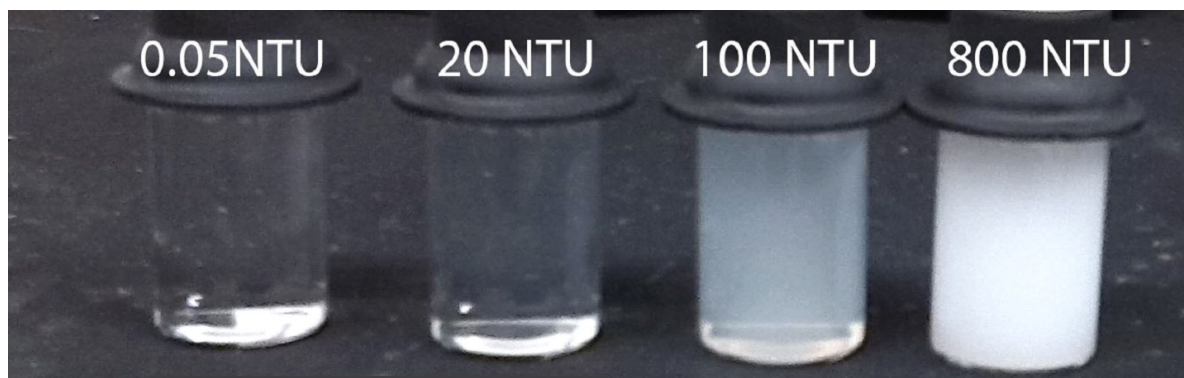


Introduction

La turbidité est couramment utilisée pour mesurer la qualité de l'eau. C'est une mesure des propriétés de diffusion de la lumière de l'eau qui donne une indication de la propreté de l'eau. Elle peut être utilisée à cette fin car la diffusion est causée par la présence de particules dans l'eau. Ces particules peuvent être des matières inorganiques, des micro-organismes, des sables, des terres, des colloïdes et des matières organiques. Il y a aussi une petite quantité de diffusion au niveau moléculaire. Cela signifie qu'il est impossible d'obtenir un échantillon réel sans turbidité.



Turbidité croissante →

Fig. 1 - Exemples de solutions avec différentes turbidités

Facteurs influant sur la turbidité

Un certain nombre de facteurs affectant la turbidité:

- **Taille des particules** - les petites particules ($<0,06 \mu\text{m}$ - $1/10^{\text{ème}}$ de la longueur d'onde de la lumière) dispersant la lumière en quantités sensiblement similaires dans toutes les directions, tandis que les plus grosses particules ($>0,15 \mu\text{m}$ - $1/4^{\text{ème}}$ de la lumière) diffusent davantage de lumière vers l'avant dû aux interférences additives entre la lumière diffusée par différentes parties de la particule.
- **Lumière incidente** - les petites particules dispersant davantage les longueurs d'onde courtes que les longueurs d'onde plus longues, tandis que les plus grosses particules diffusent davantage les longueurs d'onde plus longues que les longueurs d'onde plus courtes.
- **Forme de particule** - les particules sphériques entraîneront une proportion plus élevée de diffusion vers l'avant par rapport à la diffusion vers l'arrière que les particules en forme de tige ou enroulées.
- **Couleur des particules** - les particules de couleur absorbent la lumière à des longueurs d'onde particulières, ce qui peut réduire l'importance du signal atteignant le détecteur.
- **Indice de réfraction des particules** - plus la

différence d'indice de réfraction entre le matériau des particules et l'eau est grande, plus il y a de dispersion.

- **Concentration de particules** - la diffusion s'intensifie à mesure que la concentration augmente. La quantité de diffusion secondaire et d'adsorption augmente également, ce qui finit par entraîner une réduction du signal.

Mesurer la turbidité

Historiquement, la turbidité était mesurée à l'aide de méthodes visuelles, telles que la boucle de Jackson. Cette méthode impliquait une boucle et un tube à fond de verre. Le tube était rempli avec l'échantillon jusqu'à ce que l'image de la flamme de l'échantillon ait diffusé dans une lueur uniforme. Ce fut l'une des premières méthodes pour quantifier la turbidité et a conduit à la définition de l'unité de turbidité de Jackson (JTU). D'autres méthodes visuelles telles qu'un disque de Secchi ou un tube à turbidité ont encore une utilité.

Les instruments modernes mesurent la turbidité en éclairant l'échantillon avec une lumière et en mesurant la lumière diffusée par l'échantillon à l'aide d'un photodétecteur. Plus le nombre de particules présentes dans l'échantillon est élevé, plus le signal diffusé est élevé. Alors que n'importe quel angle peut être utilisé pour effectuer les mesures de

dispersion, y compris 0° qui est une transmission directe dans l'échantillon¹, de nombreuses normes internationales, telles que ISO 7027, spécifient l'utilisation de mesures néphélométriques pour la détermination quantitative de la turbidité. La néphélométrie fait référence à la mesure de la lumière diffusée sous un angle de 90°. Cet angle est utilisé car il est le plus sensible à la dispersion et est applicable à toutes les tailles et formes de particules. Les mesures néphélométriques sont à l'origine de l'unité la plus couramment utilisée pour la mesure de la turbidité, le NTU (unité de turbidité néphélométrique)².

TurbSense®

TurbSense® mesure la turbidité en effectuant une mesure néphélométrique.

L'échantillon est éclairé par une LED à 860 nm et la lumière diffusée est détectée à un angle de 90° à l'aide d'une photodiode.

Le TurbSense® a été soigneusement conçu pour offrir un niveau de performance élevé. Ceci est réalisé en collimatant la lumière LED à travers un tube, afin de réduire la divergence de la lumière dans l'échantillon et en utilisant une extrémité de sonde à gradins pour empêcher la lumière de parvenir directement au détecteur. Conformément à la norme ISO 7027, la source de lumière infrarouge proche à 860 nm minimise les interférences causées par la couleur de l'échantillon.

Lorsqu'une mesure de turbidité est effectuée, le signal produit par le détecteur est composé de la lumière diffusée due aux particules présentes dans l'eau, ainsi que des décalages éventuels dus aux composants électroniques utilisés. Les facteurs électroniques pouvant contribuer au signal détecté comprennent:

- **Courant sombre** - le signal que la photodiode produit en l'absence de lumière.
- **Variation du signal lumineux** - comme ce qui se produit en raison de la dépendance de la sortie lumineuse d'une LED par rapport à la température.
- **Bruit coupé** - interférences dues à d'autres composants dans un capteur ou à un équipement externe, entraînant la capture d'un signal par le

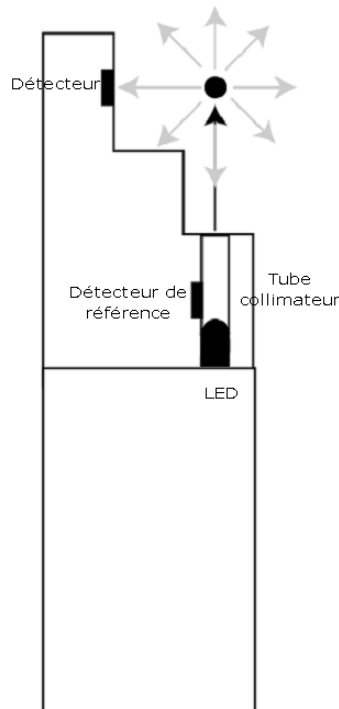


Fig. 2 - Illustration de la sonde TurbSense® de Pi

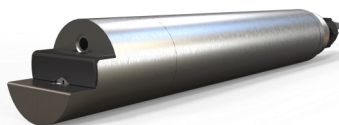


Fig. 3 - La sonde TurbSense®

circuit de détection.

Dans une eau propre, avec peu de particules présentes, le signal produit par la lumière diffusée sera faible. Si une lumière d'arrière-plan est présente lors de la mesure, il peut s'agir d'une partie importante du signal mesuré.

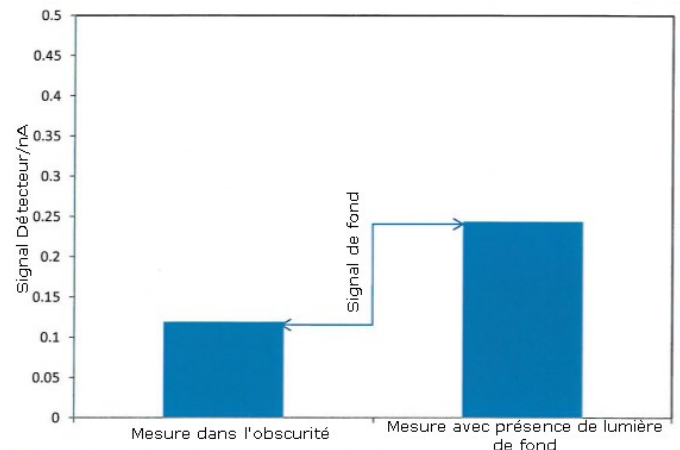


Fig. 4 - Effet du bruit de fond sur le signal mesuré de l'eau du robinet

La Fig. 4 en donne une illustration montrant la taille des signaux produits lors de l'analyse de l'eau du robinet dans des systèmes avec ou sans lumière de fond. Cette différence peut entraîner des résultats inexacts. Une modification de l'arrière-plan entraînera une modification du signal mesuré, ce qui entraînera une modification apparente de la turbidité d'un échantillon. L'effet des changements de fond devient encore plus important s'il existe une différence entre le fond lorsque le capteur est étalonné et le moment où une mesure est effectuée.

C'est l'une des raisons pour lesquelles l'étalonnage des capteurs de turbidité est difficile. De nombreuses procédures d'étalonnage nécessitent une mesure avec un échantillon '0' NTU³. Un tel échantillon est difficile à obtenir, en particulier sur site, et la mesure d'un tel échantillon sera considérablement affectée par les niveaux de lumière de fond.

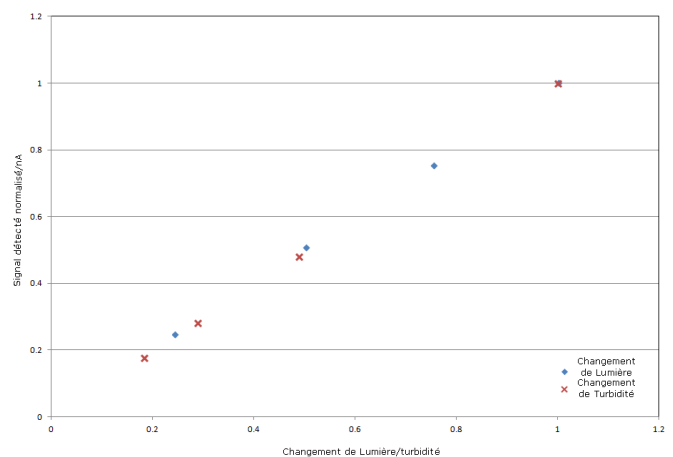


Fig. 5 - Effet de la variation du flux lumineux et de la turbidité sur le signal détecté. La turbidité a été fixée lorsque l'intensité lumineuse incidente changeait et l'intensité lumineuse incidente a été fixée lorsque la turbidité était modifiée

¹Si vous mesurez la transmission, le signal diminuera avec l'augmentation de la concentration en particules.

²L'unité NTU est généralement utilisée pour les mesures de turbidité, mais ne s'applique strictement que si une source de lumière au tungstène est utilisée. Pour une source de lumière proche de l'infrarouge, il convient d'utiliser strictement les unités néphélométriques de formazine (FNU). Les deux unités sont approximativement les mêmes.

³Un véritable échantillon de 0,000 NTU est impossible à obtenir. La diffusion moléculaire de l'eau donnera une turbidité d'environ 0,018 NTU.

Pour surmonter ces problèmes, TurbSense® utilise une nouvelle approche pour mesurer la turbidité qui assure un étalonnage simple et des résultats stables. L'approche adoptée consiste à prendre des mesures à différentes intensités de lumière. Cela peut être fait car la modification de l'intensité de lumière a un effet similaire sur le signal détecté qu'une modification de la turbidité de l'échantillon. Cet effet est illustré à la Fig. 5, qui montre que la modification du niveau de lumière, pour un échantillon à turbidité fixe, a la même effet sur le signal du détecteur que la modification de la turbidité de l'échantillon (pour un niveau de lumière fixe). Cela signifie qu'un étalonnage peut être effectué avec un seul échantillon et en réduisant l'intensité lumineuse afin d'établir une relation entre la turbidité et le signal détecté.

Étalonner le TurbSense®

Pour effectuer en étalonnage, la turbidité de l'échantillon est mesurée par le signal du détecteur associé au signal de référence, qui mesure avec précision la quantité de lumière émise. Le signal lumineux est alors réduit à 75%, 50% et 25% de la puissance. Les signaux de détecteur et de référence sont mesurés en chacun de ces points. Ces points sont ensuite tracés les uns par rapport aux autres, comme illustré à la Fig. 6, afin de permettre le calcul de la pente.

En prenant les lectures en succession rapide, on peut supposer que les bruits de fond sont identiques. Cela signifie que le gradient est indépendant du bruit de fond et est uniquement dû à la turbidité.

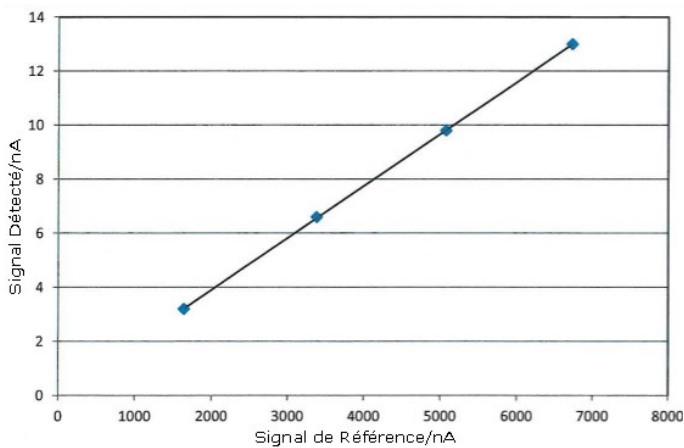


Fig. 6 - Graphique d'étalonnage pour déterminer le gradient d'un capteur TurbSense®

Un échantillon sans turbidité n'aura pas de pente, quelle que soit la quantité de lumière fournie au système. Cela donne un point 0 fixe et signifie qu'il n'est pas nécessaire de faire une mesure '0' NTU. La relation entre le gradient et la turbidité, illustrée à la Fig. 7, peut être établie puis utilisée pour déterminer la turbidité des échantillons.

Pour effectuer une mesure d'échantillon, le signal du détecteur et les signaux de référence sont enregistrés à 100% de puissance lumineuse, 75% puissance lumineuse, 50% puissance lumineuse et 25% puissance lumineuse. Le gradient entre ces points est ensuite utilisé pour donner la turbidité de l'échantillon.

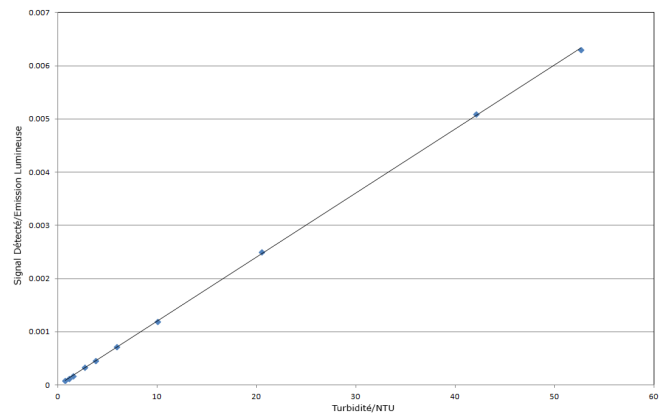


Fig. 7 - Relation entre le gradient (signal détecté/sortie de lumière) et la turbidité

Un autre avantage de l'utilisation du signal de référence dans une mesure est qu'il réduit les problèmes liés aux changements de température qui affectent généralement les mesures optiques. Le rendement lumineux est le facteur qui varie le plus avec la température. De tels changements sont pris en compte dans le signal de référence et le signal du détecteur et sont annulés.

L'utilisation de la procédure d'étalonnage avec un seul étalonnage permet au TurbSense® de fournir des mesures de turbidité précises sur une large gamme d'échantillons. Ceci est illustré par les résultats montrés aux Figs. 8 et 9 qui montrent la comparaison entre la turbidité d'un échantillon et la turbidité mesurée en utilisant TurbSense® pour une variété d'échantillons.

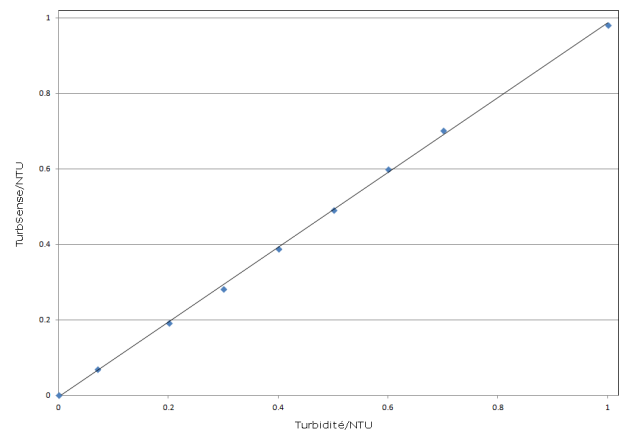


Fig. 8 - Comparaison entre la turbidité de l'échantillon et la turbidité mesurée avec TurbSense® avec des échantillons de faible turbidité

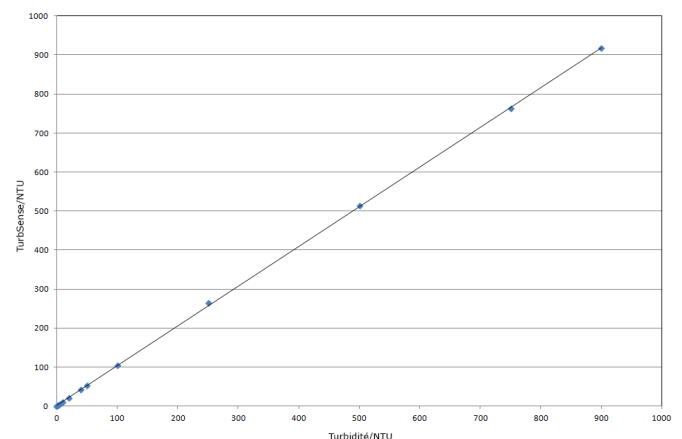


Fig. 9 - Comparaison entre la turbidité de l'échantillon et la turbidité mesurée avec TurbSense® avec des échantillons présentant une large plage de turbidités