

## Comment obtenir l'internet haute vitesse dans l'espace?

Les astronautes qui vont dans la station spatiale sont coupés du monde s'ils sont privés des télécommunications. Il s'agit donc d'un élément essentiel à leurs missions surtout avec les expériences qu'ils doivent faire et les résultats qui doivent être envoyés sur Terre. Par contre avec des vitesses de 10 Mbit/s de téléchargement et 3 Mbit/s de téléversement<sup>1</sup>, il y a clairement mieux à faire surtout que la fibre optique surpasse largement ces vitesses. S'il n'est malheureusement pas possible d'installer une fibre optique sur la station, il est possible de créer un nouveau système pour transmettre des données à haute vitesse à partir d'un laser et d'un détecteur de lumière!

Le principe est plutôt simple, un laser envoie de la lumière vers un détecteur qui absorbe la lumière et la convertit en signal électrique qu'un ordinateur peut lire. Il est possible d'atteindre des vitesses de l'ordre de 1 Gbit/s<sup>2</sup> avec cette technologie qui est à ses débuts. Pas mal du tout si on tient compte du fait que le système peut encore être amélioré! Pour pouvoir échanger des données avec ce système, il faut trois composantes : le laser, le détecteur et le receveur de signal électrique. J'ai travaillé sur le détecteur alors je vais élaborer sur sa conception.

Le détecteur doit absorber la lumière et transmettre un signal électrique facile à lire. Les supraconducteurs sont parfaits pour le travail puisque leur transition d'un état sans résistance à un état résistif crée un grand pic de tension. Il faut seulement s'assurer qu'un photon absorbé fasse transiter le supraconducteur. Le NbN a été choisi comme supraconducteur, car il garde ses propriétés supraconductrices jusqu'à environ 9 K. S'il est refroidit avec de l'hélium liquide qui est à 4 K, on est sûr que les variations de température ne feront pas transiter

---

<sup>1</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/International\\_Space\\_Station#Communications\\_and\\_computers](https://en.wikipedia.org/wiki/International_Space_Station#Communications_and_computers)

<sup>2</sup> , Chandra M Natarajan, Michael G Tanner and Robert H Hadfield, Superconducting nanowire single-photon detectors: physics and applications, IOP Publishing Ltd, Superconductor Science and Technology, Volume 25, Number 6, published 4 April 2012.

notre détecteur par accident. Par contre, si un photon n'a pas assez d'énergie pour réchauffer le détecteur de 5 K, qu'est-ce qui va aider le photon à créer une transition? En fait, les supraconducteurs ont un courant maximal qu'ils peuvent transmettre avant de perdre leur supraconductivité. On peut dire que le courant fragilise la supraconductivité et si le courant est assez élevé, la supraconductivité sera si fragile qu'une toute petite perturbation comme l'absorption d'un photon va créer une transition.

Maintenant que nous avons vu la base de fonctionnement du détecteur, nous pouvons commencer à se demander comment construire le détecteur. Pour que le détecteur soit le plus sensible possible, il faut faire un très petit fil de NbN sur lequel on va envoyer un faisceau laser. On peut voir le supraconducteur comme une autoroute. Pour créer une transition, il faut créer un bouchon de circulation. En augmentant le courant, on augmente la densité de la circulation. On peut comparer l'absorption d'un photon à un accident qui bloque une section de voie sur l'autoroute. Alors, si on diminue les

dimensions du fil, on enlève des voies sur l'autoroute. Quand il ne reste que quelques voies disponibles, il est clair qu'un accident causera un embouteillage et c'est l'effet désiré!

J'ai commencé par créer le moule de mon fil avec une technique appelée photolithographie. J'étale une couche de résine sensible aux rayons ultraviolets sur mon substrat et j'affiche mon fil sur la résine comme une diapositive sur un écran blanc. La résine exposée est plus fragile et part facilement dans un solvant, ce qui crée un moule. Je peux ensuite déposer du métal sur le substrat au complet, mais le métal ne va adhérer seulement sur la partie découverte du substrat puisque la résine qui n'a pas été exposée va quand même partir après un 2<sup>e</sup> traitement dans le solvant. La technique utilisée pour déposer le métal est la pulvérisation cathodique. Il s'agit de créer un plasma avec les éléments voulus. Dans notre cas, nous avons utilisé du niobium (Nb) et de l'azote (N) qui se sont fusionnés dans le plasma pour former du NbN. Puisque le plasma est chargé, en appliquant une différence de potentiel, on peut projeter le NbN du plasma sur

le substrat. J'ai réussi à faire un fil qui a  $5\ \mu\text{m}$  de diamètre, c'est-à-dire environ  $1/10$  de l'épaisseur d'un cheveu<sup>3</sup>, et  $30\ \text{nm}$  d'épaisseur. Cette épaisseur équivaut à environ 300 atomes seulement! La figure 1 montre le résultat final.

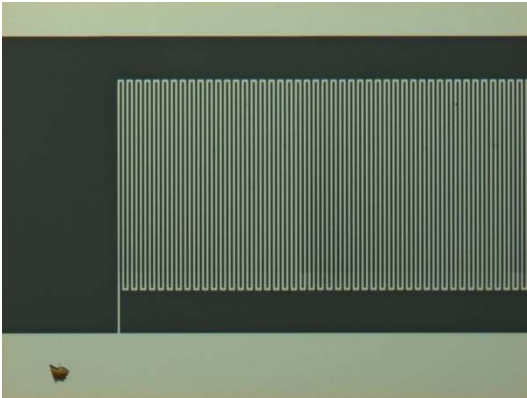


Figure 1 - Fil de NbN de  $5\ \mu\text{m}$  diamètre. le courant est envoyé dans le fil par le contact du bas.

Je dois avouer que je ne suis pas arrivé à ce résultat du premier coup! Mon substrat est le verre et, comme vous le savez, il est transparent! Il est donc difficile à voir et manipuler. En plus, le verre est assez fragile, alors il peut casser facilement et il est difficile de le couper sans le faire éclater! Et ce n'est pas tout! J'ai mentionné précédemment que je dois afficher mon fil sur mon substrat comme un diaporama. Par contre, si le verre est transparent, comment savoir si je projette l'image

au bon focus? La résine sur le verre est légèrement colorée, mais presque transparente aussi. Si je n'ai pas le bon focus, l'image est floue et le résultat final pas très bon. Il a donc fallu de nombreux essais et beaucoup de patience pour réussir à avoir un beau fil.

Après avoir fait le détecteur, je l'ai testé pour voir comment il performe. J'ai envoyé de la lumière sur le détecteur par une fibre optique avec un laser. Avec de la lumière à une longueur d'onde de  $1550\text{nm}$ , je ne détectais rien. C'était un peu décevant, mais ce n'était que le premier essai. J'ai réessayé à une autre longueur d'onde. À  $1310\text{nm}$ , on a eu un résultat! Les photons ont une plus grande énergie aux plus petites longueurs d'onde, alors on pouvait s'y attendre. Étonnamment, le détecteur ne transitait pas lorsqu'il absorbait de la lumière, mais je détectais quand même un signal de l'ordre de  $10\ \mu\text{V}$ . On peut supposer que seulement une petite section du détecteur transite lors de l'absorption d'un photon, mais c'est seulement une hypothèse. C'est ça la recherche, on a des surprises, mais il faut essayer de trouver des réponses et

<sup>3</sup> [https://fr.wikipedia.org/wiki/Ordres\\_de\\_grandeur\\_de\\_longueur#Taille\\_microm.C3.A9trique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Ordres_de_grandeur_de_longueur#Taille_microm.C3.A9trique)

prouver qu'on a raison! J'ai fait cette mesure avec un voltmètre pour voir s'il était tout simplement possible de faire des détections, mais il est clair qu'il est possible d'avoir une meilleure précision si on améliore le montage. Il est impossible de compter les photons avec seulement un voltmètre. Il faudrait plutôt un très bon oscilloscope.

Une amélioration importante au détecteur serait d'incorporer le fil supraconducteur directement sur la fibre optique. Actuellement, la fibre optique envoie de la lumière sur le détecteur, mais aussi un peu à côté. Il y a alors des pertes. Si le fil est sur la fibre optique, la lumière a la possibilité de passer au travers de la fibre pour être absorbé par le détecteur, mais il n'y a aucune perte, ce qui est remarquable. Pour réussir un tel exploit, il faudra bien-sûr réduire la taille du détecteur, mais c'est possible avec une méthode légèrement différente de celle que j'ai utilisée. Il s'agit de l'électrolithographie. En fait, il s'agit de la même technique sauf qu'au lieu d'utiliser la lumière, on utilise des électrons. Le comportement ondulatoire des électrons nous permet

de les utiliser comme de la lumière sauf qu'il est possible d'avoir des dimensions beaucoup plus petites de l'ordre du nanomètre.

Finalement, j'ai pu fabriquer un détecteur fonctionnel. On sait que le principe du détecteur supraconducteur fonctionne, mais il reste bien-sûr des améliorations à faire pour pouvoir transférer des données à haute vitesse. Les astronautes de la station spatiale internationale devront attendre encore un peu...