

CFA/VISHNO 2016

**Détection des bouchons de glace dans les conduites de
décharge par méthode acoustique**

I. Schmich-Yamane^a, M. Alayrac^a, F. Zacharias^b et F. Junker^c

^aEDF - DTG, 21, avenue de l'Europe, 38000 Grenoble, France

^bZacharias, 7 impasse de la Marjoëra, 38760 Varcès, France

^cEDF - R&D, 1, avenue du Général de Gaulle, 92141 Clamart, France

isabelle.schmich-yamane@edf.fr



LE MANS

La formation de bouchons de glace en période hivernale à l'intérieur de conduites de décharge est un risque dont on cherche à se prémunir, car ces conduites sont généralement dimensionnées mécaniquement pour fonctionner en écoulement à surface libre. Or le bouchon de glace, s'il n'est pas détecté suffisamment tôt, peut éventuellement conduire à un passage en charge. L'exploitant réalise des contrôles réguliers pour détecter la formation des bouchons de glace. On recherche ici un moyen automatique qui permette la détection précoce de ces bouchons avant une obstruction totale de la conduite de décharge. Ce papier présente l'étude de faisabilité technique d'une détection d'un bouchon de glace dans les conduites de décharge par une méthode acoustique. La méthode proposée est basée sur le principe de la réflexion d'une onde acoustique sur un obstacle. Les résultats d'une campagne de mesures acoustiques sur une conduite de décharge ont permis de valider la faisabilité technique de la méthode.

1 Introduction

Les conduites de décharge servent à évacuer un surplus de débit qui ne peut pas transiter par la conduite forcée. Ces surplus de débit surviennent soit en cas de débit entrant dans la chambre de mise en charge supérieur au débit d'équipement de l'usine, soit plus ponctuellement lors d'arrêt d'un ou plusieurs groupes de production. En hiver, les débits d'eau transités sont en général faibles et résultent principalement des déclenchements des groupes de production. La conduite de décharge est donc vide la majeure partie du temps, remplie d'air humide. Cependant, des ruissellements liés à des fuites ou à de la condensation peuvent s'y produire. En cas de températures négatives, ces ruissellements sont alors susceptibles de geler. La couche de glace peut s'épaissir progressivement et créer un bouchon de glace. La formation de bouchons de glace peut donc conduire à un passage en charge du tronçon de la conduite de décharge à l'amont du bouchon. L'exploitant réalise des contrôles réguliers pour détecter la formation des bouchons de glace. Afin de permettre une détection plus précoce, on recherche un moyen de contrôle automatique.

2 Méthode acoustique proposée

La méthode proposée se base sur la détection acoustique d'un obstacle à l'intérieur d'une conduite. Il s'agit de comparer la « signature » acoustique de la conduite sans bouchon de glace avec celle obtenue avec un bouchon de glace. La « signature acoustique » est obtenue par la mesure de la fonction de transfert acoustique à l'intérieur de la conduite. Pour cela, une source sonore est placée en amont de la conduite et un récepteur à l'intérieur avant la source comme présenté sur la Figure 1.

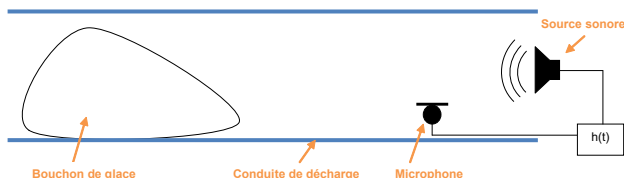


Figure 1 : Schéma de principe de la mesure acoustique

Une mesure de référence est effectuée sans obstacle. Une autre mesure est effectuée en présence d'un obstacle. L'obstacle crée une réflexion supplémentaire. La comparaison des deux mesures permet donc de détecter la présence de l'obstacle.

3 Analyse des signaux

Selon la qualité de la mesure, la superposition des signaux avec et sans obstacle ne permet pas toujours de détecter la réflexion due au bouchon. C'est pourquoi un traitement des signaux est effectué pour obtenir une détection automatique de l'obstacle.

3.1 Prétraitement des signaux

Avant d'effectuer le traitement des signaux proprement dit, il faut s'assurer d'obtenir des signaux comparables. En premier, le calcul de la moyenne glissante sur 20 échantillons permet de lisser le signal tout en conservant la granulométrie nécessaire pour visualiser les détails déterminants.

Si les signaux mesurés que l'on souhaite comparer ne correspondent pas à une célérité du son dans l'air très proche, la détection automatique du bouchon par les mesures est compromise. C'est pourquoi, un recalage du direct des signaux est effectué afin de diminuer l'effet des réflexions parasites de la conduite de décharge. Ce recalage est effectué par rééchantillonnage avec la fonction « resample » de Matlab si les directs des signaux ne se superposent pas. Ce prétraitement est essentiel si l'on veut pouvoir comparer des mesures effectuées à des moments très différents, comme par exemple en été et en hiver, où les conditions météorologiques ne sont pas identiques et par conséquent la célérité du son dans l'air n'est pas identique.

Cette méthode de recalage du direct ne fonctionne pas si la célérité du son n'est pas constante le long de la conduite de décharge ou si la position du direct n'est pas détectée correctement.

3.2 Détection automatique de l'obstacle

Tout d'abord, le calcul des valeurs absolues des signaux est effectué. Ensuite, le calcul de la différence entre le signal avec obturateur et celui sans obturateur permet de supprimer la majeure partie du son direct et des réflexions parasites, par exemple dues à la présence de coudes dans la conduite de décharge. Idéalement, la différence ne devrait faire apparaître que la réflexion supplémentaire due au bouchon de glace. C'est à cette étape que l'on peut observer l'utilité de la technique du recalage du direct des signaux.

Le calcul de l'aire, effectué à l'aide de la fonction Matlab « trapz », permet d'augmenter l'effet de la réflexion recherchée et met en avant la partie que l'on souhaite détecter.

Afin de permettre une détection automatique, une courbe de détection est définie. Elle dépend de l'amplitude du signal mesuré. Elle est ajustée à chaque installation et dépend du taux d'obturation critique que l'on souhaite détecter ainsi que de la fréquence d'échantillonnage, l'amplitude du signal, la qualité du recalage sur le direct et la longueur et diamètre de la conduite de décharge. Afin de s'affranchir de la détection de réflexions inhérentes au signal mesuré et notamment le son direct, le calcul de la courbe de détection s'effectue proportionnellement à $e^{-\alpha r}$ (r , l'échantillon et α l'absorption le long des parois [1]) à partir d'un niveau sonore proportionnel au niveau du direct du signal.

La Figure 2 présente un exemple de courbe de détection et les signaux mesurés traités pour différents taux d'obturation.

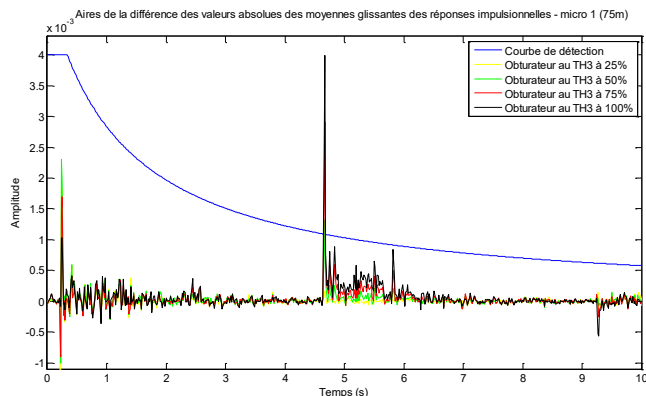


Figure 2 : Signal après post-traitement et courbe de détection pour différents taux d'obturation

3.3 Localisation de l'obstacle

La comparaison des réponses impulsionnelles avec et sans obstacle permet de visualiser une réflexion supplémentaire comme présenté sur la Figure 3.

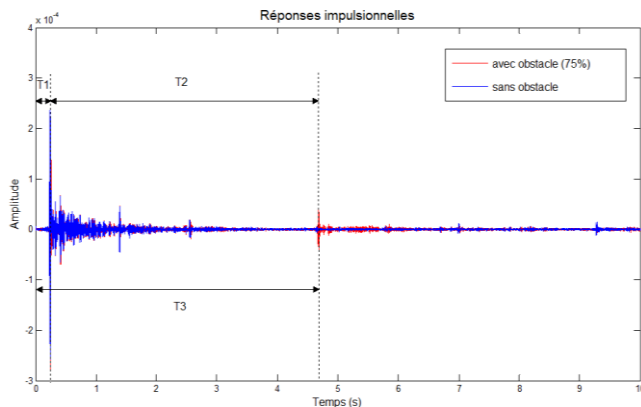


Figure 3 : Réponse impulsionnelle du micro 1 calculée sur une moyenne glissante de 20 échantillons avec (rouge) et sans (bleu) obturateur (75 % d'obturation)

A partir de la position de la réflexion supplémentaire dans la réponse impulsionnelle avec le bouchon de glace, il est possible de calculer la distance qu'a parcourue le son. Cette distance correspond à la distance entre la source et l'obstacle via le calcul décrit ci-dessous.

La méthode de calcul présentée ici repose sur plusieurs approximations :

- Le microphone est positionné dans l'axe source-obstacle,
- L'obstacle est perpendiculaire à la conduite,
- La conduite est droite (ne contient pas de coude),
- Le diamètre de la conduite est suffisamment grand par rapport à la longueur d'onde testée.

Sous ces conditions, la distance entre la source et l'obstacle peut être calculée comme suit :

$$d_{source-obstacle} = \left(\frac{T2}{2} + T1 \right) * c = \left(\frac{T3 - T1}{2} + T1 \right) * c \quad (1)$$

Avec :

- T1, le temps que met le son de la source pour atteindre le micro (signal champ direct),
- T2, le temps aller-retour que met le son pour atteindre l'obstacle depuis le micro (réflexion caractéristique d'un bouchon),
- T3, le temps que met le son pour atteindre l'obstacle depuis la source,
- c, la célérité du son dans l'air.

3.4 Caractérisation de l'obstacle

A partir du signal mesuré, il est possible de déterminer la hauteur du maximum local au niveau de la réflexion due à l'obstacle. Il est supposé que la hauteur du maximum local de la réflexion est proportionnelle à l'épaisseur du bouchon pouvant au maximum combler le diamètre de la conduite de décharge. A partir d'une mesure d'obturation totale, il est donc possible de déterminer l'épaisseur approximative du bouchon de glace.

4 Campagne de mesure

Une campagne de mesure a été réalisée sur un site EDF en octobre 2014 et avait pour but de tester la faisabilité pratique ainsi que les paramètres influant sur la mesure cf. Figure 5). La conduite de décharge était d'une longueur de 1610 m et de 80 cm de diamètre. Deux positions de mesurage ont été testées, une en amont et une en aval, différentes distances source-microphone, ainsi que différentes positions de l'obturateur avec plusieurs taux d'obturation.

4.1 Mise en œuvre expérimentale

Afin de recréer artificiellement un bouchon de glace, un obturateur a été conçu en bois massif pour ne pas entrer en vibration et recouvert d'une plaque d'aluminium afin d'obtenir des propriétés acoustiques très réfléchissantes (cf. Figure 4).

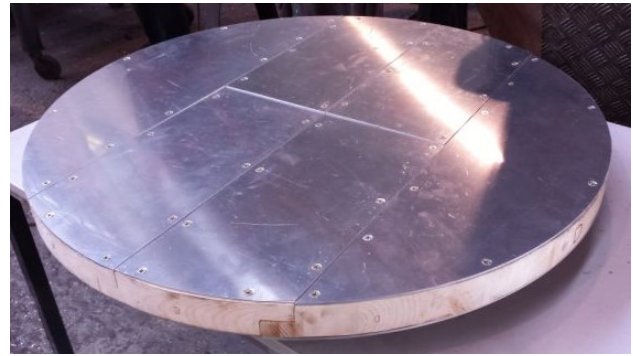


Figure 4 : Obturateur assemblé.

Pour des raisons d'accès à l'intérieur de la conduite de décharge, l'obturateur conçu est un disque d'un diamètre d'environ 79 cm et une épaisseur d'environ 5 cm en 6 parties pouvant être assemblées à l'intérieur de la conduite de décharge. Cette conception permet notamment de créer une obstruction partielle dans la conduite (cf. Figure 6).



Figure 5 : Photo de la conduite forcée et conduite de décharge au premier et second plan respectivement.

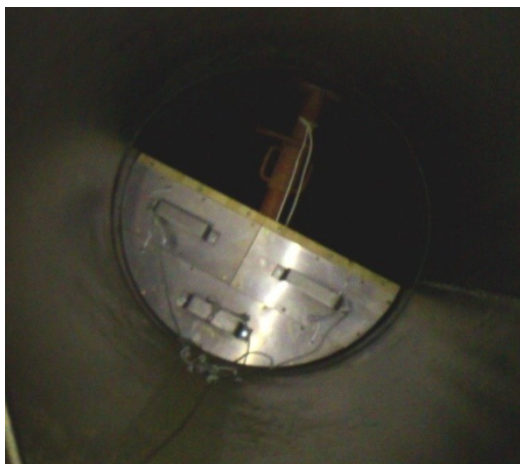


Figure 6 : Obturateur installé dans la conduite de décharge avec une obturation partielle à 50 %.

La source, une enceinte omnidirectionnelle B&K 4292, était placée à l'entrée de la conduite de décharge en amont, puis au niveau du débouché (cf. Figure 7).

En amont, deux positions de microphone B&K 4189 à l'intérieur de la conduite de décharge ont été mesurées : M1 avec une distance source – microphone d'environ 75 m et M2 avec une distance source - microphone d'environ 15 m. En aval, une position de microphone B&K 4189 a été mesurée : M3 avec une distance source - microphone d'environ 45 m (cf. Figure 8). L'acquisition des signaux a été réalisée avec la baie d'acquisition PULSE. Le signal sonore émis par la source était une séquence MLS [2] d'ordre 17 avec 19, 37 ou 74 répétitions afin d'obtenir un moyennage. La fréquence d'échantillonnage a été fixée à 8 kHz.



Figure 7 : Source sonore au niveau du débouché.

Lorsque la source était positionnée en amont de la conduite de décharge, l'obturateur a été installé successivement en milieu de conduite, puis sur une partie plus éloignée de la source (TH 3 et 5). Lorsque la source était localisée au débouché de la conduite de décharge, l'obturateur a été installé successivement en milieu de conduite puis sur une partie plus éloignée de la source (TH 2 et 3). Les différents pourcentages d'obturation (25%, 50%, 75% et 100%) ont été testés en installant progressivement les pièces constitutives de l'obturateur.

4.2 Résultats

Le post-traitement a été effectué selon les étapes décrites au §3 et on peut calculer les distances à la source comme présentée au Tableau 1.

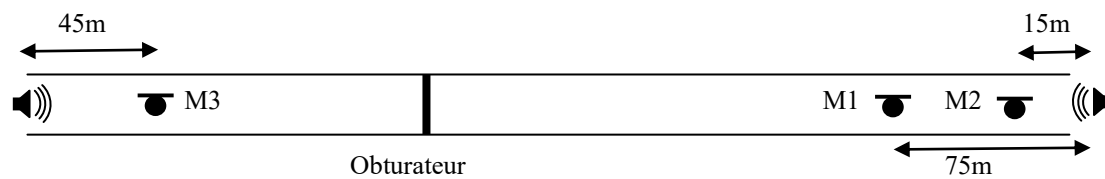


Figure 8 : Schéma visualisant les positions des sources et récepteurs.

Position de la source	Micro / Obturateur	Distance calculée
Source en Vanne de tête	Micro 1	75,5m
	Micro 2	15,9m
	Obturateur TH3	830,3m
	Obturateur TH5	1463,1m
Source au débouché	Micro 3	45,4m
	Obturateur TH3	779,1m
	Obturateur TH2	1157,2m

Tableau 1 : Distances source-microphone ou source-obturateur calculées à partir des mesures acoustiques.

Les distances source-obturateur calculées sont tout à fait cohérentes avec le positionnement sur site.

La Figure 9 présente les résultats pour différents taux d'obturation. La détection du taux d'obturation dépend du rapport signal sur bruit des mesures. En effet, la détection ne peut se faire que si les signaux mesurés avec et sans obturation sont significativement différents, c'est à dire si la présence de l'obturateur génère une réflexion d'amplitude suffisamment élevée pour ne pas être noyée dans le bruit de fond. Cela est le cas pour toutes les obturations à 100% et à 75% ; toutes les obturations à 50% sauf pour la distance maximale entre la source et l'obturateur. Aucune des obturations testées à 25% n'ont pu être détectées.

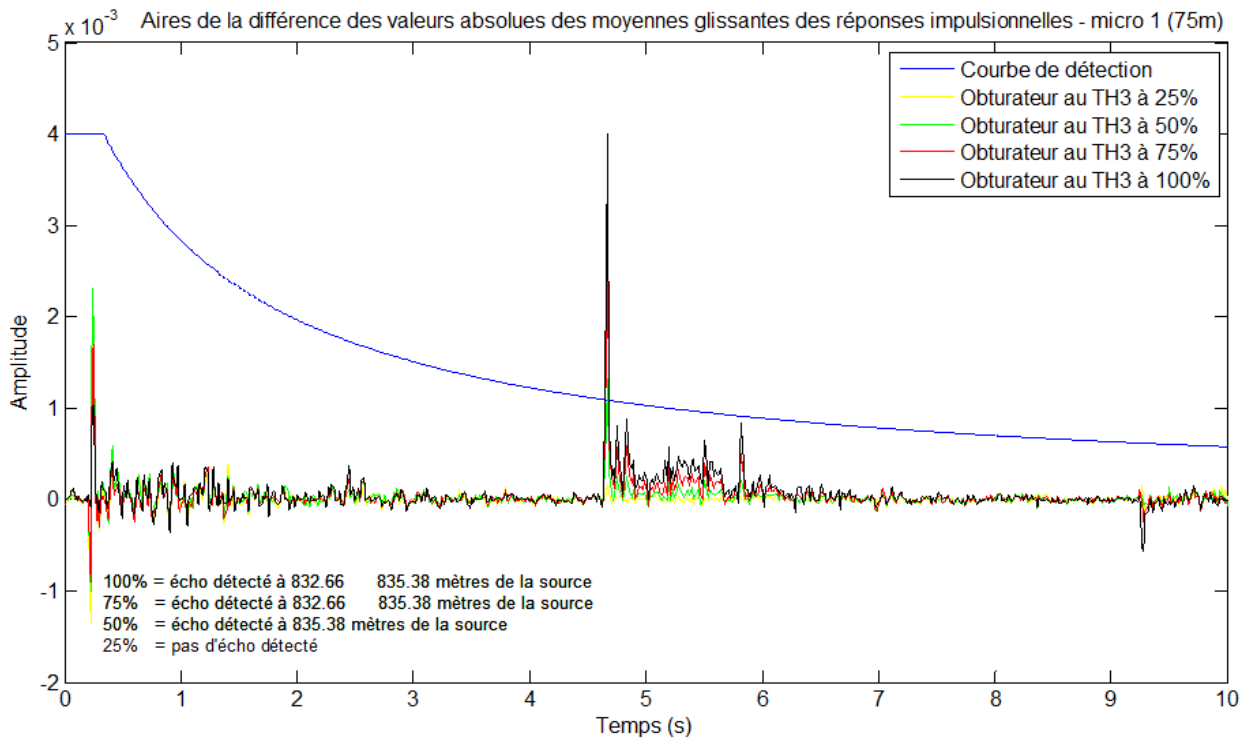


Figure 9 : Source sonore au niveau du débouché.

5 Conclusion

Cette étude préliminaire a permis de valider la faisabilité technique de la détection d'un bouchon de glace dans les conduites de décharge par une méthode acoustique.

Cependant, plusieurs points restent à étudier : Tout d'abord, il serait intéressant de mieux connaître le processus de formation du bouchon de glace et les différentes formes géométriques qu'un bouchon de glace peut présenter. Ensuite, des calculs par éléments finis ou des essais sur maquette à l'échelle réduite avec les différentes formes géométriques de bouchons permettraient d'effectuer une étude paramétrique sur la forme de la conduite ainsi que l'influence des gradients de température et des variations d'humidité, de pression et d'écoulement de l'air (vent) à l'intérieur de la conduite. Afin d'augmenter le rapport signal sur bruit, il serait intéressant d'optimiser le signal d'émission de la source, notamment en terme de niveau et de directivité.

En même temps, il faut étudier la faisabilité pratique pour une mise en œuvre en respectant les conditions d'exploitation, notamment le potentiel noyage de l'entrée de la conduite de décharge au niveau de la chambre de mise en charge. Cela aura un impact sur le choix du matériel ainsi que la position de la source et des récepteurs. Afin de valider la faisabilité pratique, une deuxième campagne de mesure devra être mise en œuvre.

A terme, cette méthode, pour laquelle un dépôt de brevet a été effectué, pourrait remplacer les méthodes actuellement utilisées afin de détecter de façon automatique d'éventuelles obturations de la conduite de décharge et qui pourrait localiser précisément le bouchon de glace.

Remerciements

Pour cette étude, DTG était assisté par la société ABCYSS qui a effectué les travaux de sécurisation des postes de travail et d'installation des sources de bruit et des microphones à l'intérieur de la conduite de décharge.

Références

- [1] D. E. Weston, « The theory of the propagation of plane sound waves in tubes », Proc. Phys. Soc. London Sec. **B66**, pp.695-709 (1953)
- [2] « MLS_Theory », Communication and Signal Processing Group, MSc Communications and Signal Processing, Imperial College London