

Conception d'un système d'aspiration Venturi pour les épandeurs de lisier

Ing. J. GABRIEL
Dr Ir V. HANUS
PIERRARD –Virton

Cet article traite de l'étude technique et de la réalisation d'un système d'aspiration Venturi à installer sur les épandeurs de lisier. Ce travail a été mené au sein de l'entreprise JOSKIN S.A. à Soumagne. L'objectif était d'étudier le comportement d'un fluide dans une conduite qui voit sa section varier en différents points et d'utiliser ce concept comme système d'aspiration.

Mots clefs : Venturi, épandeur de lisier, système d'aspiration, dépression, fluide, pompe centrifuge.

This article discusses of the technical study and the realization of a Venturi suction system to install on the slurry spreaders. This work was carried out within the company JOSKIN S.A. in Soumagne. The aim was to study the behavior of a fluid in a pipe which sees its section vary at different points and to use this concept like aspiration system.

Keywords : Venturi, slurry spreader, suction system, depression, fluid, centrifugal pump.

1. Introduction

En matière de système d'aspiration pour les épandeurs de lisier, la clientèle de la société JOSKIN a toujours souhaité les techniques les plus simples, les plus efficaces et les moins coûteuses. C'est la raison pour laquelle un nouveau système d'aspiration basé sur l'effet Venturi a été développé.

De manière générale, pour pouvoir fonctionner, des machines de haute capacité combinent l'utilisation de deux pompes, une dédiée à aspirer le liquide et une autre servant à l'épandre. Pour pouvoir répondre aux objectifs fixés, le travail consistait à concevoir un système d'aspiration permettant de n'utiliser qu'une seule et même pompe pour aspirer et épandre le fluide.

2. Approche théorique

2.1. Théorème de Bernoulli [1]

L'effet Venturi est un phénomène physique qui, suite au rétrécissement d'une conduite engendrant l'accélération d'un fluide, provoque une dépression dans une zone précise.

Daniel Bernoulli a décrit le principe de l'effet Venturi de la manière suivante : lorsque la vitesse d'un fluide augmente, la pression qu'il exerce diminue (voir équation de Bernoulli ci-dessous). Cela veut donc dire que si la vitesse d'un fluide incompressible varie, il y a une différence de pression.

$$\frac{1}{2} * \rho * c^2 + \rho * g * h + p = cste \quad (1)$$

où

- p : pression [Pa],
- ρ : masse volumique du fluide [kg/m³],
- c : vitesse du fluide [m/s],
- g : accélération de la pesanteur [m/s²], et
- h : altitude [m].

2.2. Composants du système

Pour pouvoir installer un système de pompage Venturi sur un épandeur de lisier, celui-ci doit obligatoirement être composé :

- d'une pompe centrifuge,
- d'un réservoir de fluide,
- d'un circuit composé de 2 Venturi,
- d'un bras de pompage.

Afin de réaliser l'opération de pompage, le circuit est alimenté par une pompe centrifuge. Pour fonctionner, la pompe doit être amorcée. Cet amorçage est assuré par un petit réservoir de lisier intégré dans l'épandeur. Une fois la pompe centrifuge remplie de lisier, elle le transfère au circuit composé de deux Venturi disposés l'un à la suite de l'autre (voir figure 1).

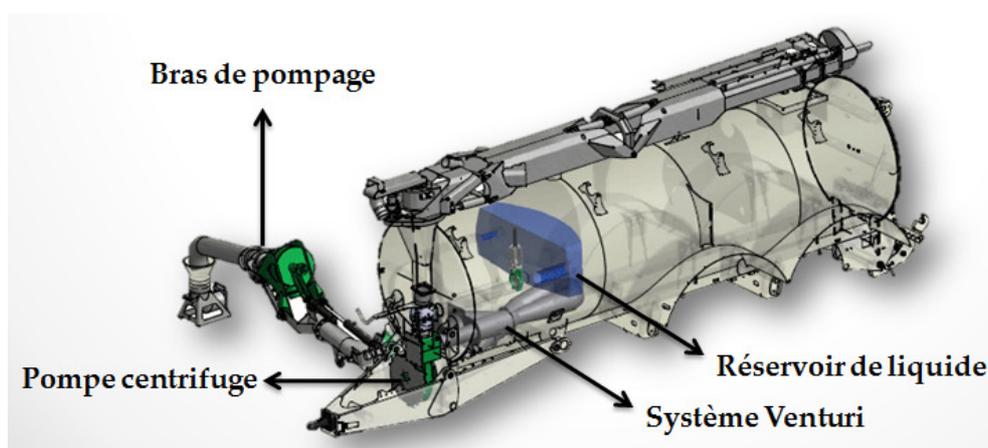


Figure 1 : Composants du système d'aspiration Venturi

La zone de dépression est reliée directement au bras de pompage. Lorsque cette dépression est suffisante, le lisier de la citerne est amené dans la cuve et le remplissage de celle-ci se réalise. Comme le réservoir de départ ne sert qu'à amorcer la pompe, une fois celui-ci vide, c'est le lisier déjà pompé qui sert à alimenter la pompe centrifuge et ce, jusqu'au remplissage complet de la cuve.

Sur la figure 2, la conduite d'entrée (« sortie de la pompe centrifuge ») est directement reliée à la pompe centrifuge et la sortie (« entrée dans la cuve ») correspond à la conduite d'arrivée dans la cuve. Le tuyau de pompage est raccordé à l'entrée « conduite d'aspiration ».

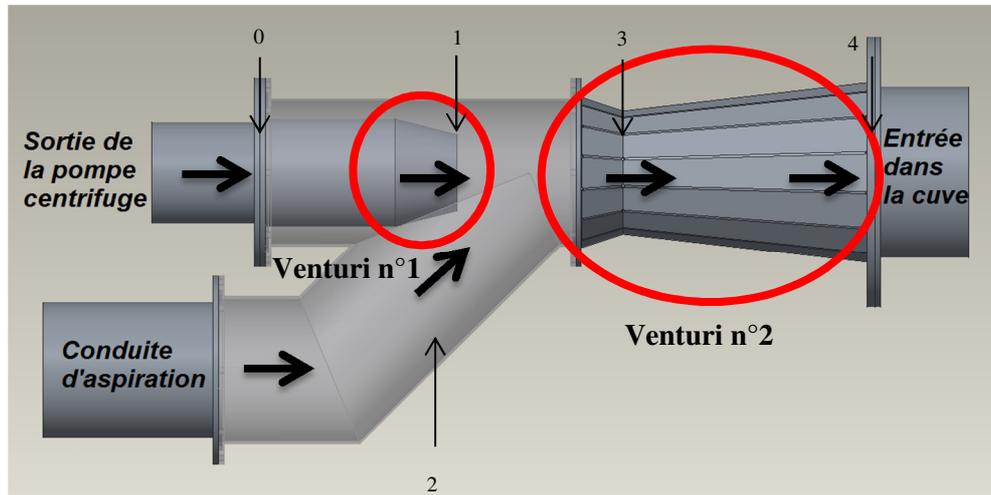


Figure 2 : Illustration des deux Venturi et division du système

Le premier Venturi permet de créer la dépression dans le bras de pompage et de communiquer l'énergie cinétique nécessaire pour mettre le fluide en mouvement. Le second Venturi permet d'expulser le lisier sous pression vers la cuve. Le deuxième Venturi doit pouvoir vaincre la pression atmosphérique ainsi que la hauteur maximale (diamètre de la cuve) que le fluide doit atteindre.

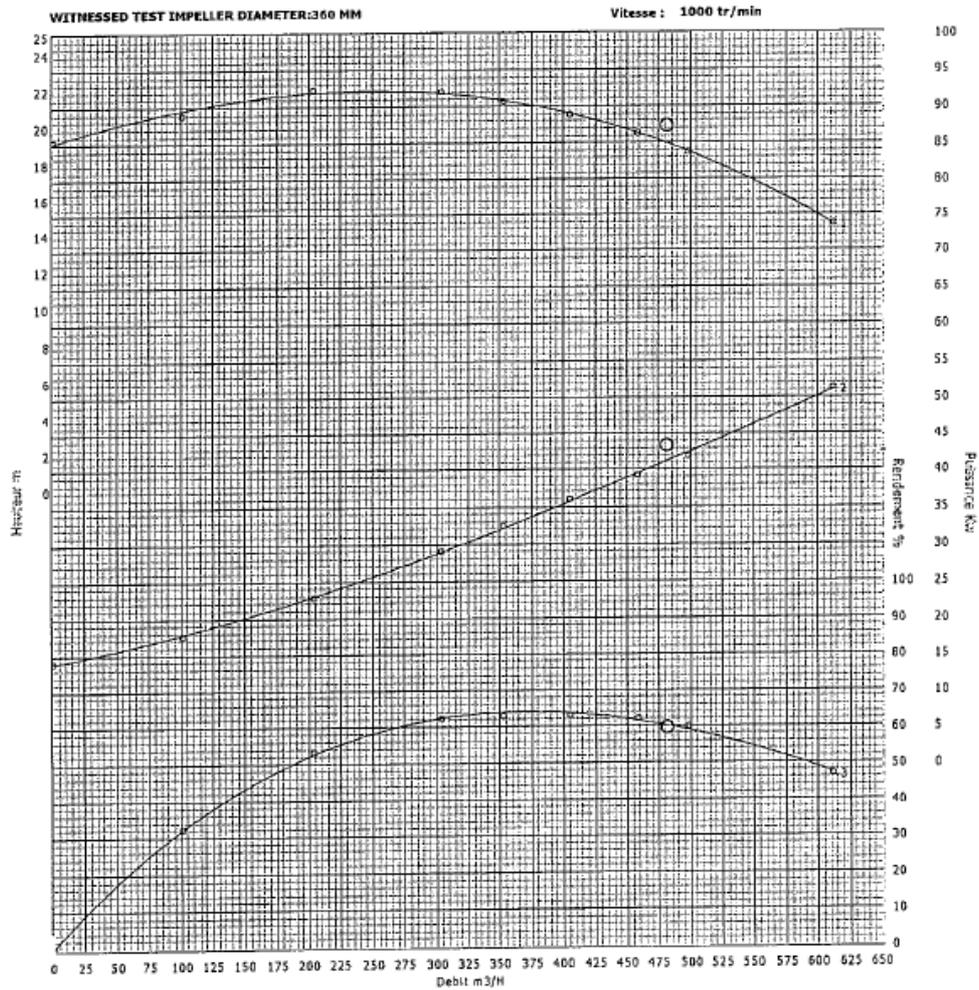
2.3. Modélisation du système [2, 3, 4]

Pour pouvoir modéliser le système d'aspiration Venturi, celui-ci a été divisé en 5 parties (voir figure 2).

C'est sur des caractéristiques de la pompe centrifuge (voir graphique 1) intégrée au système que se base la modélisation de celui-ci. Les caractéristiques principales de la pompe à environ 1000 tr/min avec pour amorçage une hauteur de fluide de 2,07 m sont les suivantes :

Hauteur manométrique totale : 18,51 m
 Débit volumique : 497,13 m³/h
 Puissance de la pompe mesurée : 45900 W
 Puissance de la pompe théorique : 41860 W
 Rendement de la pompe : 59,97 %

Comme le lisier est un fluide dont la densité est variable d'un type à l'autre, les calculs sont considérés sur base de la densité de l'eau (1000 kg/m³), qui est le fluide correspondant le plus au lisier.



Graphique 1 : Courbes d'essais de la pompe centrifuge

La pression obtenue à la sortie de la pompe centrifuge peut se calculer à partir de la formule suivante :

$$p = \rho * g * h_{\text{manométrique totale}} \quad (2)$$

où

- $h_{\text{manométrique totale}}$: hauteur manométrique totale [m].

Les pressions qu'il est possible d'obtenir au niveau des deux Venturi peuvent être déterminées via la formule de Bernoulli qui, pour un système disposé horizontalement, se définit comme suit :

$$\frac{p_1}{\rho * g} + \frac{c_1^2}{2 * g} = \frac{p_2}{\rho * g} + \frac{c_2^2}{2 * g} \quad (3)$$

où

- p_1 et p_2 : pressions avant et après le convergent/divergent [Pa], et
- c_1 et c_2 : vitesses avant et après le convergent/divergent [m/s].

Un Venturi peut également être comparé à une tuyère. Il est possible de déterminer les vitesses du fluide sur base de l'enthalpie massique en un point (0) situé avant le convergent en fonction d'un autre point (1) situé dans le convergent :

$$h_0 + \frac{c_0^2}{2} = h_1 + \frac{c_1^2}{2} \quad (4)$$

où

- h_0 et h_1 : enthalpies massiques aux différents points [J/kg].

Le débit massique peut donc être déterminé à partir de la connaissance du débit volumique et de la densité du fluide :

$$\dot{m} = \rho * q \quad (5)$$

où

- \dot{m} : débit massique [kg/s], et
- q : débit volumique [m³/s].

D'après le principe de conservation de la quantité de mouvement, certaines caractéristiques du second Venturi ont pu être déterminées:

$$\dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3 \quad (6)$$

$$\dot{m}_1 * \left(\frac{h_1 + c_1^2}{2} \right) + \dot{m}_2 * \left(\frac{h_2 + c_2^2}{2} \right) = \dot{m}_3 * \left(\frac{h_2 + c_2^2}{2} \right) \quad (7)$$

$$\dot{m}_1 * c_1 + \dot{m}_2 * c_2 = \dot{m}_3 * c_3 \quad (8)$$

où

- h_1, h_2 et h_3 : enthalpies massiques aux différents points [J/kg].

Pour que les résultats théoriques soient les plus proches des résultats pratiques, les pertes de charges linéaires et singulières ont été calculées.

Les pertes de charge linéaires ($\Delta p_{linéaire}$) en Pascal, se déterminent via la formule suivante :

$$\frac{\Delta p_{linéaire}}{\rho * g} = f * \left(\frac{l}{d}\right) * \left(\frac{c^2}{2 * g}\right) \quad (9)$$

où

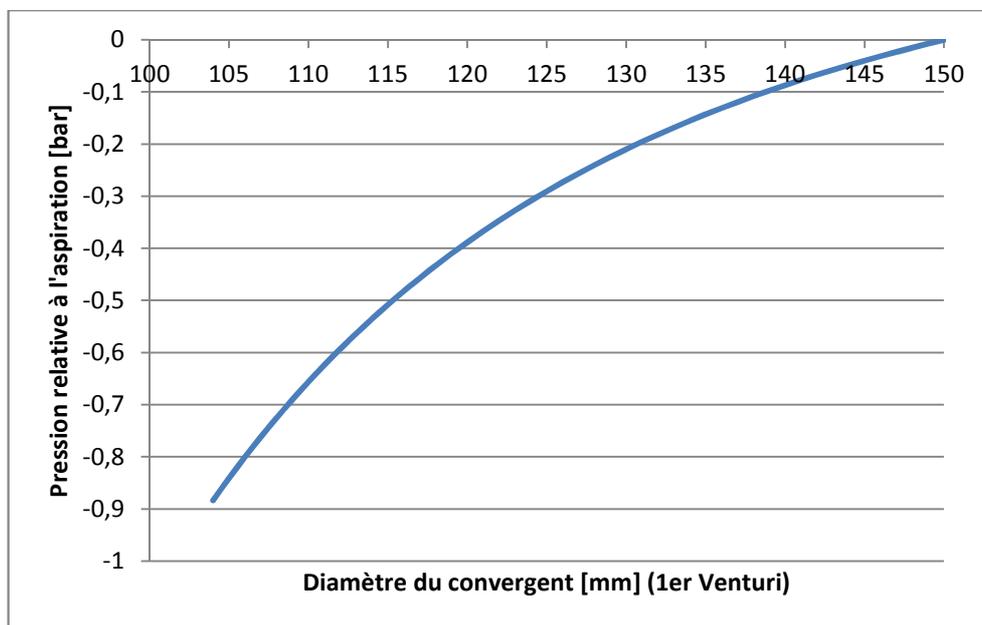
- f : facteur de friction de Darcy,
- l : longueur de la conduite [m], et
- d : diamètre de la conduite [m].

Les pertes de charge singulières ($\Delta p_{singulière}$) en Pascal, se déterminent via la formule suivante :

$$\Delta p_{singulière} = \left(\frac{K * c^2}{2 * g}\right) * \rho * g \quad (10)$$

où

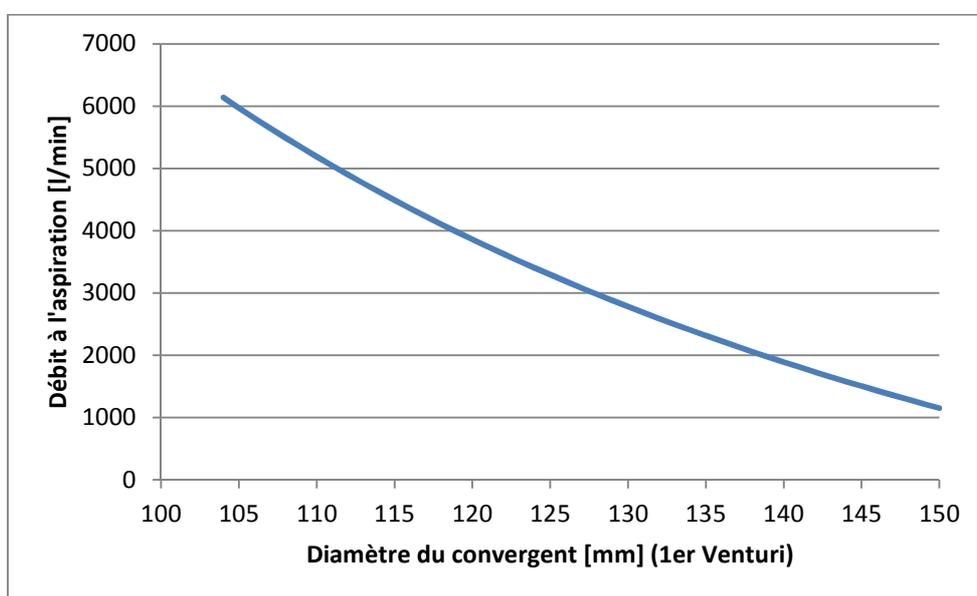
- K : coefficient de résistance, et
- $h_{singulière}$: longueur [m].



Graphique 2: Variation de la pression à l'aspiration en fonction du diamètre du 1er Venturi

Après avoir calculé l'ensemble des caractéristiques du système, ainsi que les pertes de charges linéaires et singulières, il est possible de représenter graphiquement la variation de la pression et du débit à l'aspiration en fonction du diamètre du premier Venturi. On peut donc remarquer sur le graphique 2, que la dépression est de plus en plus faible lorsque le diamètre du Venturi augmente.

Sur le graphique 3, on constate que plus le diamètre du Venturi augmente, plus le débit à l'aspiration est réduit.



Graphique 3 : Variation du débit à l'aspiration en fonction du diamètre du 1er Venturi

3. Réalisation du système d'aspiration Venturi [5]

Après avoir déterminé par calcul les caractéristiques des deux Venturi, il est possible de commencer la réalisation des dessins 3D du système et de lancer un modèle en production. Ce dernier a été réalisé avec un diamètre du convergent de 104 mm.

Afin de réaliser un essai réel, un épandeur de lisier équipé d'une pompe centrifuge identique à celle utilisée pour effectuer les calculs théoriques du système Venturi a été utilisé. Pour pouvoir mesurer un maximum de variables lors des essais, plusieurs manomètres et débitmètres ont été installés sur les différentes conduites du système.

Les essais pratiques ont prouvé l'efficacité du système malgré une petite différence avec les résultats théoriques obtenus suite à certains éléments qui variaient d'une situation à l'autre (longueur des conduites, faibles fuites, ...). En pratique il est possible d'obtenir une dépression maximale de 0,65 bar avec un débit à l'aspiration de 4600 l/min.

Le système d'aspiration Venturi assure un débit maximal à l'aspiration de 4600 l/min, avec une vitesse de rotation de la pompe centrifuge de 1000 tr/min, ce qui équivaut à un système de pompage traditionnel dans les mêmes conditions.

Cependant, un système d'aspiration traditionnel doit obligatoirement être accompagné d'une centrale hydraulique car les débits d'huile nécessaires au fonctionnement de celui-ci sont très importants (un tracteur seul est incapable de fournir la quantité d'huile nécessaire pour un fonctionnement optimal du système d'aspiration).

Le coût général d'un système traditionnel s'élève à environ 14000 €, tandis que celui du système Venturi est d'environ 8000 €. Le coût général comprend le bras de pompage, le système d'aspiration et les différents accessoires qui y sont liés.

La différence de coût entre les deux systèmes s'élève à environ 6000 €. Cette somme représente donc le gain réalisé grâce au système Venturi. En effet, le système Venturi ne nécessite pas de centrale hydraulique et n'utilise qu'une seule pompe pour fonctionner, ce qui représente d'énormes économies et simplifie très fortement la conception des épandeurs de lisier.



Figure 3 : Représentation d'un épandeur de lisier équipé d'un système d'aspiration traditionnel

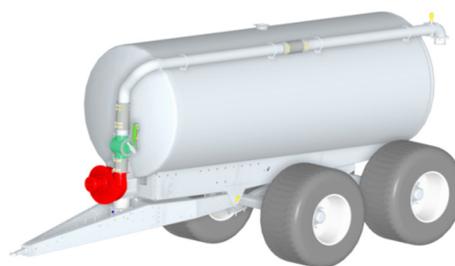


Figure 4 : Représentation d'un épandeur de lisier équipé d'un système d'aspiration Venturi

Les figures 3 et 4 représentent l'aspect extérieur (sans bras de pompage) d'un épandeur de lisier équipé d'un système d'aspiration traditionnel et d'un système d'aspiration Venturi. On peut donc remarquer visuellement que le système d'aspiration Venturi simplifie fortement l'extérieur des machines.

4. Conclusion et perspectives

Le système d'aspiration Venturi possédant des capacités de débit à l'aspiration similaires au système traditionnel, cela lui procure de nombreux avantages :

- insensibilité aux corps étrangers dans le fluide ;
- longévité et efficacité constantes ;
- faibles coûts de maintenance ;
- remplissage optimal de la cuve (pas de dilatation du fluide) ;
- système facilement adaptable aux différents éléments de pompage (flèche dorsale, bras de pompage,...) ;
- coût général de production plus faible.

Le système d'aspiration Venturi est simple et est presque intégralement incorporé à l'intérieur de la cuve des épandeurs de lisier. C'est également sa simplicité d'utilisation, sa flexibilité, son coût général et son coût de maintenance relativement faibles qui font du système d'aspiration Venturi un moyen de pompage plus avantageux.

De manière générale, les résultats obtenus tant au niveau technique qu'économique sont plus que satisfaisants. Néanmoins, une étude financière plus complète sera requise pour tenir compte des éléments nécessaires au fonctionnement de la machine complète (consommation d'énergie du tracteur, ...).

Au niveau des pistes d'amélioration pour la modélisation du système, il serait intéressant de détailler l'efficacité du système et ce, grâce à la détermination de l'efficacité isentropique des deux Venturi. De plus, un modèle plus complet de la machine doit être envisagé pour pousser les résultats encore plus loin et ainsi choisir les accessoires (bras de pompage et la pompe centrifuge) les plus appropriés pour ce genre d'application.

Finalement, ce travail pourra certainement ouvrir des portes à la société JOSKIN sur de nouveaux marchés qui visent l'économie et le respect de l'environnement.

5. Sources

- [1] COUSSEMENT, G., *Mécanique des fluides*,
Mons, Université de Mons, Faculté Polytechnique, 2014-2015.
- [2] HANUS, V., *Modélisation des systèmes thermomécaniques*
Virton, Haute École de Namur-Liège-Luxembourg, Département Ingénieur
Industriel de Pierrard-Virton, 2014-2015.
- [3] GUILLEMAIN, D., *Système Venturi*
Reims, Université de Reims Champagne-Ardenne, 2009.
- [4] RADOUX, L., *Cours de mécanique appliquée*
Liège, Cours Techniques Supérieurs de la Province de Liège, 1969.
- [5] JOSKIN, (consulté le 28 septembre 2016), *Joskin – Transport, épandage et
entretien des pâtures*.
Adresse URL : <http://www.joskin.com/>