

## OTT SVR 100

# Radar de vitesse de surface pour mesure de débit de cours d'eau à ciel ouvert



Figure 1 : OTT SVR 100 avec fixation à rotule

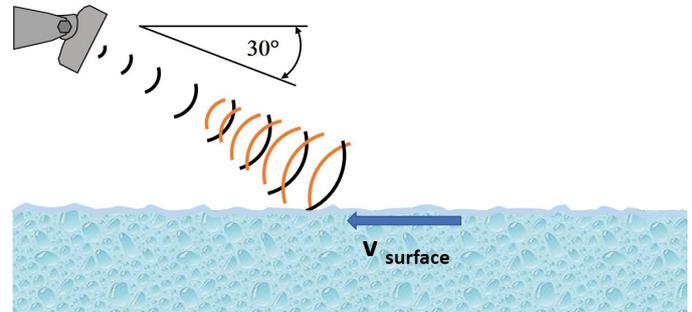


Figure 2 : Principe de mesure de la vitesse de OTT SVR 100

de l'eau, il transmet et reçoit des ondes électromagnétiques. Si la surface de l'eau est inégale et agitée, l'écho est renvoyé avec un changement de fréquence ou de longueur d'onde (décalage Doppler). La vitesse de surface de l'eau peut être obtenue à partir de ces données (voir figure 2).

Normalement, la surface des canaux découverts et des rivières présente toujours un certain degré de rugosité. Même les vagues miniatures qui peuvent ne pas être reconnues à première vue réfléchissent les ondes radar vers le capteur. Une hauteur de vague minimum de 1 mm est cependant requise pour fournir des données de mesures fiables.

### Introduction

La mesure de vitesse de surface de l'eau pour déterminer les rejets dans les rivières et les canaux découverts est l'une des plus anciennes méthodes de mesure en hydrométrie : à l'origine la méthode s'appuyait sur l'utilisation de flotteurs; elle est facile à mettre en œuvre et a fait ses preuves depuis des siècles. La détermination des rejets par les mesures des vitesses de surface est couverte par différentes normes et directives hydrométriques telles que ISO 748 « Hydrométrie – Mesure du débit des liquides dans les canaux découverts au moyen de moulinets ou de flotteurs ». Alors que les flotteurs conviennent pour les mesures ponctuelles in situ, seuls les radars de mesure de la vitesse de surface assurent une surveillance en temps réel 24 heures sur 24, 7 jours sur 7, avec une grande précision de mesure, une faible consommation et un entretien minimal. Par ailleurs, les mesures sans contact présentent l'avantage de ne pas être affectées par les sédiments, la boue ou les débris flottants dans l'eau.

### Principe de mesure de la vitesse

OTT SVR 100 utilise la technologie radar la plus moderne qui permet de réaliser des mesures d'une grande précision sur lesquelles les facteurs extérieurs tels que la température, l'humidité ou la densité de l'eau n'ont aucune incidence. Orienté parallèlement au sens d'écoulement principal et incliné selon un angle d'incidence nominal de 30 degrés par rapport à la surface

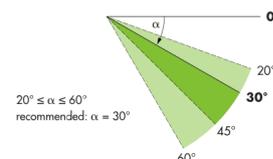
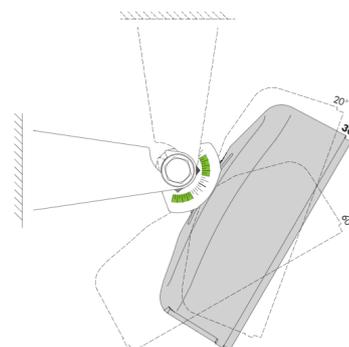


Figure 3 : Alignement de l'instrument OTT SVR 100

## Orientation du capteur, sens d'écoulement et zone de mesure

Pour atteindre la précision spécifiée, il est important de prendre toutes les précautions voulues pour évaluer et sélectionner le site de mesure, et d'installer le capteur avec un angle d'inclinaison approprié. L'angle d'inclinaison peut être réglé dans une plage comprise entre 20° et 60° (voir figure 3), mais l'angle optimal se situe entre 30° et 45°.

Une échelle graduée sur la fixation à rotule facilite l'alignement du capteur sur site. Notez qu'un angle de 30° est recommandé et considéré comme la meilleure configuration pour la plupart des applications. Il est par ailleurs conseillé de ne pas dépasser 45° pour l'angle d'inclinaison. L'instrument doit être orienté parallèlement au sens d'écoulement principal et pointé vers l'amont, de telle sorte que l'eau s'écoule en direction du capteur.

OTT SVR 100 est équipé d'un capteur d'inclinaison interne. L'inclinaison mesurée (angle d'inclinaison) est indiquée par l'instrument dans les enregistrements de données avec chaque valeur mesurée et sera également affichée dans le logiciel d'exploitation de OTT SVR 100. Il est fortement recommandé de contrôler l'inclinaison mesurée par l'instrument lui-même pendant l'installation sur site. La mesure de l'inclinaison est utilisée en interne pour la compensation cosinus automatique de la vitesse.

La hauteur de l'instrument au-dessus de la surface de l'eau et son inclinaison déterminent la zone qui est couverte par le faisceau radar (empreinte) à la surface de l'eau. La zone de mesure doit être exempte de tout obstacle. Aucune végétation ne doit se trouver entre le radar et la zone de mesure : cela pourrait nuire à la précision des mesures.

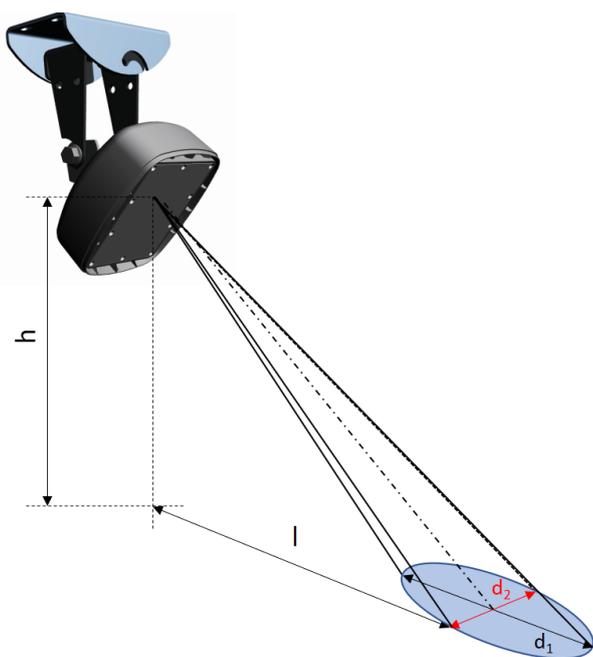


Figure 4 : Zone de mesure de OTT SVR 100 à la surface de l'eau

Tableau 1 : Dimensions de l'empreinte du radar (une sélection)

Angle [°]	30°			45°			60°		
	l [m]	d1 [m]	d2 [m]	l [m]	d1 [m]	d2 [m]	l [m]	d1 [m]	d2 [m]
1	1,7	2,0	0,4	1	0,9	0,3	0,6	0,6	0,2
2	3,5	3,9	0,8	2	1,8	0,6	1,2	1,2	0,5
3	5,2	5,9	1,3	3	2,7	0,9	1,7	1,7	0,7
4	6,9	7,9	1,7	4	3,6	1,2	2,3	2,3	1,0
5	8,7	9,8	2,1	5	4,5	1,5	2,9	2,9	1,2
6	10,4	11,8	2,5	6	5,3	1,8	3,5	3,5	1,5
7	12,1	13,8	2,9	7	6,2	2,1	4,0	4,0	1,7
8	13,9	15,7	3,4	8	7,1	2,4	4,6	4,6	1,9
9	15,6	17,7	3,8	9	8	2,7	5,2	5,2	2,2

Le faisceau radar couvrira une zone elliptique à la surface de l'eau et indiquera la vitesse de surface moyenne de cette zone. OTT SVR 100 utilise des filtres Kalman complexes avec une modélisation physique de l'écoulement d'eau pour donner des mesures stables, y compris dans les conditions de turbulences. Cependant, si l'écoulement est turbulent, il faut s'attendre à des fluctuations dans les données mesurées et à une précision réduite des mesures. Si l'écoulement risque d'être turbulent au niveau de la station de surveillance, la longueur de filtrage du radar doit être configurée sur 120 ou sur une valeur supérieure.

La figure 4 illustre les dimensions de l'empreinte en fonction de la hauteur et de l'angle d'inclinaison du capteur. Les valeurs calculées des dimensions de l'empreinte pour différentes applications très courantes sont indiquées dans le tableau 1.

L'écoulement d'eau sur le site d'installation doit être le plus homogène possible. Des mesures fiables seront obtenues si le cours d'eau suit une ligne droite et que l'eau s'écoule parallèlement aux rives. Règle générale : on peut considérer que l'eau s'écoule parallèlement aux rives si son cours est droit sur une distance de 5 à 10 fois la largeur du lit en amont et de deux fois cette valeur en aval.

L'homogénéité de l'écoulement d'eau est le facteur le plus important pour l'obtention de mesures précises et stables. Les turbulences, notamment les macro-turbulences (par exemples, les tourbillons) doivent être évitées. En ajustant l'angle d'inclinaison du radar et la position de l'instrument, il est possible de sélectionner la zone optimale à la surface de l'eau pour la prise de mesures.

Il est important de comprendre que l'eau est un milieu réfléchissant pour les ondes radio. Lorsque le faisceau radar touche la surface de l'eau, l'essentiel de l'énergie du faisceau est réfléchi et dispersée dans toutes les directions possibles, et seule une petite partie retourne au capteur radar. Cette petite partie des ondes renvoyées reçue par le capteur est utilisée pour mesurer la vitesse de surface. La quantité d'énergie réfléchi vers le radar dépend de la rugosité de la surface de l'eau. Pour que le radar fonctionne correctement, il est nécessaire que de petites vagues soient présentes à la surface de l'eau. OTT SVR 100 exige une hauteur de vague minimale de 1 mm, car l'instrument utilise des éléments récepteurs très sensibles dans le capteur radar.

La possibilité de mesurer des vitesses faibles avec une rugosité superficielle minimale est l'un des avantages présentés par les récepteurs hautement sensibles. L'inconvénient est que le radar est sujet aux effets de chemins multiples qui peuvent se produire sur certains sites lorsqu'une partie du faisceau radar touche la surface de l'eau, est réfléchi par celle-ci vers un autre objet, par exemple un pont situé à proximité, puis est renvoyé par l'objet secondaire vers le capteur radar. Sur la majorité des sites d'installation, les effets de chemins multiples sont inexistant.

## Pluie et vent

OTT SVR 100 intègre des filtres logiciels internes qui éliminent les effets de la pluie, du brouillard et du vent. Ces filtres présentent cependant quelques limites. La plupart des inexactitudes dans les relevés causées par des facteurs environnementaux peuvent être résolues par une installation méthodique du capteur.

Pour supprimer l'effet de la pluie, la solution la plus efficace consiste à monter le radar de telle sorte qu'il soit pointé vers l'amont et que l'écoulement d'eau se fasse en direction du radar. Lorsqu'il pleut et que le radar est incliné vers le bas, les gouttelettes de pluie s'écartent du radar, tandis que l'eau s'écoule vers le radar. Le radar peut alors distinguer facilement le mouvement de l'eau de celui de la pluie. Pour améliorer encore davantage le filtrage de la pluie, le radar doit être configuré de manière à effectuer des relevés uniquement dans la direction entrante de l'écoulement d'eau. Dans ce cas, le radar ignorera complètement tout mouvement dans une direction qui s'écarte du capteur. Bien sûr, sur certains sites de mesure, l'eau peut s'écouler dans les deux directions (rivières à marée, par exemple). Pour ces sites, il est nécessaire de configurer le capteur radar pour effectuer des relevés à la fois sur le flux entrant et sortant en sélectionnant « les deux directions » sur le capteur radar.

Pour éliminer encore davantage l'effet de la pluie, il est possible d'installer le radar sous une structure de telle sorte que l'espace situé devant le radar soit abrité de la pluie sur une distance de 1 à 2 mètres. Dans la mesure où l'énergie du faisceau radar diminue de manière exponentielle avec la distance, le radar est très sensible à la pluie qui tombe juste devant lui. Si l'instrument est fixé sur un pont, il doit si possible être installé sous le pont plutôt que sur le garde-corps ou le tablier de pont. L'espace situé juste devant l'instrument sera ainsi abrité de la pluie.

Les vagues à la surface de l'eau et la vitesse de surface sont également soumises aux effets du vent. Suivant la direction du vent, la vitesse de surface de l'eau peut être accélérée ou ralentie. Dans de nombreux cas, l'influence du vent sur la précision des données mesurées est négligeable et peut être compensée par l'allongement de la durée moyenne d'échantillonnage, à une seule exception près : les forts gradients de vent. Ces derniers génèrent en effet des vagues de surface qui se déplacent dans une direction différente de celle de l'écoulement d'eau.

## Indice de vibration – Indicateur de qualité des mesures

Les vibrations peuvent influencer sur les mesures de tout capteur radar fixé sur un pont ou un cantilever, et elles auront une incidence directe sur la qualité des mesures. Le vent et le

trafic sont les principales causes de vibrations. Le SVR 100 détecte les vibrations à l'aide d'un capteur de vibrations intégré, et fournit des informations qualitatives, que le capteur vibre ou non. Ces données sont disponibles via SDI-12 avec chaque mesure. Cet indicateur peut à son tour être utilisé pour déterminer si une mesure est fiable. L'indice de vibration est compris dans une plage de 0 (pas de vibration) à 3 (très fortes vibrations – données inacceptables). Par exemple, lorsque le radar est fixé sur un pont ferroviaire (une application courante), les mesures seront la plupart du temps d'excellente qualité sauf lorsque le passage d'un train provoquera des vibrations importantes sur le pont. Dans ce cas, le radar continuera de relever des mesures, mais les valeurs risqueront d'être erronées et l'indice de vibration prendra une valeur supérieure. Il appartient à chaque utilisateur d'interpréter les valeurs de l'indice pour leur application spécifique, mais selon une recommandation générale, les mesures avec un indice de vibration égal à 3 ne sont pas fiables, celles associées à un indice de vibration égal à 2 sont discutables, tandis qu'avec un indice égal à 1 ou 0, valeurs qui indiquent respectivement des vibrations très faibles et l'absence de vibration, les mesures sont considérées comme fiables.

## Intensité du signal

Un bon rapport signal sur bruit (SNR) est le paramètre le plus important d'un signal radar qui fournit des mesures de vitesse de surface précises et stables. Plus il y a d'énergie radar réfléchi par la surface de l'eau vers le capteur radar, plus l'intensité globale du signal est élevée. Moins il y a d'énergie radar réfléchi, comme c'est le cas, par exemple, lorsque la rugosité de la surface de l'eau est faible, plus l'intensité du signal est faible. Si la quantité de bruit présent dans le signal reste identique, lorsque la rugosité de la surface de l'eau est faible le rapport signal sur bruit (SNR) baisse. Pour améliorer le rapport signal sur bruit (SNR) en interne, le radar utilise un amplificateur de gain programmable (PGA) à faible bruit. Si l'intensité du signal réfléchi est faible, le radar augmente le niveau du bruit sur le PGA. Si l'intensité du signal réfléchi est supérieure, le niveau de gain sera automatiquement réduit.

La meilleure indication d'une intensité correcte du signal est la valeur du PGA. Cette valeur est modifiée automatiquement par l'algorithme de contrôle de gain automatique (AGC) du radar. La valeur de gain minimale possible est égale à 1 et la valeur maximale à 200. Les meilleurs résultats de mesure sont obtenus lorsque le niveau de gain du PGA est compris entre 5 et 100 ; un gain inférieur à 5 indique que l'intensité du signal réfléchi est très forte et risque de provoquer une sursaturation du récepteur, ce qui pourrait entraîner une baisse de la précision. Un niveau de gain égal à 200 est à éviter, car il indique généralement un niveau de réflectivité très faible depuis la surface de l'eau.

L'instrument fournit avec chaque mesure un indicateur de qualité du signal, qui attribue à la qualité du signal une note comprise entre 0 (signal de bonne qualité) et 3 (signal de très mauvaise qualité). Les valeurs 1 et 2 qualifient le plus souvent le signal lorsque le gain de l'amplificateur interne (PGA) est activé à cause de l'existence de fluctuations dans le signal. Les valeurs 1 et 2 peuvent également qualifier le signal lorsque d'étranges réflexions provenant de la surface de l'eau risquent de rendre les relevés imprécis.

## Interférences et radars multiples

Le radar fonctionne dans la bande K, dans une plage de fréquence d'environ 24,125 GHz. L'oscillateur interne est très performant en termes de stabilité de fréquence et de bruit de phase, et il est toujours réglé à l'usine sur une fréquence centrale précise. Même avec un réglage optimal et les oscillateurs les plus stables, il est très peu probable que deux appareils fonctionnant exactement à la même fréquence provoquent des interférences. Le décalage de fréquence Doppler provoqué par l'eau dans la plage de vitesse jusqu'à 15 m/s est mesuré en kHz.

De même que les risques d'interférences dues à la présence de plusieurs radars OTT SVR 100 sur un même emplacement sont très faibles, la probabilité que d'autres sources de rayonnement dans la bande K telles que le capteur OTT RLS aient également une incidence sur les mesures radar est très réduite. Il est possible que certaines sources de rayonnement à large bande introduisent de petites interférences d'impulsions pendant la brève période de temps, mais cela ne devrait pas affecter les mesures relevées par le capteur radar, et la probabilité d'un tel événement est très faible.

## Alimentation et fonctionnement

La consommation électrique et la large plage de tension d'alimentation de l'unité lui permet de fonctionner sur batterie sur les sites distants où il n'est pas possible de se raccorder au réseau électrique. OTT SVR 100 est également conçu pour supporter des mises hors tension et sous tension répétées, ceci afin d'économiser l'énergie. En mode de fonctionnement hors tension et sous tension, le temps de stabilisation minimal requis (délai avant que la première valeur de mesure valide soit disponible) est compris entre 20 et 40 s. Il dépend principalement des caractéristiques du site et des turbulences à la surface de l'eau. Ce temps de stabilisation permet au capteur de régler le gain programmable, les filtres, les algorithmes de suivi et les autres systèmes adaptatifs internes pour optimiser le rapport signal sur bruit (SNR) et la précision des mesures.

Lorsqu'il est combiné à un enregistreur de données qui désactive complètement le capteur entre les mesures périodiques, le capteur peut fonctionner sur batterie et/ou à l'énergie solaire sans aucune difficulté.

## Attestation de précision

La précision des vitesses mesurées a été testée dans le laboratoire d'hydrométrie de l'Institut fédéral de métrologie METAS, en Suisse. La vérification de la vitesse a été effectuée dans un bassin de tarage. OTT SVR 100, fixé sur un chariot mobile, était tracté au-dessus de l'eau stagnante à l'intérieur du bassin dans une plage de vitesses comprise entre 0,08 m/s et 2 m/s. Le Tableau 2 représente un extrait des résultats du test de vérification.

Tableau 2 : Vérification de la précision dans l'Institut fédéral de métrologie METAS (extrait)

Position h (mm)	Date	Start Time	No. of measure	v-ref (m/s)	Display (m/s)	Object tested U (m/s)	U (%)
1990	28.3.2018	17:07:03	3	0.50040	0.5040	0.00242	0.48
1990	28.3.2018	17:13:51	3	0.50040	0.5040	0.00242	0.48
1990	28.3.2018	17:08:36	2	0.70060	0.7010	0.00249	0.36
1990	28.3.2018	17:15:24	2	0.70060	0.7010	0.00249	0.36
1990	28.3.2018	17:25:54	3	0.80060	0.8000	0.00253	0.32
1990	28.3.2018	17:20:36	3	0.80060	0.8010	0.00253	0.32
1990	28.3.2018	17:31:12	3	1.00040	0.9860	0.01751	1.78
1990	28.3.2018	17:35:52	3	1.00040	0.9950	0.00260	0.26
1990	28.3.2018	17:41:02	2	1.50060	1.4870	0.00278	0.19
1990	28.3.2018	17:45:55	2	1.50060	1.4980	0.00278	0.19
1990	28.3.2018	17:50:44	1	2.00020	2.0070	0.00298	0.15
1990	28.3.2018	17:55:33	1	2.00030	1.9700	0.00296	0.15

Client OTT Hydromet GmbH, Ludwigstraße 16, 87437 Kempten  
Last calibration First calibration  
Remarks Firmware: 4.8.2  
Distance to water surface: 190 cm  
Angle: 30°  
Annex to Annex A  
Date of issue 28.3.2018  
Head of the Laboratory Dr. Marc de Huu 