

ETUDE EXPERIMENTALE DU CHAMP DE VITESSE ET DU PHENOMENE DE TRI DANS UN SLUICE ARTISANAL

**A. ANDRIAMADY^a, R.D. RAJAONA^b, L.RAKOTONDRAJAONA^c,
Armelle JARNO^d, E. RASOLOMANANA^e, FrancoisMARIN^f,**

a. LOMC, LHG, andryandriamady@yahoo.fr

b. LOMC, raphael.rajaona@univ-lehavre.fr

c. IST, ESPA, LHG, luc.rakotondrajaona@gmail.com

d. LOMC, armelle.jarno-druaux@univ-lehavre.fr

e. ESPA, LHG e1.rasolo@gmail.com

f. LOMC, francois.marin@univ-lehavre.fr

Résumé-*Cette étude vise à comprendre l'écoulement et le tri de particules dans un sluice artisanal afin de trouver les paramètres optimaux d'exploitation de l'unité de traitement. Les essais sont menés dans un canal à courant de 10m de long dans lequel une maquette du sluice a été introduite. Le débit d'eau ainsi que l'inclinaison et la distance inter-riffles constituent les paramètres d'essais. La maquette a été fabriquée de manière à ce qu'on puisse modifier facilement ces paramètres. Un vélocimètre acoustique ponctuel a été utilisé pour la mesure de la vitesse. Les données obtenues sont traitées sur Matlab. Des limailles de plomb ont été utilisées pour simuler les particules lourdes. Le choix du plomb tient de sa forte densité par rapport aux autres métaux et qui est plus proche à celle de l'or. Les plombs mélangés à d'autres particules plus légères (sable) ont été versés à l'amont de l'écoulement et les dépôts dans chaque compartiment de la maquette ont été récupérés, séchés, tamisés, pesés. L'analyse des résultats permet la déduction de l'effet de chaque paramètre sur le tri des particules afin d'améliorer la configuration du matériel pour l'optimisation de ce tri.*

Abstract-*The purpose of this study is to understand the flow and sorting of particles in a handcrafted sluice in order to find the optimal operating parameters for this equipment. Tests are carried out in a 10 m long current channel. The test parameters are the water flow, the inclination and the distance between riffles. The design parameters such as these parameters can be easily modified. An acoustic velocimeter was used to measure the speed. The data obtained are processed using the Matlab software. Lead filings were used to simulate heavy particles. The choice of lead is due to its high density compared to other metals and which is closer to that of gold. These particles mixed with lighter particles (sand) were poured upstream of the flow and deposits in each compartment of the model were recovered, dried, sieved and weighed. The analysis of the results allows the deduction of the effect of each parameter to improve the equipment configuration for the sorting optimization.*

Mots clés : Hydrodynamique, Sluice, Tri de particules, Or, Tourbillon

1 Introduction

Madagascar est reconnu pour sa richesse en ressources minières telle que les pierres précieuses et l'or. Depuis longtemps, l'exploitation de l'or existait dans différentes régions de Madagascar mais le traitement se faisait toujours à l'ancienne, c'est-à-dire à la batée. En 2006, en vue d'une relance du secteur de l'or dans le pays, le projet PRISMM (Projet de Renforcement du Secteur Minier Malgache) initié par la Coopération française a mené une campagne de vulgarisation du sluice artisanal dans les principales zones d'orpaillage de Madagascar.

Le sluice est un équipement de traitement et d'enrichissement de minerais d'or. Son fondement physique repose sur le phénomène tourbillonnaire et la force centrifuge. Le système consiste à créer des séries de tourbillons d'axes horizontaux à partir des pièges nommés riffles disposés à des endroits déterminés sur le fond du sluice.

Le tout venant est versé à la tête du canal et se fait transporter par le courant d'eau le long du caisson. L'or et les autres minéraux lourds se déposent progressivement derrière les riffles, tandis que les matériaux légers se font transporter par suspension jusqu'à la sortie.

Le sluice est un matériel facile à fabriquer et donne un meilleur rendement par rapport à la technique traditionnelle (0,1 à 0,2 g/jour pour 1 m³ de minerai à la batée et jusqu'à 0.6 à 0.7 g/jour avec un sluice). Ce rendement n'est pas garanti mais dépend encore de plusieurs paramètres physiques et géométriques. Les petits orpailleurs Malgache tâtonnent sur ces paramètres et utilisent un long canal (fig 1a) pour éviter de perdre de l'or.



Figure 1-a): Sluice artisanal à Kianjavato, Sud-Est de Madagascar, b): sluice en bout de chaîne d'une unité de traitement de saphir à Bevilany (Madagascar), c) : sluice en bout de chaîne d'une unité de traitement de saphir à Ilakaka (Madagascar)

Plusieurs chercheurs ont déjà étudié le tri de particules par un sluice dans le but d'en comprendre le fonctionnement et d'en améliorer son efficacité. **Blazy** et **Joussemet**(2005) ont établi une formule pour le calcul de la vitesse de décantation dans un écoulement turbulent. **Taggart** (1960) a établi un

nombre adimensionnel pour classer le degré de difficulté de séparation en fonction des différences de densité des minéraux et des dimensions des particules. **Longridge (1910)** a mis en place une formule permettant de calculer la pente du sluice selon la vitesse d'écoulement, le périmètre mouillé et la surface mouillée. **Stewart et Ramsay (1993)** soulignent le rôle important des minéraux de la gangue pour la récupération des minéraux lourds. **Clarkson (1986)** s'est orienté sur l'effet de la forme des riffles.

Subasinghe (1993) a montré qu'il existe différents modes de transport de particules dans le sluice, Dans sa maquette de 1.25m de longueur et 0.15 m de largeur, avec un débit variant de 0.8 a de 2.213 l/s par mètre de largeur et une pente de 10, il a injecté des grains de silice de diamètre moyen de 843 μ m. Avec ces paramètres il a conclu que :

- à faible débit, les particules se déposent au fond, se font charriées et s'accumulent près de riffle amont jusqu'à ce que celui-ci soit plein puis glissent et/ou roulent vers les riffles suivants.
- à débit moyen, la croissance de la turbulence de l'écoulement provoque des érosions et réductions des particules qui s'accumulent.
- à fort débit, les particules sont emportées par le courant par suspension.

Kelly E. G. (1995) a fait une synthèse de travaux théoriques sur l'utilisation et la manipulation expérimentale du sluice. A l'issue de cette synthèse, il a mis en évidence quatre points clefs nécessaires pour assurer le bon fonctionnement du sluice :

- 1) L'ensemencement des particules d'or par rapport au plan de la surface de riffles ;
- 2) Le mode de récupération des particules d'or dans les espaces inter riffles;
- 3) Le dépôt des particules d'or dans les inter-riffles préférentiellement à d'autres minéraux ;
- 4) Le transport des minéraux stériles le long et en travers du sluice.

La complexité du phénomène nous a amené à consentir une simplification en réduisant le nombre de paramètres principaux aux paramètres suivants : le débit Q , la distance inter riffles d , l'inclinaison des riffles α , le diamètre sédimentologique D_* (taille et densité des particules). L'enjeu de l'expérience est de trouver l'équilibre avec les paramètres de contrôles pour avoir un écoulement qui n'arrive pas à charrier les particules lourdes se déposant au fond mais qui pourra transporter les restes plus légers. Le critère de Shield traduit les seuils de mise en mouvement des particules mais la difficulté pour le cas dans un sluice repose sur la complexité des conditions hydrauliques proches du fond. En effet, par la présence de tourbillons, le sens de l'écoulement au fond s'oppose au l'écoulement du fluide et la contrainte au fond dépend de toutes ces paramètres citées plus haut.

A la différence des recherches précédentes, l'appareillage utilisé est moins rustique et permet de mieux visualiser l'écoulement et en étudier la corrélation avec l'efficacité du tri. Au-delà de l'intérêt académique de cette étude, une meilleure connaissance des paramètres d'utilisation permettra d'optimiser et améliorer le rendement du sluice pour les orpailleurs Malgaches.

Les essais sont menés dans un canal de circulation de 10m de long et de 0.49m de large dans lequel on introduit une maquette de sluice. Les essais préliminaires sont réalisés sur fond plat en faisant varier le débit d'eau, la distance inter-riffles et l'inclinaison des riffles. Bien que ces résultats soient préliminaires, ils permettront d'affiner la modélisation numérique associée en cours de réalisation ainsi que la méthodologie expérimentale pour les essais futurs.

On présente les résultats en deux groupes :

- Le premier concerne l'écoulement analysé par l'observation du champ de vitesses dans le canal en fonction des paramètres considérés.
- Le second concerne le tri proprement dit, analysé à partir de la répartition des particules dans les compartiments inter-riffles.

2 Méthodologie

2.1 Les dispositifs expérimentaux

Les expériences sont effectuées au LOMC avec une maquette de sluice, placée dans un canal de circulation en verre long de 10m et de 0.49m de large et alimenté par une pompe de 18kW avec un débit d'eau réglable (Fig 2). Un nid d'abeilles (0.2m de profondeur, 0.49 m de large, 0.5 m de hauteur) est disposé à la sortie de la pompe pour rendre l'écoulement plus propre et une trappe est aménagée avant l'aspiration afin d'empêcher les particules d'arriver jusqu'à la pompe. Le débit d'eau maximum est de 60 l/s par m de largeur. L'utilisation de l'unité l/m par mètre de largeur est propre à l'étude du sluice du fait qu'on peut considérer l'écoulement comme bidimensionnel (sur le plan formé par le sens de l'écoulement x et la verticale) et que les sluices utilisés par les chercheurs précédents n'ont pas la même largeur.

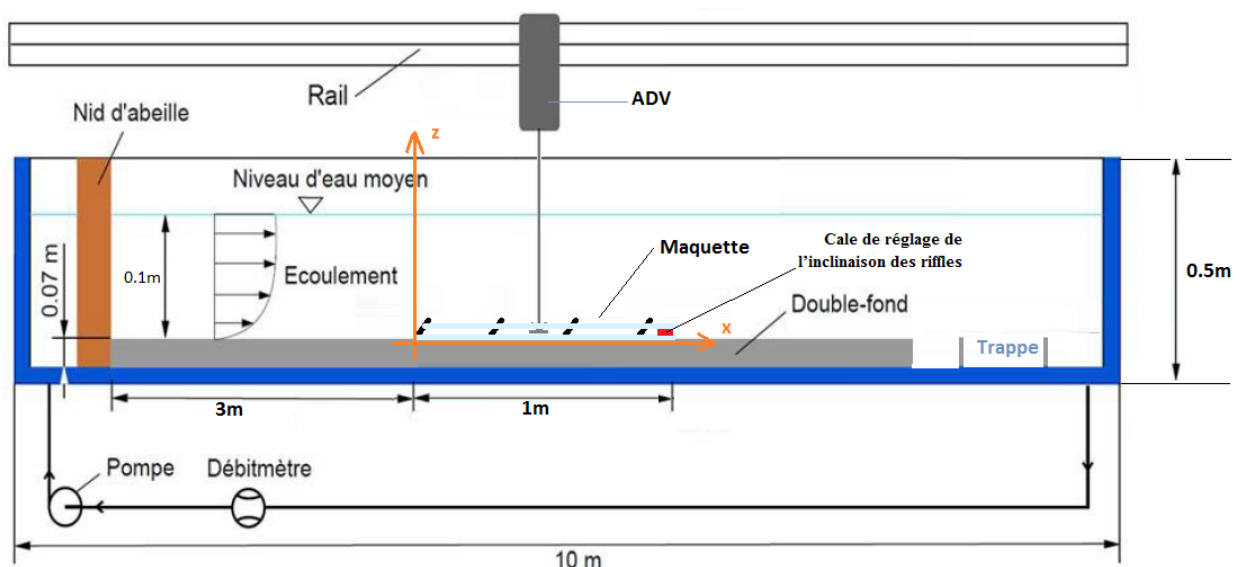


Figure 2: Schéma du canal à courant avec les dispositifs expérimentaux

La **maquette** (Figure 33) utilisée est munie de riffles en PVC assemblées par des liaisons pivot avec 4 barrettes en plexiglas et formant un parallélogramme déformable de 1m de long et 0.49m de large. Sur les barrettes, des trous sont aménagés pour faire varier la distance inter-riffles avec un réglage possible tous le 0.03m. Les riffles ont une hauteur de 0.05m. Le réglage de l'inclinaison des riffles est obtenu en insérant une cale entre les deux barrettes (53° sans cale et 75° avec cale de 0.005m). La maquette assemblée est mise dans le canal à 3m de l'entrée d'eau. Les barrettes sont en plexiglas pour permettre l'utilisation ultérieure d'un appareil de mesure optiques.



Figure 3 : Portion de la maquette du sluice, distance inter-riffles : 0.18m, hauteur des riffles : 0.05m; inclinaison : 75°

Un **débitmètre** acoustique permet de mesurer le débit et un vélocimètre acoustique ponctuel (Acoustic Doppler Velocimetry) Vectrino permet d'obtenir les 3 composantes de la vitesse en un point situé à une distance de 0.05m de la sonde avec une fréquence de mesure de 25 Hz. Pour le bon fonctionnement de l'ensemble il faut ensemençer l'eau par des particules (Rilsan) qui présentent les mêmes caractéristiques hydrodynamiques que le fluide.

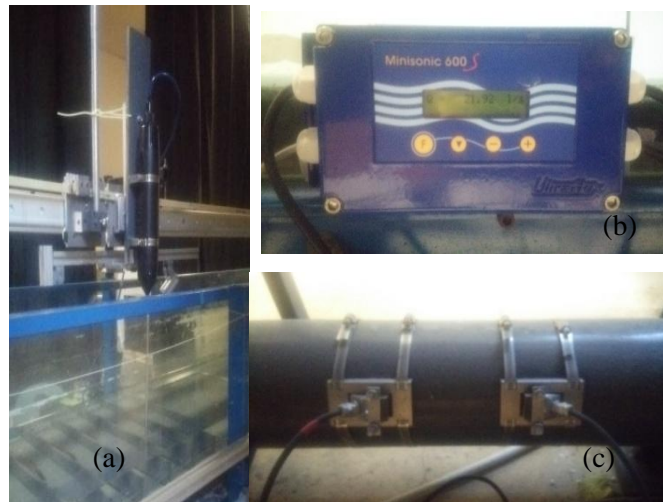


Figure 4: a) vélocimétrie ponctuel Vectrino fixé sur le chariot du canal; b) l'interface de lecture du débitmètre et c) les transducteurs installés sur la conduite de recirculation de l'eau pour la mesure du débit

Neuf configurations différentes ont été réalisées avec les valeurs respectives des paramètres :

- débit d'eau: 27 et 45 l/s par mètre de largeur
- distance inter-riffles : 0.12 m, 0.18m et 0.24m
- inclinaison des riffles : 53°, 75°

Concernant les particules lourdes, 90 g de limaille de plomb (Fig.5) de densité $s=9$ ont été utilisés.



Figure 5: limaille de plomb utilisée

2.2 Traitement des données issues du vélocimètre acoustique

Comme le vélocimètre utilisé mesure la vitesse en un point à une fréquence de 25 mesures par seconde, pour obtenir un champ de vitesse, on déplace la sonde à vitesse uniforme et faible (0.0033m/s). Les données de chaque séquence de mesures sont écrites dans un fichier sous la forme :

$$\begin{pmatrix} t1 & up_1 & vp_1 & wp_1 \\ t2 & up_2 & vp_2 & wp_2 \\ t3 & up_3 & vp_3 & wp_3 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ tn & up_n & vp_n & wp_n \end{pmatrix}$$

t_i représente le temps d'acquisition et u_{p_i} , v_{p_i} , w_{p_i} respectivement la composante de vitesse suivant x, y et z.

Pour combiner les n séquences en une seule image, un post traitement est nécessaire. Il faut modifier la colonne temps t_i en position x_i , z_i Pour réduire la taille de la matrice et pour lisser les valeurs, on prend un grand volume d'échantillons (0.003m environ) et on considère la moyenne. Ce lissage permet ainsi de réduire les erreurs dues au non stationnarité de l'écoulement. Chaque donnée obtenue par balayage est traitée de la même manière puis combinée pour avoir une seule matrice sous la forme ;

$$\begin{pmatrix} x_{z1,1} & z1 & up_{z1,1} & vp_{z1,1} & wp_{z1,1} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ x_{z1,n} & z1 & up_{z1,n} & vp_{z1,n} & wp_{z1,n} \\ x_{z2,1} & z2 & up_{z2,1} & vp_{z2,1} & wp_{z2,1} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ x_{zk,1} & zk & up_{zk,1} & vp_{zk,1} & wp_{zk,1} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ x_{zk,n} & zk & up_{zk,n} & vp_{zk,n} & wp_{zk,n} \end{pmatrix}$$

avec k le nombre de balayages. Avec cette nouvelle structure, il est facile d'obtenir le champ de vitesse et les lignes de courant (sous Tecplot).

3 Résultats

3.1 Ecoulement

En prenant comme longueur caractéristiques la profondeur d'eau et avec une vitesse maximale mesurée $V_{max}=1.2m/s$ au droit du riffle, le **nombre de Froude** Fr varie de 1,06 à 1,9. La valeur minimale se trouve juste après le premier riffle (côté amont) et la valeur maximale au-dessus du dernier riffle. On peut dire que le régime d'écoulement dans un sluice est toujours torrentiel.



Figure 6 : Ecoulement dans le canal à courant du LOMC dans lequel on a introduit des riffles de 0.05m de hauteur et inter distant de 0.24m, débit=27 l/s par mètre de largeur, inclinaison: 53°

Dans un compartiment inter-riffles, on retrouve les différentes régions observées par **Poling et Hamilton**(1986) et **Toky Ramanakoto**(2014) à savoir une zone occupée par un vortex au centre du domaine fluide, une zone de jet au-dessus du riffle jusqu'à la surface libre et une zone de repos caractérisée par une faible vitesse au pied du riffle aval (Fig.7).

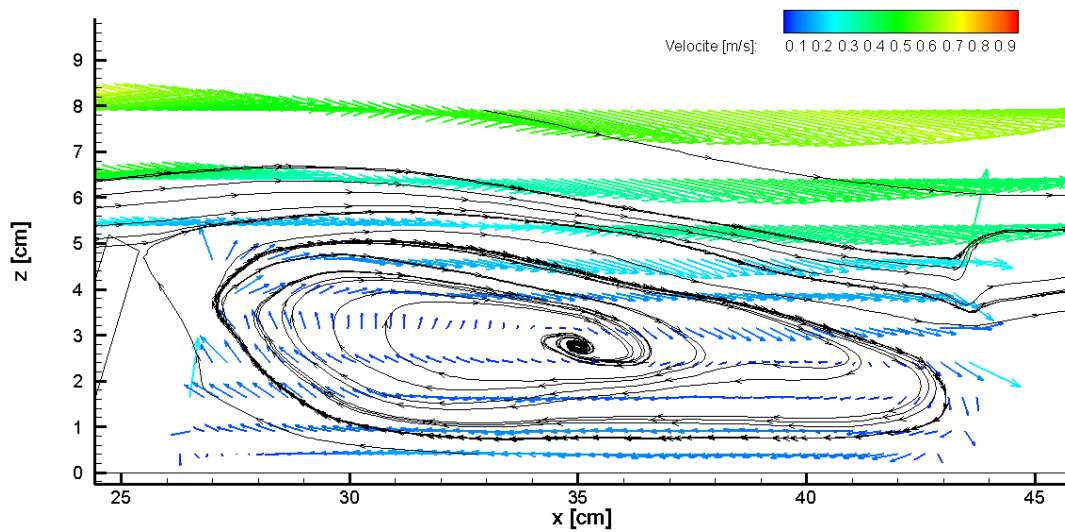


Figure 7 : Champ de vitesse mesuré et lignes de courant entre deux riffles distants de 0.24 m.

3.2 Tri des particules

En injectant des particules de même type mais de tailles différentes à l'entrée, on observe un tri par taille et on observe des dépôts dans les inter-riffles. Les particules de grande taille se déposent en amont et les plus fines en aval. La zone d'accumulation de dépôt des particules se trouve toujours en aval des riffles. Sur la figure 8, des mélanges des particules de plomb, de limaille de fer (en noir) et du sable ont été versées en amont de l'écoulement avec les paramètres : inclinaison des riffles 53° débit de 45 l/s par mètre de largeur et inter riffles 0.180 m.

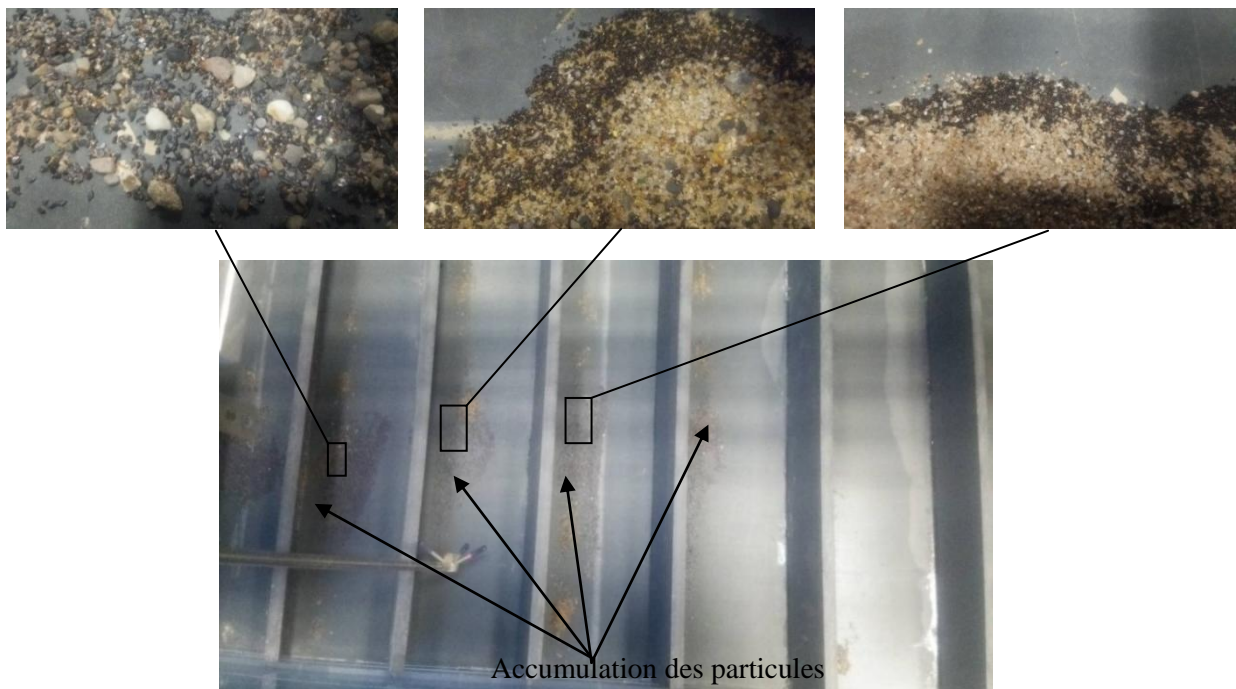


Figure 8 : répartition des particules dans la maquette avec riffles inclinés de 53° un débit de 45 l/s par mètre de largeur et inter riffles 0.180 m

4 Analyses des résultats

4.1 Effet du débit sur le tri des particules

Sur les Figs. 9 et 10 on fait les observations suivantes. Avec un faible débit, les lignes de courant sont moins ondulées et le tourbillon est moins intense mais occupe une plus grande zone. Avec un débit plus fort, on observe des lignes des courants plus ondulées et le tourbillon est plus intense. Avec les mêmes configurations à part le débit, (inclinaison des riffles 53° et distance inter riffles 0.24m), la vorticité maximale dans la zone tourbillonnaire calculé par Teckplot est de 0.34 pour un débit de 45l /s par mètre de largeur et 0.22 pour un débit de 27l /s par mètre de largeur.

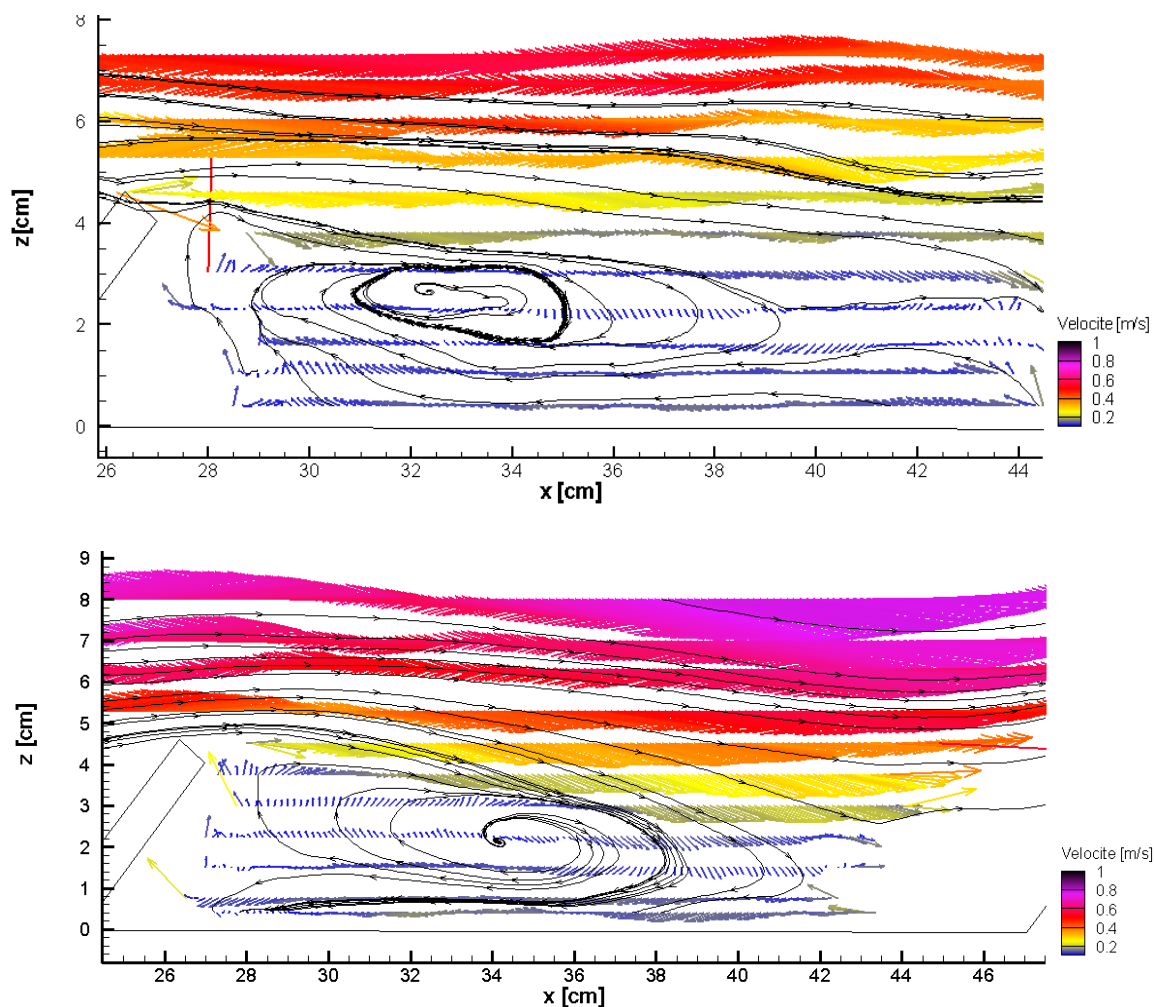


Figure 9 : Champ de vitesses et lignes de courants obtenus pour une inclinaison de 53° et pour une distance inter riffles de 0.24 m et deux valeurs du débit 27 l/s par mètre de largeur de en haut et 45 l/s par mètre de largeur en bas.

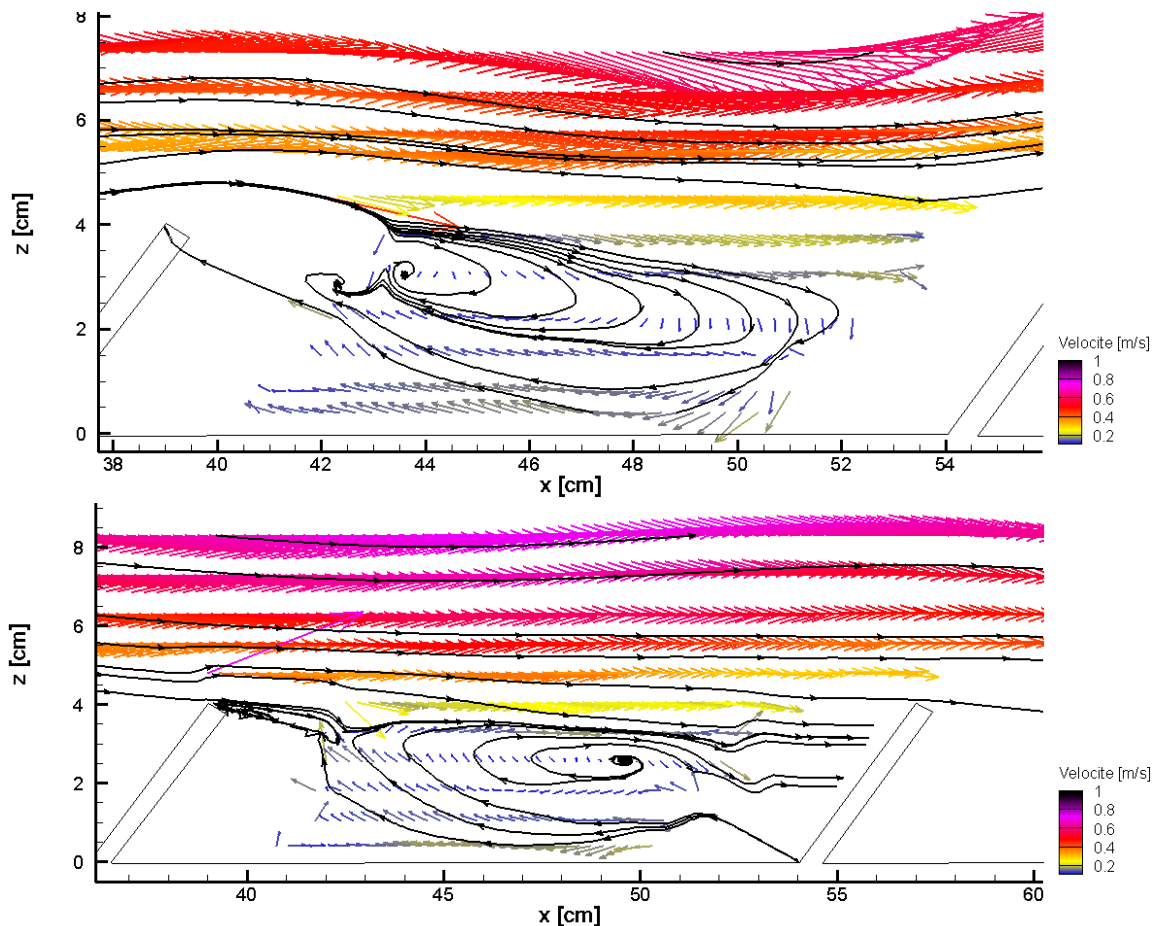


Figure 10 : Champ de vitesses et lignes de courants obtenus pour une inclinaison de 53° et pour une distance inter riffles de 0.18 m et deux valeurs du débit de 27 l/s par mètre de largeur en haut et 45 l/s par mètre de largeur en bas.

Les histogrammes sur les Figs.11 et 12 montrent la répartition des grains de limaille de fer dans la maquette en fin de test pour deux vitesses distinctes. Les Figs.11a et 12a représentent la répartition en masse de l'ensemble des particules de limailles de fer dans les espaces inter-riffles après l'expérience. Les Figs. 11b et 12b représentent la répartition de chacune des catégories après l'expérience et le long du sluice. En abscisse, on a la distance par rapport au pied du premier riffle, en ordonnées le pourcentage de chaque catégorie par rapport à la quantité initiale correspondante. Avec un débit de 27l/s par mètre de largeur, 62.6% en masse des particules se déposent à moins de 0.18m du premier riffle. Presque la totalité des grains de plus de 630 μm atterrissent dans le premier compartiment. Avec un débit plus important, seulement 26.43% se déposent à moins de 0.24m du premier riffle. On peut conclure que la diminution du débit d'eau accélère le dépôt de particules. Nous avons constaté que si la vitesse est inférieure à 45l/s par mètre de largeur les particules s'accumulent dans le premier compartiment sans être triées.

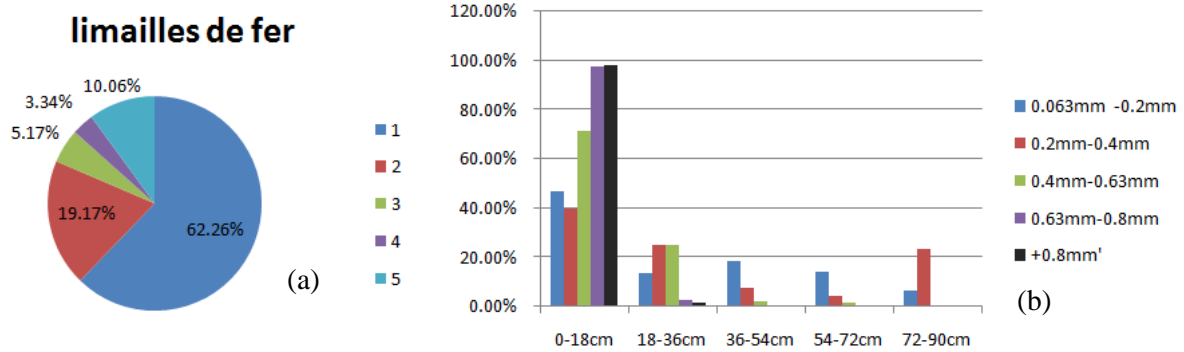


Figure 11 : Répartition des particules de limaille de fer avec un débit de 27 l/s par mètre de largeur et inter riffles 0.24m

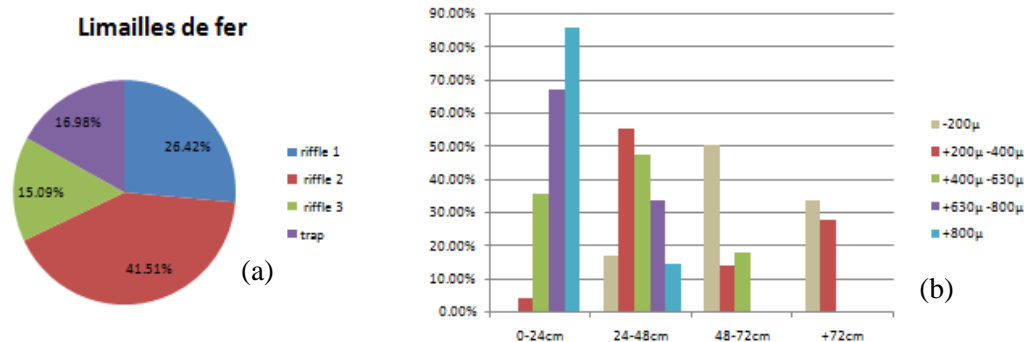


Figure 12 : Répartition des particules de limaille de fer avec un débit de 45 l/s par mètre de largeur et un inter riffles de 0.18m

4.2 Effet de la distance inter-riffles sur le tri des particules

Les 3 champs de vitesses représentés sur la Fig. 13 sont obtenus à partir d’essais avec un débit et une inclinaison identiques. C’est la distance inter-riffles qui est différente, 0.24m pour le premier, 0.18m pour le second et 0.12m pour le troisième. L’étroitesse de l’inter-riffles de la 3^{ème} configuration ne nous a pas permis de mesurer la vitesse dans la zone de tourbillon.

On observe de ces résultats qu’après avoir passé un riffle, les lignes de courant ont tendance à piquer vers le bas jusqu’à ce qu’elles arrivent devant le prochain riffle. Pour un inter riffles plus espacé, l’eau descend plus bas encore avant de gravir le riffle suivant et chasser la zone de recirculation vers l’amont. Pour un inter- riffles plus faible, l’eau survole les riffles et le tourbillon est moins intense.

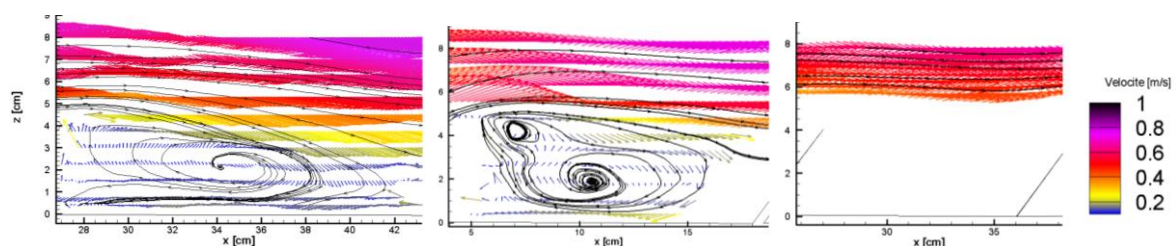


Figure 13 : Evolution du champ de vitesses pour trois distances inter riffles 0.24m ; 0.18m ; 0.12m pour une inclinaison de 53° et un débit de 45 l/s par mètre de largeur

On observe que plus l’inter-riffles est petit, plus les particules se font emporter loin. Cela peut s’expliquer par le fait que qu’il y a moins d’ondulations des lignes de courant donc moins de force

centrifuge. En comparant les Figs. 14 et 15, 64% des particules se déposent à moins de 0.36m pour un inter-riffles de 0.12m contre 84% pour un inter-riffles de 0.18m.

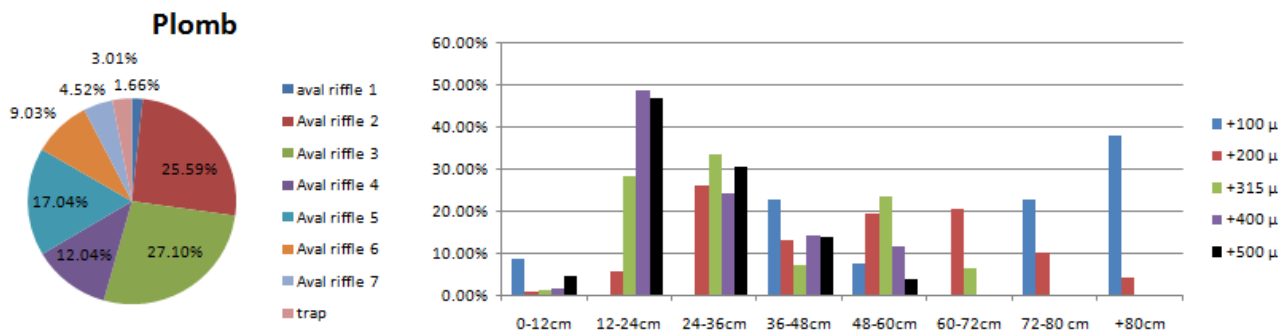


Figure 14 : Répartition des particules de plomb avec un inter riffles de 0.12m, un débit de 45 l/s par mètre de largeur

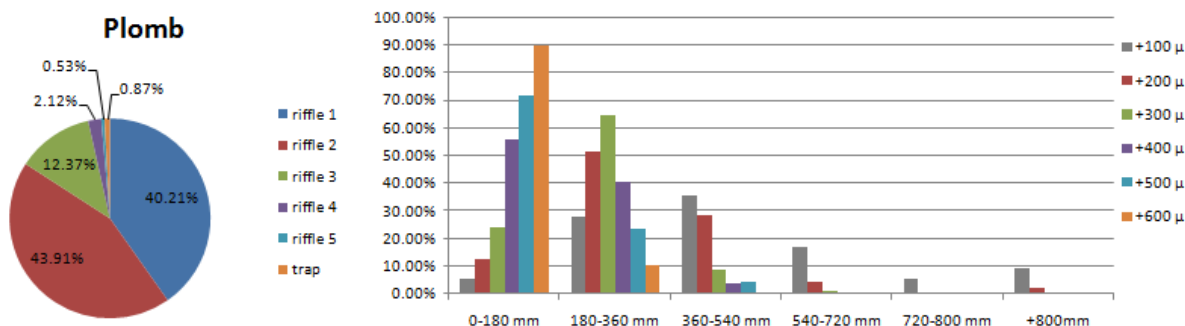


Figure 15 : Répartition des particules de plomb avec un inter riffles 0.18m, un débit de 45 l/s par mètre de largeur

4.3 Effet de l'inclinaison des riffles sur le tri des particules

On observe que l'augmentation de l'inclinaison des riffles a le même effet que la réduction du débit d'eau. En effet le redressement des riffles crée plus de perte de charge et réduit la vitesse, ce qui accélère le dépôt des particules.

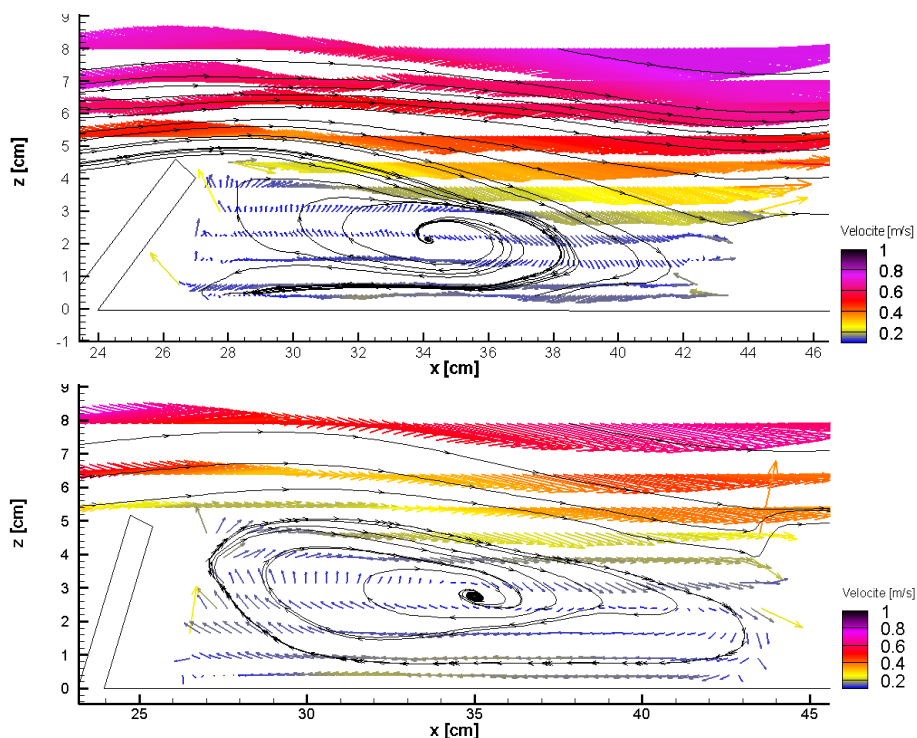


Figure 16 : Inter riffles= 0.24m, débit= 45l/s par mètre de largeur, Inclinaison riffle : 53° en haut et 75° en bas.

Avec des mêmes configurations à part l'inclinaison (Figs. 17 et 18), 55,75% des particules se déposent dans le premier compartiment avec une inclinaison de 75° contre 40.21% pour 53°.

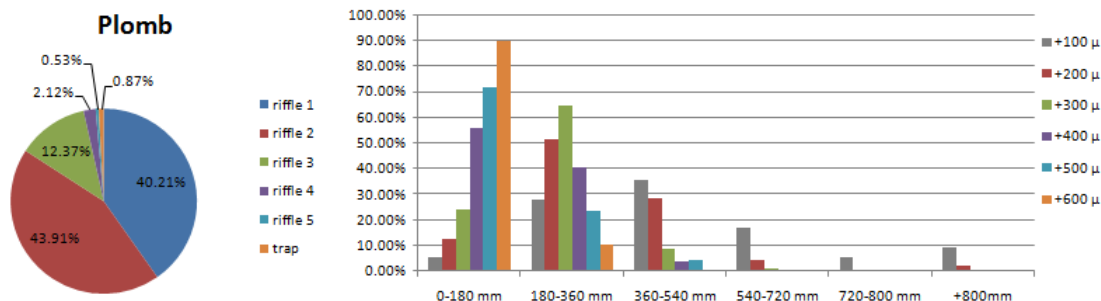


Figure 17 : Répartition des particules de limaille de fer avec riffles inclinés à 53° et un débit de 45 l/s par mètre de largeur et une distance inter riffles de 0.18m

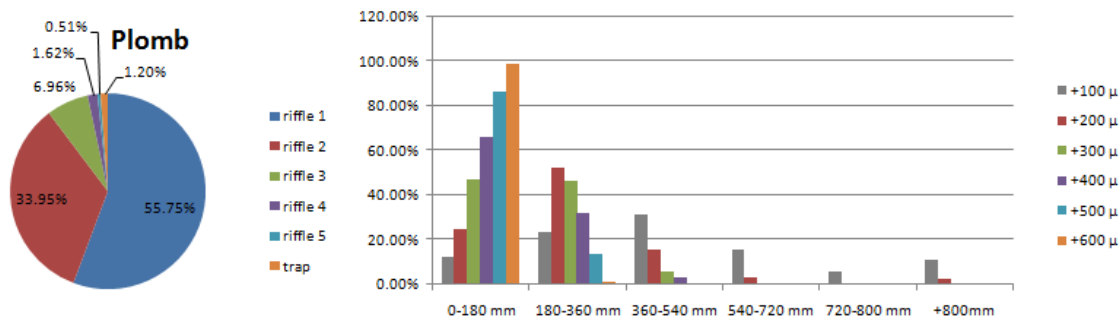


Figure 18 : Répartition des particules de limaille de fer avec une inclinaison des riffles à de 75°, un débit de 45 l/s par mètre de largeur et une distance inter riffles de 0.18m

4.4 L'effet de la densité sur le tri des particules

Soit D_* le diamètre sédimentologique défini par :

$$D_* = \left(\frac{(\rho_s - \rho)g}{\rho\nu^2} \right)^{\frac{1}{3}} D_{50}$$

Avec ρ la masse volumique de la particule, ρ la masse volumique du fluide, g l'accélération de la pesanteur, ν la viscosité cinématique du fluide et D_{50} le diamètre médian des particules.

On a injecté dans l'écoulement de la limaille de fer, du Plomb ainsi que du sable, de différentes tailles. Les diamètres sédimentologiques sont donnés dans la Table 1. Nous avons constaté que pour une particule de densité donnée un tri s'opère suivant la taille le long du sluice, les particules de grande taille se déposant en amont c'est-à-dire après les premiers riffles et les plus fines en aval des derniers riffles.

Pour la configuration présentée : débit $Q=45l/s$ par mètre de largeur, distance inter-riffles $d=0.12m$, inclinaison des riffles $\alpha=53^\circ$ nous avons tracé sur la Fig 19, la courbe de la distance parcourue par les particules en fonction de leurs diamètres sédimentologiques en prenant comme référence ($x=0$) le premier riffle.

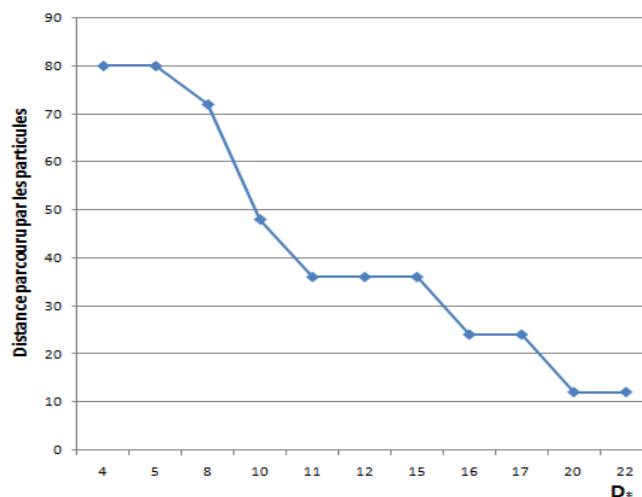


Figure 19 : Position du dépôt [cm] en fonction du diamètre sédimentologique

On observe que quelle que soit la densité des particules, celles qui ont un même diamètre sédimentologique se déposent dans le même compartiment selon la classification suivante :

Table 1: Classification du tri des particules en fonction de leurs diamètres sédimentologiques

D_* (Diamètre sédimentologique)	Distance parcourue	Compartiment
>20	0-0.12m	1 ^{er} compartiment
15-20	0.12-0.24m	2 ^{ème} compartiment
10-15	0.24-0.36m	3 ^{ème} compartiment
6-10	0.36-0.75m	4-6 ^{ème} compartiments
<6	+0.80m	La trappe

Comme le diamètre sédimentologique dépend à la fois de la taille de la particule et de sa densité, le tri se fait donc par la combinaison de ces deux paramètres. Ainsi si on veut obtenir du plomb de densité s et de taille d , il suffit de calculer son diamètre sédimentologique D^* et se référer au tableau ci-dessus. Ainsi le Plomb de densité 11 et de taille $300\mu\text{m}$ se trouvera probablement dans le compartiment numéro 3.

En maintenant cette même configuration mais avec d'autres particules, on peut estimer l'endroit où une particule atterrira selon sa taille et sa densité. Ainsi pour avoir un bon tri, un certain contraste de densité entre le minerai lourd et le tout-venant est nécessaire, ce qui est le cas pour l'Or. Par exemple, les particules d'Or de taille $200\mu\text{m}$ se déposeront au troisième compartiment tandis que les particules de la pulpe de même taille seront emportées par le courant. Seul, les particules de grande taille du tout-venant seront piégées avec l'Or. Ce mélange que l'on appelle « concentré d'or » est traité à la bâté.

5 Conclusion

Des expériences sur fond plat horizontal dans un canal de circulation ont été conduites en faisant varier le débit d'eau, la distance inter-riffles et l'inclinaison des riffles. L'utilisation d'un vélocimètre acoustique ponctuel ADV a permis de mesurer la vitesse en de nombreux points de l'écoulement. Les données obtenues par balayage horizontal au moyen d'un chariot piloté par ordinateur combiné à un algorithme de post traitement sous Matlab a permis d'obtenir un champ de vitesses dans un plan parallèle à l'écoulement et perpendiculaire au fond. Grâce à ce champ de vitesses, on a pu observer les effets des différents facteurs sur l'écoulement. Un faible débit d'eau, des riffles trop serrés ou une inclinaison de riffle trop importante réduisent l'intensité du tourbillon. L'inverse crée un tourbillon plus fort mais le risque est présent de transporter des minéraux lourds.

L'injection de particules de plomb dans le canal donne un premier aperçu du mécanisme de triage. On observe que les particules de grande taille sont déposées en amont et les particules de petite taille se déposent en aval le long du sluice.

Les essais que nous avons effectués ont été réalisés sur fond plat horizontal. Ce qui n'est généralement pas recommandé pour l'utilisation d'un sluice en fonctionnement sur site mais cela a quand même permis d'atteindre l'objectif fixé pour cette première série d'expériences, à savoir, définir les matériels, les matières et les méthodes à adopter pour comprendre le mécanisme de tri et caractériser l'écoulement.

Pour les prochains essais, nous envisageons d'étudier l'effet du pendage, d'utiliser une quantité plus importante de particules et dont la qualité sera plus ciblée notamment par leur taille, leur forme et leur densité. De même l'utilisation de la PIV pourra être envisagée. Par ailleurs, il convient de noter que ce travail comporte une modélisation numérique du phénomène de tri. La méthode retenue pour cette partie est la méthode SPH.

6. Remerciements

Ce travail, en collaboration entre les Laboratoires LOMC du Havre et LHG de l'Université d'Antananarivo dans le cadre d'une thèse, est financé par la bourse du gouvernement Français (BGF), par l'intermédiaire du Service de Coopération et d'Action Culturelle de l'Ambassade de France à Madagascar (SCAC). Les auteurs tiennent à remercier ces institutions pour le soutien continu et le financement qui a rendu possible un séjour de spécialisation en France.

Références

- [1] Blazy P. et Joussemet R., Concentration par gravité – Différentes technologies, Ecole Nationale Supérieure de Géologie, Laboratoire Environnement et Minéralurgie, Techniques de l'ingénieur, Paris – France, (2005)
- [2] Blazy P. et Joussemet R., Concentration par gravité – Modélisation et critères de choix, Ecole Nationale Supérieure de Géologie, Laboratoire Environnement et Minéralurgie, Techniques de l'ingénieur, Paris – France, (2005)
- [3] Clarkson. & Peer O., An Analysis of sluicibox, riffle performance, Report prepared for the Klondike Placer Miners Assoc., 31, (1990)
- [4] Clarkson R., Gold losses at Klondike placer mines - Gold recovery Project Phase I, Report prepared for the Klondike Placer Miners Assoc., 61, (1989).
- [5] Cook D.J., Gold recovery in a sluice box, Placer Mining Conference, University of Alaska Fairbanks, (1979)
- [6] Cook D.J., Gold recovery in a sluice box, Engineer of mines, Thesis, UAF, 1954. (*Also reproduced for the 1979 AIME/SME Placer Mining Conference, University of Alaska Fairbanks, 97*). (1979)
- [7] Louvetel-Poilly J.L., Etude expérimentale du rôle de la turbulence de paroi dans le transport de particules. Dynamique des Fluides, INSA Lyon, (2008)
- [8] Kelly E. G., Subasinghe G.K.N.S., Walsh D.E., The sluice box – An evaluation. Department of Chemical & Materials Engineering, Université d'Auckland, Nouvelle-Zélande, Minerals Engineering, Vol. 8, No 11, pp. 1397 (1945)
- [9] Longridge C.C., Hydraulic mining, Mining Journal, London, (1990)
- [10] Poling G.W., Hamilton J.F. Pilot scale study of fine gold recovery of selected sluice box configurations, Dept. of Min. & Mineral Proc. Eng. UBC Report, available from Northern Affairs Program, 200 Range Road, Whitehorse, Yukon, 77p., (1986).
- [11] Ramanakoto T.N. Contribution à l'étude expérimentale des écoulements à surface libre, Application à l'interaction de sillages et à l'écoulement dans un sluice artisanal, Thèse, Université Le Havre Normandie, France, Université d'Antananarivo, Madagascar, (2014)
- [12] Stewart D. F. et Ramsay P.W., Improving the simple sluice box, Int Journal of Mineral Proc., 39, p 119-136, (1993)
- [13] Stewart D.F., Operation of the sluicibox under conditions of low water flow, Bull. Proc., Australas. Inst. Min. Metall, 291, 81-85, (1986)
- [14] Subasinghe, Optimal design of sluice boxes for fine gold recovery, Minerals Engineering, 6, N° 11, 1155-1166, (1993)
- [15] Taggart A. F., "Gravity concentration", Handbook of mineral dressing (Manuel de minéralurgie), 7^{ème} édition Wiley and Sons, (1960)