injection de vapeur d'eau et/ou du conduit d'injection d' H_2 en gaz neutre pendant une phase de purge de l'installation de conversion 2.

10 Dans un mode de mise en œuvre particulier, parmi les conduits d'injection de réactif 10, seul un parmi le conduit d'injection d' UF_6 , le premier conduit d'injection de vapeur d'eau, le deuxième conduit d'injection de vapeur d'eau et le conduit d'injection d' H_2 est alimenté en gaz neutre pendant une phase de purge. Ce mode de mise en œuvre est utilisé par exemple lors d'une mise à l'arrêt partiel de l'installation de conversion 2.

15 Dans un mode de mise en œuvre particulier, seul le conduit d'injection d' UF_6 est alimenté en gaz neutre pendant une phase de purge.

Sur la Figure, pour des raisons de clarté, plusieurs sources de gaz neutre sont représentées pour l'alimentation des conduits d'injection de réactif 10 et des conduits d'injection de gaz neutre 12. En variante, une seule et unique source de gaz neutre alimente les différents conduits d'injection de réactif 10 ou de gaz neutre 12.

20 En option, le dispositif d'alimentation 8 est configuré pour l'injection de gaz neutre dans le dispositif de collecte 40, par exemple à proximité d'une sortie du dispositif de collecte 40 servant à alimenter un dispositif de remplissage de réservoir de transport de la poudre d' UO_2 produite par l'installation de conversion 2. Ceci permet de l'imiter le risque que de l' H_2 entre en contact avec du dioxygène (O_2) présent dans l'air, ce qui est
25 potentiellement explosif.

De préférence, l'installation de conversion 2 est munie d'au moins un détecteur de HF pour détecter toute fuite de HF qui est un gaz mortel pour l'homme.

30 De préférence, les actionneurs 14 du dispositif d'alimentation 8 sont résistantes aux sollicitations sismiques pour éviter tout risque de fuite au niveau de ces actionneurs 14 en cas de séisme et assurer une mise à l'arrêt sûr de l'installation de conversion 2.

35 En option, le système de pilotage 16 du dispositif d'alimentation 8 peut être by-passé notamment lors des opérations de démarrage et d'arrêt ou de purge de l'installation de conversion 2, notamment pour adapter manuellement la durée des différentes phases afin de garantir des conditions optimales en phase de démarrage et, en phase d'arrêt, une

évacuation des produits réactifs et des produits de réaction suffisante pour éviter tout risque de criticité.

REVENDICATIONS

1.- Installation de conversion d'hexafluorure d'uranium (UF_6) en dioxyde d'uranium (UO_2), l'installation de conversion comprenant :

5 - un réacteur (4) d'hydrolyse pour la conversion d' UF_6 en poudre d'oxyfluorure d'uranium (UO_2F_2) par réaction entre de l' UF_6 gazeux et de la vapeur d'eau sèche injectés dans le réacteur (4) ;

10 - un four (6) de pyrohydrolyse pour la conversion de la poudre d' UO_2F_2 fournie par le réacteur (4) en poudre d' UO_2 par réaction de la poudre d' UO_2F_2 avec de la vapeur d'eau sèche et du dihydrogène (H_2) gazeux injectés dans le four (6);

 - un dispositif d'alimentation (8) comprenant des conduits d'injection de réactif (10) pour l'injection d' UF_6 , de vapeur d'eau ou d' H_2 , chaque conduit d'injection de réactif (10) étant configuré pour alimenter le réacteur (4) ou le four (6) et

15 - un système de pilotage (16) configuré pour commander le dispositif d'alimentation (8) de manière à alimenter au moins un des conduits d'injection de réactif (10) avec un gaz neutre lors d'une phase de mise à l'arrêt ou de démarrage de l'installation de conversion.

20 2.- Installation de conversion selon la revendication 1, dans laquelle le système de pilotage (16) est configuré pour commander le dispositif d'alimentation (8) de manière à alimenter chaque conduit d'injection de réactif (10) avec un gaz neutre lors d'une mise à l'arrêt ou d'un démarrage de l'installation de conversion.

25 3.- Installation de conversion selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle le dispositif d'alimentation (8) comprend, en plus des conduits d'injection de réactif (10), au moins un conduit d'injection de gaz neutre (12) pour injecter du gaz neutre dans le réacteur (4) lors d'une phase de production pour la conversion de l' UF_6 en UO_2 sous atmosphère de gaz neutre.

30 4.- Installation de conversion selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle le dispositif d'alimentation (8) comprend un conduit d'injection de gaz neutre (12) pour alimenter le réacteur (4) en gaz neutre en formant un jet de gaz neutre séparant un jet d' UF_6 et un jet de vapeur d'eau issus de conduits d'injection de réactif (10) débouchant dans le réacteur (4).

35 5.- Installation de conversion selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle le système de pilotage (16) est configuré pour alimenter chacun des conduits d'injection de réactif (10) avec un gaz neutre, en alimentant les conduits d'injection de réactif (10) séquentiellement de l'amont vers l'aval ou de l'aval vers

l'amont de l'installation de conversion en considérant le sens de déplacement de l'uranium dans l'installation de conversion.

6.- Installation de conversion selon l'une quelconque des revendications précédente, dans laquelle, le système de pilotage (16) est configuré pour, en phase d'arrêt de l'installation de conversion, successivement :

- arrêter l'alimentation en UF_6 du réacteur (4) et la remplacer par une alimentation en gaz neutre, puis

- arrêter l'alimentation en vapeur d'eau sèche du réacteur (4) et la remplacer par une alimentation en gaz neutre, puis

- optionnellement, après évacuation de toute la poudre d' UO_2F_2 du réacteur (4), arrêter un dispositif de transfert (30) configuré pour transférer la poudre d' UO_2F_2 du réacteur (4) vers le four (6), puis

- arrêter l'alimentation en H_2 du four (6) et la remplacer par une alimentation en gaz neutre, puis

- arrêter l'alimentation en vapeur d'eau sèche du four (6) et la remplacer par une alimentation en gaz neutre, puis,

- optionnellement, après évacuation de toute la poudre d' UO_2 du four (6) et refroidissement d'un tambour (32) du four (6), arrêter la rotation du tambour (32).

7.- Installation de conversion selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle, le système de pilotage (16) est configuré pour, en phase de démarrage de l'installation de conversion, successivement :

- injecter du gaz neutre dans le réacteur (4) et le four (6) par les conduits d'injection de réactif (10) et les conduits d'injection de gaz neutre (12) pendant une étape de mise en chauffe de l'installation de conversion ; puis

- remplacer l'alimentation en gaz neutre par les conduits d'injection de réactif (10) du four (6) et du réacteur (4) par une alimentation en gaz réactifs, en procédant à l'alimentation des conduits d'injection de réactif (10) en gaz réactifs séquentiellement de l'aval vers l'amont de l'installation de conversion en considérant le sens de déplacement de l'uranium dans l'installation de conversion.

8.- Procédé de conversion d'hexafluorure d'uranium (UF_6) en dioxyde d'uranium (UO_2) dans une installation de conversion (2) comprenant un réacteur (4) d'hydrolyse pour la conversion d' UF_6 en poudre d'oxyfluorure d'uranium (UO_2F_2) par réaction entre de l' UF_6 gazeux et de la vapeur d'eau sèche injectés dans le réacteur (4), et un four (6) de pyrohydrolyse pour la conversion de la poudre d' UO_2F_2 fourni par le réacteur (4) en poudre d' UO_2 par réaction entre l' UO_2F_2 et de la vapeur d'eau sèche et du dihydrogène (H_2) gazeux injectés dans le four (6) , le procédé comprenant les étapes de :

- convertir de l' UF_6 en UO_2 en alimentant le réacteur (4) et le four (6) en gaz réactifs via des conduits d'injection de réactif (10) pendant une phase de conversion, chaque conduit d'injection de réactif (10) débouchant dans le réacteur (4) ou dans le four (6); et

5 - alimenter au moins un conduit d'injection de réactif (10) avec un gaz neutre pendant une phase de mise à l'arrêt ou de démarrage de l'installation de conversion (2).

9.- Procédé de conversion selon la revendication 8, dans lequel au cours de la phase de mise à l'arrêt ou de démarrage de l'installation de conversion (2), chaque conduit d'injection de réactif (10) est alimenté en gaz neutre.

10 10.- Procédé de conversion selon la revendication 8 ou 9, dans lequel au cours d'une phase de production du gaz neutre est injecté dans le réacteur (4) via au moins un conduit d'injection de gaz neutre (12) pour réaliser la conversion sous atmosphère de gaz neutre.

15 11.- Procédé de conversion selon l'une quelconque des revendications 8 à 10, dans lequel, la mise à l'arrêt de l'installation de conversion (2) comprend une étape de purge pendant laquelle les conduits d'injection de réactif (10) sont alimentés en gaz neutre séquentiellement de l'amont vers l'aval de l'installation de conversion (2) en considérant le sens de déplacement de l'uranium.

20 12.- Procédé de conversion selon l'une quelconque des revendications 8 à 11 comprenant, dans une phase de mise à l'arrêt de l'installation de conversion (2), les étapes successives de :

- arrêter l'alimentation en UF_6 du réacteur (4) et la remplacer par une alimentation en gaz neutre, puis

25 - arrêter l'alimentation en vapeur d'eau sèche du réacteur (4) et la remplacer par une alimentation en gaz neutre, puis

- optionnellement, après évacuation de toute la poudre d' UO_2F_2 du réacteur (4), arrêter un dispositif de transfert (30) configuré pour transférer la poudre d' UO_2F_2 du réacteur (4) vers le four (6), puis

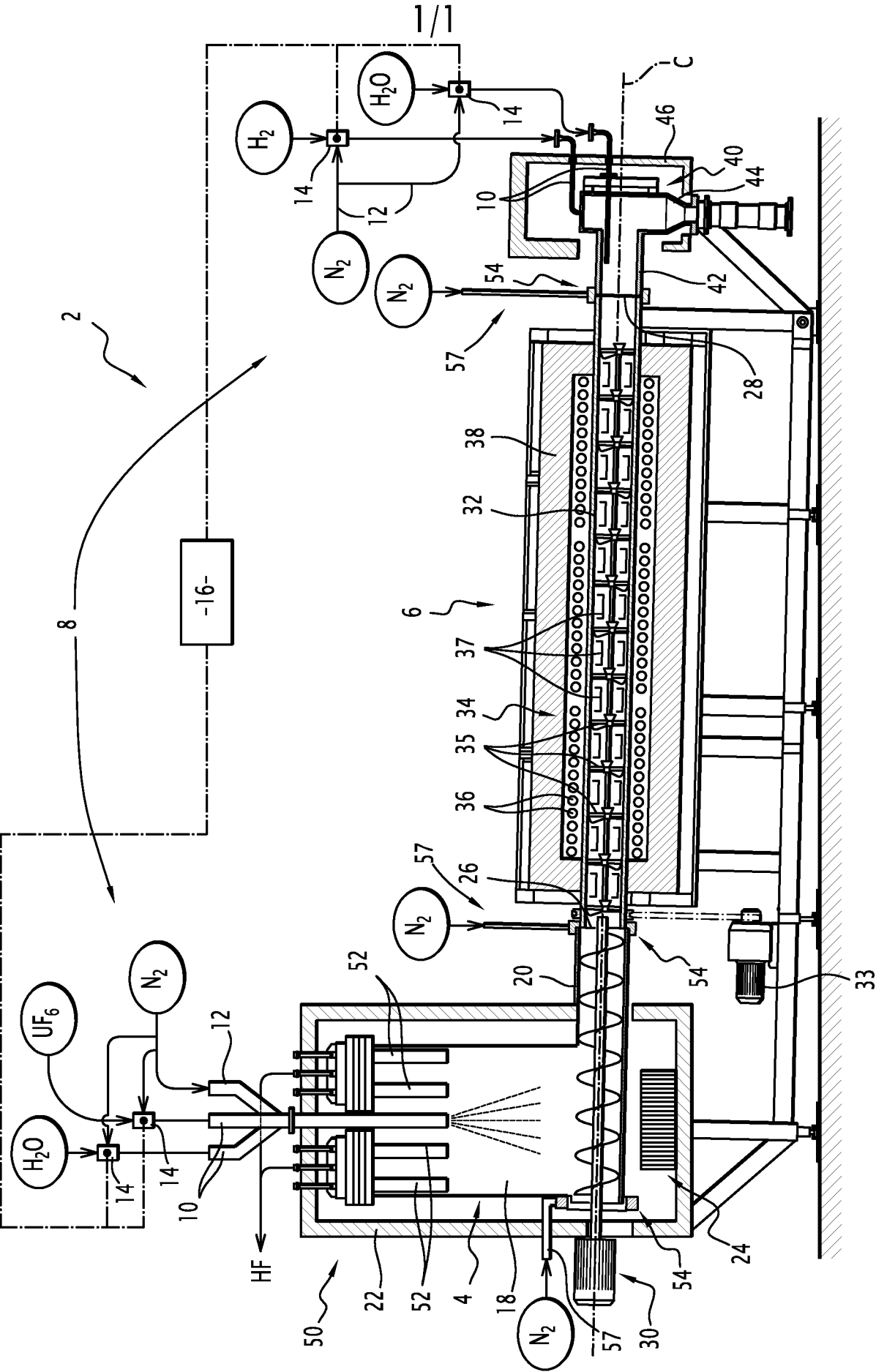
30 - arrêter l'alimentation en H_2 du four (6) et la remplacer par une alimentation en gaz neutre, puis

- arrêter l'alimentation en vapeur d'eau sèche du four (6) et la remplacer par une alimentation en gaz neutre, puis,

- optionnellement, après évacuation de toute la poudre d' UO_2 du four (6) et refroidissement d'un tambour (32) du four (6), arrêter la rotation du tambour (32).

13.- Procédé de conversion selon l'une quelconque des revendications 8 à 12, comprenant, dans une phase de démarrage de l'installation de conversion (2), les étapes successives de :

- 5 - injecter du gaz neutre dans le réacteur (4) et le four (6) par les conduits d'injection de réactif (10) et les conduits d'injection de gaz neutre (12) pendant une étape de mise en chauffe de l'installation de conversion (2) ; puis
- 10 - remplacer l'alimentation en gaz neutre par les conduits d'injection de réactif (10) du four (6) et du réacteur (4) par une alimentation en gaz réactifs, en procédant à l'alimentation des conduits d'injection de réactif (10) en gaz réactifs séquentiellement de l'aval vers l'amont de l'installation de conversion (2) en considérant le sens de déplacement de l'uranium.



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/FR2018/052504**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER****G21C 3/62**(2006.01)i; **C01G 43/00**(2006.01)i; **G21C 19/48**(2006.01)i; **G21C 21/00**(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G21C; C01G

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP H0680424 A (INST NUCLEAR ENERGY RES) 22 March 1994 (1994-03-22) paragraphs [0018] - [0022]	1,2,5,6,8,9,11,12 3,4,7,10,13
Y A	US 7824640 B1 (WESTINGHOUSE ELECTRIC CO LLC [US]) 02 November 2010 (2010-11-02) cited in the application column 8, lines 6-37; figures 1, 2	3,4,10 1
Y	US 3786120 A (DE HOLLANDER W ET AL) 15 January 1974 (1974-01-15) column 9, line 42 - column 10, line 3	7,13

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

25 June 2019

Date of mailing of the international search report

02 July 2019

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Sewtz, Michael

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/FR2018/052504

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
JP	H0680424	A	22 March 1994	JP	H0680424	A	22 March 1994
				JP	H0751444	B2	05 June 1995
US	7824640	B1	02 November 2010	NONE			
US	3786120	A	15 January 1974	BE	773353	A	30 March 1972
				CH	565120	A5	15 August 1975
				DE	2147708	A1	10 May 1972
				ES	395596	A1	01 January 1978
				FR	2120661	A5	18 August 1972
				GB	1359053	A	03 July 1974
				JP	S5124523	B1	24 July 1976
				NL	7113555	A	05 April 1972
				NL	7906647	A	31 January 1980
				SE	376903	B	16 June 1975
				US	3786120	A	15 January 1974

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2018/052504

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. G21C3/62 C01G43/00 G21C19/48 G21C21/00 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) G21C C01G		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	JP H06 80424 A (INST NUCLEAR ENERGY RES) 22 mars 1994 (1994-03-22)	1,2,5,6, 8,9,11, 12
Y	alinéas [0018] - [0022]	3,4,7, 10,13
Y	----- US 7 824 640 B1 (WESTINGHOUSE ELECTRIC CO LLC [US]) 2 novembre 2010 (2010-11-02) cité dans la demande	3,4,10
A	colonne 8, lignes 6-37; figures 1, 2	1
Y	----- US 3 786 120 A (DE HOLLANDER W ET AL) 15 janvier 1974 (1974-01-15) colonne 9, ligne 42 - colonne 10, ligne 3 -----	7,13
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="display: flex; align-items: center;"> ☐ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> ☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe </div> </div>		
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>* Catégories spéciales de documents cités:</p> <p>"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent</p> <p>"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date</p> <p>"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)</p> <p>"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens</p> <p>"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention</p> <p>"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément</p> <p>"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier</p> <p>"&" document qui fait partie de la même famille de brevets</p> </div> </div>		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée <div style="text-align: center; font-size: 1.2em;">25 juin 2019</div>		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale <div style="text-align: center; font-size: 1.2em;">02/07/2019</div>
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé <div style="text-align: center; font-size: 1.2em;">Sewtz, Michael</div>

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2018/052504

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
JP H0680424 A	22-03-1994	JP H0680424 A JP H0751444 B2	22-03-1994 05-06-1995
US 7824640 B1	02-11-2010	AUCUN	
US 3786120 A	15-01-1974	BE 773353 A CH 565120 A5 DE 2147708 A1 ES 395596 A1 FR 2120661 A5 GB 1359053 A JP S5124523 B1 NL 7113555 A NL 7906647 A SE 376903 B US 3786120 A	30-03-1972 15-08-1975 10-05-1972 01-01-1978 18-08-1972 03-07-1974 24-07-1976 05-04-1972 31-01-1980 16-06-1975 15-01-1974