

DESCRIPTION**Titre : PROCEDE DE TRAITEMENT DES EAUX D'ARRET ET DES
BOUES DE DECRASSAGE PAR DECARBONATATION AU SEIN D'UNE
INSTALLATION CHIMIQUE DE NITRURATION EN BAIN DE SELS
FONDUS**

5

Domaine technique de l'invention

La présente invention se rapporte à un procédé de traitement des eaux d'arrêt, et des
10 boues de décrassage issues du bain d'oxydation, pour récupérer des sels
d'oxydation, des sels de carbonate et de l'eau, au sein d'une installation chimique
de nitruration en bain de sels fondus.

Arrière-plan technologique

15 Dans les applications automobiles, aéronautiques, ou industrielles, les pièces
mécaniques sont généralement soumises à d'importantes contraintes en service.

De manière classique, les pièces mécaniques peuvent recevoir des traitements de
nature physico-chimique permettant d'améliorer certaines de leurs propriétés, parmi
lesquelles figurent notamment les propriétés de frottement, la résistance à l'usure, la
20 résistance à la fatigue, la résistance au grippage, ou encore la tenue à la corrosion.

Un traitement connu de l'état de l'art est la nitruration. La nitruration consiste à
plonger une pièce en métal ferreux dans un milieu susceptible de céder de l'azote,
qui peut être en particulier un bain de sels fondus. Dans le présent texte, la nitruration
englobe également la nitrocarburation, qui est une variante de la nitruration, dans
25 laquelle du carbone diffuse dans la pièce en plus de l'azote. Le procédé ARCOR®,
conçu et mis en œuvre par le Demandeur, est un exemple préféré de procédé de
nitruration.

En référence à la figure 1 qui représente une installation de nitruration conforme à
l'état de l'art, une telle installation 1 comprend plusieurs bains successifs, parmi
30 lesquels, de l'amont vers l'aval, un bain de nitruration 2, un bain d'oxydation 3, et
un bain d'arrêt 4, dit également « bain d'arrêt eau ». En amont du bain de nitruration

sont usuellement prévus un bain de dégraissage 5, un ou plusieurs bains de lavage 6, et un dispositif de séchage 7 tel qu'une étuve. En aval du bain d'arrêt 4 sont usuellement prévus un ou plusieurs bains de lavage 8, et un dispositif de séchage 9 des pièces.

- 5 Les pièces mécaniques sont d'abord dégraissées, lavées, et chauffées par passage successivement dans le bain de dégraissage 5, dans les bains de lavage 6, et dans le dispositif de séchage 7 respectivement. Les pièces sont ensuite plongées dans le bain de nitruration 2, qui est un bain de sels fondus, contenant entre autres des carbonates. En fonction des besoins, l'ajout de sels régénérants va entraîner la transformation
- 10 des carbonates en cyanates qui sont les espèces réactives. L'azote (et éventuellement le carbone) diffuse dans les pièces et précipite sous forme de nitrures, ce qui conduit à la formation d'une couche de combinaison comprenant essentiellement des nitrures de fer (ou autres éléments d'alliage), et une zone de diffusion sous-jacente dans laquelle l'azote est présent entre les atomes de fer (solution solide) ou bien
- 15 l'azote réagit avec les éléments d'alliages contenus dans l'acier pour former des nitrures.

L'effet combiné de la couche de combinaison et de la couche de diffusion permet d'obtenir une pièce nitrurée présentant de bonnes propriétés de frottement, ainsi qu'une excellente résistance à l'usure.

- 20 Après la nitruration, les pièces sont plongées dans le bain d'oxydation 3 comprenant des sels oxydants, typiquement des hydroxydes et/ou des nitrates, pour améliorer leur résistance à la corrosion et leur conférer un aspect noir uniforme.

- Après l'oxydation, les pièces sont plongées dans le bain d'arrêt 4 qui contient de l'eau froide, ce qui arrête l'oxydation, puis sont nettoyées par plusieurs lavages
- 25 successifs dans les bains de lavage 8, avant d'être séchées dans le dispositif de séchage 9 puis déchargées.

Pour certains traitements, l'étape d'oxydation n'est pas requise, les pièces sont transférées du bain de nitruration directement à un bain d'arrêt dédié. Les eaux de ce bain d'arrêt sont enrichies en sel de nitruration (et non plus en sels d'oxydation).

Bien que la nitruration soit un procédé efficace pour l'amélioration des propriétés
5 des pièces mécaniques, il présente l'inconvénient de générer des déchets (appelés parfois effluents) liquides et solides, et nécessite de l'eau. Ceci représente un impact écologique non négligeable, et peut engendrer des coûts de production relativement élevés, notamment dus au traitement des déchets décrit dans la suite.

Lors d'un traitement ARCOR, des sels de nitruration sont entraînés par les pièces et
10 polluent le bain d'oxydation, puis des sels du bain d'oxydation sont entraînés et transférés dans l'eau d'arrêt. Des réactions chimiques secondaires créent également des boues/déchets au sein même des bains de traitement (nitruration et oxydation).

Il est possible également que la ligne soit utilisée alternativement avec ou sans oxydation et que le bain d'arrêt serve alors alternativement comme bain d'arrêt pour
15 la nitruration puis pour l'oxydation. Des sels de nitruration et des sels d'oxydation sont alors transférés alternativement dans le même bain d'arrêt.

Ces déchets sont représentés sur la figure 1. Il s'agit d'effluents solides B mais également d'effluents liquides E.

Les effluents solides B sont appelés « boues de décrassage ». Elles sont recueillies
20 en majorité dans le bain d'oxydation 3 ainsi que dans le bain de nitruration 2 (après la réalisation du procédé), et sont généralement envoyées dans des mines de sels pour y être traitées et stockées. Elles contiennent des espèces insolubles et du sel. Pour les deux types de sels (sel de nitruration et sel d'oxydation), les métaux et oxydes métalliques provenant des pièces à traiter (fer et métaux d'alliages)
25 constituent des insolubles. Pour le sel d'oxydation, les carbonates constituent une grande partie des insolubles. Les boues de décrassage sont retirées physiquement lors d'opérations de maintenance régulières.

Les effluents liquides E sont appelés « eaux d'arrêt ». Elles sont recueillies en sortie du bain d'arrêt 4, et sont généralement envoyées dans des stations d'épuration ou prises en charge par des sociétés spécialisées dans le traitement des déchets.

De plus, les coûts d'achat des matières premières sont eux aussi relativement élevés,
5 il est donc intéressant d'en optimiser la consommation.

Brève description de l'invention

Face à cette situation, le Demandeur a donc cherché une solution pour réduire l'impact environnemental et maîtriser les coûts associés aux procédés de nitruration.

10 Le Demandeur a tout particulièrement axé ses recherches sur la réduction des déchets, et la limitation du gaspillage tant des ressources renouvelables telles que l'eau, que des ressources non renouvelables que sont les matières premières utilisées dans les bains de nitruration et d'oxydation, c'est-à-dire les sels de nitruration et d'oxydation.

15 Le Demandeur est parvenu à mettre au point un procédé de traitement permettant de surmonter l'ensemble des inconvénients susmentionnés, et ceci sans modifier l'architecture des chaînes de nitruration, donc pouvant être mis en œuvre sur des lignes existantes.

A cette fin, l'invention propose un procédé de traitement des eaux d'arrêt (E), et/ou
20 des boues de décrassage (B) issues du bain d'oxydation, pour récupérer des sels d'oxydation et des carbonates, au sein d'au moins une installation de nitruration en bain de sels fondus comprenant un bain de nitruration, un bain d'oxydation, ainsi qu'un bain d'arrêt,
le procédé comprenant les étapes suivantes :

- 25 - décarbonatation des eaux d'arrêt et/ou des boues de décrassage par précipitation des ions carbonates CO_3^{2-} ,
- séparation d'une phase liquide contenant des sels d'oxydation et d'une phase

solide contenant un précipité de carbonate,

- récupération d'une part des sels d'oxydation et d'autre part des carbonates.

Selon le procédé de traitement de l'invention, les eaux d'arrêt en sortie du bain d'arrêt et les boues de décassage du bain d'oxydation sont traitées afin de récupérer
5 séparément les sels d'oxydation, des carbonates et de l'eau. Avantageusement l'eau récupérée peut alimenter le bain d'arrêt et/ou les bains de lavage lorsqu'une étape de recyclage de l'eau telle que décrite dans la suite est réalisée.

Les ions carbonates CO_3^{2-} proviennent de l'entraînement des sels du bain de nitruration et se forment dans le milieu réactionnel. Ils constituent une espèce
10 « contaminante » pour le bain d'oxydation. L'étape de décarbonatation a pour objectif d'éliminer les ions carbonates par précipitation, afin de pouvoir isoler les espèces oxydantes (nitrates et/ou hydroxydes) nécessaires au bon fonctionnement du bain d'oxydation.

L'élimination des ions carbonates est avantageusement utilisée pour produire des
15 carbonates valorisables. Cette valorisation contribue à réduire le coût de la nitruration en bain de sel. Au même temps, elle réduit l'impact écologique.

Après séparation solide/liquide, on récupère les sels d'oxydation. Ces derniers peuvent alors être réinjectés dans le bain d'oxydation ou être revalorisés, et l'eau est avantageusement réinjectée dans le bain d'arrêt et/ou les bains de lavage/rinçage.

20 Ce faisant, les effluents d'oxydation et d'arrêt alimentent le bain d'oxydation et avantageusement les différentes cuves d'eau, notamment les bains de lavage et/ou le bain d'arrêt.

La revalorisation des sels d'oxydation et des carbonates, et le cas échéant le recyclage de ces derniers, réduit drastiquement l'impact environnemental du
25 procédé de nitruration industriel, en réduisant les déchets solides et liquides tout en réutilisant ces derniers afin d'alimenter le procédé, réduisant de ce fait les quantités et les coûts des matières premières que sont les sels oxydants.

Le procédé de l'invention offre donc un double avantage écologique et économique.

On précise que les pièces peuvent ne subir qu'une nitruration, sans oxydation, auquel cas le bain d'arrêt sert à arrêter la réaction de nitruration. Le procédé de l'invention ne s'applique pas à une ligne de nitruration seule, sans bain d'oxydation, car dans
5 ce cas la récupération des carbonates peut se faire par simple filtrage des eaux d'arrêt.

L'installation de nitruration peut comprendre plusieurs bains de nitruration et/ou plusieurs bains d'oxydation et/ou plusieurs bains d'arrêt.

L'installation de nitruration est utilisée dans le présent texte dans son acception la
10 plus générale. Les différents bains qu'elle comporte peuvent en pratique être installés dans un même lieu ou dans des lieux différents. Par exemple, la décarbonatation des eaux d'arrêt et/ou des boues de décassage peut être réalisée avec une première installation chimique dans un premier lieu, et la séparation de la phase liquide et de la phase solide peut être réalisée avec une deuxième installation
15 chimique dans un deuxième lieu différent du premier. En outre, un même lieu peut comprendre plusieurs installations de nitruration, c'est-à-dire plusieurs lignes de nitruration.

L'étape de décarbonatation peut être notamment réalisée de plusieurs manières :

- décarbonatation des eaux d'arrêt seules, ou
- 20 - décarbonatation des boues de décassage préalablement lixiviées dans de l'eau, ou plus généralement dans une solution aqueuse par exemple l'eau du réseau ou l'eau industrielle, ou plus généralement dans une solution aqueuse, ou
- décarbonatation des boues de décassage préalablement lixiviées dans les eaux d'arrêt.

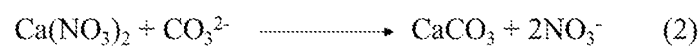
25 Selon d'autres aspects, le procédé de traitement selon l'invention présente les différentes caractéristiques suivantes prises seules ou selon leurs combinaisons techniquement possibles :

- la décarbonatation est réalisée par réaction entre les ions carbonates CO_3^{2-} et les cations monovalents ou divalents choisis parmi : les ions calcium Ca^{2+} (précipité CaCO_3), lithium Li^+ (précipité Li_2CaO_3), baryum Ba^{2+} (précipité BaCO_3), magnésium Mg^{2+} (précipité MgCO_3), fer (II) Fe^{2+} (précipité FeCO_3),
5 cuivre Cu^{2+} (précipité CuCO_3), manganèse Mn^{2+} (précipité MnCO_3), cobalt Co^{2+} (précipité CoCO_3), ou leurs mélanges. On cible les espèces peu solubles aptes à précipiter en solution ;
- la décarbonatation est réalisée avec des hydroxydes et/ou nitrates de métaux alcalins et/ou alcalino-terreux afin de former des carbonates de ces métaux
10 alcalins et/ou alcalino-terreux ;
- la décarbonatation est réalisée avec de la chaux $\text{Ca}(\text{OH})_2$ et/ou du nitrate de calcium $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, pour former du carbonate de calcium CaCO_3 , selon l'une et/ou l'autre des réactions (1) et (2) respectives suivantes :

[Chem. 1]



[Chem. 2]



20 Le choix de la réaction de décarbonatation permet de sélectionner le carbonate que l'on souhaite produire (selon le cation utilisé) pour la valorisation et/ou le recyclage. Il est ainsi possible d'adapter le procédé à la demande en carbonates.

- le procédé comprend en outre, avant l'étape de décarbonatation, une étape de lixiviation des boues de décrassage par ajout d'eau ;
- la lixiviation des boues de décrassage est réalisée au moins en partie avec les eaux d'arrêt ;
- 25 - le procédé comprend en outre, avant l'étape de décarbonatation, une étape de séparation des particules métalliques ou d'oxydes métalliques présents dans les eaux d'arrêt et/ou les boues de décrassage, par exemple par filtration. Ceci permet d'optimiser la pureté du précipité de carbonate en vue de sa revalorisation ;

- l'étape de séparation de la phase liquide contenant les sels d'oxydation et de la phase solide est réalisée par décantation puis filtration ;
- le procédé comprend en outre, après l'étape de séparation de la phase liquide et de la phase solide, une étape de séparation de l'eau et des sels d'oxydation dans la phase liquide, pour récupérer les sels d'oxydation sous forme solide ;
- l'étape de séparation de l'eau et des sels d'oxydation dans la phase liquide est réalisée par séchage de la phase liquide, par exemple dans un évaporateur sous vide ;
- le procédé comprend en outre, après la séparation de l'eau et des sels d'oxydation, une étape de recyclage de l'eau vers le bain d'arrêt et/ou au moins un bain de lavage ;
- le procédé comprend en outre, après l'étape de séparation de la phase liquide et de la phase solide, une étape de réinjection des sels d'oxydation dans le bain d'oxydation. De préférence, lorsqu'une séparation de l'eau et des sels d'oxydation dans la phase liquide pour récupérer les sels d'oxydation sous forme solide est réalisée, l'étape de réinjection des sels d'oxydation est réalisée après cette dernière ;
- le bain de nitruration comprend des ions cyanates CNO^- et des ions carbonates CO_3^{2-} ;
- le bain de nitruration comprend en outre des ions alcalins, de préférence des ions lithium Li^+ , et/ou des ions potassium K^+ , et/ou des ions sodium Na^+ ;
- le bain d'oxydation comprend des ions hydroxydes OH^- et/ou des ions nitrates NO_3^- , et éventuellement des ions carbonates.

25 **Description des figures**

D'autres avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront à la lecture de la description suivante donnée à titre d'exemple illustratif et non limitatif, en référence aux figures annexées suivantes :

[Fig. 1] La figure 1 est un schéma qui illustre une installation industrielle de nitruration en bain de sels fondus conforme à l'état de l'art.

[Fig. 2] La figure 2 est un schéma qui illustre une installation industrielle de nitruration en bain de sels fondus selon l'invention, dans laquelle seuls les bains de nitruration, d'oxydation, et d'arrêt sont représentés.

[Fig. 3] La figure 3 est un schéma qui illustre en détails la réaction de
5 décarbonatation des boues de décrassage et/ou des eaux d'arrêt, selon un mode de réalisation.

Description détaillée de modes de réalisation de l'invention

Le procédé de l'invention va maintenant être décrit en détails en référence à la figure
10 2 qui est une représentation simplifiée d'une installation 10 de nitruration en bain de sels fondus, en ce que seuls les principaux éléments de l'installation sont conservés, à savoir un bain de nitruration 11, un bain d'oxydation 12, et un bain d'arrêt 13, dans un but de simplification du présent texte.

Les pièces mécaniques à traiter, préalablement dégraissées, puis rincées et séchées
15 en étuve, sont immergées dans le bain de nitruration 11. Le bain de nitruration 11 est composé de sels de nitruration fondus qui sont portés à une température qui se situe typiquement entre 500°C et 630°C.

La nitruration a pour but de conférer aux pièces une dureté plus élevée, et d'améliorer leurs propriétés mécaniques, notamment la résistance au grippage et à
20 l'usure, par diffusion dans l'acier de l'azote, et éventuellement de carbone dans le cas d'une nitrocarburation.

Le bain de nitruration 11 comprend essentiellement des ions cyanates CNO^- et des ions carbonates CO_3^{2-} . Des sels régénérants sont rajoutés au besoin dans le bain de nitruration pour convertir rapidement les ions carbonates CO_3^{2-} en ions cyanates
25 CNO^- .

Le bain de nitruration 11 comprend en outre des ions alcalins, de préférence des ions lithium Li^+ , et/ou des ions potassium K^+ , et/ou des ions sodium Na^+ .

Après l'étape de nitruration, les pièces mécaniques sont immergées dans le bain d'oxydation 12. Le bain d'oxydation 12 est composé de sels oxydants fondus portés à une température typiquement de l'ordre de 450°C. Les sels d'oxydation sont composés entre autres d'hydroxydes.

- 5 L'oxydation a pour but d'améliorer la résistance à la corrosion des pièces, et de leur conférer un aspect noir uniforme.

Après l'étape d'oxydation, les pièces sont plongées dans le bain d'arrêt 13, qui contient de l'eau (eau d'arrêt), puis sont nettoyées dans des bains de lavage, de préférence des lavages en cascade successifs, avant d'être séchées dans une étuve,
10 puis déchargées.

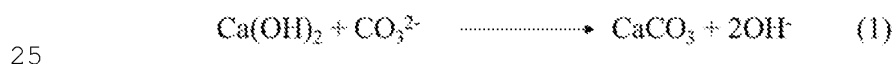
Comme on peut le voir sur la figure 2, l'oxydation des pièces génère des boues que l'on extrait par décassage du bain, conduisant à la formation des boues de décassage B, et l'arrêt eau génère des eaux d'arrêt E, qui constituent respectivement des déchets solides et liquides que le procédé de l'invention permet de recycler.

- 15 La récupération des sels d'oxydation est basée sur la décarbonatation des boues de décassage et/ou des eaux d'arrêt par précipitation des ions carbonates CO_3^{2-} .

Dans le mode de réalisation représenté sur les figures 2 et 3, la décarbonatation est réalisée par précipitation des ions carbonates CO_3^{2-} des boues de décassage B et/ou des eaux d'arrêt E avec de la chaux Ca(OH)_2 et/ou du nitrate de calcium $\text{Ca(NO}_3)_2$,
20 pour former du carbonate de calcium CaCO_3 . Le carbonate de calcium peut par exemple être valoriser comme matière de base pour les matériaux de construction.

Les ions carbonates CO_3^{2-} réagissent avec la chaux Ca(OH)_2 selon l'équation (1) suivante :

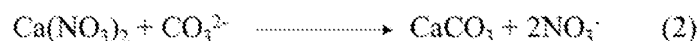
[Chem. 1]



On obtient alors des ions hydroxydes et du carbonate de calcium.

Les ions carbonates CO_3^{2-} réagissent avec le nitrate de calcium $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ selon l'équation (2) suivante :

[Chem. 2]



- 5 Dans ce cas on obtient des ions nitrates et du carbonate de calcium.

Lorsque de la chaux $\text{Ca}(\text{OH})_2$ et/ou du nitrate de calcium $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sont tous les deux ajoutés dans le milieu réactionnel, les réactions (1) et (2) se produisent toutes les deux. Les ions carbonates CO_3^{2-} réagissent donc à la fois avec la chaux $\text{Ca}(\text{OH})_2$ et le nitrate de calcium $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$.

- 10 Lorsque seule la chaux $\text{Ca}(\text{OH})_2$ est ajoutée dans le milieu réactionnel, seule la réaction (1) se produit. Lorsque seul le nitrate de calcium $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ est ajouté dans le milieu réactionnel, seule la réaction (2) se produit.

Après une phase de décantation, on sépare la phase liquide contenant les sels d'oxydation 23 et la phase solide contenant le précipité de carbonate de calcium

- 15 CaCO_3 . De préférence, la séparation est réalisée par filtration, par exemple sur filtre presse.

Dans la phase liquide, on sépare ensuite l'eau et les sels d'oxydation 23, de préférence par séchage, afin d'obtenir les sels d'oxydation 23 sous forme solide.

Les sels d'oxydation 23 sous forme solide peuvent être conservés pour être valorisés,

- 20 ou peuvent être réinjectés dans le bain d'oxydation.

La décarbonatation est illustrée plus en détails sur la figure 3.

Sur cette figure, les boues de décrassage B sont mises en solution sous agitation dans une étape de lixiviation. On obtient une solution de lixiviation 14.

On précise que la solution de lixiviation 14 peut être préparée par solvation des boues de décrassage B seules, en ajoutant de l'eau, ou par solvation des boues de décrassage B avec les eaux d'arrêt E.

Selon un mode de réalisation préférée de l'invention, la solution de lixiviation 14 est
5 formée par solvation des boues de décrassage B par les eaux d'arrêt E. Ce mode de réalisation est particulièrement avantageux, en ce qu'il permet de recycler les eaux d'arrêt E tout en utilisant ces dernières en tant que solvant pour solvater les boues de décrassage B, ce qui permet de réduire la consommation d'eau.

Selon un mode de réalisation, cette solution passe, avant la décarbonatation, une
10 première étape de filtration afin d'éliminer les particules métalliques et d'oxydes métalliques.

La solution de lixiviation 14 est transférée dans un réacteur 15, alimenté en chaux Ca(OH)_2 et/ou en nitrate de calcium $\text{Ca(NO}_3)_2$, et mise sous agitation.

Un précipité de carbonate de calcium CaCO_3 se forme en solution. Le mélange est
15 alors composé d'une phase solide, le précipité de carbonate de calcium CaCO_3 , et d'une phase liquide contenant des sels d'oxydation.

Après décantation, on effectue une séparation solide/liquide du décantât 16, de préférence par filtration du mélange comme l'illustre la figure 3 à l'aide d'un dispositif de filtration 17.

20 Le résidu 18 comprenant le précipité de carbonate de calcium CaCO_3 est mis de côté, et peut être valorisé par la suite. Le filtrat 19 est de préférence réinjecté dans le réacteur afin de maximiser le rendement de la décarbonatation.

Le surnageant 20 du réacteur est alors transféré dans un dispositif de séchage 21, tel qu'une étuve par exemple.

De préférence, les condensats 22 de séchage sont réinjectés dans la solution de lixiviation 14, ou dans le bain d'arrêt, ou dans les bains de lavage, afin de réduire la consommation d'eau.

Le séchage permet d'obtenir des sels d'oxydation 23 recyclés, qui sont alors
5 conservés ou réinjectés dans le bain d'oxydation.

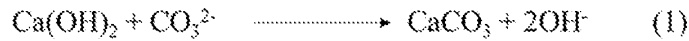
Le procédé selon l'invention permet ainsi non seulement de réduire les déchets de nitruration et d'oxydation, mais également de recharger le bain d'oxydation en sels d'oxydation, ce qui se traduit par un recyclage économique et écologique, en phase avec les normes et modalités environnementales actuelles.

REVENDICATIONS

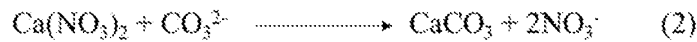
1. Procédé de traitement des eaux d'arrêt (E), et/ou des boues de décrassage (B) issues du bain d'oxydation, pour récupérer des sels d'oxydation et des carbonates, au sein d'au moins une installation (10) de nitruration en bain de sels fondus comprenant un bain de nitruration (11), un bain d'oxydation (12), ainsi qu'un bain d'arrêt (13),
le procédé comprenant les étapes suivantes :
 - décarbonatation des eaux d'arrêt (E) et/ou des boues de décrassage (B) par précipitation des ions carbonates CO_3^{2-} ,
 - séparation d'une phase liquide contenant des sels d'oxydation (23) et d'une phase solide contenant un précipité de carbonate,
 - récupération d'une part des sels d'oxydation et d'autre part des carbonates.
2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel la décarbonatation est réalisée par réaction entre les ions carbonates CO_3^{2-} et les cations monovalents ou divalents choisis parmi : les ions calcium Ca^{2+} (précipité CaCO_3), lithium Li^+ (précipité Li_2CaO_3), baryum Ba^{2+} (précipité BaCO_3), magnésium Mg^{2+} (précipité MgCO_3), fer (II) Fe^{2+} (précipité FeCO_3), cuivre Cu^{2+} (précipité CuCO_3), manganèse Mn^{2+} (précipité MnCO_3), cobalt Co^{2+} (précipité CoCO_3), ou leurs mélanges.
3. Procédé selon la revendication 1, dans lequel la décarbonatation est réalisée avec des hydroxydes et/ou nitrates de métaux alcalins et/ou alcalino-terreux afin de former des carbonates de ces métaux alcalins et/ou alcalino-terreux.
4. Procédé selon la revendication 1, dans lequel la décarbonatation est réalisée avec de la chaux $\text{Ca}(\text{OH})_2$ et/ou du nitrate de calcium $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, pour former du carbonate de calcium CaCO_3 , selon l'une et/ou l'autre des

réactions (1) et (2) respectives suivantes :

[Chem. 1]



[Chem. 2]



5

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant en outre, avant l'étape de précipitation, une étape de lixiviation des boues de décrassage (B), la précipitation étant réalisée dans la solution de lixiviation (14).

10

6. Procédé selon la revendication 5, dans lequel la lixiviation des boues de décrassage (B) est réalisée avec les eaux d'arrêt (E).

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant en outre, avant l'étape de décarbonatation, une étape de séparation des particules métalliques ou d'oxydes métalliques présents dans les eaux d'arrêt (E) et/ou les boues de décrassage (B).

15

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant en outre, après l'étape de séparation de la phase liquide et de la phase solide, une étape de séparation de l'eau et des sels d'oxydation (23) dans la phase liquide, pour récupérer les sels d'oxydation sous forme solide.

20

9. Procédé selon la revendication 8, comprenant en outre, après la séparation de l'eau et des sels d'oxydation (23), une étape de recyclage de l'eau vers le bain d'arrêt (13) et/ou au moins un bain de lavage (6, 8).

25

10. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant en outre, après l'étape de séparation de la phase liquide et de la phase solide,

une étape de réinjection des sels d'oxydation (23) dans le bain d'oxydation (12).