

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①1 N° de publication :

2 934 079

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

②1 N° d'enregistrement national :

08 04069

⑤1 Int Cl⁸ : G 21 F 9/30 (2006.01)

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 17.07.08.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 22.01.10 Bulletin 10/03.

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

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : ARBRESLE INGENIERIE Société à
responsabilité limitée — FR.

⑦2 Inventeur(s) : RAHMANI LAURENT.

⑦3 Titulaire(s) : ARBRESLE INGENIERIE Société à res-
ponsabilité limitée.

⑦4 Mandataire(s) : ARBRESLE INGENIERIE.

⑤4 PROCÉDE D'ÉLIMINATION DES DÉCHETS RADIOACTIFS SOLIDES A FAIBLE OU MOYENNE ACTIVITE ET
VIE LONGUE PAR INJECTION A GRANDE PROFONDEUR APRES TRANSFORMATION EN EMULSION
AQUEUSE.

⑤7 L'invention concerne un procédé permettant de mettre
de façon économique et sûre les déchets radioactifs solides
à faible ou moyenne activité et vie longue à l'écart de la
biosphère.

Il consiste à transformer le déchet en une mousse
aqueuse, puis à l'injecter dans une roche d'accueil ou cavité
souterraine profonde.

Une suspension aqueuse est obtenue par broyage fin
du déchet en ambiance humide suivie d'une addition contrô-
lée d'eau au cours dans un mélangeur. Par addition
d'agents tensio-actifs et d'air et brassage énergique cette
suspension se transforme en une émulsion. Les radionu-
cléides gazeux, volatils et solubles restent prisonniers de
l'émulsion.

La mousse contenant le déchet, à laquelle une com-
pression préalable a conféré des propriétés auto-propulsi-
ves, est transférée, via un puits d'injection, dans la roche
d'accueil ou la cavité étanche située à grande profondeur.

Le procédé selon l'invention permet notamment la ges-
tion économique et sûre du graphite irradié issu des réac-
teurs nucléaires à démanteler.

FR 2 934 079 - A1



La présente invention concerne un procédé servant à l'élimination des déchets radioactifs solides à faible ou moyenne activité et vie longue.

Les déchets radioactifs solides à faible ou moyenne activité et vie longue ne sont pas acceptés en quantités significatives dans les centres de stockage des déchets radioactifs à faible et moyenne
5 activité et vie courte. D'autre part leur mise en stockage dans un centre de stockage pour déchets radioactifs à haute activité et vie longue entraînerait des dépenses extrêmement élevées compte tenu de leur masse, qui atteint plusieurs milliers de tonnes dans certains pays comme le Royaume-Uni et la France, sans compter les conteneurs dont la masse est plusieurs fois supérieure à celle du déchet.

10 Certains pays, dont la France, envisagent la construction de centres de stockage particuliers dédiés aux déchets radioactifs à faible ou moyenne activité et vie longue. Ces centres de stockage dédiés seraient installés dans des zones géographiques où les couches géologiques répondent à des critères d'épaisseur, de perméabilité et d'auto-réparabilité, et où les aquifères sont suffisamment vastes pour assurer la dilution des effluents qu'ils reçoivent, sans
15 communiquer toutefois avec les nappes utilisées pour l'activité humaine. Ils sont implantés à une profondeur de plusieurs dizaines de mètres sous le terrain naturel, soit par excavation, une technique qui présente l'inconvénient de réduire les qualités protectrices de la couverture du stockage, soit par forage de tunnels de faible pente, soit enfin par forage de tunnels horizontaux dans le flanc d'une colline. Ces trois conceptions conduisent toutes à des coûts de construction et
20 d'exploitation élevés.

De plus, bien que le retour à la biosphère des radionucléides à vie longue contenus dans les déchets stockés de cette façon s'étende sur des durées et des espaces suffisamment grands pour ne pas affecter la santé humaine, ces centres de stockage ne constituent pas au sens strict une mise à l'écart définitive des radionucléides à vie longue.

25 Parmi les déchets visés par l'invention figure notamment le graphite qui constitue le modérateur, le réflecteur et la protection biologique des réacteurs nucléaires de génération d'électricité. Historiquement l'une des méthodes envisagées pour son élimination a été l'incinération. Le rejet à l'atmosphère du dioxyde de carbone radioactif ainsi produit n'est plus aujourd'hui considéré comme acceptable. La séquestration de ce gaz, éventuellement en mélange avec le dioxyde de
30 carbone produit par les centrales électriques à combustible fossile pour lequel plusieurs projets sont en cours d'étude ou de développement, est envisagée. Les cavités considérées à cette fin sont notamment des gisements de pétrole ou de gaz naturel arrivés en fin d'exploitation, ainsi que des aquifères captifs profonds.

Cependant la séquestration du dioxyde de carbone radioactif n'est pas une réelle mise à l'écart de
35 la biosphère puisque ce gaz stocké sous forte pression est susceptible de s'échapper par les failles
et inéchantés créées par l'exploitation de la cavité.

Les cavités à grande profondeur servent également d'exutoire à des déchets chimiques. Par
exemple depuis 1975 la société SOBEGI (aujourd'hui TotalFinaElf) injecte des effluents
chimiques liquides dans une zone poreuse profonde du gisement de Lacq dénommée « Crétacé
40 4000 ». Le coût de ce procédé était évalué en 2002 à 10 € la tonne de déchet injecté, ce qui en
fait un exutoire économiquement attractif.

La réinjection sur place des eaux salines extraites des champs pétroliers est une pratique
courante. Comme ces eaux, après séparation des hydrocarbures, en contiennent encore des
traces, la pollution des nappes alluviales sus-jacentes est évitée par une étanchéité soignée des
45 systèmes de réinjection.

L'injection souterraine de déchets radioactifs est pratiquée par Oak Ridge National Laboratory
(ORNL) depuis 1960. Le lieu d'injection, qui se trouve aux Etats-Unis dans l'État du Tennessee,
est constitué d'une roche fracturée située à 90 mètres de profondeur.

A la suite du choc pétrolier de 1973 il a été proposé en France de remplacer le pétrole par du
50 charbon extrait du territoire national. Le charbon peut en effet être transformé en émulsion
aqueuse par broyage et addition contrôlée d'eau, d'air et d'agents tensio-actifs. La mousse ainsi
obtenue est facilement pompable.

L'objet de la présente invention est de proposer un procédé qui constitue une réelle mise à l'écart
de la biosphère des déchets radioactifs à faible ou moyenne activité et vie longue, tout en
55 recourant à des techniques prouvées et de coût modéré.

A cet effet le procédé qui constitue l'invention associe plusieurs des techniques mentionnées
dans le chapitre ci-dessus. Il comporte les étapes suivantes.

- La mise en place ou l'adaptation d'un système d'injection de déchets dans une roche
d'accueil ou cavité souterraine étanche située à grande profondeur.
- 60 - Le transport du déchet radioactif à faible ou moyenne activité et vie longue jusqu'au site
de traitement qui sera situé de préférence à proximité du site d'injection.
- La transformation du déchet en suspension puis en émulsion aqueuse.
- Le pompage de la mousse sous forte pression et son injection dans la roche d'accueil ou
cavité souterraine.

- 65 - Après l'achèvement de la campagne d'injection de déchet radioactif de l'eau, sous forme liquide ou en émulsion selon la forme choisie pour le déchet lui-même, est injectée pour insérer le déchet dans la roche d'accueil ou cavité souterraine à plus grande distance du puits d'injection.
- Le puits d'injection est finalement rendu étanche, par exemple par injection de coulis de
70 ciment.

Pour donner un exemple de mise en œuvre de l'invention on peut considérer le déchet radioactif solide constitué par le graphite extrait d'un réacteur nucléaire en cours de démantèlement.

Ce graphite, entreposé à proximité du réacteur, est transporté, selon l'invention, jusqu'au site d'injection par le moyen de conteneurs réutilisables homologués pour cet usage par les pouvoirs
75 publics.

L'installation d'émulsification est construite sur le site d'injection. Elle comporte les parties suivantes :

- un accostage des conteneurs, permettant de les ouvrir, les vider de leur contenu, les refermer et les replacer sur le transport pour retour,
- 80 - une enceinte fermée destinée à permettre l'entreposage d'une quantité de graphite correspondant à plusieurs jours de fonctionnement de l'installation,
- une enceinte de broyage : celui-ci est effectué en milieu humide de façon à éviter le dégagement de poussières et en plusieurs étapes au cours desquelles le graphite est progressivement transformé en une poudre fine de granulométrie adaptée à la porosité de
85 la roche d'accueil, par exemple inférieure à 100 μm ,
- une succession de mélangeur destinés à mettre la poudre de graphite en suspension concentrée dans l'eau, à ajuster la concentration par addition d'eau éventuellement pilotée par une mesure et enfin à réaliser l'émulsion par brassage énergétique avec injection d'agents tensio-actifs et d'air de foisonnement. Un exemple d'installation
90 d'émulsification de graphite est décrit dans le brevet français n°91 08899.

La mousse obtenue en sortie de cette installation est très facilement pompable. Sa pressurisation lui confère des propriétés auto-propulsives qui lui permettront de se déplacer à l'intérieur des porosités de la roche d'accueil.

Les radionucléides volatils et gazeux éventuellement libérés par le broyage sont mélangés à l'air
95 de foisonnement et restent dans la mousse. Comme la teneur en eau est ajustée progressivement jusqu'à sa valeur finale, les radionucléides solubles sont également piégés dans la mousse. Ces

processus naturels, complétés par l'étanchéité des enceintes, confèrent à l'invention des caractéristiques sûres vis-à-vis du risque de contamination de l'environnement.

Une tuyauterie joint l'installation d'émulsification à l'installation d'injection.

100 La mousse est pompée par cette tuyauterie jusqu'au puits d'injection, qui peut être par exemple un ancien puits d'extraction pétrolière sur un gisement à grande profondeur désaffecté. Ce puits est en principe constitué :

- d'un tubage descendant jusqu'à la roche réservoir, scellé sur toute sa hauteur, protégé contre la corrosion, et ouvert ou perforé à sa partie inférieure,
- 105 - d'un tubage d'injection mobile dans le précédent, inspectable et réparable, ouvrant sur la zone à injecter,
- d'une pompe d'injection équipée de jauges de pression,
- de voiles étanches destinés à protéger les eaux de surface contre une contamination éventuelle.

110 La mousse est injectée dans le puits sous une pression suffisamment élevée, par exemple 70 bar, qui lui permet de pénétrer dans la roche d'accueil et de s'y déplacer, sans risquer cependant d'endommager la porosité.

Lorsque la campagne d'injection du graphite est achevée, une injection de mousse d'eau pure refoule le graphite plus profondément dans la roche d'accueil. Le puits est ensuite clos et scellé
115 par injection de ciment.

A terme l'émulsion se sépare. La pression se détend par expansion de la fraction gazeuse dans la roche d'accueil. Le graphite reste piégé sur place. Sa grande inertie chimique évite toute corrosion de la roche.

La plupart des radionucléides gazeux, volatils et solubles se fixent sur la roche par physisorption
120 ou chimisorption, les autres restent piégés dans la cavité étanche que constitue le gisement profond.

L'application de cette invention peut faciliter par exemple la gestion du graphite irradié des réacteurs Magnox et AGR du Royaume-Uni. La masse de ce déchet se monte à plusieurs dizaines de milliers de tonnes. Le Royaume-Uni possède des gisements pétroliers arrivés à
125 maturité dans la Mer du Nord et dont l'épuisement est attendu dans quelques années.

La mise en application de cette invention, par exemple au Royaume-Uni, requiert la modification des réglementations nationales et internationales qui visent :

- 130
- à interdire d'injecter des substances nocives dans le sous-sol ; ces interdiction concernent principalement les pays d'Europe et peuvent faire l'objet de dérogations, telles que l'autorisation préfectorale de 2002 qui permet d'injecter des effluents chimiques liquides dans le site « Crétacé 4000 » du gisement de Lacq ;
 - à interdire de rejeter des déchets, notamment radioactifs, dans la mer et son sous-sol ; cette interdiction, découlant du protocole de 1996 à la convention de Londres, a été levée en février 2007 pour ce qui concerne la séquestration du dioxyde de carbone.

REVENDICATION

- 1) Procédé d'élimination des déchets radioactifs solides à faible ou moyenne activité et vie longue caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :
 - Une étape de broyage fin en ambiance humide,
 - Une étape de mise en suspension aqueuse,
 - Une étape de mise en émulsion aqueuse,
 - Une étape d'injection dans une roche d'accueil ou cavité souterraine à grande profondeur.



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement national

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

FA 710821
FR 0804069

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	US 6 382 423 B1 (BUSH JOHN G [US] ET AL) 7 mai 2002 (2002-05-07) * colonne 2, ligne 45 - colonne 9, ligne 42; exemples 4,5 *	1	G21F9/30 DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) G21F B03D C10J B02C E02D
A	FR 2 833 192 A (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]) 13 juin 2003 (2003-06-13) * le document en entier *	1	
A	US 5 986 159 A (AINES ROGER D [US] ET AL) 16 novembre 1999 (1999-11-16) * abrégé *	1	
A	WO 01/27935 A (BRADBURY DAVID [GB]; MASON J BRADLEY [US]) 19 avril 2001 (2001-04-19) * abrégé; revendications 1-12 *	1	
A	WO 03/050208 A (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]; PARIS JACQUES [FR]; COSTES JEAN-RA) 19 juin 2003 (2003-06-19) * page 7, ligne 1 - page 9, ligne 16 *	1	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
30 avril 2009		Lohberger, Severin	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		D : cité dans la demande	
A : arrière-plan technologique		L : cité pour d'autres raisons	
O : divulgation non-écrite		
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0804069 FA 710821**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **30-04-2009**

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 6382423	B1	07-05-2002	AUCUN	

FR 2833192	A	13-06-2003	AT 358534 T	15-04-2007
			DE 60219349 T2	13-12-2007
			EP 1453607 A1	08-09-2004
			ES 2286327 T3	01-12-2007
			WO 03049865 A1	19-06-2003
			JP 2005512072 T	28-04-2005
			US 2005051644 A1	10-03-2005

US 5986159	A	16-11-1999	AUCUN	

WO 0127935	A	19-04-2001	CN 1391696 A	15-01-2003
			DE 60024306 D1	29-12-2005
			DE 60024306 T2	27-07-2006
			EP 1228513 A2	07-08-2002
			JP 2003511710 T	25-03-2003
			RU 2239899 C2	10-11-2004
			US 2002064251 A1	30-05-2002

WO 03050208	A	19-06-2003	AT 296339 T	15-06-2005
			DE 60204351 D1	30-06-2005
			DE 60204351 T2	26-01-2006
			EP 1453938 A2	08-09-2004
			ES 2242095 T3	01-11-2005
			FR 2833269 A1	13-06-2003
			JP 2005512073 T	28-04-2005
			US 2005124842 A1	09-06-2005
