

## EXPERIMENTAL DETERMINATION OF FLOW CONCENTRATION FOR PNEUMATIC CONVEYING SYSTEMS OF AIR-SEEDERS

### DETERMINATION EXPÉRIMENTALE DE LA CONCENTRATION DE TRANSPORT DANS LES SYSTÈMES DE DISTRIBUTION DES SEMOIRS PNEUMATIQUES

Ph.D. Stud. Yatskul A.I.<sup>1,2)</sup>, Associate Prof. Ph.D. Lemièrre JP.<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Kuhn SA, 4, Impasse des Fabriques, 67700, Saverne / France ;

<sup>2)</sup> National Institute of Higher Education in Agronomy, Food and Environmental Sciences (AgroSup Dijon),  
26 Bd Dr. Petitjean, 21079 Dijon cedex / France

E-mail : andr.jat@mail.ru; jean-pierre.lemiere@agrosupdijon.fr

**Abstract:** Taking into account the complexity of wide width air-seeders, they remain less studied. The chief point for air-seeder designers is conception of the pneumatic conveying system. It must be precise in terms of uniformity so that the agro-technical goals should be achieved. It must also ensure high rates without causing damages to seeds. This paper provides a theoretical analysis of pneumatic conveying designing applied to air-seeders. It shows that the conveying of particles (seeds, fertilizers or their mixture) in a given pipe depends on two interconnected parameters: flow concentration and air velocity. The knowledge of these two parameters is a necessity for the design of conveying systems but they are not defined in the case of agricultural machinery. This paper proposes a method to measure the flow concentration and the air velocity values which must be used to optimize an existing seeder (relatively to machine's outflow) or to design a new pneumatic seeder. In this case choices about pipes' diameters in each part of conveying system can be optimized from an energy point of view and this paper presents how the collected values can be used in a global methodology of design for air-seeders' conveying system.

**Keywords:** air-seeder, distribution system, pneumatic conveying, flow concentration, stagnation velocity

#### INTRODUCTION

Today farmers must have an equipment allowing to cultivate sizeable areas (300 to 500 ha) efficiently and to achieve a controlled seeding during a short period of time. It especially concerns the market economies of emergent countries like Russia, Ukraine and Kazakhstan. So farmers want to have high capacity hoppers for seeds and a wide coulter bar for ensuring a rapid seeding. Consequently, the sowing implements become more sophisticated and heavier. They are called air-seeders and consist of a coulter-bar and a hopper to contain the seeds (and fertilizers if necessary). Seeds are conveyed from the hopper to the coulter-bar by an air-stream. Taking into account the complexity of this type of seed drills, they remain less-studied.

One of the critical points for the design of this kind of machines is the pneumatic conveying system design. Usual approaches of pneumatic conveying design couldn't be applied to air-seeders because of high discrepancy between theoretical calculating and practical measurements. This discrepancy exists because of non-steady-state phenomena during particles' transport (caused by the many bends, changes in pipe diameter, the presence of manifolds, stop and restart of seeding in

**Résumé:** Compte tenu de leur complexité, les semoirs pneumatiques de grande largeur restent peu étudiés. Le point clef pour les concepteurs semoir pneumatique est la conception du système de transport pneumatique. Il doit être précis en termes d'uniformité pour que les objectifs agro-techniques sont atteints. Il doit également permettre des débits élevés sans occasionner de dommages aux semences. Ce document présente une analyse théorique de la conception d'un transport pneumatique appliquée aux semoirs pneumatiques. Il montre que le transport des particules (semences, engrais ou leur mélange) dans une conduite donnée dépend de deux paramètres interdépendants: la concentration de transport et la vitesse de l'air. La connaissance de ces deux paramètres est nécessaire à la conception de ces systèmes de transport, mais ils ne sont pas définis dans le cas des machines agricoles. Cet article propose une méthode pour mesurer la concentration de transport et les valeurs de vitesse de l'air qui doivent être utilisées pour optimiser le fonctionnement d'un semoir existant (en fonction du débit de la machine) ou pour concevoir un nouveau semoir pneumatique. Dans ce cas, le choix des diamètres des conduites pour chaque partie du système de transport peut être optimisé d'un point de vue énergétique et cet article présente la manière dont les valeurs collectées peuvent être utilisées dans une méthodologie globale de conception des systèmes de transport des semoirs pneumatiques.

**Mots-clés:** semoir pneumatique, système de distribution, transport pneumatique, concentration de transport, vitesse de stagnation

#### INTRODUCTION

Aujourd'hui les agriculteurs doivent avoir des matériels permettant de cultiver des zones assez importantes (300 à 500 ha) de manière efficace et de réaliser un ensemencement contrôlé pendant un court laps de temps. Ceci concerne en particulier les marchés des pays émergents comme la Russie, l'Ukraine ou le Kazakhstan. Les agriculteurs veulent des trémières grande capacité pour les semences et une large barre de semis pour assurer un ensemencement rapide. Par conséquent, les outils de semis deviennent plus sophistiqués et plus lourd. Ces semoirs pneumatiques se composent d'une barre de semis et une trémie pour contenir les semences et les engrais (si nécessaire). Les graines sont transportées depuis la trémie vers la barre de semis par un flux d'air. Compte tenu de la complexité de ce type de semoirs, ils restent peu étudiés.

L'un des points critiques pour la conception de ce type de machines est la conception du système de transport pneumatique. L'approche habituelle ne peut être appliquée en raison de fortes divergences entre les calculs théoriques et les mesures pratiques. Ces écarts existent en raison de l'existence de régimes non permanents au cours du transport des particules (causés par les nombreux coudes, changements de diamètre, arrêts et redémarrages du semis dans les fourrières.).

headlands.). So, very often, conveying system parameters are chosen intuitively and incorrectly, which leads to a plugging of pipes or to unjustified energy losses (excessive pressure loss, the use of oversized turbines).

## MATERIALS AND METHODS

### Methodology and theoretical approach

When designing a pneumatic transport system, first we define both the transport concentration of particles and the air speed. The velocity of the air which transports the particles must be greater than a limit speed of stagnation of particles. During a vertical transport, air speed is of course greater than the fluidization velocity of the particles. During horizontal transport or in a bend, gravity or inertia movement deport the axis of the flow ducts and can cause deposits of material (Fig.1, b). Once both the air velocity and concentration of transport are set, and knowing the flow-rate of particles to be transported, it is possible to choose a suitable diameter for the pipe.

Moreover, as several transport speeds and several pipe diameters are possible, it is proposed in this paper to choose the most energy efficient solution. The conveying system design involves the definition of a pipe internal diameter, the calculation of pressure drop and the assignation of a fan unit. The power of the fan must be the lowest possible and depends both of the pressure loss and the volumic air-flow rate.

The volumic air-flow rate required from a fan unit is given by:

$$Q'_g = \frac{Q_s}{\mu \rho_a}, [\text{m}^3/\text{s}] \quad (1)$$

The difficulty is in correct interpretation of the machine structure and in detection of all controversial areas causing energy losses and flow perturbations. At this point, it is important to notice that the conveying of particles in air-seeders is assumed to be assimilated to a dilute phase transport. The total system pressure drop is a totality of losses, [6]. We can distinguish horizontal conveying losses  $\sum \Delta P_h$ , vertical lift losses  $\sum \Delta P_v$ , losses in bends  $\sum \Delta P_c$  and losses in equipment accessory  $\sum \Delta P_{ac}$ :

$$\Delta P = \sum_1^n P_i = \sum \Delta P_h + \sum \Delta P_v + \sum \Delta P_c + \sum \Delta P_{ac}, [\text{Pa}] \quad (2)$$

Horizontal conveying losses can be presented as:

$$\Delta P_h = \Delta P_l + \Delta P_{tr} + \Delta P_a, [\text{Pa}] \quad (3)$$

Where [8,10,11]:

$$\Delta P_l = \lambda \frac{L}{D} \cdot \frac{\rho v^2}{2} = (0.0056 + \frac{1}{2Re^{0.32}}) \frac{L}{D} \cdot \frac{\rho v^2}{2}, [\text{Pa}] \quad (4)$$

$$\Delta P_t = \lambda' \frac{L}{D} \cdot \frac{V_m^2 \rho \mu}{2}, [\text{Pa}] \quad (5)$$

$$\Delta P_a = \lambda_a \mu \frac{\rho_a V_a^2}{2g}, [\text{Pa}] \quad (6)$$

Vertical conveying is subordinated to the same principles as in horizontal areas, except that in vertical transport we consider an influence of gravity. Pressure drop can be described as [8]:

Ainsi, les paramètres du système de transport sont très souvent choisis de manière intuitive et incorrecte, ce qui conduit à des obturations des conduites ou à des pertes d'énergie non justifiées.

## MATERIELS ET METHODES

### Méthodologie et approche théorique

Lors de la conception d'un système de transport pneumatique, on définit d'abord la concentration de transport des particules et la vitesse de l'air. La vitesse de l'air véhiculant les particules doit être supérieure à une vitesse limite de stagnation des particules. Au cours d'un transport vertical elle est notamment supérieure à la vitesse de fluidisation des particules. Au cours d'un transport horizontal ou dans un coude, la gravité ou les forces d'inerties déportent la direction des écoulements et peuvent provoquer des dépôts (Fig.1, b). Une fois que la vitesse de l'air et la concentration du transport sont définis, et en connaissant le débit de particules à transporter, il est possible de choisir un diamètre approprié pour les conduites.

Comme plusieurs vitesses de transport et plusieurs diamètres de tuyaux sont possibles, il est proposé ici de choisir la solution la plus économe en énergie. La conception du système de transport implique la définition d'un diamètre interne de conduite, le calcul des pertes de charge et le choix d'un compresseur. La puissance du ventilateur doit être la plus faible possible et dépend à la fois de la perte de charge totale à vaincre et du débit d'air transporté.

Le débit d'air volumique traité par un compresseur est donné par l'équation:

La difficulté du calcul est dans l'interprétation correcte de la structure de la machine et dans la détection des zones entraînant des pertes de charges et des perturbations de l'écoulement. À ce stade, il est important de noter que le transport des particules dans un semoir pneumatique est supposé être un transport en phase diluée. La perte de charge totale du système est décomposée en un ensemble de pertes de charges [6]. On distingue les pertes de charges du transport horizontal  $\sum \Delta P_h$ , les pertes ascensionnelles  $\sum \Delta P_v$ , les pertes dans les coudes  $\sum \Delta P_c$  et les pertes dans les accessoires  $\sum \Delta P_{ac}$ :

Les pertes de charge liées au transport horizontal seront:

Avec [8,10,11]:

Le transport vertical est subordonné aux mêmes principes que dans les zones horizontales, sauf que dans le transport vertical on considère une influence de la gravité. La perte de charge peut être décrite comme [8]:

$$\Delta P_v = \mu \frac{v_{ap}}{v_p} g \Delta H, [\text{Pa}] \quad (7)$$

The losses in bends  $\sum \Delta P_c$  are generally equated to some equivalent linear losses. In the case of particles transport, losses in accessories  $\sum \Delta P_{ac}$  can be determined experimentally.

The classical theories for pressure drops estimations prove the dependence of two interconnected parameters: flow concentration and air velocity having to be accepting in the beginning of each design.

According to [10] the theoretical definitions of flow concentration and of optimal air velocity, relatively to a pipe diameter, are very difficult or are impossible. So, we had to develop a rational method for the experimental definition of flow concentration for various seeds and fertilizers in the case of air-seeders.

It remained to be seen what part of the transportation system should be designed first. To make this choice, observations and field measurements were carried out to find which was the part of the system that suffered the most frequently problems of clogging or flow heterogeneity.

The testing of air-seeders with the granulated fertilizers, testified about numerous stagnations and cloggings between the distribution manifold (called also divider header) and an opener. The "problematic" areas showed inflexions of the flexible pipe and low initial air speed. For these reasons we propose to define the maximum flow-concentration and the minimum air-velocity in outlets of distribution manifold for different cultures and pipe diameters. These values must avoid the plugging of the system. Values found will be used as input data for theoretical calculations of the whole pneumatic conveying system.

### Experimental setup

Testing was made on a specific experimental setup (Fig.1, a) within the company Kuhn SA in Saverne in France. This setup used for the testing of metering units in the case of small seeds and fertilizers was modified relatively to our purpose. It was reequipped with the metering unit of serial seeder in order to simulate flows equivalent to real flows in the outlet of distribution manifold.

Once seeds are expelled by the metering unit (1) from the pressurized hopper (6), they are picked-up by the air flow provided by the fan (2). They are transported in the flexible pipe (3) toward the plastic box (4) through a cyclone (5). The airflow was controlled using a primary control valve (8) and a fine control valve (7). The material flowrate was controlled by the electronic terminal ISOBUS VT50 of Kuhn, used on the serial machines compatibles with ISOBUS standard.

Air velocity was measured using Venturi tubes (according to [3]) by acquiring the kinetic energy of airflow in the form of pressure difference between the different sections separated by converging area (Fig.1, a). Pressure difference was taken by micro-manometers Testo 512 (11) laterally to air and material flows and in a straight area with a stabilized flow.

Les pertes dans les coudes  $\sum \Delta P_c$  sont généralement assimilées à des pertes linéaires équivalentes. Dans le cas du transport de particules, les pertes dans les accessoires  $\sum \Delta P_{ac}$  peuvent être déterminées expérimentalement.

Les théories élaborées pour estimer les pertes de charge montrent l'interdépendance de deux paramètres: la concentration de transport et la vitesse de l'air qui doivent être posés au début de chaque calcul.

Selon [10] le calcul théorique de la concentration de transport et de la vitesse d'air optimale, par rapport à un diamètre de conduite, est très difficile voire irréalisable. Ainsi, nous avons dû développer une méthode rationnelle de définition expérimentale de concentration de flux pour diverses semences et engrais dans le cas des semoirs pneumatiques.

Il restait à savoir quelle partie du système de transport devait être conçue en premier. Pour faire ce choix des observations et des mesures sur le terrain ont été réalisées pour chercher quel était l'organe qui subissait le plus fréquemment des problèmes de bouchage ou d'hétérogénéité de débit.

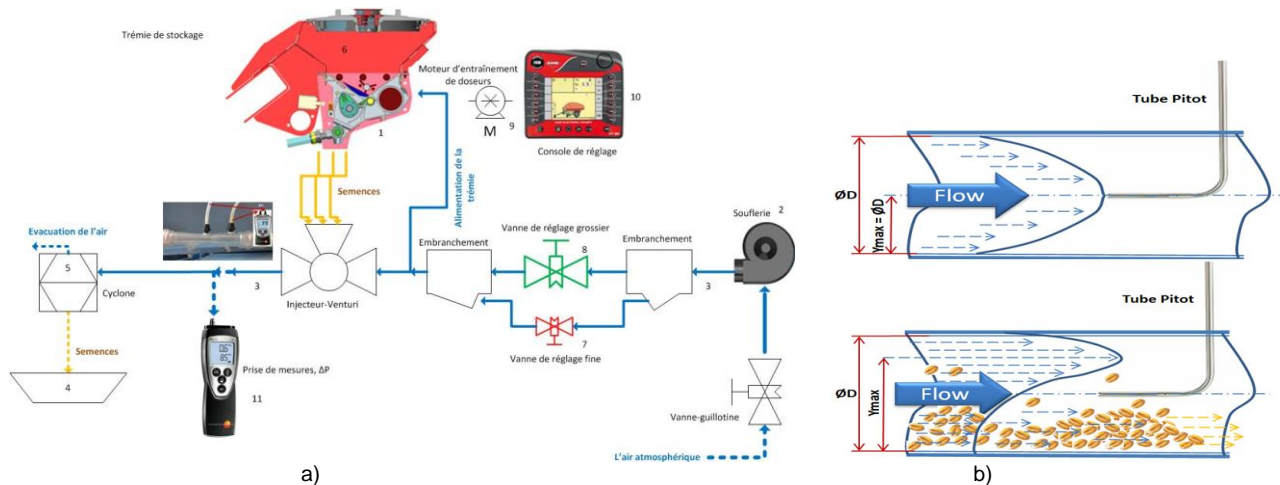
Les essais avec des granulés d'engrais ont montré l'apparition de nombreux dépôts et colmatages entre l'éclateur (également appelé tête de distribution) et un ouvreur. Les zones «problématiques» comportaient des inflexions de la conduite flexible et une faible vitesse initiale de l'air. Pour ces raisons, nous proposons de définir la concentration maximale de transport et la vitesse minimale de l'air après les sorties de la tête de distribution pour différentes semences et différents diamètres de tuyaux. Ces valeurs doivent éviter le colmatage du système et seront utilisées comme données d'entrée pour le dimensionnement de l'ensemble du système de transport pneumatique.

### Montage expérimental

Les essais ont été effectués sur un dispositif expérimental spécifique (Fig.1, a) au sein de l'entreprise Kuhn SA à Saverne, en France. Le dispositif initial, qui était utilisé pour le réglage des doseurs dans le cas de petites graines et des engrais, a été modifié en fonction de nos objectifs. Il a été rééquipé avec l'unité de dosage d'un semoir de série afin de simuler des flux équivalents aux flux réels observés à la sortie de la tête de distribution.

Une fois les graines expulsées par le doseur (1) de la trémie sous pression (6), elles sont entraînées par le flux d'air produit par le compresseur (2). Elles sont transportées dans une conduite flexible (3) vers un bac en plastique (4) à travers un séparateur cyclone (5). Le débit d'air est contrôlé en utilisant une vanne de réglage grossier (8) et une vanne de réglage fin (7). Le débit de matière est contrôlé par un terminal électronique ISOBUS VT50 de Kuhn, utilisé sur les machines de série compatibles avec la norme ISOBUS.

La vitesse de l'air a été mesurée avec des tubes Venturi (conformément à [3]) en captant l'énergie cinétique du flux d'air sous la forme d'une différence de pression entre les différentes sections séparées une zone de convergence (Fig.1, a). La différence de pression a été mesurée à l'aide de micro-manomètres Testo 512 (11) latéralement au flux d'air et de matière et dans une portion droite avec un flux stabilisé.



**Fig.1: a** - The experiment setup configuration  
**b** - Air velocity profiles and velocity measurement in a horizontal pipe (air flow alone; loaded flow)

It is important to notice that first measurements of air velocity in the conveying pipe were made with a Pitot-tube but they didn't give good results. The Pitot-tube introduced in the middle of the straight pipe (far from the impermanent-flow area) provided values corresponding to one air velocity value distributed in a core velocity profile (Fig.1, b). Ideally the maximum value is in front of the Pitot-tube but in an horizontal transport this value represents a random and accidental velocity of a flow layer in a point of velocity profile. The value of air velocity reduces towards the walls of the pipe (and in practice it is very problematic to locate the Pitot-tube precisely on the pipe axis). Furthermore when air-flow is loaded with particles, the velocity profile is ousted on the top because of particles concentrated in the bottom of pipe. So the core of velocity profile moves up relatively to the axis of pipe, depending on loading (Fig.1, b). This phenomenon makes impossible a correct utilization of Pitot-tube.

### Test procedure and data collection

Three diameters (20, 25, 30mm) of flexible pipes were tested. They were loaded with wheat, barley, starter fertilizers and a barley-fertilizer mixture (with a mass proportion 60/40). The material flow-rate was calculated on the basis of agrotechnical requirements with a seeder ground speed of 10km/h, a coulter-bar width of 12m with 6 manifolds (11 outlets). The established material flow-rate was equal to flow-rate in one outlet of manifold. The flow-rate then was changing from 3 to 30 g/s. Sometimes for the higher rates the metering unit overflowed and material flow-rate could not be respected. It happened typically for smallest diameters.

Each test was realized for horizontal and vertical pipes upon the following sequence: the experimental setup was set to the precise material flow-rate. The fan flow-rate was set to a high and sufficient level to ensure material conveying.

The airflow decreased by progressive closing of the

Il est important de noter que les premières mesures de la vitesse de l'air dans le tuyau de transport ont été faites avec un tube Pitot mais ces mesures n'ont pas donné de bons résultats. Le tube Pitot introduit au centre du tuyau rectiligne (loin de toute zone d'écoulement instable) a donné des valeurs de vitesse de l'air variables car distribuées dans une courbe de profils de vitesse (Fig.1, b). Idéalement, la valeur maximale de vitesse est au niveau de la sonde Pitot mais en transport horizontal cette valeur devient aléatoire selon les accidents dans l'écoulement des couches d'air en un point du profil de vitesse. La valeur de la vitesse de l'air diminue lorsqu'on se rapproche des parois (de plus il est très difficile de localiser le tube de Pitot précisément sur l'axe du tube). En outre lorsque l'air est chargé de particules, le profil de vitesse est déformé vers le haut par les particules concentrées dans la partie inférieure du tube. Ainsi, la courbe du profil de la vitesse se déplace vers le haut par rapport à l'axe du tube en fonction de la charge transportée (Fig.1, b). Ce phénomène rend impossible une utilisation correcte des tubes Pitot.

### Procédure de test et de collecte de données

Trois diamètres (20, 25, 30mm) de tuyaux flexibles ont été testés. Ils ont été chargés avec du blé, de l'orge, de l'engrais de démarrage et un mélange orge-engrais (selon une proportion massique 60/40). Le débit de matière a été calculé sur la base des exigences agro-techniques pour une vitesse au sol du semoir de 10 km/h, une largeur de barre de semis de 12m avec 6 têtes de distribution (11 sorties). Le débit de particules était égale au débit réel dans une des sorties du collecteur. Le débit a donc varié de 3 à 30 g/s. Il est arrivé que le doseur déborde pour les débits les plus élevés auquel cas le débit souhaité n'a pas pu être respecté. Cela s'est produit typiquement pour des petits diamètres de conduites.

Chaque essai a été réalisé pour des conduites horizontales et verticales selon la séquence suivante: le dispositif expérimental est réglé au débit matière souhaité. Le débit d'air était réglé à un niveau, suffisant pour assurer le transport de la matière.

Le débit d'air était ensuite réduit en fermant

valve increments, waiting at each position that flow stabilizes, until particles begin to subside and stagnate in the bottom of the pipe. Just as we visually detected material stagnation, the data from micro-manometers were collected. To ensure the most accurate results, a first manipulation was devoted to define the range of air velocities corresponding to particles stagnation. As soon as the velocity range is known and when approaching the stagnation air velocity, we start closing the valve more slowly and precisely, fixing air velocity to a plugging beginning. Each experiment is replicated 5 times.

Particles' flow rate was known. So maximum flow concentration could be calculated for the minimum measured stagnation velocity upon the following equation:

$$\mu = \frac{Q_s}{V_{ast} \pi \frac{D^2}{4} \rho_a}, \text{ [kg/kg]} \tag{8}$$

**RESULTS AND DISCUSSION**

**Vertical and horizontal conveying comparing**

Stagnation air velocity corresponds to the minimum quantity of energy necessary to the air to move materials and move itself. Stagnation air velocity during vertical transport of wheat is always higher than during horizontal one (Fig.2). Stagnation air velocity during vertical transport is about 25 % higher than during horizontal conveying whatever pipe diameter. It can be explained by the influence of gravity forces which are single forces opposing velocity vector. That's why vertical conveying needs greatest air velocity. This value will be specific for the each type of material according to its physical properties (weight, shape etc.). The vertical stagnation air velocity is then the critical parameter which should be used for the design of air-seeder pneumatic transport systems.

These data about fluidization and pick-up velocities can be compared to literature data taken from [9,10]. Our experimental values of stagnation velocities are in the top of fluidization threshold for a vertical conveying and in the top of pick-up threshold for a horizontal one. Similar results were obtained for wheat, barley and fertilizers.

progressivement les vannes de réglage, en attendant à chaque position que l'écoulement se stabilise, jusqu'à ce que les particules commencent à refluer ou à stagner dans la partie inférieure de la conduite. Dès qu'on détecte visuellement une stagnation de matière, les données des micro-manomètres sont recueillies. Pour obtenir des résultats plus précis, une première manipulation est consacrée à définir la gamme de vitesses d'air correspondant au début de stagnation des particules. Dès que la plage de vitesse est connue, et à l'approche de la vitesse de l'air de stagnation, on démarre la fermeture de la soupape plus lente et précise, en fixant la vitesse de l'air à un début de bouchage. Chaque expérience est reproduite 5 fois. Le débit des particules était connu. Ainsi la concentration maximale de transport a pu être calculée pour la vitesse de stagnation minimum observée selon l'équation suivante:

**RÉSULTATS ET DISCUSSION**

**Comparaison du transport vertical et horizontal**

La vitesse de stagnation correspond à la quantité minimale d'énergie nécessaire à l'air pour déplacer les particules et se déplacer lui-même. En transport vertical la vitesse minimale de stagnation pour le blé est toujours plus élevée que lors d'un transport horizontal (Fig.2): La vitesse de stagnation pendant le transport vertical est environ 25% plus élevée qu'en transport horizontal (quel que soit le diamètre de la conduite). Ceci peut s'expliquer par l'influence des forces de gravité qui s'opposent au vecteur vitesse de l'air. Ainsi, un transport ascensionnel nécessite une plus grande vitesse de l'air. Cette valeur sera spécifique à chaque type de matériau transporté en fonction de ses propriétés physiques (poids, forme etc.). La vitesse de l'air limite entraînant une stagnation en transport ascensionnel est donc le paramètre essentiel qui doit être utilisée pour la conception de systèmes de transport des semoirs pneumatiques. Ces données sur la vitesse de fluidisation et la vitesse d'entraînement des particules peuvent être comparées aux données de la littérature tirées de [9, 10]. Nos valeurs expérimentales sont dans la fourchette haute des seuils de fluidisation (transport vertical) cités et dans la fourchette haute des vitesses d'entraînement horizontal citées.

Des résultats similaires ont été obtenus pour le blé, l'orge et l'engrais.

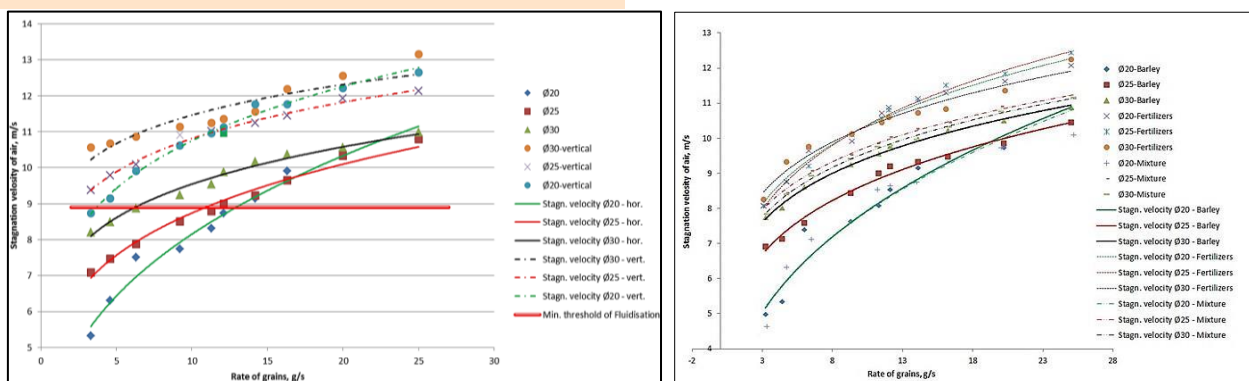


Fig. 2 - Comparing of vertical and horizontal conveying of wheat (on the left) Barley, fertilizers and mixture stagnation velocities (on the right)

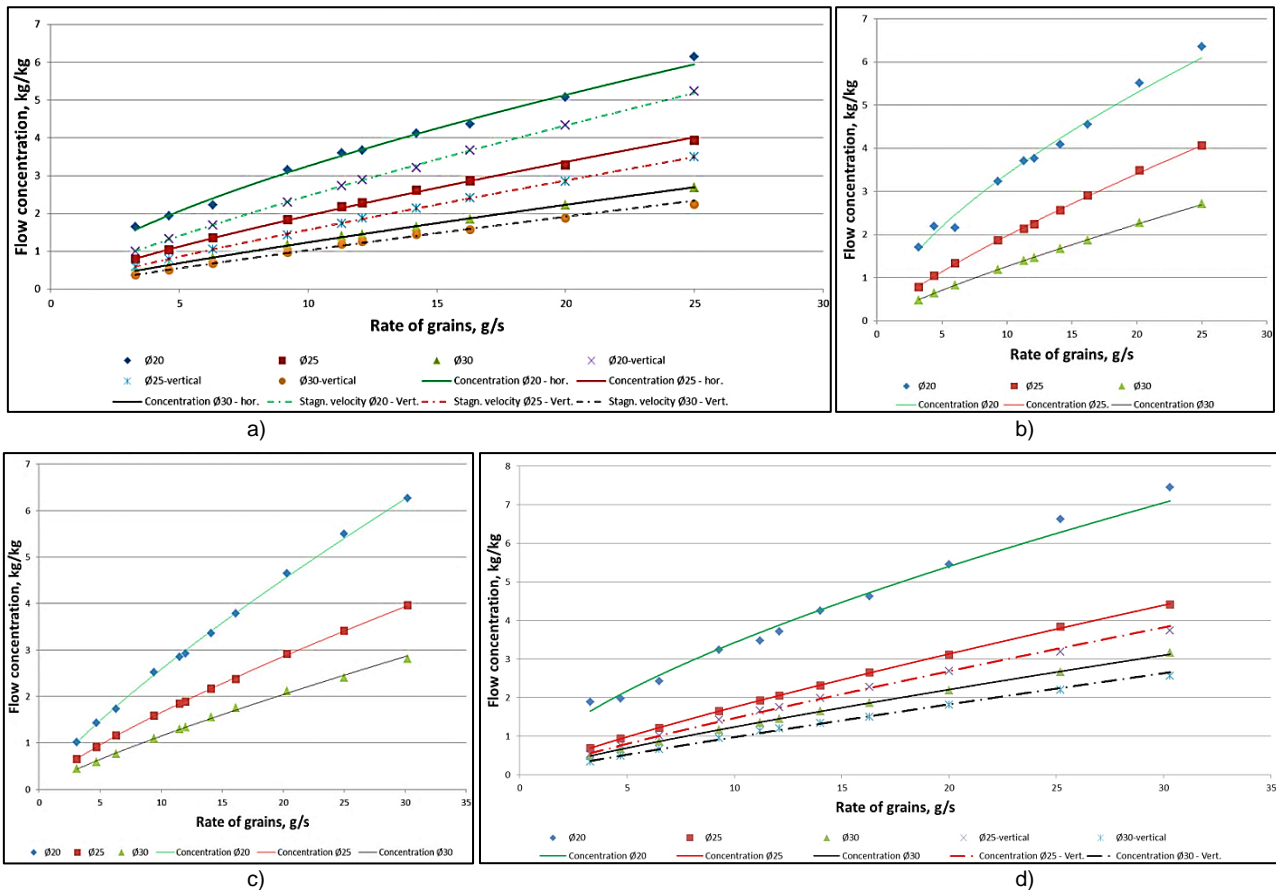


Fig. 3: a – Maximum flow concentration of wheat; b - Maximum flow concentration of barley; c - Maximum flow concentration of starter fertilizers; d – Maximum flow concentration, barley-fertilizer mixture

**Mixture conveying**

There are ambiguous observations about barley-fertilizer mixture conveying. The results obtained with barley, fertilizers and their mixture are grouped on the same diagram. In the smallest pipe (diameter 20mm) stagnation velocity of mixture is identical to barley one (green curves, Fig. 2). The ratio 60/40 by weight implicates that barley volume is double than fertilizer's volume in one volume of air. We could suppose the behavior of the fertilizer is masked by the behavior of barley: Barley has a tendency to "carry" fertilizers in the manner of a "broom".

In the pipe of 25 mm the effect of fertilizer presence is more perceptible. The curve of mixture stagnation is just between the barley (green) and fertilizer (red) curves (Fig. 2). We can suppose that as air could circulate freely between the particles, heavier particles (fertilizer and heavier barley seeds) subside easily at the bottom of the pipe. In spite of the superior volume of the barley seeds have a less influence to the fertilizer stagnation because of the wider diameter of the pipe. We can suppose that a bigger content of fertilizer in the mixture will increase the stagnation limit velocity.

However, increasing of pipe diameter to 30 mm (black curves), we observed the same result than for the 20 mm pipe. So further experiments and statistical analysis will be done in order to conclude. In a first approach, we will use the higher stagnation velocity of one part of the mixture (here fertilizer) to design the system of conveying.

**Flow concentration and pipe diameter**

Transport in a dense phase would be preferable economically [7,10], but it is not possible to provide a

**Transport du mélange**

Concernant le mélange orge-engrais, on obtient des résultats ambigus. Les résultats obtenus avec l'orge, l'engrais et leur mélange sont regroupés sur un même graphique. Dans le plus petit tuyau (diamètre 20mm), la vitesse de stagnation du mélange est identique à celle de l'orge (courbes vertes, Fig. 2). Le ratio 60/40 en masse implique que le volume de l'orge est le double de celui de l'engrais par volume d'air. Nous pourrions supposer que le comportement de l'engrais est masqué par le comportement de l'orge qui tendrait à "transporter" l'engrais à la manière d'un "balai". Dans le tuyau de 25 mm de diamètre, l'effet de la présence d'engrais est plus perceptible. La courbe de stagnation du mélange (Fig. 2) est entre celle de l'orge (en vert) et de l'engrais courbes (en rouge). On peut supposer que l'air peut circuler librement entre les particules et que les plus lourdes (l'engrais et les grains d'orge les plus lourds) sédimentent plus facilement au fond de la conduite. Malgré le volume supérieur qu'il occupe, l'orge aurait une moindre influence sur le dépôt de l'engrais en raison du diamètre plus élevé du tuyau. Nous pouvons supposer qu'une plus grande proportion d'engrais dans le mélange augmenterait la vitesse limite de stagnation. Cependant, quand on augmente le diamètre de tuyau à 30 mm (courbes noires), on observe le même résultat que pour le tube de 20 mm. D'autres expériences et études statistiques seront donc réalisées en vue de conclure. Dans une première approche, nous allons donc utiliser la vitesse de stagnation la plus élevée de celles des éléments d'un mélange (ici l'engrais) pour concevoir le système de transport.

**Concentration de transport et diamètre de conduite**

Un transport en phase dense serait économiquement préférable [7,10], mais il est impossible d'obtenir un

regular transportation without "seed holes." So dense phase transport cannot be applied in a seeder.

Also, when carrying large seeds (eg. beans), dense phase transport increases the risk of clogging. That's why the conveying of particles in air-seeders is assumed to be assimilated to a dilute phase transport.

The oversizing of pipes' sections is not a solution. Particles present in the bottom part of wide pipes offsets the maximum of air velocity towards the top of the pipe. The subsiding of grains then creates a "brake" for the air (Fig.1, b). The air arriving in this section of pipe has the tendency to "avoid" the pressure loss created by obstacles. So the greatest diameter will always create an "avoidance" of the particles instead of pushing the whole flow of seeds toward the right direction.

Therefore, when the section size decreases, air circulation between the particles will be more homogeneous, so fan energy will be more efficiently used. The oversizing of diameter will also lead to increase airflow rate (for a constant air velocity) and increases the energy consumption (to a power 3). It is necessary to create good conveying conditions, ensuring local velocities are greatest than the critical velocity.

The first parameter to determine is the air velocity in the pipe. It is proposed to set this value from Figure 1 as a function of the flow of seeds (here in the case of wheat). This value may be 10% higher than the limit of stagnation speed in vertical transportation for more safety. This speed value sets the maximum transport concentrations (plotted in Figure 4). In Figure 4 we realize that the diameter of 20 mm would be sufficient to transport the flow concentrations in the case of air seeders. In addition, this pipe diameter reduces the energy cost of the operation. In practice we do not choose smaller diameter because seeder must be versatile and must also sow large seeds.

Previous calculations were made for pipes after the distribution manifold. In an air-seeder, the sum of the sections after the distribution manifold is greater than the section before it. According to the matter conservation law, the airflow velocity before distribution manifold will so be higher and air velocity before head of distribution will be high enough to avoid particles stagnation.

### CONCLUSIONS AND PERSPECTIVES

1. Starting point of design must be the optimization of transport after manifold's outlets.
2. An experimental set up was design to obtain experimental values for both the maximum flow concentration and the minimum air velocity suitable for pneumatic conveying.
3. Experimental curves of minimum vertical velocity can be used to define conditions of conveying for a type of seeds.
4. In a first approach, we will use the higher stagnation velocity of one part of the mixture (here fertilizer) to design the system of conveying.

écoulement régulier sans "effet de poquet". Le transport en phase dense ne peut donc appliqué aux semoirs.

En outre, lors du semis de grosses graines (ex. fèves), un transport en phase dense augmenterait le risque de colmatage. C'est pourquoi le transport de particules dans un semoir pneumatique est supposé être assimilé à un transport en phase diluée. Le surdimensionnement des sections des tubes n'est pas une solution. Les particules présentes dans la partie inférieure des tubes larges déportent la vitesse d'air maximale vers le haut du tube. La sédimentation des graines crée alors un "frein" pour l'air (Fig.1, b). L'air arrivant dans cette section de tuyau a tendance à "éviter" la perte de pression créée par les obstacles. Donc, un grand diamètre entrainera un «évitemment» des particules au lieu de pousser l'ensemble du flux de graines dans la bonne direction. Utiliser un diamètre élevé accentue ce phénomène comme on peut le voir sur la Fig. 2 (pour de faibles débits de semences). Lorsque la taille de la conduite diminue, la circulation d'air entre les particules est plus homogène, de sorte que l'énergie du compresseur sera utilisée plus efficacement. Le surdimensionnement des conduites accroît aussi le débit d'air nécessaire (à vitesse de transport constante) et augmente la consommation d'énergie (à la puissance 3). Il est nécessaire de créer de bonnes conditions de transport en veillant à ce que les vitesses locales soient plus élevées que la vitesse critique.

Le premier paramètre à déterminer est la vitesse de l'air dans la conduite. Il est proposé de fixer cette valeur d'après la Figure 1 en fonction du débit de graines (ici dans le cas du blé). Cette valeur, par sécurité, peut être supérieure de 10 % à la vitesse limite de stagnation en transport vertical. Cette valeur de vitesse fixe les concentrations maximales de transport (reportées sur la Figure 4). Sur la figure 4 on se rend compte que le diamètre 20 mm serait suffisant pour assurer le transport des concentrations de flux dans le cas des semoirs pneumatiques. De plus, ce diamètre de tuyau réduit le cout énergétique de l'opération. Dans la pratique on ne choisit pas de diamètre plus petit car les semoirs sont polyvalents et doivent aussi semer de grosses graines. Les calculs précédents correspondent aux conduites placées après la tête de distribution. Dans un semoir pneumatique, la somme des sections suivant l'éclateur est plus grande que celle de la section précédente. Selon la loi de conservation de la matière, la vitesse de l'air avant l'éclateur sera plus élevée. La vitesse de l'air avant la tête de distribution sera donc suffisante pour éviter la stagnation des particules.

### CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

1. Le point de départ de la conception doit être l'optimisation du transport à la sortie de la tête de distribution.
2. Un dispositif expérimental a été de conçu pour obtenir des valeurs expérimentales de concentration de transport maximale et de vitesse d'air minimum acceptables pour le transport pneumatique.
3. Les courbes expérimentales de vitesses verticales minimum peuvent être utilisées pour définir les conditions de transport pour chaque type de semence.
4. Dans une première approche, on utilisera la vitesse de stagnation la plus élevée de celles des éléments d'un mélange pour concevoir le système de transport.

5. It is recommended to use the pipe sections as lower as possible to favor a homogenous airflow and to reduce the energetic cost of transport.
6. In order to develop knowledge on the transport of mixtures it will be necessary to test several proportions of fertilizers and seeds.

#### NOMENCLATURE

$L, D$  – is the length and diameter of the conveying pipeline, in m;  
 $N_1, N_2$  – the fan shaft horse power, in kW;  
 $Q_s$  – mass material rate, in kg/s;  
 $Q_a$  – mass air rate:  $Q_a = V_a \pi (D^2/4) \rho_a$ , in kg/s;  
 $Q'_a$  – volume air rate, in m<sup>3</sup>/s;  
 $Q_{a1}, Q_{a2}$  – the air rate before and after changing, in m<sup>3</sup>/s  
 $Re$  – Reynolds number: ;  
 $V_a, V_p, V_{ast}$  – the air, particle and stagnation velocities, in m/s;  
 $\Delta H$  – the lift height, in m;  
 $\sum \Delta P$  – total pressure drops, in Pa;  
 $\sum \Delta P_l$  – linear losses, in Pa;  
 $\sum \Delta P_a$  – acceleration losses, in Pa;  
 $\sum \Delta P_{tr}$  – material conveying losses, in Pa;  
 $\rho_a$  – volumetric mass density of air (equal 1.2 kg/m<sup>3</sup> at normal atmospheric pressure and temperature of +10°C)  
 $\lambda_a$  – resistance coefficient ;  
 $\lambda'$  – resistance coefficient, for agricultural seeds:  $\lambda' = 0.0037$  (Zuèv, 1976);  
 $\mu$  – mass flow concentration  $\mu = Q_s/Q_a$  ;, in kg/kg;  
 $\nu$  – kinematic viscosity of the air ( $1,33 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ ).

#### REFERENCES

- [1]. Afonso Júnio P.C., Corrêa P.C., Pinto F.A.C. & Queiroz D.M., (2007) - *Aerodynamic properties of coffee grains and beans*. Biosystems Engineering, 98(1), pg.39-46;
- [2]. Klinzing G.E., (2003) - *Dilute-Phase Pneumatic Conveying*. Handbook of fluidization;
- [3]. Lefebvre J., (1986) – *Measuring the flow rates and velocities of fluids*. Masson;
- [4]. Levy A. & Kalman H., (2001) - *Dilute-phase pneumatic conveying problems and solutions*. Handbook of Conveying and Handling of Particulate Solids, 10, p.303;
- [5]. Li, H. & Tomita, Y., (2000) - *Particle velocity and concentration characteristics in a horizontal dilute swirling flow pneumatic conveying*. Powder Technology, 107(1), pg.144-152;
- [6]. Mills D., (2004) - *Pneumatic Conveying Design Guide*. Second Edition Butterworth-Heinemann;
- [7]. Mittal A., Mallick S.S. & Wypych P.W., (2014) - *An investigation into flow mode transition and pressure fluctuations for fluidized dense-phase pneumatic conveying of fine powders*. Particuology;
- [8]. Srivastava A.K., Goering C.E., Rohrbach R P., Buckmaster D.R., (2006) - *Conveying of Agricultural Materials. Chapter 14*. Engineering Principles of Agricultural Machines, 2nd ed., pg. 491-524 St. Joseph, Michigan: ASABE. (10.13031/2013.41476);
- [9]. Buzenkov G.M., Ma C.A., (1976) - *Crop seeding machines*. Mechanical Engineering, p.270;
- [10]. Zuev F.G., (1976) - *Pneumatic conveying on crop processing industries* - M.: Kolos, p.344.

5. Il est recommandé d'utiliser une section de conduite aussi faible que possible pour favoriser l'homogénéité du flux et réduire les coût énergétique du transport.
6. Afin de développer les connaissances sur le transport des mélanges, il sera nécessaire de tester plusieurs proportions d'engrais et de semences.

#### NOMENCLATURE

$L, D$  – Longueur et diamètre de la conduite, en m;  
 $N_1, N_2$  – puissance sur l'arbre du compresseur, en kW;  
 $Q_s$  – débit massique de la matière, en kg/s;  
 $Q_g$  – débit massique de l'air:  $Q_g = V_a \pi (D^2/4) \rho_a$ , en kg/s;  
 $Q'_g$  – débit volumique de l'air, en m<sup>3</sup>/s;  
 $Q_{a1}, Q_{a2}$  – débits de l'air avant et après variation, en m<sup>3</sup>/s  
 $Re$  – nombre de Reynolds:  $Re = V_a D/\nu$ ;  
 $V_a, V_p, V_{ast}$  – vitesses de l'air, de stagnation et des particules, en m/s;  
 $\Delta H$  – hauteur d'élévation, en m;  
 $\sum \Delta P$  – pertes de charges totales, en Pa;  
 $\sum \Delta P_l$  – pertes linéaires, en Pa;  
 $\sum \Delta P_a$  – pertes d'accélération, en Pa;  
 $\sum \Delta P_{tr}$  – pertes liées au transport de matière, en Pa;  
 $\rho_a$  – masse volumique de l'air (égale 1.2 kg/m<sup>3</sup> à la pression atmosphérique et la température de +10°C)  
 $\lambda_a$  – coefficient de résistance;  
 $\lambda'$  – coefficient de résistance, pour les semences agricoles:  $\lambda' = 0.0037$  (Zuèv, 1976);  
 $\mu$  – concentration massique de transport:  $\mu = Q_s/Q_g$ , en kg/kg;  
 $\nu$  – viscosité cinématique de l'air ( $1,33 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ ).

#### REFERENCES

- [1]. Afonso Júnio P.C., Corrêa P.C., Pinto F.A.C. & Queiroz D.M., (2007) - *Propriétés aérodynamiques de grains de café et des haricots*. Ingénierie des biosystèmes, 98(1), 39-46;
- [2]. Klinzing, G. E., (2003) - *Transport pneumatique de la diluer-phase*. Manuel de fluidisation ;
- [3]. Lefebvre J., (1986) - *Mesure des débits et des vitesses des fluides*. Masson;
- [4]. Levy A., & Kalman H., (2001) - *Problèmes et solutions du transport pneumatique de la diluer-phase*. Manuel de transport et manipulation de particules solides, 10, p.303;
- [5]. Li H. & Tomita Y., (2000) - *La vitesse des particules et les caractéristiques de concentration dans une horizontale diluée tourbillonnant pneumatique flux transport*. Technologie des poudres, 107(1), pg.144-152;
- [6]. Mills D., (2004) - *Pneumatique Guide de conception de transport*. Second Edition Butterworth-Heinemann;
- [7]. Mittal A., Mallick S.S. & Wypych P.W., (2014) - *Une enquête sur le mode d'écoulement et la pression de fluctuations pour fluidisé la phase dense du transport pneumatique de poudres fines*. Particuology;
- [8]. Srivastava A.K., Goering C.E., Rohrbach R.P., Buckmaster D.R., (2006) - *Transport des matières. Chapitre 14*. Principes d'ordre technique de machines agricoles, 2-ième Edition, pg.491-524 St. Joseph, Michigan: ASABE. (10.13031/2013.41476) ;
- [9]. Buzenkov GM, Ma S.A., (1976) - *Machines et appareils pour le semis de plantes*. Ingénierie mécanique, p.270 ;
- [10]. Zuev F.G., (1976) - *Le transport pneumatique dans les industries de transformation des cultures* - Kolos Ed., p.344.