

Hydrocyclone anti-boudinage

1. Domaine de l'invention

Le domaine de l'invention est celui de la conception et de la fabrication des hydrocyclones classiquement mis en œuvre dans le secteur du traitement des effluents afin de séparer la phase liquide et la phase solide d'un mélange.

2. Art antérieur

Les hydrocyclones sont couramment mis en œuvre au cours du traitement de certains effluents afin de procéder à une séparation liquide-solide.

La Demanderesse utilise des hydrocyclones lors de la mise en œuvre par exemple de son procédé commercialisé sous le nom d'Actiflo® pour le traitement de l'eau. Ces mêmes hydrocyclones sont utilisés dans d'autres procédés de traitement d'eau ou d'effluents industriels.

Un procédé de traitement d'eau du type d'Actiflo® comprend une étape de floculation lestée au cours de laquelle l'eau préalablement coagulée et/ou floculée est mise en contact avec du lest, tel que du microsable, afin de faire décanter rapidement les floccs qu'elle contient lors d'une étape ultérieure de décantation.

Cette étape de décantation conduit à la production d'une eau au moins en partie traitée et d'un mélange de boues de décantation et de lest.

Dans le but de maintenir le niveau de performance d'un procédé de traitement de ce type, la concentration en lest doit être conservée essentiellement constante au cours du traitement.

Pour garantir le maintien du niveau de performance tout en limitant la consommation en lest et ainsi réduire les coûts d'exploitation, le lest est recyclé au cours du traitement. Pour cela, le mélange de boues et de lest est acheminé vers un hydrocyclone à l'intérieur duquel la phase solide composée de lest est essentiellement séparée de la phase liquide.

Le mélange de liquide, de boues et de lest est introduit sous pression latéralement à l'intérieur du corps de l'hydrocyclone qui présente une cavité intérieure de forme cylindro-tronconique dont le diamètre diminue vers la sousverse de l'hydrocyclone. Sous l'effet de la pression d'alimentation, il se crée à l'intérieur de la cavité intérieure un vortex tendant à plaquer la phase solide contre la paroi périphérique de la cavité. La phase solide s'écoule alors vers la sousverse de l'hydrocyclone alors que la phase liquide remonte vers la surverse de

l'hydrocyclone.

Un mélange de sable et d'une faible quantité de liquide et de boues est extrait en sousverse en vue d'être au moins en partie recyclé afin de réintroduire le lest dans le procédé. Un mélange de liquide, de boues et d'une faible quantité de
5 lest est extrait en surverse.

La mise en œuvre de tels hydrocyclones permet de récupérer de manière efficace le lest en vue de le recycler dans le procédé. Leur mise en œuvre concourt ainsi à réduire la consommation en lest ainsi que les coûts inhérents à celle-ci.

Pour assurer une séparation efficace de la phase liquide et de la phase
10 solide du mélange d'eau, de boues et de lest, celui-ci doit être introduit dans l'hydrocyclone avec une forte pression généralement de l'ordre de 2 bars. Il est pour cela nécessaire d'employer des pompes de puissance élevée. De telles pompes sont toutefois énergivores.

Par ailleurs, les hydrocyclones actuels sont sensibles aux fluctuations de
15 concentration en Matières En Suspensions (MES) des eaux à traiter. Pourtant, la charge en MES des eaux à traiter varie fortement au cours d'une année. Durant les périodes au cours desquelles les eaux à traiter présentent une concentration en MES élevée, la sousverse de l'hydrocycle peut avoir tendance à s'engorger. L'hydrocyclone a alors des difficultés à évacuer le mélange de boues et de lest en
20 sousverse : ce phénomène est appelé « boudinage ». Une partie des boues et du lest est alors évacuée en surverse avec l'eau traitée ce qui induit des pertes en lest et une baisse de la qualité de l'eau traitée.

3. Objectifs de l'invention

L'invention a notamment pour objectif d'apporter une solution efficace à
25 au moins certains de ces différents problèmes.

En particulier, selon au moins un mode de réalisation, un objectif de l'invention est de fournir un hydrocyclone qui soit peu sensible aux fluctuations de concentration en MES de l'effluent à traiter.

Notamment, l'invention a pour objectif, selon au moins un mode de
30 réalisation, de fournir un tel hydrocyclone qui soit peu sensible au phénomène de boudinage.

Un autre objectif de l'invention est, selon au moins un mode de réalisation, de fournir un tel hydrocyclone qui induise une consommation en énergie faible, à

tout le moins comparativement aux hydrocyclones selon l'art antérieur.

En particulier, selon au moins un mode de réalisation, un objectif de l'invention est de fournir un hydrocyclone qui puisse fonctionner de manière efficace avec une pression d'alimentation faible, à tout le moins comparativement aux hydrocyclones de l'art antérieur.

Un autre objectif de l'invention est, selon au moins un mode de réalisation, de fournir un tel hydrocyclone qui soit fiable et/ou robuste et/ou simple de conception.

4. Présentation de l'invention

Pour ceci, l'invention propose un hydrocyclone comprenant :

- un corps définissant une cavité intérieure creuse, ladite cavité intérieure creuse présentant une portion supérieure de section cylindrique prolongée par une portion inférieure de section tronconique, le diamètre de ladite section tronconique diminuant en direction de la partie inférieure dudit corps ;
- une entrée pour un mélange de liquide et de solides débouchant dans ladite portion cylindrique ;
- une sortie de sousverse, pour l'évacuation desdits solides essentiellement séparés dudit liquide, communiquant avec l'extrémité inférieure de ladite cavité intérieure ;
- une sortie de surverse, pour l'évacuation dudit liquide essentiellement séparé desdits solides, communiquant avec l'extrémité supérieure de ladite cavité intérieure ;

dans lequel ladite sortie de sousverse s'étend depuis l'extrémité inférieure de ladite portion inférieure de section tronconique et présente une section tronconique dont le diamètre croît en direction de la partie inférieure dudit hydrocyclone.

Ainsi, selon cet aspect de l'invention, la mise en œuvre d'une sousverse de section tronconique dont le diamètre s'élargit vers le bas de l'hydrocyclone aide à conserver le mouvement tourbillonnant du fluide.

Ceci participe à favoriser la séparation des phases liquide et solide à l'intérieur de l'hydrocyclone et à limiter le phénomène d'engorgement de la

sousverse de l'hydrocyclone. Un hydrocyclone selon l'invention est ainsi moins sensible aux variations de concentration en MES de l'effluent à traiter.

5 Ceci permet également de réduire la pression d'alimentation tout en conservant un bon niveau de séparation de la phase liquide et de la phase solide d'un mélange. On réduit de ce fait la consommation en énergie ainsi que le coût inhérent à la mise en œuvre d'une séparation liquide-solide par hydrocyclonage.

10 Selon une variante, le contour de ladite sousverse comprend au moins une rainure hélicoïdale dont le sens d'enroulement est identique au sens d'enroulement (ou de circulation) du liquide à l'intérieur de ladite cavité intérieure.

15 La mise en œuvre d'une telle rainure permet d'entretenir la rotation du fluide dans la partie inférieure de l'hydrocyclone. Ceci participe à éviter l'engorgement de la sousverse de l'hydrocyclone et à le rendre moins sensible aux variations de concentration en MES de l'effluent à traiter

Selon une variante, ladite au moins une rainure se prolonge en partie sur le contour de ladite portion inférieure de ladite cavité intérieure.

20 Ceci permet également d'entretenir la rotation du fluide dans la partie inférieure de l'hydrocyclone, et participe à éviter l'engorgement de la sousverse de l'hydrocyclone et à le rendre moins sensible aux variations de concentration en MES de l'effluent à traiter

Selon une variante, ladite rainure hélicoïdale forme un creux.

25 Ceci permet d'assurer un bon guidage de fluide à l'intérieur de l'hydrocyclone. Dans une variante, la rainure pourrait également former saillie à l'intérieur de la cavité intérieure.

Selon une variante, la longueur de ladite sousverse est supérieure au triple du diamètre de la jonction entre la portion inférieure tronconique de la cavité intérieure et la sousverse de l'hydrocyclone.

30 La longueur de ladite sousverse sera préférentiellement inférieure ou égale à dix fois le diamètre de la jonction entre la portion inférieure tronconique de la cavité intérieure et la sousverse de l'hydrocyclone.

Une longueur plus courte conduirait à limiter l'effet escompté par la mise en œuvre de la sousverse tronconique, à savoir améliorer la séparation liquide-solide et rendre moins sensible l'hydrocyclone aux variations de concentration en MES de l'effluent à traiter tout en réduisant la pression d'alimentation. Une longueur trop importante induirait toutefois une perte de charge importante.

Selon une variante, l'angle α de la section tronconique de la sousverse par rapport à son axe de révolution est compris entre 10 et 25°.

Selon une variante, ladite sortie de surverse comprend une tubulure tronconique qui s'étend dans le prolongement de ladite portion cylindrique et dont le diamètre croît en direction de la partie supérieure dudit hydrocyclone.

Cela participe à réduire la pression d'alimentation et à entretenir la rotation du fluide à l'intérieur de l'hydrocyclone.

Selon une variante, ladite tubulure tronconique comprend une entrée qui communique avec ladite cavité intérieure et une sortie qui débouche dans un logement périphérique ménagé dans ledit corps, ladite surverse comprenant en outre une tubulure d'évacuation qui s'étend latéralement audit corps, ladite tubulure d'évacuation comprenant une entrée qui communique avec ledit logement périphérique et une sortie qui débouche en dehors dudit corps.

Selon cette variante, la surverse de l'hydrocyclone est du type à débordement. En effet, la phase liquide provenant de la cavité intérieure s'écoule par débordement dans le logement périphérique constituant une boîte de collecte avant de s'écouler de celle-ci à travers la tubulure d'évacuation latérale. Ceci permet de conserver l'anisotropie et donc la rotation de l'écoulement en surverse. Les boues ont un écoulement anisotropique, c'est-à-dire qu'il est différent (sens et vitesse) en fonction de l'endroit de l'hydrocyclone où l'on mesure cet écoulement. Ceci résulte notamment du mouvement de rotation des boues à l'intérieur de l'hydrocyclone et de la nature des boues (couches pas parfaitement homogènes). Si l'évacuation était différente d'un débordement (par exemple une conduite), l'écoulement serait alors forcé et

viendrait fortement contraindre le tourbillon que l'on souhaite maintenir. La boîte de débordement (boîte de collecte à débordement) permet donc de ne pas contraindre l'écoulement.

5 Selon une variante, l'angle β de la tubulure tronconique de la surverse par rapport à son axe de révolution est compris entre 10 et 30°.

Ceci permet d'obtenir une faible perte de charge de la surverse tout en maintenant le mouvement de rotation.

10 Selon une variante, ladite entrée comprend une tubulure d'entrée qui s'étend le long d'une spirale autour de l'axe longitudinal dudit corps. Ceci permet d'augmenter la vitesse d'entrée du mélange à l'intérieur de la cavité intérieure et d'augmenter l'effet centrifuge. A contrario, pour un niveau d'effet centrifuge équivalent, le débit et la pression d'alimentation peuvent être réduits.

15 Selon une variante, ladite tubulure d'entrée s'étend le long de ladite spirale sur une longueur comprise entre $\frac{1}{4}$ et $\frac{3}{4}$ de tour dudit corps.

Cela permet de conférer un bon niveau d'accélération de la vitesse du mélange de liquide et de solide et d'augmenter l'effet centrifuge à l'intérieur de l'hydrocyclone.

20 Selon une variante, ladite tubulure d'entrée s'étend de manière inclinée vers le bas dudit corps.

Ceci permet d'orienter le mélange vers la sousverse dès son entrée dans l'hydrocyclone. On favorise ainsi la circulation des solides vers la partie inférieure de l'hydrocyclone ce qui réduit la pression d'alimentation sans nuire à la séparation liquide solide.

25 Selon une variante, l'angle d'inclinaison de ladite tubulure d'entrée par rapport à l'axe transversal dudit corps est inférieur ou égal à 30°.

Selon une variante, le raccordement de ladite tubulure d'entrée à ladite portion cylindrique de ladite cavité intérieure est réalisé de manière tangentielle.

Ceci permet de plaquer le mélange contre la paroi périphérique de la cavité intérieure dès son entrée dans l'hydrocyclone, d'améliorer la séparation liquide-solide et de diminuer la pression d'alimentation.

5 Selon une variante, la section de ladite tubulure d'entrée diminue progressivement en direction de ladite portion cylindrique.

Ceci permet d'accélérer l'écoulement du mélange et participe à plaquer le mélange contre la paroi périphérique de la cavité intérieure dès son entrée dans l'hydrocyclone, d'améliorer la séparation liquide-solide et de diminuer la pression d'alimentation.

10 Selon une variante, la plus grande section de ladite tubulure d'entrée est comprise entre 30 et 50 % de la section de ladite portion cylindrique, et la plus petite section de ladite tubulure d'entrée est comprise entre 20 et 30 % de la section de ladite portion cylindrique.

15 Selon une variante, ladite tubulure d'entrée présente une section circulaire, le raccordement de ladite tubulure d'entrée à ladite portion cylindrique de ladite cavité intérieure étant réalisé de manière elliptique.

Ceci participe également à plaquer le mélange contre la paroi périphérique de la cavité intérieure dès son entrée dans l'hydrocyclone, à améliorer la séparation liquide-solide et à diminuer la pression d'alimentation.

20 Selon une variante, le rapport entre le petit rayon et le grand rayon dudit raccordement de forme elliptique est compris entre 1 et 2.

Selon une variante, le passage de la section circulaire de ladite tubulure d'entrée à la forme elliptique du raccordement de celle-ci à ladite portion cylindrique de la cavité intérieure se fait de manière progressive.

25 Ceci participe à réduire la pression d'alimentation de l'hydrocyclone.

Selon une variante, le contour supérieur de ladite portion cylindrique de ladite cavité intérieure s'étend de manière hélicoïdale avec un sens d'enroulement identique au sens de circulation du liquide à l'intérieur de ladite cavité intérieure.

Ceci permet d'entretenir la mise en rotation du fluide dès l'entrée à l'intérieur de l'hydrocyclone, d'orienter l'écoulement vers la sousverse et d'éliminer le volume mort en haut de la partie cylindrique, et ainsi de favoriser la séparation des phases liquide et solide à l'intérieur de l'hydrocyclone et de limiter le phénomène d'engorgement de la sousverse de l'hydrocyclone. L'hydrocyclone est ainsi moins sensible aux variations de concentration en MES de l'effluent à traiter. Ceci permet également de réduire la pression d'alimentation de l'hydrocyclone.

Selon une variante, ledit contour supérieur de ladite portion cylindrique de ladite cavité intérieure s'étend de manière hélicoïdale depuis le haut jusqu'au bas dudit raccordement de forme elliptique.

Ceci permet de maximiser les effets de la mise en œuvre du contour supérieur de la cavité intérieure de forme hélicoïdale.

Selon une variante, ledit hydrocyclone comprend des moyens d'injection d'eau de service dans ladite cavité intérieure, à la jonction entre ladite portion inférieure tronconique et ladite sousverse.

De tels moyens d'injection peuvent agir comme un fusible si, dans un cas extrême, l'hydrocyclone venait à sa boucher.

5. Liste des figures

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description suivante d'un mode de réalisation particulier, donné à titre de simple exemple illustratif et non limitatif, et des dessins annexés parmi lesquels :

- la figure 1 illustre une vue de face d'un hydrocyclone selon l'invention ;
- la figure 2 illustre une vue en coupe selon un plan passant par l'axe longitudinal de l'hydrocyclone et l'axe de la tubulure d'évacuation d'un hydrocyclone selon l'invention ;
- la figure 3 illustre une vue partielle schématique du contour intérieur de la tubulure d'entrée et de la portion supérieure de section cylindrique d'un hydrocyclone selon l'invention ;
- la figure 4 illustre une vue schématique de dessus de la tubulure d'entrée et

de la portion supérieure de section cylindrique d'un hydrocyclone selon l'invention ;

- la figure 5 illustre une vue de dessus d'un hydrocyclone selon l'invention dont la partie supérieure a été ôtée ;
- 5 - la figure 6 illustre une vue de côté en transparence de la sousverse d'un hydrocyclone selon l'invention ;
- la figure 7 illustre une vue de face d'une variante d'un hydrocyclone selon l'invention dont la tubulure d'entrée est inclinée.

6. Description d'un mode de réalisation particulier

10 6.1. Architecture

On présente, en relation avec les figures 1 à 7, un exemple d'un hydrocyclone selon l'invention.

Ainsi que cela est représenté sur ces figures, un tel hydrocyclone comprend un corps 10 qui s'étend le long d'un axe longitudinal. Ce corps 10 comprend une

15 cavité intérieure creuse 11.

Cette cavité intérieure creuse 11 comprend :

- une portion supérieure de section cylindrique 110, et
- une position inférieure de section tronconique 111, cette portion de section tronconique étant ménagée dans le prolongement de la section cylindrique
- 20 vers le bas de l'hydrocyclone.

La section tronconique est ici le tronc d'un cône de révolution. Son diamètre tend à diminuer en direction du bas de l'hydrocyclone.

L'hydrocyclone comprend une entrée 12 pour un mélange de liquide et de solide, par exemple un mélange d'eau, de boues de décantation et de lest.

25 Cette entrée 12 comprend une tubulure d'entrée 120. Celle-ci présente une section circulaire. L'axe de cette tubulure d'entrée 120 est incliné vers le bas par rapport à un axe transversal du corps de l'hydrocyclone, c'est-à-dire par rapport à une axe orthogonal à l'axe longitudinal du corps 10, d'un angle β inférieur ou égal à 30° (cf. figure 7). L'entrée de cette tubulure 120 est ainsi plus haute que sa sortie.

30 Dans une variante, celle-ci pourra ne pas être inclinée (cf. figures 1 et 2). Dans ce cas, elle s'étendra selon un axe orthogonal à l'axe longitudinal du corps 10.

La tubulure d'entrée 120 forme une spirale autour de l'axe longitudinal du corps 10. Cette spirale s'étend sur entre $\frac{1}{4}$ et $\frac{3}{4}$ de la périphérie du corps 10.

Le raccordement 17 de la tubulure d'entrée 120 à la portion cylindrique 110 de la cavité intérieure 10 est réalisé de manière tangentielle.

La section de la tubulure d'entrée 120 diminue progressivement en direction de la portion cylindrique 110.

5 La plus grande section de la tubulure d'entrée, c'est-à-dire la section de son entrée, est comprise entre 30 et 50 % de la section de la portion cylindrique 110, et la plus petite section de la tubulure d'entrée 120 est comprise entre 20 et 30 % de la section de la portion cylindrique 110.

10 La tubulure d'entrée 120 présente une section circulaire. Son raccordement à la portion cylindrique 110 de la cavité intérieure 10 est préférentiellement réalisé de manière elliptique. En d'autres termes, le raccordement 17 présente la forme d'une ellipse.

Le rapport entre le petit rayon et le grand rayon du raccordement 17 de forme elliptique entre la tubulure d'entrée 120 et la portion cylindrique 110 est
15 compris entre 1 et 2.

Le passage de la section circulaire de la tubulure d'entrée 120 à la forme elliptique du raccordement de celle-ci à la portion cylindrique 110 de la cavité intérieure 11 se fait de manière progressive.

20 Le contour supérieur 112 de la portion cylindrique 110 de la cavité intérieure 11 s'étend de manière hélicoïdale avec un sens d'enroulement identique au sens de circulation du liquide à l'intérieur de la cavité intérieure 11, et ce préférentiellement depuis le haut 171 jusqu'au bas 172 du raccordement 17 de forme elliptique entre la tubulure d'entrée 120 et la portion cylindrique 110.

25 L'hydrocyclone comprend une sortie de sousverse 13 pour l'évacuation des solides essentiellement séparés du liquide du mélange introduit dans l'hydrocyclone via la tubulure d'entrée 120. Cette sousverse 13 communique avec l'extrémité inférieure de la cavité intérieure 11, plus précisément avec l'extrémité inférieure de la portion tronconique 111.

La sortie de sousverse 13 s'étend depuis l'extrémité inférieure de la portion inférieure de section tronconique 111. Elle présente une section tronconique 130 dont le diamètre croît en direction de la partie inférieure de l'hydrocyclone. Cette portion tronconique est dans ce mode de réalisation le
5 tronc d'un cône de révolution. Elle débouche à l'extérieur du corps 10.

La longueur L de la sousverse 13 est supérieure au triple du diamètre de la jonction entre la portion inférieure tronconique de la cavité intérieure et la sortie de sousverse de l'hydrocyclone. L'angle α de la section tronconique 130 de la sousverse 13 par rapport à son axe longitudinal ou de révolution est
10 compris entre 10 et 25°.

La sousverse 13 comprend au moins une rainure hélicoïdale 14 dont le sens d'enroulement est identique au sens de circulation du liquide à l'intérieur de la cavité intérieure 11, c'est-à-dire du mélange liquide composé de solides et de liquide qui est introduit à l'intérieur de l'hydrocyclone. Le nombre de rainure
15 sera préférentiellement pair. Il pourra par exemple être égal à deux ou à quatre. Les rainures seront réparties de manière uniforme à la périphérie de la section tronconique 130 de la sousverse 13. La ou les rainures seront préférentiellement ménagées en creux à la surface de la section tronconique 130 de la sousverse 13. De manière alternative, elles pourraient former saillie à
20 la surface de la section tronconique de la sousverse, c'est-à-dire former une surépaisseur à l'intérieur de la sousverse 13.

La ou les rainures 14 se prolongent en partie sur le contour de la portion inférieure de la cavité intérieure.

L'hydrocyclone comprend une sortie de surverse 15 pour l'évacuation du
25 liquide essentiellement séparé des solides du mélange introduit dans l'hydrocyclone via la tubulure d'entrée. Cette surverse communique avec l'extrémité supérieure de la cavité intérieure 11, plus précisément avec l'extrémité supérieure de la portion supérieure cylindrique 110.

La sortie de surverse 15 comprend une tubulure tronconique 151 qui
30 s'étend dans le prolongement de la portion cylindrique 110. Son diamètre croît

en direction de la partie supérieure de l'hydrocyclone. Elle constitue dans ce mode de réalisation le tronc d'un cône de révolution.

La tubulure tronconique 151 de la surverse 15 comprend une entrée 1510 qui communique avec la cavité intérieure 11, en l'occurrence avec sa portion supérieure cylindrique 110, et une sortie 1511 qui débouche dans un logement périphérique 16 ménagé dans le corps 10. Ce logement périphérique constitue une boîte de collecte. La surverse 15 comprend en outre une tubulure d'évacuation 152 qui s'étend latéralement au corps 10 selon un axe essentiellement orthogonal à l'axe longitudinal du corps 10. Cette tubulure d'évacuation latérale 152 comprend une entrée 1521 qui communique avec le logement périphérique 16 et une sortie 1522 qui débouche en dehors du corps 10. La surverse 15 constitue une surverse à débordement dans la mesure où le liquide provenant de la tubulure tronconique 151 déborde dans le logement périphérique 16 et se déverse dans la tubulure d'évacuation 152.

L'angle de la tubulure tronconique 151 de la surverse par rapport à son axe longitudinal ou de révolution est compris entre 10 et 30°.

Selon une variante, l'hydrocyclone comprend des moyens d'injection d'eau de service dans la cavité intérieure, à la jonction entre la portion inférieure tronconique et la sousverse. Ces moyens d'injection peuvent par exemple comprendre une canalisation d'injection d'eau de service 60.

Le fait d'injecter de l'eau de service à la jonction entre la portion inférieure tronconique et la sousverse peut agir comme un fusible si, dans un cas extrême, l'hydrocyclone venait à sa boucher, et ainsi permettre de le déboucher.

25 **6.2. Fonctionnement**

Un hydrocyclone selon l'invention peut classiquement être mis en œuvre pour réaliser la séparation d'une phase liquide et d'une phase solide d'un mélange, comme par exemple d'un mélange d'eau et de boues de décantation contenant du lest.

Pour cela, un tel mélange est introduit à l'intérieur de l'hydrocyclone via la tubulure d'entrée 120 sous une faible pression préférentiellement comprise entre 0,3 et 1,5 bars.

5 Du fait de la forme en spirale de cette tubulure d'entrée le fluide accélère à l'intérieur de la tubulure d'entrée et l'effet centrifuge augmente. A contrario, pour un même effet centrifuge, le débit d'alimentation et la perte de charge peuvent être plus faible. Il est ainsi possible de réduire la pression d'alimentation.

10 Du fait que la section de la tubulure d'entrée diminue, le fluide est accéléré, ce qui produit le même effet que celui mentionné au paragraphe précédent. L'effet centrifuge tend à plaquer les solides contre la paroi externe.

15 La tubulure d'entrée est inclinée vers la sousverse de l'hydrocyclone. Le fluide est ainsi orienté dès son entrée dans l'hydrocyclone selon le sens de son écoulement à l'intérieur de la cavité intérieure 11 de l'hydrocyclone. Ceci permet encore de diminuer la pression d'alimentation en évitant le « volume mort » en haut de cavité interne qui piégerait du solide et nuirait à la qualité de la séparation.

20 Le fluide pénètre à l'intérieur de la portion supérieure cylindrique 110 en passant à travers le raccordement de forme elliptique entre la tubulure d'entrée 120 et la section supérieure cylindrique. En outre, ce raccordement se fait de manière tangentielle au contour périphérique intérieur de la portion supérieure cylindrique 110. Du fait des caractéristiques géométriques de ce raccordement, les solides ainsi que le liquide restent plaqués près de la paroi intérieure de la cavité intérieure 11 dès leur entrée dans celle-ci.

25 Le fluide s'écoule le long du contour supérieur 112 de la portion cylindrique 110 de la cavité intérieure 11 qui s'étend de manière hélicoïdale avec un sens d'enroulement identique au sens de circulation du liquide à l'intérieur de la cavité intérieure 11, depuis le haut jusqu'au bas du raccordement de forme elliptique entre la tubulure d'entrée 120 et la portion cylindrique 110. Ceci permet d'éviter les zones mortes dans la région supérieure

30

de la portion supérieure cylindrique 110, d'amener le fluide à circuler en direction de la sousverse de l'hydrocyclone et de réduire la pression d'alimentation.

5 Le fluide poursuit de s'écouler à l'intérieur de la cavité intérieure 11 en passant dans la portion inférieure tronconique 111. La phase solide s'écoule alors vers la sousverse 13 de l'hydrocyclone alors que la phase liquide remonte vers la surverse 15 de l'hydrocyclone.

10 La phase solide s'écoule depuis la section inférieure tronconique 111 vers la sousverse 13. Elle s'écoule alors le long des rainures 14 qui s'étendent sur le contour périphérique de la région inférieure de la section tronconique 111. La mise en œuvre des rainures 14 dans cette zone permet d'entretenir la rotation du fluide et de diminuer la sensibilité de l'hydrocyclone à la charge en MES du mélange introduit dans celui-ci.

15 La partie solide du fluide s'écoule à l'intérieur de la section tronconique 130 de la sousverse 13. La mise en œuvre d'une sousverse de section tronconique dont le diamètre s'élargit vers le bas permet d'y éviter les écoulements induits ce qui permet de maintenir la rotation du fluide à l'intérieur de l'hydrocyclone. Ceci permet de diminuer la pression d'alimentation.

20 Le rainurage 14 à l'intérieur de la section tronconique 130 permet d'entretenir la rotation du fluide et de rendre en conséquence moins sensible l'hydrocyclone à la variation de charge en MES du mélange introduit dans celui-ci.

La phase liquide remonte à l'intérieur de la cavité intérieure 11 en passant de la portion inférieure tronconique 111 à la portion supérieure cylindrique 110 puis à la tubulure tronconique 151 de la surverse 15.

25 La mise en œuvre de la tubulure tronconique 151 dont le diamètre s'élargit vers le haut permet de conserver l'anisotropie de l'écoulement en surverse. Ceci permet de maintenir la rotation du fluide. Ceci permet également de diminuer la pression d'alimentation.

30 Le liquide déborde ensuite depuis la partie supérieure de la tubulure tronconique 151 à l'intérieur du logement périphérique 16. Il s'écoule ensuite depuis le logement périphérique 16 à l'intérieur de la tubulure d'évacuation 152.

Du fait que la phase liquide déborde depuis la tubulure tronconique 151 à l'intérieur du logement périphérique 16, permet de maintenir une hauteur d'eau

faible et constante dans la surverse, et ainsi de ne pas contraindre l'écoulement en sousverse.

6.3. Avantages

5 La technique selon l'invention permet de faciliter la mise en rotation du fluide à l'intérieur de l'hydrocyclone et de conserver cette mise en rotation par la mise en œuvre, de manière indépendante ou combinée :

- de la tubulure d'entrée inclinée ;
- de la forme hélicoïdale de la surface supérieure de la portion supérieure cylindrique ;
- 10 - de la section tronconique de la sousverse ;
- de la tubulure tronconique de la surverse ;
- de l'évacuation de la phase liquide par débordement ;
- du rainurage à l'intérieur de la section tronconique de la sousverse ;
- du rainurage dans la zone inférieure de la portion inférieure tronconique de la cavité intérieure ;
- 15

Tout ceci participe à favoriser la séparation des phases liquide et solide à l'intérieur de l'hydrocyclone et à limiter le phénomène d'engorgement de la sousverse de l'hydrocyclone.

20 La technique selon l'invention permet de réduire la pression d'alimentation de l'hydrocyclone par la mise en œuvre, de manière indépendante ou combinée :

- de la tubulure d'entrée en forme de spirale ;
- du raccordement de forme elliptique et tangentielle entre la tubulure d'entrée et la portion supérieure cylindrique ;
- de la réduction de la section de la tubulure d'entrée en direction de la cavité intérieure ;
- 25 - du changement de forme progressif de circulaire à elliptique entre la tubulure d'entrée et son raccordement à la cavité intérieure ;
- de l'inclinaison de la tubulure d'entrée ;
- de la forme hélicoïdale de la surface supérieure de la portion supérieure cylindrique ;
- 30 - de la section tronconique de la sousverse ;
- de la tubulure tronconique de la surverse ;
- de l'évacuation de la phase liquide par débordement.

La technique selon l'invention permet de réduire la sensibilité de l'hydrocyclone aux variations de charge en MES du mélange introduit à l'intérieur de celui-ci et ainsi de limiter le phénomène d'engorgement de la sousverse, par la mise en œuvre, de manière indépendante ou combinée :

- 5 - du rainurage à l'intérieur de la section tronconique de la sousverse ;
- du rainurage dans la zone inférieure de la portion inférieure tronconique de la cavité intérieure ;
- de l'évacuation de la phase liquide par débordement.

REVENDICATIONS

1. Hydrocyclone comprenant :
- un corps (10) définissant une cavité intérieure creuse (11), ladite cavité intérieure creuse (11) présentant une portion supérieure de section cylindrique (110) prolongée par une portion inférieure de section tronconique (111), le diamètre de ladite section tronconique (111) diminuant en direction de la partie inférieure dudit corps (10) ;
 - une entrée (12) pour un mélange de liquide et de solides débouchant dans ladite portion cylindrique (110) ;
 - une sortie de sousverse (13), pour l'évacuation desdits solides essentiellement séparés dudit liquide, communiquant avec l'extrémité inférieure de ladite cavité intérieure (11) ;
 - une sortie de surverse (15), pour l'évacuation dudit liquide essentiellement séparé desdits solides, communiquant avec l'extrémité supérieure de ladite cavité intérieure (11) ;
- dans lequel ladite sortie de sousverse (13) s'étend depuis l'extrémité inférieure de ladite portion inférieure de section tronconique (111) et présente une section tronconique dont le diamètre croît en direction de la partie inférieure dudit hydrocyclone,
- caractérisé en ce que le contour de ladite sousverse (13) comprend au moins une rainure hélicoïdale (14) dont le sens d'enroulement est identique au sens d'enroulement du liquide à l'intérieur de ladite cavité intérieure (11).
2. Hydrocyclone selon la revendication 1, dans lequel ladite au moins une rainure (14) se prolonge en partie sur le contour de ladite portion inférieure (111) de ladite cavité intérieure (11).
3. Hydrocyclone selon la revendication 1 ou 2, dans lequel ladite rainure hélicoïdale (14) forme un creux.

4. Hydrocyclone selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel la longueur de ladite sousverse (13) est supérieure au triple du diamètre de la jonction entre la portion inférieure tronconique (111) de la cavité intérieure (11) et la sousverse (13) de l'hydrocyclone.

5

5. Hydrocyclone selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel l'angle α de la section tronconique (130) de la sousverse (13) par rapport à son axe de révolution est compris entre 10 et 25°.

10

6. Hydrocyclone selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel ladite sortie de surverse (15) comprend une tubulure tronconique (151) qui s'étend dans le prolongement de ladite portion cylindrique (110) et dont le diamètre croît en direction de la partie supérieure dudit hydrocyclone.

15

7. Hydrocyclone selon la revendication 6, dans lequel ladite tubulure tronconique (151) comprend une entrée (1511) qui communique avec ladite cavité intérieure (11) et une sortie (1512) qui débouche dans un logement périphérique (16) ménagé dans ledit corps (10), ladite surverse (15) comprenant en outre une tubulure d'évacuation (152) qui s'étend latéralement audit corps (10), ladite tubulure d'évacuation (152) comprenant une entrée (1521) qui communique avec ledit logement périphérique (16) et une sortie (1522) qui débouche en dehors dudit corps (10).

20

8. Hydrocyclone la revendication 6 ou 7, dans lequel l'angle de la tubulure tronconique (151) de la surverse (15) par rapport à son axe de révolution est compris entre 10 et 30°.

25

9. Hydrocyclone selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel ladite entrée (12) comprend une tubulure d'entrée (120) qui s'étend le long d'une spirale autour de l'axe longitudinal dudit corps (10).

30

10. Hydrocyclone selon la revendication 9, dans lequel ladite tubulure d'entrée (120) s'étend le long de ladite spirale sur une longueur comprise entre $\frac{1}{4}$ et $\frac{3}{4}$ de tour dudit corps.

5

11. Hydrocyclone selon la revendication 9 ou 10 dans lequel ladite tubulure d'entrée (120) s'étend de manière inclinée vers le bas dudit corps (10).

12. Hydrocyclone selon la revendication 11, dans lequel l'angle d'inclinaison β de ladite tubulure d'entrée (120) par rapport à un axe transversal dudit corps (10) est inférieur ou égal à 30°.

10

13. Hydrocyclone selon l'une quelconque des revendications 9 à 12 dans lequel le raccordement de ladite tubulure d'entrée (120) à ladite portion cylindrique (110) de ladite cavité intérieure (11) est réalisé de manière tangentielle.

15

14. Hydrocyclone selon l'une quelconque des revendications 9 à 13 dans lequel la section de ladite tubulure d'entrée (120) diminue progressivement en direction de ladite portion cylindrique (11).

20

15. Hydrocyclone selon la revendication 14, dans lequel la plus grande section de ladite tubulure d'entrée (120) est comprise entre 30 et 50 % de la section de ladite portion cylindrique (110), et la plus petite section de ladite tubulure d'entrée (120) est comprise entre 20 et 30 % de la section de ladite portion cylindrique (110).

25

16. Hydrocyclone selon l'une quelconque des revendications 9 à 15 dans lequel ladite tubulure d'entrée (120) présente une section circulaire, le

raccordement (17) de ladite tubulure d'entrée (120) à ladite portion cylindrique (110) de ladite cavité intérieure (11) étant réalisé de manière elliptique.

5 **17.** Hydrocyclone selon la revendication 16, dans lequel le rapport entre le petit rayon et le grand rayon dudit raccordement (17) de forme elliptique est compris entre 1 et 2.

10 **18.** Hydrocyclone selon l'une quelconque des revendications 14 à 17 dans lequel le passage de la section circulaire de ladite tubulure d'entrée (120) à la forme elliptique du raccordement (17) de celle-ci à ladite portion cylindrique (110) de la cavité intérieure (11) se fait de manière progressive.

15 **19.** Hydrocyclone selon l'une quelconque des revendications 9 à 18 dans lequel le contour supérieur (112) de ladite portion cylindrique (110) de ladite cavité intérieure (11) s'étend de manière hélicoïdale avec un sens d'enroulement identique au sens de circulation du liquide à l'intérieur de ladite cavité intérieure (11).

20 **20.** Hydrocyclone selon la revendication 19, dans lequel ledit contour supérieur (112) de ladite portion cylindrique (110) de ladite cavité intérieure (11) s'étend de manière hélicoïdale depuis le haut (171) jusqu'au bas (172) dudit raccordement de forme elliptique (17).

25 **21.** Hydrocyclone selon l'une quelconque des revendications 1 à 20, comprenant des moyens d'injection (60) d'eau de service dans ladite cavité intérieure (11), à la jonction entre ladite portion inférieure tronconique (111) et ladite sousverse (13).