

# Création d'un capteur volumique à partir d'un capteur laser

Ing. R. DECOBECQ  
Ing. N. BARDYN  
Lic. N. DEHAENE  
ISICHt – Mons

*La mesure en industrie est fondamentale afin de pouvoir gérer des lignes de production, assurant ainsi la qualité économique d'un produit fini. Intitulé "Création d'un capteur volumique à partir d'un capteur laser", cet article tend ainsi à démontrer qu'il est possible de mesurer le débit d'une matière solide circulant sur une bande transporteuse industrielle. En effet, afin de pouvoir quantifier le débit de matière avec la technologie laser, il est nécessaire d'effectuer un balayage du profil de matière.*

*En mesurant simultanément la surface frontale du profil et la vitesse linéaire de la bande transporteuse, il est aisé d'en déterminer le débit volumique.*

*Mots clefs : laser, débit volumique, surface frontale, acquisition de données, optocoupleur, microcontrôleur, servomoteur.*

*The industry measurement is fundamental in order to manage production lines, ensuring the economic quality of a finished product. Entitled "Creating a volume sensor from a laser sensor ", this paper tends to show that it is possible to measure the flow of solid material circulating on an industrial conveyor belt. Indeed, to quantify the flow of material with the laser technology, it is necessary to scan the material profile.*

*By simultaneously measuring the front surface of the profile and the linear velocity of the conveyor belt, it's easy to evaluate the volume flow rate.*

*Keyword : laser, volume flow rate, front area, data acquisition, optocoupler, microcontroller, servomotor.*

## 1. Introduction

Les capteurs de surface utilisant la technologie laser sont présents sur le marché. Ils se nomment profilomètres. Toutefois, ils ne sont pas toujours adaptés aux conditions de production et sont excessivement chers. C'est pourquoi il était intéressant de développer une technologie adaptative, performante et conçue de manière économique.

Déterminer quels sont les éléments à mettre en œuvre pour pouvoir mesurer un débit volumique avec un capteur laser impliquait un conséquent travail bibliographique. Cet article, lié à un travail de fin d'études, doit beaucoup aux enseignements de Monsieur COTTET.F dans "Le traitement des signaux et acquisition de données". Toutefois, une telle étude exigeait également l'expertise de certaines personnes ressources. L'exploitation de ces sources devait permettre de répondre à une série d'interrogations inhérentes au sujet : Quel capteur laser choisir ? Comment réaliser un balayage laser ? Comment concevoir le traitement de l'information ?

Après une première partie consacrée à la présentation du capteur de débit expliquant succinctement le pilotage du balayage, la section 3 intitulée « principe de fonctionnement » énonce les différents modes de fonctionnement du capteur. Ensuite, la section 4 expose l'erreur de calcul engendrée avec l'algorithme employé. Enfin, la section 5 désignée "proposition d'amélioration" évoque un algorithme alternatif visant à déterminer la surface frontale de la matière.

## 2. Présentation du capteur de débit

### 2.1. Matériel

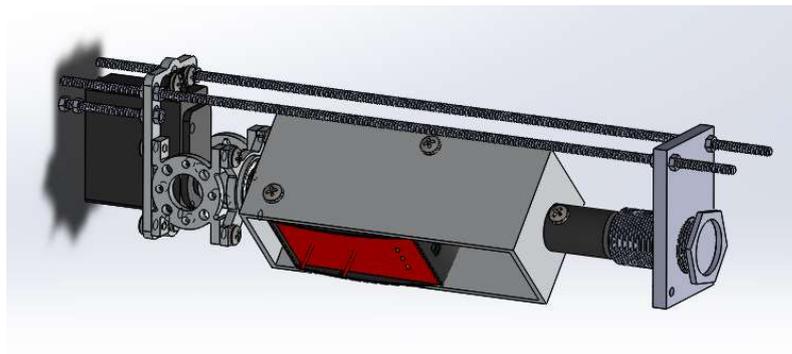


Figure 1 : vue tridimensionnelle du système de mesure de débit

La figure 1 présente l'ensemble « capteur de débit » réduit à sa plus simple expression, dépourvu de l'électronique de commande et des accessoires.

Tout d'abord, le capteur de débit est constitué d'un servomoteur se situant à l'extrême gauche. Sur celui-ci, un servoblock constitué d'un moyeu monté sur roulement est serré via 4 vis. Ce système permet de reprendre plus de forces radiales que prévues, augmentant ainsi la durée de vie du système.

Sur le moyeu du servoblock, un support en aluminium a été placé pour accueillir le capteur laser. Le capteur est serré dans ce support, bloqué par 2 boulons. La face verticale du support possède un axe sur lequel un rotor à aimant permanent est fixé par le biais de 2 vis de pression.

Un second support vertical en aluminium a été imaginé pour accueillir le capteur angulaire (à droite). Cette plaque est tenue par les deux tiges filetées principales traversant un coffret électrique accueillant l'ensemble du système.

## 2.2. Electronique de commande

Le servomoteur est commandé par une plaquette électronique nommée *Arduino*. Cette plaquette est composée d'un processeur ATMEGA 328P d'ATMEL, qui a été programmé pour piloter le servomoteur de manière la plus flexible possible. En effet, grâce à deux potentiomètres, l'utilisateur peut régler en temps réel l'amplitude ainsi que la vitesse de balayage angulaire.



Figure 2 : photographie de la plaquette électronique Arduino Uno

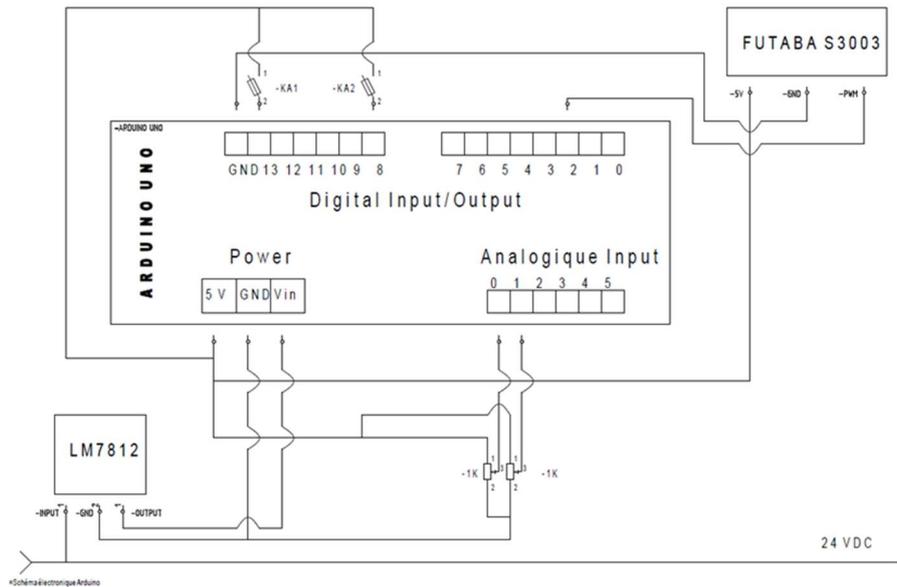


Figure 3 : Schéma électronique de l'Arduino Uno

L'Arduino est alimenté par un régulateur de tension LM 7812 branché sur la deuxième plaquette électronique.

L'Arduino possède une sortie 5 VDC permettant d'alimenter les potentiomètres ainsi que le servomoteur (noté FUTABA sur la figure 3). Deux entrées analogiques sont utilisées. La tension variable aux bornes des potentiomètres est convertie en nombre entier au niveau de ses broches. Lorsque l'utilisateur tourne les potentiomètres, ces nombres entiers varient dans le programme et transmettent donc au servomoteur les instructions d'angle et de vitesse.

La troisième zone de connexion comprend la commande du servomoteur, branchée sur une sortie PWM de l'Arduino et deux entrées numériques. Ces entrées numériques servent à simuler deux interrupteurs virtuels commandant les modes Automatique et Teaching, modes expliqués à la section 3.

Une deuxième plaquette électronique a été réalisée. Cette plaquette comporte l'alimentation de l'Arduino ainsi que deux optocoupleurs jouant le rôle d'interrupteur. Elle remplit donc la fonction d'alimentation 12 VDC et la fonction d'interrupteur physique.

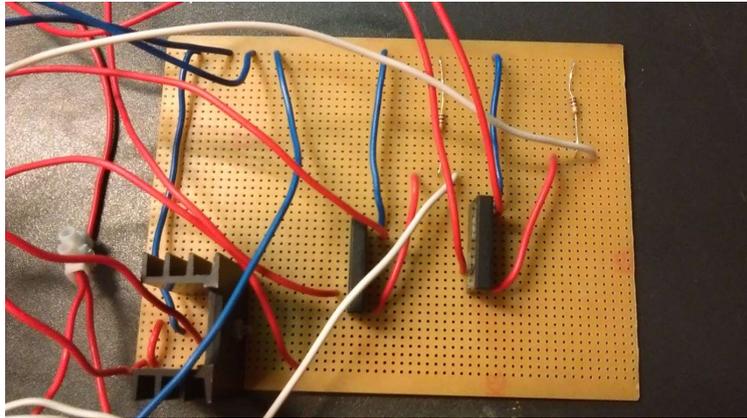


Figure 4 : photographie de la seconde plaque électronique

Comme susmentionné, l'alimentation est gérée par un LM 7812. Cet organe possède trois broches : une pour l'entrée 24 VDC provenant d'un automate SIEMENS, l'autre pour la sortie 12 VDC et la dernière pour la masse du régulateur.

Le régulateur est un composant électronique permettant de maintenir une tension de sortie stable. En effet, cet élément est indispensable car l'*Arduino* ne peut être alimenté qu'au maximum sous 12 VDC. Ce régulateur régule du 24 VDC en 12 VDC. En effet, l'automate programmable possède une borne de sortie 24 VDC. Cette borne est utilisée pour alimenter différents composants électroniques du boîtier, notamment l'*Arduino*. Le régulateur doit donc évacuer 12 VDC sous forme d'énergie thermique. Un refroidisseur a dû être dimensionné pour pouvoir évacuer au mieux cette énergie thermique.

La deuxième partie de la plaque électronique est constituée d'optocoupleurs. Ces organes jouent le rôle de relais traditionnels mais présentent un avantage non négligeable. En effet, les relais mécaniques ferment les contacts mécaniquement par l'intermédiaire d'une bobine qui attire un contact métallique. La fermeture est donc physique. C'est pourquoi la durée de vie de ces organes est souvent limitée. Les optocoupleurs, quant à eux, fonctionnent sans contact physique. En effet, ceux-ci se basent sur un principe physique luminescent pour commuter. Ils comportent une diode électroluminescente ainsi qu'un phototransistor.

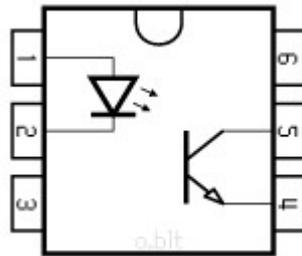


Figure 5 : principe de fonctionnement de l'optocoupleur

Lorsque l'optocoupleur est alimenté en 24 VDC provenant d'une sortie d'automate, la diode est passante et de la lumière est émise de celle-ci. La base du transistor devient donc active, un courant peut donc passer de l'émetteur vers le collecteur. Le phototransistor fonctionne donc en commutation. Dans l'application, la borne 1 (l'anode) est reliée à une sortie numérique d'automate. C'est-à-dire que lorsque la variable « mode Automatique » est à 1, la sortie correspondante est activée. Du 24 VDC est donc acheminé vers la diode. La borne 2 (la cathode) est reliée à la masse. Cela simule donc l'effet d'un interrupteur physique. L'entrée de l'Arduino voit donc une de ses entrées numériques passer à l'état HAUT, signifiant au programme qu'il se trouve dans un mode ou dans l'autre.

### 3. Principe de fonctionnement

Ce point explique de manière succincte l'élaboration de la programmation sous STEP 7 de l'automate SIEMENS. Le code possède trois modes de fonctionnement principaux :

1. Mode « *TEACHING* » ;
2. Mode « *AUTOMATIQUE* ».
3. Mode « *CALCUL DU DEBIT* ».

#### 3.1. Mode « *TEACHING* »

L'utilisateur choisit ce mode grâce à un bouton situé sur un panneau de supervision programmé sur Wincc flexible. Il est impératif d'effectuer ce mode avant de lancer la procédure automatique pour diverses raisons. En effet, une bande transporteuse est de forme concave. Il est alors nécessaire d'enregistrer le profil de la bande afin

d'en constituer un repère fiable. Effectivement, la mesure de hauteur se fait de manière différentielle.

Le laser mesure la distance entre la bande transporteuse et le capteur par pas de  $1^\circ$ . Ensuite, le laser mesure la distance entre la matière et le capteur. La différence entre ces deux hauteurs représente la hauteur de matière située sur la bande transporteuse. Avant ces enregistrements, le code détecte l'angle maximum ainsi que l'angle minimum du balayage. Le domaine angulaire de balayage est donc déterminé. Le code s'exécute de la manière suivante :

1. Détection de l'angle maximum ;
2. Détection de l'angle minimum ;
3. Si les détections ont été réalisées, à partir de l'angle maximum, enregistrement du profil de la bande par décrémentation angulaire unitaire jusqu'à l'angle minimum

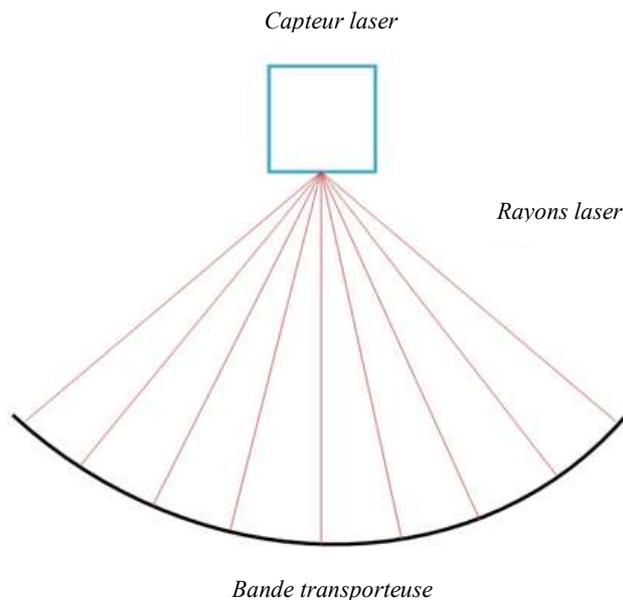


Figure 6 : balayage laser en mode Teaching

### 3.2. Mode « AUTOMATIQUE »

Le mode automatique est sélectionnable si et seulement si le mode teaching a été effectué précédemment. Le mode automatique enregistre toutes les valeurs de hauteur entre la matière et le capteur par pas angulaires paramétrables par l'utilisateur.

En effet, si l'utilisateur veut enregistrer 10 valeurs de hauteurs de matière sur le domaine angulaire imposé par lui-même, il peut paramétrer « l'échantillonnage ».

Exemple :

- Domaine angulaire de 30° ;
  - L'utilisateur veut 10 valeurs de hauteurs sur ce domaine.
- Il paramètrera donc l'échantillonnage à 3°. C'est-à-dire qu'à partir de l'angle maximum, le programme enregistrera le profil de matière par décrémentation angulaire de 3° jusqu'à l'angle minimum.

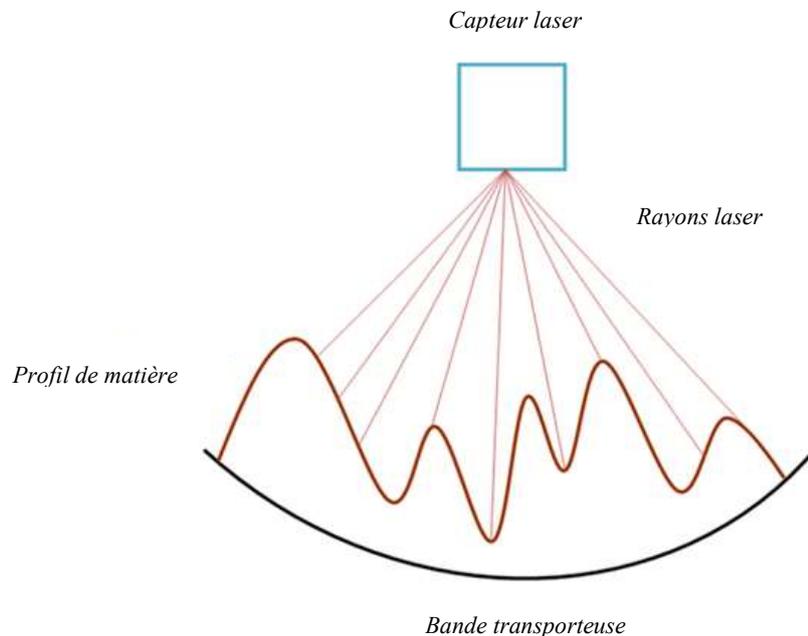
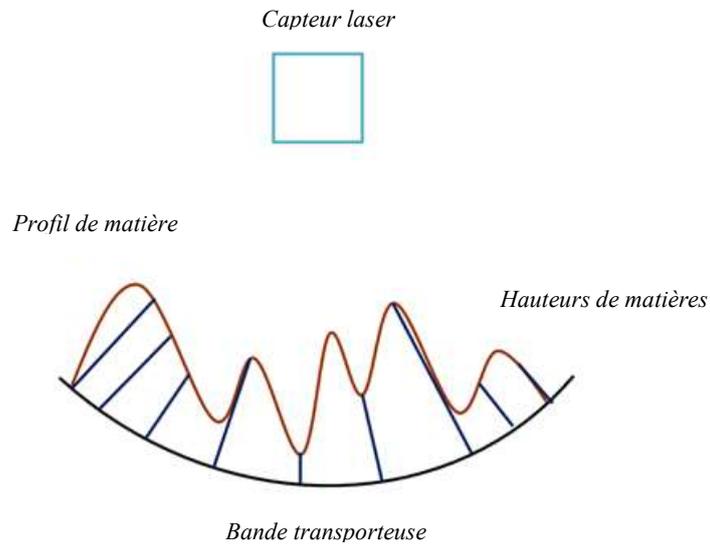


Figure 7 : balayage laser en mode Automatique

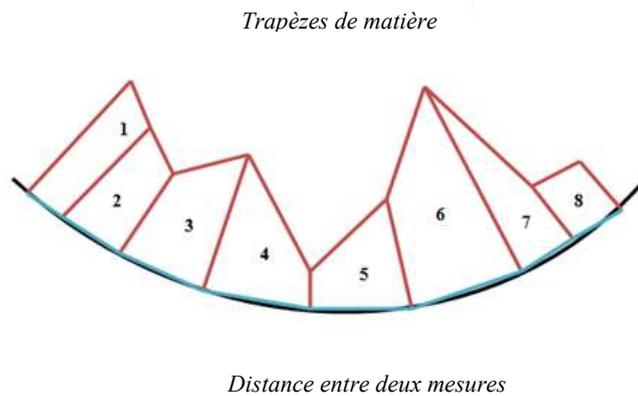
### 3.3. Mode « CALCUL DU DEBIT »

Lorsqu'un balayage est effectué, le programme exécute ce mode automatiquement. Pour chaque valeur enregistrée dans le mode automatique, le programme détermine la différence de hauteur entre le mode teaching et le mode automatique pour chaque pas angulaire paramétré précédemment. A ce moment-là, le code connaît le profil de matière.



*Figure 8 : mesure différentielle*

Pour connaître le débit, il faut pouvoir déterminer l'aire sous la courbe de matière. Pour ce faire, il suffit d'approximer les zones délimitées par deux mesures de hauteur par un trapèze.



*Figure 9 : méthode des trapèzes*

L'aire d'un trapèze est donnée par la relation suivante :

$$\text{Aire} = (\text{grande base} + \text{petite base}) * \frac{\text{hauteur}}{2}$$

Les bases sont données par les mesures de hauteur. Ces segments de droite ne sont pas tout à fait parallèles. Cependant, un trapèze doit posséder deux bases parallèles. Afin de simplifier les calculs, l'hypothèse de parallélisme a été posée.

La hauteur du trapèze est donnée par la distance entre deux mesures ponctuelles de hauteur. Cette dernière est obtenue par la relation suivante :

$$\text{Distance entre deux mesures} = \text{hauteur} \cdot \sin \text{angle}$$

Toutes les informations sont donc connues. Le programme exécute les opérations et à la fin de chaque balayage, somme les aires des différents trapèzes. Lorsque l'aire totale est déterminée, le programme multiplie cette valeur par la vitesse linéaire de la bande transporteuse.

$$Q_{VOLUMIQUE} = \text{Aire des trapèzes par balayage}$$

$$* \text{Vitesse linéaire de la bande}$$

$$Q_{VOLUMIQUE} = [m^2] * [m/s] = [m^3/s]$$

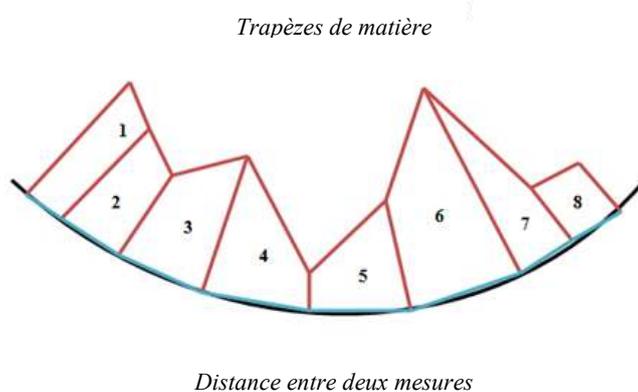
En entrant manuellement la masse volumique de l'argile, l'automate peut également fournir cette valeur de débit sous forme de débit massique.

$$Q_{MASSIQUE} = Q_{VOLUMIQUE} * \rho$$

$$Q_{MASSIQUE} = [m^3/s] * [kg/m^3] = [kg/s]$$

#### 4. Analyse de l'erreur de calcul

La détermination du débit volumique se fait par calcul de surface de matière. Dans l'algorithme de calcul, certaines hypothèses ont été posées afin d'alléger la programmation. Il serait judicieux de pouvoir mettre l'accent sur les simplifications faites afin d'évaluer les limites d'utilisation de ce capteur. En effet, selon les conditions de production, le capteur pourrait ne pas convenir. Le programme détermine la surface de matière d'argile en deux points. La géométrie, comme dit précédemment, est simplifiée à celle d'un trapèze. Pour qu'une forme soit un trapèze, il faut que les bases soient parallèles et la hauteur perpendiculaire à ces bases. Les approximations se situent là.

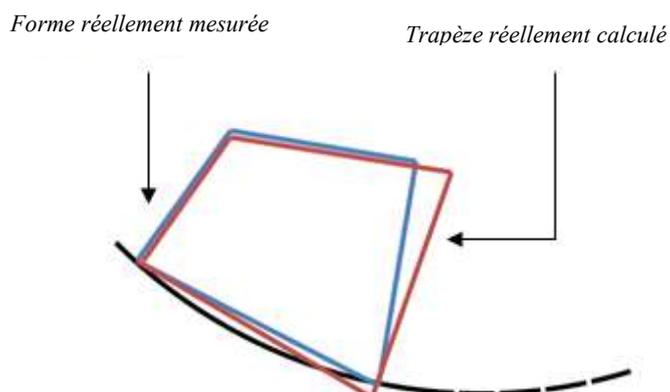


*Figure 10 : approximations dues à la méthode des trapèzes*

Analysons la première forme. Les bases ne sont pas tout à fait parallèles entre-elles. Cette approximation est d'autant plus grande que si le pas angulaire en mode Automatique est élevé.

La deuxième approximation réside dans le calcul de la hauteur du trapèze. La hauteur doit être perpendiculaire aux bases. Cette deuxième approximation augmente également avec le pas angulaire en mode Automatique.

La figure 11 illustre la surface réellement calculée par l'automate pour une forme géométrique donnée :



*Figure 11 : forme réellement calculée sur une surface incurvée*

Cette erreur d'approximation de calcul est également fonction des conditions de production. En effet, la géométrie de la bande influence l'approximation faite.

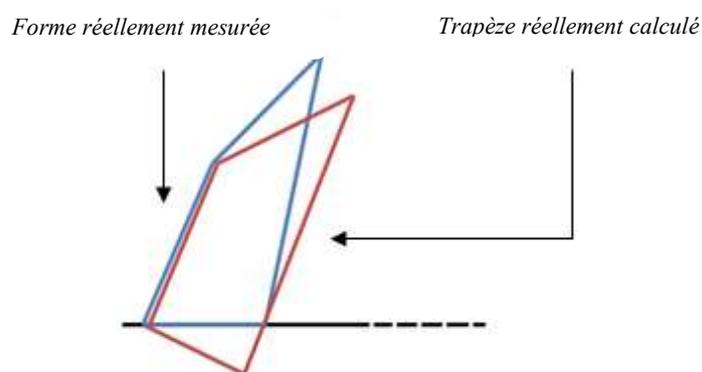


Figure 12 : forme réellement calculée sur une surface plane

Pour une bande plate, l'erreur de calcul augmente fortement avec le pas angulaire en mode Automatique ainsi qu'avec l'angle de balayage. Dans le cas d'une bande incurvée, l'erreur augmente surtout avec le pas angulaire en mode Automatique mais l'angle de balayage a beaucoup moins d'influence car le profil de bande corrige un peu cette approximation.

## 5. Proposition d'amélioration

Après avoir effectué une série de tests qui ne pourront malheureusement pas être publiés dans cet ouvrage, il semble que la méthode de calcul par approximation de trapèzes de matière soit limitée.

Effectivement, la précision du système ne remplit pas le cahier des charges. La précision demandée était de +/- 10%. Actuellement, la précision est fonction de la géométrie du profil de base. Pour accroître cette précision et la rendre indépendante du profil de base, il serait nécessaire d'opter pour une amélioration de la méthode de trapèzes. Les différents modes de fonctionnement sont expliqués brièvement ci-dessous.

## 5.1. Teaching

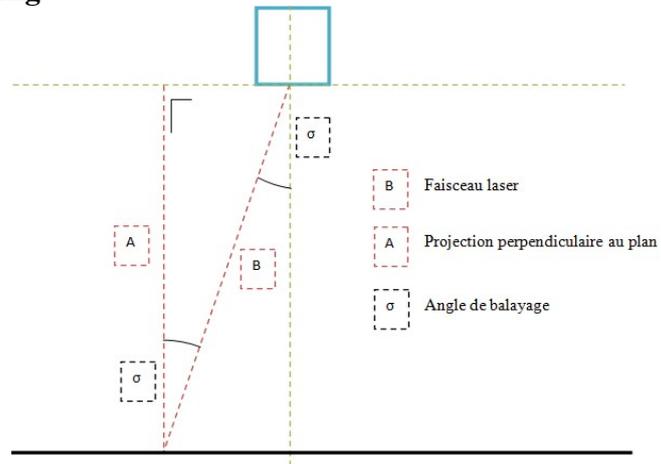


Figure 13 : détermination de la hauteur en mode Teaching

Pour une surface rectiligne, la distance A peut être facilement calculée :

$$A = B * \cos(\sigma)$$

Cette distance serait calculée une fois seulement et enregistrée pour chaque échantillonnage angulaire ( $\sigma$ ) dans la base de données *Teaching*.

## 5.2. Automatique

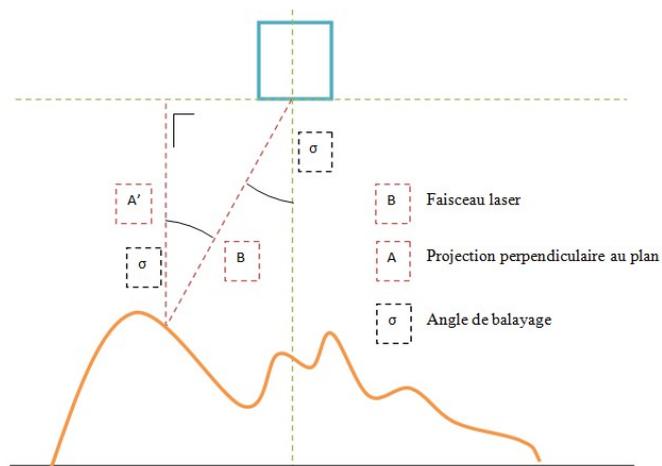


Figure 14 : détermination de la hauteur en mode Automatique

Pour chaque échantillonnage angulaire, le capteur laser déterminerait la distance  $A'$  de la même manière que précédemment et serait stockée dans la base de données *Automatique*.

### 5.3. Mode de calcul

A la fin de chaque balayage, l'algorithme calculerait la différence entre les deux distances :

$$\text{Hauteurs de matières} = A - A'$$

Ensuite, la détermination des surfaces se ferait de la même manière que dans le code existant, autrement dit, par approximation de trapèzes. L'amélioration réside dans le fait que les bases des trapèzes seraient parallèles entre-elles et que la hauteur de chaque trapèze serait perpendiculaire aux deux bases. Les approximations faites dans le programme existant ne seraient plus d'actualité, contribuant ainsi à une détermination plus précise du débit volumique.

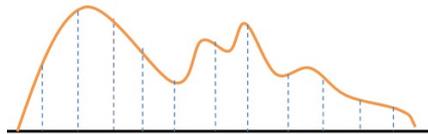


Figure 15 : détermination de la hauteur en mode calcul du débit

## 6. Conclusion

La réalisation d'un capteur de débit est actuellement aboutie. Ce capteur évoluera bientôt dans l'entreprise dans laquelle le travail de fins d'études a été effectué. Grâce à la polyvalence de ce système de mesure, d'autres applications ont été imaginées. En effet, la mesure de débit constitue l'objet même de ce document. Cependant, une mesure statique d'un profil de matière peut être effectuée. Par exemple, plus précisément, cette entreprise possède un doseur contenant un grand volume d'argile. Ce doseur remplit le rôle de zone tampon de production. Une mesure du niveau de matière doit être faite pour visualiser l'état de remplissage. Actuellement, quatre capteurs laser effectuent une mesure ponctuelle du niveau de matière. Le coût d'une telle installation est plus élevé que celui du capteur imaginé. De plus, la mesure actuelle ne permet pas une visualisation relativement précise du niveau de matière. C'est pourquoi l'utilisation du capteur de profil serait une alternative positive.

## 7. Sources

- [1] GIECK.K et GIECK.R, 1997, *formulaire technique 10<sup>ème</sup> édition*, Gieck Verlag
- [2] COTTET.F, 2009, *traitement des signaux et acquisition de données*, Paris, Dunod, pp. 263-335.
- [3] GRANJON.Y, 2001, *systèmes linéaires, non linéaires, à temps continu, à temps discret, représentation d'état*, Paris, Dunod, pp. 207-226
- [4] THIBAUT.R et TOURNAY.A, 1988, *mécanique générale*, Bruxelles, De Boeck, pp. 28-29
- [5] KEYENCE, 2014, *general catalogue : sensors and vision : Safety, measurement & microscope*.
- [6] RITTAL, 2014, *the system : enclosures, power distribution, climate control, it infrastructure and software & services*.
- [7] SICK, 2014, *distance sensors : operating instructions*.
- [8] BAUMER, 2012, *détecteurs magnétiques : compact, rapide, sans contact*.
- [9] TOCOS, 2014, *panel controls : RA20 series*.
- [10] FAIRCHILD, 2006, *Voltage regulator : LM78XX / LM78XXA*.
- [11] DECOBECQ.R *et al.*, 2013, *étude d'un capteur de déplacement laser*, rapport de projet de Techniques de Mesures, Mons ISICht.
- [12] HERMESSE.D, 2005, *mécatronique : fst-s7 sys1 & sys2*, Seraing, Technifutur.
- [13] HERMESSE.D, 2005, *mécatronique : fst-s7 sys3*, Seraing, Technifutur.
- [14] SEGUIN.M, 2015, *physique XXI : le théorème des axes parallèles*, Montréal, pp. 1-3