

# Aspects pratiques de l'amplificateur Raman

## Contenu

[Introduction](#)

[Informations générales](#)

[Types courants d'amplificateurs Raman](#)

[Principe](#)

[Théorie du Raman Gain](#)

[Sources de bruit](#)

[Informations connexes](#)

## Introduction

Ce document décrit les aspects pratiques de la mise en oeuvre de l'amplificateur Raman dans le réseau optique. Raman est plus facile à comprendre, liste en bas les avantages, les exigences et les applications.

Contribué par Sanjay Yadav, ingénieur TAC Cisco.

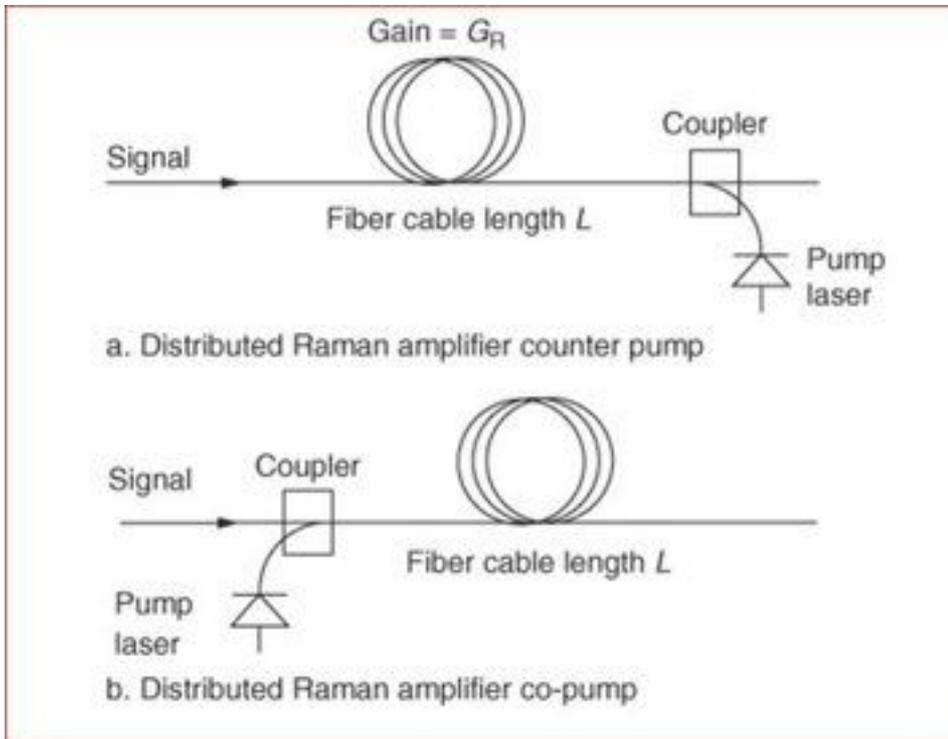
## Informations générales

1. L'amplificateur Raman est généralement beaucoup plus coûteux et a moins de gain qu'un amplificateur EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier). Par conséquent, il est utilisé uniquement pour des applications spécialisées.
2. Le principal avantage de cet amplificateur par rapport à l'EDFA est qu'il génère beaucoup moins de bruit et ne dégrade donc pas autant l'OSNR (Optical to Signal Noise Ratio) que l'EDFA.
3. Son application type est dans les étendues EDFA où un gain supplémentaire est nécessaire mais où la limite OSNR a été atteinte.
4. L'ajout d'un amplificateur Raman peut ne pas affecter de manière significative OSNR, mais peut fournir un gain de signal allant jusqu'à 20 dB.
5. Un autre attribut clé est le potentiel d'amplification de n'importe quelle bande de fibres, pas seulement la bande C comme c'est le cas pour l'EDFA. Cela permet aux amplificateurs Raman de dynamiser les signaux dans les bandes O, E et S (pour l'application CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing)).
6. L'amplificateur fonctionne sur le principe de Stimulated Raman Scattering (SRS), qui est un effet non linéaire.
7. Il se compose d'un laser à pompe à haute puissance et d'un coupleur à fibre optique (circulateur optique).
8. Le support d'amplification est la fibre de calibrage dans un amplificateur Raman de type distribué (DRA).
9. Le laser DFB (Distributed Feedback) est une bande spectrale étroite utilisée comme mécanisme de sécurité pour la carte Raman. DFB envoie une impulsion pour vérifier toute réflexion rétrospective qui existe dans la longueur de la fibre. Si aucun HBR (High Back

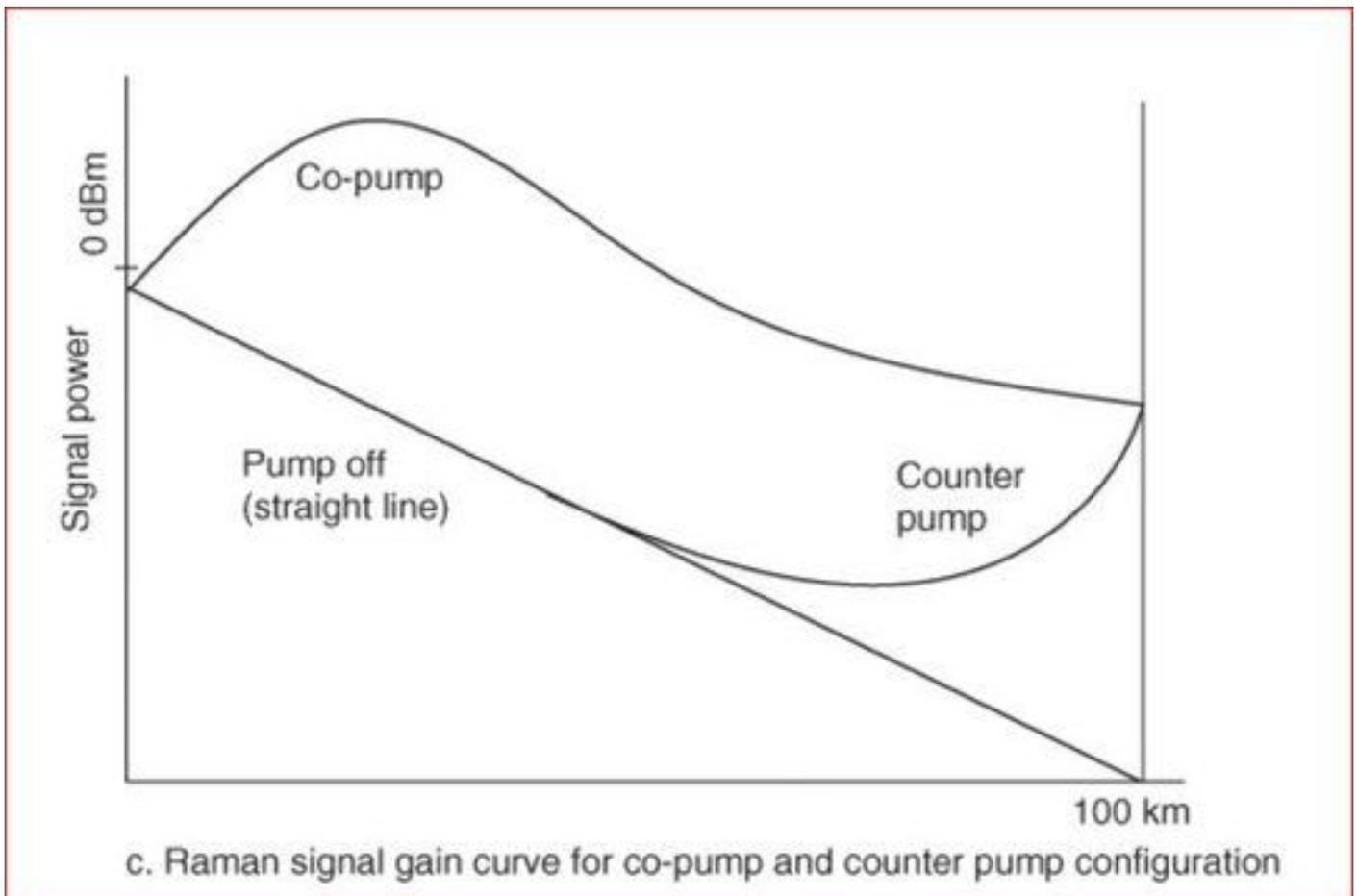
Reflection) n'est trouvé, Raman commence à transmettre.

10. En général, le TCB est vérifié dans les premiers kilomètres de fibres jusqu'à 20 Km. Si HBR est détecté, Raman ne fonctionnera pas. Une partie de l'activité de la fibre est nécessaire une fois que vous avez trouvé la zone de problème via OTDR.

## Types courants d'amplificateurs Raman



- L'amplificateur Raman de type balisé ou discret contient en interne une bobine de fibre suffisamment longue où se produit l'amplification du signal.
- Le laser de la pompe DRA est raccordé à l'étendue de fibre soit dans une pompe à contre-courant (pompe à sens inverse), soit dans une pompe à copompe (pompe avant), soit dans une configuration.
- La configuration de la contre-pompe est généralement préférée car elle n'entraîne pas de puissances de signal excessivement élevées au début de la plage de fibres, ce qui peut entraîner des distorsions non linéaires comme le montre l'image.



L'avantage des configurations de co-pompe est qu'elles produisent moins de bruit.

## Principe

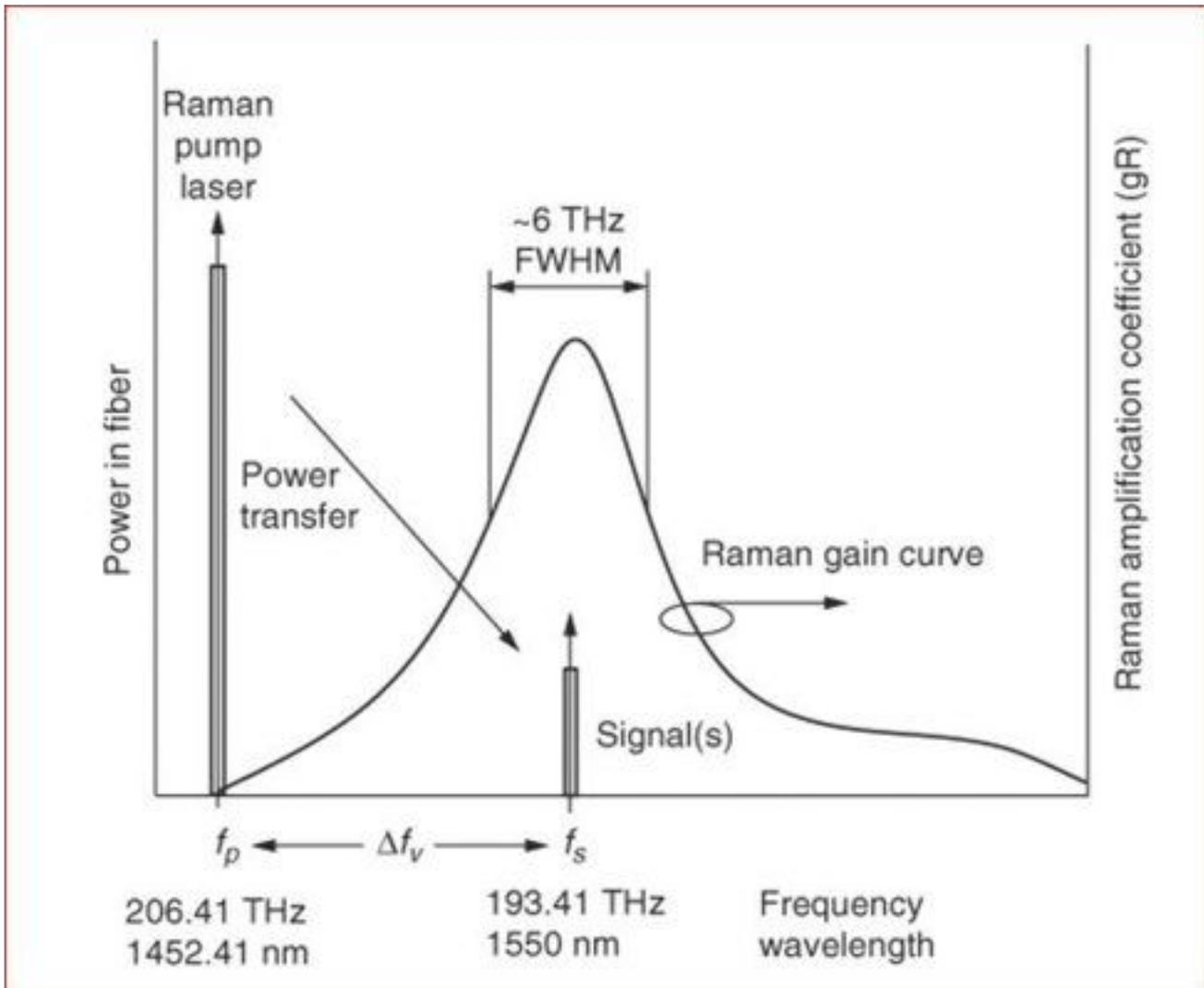
Lorsque les photons laser de la pompe se propagent dans la fibre, ils entrent en collision et sont absorbés par des molécules de fibre ou des atomes. Cela excite les molécules ou les atomes à des niveaux d'énergie plus élevés. Les niveaux d'énergie les plus élevés ne sont pas des états stables, ils se décomposent rapidement en niveaux d'énergie intermédiaires inférieurs qui libèrent de l'énergie sous forme de photons dans n'importe quelle direction à des fréquences plus basses. On parle alors de diffusion Raman spontanée ou de diffusion Stokes, ce qui contribue au bruit dans la fibre.

Puisque les molécules se décomposent à un niveau intermédiaire de vibration d'énergie, le changement d'énergie est inférieur à l'énergie reçue initialement au moment de l'excitation de la molécule. Ce changement de l'énergie du niveau excité au niveau intermédiaire détermine la fréquence du photon depuis  $\Delta f = \Delta E / h$ . On parle alors de décalage de fréquence de Stokes et on détermine la forme et l'emplacement de la courbe du gain Raman par rapport à la courbe de fréquence. L'énergie qui reste du niveau intermédiaire au niveau du sol est dissipée sous forme de vibrations moléculaires (phonons) dans la fibre. Comme il existe une large gamme de niveaux d'énergie plus élevés, la courbe de gain a une large largeur spectrale d'environ 30 THz.

Au moment de la diffusion Raman stimulée, les photons de signal copropagent le spectre de la courbe des gains de fréquence et acquièrent de l'énergie à partir de l'onde Stokes, ce qui entraîne une amplification du signal.

## Théorie du Raman Gain

La largeur FWHM de la courbe de gain Raman est d'environ 6THz (48 nm) avec un pic à environ 13.2THz sous la fréquence de la pompe. Il s'agit du spectre d'amplification de signal utile. Par conséquent, afin d'amplifier un signal dans la plage de 1 550 nm, la fréquence laser de la pompe doit être inférieure de 13,2THz à la fréquence du signal à environ 1 452 nm.



Plusieurs lasers à pompe avec courbes de gain côte à côte sont utilisés pour élargir la courbe de gain Raman totale.

$$f_p = f_s + \Delta f_v$$

Lorsque  $f_p$  = fréquence de la pompe, THz  $f_s$  = fréquence du signal, THz  $\Delta f_v$  = déplacement de fréquence Raman Stokes, THz.

Le gain Raman est le gain de signal net distribué sur la longueur effective de la fibre. Il est fonction de la puissance laser de la pompe, de la longueur effective de la fibre et de la surface de la fibre.

Pour les fibres dont la surface effective est faible, comme dans les fibres de compensation de dispersion, le gain Raman est plus élevé. Le gain dépend également de la distance entre le signal

et la longueur d'onde de la pompe laser, le gain du signal Raman est également spécifié et le champ mesuré comme gain actif/passif. Ceci est défini comme le rapport de la puissance du signal de sortie avec le laser de la pompe allumé et éteint. Dans la plupart des cas, le bruit Raman ASE a peu d'effet sur la valeur mesurée du signal lorsque le laser de la pompe est allumé. Toutefois, s'il y a un bruit considérable, qui peut être observé lorsque la largeur spectrale de mesure est grande, alors la puissance acoustique mesurée avec le signal éteint est soustraite de la pompe sur la puissance du signal afin d'obtenir une valeur précise de gain de marche/arrêt. Le gain de marche/arrêt Raman est souvent appelé gain Raman.

$$G_{R.on/off} = 10 \log \left( \frac{P_s(\text{pump.on,signal.on}) - P_{\text{noise}}(\text{pump.on,signal.off})}{P_s(\text{pump.off,signal.on})} \right)$$

## Sources de bruit

Le bruit créé dans une plage DRA se compose :

- Émissions spontanées amplifiées (ASE)
- DRS (Double Rayleigh Scattering)
- Bruit laser de pompe

Le bruit de l'ASE est dû à la génération de photon par diffusion Raman spontanée.

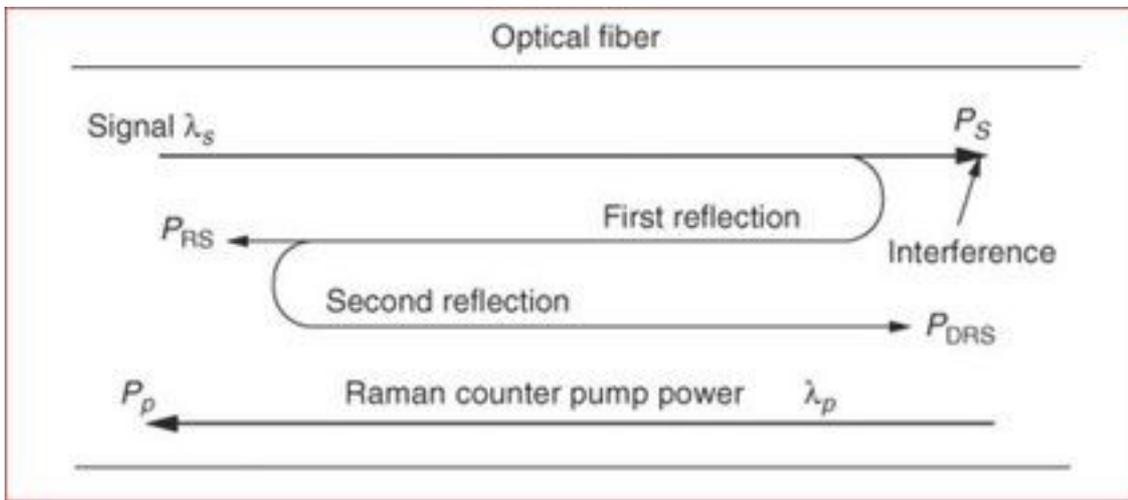
Le bruit DRS se produit lorsque la puissance du signal réfléchi deux fois due à la diffusion Rayleigh est amplifiée et interfère avec le signal d'origine sous forme de bruit de diaphonie.

Les réflexions les plus fortes proviennent des connecteurs et des épissures défectueuses.

En règle générale, le bruit DRS est inférieur au bruit de l'ASE, mais pour plusieurs travées Raman, il peut s'additionner. Pour réduire cette interférence, vous pouvez utiliser des connecteurs Ultra Polonais (UPC) ou des connecteurs Angle Polonais (APC). Des isolateurs optiques peuvent être installés après les diodes laser afin de réduire les réflexions dans le laser. En outre, les traces de travées OTDR peuvent aider à localiser les événements à forte réflexion pour la réparation.

La configuration DRA de la contre-pompe améliore les performances OSNR pour les gains de signal de 15 dB et plus. Le bruit de la pompe laser est moins préoccupant car il est généralement assez faible avec un RIN supérieur à 160 dB/Hz.

Les effets non linéaires du noyau peuvent également contribuer au bruit dû à la puissance élevée de la pompe laser. Pour les fibres à faible bruit DRS, le bruit Raman dû à ASE est bien meilleur que le bruit EDFA. En règle générale, le bruit Raman est de -2 à 0 dB, soit environ 6 dB de mieux que le bruit EDFA.



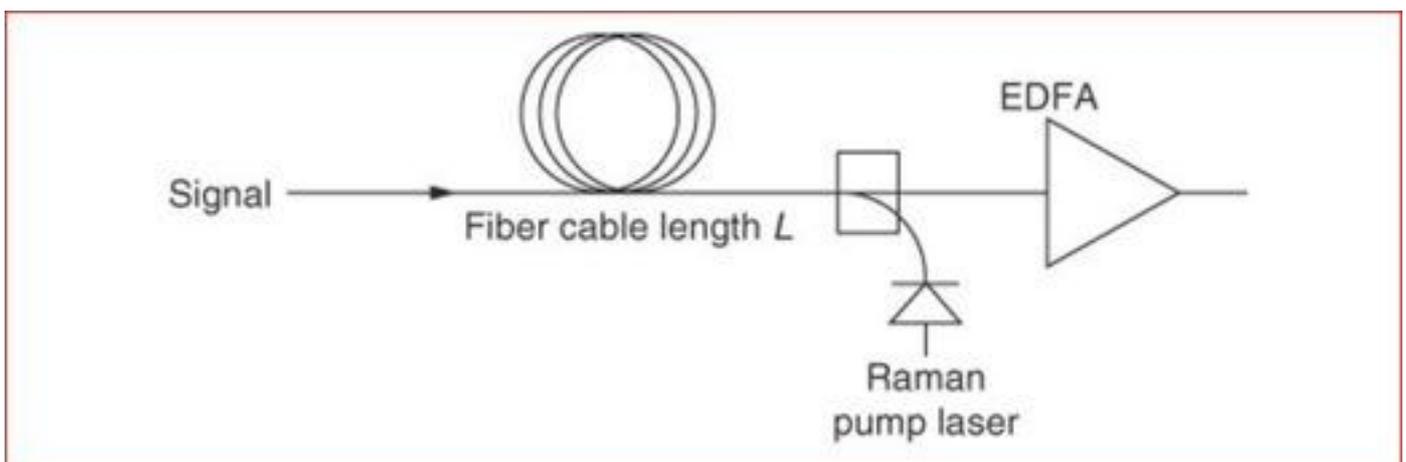
Le facteur de bruit de l'amplificateur Raman est défini comme étant l'OSNR à l'entrée de l'amplificateur vers l'OSNR à la sortie de l'amplificateur.

$$F_R = \frac{\text{OSNR}_{\text{in}}}{\text{OSNR}_{\text{out}}}$$

$$\text{NF}_R = 10 \log(F_R)$$

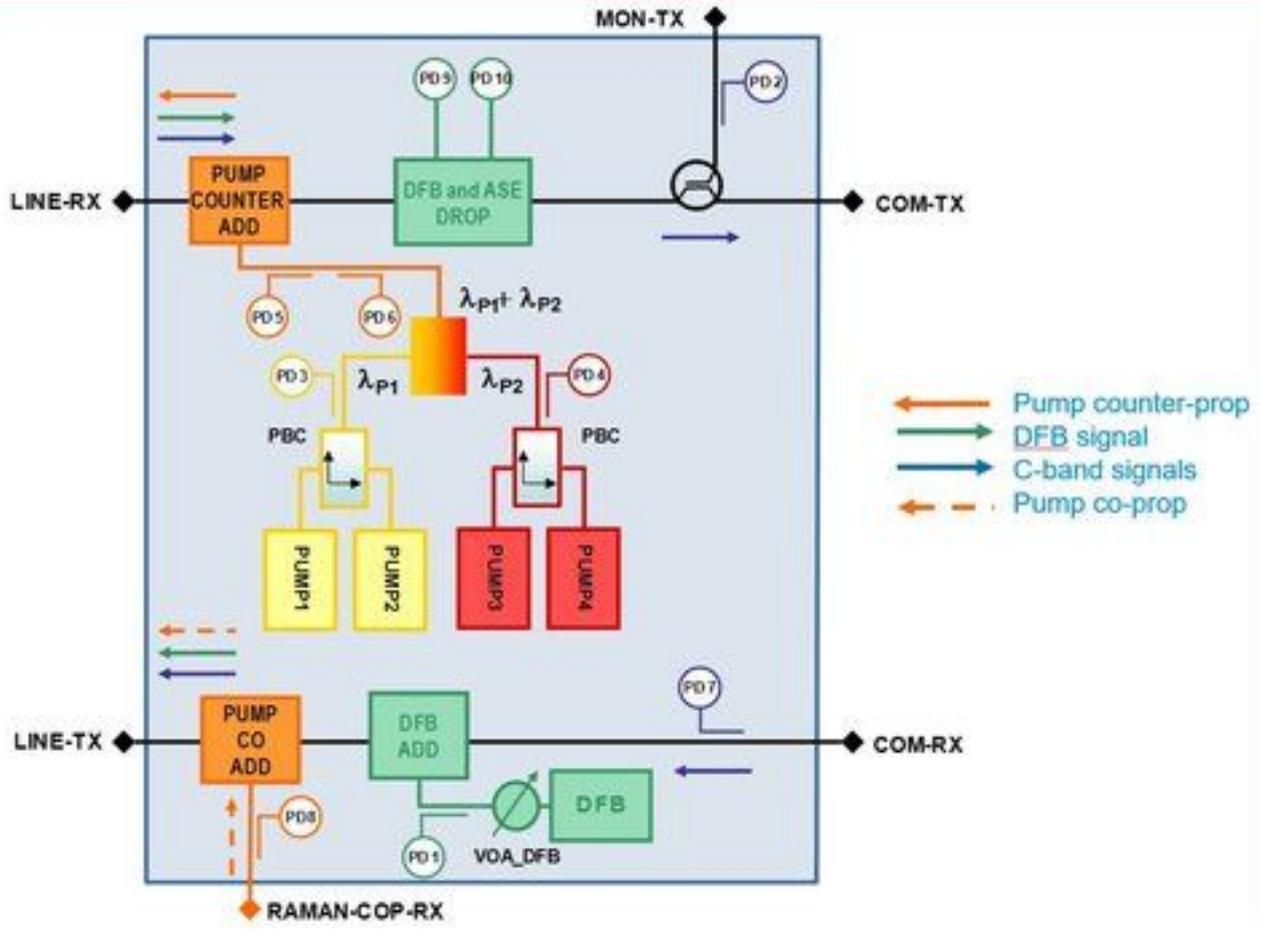
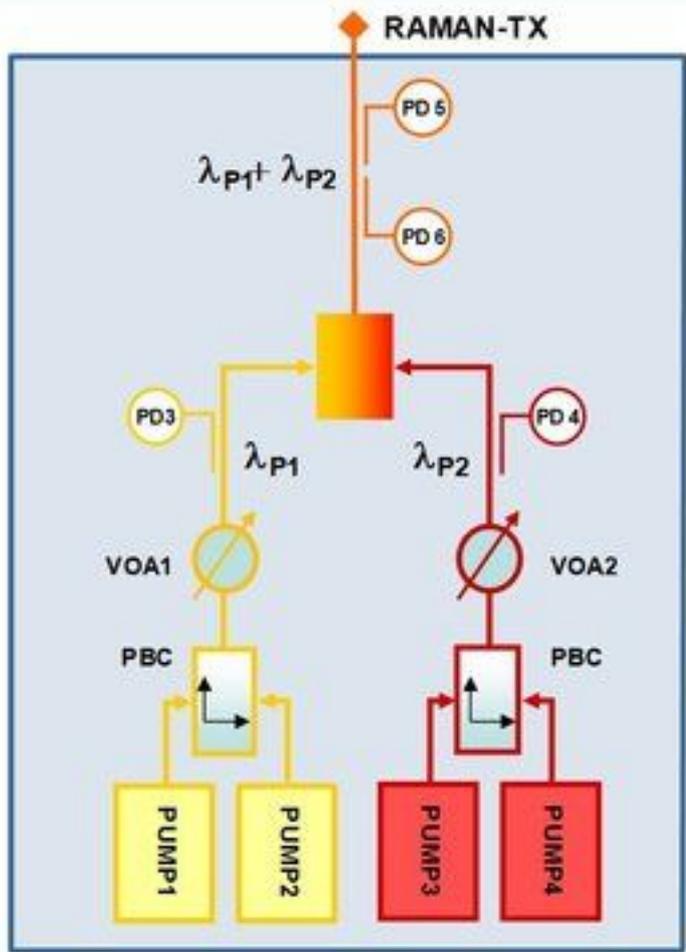
La figure du bruit est la version dB du facteur de bruit.

Le bruit DRA et le gain de signal sont répartis sur la longueur effective de la fibre de travée.

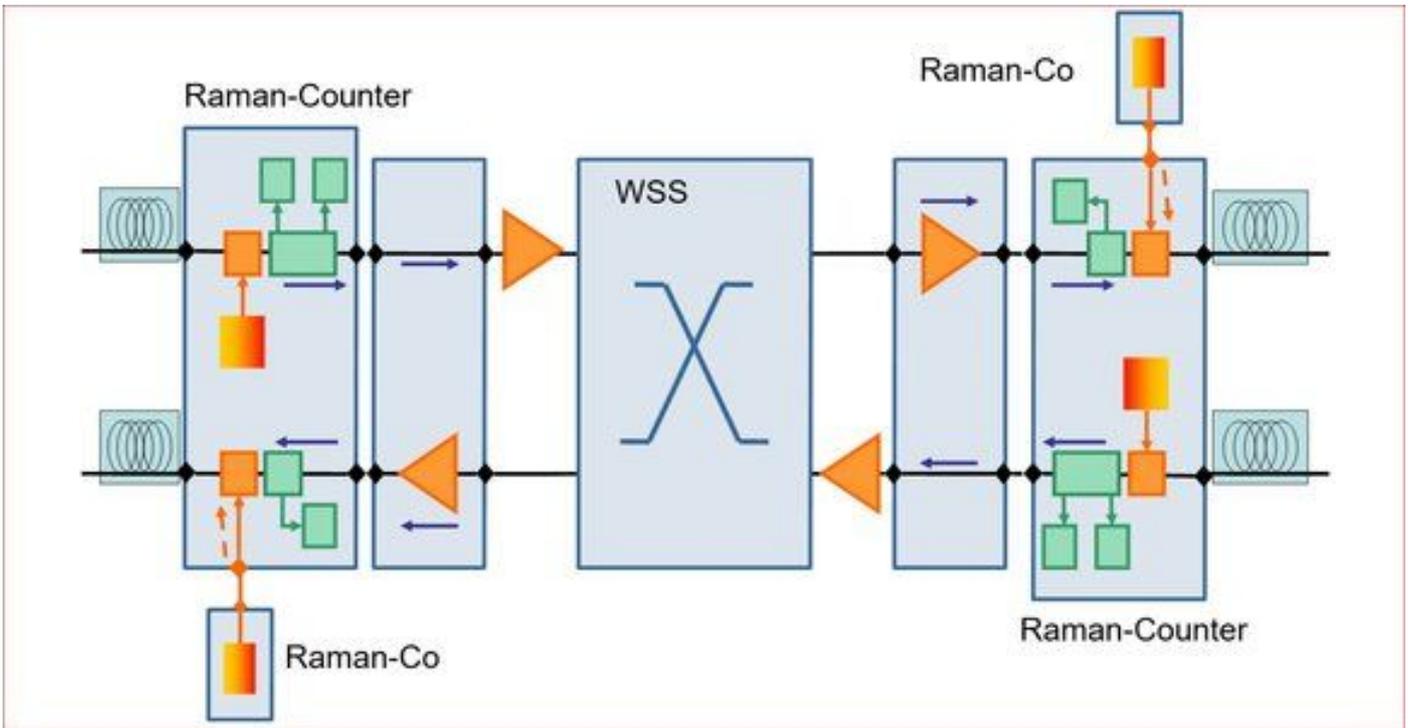


Les amplificateurs Raman distribués par contre-pompe sont souvent combinés à des pré-ampères EDFA pour étendre les distances. Cette configuration hybride peut fournir une amélioration de 6 dB dans l'OSNR, qui peut étendre de manière significative les longueurs d'étendue ou augmenter le budget de perte d'envergure. La DRA de la pompe de contre-courant peut également aider à réduire les effets non linéaires et permet de réduire la puissance de lancement du canal.

[Diagramme fonctionnel pour la propagation et la contre-propagation de l'amplificateur Raman](#)



Architecture de déploiement sur site EDFA et RAMAN Amplificateurs :



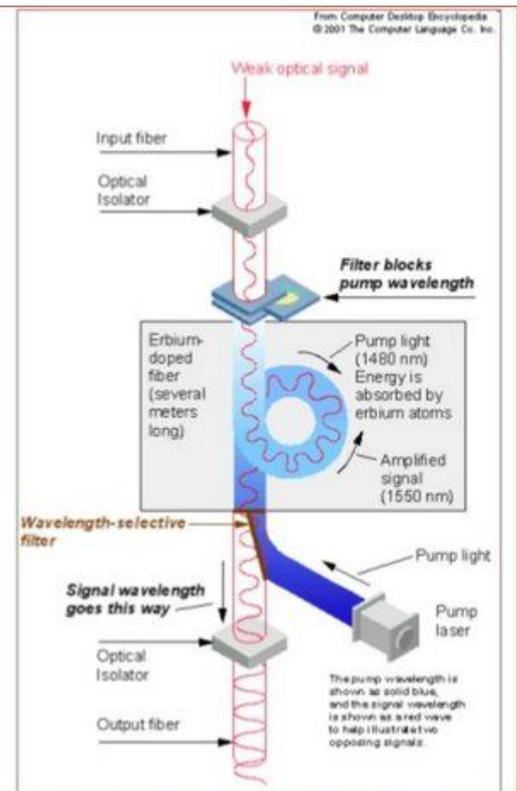
Intéressant à savoir :

### Simplified Explanation on Raman Amplification:

Based on stimulated Raman scattering (SRS) effect, the weak light signal gets amplified while passing through a Raman gain medium (**the fiber**) in presence of a **strong pump laser**. It's the power transfer from lower to higher wavelengths.

### EDFA vs. Raman Amplifier:

A Raman optical amplifier is not an amplifier "in a module"; instead, the optical amplification relies on the transmission "**fiber**" itself. In other words, whoever is deploying a Raman amplifier means he/she is building the amplifier on-site basically with a **high-power laser pump + existing fiber (any type of fiber)**!



## Informations connexes

- Planification des réseaux à fibre optique par Bob Chomycz
- [https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/optical-networking/ons-15454-series-multiservice-provisioning-platforms/data\\_sheet\\_c78-658538.html](https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/optical-networking/ons-15454-series-multiservice-provisioning-platforms/data_sheet_c78-658538.html)
- [Support et documentation techniques - Cisco Systems](#)