

Description

Titre : PROCEDE D'ELIMINATION D'UNE PFAS COMPRISE DANS UN DECHET

Domaine technique

[0001] La présente divulgation relève du domaine de l'élimination des substances poly- et perfluoroalkylées ("*Per- and polyfluoroalkyl substances*" selon la terminologie anglaise, ci-après noté PFAS), en particulier comprises dans des déchets.

[0002] Les PFAS forment une grande famille de plusieurs milliers de produits chimiques synthétiques qui sont couramment utilisés depuis les années 1950 pour leur propriété antiadhésive, leur imperméabilité et leur durabilité sous conditions extrêmes (forte chaleur, forte pression et/ou aux radiations).

[0003] Selon une présentation du 7 février 2023 de L'Agence Européenne des Produits Chimiques ("*European Chemicals Agency*" selon la terminologie anglaise, ci-après noté ECHA), les PFAS sont présentes dans de très nombreuses applications. Par exemple, les PFAS sont utilisées dans différents procédés industriels, dans le secteur de l'énergie, dans les secteurs pétroliers et miniers, dans le secteur du transport, dans le secteur du traitement de surface des matériaux (imperméabilisation, déperlant, anti-mouillage), dans les mousses extinctrices, dans les lubrifiants, dans les produits électroniques et les semi-conducteurs. Les PFAS sont également présentes dans les objets du quotidien, comme les vêtements imperméables (chaussures, gants, manteaux), les poêles antiadhésives, les textiles anti-tâches déperlants (tapisseries, tapis), les appareils médicaux implantables, les produits cosmétiques, les médicaments, les produits phytosanitaires, et les emballages alimentaires. Ainsi, selon cette présentation, environ 92 000 tonnes de PFAS ont été utilisées en 2020.

[0004] Cependant, même à très faibles doses, les PFAS sont particulièrement toxiques. En effet, d'après l'ECHA, les PFAS sont suspectées d'avoir de multiples effets délétères chez l'Homme tels que provoquer des cancers, une baisse de la fertilité, un mauvais développement du fœtus et une interférence avec le système immunitaire.

[0005] De plus, de par leur structure chimique faite de liaison carbone-fluor, qui compte parmi les liaisons chimiques les plus fortes de la chimie organique, les PFAS ne se dégradent pas après utilisation ou rejet dans l'environnement. Certaines PFAS, telles que l'acide perfluorooctanoïque (ci-après noté PFOA), l'acide perfluorooctane sulfonique (ci-après noté PFOS) et l'acide perfluorohexane sulfonique (ci-après noté PFHxS), sont même appelées polluants organiques éternels ("*Persistent organic pollutant*" selon la terminologie anglaise, ci-après noté PFAS POP). Selon la Commission Européenne, un POP est un composé chimique qui persiste dans l'environnement, se bioaccumule dans le réseau alimentaire et risque d'avoir des effets néfastes sur la santé humaine et l'environnement.

[0006] Selon l'ECHA, la plupart des PFAS sont également facilement transportées dans l'environnement sur de longues distances, loin de leur source d'émission. Une contamination des eaux souterraines, des eaux de surface et du sol par les PFAS a ainsi été fréquemment observée.

Si les PFAS continuent à être rejetées dans l'environnement, les PFAS ne cesseront de s'accumuler notamment dans l'eau potable et dans les aliments.

[0007] Les PFAS sont toxiques, polluantes, s'accumulent dans l'environnement, s'accumulent dans l'eau potable et s'accumulent dans les aliments. En Europe, leur interdiction est en cours de discussion mais devrait prendre plusieurs années. A court terme, leur élimination est donc un enjeu sanitaire majeur.

Technique antérieure

[0008] Le 27 juillet 2022, le Programme des Nations Unies pour l'Environnement ("*United Nations Environment Program*") selon la terminologie anglaise, ci-après UNEP) a émis le guide technique "General technical guidelines on the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with persistent organic pollutants" qui fournit des orientations pour la gestion écologiquement rationnelle des déchets constitués de, contenant ou contaminés par des PFAS POP. Dans la présente demande de brevet, ce guide technique peut être mentionné comme guide technique émis par l'UNEP.

[0009] Le guide technique émis par l'UNEP définit deux rendements pour quantifier l'efficacité d'élimination des PFAS POP d'une méthode. Ces deux rendements sont :

- le rendement de destruction ("*destruction efficiency*" selon la terminologie anglaise, ci-après noté DE). Ce rendement correspond au pourcentage de PFAS POP contenue dans le déchet qui est détruite ou transformée de manière irréversible par une méthode ou technologie particulière, et
- le rendement de destruction et d'enlèvement ("*destruction and removal efficiency*" selon la terminologie anglaise, ci-après noté DRE). Ce rendement ne prend en considération que les émissions dans l'air et correspond au pourcentage de PFAS POP originales transformées de manière irréversible et évacuées dans les fumées.

[0010] Dans le domaine de l'invention, il y a un consensus pour qualifier d'efficace une méthode présentant un DE supérieur ou égal à 99,99% et un DRE supérieure ou égal à 99,9999%.

[0011] La publication "*PFAS fate and destructions mechanisms during thermal treatment: a comprehensive review*, Longendyyke, et al. Environ. Sci.: Processes Impact, 2022, 24, 196" présente différentes méthodes d'élimination des PFAS. Ces méthodes sont l'incinération, la désorption thermique, la pyrolyse, la gazéification, la combustion lente ("*smoldering combustion*" selon la terminologie anglaise) et la liquéfaction hydrothermale.

[0012] Selon cette publication :

- la désorption thermique et la pyrolyse permettent de réduire la quantité des PFAS de 90%,
- la gazéification génère des PFAS volatiles,
- la combustion lente ne peut réduire la quantité de PFAS que d'environ 80%, et
- la liquéfaction hydrothermale ne peut réduire la quantité du PFOA qu'à 99% et la quantité du PFOS qu'à 86%.

[0013] Un procédé d'élimination des PFAS par gazéification est décrit dans le brevet US 11,339,337 B1. En particulier, le déchet mis en œuvre dans ce procédé est une eau usée comprenant des biosolides (*wastewater biosolid*) et des PFAS. Le procédé comprend les étapes suivantes :

- 5 - la gazéification de l'eau usée à une température de 480°C à 980°C pour produire un gaz de synthèse comprenant les PFAS non éliminées par la gazéification. Le gaz de synthèse est un mélange de monoxyde de carbone (CO) et d'hydrogène (H₂). Ainsi, contrairement à l'incinération réalisée en milieu oxydant, la gazéification est nécessairement réalisée en milieu réducteur pour produire le gaz de synthèse,
 - 10 - la combustion du gaz de synthèse comprenant les PFAS à une température de 870°C à 1420°C pour produire un gaz de combustion comprenant les PFAS non éliminées par la combustion,
 - le refroidissement du gaz de combustion comprenant les PFAS à une température de 205°C à 650°C pour produire un gaz de combustion refroidi comprenant les PFAS, et
 - la mise en contact du gaz de combustion refroidi comprenant les PFAS avec de la chaux
 - 15 hydratée pour augmenter la décomposition des PFAS du gaz de combustion refroidi.
- Ainsi, comme décrit dans la publication "*PFAS fate and destructions mechanisms during thermal treatment: a comprehensive review*, Longendyyke, et al. Environ. Sci.: Processes Impact, 2022, 24, 196, l'étape de gazéification du procédé du brevet US 11,339,337 B1 génère des PFAS volatiles qu'il est nécessaire de décomposer dans deux étapes ultérieure.
- 20 Le procédé du brevet US 11,339,337 B1 ne permet donc pas une élimination simples des PFAS de façon efficace.

[0014] Ainsi, la désorption thermique, la pyrolyse, la gazéification, la combustion lente et la liquéfaction hydrothermale ne semblent pas pouvoir éliminer simplement les PFAS de façon suffisamment efficace. De plus, compte tenu de la complexité de leur mise en œuvre et la quantité

25 très importante de PFAS à éliminer, ces méthodes sont difficilement envisageables à l'échelle industrielle.

[0015] L'incinération, quant à elle, est une technique envisageable à l'échelle industrielle. En effet, elle est simple à mettre en œuvre et permet de traiter une quantité très importante de déchets et donc de déchets comprenant des PFAS. Cependant, une étude présentée dans cette publication

30 conclue que le PFOA n'est pas dégradé en étant soumis à 1000°C durant 2 secondes.

[0016] De plus, selon cette publication, la destruction, en particulier la destruction thermique, des PFAS génère du fluorure d'hydrogène, ci-après noté HF. Le HF est un composé extrêmement toxique et écotoxique. De plus, le HF peut détériorer l'unité d'incinération par son action corrosive sur les métaux ou, comme expliqué dans cette publication, en réagissant avec le revêtement à base

35 de silice des réacteurs pour produire du tétrafluorure de silicium.

[0017] Au cours d'un test à l'échelle industrielle, le Demandeur a soumis des déchets comprenant des PFAS à une température comprise entre 962°C et 979°C dans une unité d'incinération. Il a constaté que certaines PFAS pouvaient être éliminées efficacement mais que, en contrepartie, les

émissions de HF sont supérieures à la valeur limite de 1 mg/Nm³ sec à 11% de O₂ indiquée à l'annexe VI de la directive 2010/75/EU du Parlement Européen et du Conseil du 24 novembre 2010.

Problème technique

[0018] Il existe donc toujours un besoin d'une solution industrielle permettant d'éliminer efficacement les PFAS tout en permettant de contrôler efficacement les émissions de HF induites par cette élimination.

[0019] Il est ainsi du mérite des inventeurs d'avoir trouvé qu'il était possible de répondre à ce besoin en soumettant le déchet comprenant la PFAS à un traitement thermique en présence d'un sel de métal alcalino-terreux.

10 Résumé

[0020] Ainsi, il est proposé un procédé d'élimination d'une substance poly- et perfluoroalkylée comprise dans un déchet, le procédé comprenant une étape de :

a) traitement thermique du déchet à une température supérieure ou égale à 850°C, en particulier de 900°C à 1100°C, plus particulièrement de 950°C à 1050°C,

15 l'étape a) étant réalisée en présence d'une composition comprenant un sel de métal alcalino-terreux.

[0021] De façon surprenante, la combinaison du traitement thermique réalisé dans les conditions opératoires de l'étape a) et du sel de métal alcalino-terreux permet avantageusement :

- d'éliminer efficacement et simplement la substance poly- et perfluoroalkylée, en particulier les PFAS POP que sont le PFOA, le PFOS et le PFHxS, et

20 - de contrôler la concentration en HF dans la fumée générée lors de l'étape a) de sorte que les émissions de HF sont inférieures à la valeur limite de 1 mg/Nm³ sec à 11% de O₂ indiquée à l'annexe VI de la directive 2010/75/EU du Parlement Européen et du Conseil du 24 novembre 2010.

[0022] Sans vouloir être liés par aucune théorie, les inventeurs sont d'avis que la combinaison du traitement thermique réalisé dans les conditions opératoires de l'étape a) et du sel de métal alcalino-terreux confère son efficacité au procédé en :

25 - facilitant les réactions de dégradation de la substance poly- et perfluoroalkylée présente dans le déchet et/ou présente dans la fumée générée par la combustion du déchet lors de l'étape a), et

- neutralisant efficacement le HF formé par cette dégradation.

30 En effet, dans les conditions de l'étape a), le traitement thermique permet la combustion du déchet, la dégradation de la substance poly- et perfluoroalkylée et l'oxydation très rapide du sel de métal alcalino-terreux en oxyde de métal alcalino-terreux. Les inventeurs sont d'avis que cet oxyde pourrait ensuite :

35 - catalyser les réactions de dégradation de la PFAS, accélérant ainsi la cinétique de ces réactions, et/ou

- réagir rapidement avec les produits de ces dégradations, en particulier avec le HF. En accord avec le principe de Le Chatelier, les réactions de dégradation de la PFAS seraient alors

thermodynamiquement favorisées.

Des résultats particulièrement probants ont été obtenus avec le carbonate de calcium.

[0023] Le procédé de l'invention est également simple à mettre en œuvre à l'échelle industrielle pour traiter une quantité importante de déchets. En effet, le procédé de l'invention peut être mis en œuvre dans une unité classique d'incinération de déchets, connue et maîtrisée par la personne du métier. De plus, le débit d'un four de combustion d'une unité classique d'incinération peut atteindre 15 T/h de déchets.

[0024] Le procédé de l'invention est également économique. En effet, il ne nécessite pas d'investissement lourd dans le matériel puisqu'il peut être mis en œuvre dans une unité classique d'incinération de déchets et car le coût de la composition est faible.

[0025] Il est également proposé une utilisation d'une composition comprenant un sel de métal alcalino-terreux pour éliminer une substance poly- et perfluoroalkylée comprise dans un déchet.

Brève description des dessins

[0026] D'autres caractéristiques, détails et avantages apparaîtront à la lecture de la description détaillée ci-après, et à l'analyse du dessin annexé, sur lequel :

Fig. 1

[0027] [Fig. 1] est un schéma illustrant une unité d'incinération.

Description des modes de réalisation

[0028] Il est maintenant fait référence à [Fig. 1].

[0029] Selon un premier aspect, il est proposé un procédé d'élimination d'une substance poly- et perfluoroalkylée comprise dans un déchet, le procédé comprenant une étape de :

a) traitement thermique du déchet à une température supérieure ou égale à 850°C, en particulier de 900°C à 1100°C, plus particulièrement de 950°C à 1050°C, l'étape a) étant réalisée en présence d'une composition comprenant un sel de métal alcalino-terreux.

[0030] Au sens de la présente invention, on entend par "substance poly- et perfluoroalkylée" un composé organofluoré comprenant un ou plusieurs groupes fonctionnels alkyle perfluorés ou alkyle polyfluorés.

[0031] Au sens de la présente invention, les formes singulières "un", "une", "le" et "la" englobent également les formes plurielles des termes auxquels elles se réfèrent, à moins que le contenu n'indique clairement le contraire.

[0032] La substance poly- et perfluoroalkylée mise en œuvre dans le procédé de la présente invention peut être n'importe quelle PFAS. Ainsi, la PFAS peut être choisie parmi une PFAS présentée dans le Tableau 45-1 *PFAS Target Analytes* présent dans la méthode OTM-45 de l'US EPA dans sa version du 13 janvier 2021, une PFAS listée dans la directive 2020/2184 du Parlement Européen et du Conseil du 16 décembre 2020 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine et leur combinaison.

[0033] Par exemple, la substance poly- et perfluoroalkylée peut être au moins une PFAS choisie parmi :

Nom commun	Abréviation	Numéro CAS
Acide perfluorooctane sulfonique	PFOS	1763-23-1
Acide perfluorooctanoïque	PFOA	335-67-1
Acide perfluorohexane sulfonique	PFHxS	355-46-4
Acide d'oxyde d'hexafluoropropylène-dimère	HFPO-DA (ou GenX)	13252-13-6
Acide perfluorodécane sulfonique	PFDS	335-77-3
Acide perfluorobutanoïque	PFBA	375-22-4
Acide perfluoropentanoïque	PFPeA	2706-90-3
Acide perfluorohexanoïque	PFHxA	307-24-4
Acide perfluoroheptanoïque	PFHpA	375-85-9
Acide perfluorononanoïque	PFNA	375-95-1
Acide perfluorononanoïque	PFDA	335-76-2
Acide perfluoroundécanoïque	PFUnDA	2058-94-8
Acide perfluorododécanoïque	PFDoA (ou PFDoDA)	307-55-1
Acide perfluorotridecanoïque	PFTTrDA	72629-94-8
Acide perfluorotetradécanoïque	PFTeDA	376-06-7
Acide perfluorohexadécanoïque	PFHxDA	67905-19-5
Acide perfluorooctadécanoïque	PFODA	16517-11-6
Acide perfluorobutane sulfonique	PFBS	375-73-5
Acide perfluoropentane sulfonique	PFPeS	2706-91-4
Acide perfluoroheptane sulfonique	PFHpS	375-92-8
Acide perfluorononane sulfonique	PFNS	68259-12-1
Acide perfluorooctane sulfonique	PFDoS	79780-39-5
Acide perfluoroundécane sulfonique	PFUnDS	749786-16-1
Acide perfluorododécane sulfonique	PFDoDS	79780-39-5
Acide perfluorotridecanoïque sulfonique	PFTTrS	791563-89-8
Perfluoro-1-octanesulfonamide	FOSA	754-91-6
N-Méthyl perfluorooctane sulfonamide	MeFOSA	31506-32-8
N-Éthyl perfluorooctane sulfonamide	EtFOSA	4151-50-2
2-(N-méthylperfluoro-1-octanesulfonamido)-ethanol	N-MeFOSE	24448-09-7
2-(N-éthylperfluoro-1-octanesulfonamido)-ethanol	N-EtFOSE	1691-99-2
Acide N-méthyl perfluorooctanesulfonamidoacétique	MeFOSAA	2355-31-9
Acide N-éthyl perfluorooctanesulfonamidoacétique	EtFOSAA	2991-50-6
Acide 1H,1H,2H,2H-perfluorohexane sulfonique	4:2 FTS	757124-72-4
Acide 1H,1H,2H,2H-perfluorooctane sulfonique	6:2 FTS	27619-97-2
Acide 1H,1H,2H,2H-Perfluorodécane sulfonique	8:2 FTS	39108-34-4
1H,1H,2H,2H-perfluorododécane sulfonate	10:2 FTS	120226-60-0
Acide 4,8-Dioxa-3H-perfluorononanoïque	ADONA	919005-14-4
Acide 9-Chlorohexadecafluoro-3-oxanonane-1-sulfonique	9Cl-PF3ONS	756426-58-1
Acide 11-Chloroeicosafluoro-3-oxaundécane-1-sulfonique, ou 11-Chloroeicosafluoro-3-oxaundécane-1-sulfonate	11Cl-PF3OUdS	763051-92-9, ou 83329-89-9
Acide nonafluoro-3,6-dioxaheptanoïque	NFDHA	151772-58-6
Acide perfluoro(2-éthoxyethane)sulfonique	PFEESA	113507-82-7
Perfluoro-1-dodécanesulfonate de sodium	PFDoS	1260224-54-1
Acide perfluoro-4-méthoxybutanoïque	PFMBA	863090-89-5
Acide perfluoro-3-méthoxypropanoïque	PFMPA	377-73-1
Décafluoro-4-(pentafluoroéthyl)cyclohexanesulfonate)	PFecHS	67584-42-3
Acide 2H-perfluoro-2-décenoïque	8:2 FTUCA (ou FOU EA)	70887-84-2
Acide 2-perfluorodécyl éthanoïque	10:2 FDEA	53826-13-4

Acide 2-perfluorooctyl éthanoïque	8:2 FTA (ou FOEA)	27854-31-5
Acide 2H-perfluoro-2-octénoïque	6:2 FHUEA	70887-88-6
Acide 2-perfluorohexyl éthanoïque	6:2 FTCA (ou 6:2 FHEA)	53826-12-3
Acide 3:3 Fluorotélomérique carboxylique	3:3 FTCA	356-02-5
Acide 5:3 Fluorotélomérique carboxylique	5:3 FTCA	914637-49-3
Acide 7:3 Fluorotélomérique carboxylique, ou Acide 3-perfluoropheptyl propanoïque.	7:2 FTCA (ou FHpPA)	812-70-4
1H,1H,2H,2H-Perfluoro-1-octanol	6:2 FTOH	647-42-7
1H,1H,2H,2H-Perfluoro-1-décanol	8:2 FTOH	678-39-7
Acide acétique / 2,2-difluoro-2-{{[2,2,4,5-tétrafluoro-5-(trifluorométhoxy)-1,3-dioxolan-4yl]oxy}}	C6O4	1190931-41-9

[0034] Selon un mode de réalisation, la PFAS peut être choisie parmi les PFAS POP. Des exemples sont le PFOS, le PFOA, le PFHxS.

[0035] Ainsi, selon un mode de réalisation, la PFAS peut être le PFOS, le PFOA, le PFHxS, un mélange du PFOS et du PFOA, un mélange du PFOS et de la PFHxS, un mélange du PFOA et du PFHxS ou un mélange du PFOS, du PFOA et du PFHxS.

[0036] Le procédé de l'invention permet donc d'éliminer efficacement les PFAS POP et ainsi de résoudre un problème sanitaire majeur.

[0037] Selon un autre mode de réalisation, la substance poly- et perfluoroalkylée peut être choisie parmi le PFOS, le PFOA, le PFHxS, le HFPO-DA, le PFDS, le PFBA et leurs mélanges.

[0038] Le déchet mis en œuvre dans le procédé de l'invention peut être tout type de déchet comprenant une ou plusieurs PFAS. En particulier, le déchet peut comprendre au moins 0,01 mg de PFAS par kg de déchet, en particulier de 0,10 mg de PFAS à 1000 mg de PFAS par kg de déchet, plus particulièrement de 0,90 mg de PFAS à 150 mg de PFAS par kg de déchet.

[0039] Le déchet peut être choisi parmi un déchet dangereux, un déchet non-dangereux, un déchet POP, une boue municipale, une boue industrielle et leurs mélanges, en particulier un déchet dangereux, un déchet POP et leur mélange, plus particulièrement un déchet POP.

[0040] Au sens de la présente invention, on entend par "déchet non-dangereux" tout déchet qui ne présente aucune des propriétés qui rendent un déchet dangereux.

[0041] Au sens de la présente invention, on entend par "déchet dangereux" tout déchet qui présente une ou plusieurs des propriétés de dangers énumérées à l'annexe III de la directive 2008/98/ CE du Parlement européen et du Conseil du 19 novembre 2008 relative aux déchets et abrogeant certaines directives.

[0042] Au sens de la présente invention, on entend par "déchet POP" tout déchet comprenant au moins 50 mg de PFOS par kg de déchet, au moins 1 mg de PFOA par kg de déchet et/ou au moins 1 mg de PFHxS par kg de déchet.

[0043] Par exemple, un déchet non-dangereux qui peut être mis en œuvre dans le procédé de l'invention est un objet du quotidien, comme un vêtement imperméable, une poêle antiadhésive, un textile anti-tâches déperlant, un appareil médical implantable, un produit cosmétique, un emballage alimentaire, un produit électronique, un semi-conducteur et leurs mélanges. Le vêtement

impermeable peut être une chaussure, un gant, un manteau ou leurs combinaisons. Le textile anti-tâches déperlant peut être une tapisserie, un tapis ou leur combinaison.

[0044] Un déchet dangereux, qui peut être mis en œuvre dans le procédé de l'invention, peut, par exemple, être un produit phytosanitaire, un lubrifiant, une peinture, une huile usée, un acide usé, un solvant usé, une boue de peinture, un fond de cuve d'hydrocarbures, un pesticide périmé, un déchet de gaz toxique et leurs mélanges.

[0045] Le déchet POP, qui peut être mis en œuvre dans le procédé de l'invention, peut être la terre polluée d'un site industriel, en particulier d'un site industriel de fabrication de poudre d'extinction.

[0046] Le sel de métal alcalino-terreux de la composition peut comprendre un cation choisi parmi un cation de magnésium, un cation de calcium et leurs mélanges, de préférence peut être le cation de calcium.

[0047] L'anion du sel de métal alcalino-terreux peut être choisi parmi un acétate, un acrylate, un carbonate, un formate, un propionate et leurs mélanges, en particulier parmi un acétate, un acrylate, un carbonate et leurs mélanges, plus particulièrement l'anion est un carbonate.

[0048] Le sel de métal alcalino-terreux peut être choisi parmi un sel de magnésium, un sel de calcium ou leur mélange, en particulier parmi le carbonate de magnésium, le carbonate de calcium ou leur mélange, tout particulièrement être le carbonate de calcium.

[0049] De façon avantageuse, des résultats particulièrement probants ont été obtenus avec le carbonate de calcium. De plus, le coût du carbonate de calcium est avantageusement faible.

[0050] Le carbonate de calcium peut provenir de la craie, du calcaire, de la chaux, d'un coquillage, d'une boue minérale ou de leurs mélanges, en particulier de la chaux, d'un coquillage, d'une boue minérale ou de leurs mélanges, plus particulièrement de la chaux.

[0051] Les boues minérales peuvent être composées majoritairement de carbonate de calcium et peuvent, si nécessaire, être transformées en une composition pulvérulente grâce à un ou plusieurs traitements chimiques adaptés. Les traitements chimiques sont ceux connus de la personne du métier tels que, par exemple, un lavage, un séchage, des traitements physico-chimiques. Une boue de décarbonatation, une boue d'épuration primaire de saumures et leur mélange sont des boues minérales tout à fait adaptées pour être mises en œuvre dans le procédé de l'invention.

[0052] La boue de décarbonatation est un déchet non dangereux classiquement généré lors de l'opération de décarbonatation de l'eau, opération mise en œuvre sur les sites industriels nécessitant des approvisionnements en eau adoucie. Chacun de ces sites peut générer de 1000 à 3000 tonnes/an de boue de décarbonatation. De façon avantageuse, utiliser une boue de décarbonatation comme source de carbonate de calcium permet donc de valoriser un déchet qui n'est pas valorisé à l'heure actuelle et de créer une économie circulaire par la disponibilité de ce déchet autour des incinérateurs. Cela permet également de substituer une ressource naturelle (la craie, le calcaire et la chaux) par un déchet. La boue de décarbonatation comprend généralement environ 65% de carbonate de calcium, le restant étant de l'eau. Pour être utilisée dans l'étape a) du procédé de

l'invention, elle peut donc être séchée de sorte que la concentration massique en carbonate de calcium dans la boue séchée soit supérieure à 90,0%.

5 [0053] La boue d'épuration primaire de saumures est un déchet résultant de l'électrolyse dans la fabrication de chlore. Elle contient des carbonates de calcium et de magnésium ainsi que des traces de polluants, sels, éventuellement métaux. Les polluants, les sels et les éventuels métaux peuvent être séparés par des opérations spécifiques, connues de la personne du métier, telles que des lavages successifs ou des traitements physico-chimiques. L'eau peut être enlevée par séchage.

10 [0054] La composition peut comprendre au moins 30% massique de sel de métal alcalino-terreux, en particulier de 35% à 100% massique de sel de métal alcalino-terreux, plus particulièrement de 50% à 99%.

[0055] La composition peut, par exemple, être choisie parmi une composition pulvérulente et un slurry et leur combinaison.

15 [0056] Au sens de la présente invention, on entend par "composition pulvérulente" une composition à l'état de poudre. En particulier le diamètre maximum de la distribution volumique de 50% des particules (d50) de la composition pulvérulente selon l'invention peut être inférieur ou égal à 50 μm , de préférence de 2 μm à 20 μm , plus préférentiellement de 4 μm à 10 μm . La valeur d50 peut être déterminée par granulométrie laser en voie liquide dans l'eau distillée avec un granulomètre laser Malvern-Mastersizer 2000 équipé d'une cellule "small volume" de 120 ml, le signal est traité avec le modèle mathématique de Mie.

20 [0057] De façon avantageuse, une granulométrie dans les plages ci-dessus permet d'augmenter la surface de contact de la composition pulvérulente avec le déchet et avec la fumée générée par le traitement thermique du déchet. Cela permet d'améliorer l'efficacité de l'élimination de la PFAS et d'améliorer l'efficacité du contrôle des émissions de HF induites par cette élimination.

25 [0058] La composition pulvérulente peut comprendre au moins 90% massique de sel de métal alcalino-terreux, en particulier au moins 95% massique de sel de métal alcalino-terreux.

[0059] Selon un mode de réalisation particulier, la composition pulvérulente est constituée essentiellement du sel de métal alcalino-terreux.

30 [0060] Au sens de la présente invention, "constitué essentiellement de" signifie que d'autres éléments spécifiques peuvent être présents dans la composition, en l'occurrence les éléments qui n'ont pas d'incidence matérielle sur les caractéristiques essentielles de la composition. Des impuretés sont des exemples d'éléments qui n'ont pas d'incidence matérielle sur les caractéristiques essentielles de la composition.

35 [0061] Au sens de la présente invention, on entend par "slurry" un mélange visqueux d'une matière solide en suspension dans un liquide, en particulier dans de l'eau, la matière solide comprenant le sel de métal alcalino-terreux.

[0062] Par exemple, le slurry peut être une suspension d'une boue minérale telle que décrit ci-dessus.

[0063] Le slurry peut comprendre au moins 30% massique de sel de métal alcalino-terreux, en particulier de 35% à 50% massique de sel de métal alcalino-terreux.

[0064] Lors de l'étape a) du procédé de l'invention, le traitement thermique peut être mis en œuvre durant au moins 2 secondes, en particulier de 2 secondes à 30 secondes, plus particulièrement de 2,2 secondes à 5 secondes.

[0065] Cette durée correspond à la durée durant laquelle, au cours de l'étape a), le déchet est soumis à une température supérieure ou égale à 850°C, en particulier de 900°C à 1100°C, plus particulièrement de 950°C à 1050°C.

[0066] De façon avantageuse, les inventeurs ont noté que l'élimination de la PFAS et le contrôle des émissions de HF induites par cette élimination sont d'autant plus efficaces que le traitement thermique de l'étape a) du procédé de l'invention est mis en œuvre dans ces plages de durée.

[0067] De plus, de telles plages de durée sont en accord avec la mise en œuvre du procédé de l'invention dans une unité classique d'incinération 1 de déchets. En effet, certaines unités d'une unité classique d'incinération 1 de déchets fonctionnent :

- à des températures compatibles avec les conditions opératoires de l'étape a) du procédé de l'invention, et
- avec des temps de séjour compatibles avec ces plages de durée.

[0068] Comme représentée de façon schématique à la [Fig. 1], une unité d'incinération 1 peut comprendre, dans le sens du flux, un four à combustion 11, par exemple rotatif, une chambre de post-combustion des fumées 12, une unité de refroidissement des fumées comprenant une chaudière 13 puis une tour de refroidissement 14, une unité de filtration des fumées 15, une unité de ventilation et soutirage de fumée 16 et une cheminée 17.

[0069] Les déchets sont classiquement brûlés dans le four à combustion 11, générant ainsi une fumée. Cette fumée est ensuite envoyée dans la chambre de post-combustion 12 pour y être brûlée lors d'une étape de post-combustion. La fumée brûlée issue de chambre de post-combustion 12 est ensuite refroidie et purifiée dans la chaudière 13 et la tour de refroidissement 14, puis purifiée dans l'unité de filtration des fumées 15. Cette fumée purifiée est ensuite évacuée par la cheminée 17 après être passée par l'unité de ventilation et soutirage de fumée 16.

[0070] L'unité d'incinération 1 peut classiquement produire des résidus solides et des résidus gazeux.

[0071] Par exemple, le résidu solide peut être un mâchefer issu de la chambre de post-combustion 12, une cendre volante issue de la chaudière 13 et/ou de la tour de refroidissement 14, une cendre issue de l'unité de filtration des fumées 15 ou leurs combinaisons.

[0072] Le résidu gazeux peut être la fumée purifiée évacuée par la cheminée 17.

[0073] L'unité d'incinération 1 peut en outre comprendre un laveur acide et/ou basique des fumées entre l'unité de filtration des fumées 15 et une unité de ventilation et soutirage de fumée 16. L'eau de lavage des fumées issue de ce laveur acide et/ou basique est un résidu liquide produit par l'unité d'incinération 1.

[0074] Le traitement thermique de l'étape a) du procédé de l'invention peut être une étape d'incinération par oxydation.

[0075] Typiquement la température dans le four à combustion **11** est de 850°C à 1200°C et la température dans la chambre de post-combustion **12** est de 900°C à 1150°C.

- 5 [0076] Contrairement à la réaction de gazéification, la réaction de combustion mise en œuvre dans le four à combustion **11** et les réactions de post-combustion mises en œuvre dans la chambre de post-combustion **12** nécessitent la présence d'oxygène. Ainsi, la teneur en oxygène de la fumée brûlée issue de chambre de post-combustion **12** peut être de 1% à 10%, en particulier de 2% à 9%, tout particulièrement de 4% à 8% en volume par rapport au volume de ladite fumée brûlée.
- 10 [0077] L'étape a) de traitement thermique du procédé de l'invention peut être réalisée dans le four à combustion **11** et/ou dans la chambre de post-combustion **12** de l'unité d'incinération **1**.
De par leur configuration, le four à combustion **11** et la chambre de post-combustion **12** de l'unité d'incinération **1** ne sont pas adaptés à la réalisation d'une étape de gazéification produisant du CO et de l'H₂. En effet ces deux composés s'oxyderaient immédiatement avec l'oxygène de l'air de combustion, ce qui serait particulièrement dangereux dans le cas de H₂.
- 15

- [0078] En effet, la température et/ou la pression partielle d'oxygène dans le four à combustion **11** et/ou dans la chambre de post-combustion **12** sont telles que l'étape a) du procédé de l'invention peut y être avantageusement réalisée. De plus, avec une telle étape a), il n'est pas nécessaire d'ajouter à l'unité d'incinération **1** une unité spécifiquement dédiée la réduction de la concentration en HF dans la fumée de combustion. Par conséquent, une telle étape a) permet de ne pas complexifier l'unité d'incinération **1** et d'augmenter le rendement énergétique du procédé de l'invention.
- 20

- [0079] Une durée du traitement thermique d'au moins 2 secondes, en particulier de 2 secondes à 3 secondes est adaptée à la réalisation de l'étape a) dans la chambre de post-combustion **12** de l'unité d'incinération **1**.
- 25

[0080] En effet, de façon avantageuse, une telle durée est en accord avec le temps de séjour classique des fumées dans la chambre de post-combustion **12** de l'unité d'incinération **1**. Une telle durée permet également l'élimination efficace de la PFAS et le contrôle efficace des émissions de HF induites par cette élimination.

- 30 [0081] Une durée du traitement thermique d'au moins 2 secondes, en particulier de 2 secondes à 30 secondes, plus particulièrement de 2,1 secondes à 3 secondes est adaptée à la réalisation de l'étape a) dans le four à combustion **11**.

- [0082] En effet, de façon avantageuse, une telle durée est en accord avec la durée durant laquelle les déchets sont classiquement soumis aux conditions opératoires de l'étape a) dans le four à combustion **11** et avec le temps de séjour classique des fumées générées par la combustion de ces déchets dans le four à combustion **11**. Une telle durée permet également l'élimination efficace de la PFAS et le contrôle efficace des émissions de HF induites par cette élimination.
- 35

[0083] Une durée du traitement thermique d'au moins 2 secondes, en particulier de 2 secondes à 30 secondes, plus particulièrement de 2,2 secondes à 5 secondes est adaptée à la réalisation de l'étape a) dans le four à combustion **11** et dans la chambre de post-combustion **12** de l'unité d'incinération **1**.

- 5 [0084] Typiquement, au cours de l'étape a) du procédé de l'invention, la composition peut être injectée dans le four à combustion **11**, à l'interface entre le four à combustion **11** et la chambre de post-combustion **12** et/ou dans la chambre de post-combustion **12**.

[0085] La composition pulvérulente est adaptée pour une injection dans la chambre de post-combustion **12** et/ou à l'interface entre le four à combustion **11** et la chambre de post-combustion **12**.

- 10 [0086] Grâce à sa granulométrie, la composition pulvérulente présente des propriétés de coulabilité permettant sa bonne injection.

[0087] Le slurry est adapté pour une injection dans le four à combustion **11**, à l'interface entre le four à combustion **11** et la chambre de post-combustion **12** et/ou dans la chambre de post-combustion **12**, en particulier dans le four à combustion **11**.

- 15 [0088] De façon avantageuse, injecter le slurry dans le four à combustion **11**, en particulier à l'entrée du four à combustion **11**, permet de maximiser le temps de contact entre le déchet et le sel de métal alcalino-terreux et donc d'augmenter l'efficacité de l'élimination de la PFAS et l'efficacité du contrôle des émissions de HF induites par cette élimination.

- 20 [0089] La composition peut être injectée à l'aide d'un dispositif d'injection tel qu'une vis doseuse volumétrique ou une vis doseuse pondérale.

[0090] Un débitmètre massique peut également être utilisé pour contrôler le débit d'injection de la composition dans le four à combustion **11**, à l'interface entre le four à combustion **11** et la chambre de post-combustion **12** et/ou dans la chambre de post-combustion **12**.

- 25 [0091] Le ratio entre la masse de la PFAS et la masse de la composition peut être compris de 1:0,01 à 1:0,5, en particulier de 1:0,03 à 1:0,25, plus particulièrement de 1:0,06 à 1:0,08.

[0092] De façon avantageuse, un tel ratio massique permet une élimination efficace de la PFAS, un contrôle efficace des émissions de HF induites par cette élimination et n'altère pas le fonctionnement de l'unité d'incinération **1**.

- 30 [0093] Ce ratio massique peut dépendre du débit de déchet dans le four à combustion **11** et du débit d'injection de la composition dans le four à combustion **11**, à l'interface entre le four à combustion **11** et la chambre de post-combustion **12** et/ou dans la chambre de post-combustion **12**.

- 35 [0094] La personne du métier saura adapter ces débits, en particulier le débit d'injection de la composition pour vérifier ce ratio massique. En effet, il est nécessaire de connaître le débit de déchet dans le four à combustion **11** et le flux massique de la PFAS dans le déchet pour ensuite déterminer le débit d'injection de la composition.

[0095] Typiquement, le débit de déchet dans le four à combustion **11** peut être de supérieure à 0,1 t/h, en particulier de 1,5 t/h à 15 t/h, plus particulièrement de 5 t/h à 10 t/h.

[0096] Le débit d'injection de la composition peut être de 10 kg/h à 300 kg/h, en particulier de 40 kg/h à 250 kg/h, plus particulièrement de 50 kg/h à 200 kg/h.

- 5 [0097] Selon un autre aspect, il est également proposé une utilisation d'une composition comprenant un sel de métal alcalino-terreux pour éliminer une substance poly- et perfluoroalkylée comprise dans un déchet.

[0098] La composition, la substance poly- et perfluoroalkylée et le déchet sont tels que décrits ci-dessus en lien avec le procédé de l'invention.

- 10 [0099] Par exemple, cette utilisation peut être mise en œuvre à une température supérieure ou égale à 850°C, en particulier de 900°C à 1100°C, plus particulièrement de 950°C à 1050°C.

[0100] De façon avantageuse, le procédé de l'invention peut être qualifié d'efficace selon le consensus en vigueur dans le domaine de l'invention. En effet, pour différentes substances poly- et perfluoroalkylées, en particulier le PFOS, le PFOA, le PFHxS, le HFPO-DA, le PFDS et le PFBA, le

- 15 procédé de l'invention permet d'obtenir un DRE supérieur ou égal à 99,9999% et un DE supérieur ou égal à 99,99%.

[0101] En accord avec le guide technique émis par l'UNEP, dans la présente demande et pour chaque PFAS, le DRE et le DE sont calculés selon les formules suivantes :

$$DRE = \frac{FMD - FMRG}{FMD}$$

25
$$DE = \frac{FMD - (FMRG + FMRS + FMRL)}{FMD}$$

dans lesquelles :

- 20 FMD est le flux massique horaire (en mg/h) de la PFAS dans le déchet,
FMRG est le flux massique horaire (en mg/h) de la PFAS dans le résidu gazeux,
FMRS est le flux massique horaire (en mg/h) de la PFAS dans le résidu solide, et
FMRL est le flux massique horaire (en mg/h) de la PFAS dans le résidu liquide.

[0102] Le flux massique horaire de la PFAS dans le déchet est égal au produit de la concentration massique moyenne de la PFAS dans le déchet par le débit massique moyen du déchet, le déchet étant par exemple le déchet mis en œuvre dans le four de combustion **11** sur la [Fig. 1].

- [0103] Le flux massique horaire de la PFAS dans le résidu solide est égal au produit de la
30 concentration massique moyenne de la PFAS dans le résidu solide par le débit massique moyen du résidu solide, le résidu solide étant par exemple le mâchefer issu de la chambre de post-combustion **12**, une cendre volante issue de la chaudière **13** et/ou de la tour de refroidissement **14**, une cendre issue de l'unité de filtration des fumées **15** ou leurs combinaisons sur la [Fig. 1].

- [0104] La concentration massique moyenne de la PFAS dans le déchet et la concentration massique
35 moyenne de la PFAS dans le résidu solide peuvent être déterminées en appliquant la méthode 537M

de l'US EPA de 2020 à plusieurs prélèvements, par exemple six prélèvements, faits sur le déchet et le résidu solide.

[0105] Le flux massique horaire de la PFAS dans le résidu gazeux est égal au produit de l'émission moyenne de la PFAS dans le résidu gazeux (ng/Nm^3) par le débit volumique moyen du résidu gazeux (Nm^3/h), le résidu gazeux étant par exemple la fumée évacuée par la cheminée 17 sur la [Fig. 1].

[0106] L'émission moyenne dans le résidu gazeux peut être déterminée en appliquant la méthode OTM-45 de l'US EPA dans sa version du 13 janvier 2021 à plusieurs prélèvements, en particulier plusieurs prélèvements dont le volume est supérieur à 3 Nm^3 sec, faits sur le résidu gazeux.

[0107] Le flux massique horaire de la PFAS dans le résidu liquide est égal au produit de la concentration massique moyenne de la PFAS dans le résidu liquide par le débit massique moyen du résidu liquide, le résidu liquide étant par exemple une eau de lavage des fumées issue d'un laveur acide et/ou basique.

[0108] La concentration massique moyenne de la PFAS dans le résidu liquide peut être déterminée en appliquant la méthode 537 de l'US EPA datée de 2009 à plusieurs prélèvements, par exemple six prélèvements, faits sur le déchet et le résidu liquide.

[0109] Sauf indication contraire ou incompatibilité apparente, les modes de réalisation de l'invention décrits ci-dessus peuvent être combinés les uns avec les autres.

[0110] L'invention est décrite plus en détail ci-après, à l'aide de l'exemple suivant qui n'est nullement limitatif mais est donné à titre d'exemple uniquement.

20 Exemples

[0111] Cet exemple décrit un test à l'échelle industrielle du procédé de l'invention mené dans une unité de combustion 1 qui est une ligne industrielle existante d'incinération de déchets dangereux.

[0112] L'unité de combustion 1 utilisée est représentée sur le schéma de la [Fig. 1] et est composée des éléments suivants :

- 25 - un four à combustion rotatif 11 dont le débit maximal est 10t/h,
- une chambre de post-combustion 12,
- une chaudière 13,
- une tour de refroidissement des fumées 14,
- une unité de filtration des fumées 15 comprenant deux filtres à manche,
- 30 - une unité de ventilation et soutirage de fumée 16, et
- une cheminée 17.

[0113] Du charbon actif est injecté dans les deux filtres à manche à un débit de 4 kg/h. De la chaux est injectée dans le deuxième filtre à manche, dans le sens du flux, à un débit de 175 à 300 kg/h.

[0114] Pour la réalisation des essais, la composition pulvérulente testée est du Desulfocarb P2-EC de Omya International AG. Elle comprend plus de 97% massique de carbonate de calcium et présente une valeur d50 de 8 μm .

[0115] La composition pulvérulente testée est stockée dans d'un silo dont la capacité est de 20 tonnes. L'injection en haut de la chambre de post-combustion **12** s'est faite en deux points diamétralement opposés. Cette injection s'est faite via l'utilisation de deux vis doseuses, elles-mêmes situées en aval d'un peson placé sous le silo permettant de contrôler et réguler les débits massiques d'injection.

[0116] Le déchet testé est 65 tonnes de terre polluée provenant d'un ancien site français produisant des poudres d'extinction d'incendie. Le déchet est introduit dans le four à combustion rotatif **11** à l'aide d'un grappin géré depuis la salle de contrôle du four à combustion rotatif **11**.

[0117] Six prélèvements sont réalisés sur la terre polluée. Chaque prélèvement est analysé selon la méthode 537M de l'US EPA de 2020. La concentration massique moyenne de chaque PFAS identifiée est ensuite calculée.

[0118] Comme mis en évidence par le Tableau 1 ci-dessous, le déchet testé est pollué par le PFOS, le PFOA, le PFHxS, le PFDS, le PFBA et le HFPO-DA. Le PFOS, le PFOA, le PFHxS sont des PFAS POP. Compte tenu de la concentration massique moyenne de chacun de ces 3 PFAS POP, le déchet testé est un déchet POP.

[0119] [Tableau 1]

	PFAS identifiées					
	PFOS	PFHxS	PFOA	HFPO-DA	PFDS	PFBA
Concentration massique moyenne dans le déchet testé (mg/kg)	81	3,32	1,02	0,0001	0,12	0,014

[0120] Les conditions opératoires sont présentées dans le Tableau 2 ci-dessous.

[0121] La composition pulvérulente testée n'est pas injectée dans la chambre de post-combustion **12** les jours 1 et 2.

[0122] Comme mis en évidence dans le Tableau 2, la température moyenne dans la chambre de post-combustion **12** a varié de 17°C durant les 4 jours de tests. Cette variation de température, inférieure à 2%, est considérée comme négligeable et résulte de la conduite classique du four à combustion rotatif **11** et de la chambre de post-combustion **12** et de la maîtrise du mixte des déchets entrants dans le four à combustion rotatif **11**.

[0123] Les résultats du test sont également présentés dans le Tableau 2 ci-dessous. Ainsi le Tableau 2 présente :

- la somme des concentrations massiques moyennes des PFAS présentes dans les résidus solides (mâchefer issu de la chambre de post-combustion **12** et dans les cendres issues des deux filtres à manche de l'unité de filtration des fumées **15**). Ces concentrations massiques sont déterminées en appliquant la méthode 537M de l'US EPA de 2020 sur différents prélèvements des résidus solides au cours des 4 jours de tests,

- l'émission moyenne des PFAS, mesurée dans différents prélèvements de la fumée de la cheminée **17** par la méthode OTM-45 de l'US EPA dans sa version du 13 janvier 2021 au cours des 4 jours de tests, et

5 - l'émission moyenne de HF, mesurée dans la fumée dans différents prélèvements de la cheminée **17** par la méthode NFX-43-304 de 2007 au cours des 4 jours de tests.

[0124] Le Tableau 3 présente les valeurs de DRE calculées pour chacune des six PFAS présentes dans le déchet.

[0125] Le Tableau 4 présente les valeurs de DE calculées pour chacune des six PFAS présentes dans le déchet.

10 **[0126]** Le DRE et le DE de chaque PFAS sont déterminés à l'aide :

- du flux massique horaire de chacune des six PFAS présentes dans le déchet mis en œuvre dans le four à combustion rotatif **11**,

- du flux massique horaire de chacune des six PFAS présentes dans la fumée de la cheminée **17**, et

15 - la somme des flux massiques horaires de chacune des six PFAS présentes dans les résidus solides (mâchefer issu de la chambre de post-combustion **12** et dans les cendres issues des deux filtres à manche de l'unité de filtration des fumées **15**).

Il n'y a pas de résidu liquide.

20 **[0127]** Les Tableaux 2 à 4 mettent en évidence l'importance de la combinaison du traitement thermique réalisé dans les conditions opératoires de l'étape a) et de la composition pulvérulente testée comprenant plus de 97% massique de carbonate de calcium.

[0128] En particulier, le Tableau 2 met en évidence que l'injection de la composition pulvérulente testée dans la chambre de post-combustion **12** permet de diminuer :

- les émissions de PFAS d'un facteur allant de 2,3 à 3,7, et

25 - les émissions de HF d'un facteur allant de 2,3 à 3,7 pour atteindre une valeur de 0,1 mg/Nm³ sec à 11% de O₂, i.e. une valeur très inférieure à la valeur limite de 1 mg/Nm³ sec à 11% de O₂ indiquée à l'annexe VI de la directive 2010/75/EU du Parlement Européen et du Conseil du 24 novembre 2010.

30 **[0129]** De plus, selon les Tableaux 3 et 4, lors des jours 1 et 2, au cours desquels la composition pulvérulente testée n'est pas injectée dans la chambre de post-combustion **12**, le PFDS et le PFBA ne sont pas éliminés efficacement car le DE du PFDS et le DE du PFBA sont inférieurs à 99,99% et le DRE du PFBA est inférieur à 99,9999%. En revanche, lors des jours 3 et 4, au cours desquels la composition pulvérulente testée est injectée dans la chambre de post-combustion **12**, les six PFAS sont éliminées efficacement.

35 **[0130]** Cet exemple met donc en évidence que la combinaison du traitement thermique des déchets comprenant des PFAS dans les conditions de l'étape a) du procédé de l'invention et de la composition pulvérulente comprenant du carbonate de calcium permet d'éliminer efficacement les six PFAS tout en contrôlant les émissions de HF pour respecter la valeur limite de 1 mg/Nm³ sec à

11% de O₂ indiquée à l'annexe VI de la directive 2010/75/EU du Parlement Européen et du Conseil du 24 novembre 2010.

[0131] [Tableau 2]

	Jour 1	Jour 2	Jour 3	Jour 4
Débit moyen des déchets dans 11 (t/h)	2,1	2,3	2,2	2,9
Température moyenne dans 12 (°C)	962	979	971	968
Temps de séjour des fumées issues de la combustion des déchets dans 12 (secondes)	2,2-2,6	2,2-2,6	2,2-2,6	2,2-2,6
Débit d'injection de la composition pulvérulente dans 12 (kg/h)	/	/	120	160
Somme des concentrations massiques moyennes des PFAS présentes dans les résidus solides (mâchefer issu de la chambre de post-combustion 12 et dans les cendres issues des deux filtres à manche de l'unité de filtration des fumées 15) (mg/kg).	0,39	0,33	0,23	0,48
Emission moyenne des PFAS mesurée dans la fumée de la cheminée 17 (ng/Nm ³ sec à 11% de O ₂)	88	63	27	24
Emission moyenne de HF mesurée dans la fumée de la cheminée 17 (mg/Nm ³ sec à 11% de O ₂)	2,6	2,5	0,1	0,1

[0132] [Tableau 3]

PFAS	Jour 1	Jour 2	Jour 3	Jour 4
PFOS	> 99,9999 %	> 99,9999%	> 99,9999%	> 99,9999%
PFHxS	> 99,9999%	> 99,9999%	> 99,9999%	> 99,9999%
PFOA	> 99,9999%	> 99,9999%	> 99,9999%	> 99,9999%
HFPO-DA	> 99,9999%	> 99,9999%	> 99,9999%	> 99,9999%
PFDS	> 99,9999%	> 99,9999%	> 99,9999%	> 99,9999%
PFBA	99,9998%	99,9997%	> 99,9999%	> 99,9999%

5 [0133] [Tableau 4]

PFAS	Jour 1	Jour 2	Jour 3	Jour 4
PFOS	> 99,99%	> 99,99%	> 99,99%	> 99,99%
PFHxS	> 99,99%	> 99,99%	> 99,99%	> 99,99%
PFOA	> 99,99%	> 99,99%	> 99,99%	> 99,99%
HFPO-DA	> 99,99%	> 99,99%	> 99,99%	> 99,99%

PFDS	99,87%	> 99,99%	> 99,99%	> 99,99%
PFBA	99,56%	99,23%	> 99,99%	> 99,99%

Revendications

- [Revendication 1]** Procédé d'élimination d'une substance poly- et perfluoroalkylée comprise dans un déchet, le procédé comprenant une étape de :
- a) traitement thermique du déchet à une température supérieure ou égale à 850°C,
- 5 l'étape a) étant réalisée en présence d'une composition comprenant un sel de métal alcalino-terreux.
- [Revendication 2]** Procédé selon la revendication 1 dans lequel la substance poly- et perfluoroalkylée est choisie parmi le PFOS, le PFOA, le PFHxS, le HFPO-DA, le PFDS, le PFBA, le PFPeA, le PFHxA, le PFHpA, le PFNA, le PFDA, le PFUnDA, le PFDaA, le PFTrDA, le PFTeDA, le PFHxDA, le PFODA, le PFBS, le PFPeS, le PFHpS, le PFNS, le PFDoS, le PFUnDS, le PFDoDS, le PFTrDS, le FOSA, le MeFOSA, le EtFOSA, le N-MeFOSE, le N-EtFOSE, le MeFOSAA, le EtFOSAA, le 4:2 FTS, le 6:2 FTS, le 8:2 FTS, le 10:2 FTS, le ADONA, le 9Cl-PF3ONS, le 11Cl-PF3OUdS, le NFDHA, le PFEESA, le PFMBa, le PFMPA, le PFecHS, le 8:2 FTUCA, le 10:2 FDEA, le 8:2 FTA, le 6:2 FHUEA, le 6:2 FTCA, le 3:3 FTCA, le 5:3 FTCA, le 7:2 FTCA, le PFECBS, le 6:2 FTOH, le 8:2 FTOH, le C6O4 et leurs mélanges.
- 10 **[Revendication 3]** Procédé selon la revendication 1 ou la revendication 2, dans lequel le déchet est choisi parmi un déchet dangereux, un déchet non-dangereux, un déchet POP, une boue municipale, une boue industrielle et leurs mélanges.
- [Revendication 4]** Procédé selon l'une quelconques des revendications 1 à 3, dans lequel la composition comprend au moins 30% massique de sel de métal alcalino-terreux.
- 20 **[Revendication 5]** Procédé selon l'une quelconques des revendications 1 à 4, dans lequel le sel de métal alcalino-terreux est choisi parmi un sel de magnésium, un sel de calcium et leur mélange.
- [Revendication 6]** Procédé selon l'une quelconques des revendications 1 à 5, dans lequel la composition est choisie parmi une composition pulvérulente, un slurry et leur combinaison.
- [Revendication 7]** Procédé selon la revendication 6, dans lequel la composition pulvérulente présente un diamètre maximum de la distribution volumique de 50% des particules (d50) de la composition pulvérulente est inférieur ou égal à 50 µm.
- 25 **[Revendication 8]** Procédé selon l'une quelconques des revendications 1 à 7, dans lequel le ratio entre la masse de la substance poly- et perfluoroalkylée et la masse de la composition est compris de 1:0,01 à 1:0,5.
- 30 **[Revendication 9]** Procédé selon l'une quelconques des revendications 1 à 8, dans lequel le traitement thermique de l'étape a) est mis en œuvre durant au moins 2 secondes.
- [Revendication 10]** Procédé selon l'une quelconques des revendications 1 à 9, dans lequel l'étape a) de traitement thermique est réalisée dans un four à combustion (11), et/ou dans une chambre de post-combustion (12) d'une unité d'incinération (1).
- 35 **[Revendication 11]** Utilisation d'une composition comprenant un sel de métal alcalino-terreux pour éliminer une substance poly- et perfluoroalkylée comprise dans un déchet.

[Revendication 12] Utilisation selon la revendication 11 à une température supérieure ou égale à 850°C.