

## ARTICLE

# Détection acoustique distribuée sur les réseaux de télécommunications

Auteurs: Marc-André Laliberté<sup>1</sup>, Patrice Dionne<sup>2</sup>

1. Gestionnaire de ligne de produits, Communications optiques, TeraXion

2. Gestionnaire de ligne de produits, Détection optique, TeraXion

Dans le domaine de la détection acoustique distribuée (DAS), où des données précieuses sont extraites des signaux faiblement rétrodiffusés par les fibres optiques, les avancées technologiques continuent de repousser les limites de ce qui est possible. L'utilisation de lasers à raie d'émission ultra-fine s'est avérée essentielle pour améliorer la résolution spatiale, étendre les distances de détection et élargir la gamme de fréquences des systèmes DAS. Les lasers à raie d'émission ultra-fine offrent une longueur d'onde de sortie précise et stable, ce qui en fait des composants indispensables pour atteindre les meilleures performances en détection acoustique distribuée. Cela est particulièrement pertinent lors de l'utilisation de DAS sur les réseaux de télécommunications, lesquels sont vastes et omniprésents et exploitant des millions de kilomètres de fibres optiques déjà installées dans le monde entier.

Cet article aborde l'importance des lasers à raie d'émission ultra-fine, en mettant l'accent sur leur rôle crucial dans l'exploitation du véritable potentiel de la technologie DAS sur les fibres optiques des réseaux de télécommunication.

### Les bases de la détection acoustique distribuée (DAS)

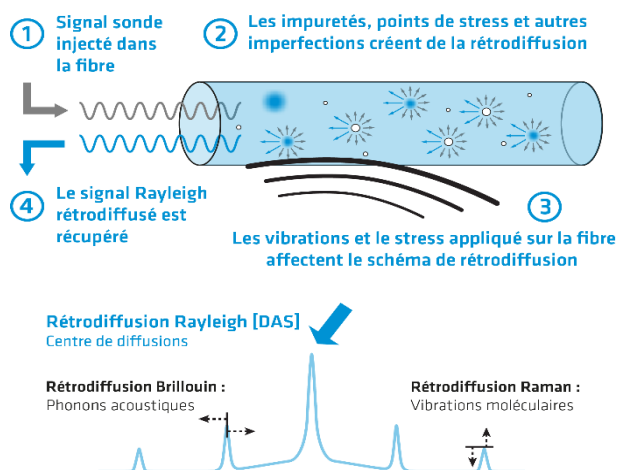


Figure 1. Principes fondamentaux du DAS

La détection acoustique distribuée est une technologie de pointe qui transforme les fibres optiques standards en un vaste réseau de capteurs. En injectant de la lumière laser dans ces fibres et en mesurant le signal Rayleigh rétrodiffusé, les systèmes DAS peuvent détecter et analyser avec précision les perturbations causées par les vibrations et le stress sur toute la longueur de la fibre interrogée. Cette percée a ouvert la voie à de nombreuses applications, allant de la surveillance des pipelines à la sécurisation de périmètres et à l'exploration sismique.

Maintenant, grâce aux performances améliorées des lasers à raie d'émission ultra-fine et aux nouvelles approches de détection, l'utilisation des fibres optiques des réseaux de télécommunication élargit davantage les possibilités de la technique en fournissant une quantité massive de données environnementales à exploiter.[1]

### Avancées dans les techniques DAS

Les techniques de réflectométrie optique en domaine temporel sensible à la phase ( $\phi$ -OTDR) illustrent davantage l'importance des lasers à raie d'émission ultra-fine dans les applications DAS. Ces techniques exploitent le faible bruit de phase des lasers en propageant une lumière hautement cohérente dans la fibre et en analysant le signal rétrodiffusé, établissant une empreinte spatialement résolue de la fibre interrogée et mesurant dynamiquement ses variations. Le processus de récupération de phase permet ensuite de quantifier et de localiser des événements « acoustiques » avec une grande précision, améliorant considérablement les performances par rapport aux systèmes traditionnels de détection par fibre.

Ci-dessous se trouve une liste non exhaustive d'approches de mesure courantes, dont les concepts de base se retrouvent dans une multitude de variantes ingénieuses de DAS [2,3].

#### Techniques différentielles

Les techniques de détection différentielle utilisent des algorithmes de démodulation de phase pour corrélérer les signaux rétrodiffusés à un oscillateur local et extraire des informations acoustiques. Les lasers à raie d'émission ultra-fine permettent d'obtenir des signaux de sonde et de référence de haute qualité nécessaires pour des mesures de corrélation précises. La longueur d'onde de sortie précise des lasers à raie d'émission ultra-fine garantit des fluctuations de phase minimales tout au long d'une séquence de mesures. Cela améliore la précision et la sensibilité du système DAS, permettant une détection et une localisation efficace des événements acoustiques.

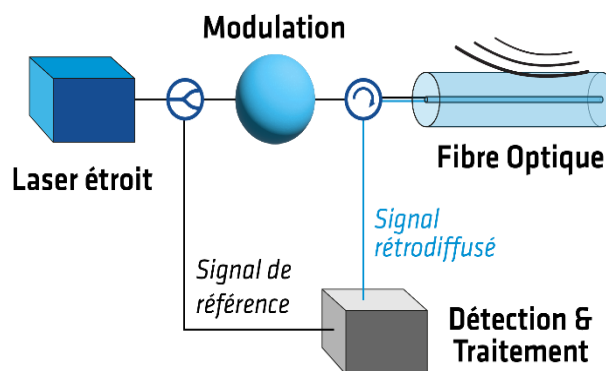


Figure 2. Schéma de base de détection cohérente

#### Techniques à impulsions codées

Ces techniques appliquent des séquences de codes autocorrélés aux impulsions cohérentes pour récupérer les informations liées aux perturbations, ce qui améliore les capacités de détection en réduisant le niveau de bruit. Les lasers à raie d'émission ultra-fine permettent de générer des impulsions codées avec une synchronisation précise et des interférences croisées minimales. Cela maximise la distinction des signaux codés, facilitant l'identification et l'analyse précise des événements acoustiques, même dans des environnements difficiles avec un bruit de fond important.

### Techniques d'impulsion chirpée

L'utilisation d'impulsions chirpées ajoute une touche particulière à la  $\phi$ -OTDR avec une fréquence en longueur d'onde variant sur la durée de l'impulsion (cela peut même être considéré comme une séquence codée). Après une perturbation sur la fibre, le changement local de l'indice de réfraction affectera chaque longueur d'onde de l'impulsion de manière différente et générera un motif de retard corrélé à l'amplitude de l'événement. La diversité de fréquences offre une autre dimension à la mesure, améliorant ainsi les performances en DAS [4]. Les lasers haute performance facilitent la génération d'impulsions chirpées avec une linéarité élevée et une distorsion minimale, garantissant des mesures précises dans le domaine temporel.

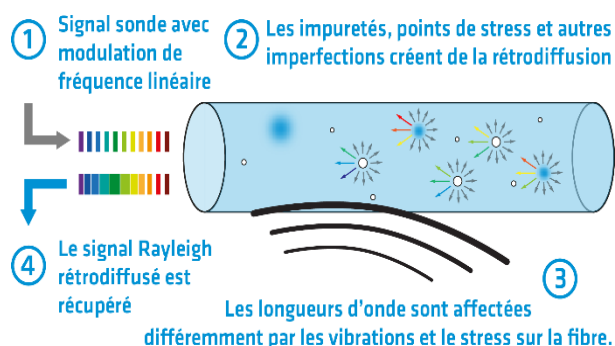


Figure 3. Concept de base des pulses chirpés

### Les bénéfices des lasers à raie d'émission ultra-fine

#### Résolution spatiale améliorée

En réduisant les distorsions du signal et en minimisant l'élargissement de la largeur d'impulsion, ces lasers atténuent les effets néfastes de la dispersion et des non-linéarités dans la fibre, permettant la détection des plus légères perturbations acoustiques avec une précision exceptionnelle. La résolution spatiale améliorée permet une surveillance et une localisation détaillées des événements le long de la fibre, révolutionnant des applications telles que la surveillance de l'intégrité des infrastructures et la gestion intelligente de celles-ci.

#### Distances de détection étendues

Maintenir la sensibilité et la qualité du signal sur de longues distances est un défi persistant dans les systèmes DAS. Les lasers à raie d'émission ultra-fine réduisent la dégradation du signal causée par la diffusion et d'autres altérations, ce qui étend la distance de détection. En exploitant la portée étendue des fibres optiques des réseaux de télécommunication, le DAS peut surveiller de vastes zones et des infrastructures critiques avec une grande fidélité et une grande précision. La capacité de couvrir des sections étendues de fibre pour une détection distribuée réduit les coûts de maintenance et permet également l'utilisation de liens plus longs tels que les câbles sous-marins.

#### Gamme de fréquences élargie

La plage de fréquences sur laquelle un système DAS peut capturer efficacement des signaux acoustiques revêt une importance primordiale dans diverses applications. La plage inférieure à  $\sim 1000$  Hz est particulièrement intéressante car elle couvre les activités liées aux villes telles que la circulation et les constructions, ainsi que les phénomènes naturels tels que les glissements de terrain et les tremblements de terre. C'est également la plage la plus difficile à traiter, principalement limitée par le bruit de phase des lasers à de si basses fréquences.

Les lasers à raie d'émission ultra-fine haute performance sont donc essentiels pour élargir la plage de fréquences détectables, permettant une détection et une analyse précises des événements acoustiques de basses fréquences capturés par les fibres de télécommunication, fournissant ainsi des informations précieuses sur la santé des infrastructures, les risques auxquels ces derniers sont soumis, la dynamique urbaine et l'activité sismique.

### Les solutions de TeraXion pour le DAS

Bien que les lasers à raie d'émission ultra-fine aient longtemps été reconnus pour leur importance en détection acoustique distribuée, le rapport coût-performance et l'adaptabilité pour un déploiement massif sur les réseaux de télécommunication ont entravé leur adoption généralisée.

Grâce à ses lasers à raie d'émission ultra-fine PureSpectrum™, TeraXion a su exploiter son expertise en conception de diodes laser DFB, en contrôle de lasers à faible bruit et en électronique de verrouillage de fréquence. Cela a permis le développement de modules laser semi-conducteur à ligne spectrale ultra étroite, affichant la stabilité améliorée des lasers à fibre (Figure 4) avec le bruit d'amplitude des lasers DFB de la plus haute qualité (Figure 5).

Ces solutions sont hautement performantes et tout autant accessibles, donc parfaitement adaptées au déploiement généralisé de systèmes DAS sur les réseaux de télécommunication.

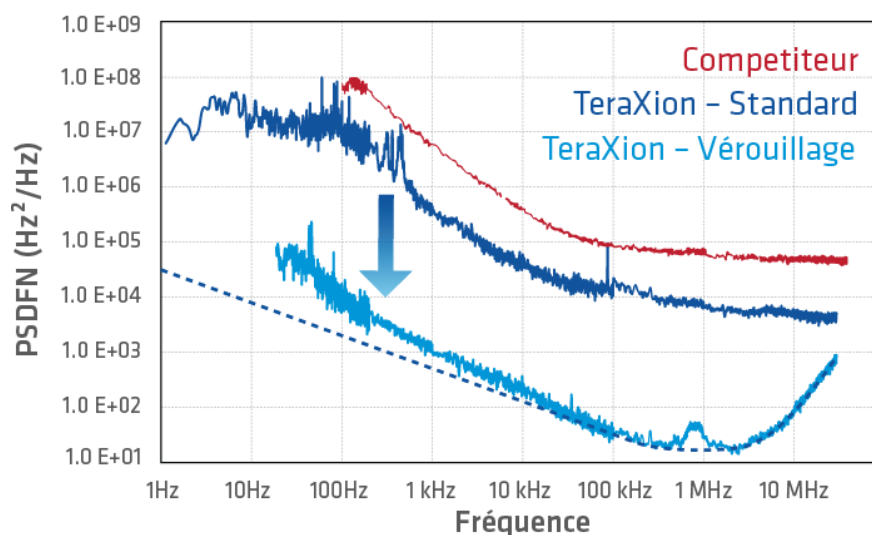


Figure 4. Densité spectrale de puissance du bruit de fréquence (PSDFN) des lasers DFB TeraXion en fonctionnement libre (bleu foncé) et verrouillés en fréquence (bleu clair), comparés à un laser DFB d'un concurrent (rouge).

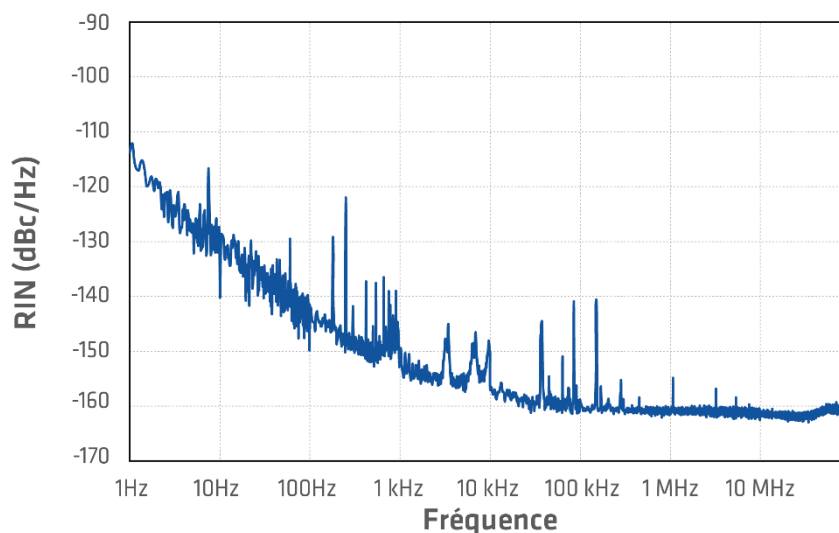


Figure 5. Intensité relative du bruit (RIN) des lasers DFB de TeraXion.

## Conclusion

Alors que les avancées se poursuivent, les efforts conjoints dans les lasers à raie d'émission ultra-fine et la technologie DAS offrent de nouvelles possibilités et ouvrent la voie à des applications révolutionnaires.

L'importance des lasers à raie d'émission ultra-fine ne peut être surestimée, car ils servent de catalyseurs pour exploiter le véritable potentiel de la détection acoustique distribuée sur les réseaux de télécommunication, révolutionnant la façon dont nous surveillons, analysons et comprenons l'environnement acoustique qui nous entoure.

## Bibliographie

- [1] Ip E *et al.*, Using Global Existing Fiber Networks for Environmental Sensing. Proceedings of the IEEE, 2022, vol. 110, no. 11, pp. 1853-1888  
<https://doi.org/10.1109/JPROC.2022.3199742>
- [2] Shang Y, Sun M, Wang C, Yang J, Du Y, Yi J, Zhao W, Wang Y, Zhao Y, Ni J., Research Progress in Distributed Acoustic Sensing Techniques. Sensors, 2022, vol. 22, p. 6060  
<https://doi.org/10.3390/s22166060>
- [3] Ogden H.M., Murray M.J., Murray J.B. *et al.*, Frequency multiplexed coherent  $\phi$ -OTDR. Sci Rep, 2021, vol. 11, p. 17921  
<https://doi.org/10.1038/s41598-021-97647-z>
- [4] Fernández-Ruiz M. R., Costa L. and Martins H. F., Distributed Acoustic Sensing Using Chirped-Pulse Phase-Sensitive OTDR Technology. Sensors, 2019, vol. 19, no 20, p. 4368  
<https://doi.org/10.3390/s19204368>

© 2023 TeraXion Inc. Tous droits réservés.

TeraXion Inc. se réserve les droits d'ajouter, de modifier, d'améliorer, de retirer et/ou de changer ses gammes de produits et/ou leurs caractéristiques à tout moment et sans préavis. Bien que tous les efforts soient déployés pour assurer l'exactitude des informations fournies sur cette fiche d'information, TeraXion Inc. ne garantit pas leur exactitude et ne peut être tenu responsable des inexactitudes ou des omissions

**TeraXion**

Une compagnie d'Indie Semiconductor

**teraxion.com**

---

teraxion.com

2716 rue Einstein

Québec (Québec) CANADA G1P 4S8

+1 (877) 658-8372 / info@teraxion.com