

## Identifier les points chauds au moyen du moniteur de gaz dissous OPT100 en ligne

Le moniteur Vaisala OPT100 a été installé chez CTM Salto Grande à la frontière entre l'Argentine et l'Uruguay. Cette opération vise à évaluer les problèmes de gazage sur un transformateur 50/50/100 MVA et étudier les variations au niveau des conditions opérationnelles pendant 1 an en vue de déterminer la présence d'une corrélation entre les niveaux de gaz et les conditions opérationnelles comme la charge et la température de l'huile du dessus du réservoir.

### Retour en arrière :

En 2002, CTM Salto Grande a installé un transformateur de puissance monophasé scellé de type OFAF 100 MVA qui, depuis sa mise en service avait des problèmes associés à une éventuelle surchauffe. L'apparition et le développement d'éthane et, en concentration moins élevée, de méthane ont été constatés. Les problèmes thermiques sont un problème spécifique à ce transformateur étant donné que son huile contient du DBDS qui, à haute température peut causer la formation de sulfure corrosif. La concentration d'hydrogène était pratiquement nulle, excepté des pics après l'ajout de l'additif de passivation métallique Irgamet39 dans l'huile, supposé être à l'origine des fuites de gaz. Il y avait aussi de l'azote et non de l'oxygène, dans une concentration identique à celle de l'air ambiant.

### Vue d'ensemble du projet :

En juin 2017, le moniteur de multi-gaz dissous Vaisala OPT100 a été installé afin de mesurer les principaux gaz problématiques en temps réel (figure 1). Le moniteur a été connecté au transformateur pendant le fonctionnement, les conditions opérationnelles des centrales hydroélectrique

n'autorisant pas les arrêts. En raison de la conception du transformateur OPT100, l'installation n'a posé aucun problème et a pu être terminée en une demi-journée. Les informations ont été recueillies par l'OPT100 et son logiciel à navigateur intégré, associé à un modem cellulaire.

Pendant un an, l'équipe de maintenance du transformateur a analysé les données du moniteur de gaz dissous et les a comparées aux conditions opérationnelles du transformateur pour identifier une éventuelle corrélation entre les deux. Pendant ce processus, CMT Salto Grando a prélevé des échantillons d'huile toutes les deux ou trois semaines pour les analyser en laboratoire et les comparer (figure 2).

Le transformateur a été dégazé en octobre 2017. Au cours de ce processus, l'OPT100 a continué à mesurer. Parallèlement, des échantillons ont été prélevés toutes les deux heures. Une comparaison des deux lots de résultats est présentée dans la figure 3.

### Résultats : Charge et gaz

La figure 4 présente la charge du transformateur et les concentrations de CO<sub>2</sub> dans l'huile mesurées par le moniteur en ligne OPT100, ainsi que les références de laboratoire. On peut constater une nette augmentation du CO<sub>2</sub> pendant les périodes à hautes charges. En présence d'une charge inférieure ou de variations, le CO<sub>2</sub> reste stable ou diminue même. Ceci



Figure 1. Le moniteur de gaz dissous en ligne OPT100. Les tuyaux d'entrée et de sortie d'huile sont raccordés aux vannes de vidange du bas.

pourrait indiquer la présence d'une zone plus chaude à l'intérieur du transformateur pendant de longues périodes à haute charge, causant la formation de CO<sub>2</sub>. Cette zone chaude pourrait provenir soit du papier soit de l'huile.

La baisse de CO<sub>2</sub> à basses charges et températures pourrait être causée par l'échange de CO<sub>2</sub> entre le papier et l'huile au cours des variations de la température. Ceci n'apparaît pas clairement dans les données de charge, mais quand nous incluons le point chaud estimé :

$T_{\text{point chaud}} \approx T_{\text{huile du dessus}} + H * gR * \text{ipu}^2$ , gR étant la différence de température moyenne entre le bobinage et l'huile, mesurée en usine au cours de FAT et H = 2 est le facteur du point chaud estimé (figure 5).

Les spécialistes ont essayé plusieurs modèles mathématiques en utilisant la température approximative du point chaud : un modèle linéaire et un autre, avec un seuil pour le point chaud afin d'intervenir sur la concentration de CO<sub>2</sub>, estimée à environ +70 °C. Il faut investir davantage de travail pour redéfinir les modèles. Néanmoins, il ne s'agit pas d'une simple corrélation étant donné qu'il y a probablement un échange important de CO<sub>2</sub> sur le long terme qui n'apparaît pas dans les données recueillies sur plusieurs jours (figure 6).

La baisse de CO<sub>2</sub> pourrait être également due au fait que du gaz est libéré du réservoir sous l'effet du gradient de pression partielle élevé entre l'air ambiant et l'huile, bien qu'il s'agisse d'un transformateur scellé. Néanmoins, le fait que les niveaux d'azote augmentent relativement vite après le dégazage indique que le transformateur n'est pas parfaitement étanche au gaz.

Les autres gaz générateurs de dysfonctionnement, sauf probablement C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, n'ont pas permis d'identifier avec certitude une corrélation avec la charge au cours de la période d'essai (figure 7). L'augmentation des niveaux de gaz directement après le dégazage

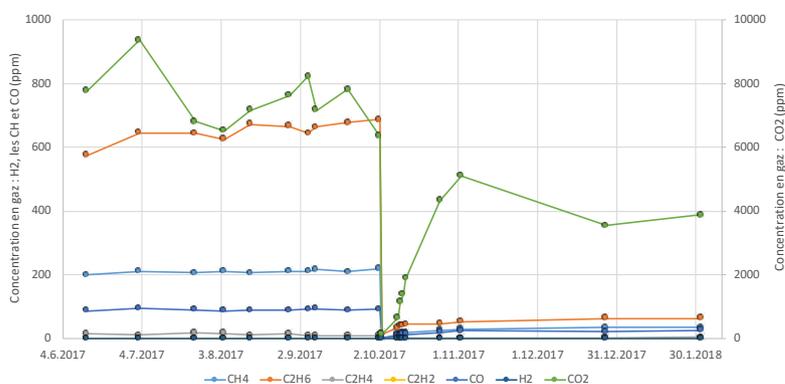


Figure 2. Résultats de laboratoire pour les échantillons de gaz dissous.

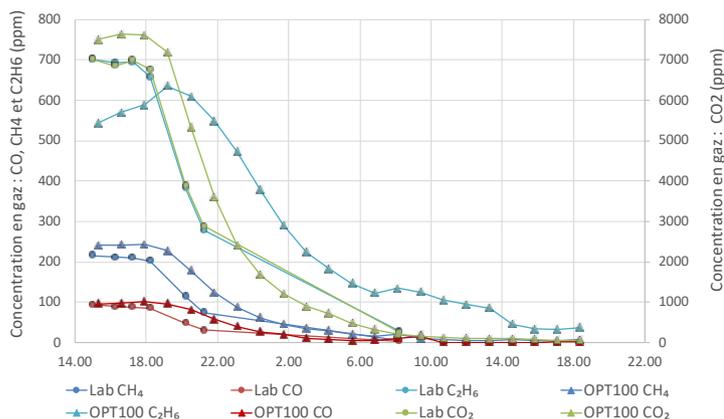


Figure 3. Réponse d'OPT100 au cours de la phase de dégazage, comparée à l'analyse des échantillons en laboratoire.

est plus probablement due aux gaz contenus dans l'huile qui n'étaient pas disponibles pour le dégazage, comme l'huile imprégnée dans le papier et l'huile usagée, accumulée dans les moindres recoins. Quand cette huile était réacheminée dans l'huile traitée, les niveaux de gaz augmentaient.

## Conclusions :

Les résultats de l'étude présentent clairement une corrélation entre la charge du transformateur et le CO<sub>2</sub>.

Les auteurs ne peuvent pas déterminer avec certitude si la baisse de CO<sub>2</sub> au cours des périodes à charge inférieure est due à l'échange de CO<sub>2</sub> entre l'huile et le papier ou aux fuites de CO<sub>2</sub> en provenance du transformateur. Il faudra procéder à d'autres analyses pour mieux localiser les points

chauds.

Grâce à OPT100, CTM Salto Grande a été capable de mieux identifier la cause du problème dans le transformateur ainsi que les mesures à prendre pour le résoudre. Des tests supplémentaires ont déjà été démarrés et depuis l'installation de l'OPT100 en ligne, les gaz – et le risque de développement de points chauds susceptible de causer des dommages graves – sont maintenant surveillés et mieux contrôlés.

## Bas de page :

Interrogé sur l'OPT100, Eduardo Brioso, directeur de maintenance des actifs chez CTM, a répondu que « deux ans après l'installation, nous n'avons aucun problème avec l'équipement – pas de nécessité d'intervention et aucun besoin de consommables. »

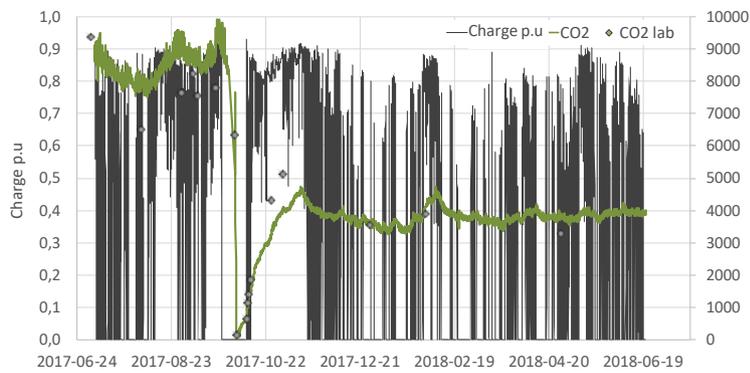


Figure 4. CO<sub>2</sub> et charge au cours de la période d'essai.

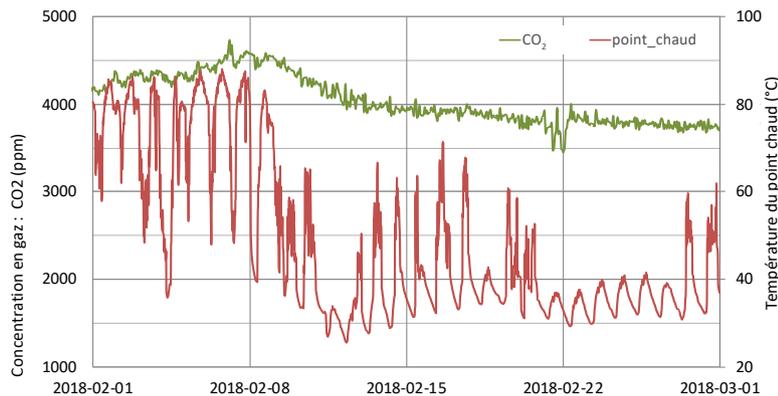


Figure 5. Température du point chaud calculée et concentration de CO<sub>2</sub> dans l'huile pendant une période d'un mois.

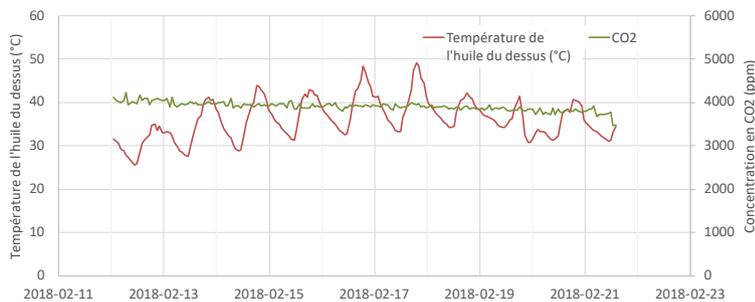


Figure 6. Température de l'huile du dessus et concentration de CO<sub>2</sub> dans l'huile pendant une période d'environ une semaine.

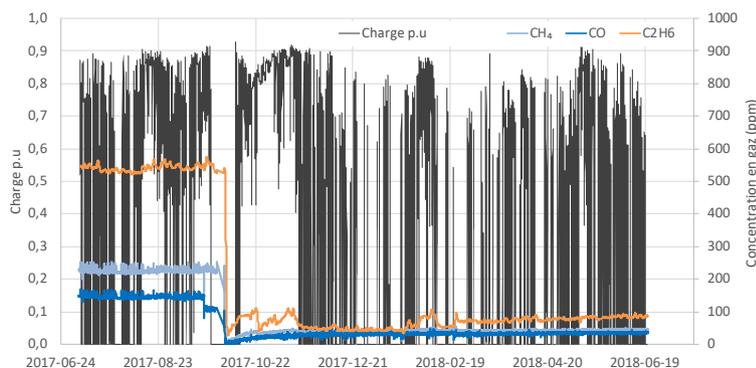


Figure 7. Autres gaz de défaut et charge au cours de la période d'essai.

## Comparaison de l'OPT100 aux tests de laboratoire

Outre le temps de réponse, les valeurs du moniteur étaient comparées aux résultats du gaz dissous obtenus en laboratoire pendant toute la période. Par mesures de simplicité, seul le méthane est présenté dans la figure 8. La ligne bleue correspond aux données mesurées par le moniteur. La zone en gris est la précision du moniteur, conformément aux spécifications. Les références de laboratoire apparaissent sous forme de points bleus.

Lors de l'évaluation d'un moniteur en ligne par comparaison aux références de laboratoire, il faut tenir compte de la qualité des échantillons et de l'incertitude des procédures de laboratoire. Par ailleurs, il est important de se rappeler que toute méthode d'analyse, en laboratoire ou en ligne, via un moniteur, a ses propres incertitudes. Elles devraient être prises en compte dans la comparaison des résultats, avant de tirer des conclusions sur les performances d'un moniteur.

Dans le cas présent, comme l'incertitude du laboratoire n'était pas connue, les spécialistes ont utilisé +/- 15 %, une valeur déterminée d'après la précision moyenne des exemples d'analyse de laboratoire publiée dans CEI 60567 [3]. C'est pourquoi, pour comparer une analyse de laboratoire à un moniteur de gaz dissous en ligne, il est plus pertinent de comparer les tendances que les valeurs réellement mesurées. Si les tendances sont similaires et si les zones d'incertitude se chevauchent, vous pouvez conclure que les deux méthodes différentes concordent.

D'un point de vue général, CTM Salto Grande étaient très satisfaits de la corrélation des valeurs, et ajoutent des moniteurs de gaz dissous en ligne à leur flotte afin de surveiller le fonctionnement du transformateur. Ils poursuivent l'échantillonnage et les tests en laboratoire afin de vérifier certains points, comme les furannes et la rigidité diélectrique, mais le directeur de la maintenance de la sous-station confirme qu'en « ajoutant des moniteurs de gaz dissous et d'humidité en ligne, nous disposons maintenant d'un outil central pour implémenter un programme de maintenance préventive chez CTM Salto Grande. »

## Humidité dans l'huile

L'humidité dans l'huile du transformateur varie en fonction de la température, sous l'effet de la charge, de la température ambiante ou des deux. Cet effet est apparu dans cette étude, comme indiqué dans la [figure 9](#). La température de l'huile située dans la partie supérieure du réservoir et l'humidité dans l'huile (ppm) sont présentées sur une période d'un an. La figure montre comment l'humidité est libérée de la surface du papier isolant pour s'infiltrer dans l'huile sous l'effet d'une augmentation de la température et retourner ensuite dans le papier quand la température diminue.

Néanmoins, la désorption d'eau est un processus plus rapide que l'absorption. L'évolution se présente ici sous forme d'une hystérésis qui apparaît quand l'humidité ppm est comparée à la température de l'huile du dessus ([figure 10](#)). Cela signifie qu'un transformateur sujet à une charge variable n'est jamais à l'équilibre.

En raison de ce phénomène, il est particulièrement difficile de définir le moment idéal pour prélever un échantillon d'huile en vue d'une analyse d'eau en laboratoire. À la même température, la concentration d'eau dans l'huile peut varier énormément sous l'effet de l'hystérésis, que la température du transformateur ait augmenté ou diminué au moment du prélèvement.

C'est un facteur très important à prendre en compte lors du prélèvement d'un échantillon d'huile pour déterminer l'humidité de l'isolant solide d'un transformateur à une charge et une température variables. C'est aussi l'une des raisons majeures pour lesquelles la mesure de l'humidité en ligne est beaucoup plus efficace en déterminant les tendances de l'humidité dans l'huile/papier sur le long terme. Mais ceci indique aussi que lors du prélèvement d'huile pour tirer des conclusions sur l'humidité dans un transformateur, il est essentiel de toujours enregistrer aussi la température de l'huile.

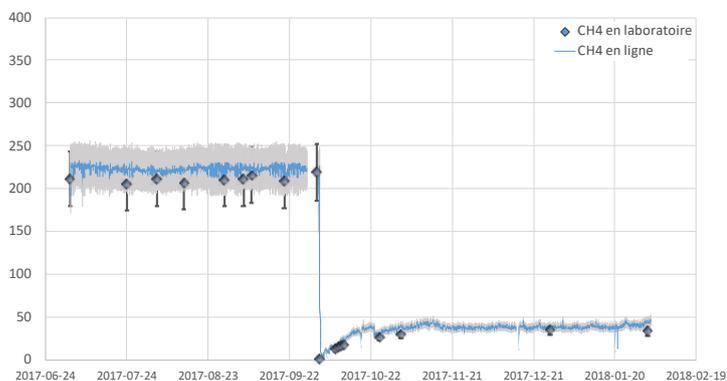


Figure 8. Valeurs du moniteur de gaz dissous OPT100 obtenues pour le méthane avec une précision de  $\pm 10\%$  (zone en gris) comparées à une référence de laboratoire, définie avec une incertitude de  $\pm 15\%$ .

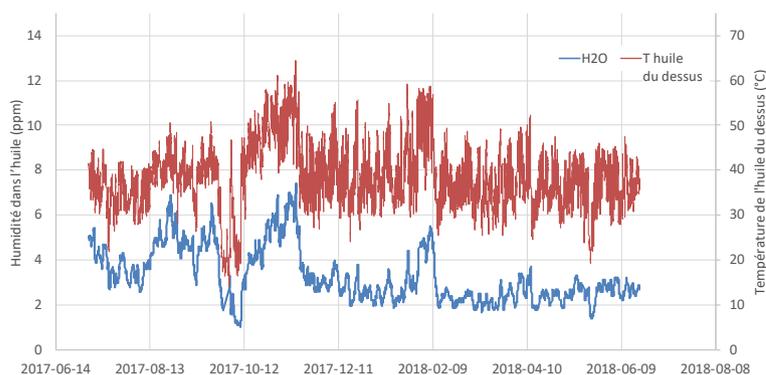


Figure 9. Humidité de l'huile en ppm et température de l'huile du dessus du réservoir sur le long terme.

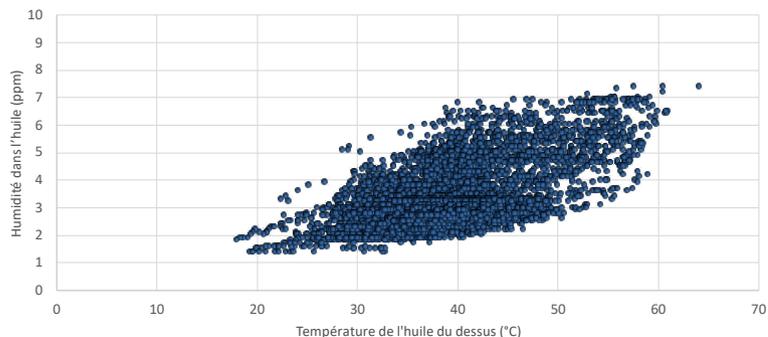


Figure 10. Humidité de l'huile et température de l'huile du dessus.

**VAISALA**

Veuillez nous contacter  
à l'adresse suivante :  
[www.vaisala.com/contactus](http://www.vaisala.com/contactus)

[www.vaisala.com](http://www.vaisala.com)



Scanner le code  
pour obtenir plus  
d'informations

Réf. B211814FR-A ©Vaisala 2019

Ce matériel est soumis à la protection du droit d'auteur. Tous les droits d'auteur sont retenus par Vaisala et ses différents partenaires. Tous droits réservés. Tous les logos et/ou noms de produits sont des marques déposées de Vaisala ou de ses partenaires. Il est strictement interdit de reproduire, transférer, distribuer ou stocker les informations contenues dans la présente brochure, sous quelque forme que ce soit, sans le consentement écrit préalable de Vaisala. Toutes les spécifications - y compris techniques - peuvent faire l'objet de modifications sans préavis.