

Les capteurs industriels

1. Problématique

La fabrication des parfums nécessite comme ingrédient principal de l'alcool. La **SPCC** ne peut en aucun cas se retrouver avec un stock à zéro sous peine de voir sa production bloquée. Elle dispose de réservoirs situés à l'extérieur des ateliers de fabrication en raison de la très forte inflammabilité de cet ingrédient. Le niveau de chaque réservoir est surveillé à distance afin d'avoir en permanence un œil sur l'état du stock par l'intermédiaire d'un écran de supervision.

2. Fonction – symboles

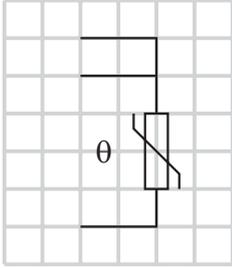
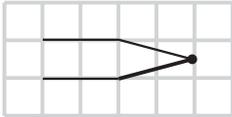
La fonction des capteurs industriels est la suivante :

Les capteurs industriels, comme les détecteurs, servent à informer les systèmes automatisés de l'état de l'équipement à un instant donné afin de poursuivre le processus de fabrication. L'information que délivrent les capteurs est proportionnelle à la grandeur mesurée (contrairement aux détecteurs qui délivrent une information tout ou rien). La sortie électrique des capteurs est sous forme analogique (tension 0 - 5 V, courant 4 - 20 mA ou autre) ou numérique (bus de terrain ou autre).

Le capteur peut être associé à un transmetteur qui va convertir la grandeur électrique issue du capteur en une grandeur plus « compatible » avec l'utilisation qui en est faite (exemple : conversion de la résistance d'une sonde de température type **Pt100** en un signal **4 - 20 mA**). Le transmetteur peut être intégré dans le corps du capteur.

Les capteurs peuvent être ré-étalonnés afin de garder la précision requise dans le temps.

Complétez le tableau ci-dessous avec les symboles demandés.

Schéma de principe	
<p>Capteur de température type Pt100 « 3 fils »</p>	
<p>Capteur de température à thermocouple</p>	

3. Constitution

Les capteurs sont composés d'un « corps d'épreuve » qui va convertir la grandeur mesurée en une autre grandeur qui peut être exploitée sous forme électrique. On lui associe souvent une électronique de linéarisation (appelée conditionneur de signal) qui va convertir un signal électrique qui n'est pas proportionnel à la grandeur mesurée en un signal qui lui sera proportionnel. Le transmetteur va transformer le signal issu du conditionneur en un autre signal électrique compatible avec le milieu dans lequel vont cheminer les câbles vers le traitement (exemple : conversion d'une mesure de déformation mécanique par jauge de contrainte après linéarisation par un conditionneur en un signal **4 - 20 mA** qui résiste mieux aux parasites qu'un signal en tension comme le **0 - 10 V** par exemple).

Certains capteurs sont nativement numériques comme les codeurs de position angulaire, d'autres sont nativement analogiques comme le potentiomètre rotatif. Ces deux capteurs délivrent une tension proportionnelle à un angle de rotation.

Le monde des capteurs industriels est extrêmement riche. Il n'est pas possible de décrire ici le principe de fonctionnement de chacun d'eux. Cette démarche serait bien trop longue et sortirait des objectifs de ce cours.

4. Etages de sortie

Les valeurs analogiques issues des capteurs sont soumises à différentes perturbations dues à l'environnement industriel des capteurs en particulier les parasites. Afin d'améliorer la qualité des mesures et leur fiabilité, les capteurs peuvent être reliés au travers de différentes interfaces standardisées reprises ci-dessous.

4.1. Sortie en tension 0 - 10 V (0 - 5 V)

Le signal en sortie du détecteur est linéarisé si besoin puis amplifié afin d'avoir un niveau égal à 0 V lorsque la valeur mesurée est égale au minimum de la plage de mesure et de 10 V lorsqu'il sera au maximum de celle-ci (ou 0 - 5 V). Exemple : un capteur de température prévu pour une plage de mesure de - 20 à + 120 °C en sortie 0 - 10 V donnera un signal de 0 V lorsque la température mesurée sera de - 20 °C et 10 V lorsque celle-ci sera de 120 °C.

L'inconvénient principal des sorties 0 - 10 V est que si le capteur est débranché, la mesure est de 0 V ce qui correspond à une mesure égale au minimum de la plage de mesure. Le fait que le capteur soit débranché n'est pas détecté.

4.2. Sortie en tension 1 - 5 V (2 - 10 V)

Afin d'éliminer le principal défaut de la sortie 0 - 10 V (capteur débranché), on fixe le niveau minimum de la tension de sortie du capteur à 1 V (2 V pour une sortie 2 - 10 V). Si le signal mesuré est de 0 V cela signifie que le capteur est débranché.

Les signaux en tension (0 - 10 V, 1 - 5 V...) sont sensibles aux parasites industriels. On leur préfère les signaux en courant mieux immunisés.

En reprenant l'exemple précédent pour un capteur à sortie 1 - 5 V, pour une température mesurée de - 20 °C le signal de sortie sera de 1 V, il sera de 5 V pour une température de 120 °C. Si le capteur est débranché, la sortie sera à 0 V, valeur anormale pour ce type de sortie.

4.3. Sortie en courant 0 - 20 mA

Le signal en sortie du détecteur est linéarisé si besoin puis amplifié puis converti en un courant de 0 mA si la grandeur mesurée est égale au minimum de la plage de mesure et de 20 mA lorsqu'il sera au maximum de cette dernière.

Comme les sorties en tension 0 - 10 V, le principal inconvénient des sorties 0 - 20 mA est que si le capteur est débranché, un courant de sortie de 0 mA correspond à une mesure égale au minimum de la plage de mesure.

4.4. Sortie en courant 4 - 20 mA

Afin de palier au principal défaut de la sortie 0 - 20 mA, on fixe le niveau minimum du courant de sortie du capteur à 4 mA. Si le signal mesuré est de 0 mA cela signifie que le capteur est débranché.

Les sorties en 4 - 20 mA sont le standard industriel le plus utilisé en raison de la détection de capteur débranché et la « robustesse » du signal face aux parasites.

4.5. Sortie numériques

La sortie du capteur est ici faite en format numérique, le plus souvent sous la forme d'un bus industriel (exemple : **Profibus**, **CAN Open** ou autre). La diversité des bus industriels fait qu'il faut vérifier la compatibilité entre les capteurs et automates (ou autres appareils exploitant les mesures) au travers des documents constructeurs.

4.6. Capteurs à sortie « quatre fils »

Ces capteurs comportent quatre fils de raccordement. Deux sont réservés à l'alimentation du capteur le plus souvent sous 12 ou 24 V continu, les deux autres correspondent au signal de sortie. Cette configuration est souvent utilisée avec les sorties en tension et en courant.

4.7. Capteurs à sortie « trois fils »

Ces capteurs comportent trois fils de raccordement. Deux sont réservés à l'alimentation du capteur le plus souvent sous 12 ou 24 V continu, le troisième correspond au signal de sortie du capteur qui dispose d'un commun avec la masse de l'alimentation. Cette configuration est souvent utilisée avec les sorties en tension.

4.8. Capteurs à sortie « deux fils »

Les capteurs deux fils font passer sur ces deux conducteurs l'alimentation du capteur et le signal de mesure. L'alimentation du capteur se fait en insérant en série entre ce dernier et l'entrée de l'automate une alimentation 24 V continu. Certains afficheurs disposent de l'alimentation de la boucle 4 - 20 mA intégrée mais ce n'est pas la règle. Les sorties deux fils ne sont utilisables qu'avec les capteurs à sortie 4 - 20 mA.

5. Critères de choix

Les principaux critères de choix des capteurs sont :

- *Le type de grandeur à mesurer (distance, pression, température, débit, tension, etc.),*
- *L'étendue de mesure ou plage de mesure (valeurs minimale et maximale de la grandeur mesurée, exemple : mesure de distance entre 30 cm et 120 cm),*

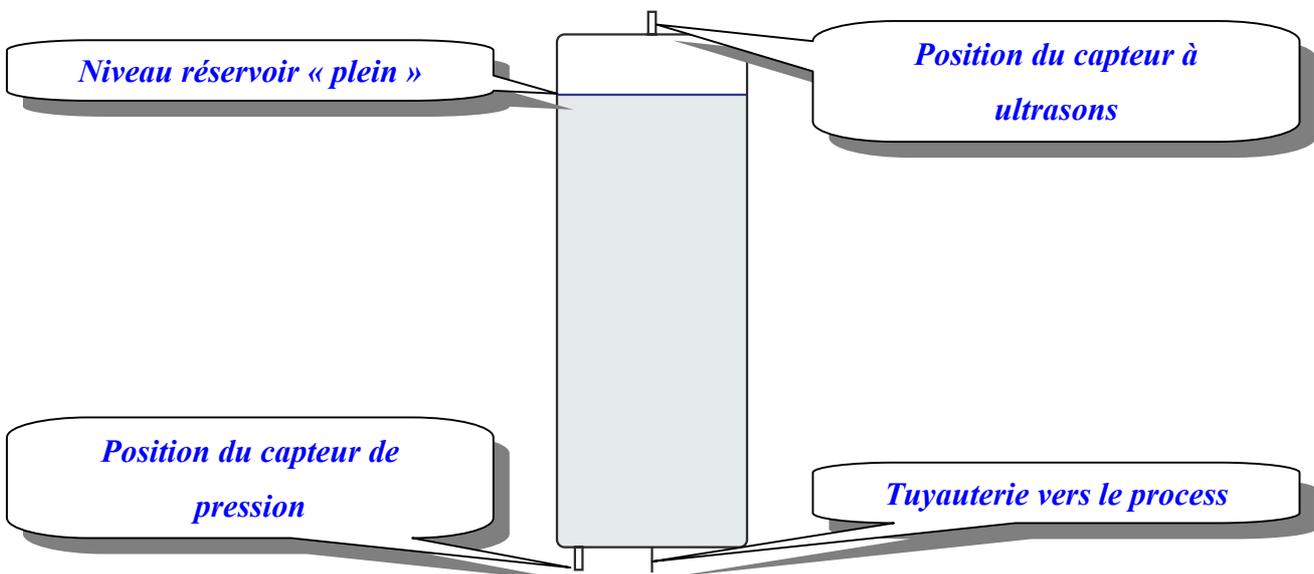
- *Le type de sortie (en tension, en courant, signal numérique, etc. exemple : sortie 0 - 10 V, 0 - 20 mA, 1 - 5 V, 4 - 20 mA, Profibus, ASI...),*
- *Le type de raccordement électrique (deux, trois ou quatre fils),*
- *Le temps de réponse (rapidité à laquelle le capteur transmet la variation de la grandeur mesurée),*
- *La résolution (plus petite variation de la grandeur mesurée),*
- *Les influences externes (présence d'humidité, d'huile, risques mécaniques...).*

D'autres critères de choix existent tels que le type de sortie (câble ou connecteur), la forme du détecteur (cylindrique ou autre), la technologie utilisée... Une même mesure de grandeur peut se faire de différentes manières pour un même résultat.

6. Applications

Nous allons mesurer le niveau d'alcool dans un réservoir de deux façons différentes. La première approche va se faire grâce à un capteur à ultrasons qui va donner la distance qui le sépare de la surface du liquide, le capteur étant situé en haut du réservoir. Après traitement par un automate, il est possible de convertir cette mesure en un volume d'alcool restant dans le réservoir. La seconde manière consiste à placer un capteur de pression au fond du réservoir. Plus le niveau de liquide est élevé, plus la pression mesurée sera importante. Le traitement par automate permettra de convertir cette mesure de pression en un volume restant.

Le réservoir est de forme cylindrique, il mesure **6,8 m** de haut et **2,5 m** de diamètre (dimensions intérieures). La forme conique en bas du réservoir sera négligée afin de simplifier l'étude (voir figure ci-dessous). Le niveau d'alcool peut varier entre 0 (réservoir vide) et 6 m (réservoir plein) par rapport au fond du réservoir. Le capteur à ultrasons est placé au sommet du réservoir, le capteur de pression est situé sur le bas du réservoir. La sortie des capteurs sera choisie en **4 - 20 mA** en technologie quatre fils pour le capteur à ultrasons et deux fils pour le capteur de pression, l'indice de protection minimum sera **IP 66**. Les capteurs seront en inox **316L** et devront être compatible **ATEX** (environnement explosif) en raison de la très forte inflammabilité de l'alcool.



6.1. Mesure par détecteur à ultrasons

Déterminez la plage de mesure que doit avoir notre détecteur.

La plage de mesure va de 0,8 m (réservoir plein) à 6,8 m (réservoir vide).

Proposez un capteur adapté à notre application dans la gamme Vegason série 60. Donnez la référence complète de l'appareil retenu (sortie sur presse étoupe M20 x 0,5 sans affichage intégré, raccordement par filetage G2A / PVDF).

Le Vegason 62 a une plage de mesure qui va de 0,4 à 8 m. La référence complète est SN62.CXAGV8MX.

Afin de préparer le programme de l'automate qui devra afficher le volume restant dans le réservoir en fonction de la hauteur mesurée, il vous est demandé de calculer le volume total V_t du réservoir en m^3 puis en l.

Le réservoir est considéré comme cylindrique. Le volume en litres se calcule comme suit :

$$V_t = \pi R^2 h \quad V_t = \pi \times 1,25^2 \times 6 \quad V_t \approx 29,5$$

Le volume total du réservoir V_t est d'environ $29,5 m^3$ soit environ 29 500 l.

Calculez le volume V en litre correspondant à 1 cm de hauteur afin d'effectuer un affichage en litres sur l'écran de supervision relié à l'automate. En déduire la constante de conversion centimètre vers litre.

$$V = \pi R^2 h \quad V = \pi \times 1,25^2 \times 0,01 \quad V \approx 0,0491$$

Le volume correspondant à 1 cm de liquide dans le réservoir V est d'environ 49,1 l, la constante de conversion est donc de 49,1 l / cm.

Quelle est la distance mesurée entre le capteur à ultrasons et la surface du liquide lorsque le réservoir est plein ?

Lorsque le réservoir est plein, le capteur est situé à 0,8 m de la surface du liquide.

Quelle est la distance mesurée entre le capteur à ultrasons et le fond du réservoir lorsque celui-ci est vide ?

Lorsque le réservoir est vide, le capteur est situé à 6,8 m du fond du réservoir.

Lorsque le capteur est au minimum de sa plage de mesure soit 0,4 m, un courant de 4 mA circule dans sa sortie. Lorsqu'il est au maximum de sa plage de mesure soit 8 m un courant de 20 mA circule.

Calculez le coefficient de proportionnalité HI qui existe entre la distance mesurée et le courant de sortie en m / mA.

$$HI = \frac{h_{max} - h_{min}}{I_{max} - I_{min}} \quad HI = \frac{8 - 0,4}{20 - 4} \quad HI = 0,475$$

Le coefficient de proportionnalité entre la distance mesurée et le courant de sortie HI est 0,475 m / mA.

Calculez le courant I_{plein} circulant en sortie du capteur lorsque le réservoir est plein.

La distance entre le capteur et la surface du liquide lorsque le réservoir est plein est de 0,8 m, soit 0,4 m au-delà du minimum de la plage de mesure du capteur.

$$I_{\text{plein}} = I_{\text{mini}} + \frac{d_{\text{plein}}}{H} \quad I_{\text{plein}} = 4 + \frac{0,4}{0,475} \quad I_{\text{plein}} \approx 4,84$$

Le courant mesuré lorsque le réservoir est plein I_{plein} est d'environ 4,84 mA.

De même, calculez le courant I_{vide} correspondant à un réservoir vide.

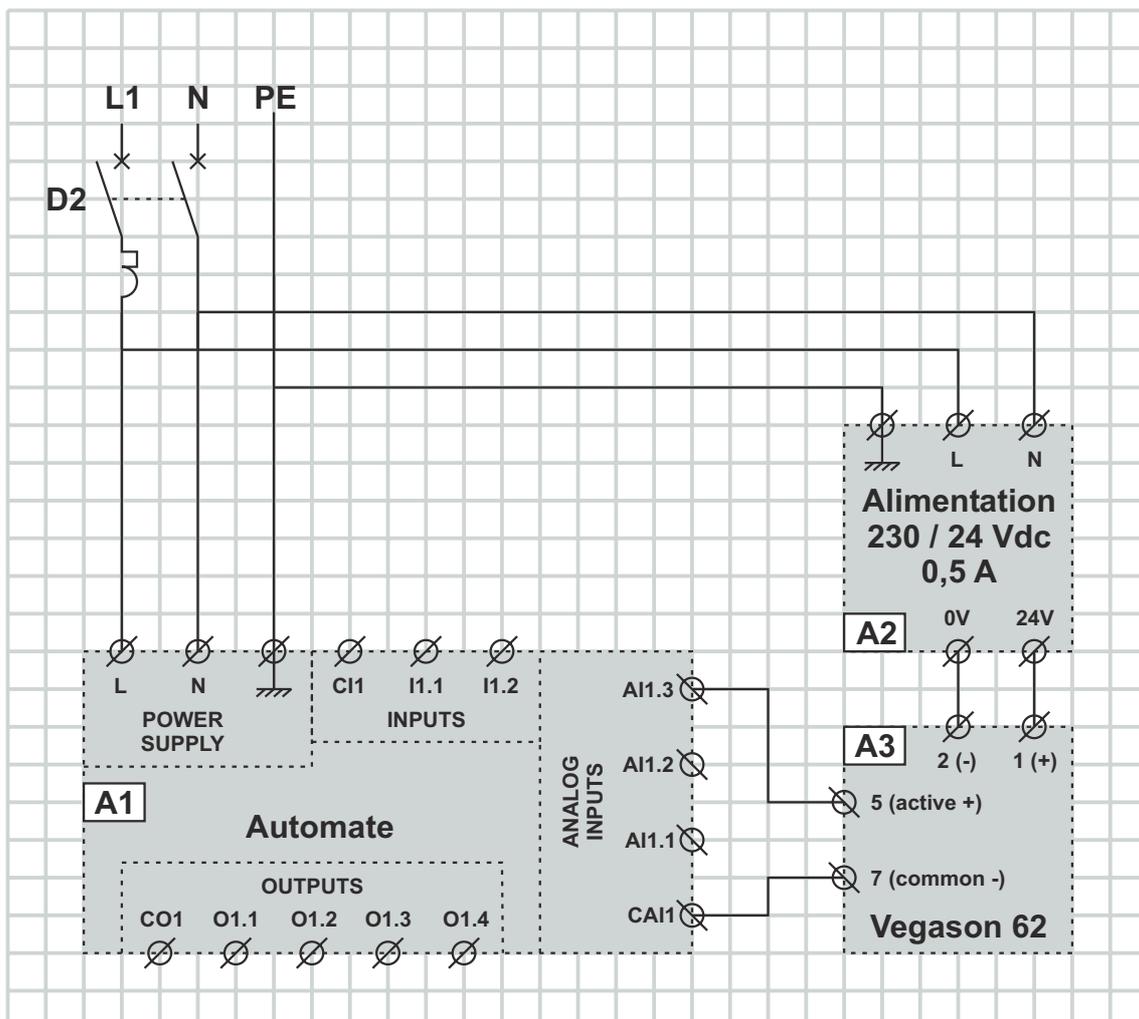
La distance entre le capteur et le fond du réservoir lorsqu'il est vide est de 6,8 m, soit 6,4 m au-delà du minimum de la plage de mesure du capteur.

$$I_{\text{vide}} = I_{\text{mini}} + \frac{d_{\text{vide}}}{H} \quad I_{\text{vide}} = 4 + \frac{6,4}{0,475} \quad I_{\text{vide}} \approx 17,5$$

Le courant mesuré lorsque le réservoir est vide I_{vide} est d'environ 17,5 mA.

Lors des opérations de dépannage, connaître un ordre de grandeur de la valeur du courant permet par l'introduction d'un ampèremètre de vérifier le fonctionnement du capteur.

Représentez ci-après le schéma de raccordement du capteur sur l'entrée **AI1.3** de l'automate **A1**. Le capteur **A3** est alimenté par une alimentation 24 V continu repérée **A2**.



Les capteurs à ultrasons ont une « zone aveugle » proche du corps de ce dernier. Celle-ci est due au fait que l'onde ultrasonore revienne avant qu'on ait arrêté l'émission. Le signal de retour est « masqué » durant l'émission afin de ne pas être perturbé par celle-ci.

6.2. Mesure par mesure de pression

Plus la hauteur de liquide est importante dans le réservoir, plus la pression au fond de celui-ci est importante. La relation qui relie la pression mesurée et la hauteur de liquide présente est la suivante :

$$P = \rho gh$$

Dans cette formule :

- P est la pression mesurée au fond du réservoir en Pascals,
- ρ est la masse volumique du liquide (pour de l'alcool, $\rho = 789 \text{ kg / m}^3$),
- g est la constante de gravitation qui sera prise égale à $9,81 \text{ N / kg}$,
- h est la hauteur de liquide dans le réservoir en mètres.

Calculez la pression P_{plein} mesurée lorsque le réservoir est plein.

La hauteur d'alcool h_{totale} lorsque le réservoir est plein est de 6 m.

$$P_{\text{plein}} = \rho gh_{\text{totale}} \quad P_{\text{plein}} = 789 \times 9,81 \times 6 \quad P_{\text{plein}} \approx 46500$$

La pression mesurée au fond du réservoir lorsqu'il est plein est de 46500 Pascals.

Sachant qu'un bar vaut 100 000 Pascals, calculez la pression P_{plein} en bars.

$$P_{\text{plein(bars)}} = \frac{P_{\text{plein(pascal)}}}{100\,000} \quad P_{\text{plein(bars)}} = \frac{46\,500}{100\,000} \quad P_{\text{plein(bars)}} = 0,465$$

La pression mesurée au fond du réservoir lorsqu'il est plein est de 0,465 bar.

Choisir le capteur de pression adapté à notre application chez Schneider Electric.

La pression est nulle lorsque le réservoir est vide, elle vaut 0,465 bar lorsqu'il est plein. La plage de mesure du capteur doit comprendre ces deux valeurs. Le capteur XMLG001D21 a une plage de mesure qui va de 0 à 1 bar et convient donc à notre application (sortie 4 - 20 mA, deux fils).

Calculez le coefficient de proportionnalité $H2$ qui existe entre la pression mesurée et le courant de sortie du capteur en bar / mA.

$$H2 = \frac{P_{\text{max}} - P_{\text{min}}}{I_{\text{max}} - I_{\text{min}}} \quad H2 = \frac{1 - 0}{20 - 4} \quad H2 = 0,0625$$

Le coefficient de proportionnalité $H2$ entre la pression mesurée et le courant de sortie est de 0,0625 bar / mA. Il faut donc multiplier le courant par 0,0625 pour avoir la pression mesurée par le capteur au fond du réservoir (le minimum de la plage de mesure du capteur correspond à un réservoir vide).

Donnez le courant I_{vide} correspondant à un réservoir vide.

Lorsque le réservoir est vide la pression mesurée est nulle. Le courant qui correspond à cette pression est de 4 mA.

Calculez le courant I_{plein} circulant en sortie du capteur lorsque le réservoir est plein.

Lorsque le réservoir est plein, la pression mesurée est de 0,465 bar.

$$I_{plein} = I_{mini} + 2 \frac{P_{plein}}{H2} \quad I_{plein} = 4 + 2 \frac{0,465}{0,0625} \quad I_{plein} = 11,4$$

Le courant mesuré lorsque le réservoir est plein I_{plein} est d'environ 11,4 mA.

Représentez ci-après le schéma de raccordement du capteur sur l'entrée **AI1.1** de l'automate **A1**. Le capteur **A4** est alimenté par une alimentation 24 V continu repérée **A2**.

