Fiche professeur

Les communications optiques en espace libre

Thèmes : Observer, Comprendre, Agir
Type de ressources : Ressource élève constituée de plusieurs documents, d'un questionnement et d'un problème. Compléments d'informations pour le professeur.
Notions et contenus : Rayonnements dans l'Univers Transferts quantiques d'énergie Procédés physiques de transmission Créer et innover
Nature de l'activité : Activité documentaire
Résumé : Activité documentaire consacrée à l'utilisation du laser dans les communications optiques sans fils et à la comparaison des performances de ce type de transmission par rapport aux liaisons sans fils radioélectriques

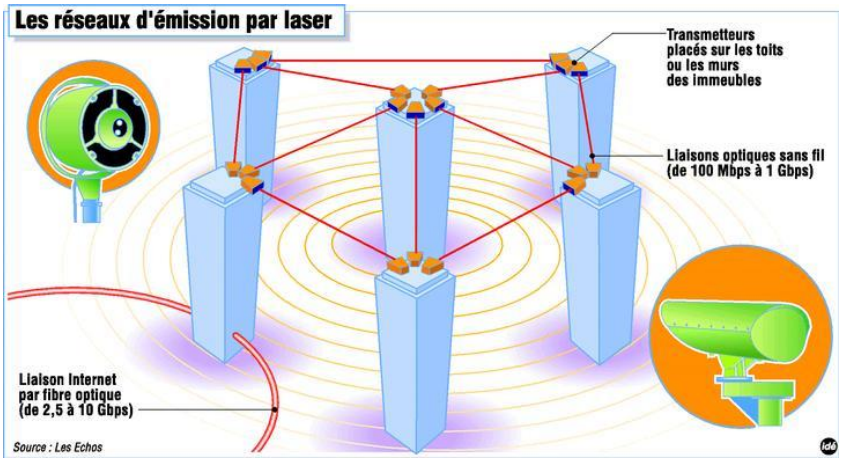
Les communications optiques en espace libre

Au même titre que les ondes radioélectriques (*), la lumière (terme à prendre ici dans une acceptation large englobant le domaine des rayonnements infrarouges) est une onde électromagnétique pouvant servir de support à la transmission de signaux porteurs d'information. Pour ce faire, en pratique, on fait varier la puissance optique émise par une source laser au rythme de l'information à transmettre.
Outre la transmission par fibre optique, ces dernières années ont vu le développement des transmissions optiques de signaux numériques en espace libre dans le vide intersidéral (communication entre deux satellites) ou dans l'atmosphère terrestre (communication entre deux bâtiments en vue l'un de l'autre).
Cette technologie, répondant à l'acronyme FSO pour Free Space Optics, permet des liaisons sur des distances allant de quelques mètres à quelques kilomètres dans l'atmosphère terrestre et de plusieurs milliers de kilomètres dans l'espace.
Elle est particulièrement bien adaptée : - à la desserte locale des abonnés à Internet, notamment dans les environnements urbains à forte densité de population, lorsque des liaisons en fibre optique ne peuvent être déployées pour des raisons matérielles ou de coût.
- à l'établissement rapide de connexions haut débit (catastrophe naturelle, zone de conflit)
- à la redondance des données transférées par fibres optiques pour sécuriser la liaison.
(*) exemples d'ondes radioélectriques : GSM ; Bluetooth ; wifi ; Wiimax

Document 1 : La transmission optique prend la voie des airs

En 1880, Graham Bell utilisa la réflexion d'un rayon de lumière sur environ 18 mètres pour transmettre de la voix au moyen d'un appareil appelé « photophone ». Bien que Bell ait considéré le photophone comme sa plus grande invention, c'est le téléphone filaire que l'histoire a conservé pour la postérité. […] Les descendants modernes du photophone s'appellent les réseaux d'émission par laser - Wireless Optical Networking (WON), ou Free Space Optics (FSO) en anglais -, et attisent l'intérêt des […] opérateurs.

Ces réseaux utilisent des technologies comparables à celles de la fibre optique mais, au lieu d'emprunter un canal filaire, voix et données prennent la voie des airs à un très haut débit, pouvant dépasser 1 gigabit par seconde (Gbps). Le signal est numérisé et transmis par un rayon de lumière infrarouge dans une ligne de visée précise. Le plus souvent, ces liaisons s'effectuent entre des transmetteurs […] installés au sommet d'immeubles et communiquant en point à point par le biais de faisceaux. […]



[…] *« Contrairement à la fibre optique, les réseaux laser n'exigent ni creusement pour la pose des câbles, ni négociation d'un droit de passage sur la voie publique. Ils peuvent donc être installés à moindre coût et en quelques heures au lieu de quelques mois »,* argumente Richard Redgrave, directeur marketing du fabricant d'équipements laser britannique PAV Data Systems […]

[…] Alors que la qualité des transmissions radio souffre en cas de pluies diluviennes, une liaison optique est atténuée par la scintillation (*) […], courante dans les pays chauds, et par le brouillard et les tempêtes de neige dans les pays froids, sans compter... le vol des oiseaux. Le laser est donc souvent utilisé en secours, par exemple en cas de coupure de la fibre optique. Ce fut le cas chez Merrill Lynch au lendemain des attentats du World Trade Center.

(*) scintillation : fluctuations rapides de l'indice de l'air dues aux turbulences atmosphériques créant des variations d'intensité lumineuse à la réception.

Extraits de l'article de Benoît Faucon « La transmission optique prend la voie des airs ». Les Echos n° 18630 du 08 Avril 2002. *http://archives.lesechos.fr/archives/2002/LesEchos/18630-543-ECH.htm*

Document 2 : Considérations générales sur les FSO

- **Quelques caractéristiques techniques des dispositifs FSO :**

La longueur d'onde à laquelle fonctionne un dispositif FSO est le premier paramètre à considérer. En pratique, les lasers utilisés émettent des rayonnements infrarouges situés le plus souvent dans une gamme de longueur d'onde autour de 1550 nm car la sensibilité des photodiodes utilisées en réception […] est bien meilleure à 1550 nm que dans le visible ou le proche infrarouge. De plus, les faisceaux laser présentent davantage de risques pour la sécurité oculaire dans le domaine visible que pour des longueurs d'onde de l'ordre de 1550 nm. La lumière à 1550 nm est en effet absorbée par la cornée et le cristallin et ne focalise pas sur la rétine contrairement aux faisceaux laser dans le visible et le proche infrarouge qui peuvent engendrer des dommages irréversibles sur la rétine. C'est un facteur à ne pas négliger pour une transmission optique en espace libre où la puissance optique est élevée et où le faisceau est accessible à l'utilisateur. Le simple fait de choisir des lasers à 1550 nm permet d'assurer que le système est sans danger d'exploitation (Classe 1M) même si la puissance du faisceau laser est importante.

Le tableau ci-dessous indique les ordres de grandeur des principales caractéristiques des systèmes commercialisés à ce jour.

	Min	Max	Remarques
Débit	1,5 Mbps	1600 Mbps	Jusqu'à 10 Gbps avec correction des turbulences atmosphériques
Portée	10 m	7700 m	Temps clair
Longueur d'onde	780 nm	1550 nm	
Puissance optique émise	4 mW	650 mW	

- **Les avantages des FSO :**

Outre leur coût peu élevé et leur facilité d'installation, les dispositifs FSO ne requièrent pas de licence d'utilisation du spectre contrairement aux systèmes radiofréquences. De plus, la taille réduite du faisceau laser rend la détection, l'interception ou le brouillage très difficile. La sécurité intrinsèque des dispositifs FSO, plus élevée que celle des liaisons radioélectriques, permet ainsi de transférer des données sensibles sans codage.

- **Les inconvénients des FSO :**

Comme cette technologie nécessite une visée directe entre l'émetteur et le récepteur, la liaison est vulnérable à un certain nombre de facteurs :
- l'obstruction physique
- les conditions météorologiques qui limitent la portée des FSO notamment en cas de brouillard (compte tenu de leurs petites tailles et de leur forte densité, les fines particules d'eau présentent dans le brouillard diffusent la lumière aux fréquences utilisées)
- les effets de scintillations, conséquences des turbulences atmosphériques, qui engendrent des variations de l'indice optique de l'air de façon localisée et temporaire. Lorsque le signal se propage dans l'air, la puissance reçue sur le détecteur varie en raison de ce phénomène ce qui engendre des erreurs d'interprétation des signaux transmis. On y remédie en utilisant des émetteurs multiples, chacun empruntant un trajet légèrement différent à travers l'atmosphère ce qui contribue également à lisser les perturbations.

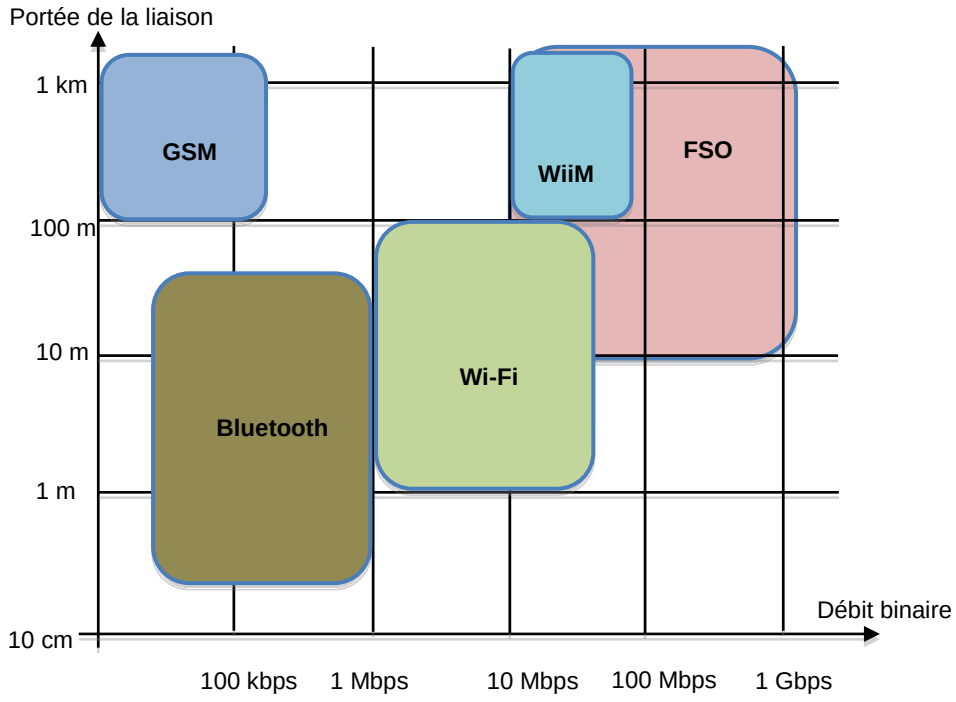
Données extraites de la thèse de Vincent Foucal : « Conception d'interconnexions optiques haut débit courte distance en espace libre. Prototypage de modules de communication pour applications embarquées ». *scd-theses.u-strasbg.fr/2029/01/FOUCAL_Vincent_2010.pdf*

Document 3 : Exemple de transmetteur/récepteur FSO

Laser optique 8 faisceaux en espace libre, assurant un lien de débit 1Gbits/s à une distance approximative de 2km.
Le récepteur est constitué du large disque central, l'émetteur des 8 petits disques latéraux.
En haut à droite, un objectif monoculaire d'assistance à l'alignement des deux têtes laser.

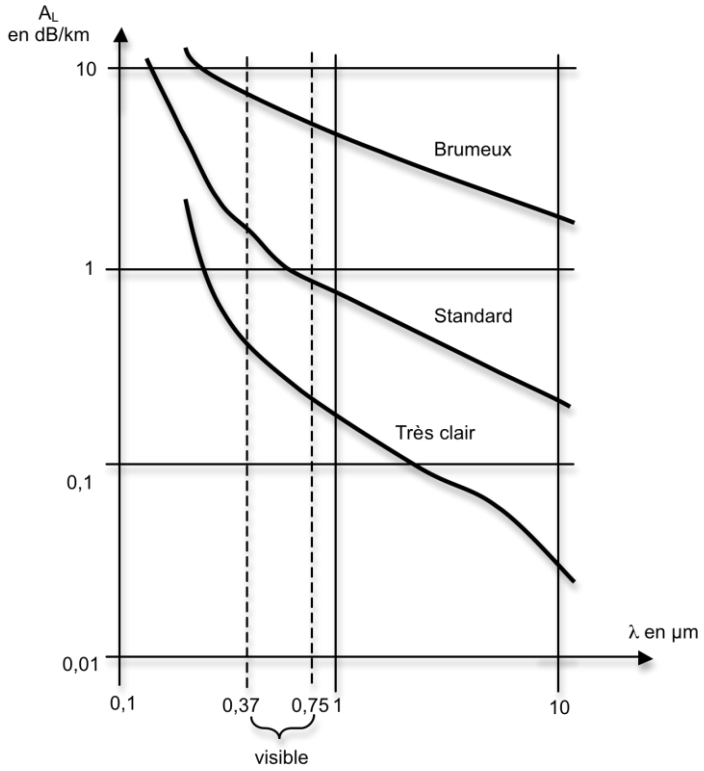
Extraits de l'article« Communications optiques en espace libre » de l'encyclopédie en ligne Wikipédia.
http://fr.wikipedia.org/wiki/Communications_optiques_en_espace_libre

Document 4 : Comparaison des performances des liaisons sans fil radioélectriques et optiques.



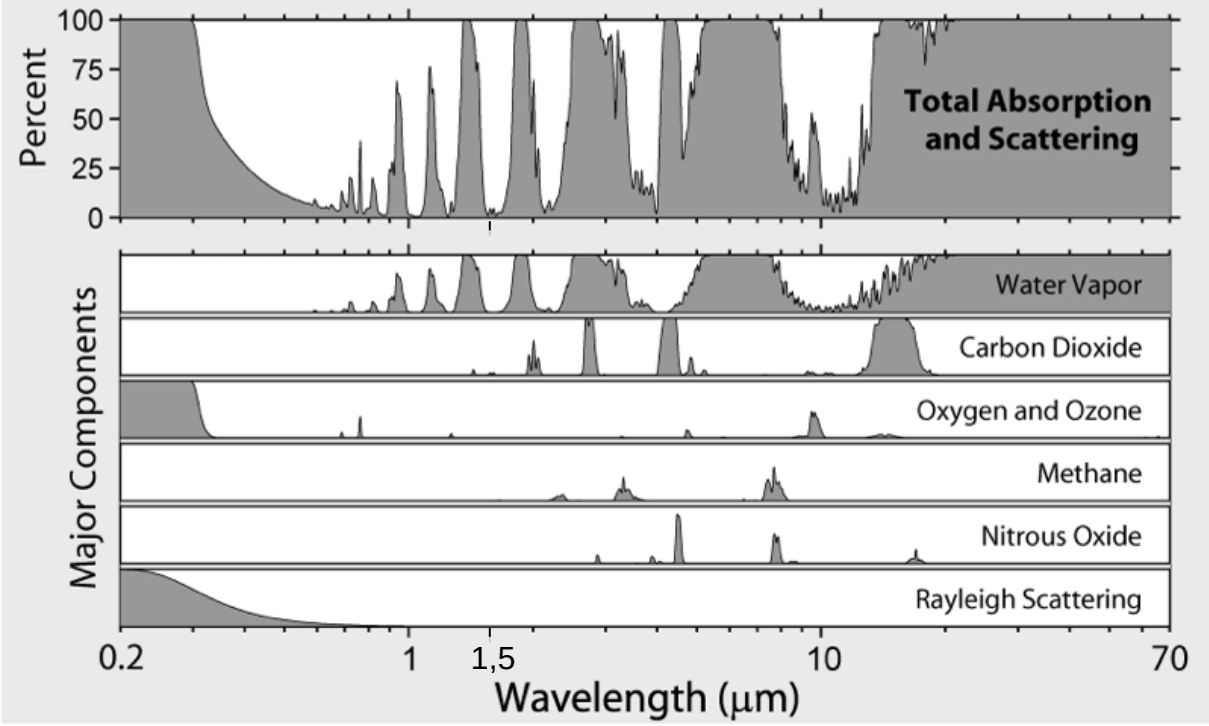
D'après la thèse de Vincent Foucal : « Conception d'interconnexions optiques haut débit courte distance en espace libre. Prototypage de modules de communication pour applications embarquées ».
scd-theses.u-strasbg.fr/2029/01/FOUCAL_Vincent_2010.pdf

Document 5 : Atténuation linéique (*) due aux pertes par absorption dans l'atmosphère en fonction de la longueur d'onde du rayonnement émis



(*) Atténuation linéique : En notant P_E la puissance émise et P_R la puissance reçue, l'atténuation introduite par un canal de transmission est : $A = 10.\log(P_R/P_E)$. A s'exprime en dB et dépend de la distance D entre l'émetteur et le récepteur. Généralement, on préfère utiliser l'atténuation linéique A_L : $A_L = A/D$ dont l'unité usuelle est le dB/km. Ainsi à une liaison de longueur D (en km), correspond une atténuation $A(dB) = A_L(dB/m)xD(km)$.

Document 6 : Radiation transmitted by the Atmosphere (Spectre d'absorption de l'atmosphère)



D'après l'article « Absorption band » de l'encyclopédie en ligne Wikipedia
http://en.wikipedia.org/wiki/Absorption_band

Questions:
À l'aide des documents et de vos connaissances :
- Expliquez le principe des communications optiques en espace libre et citez deux exemples d'applications des dispositifs FSO.
- Citez au moins deux critères justifiant l'intérêt d'utiliser des rayonnements infrarouges de longueurs d'ondes proches de 1550 nm plutôt que des rayonnements dans le domaine du visible.
- Précisez les conditions météorologiques les plus défavorables aux communications optiques en espace libre en justifiant votre réponse.

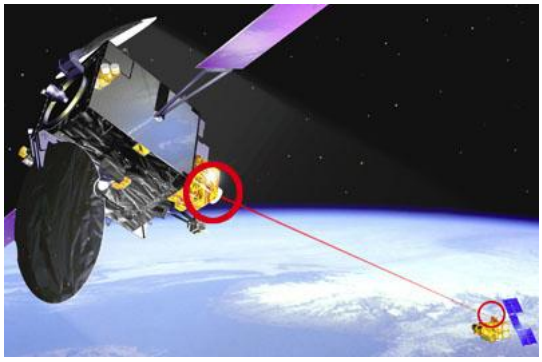
Commentaire argumenté :
À l'aide des documents, rédigez un comparatif permettant à un industriel, désireux d'établir une liaison sans fil entre deux bâtiments distants d'un kilomètre, d'opter entre une solution de type FSO et une liaison sans fil radioélectrique.

Compléments d'informations pour le professeur.

Le laser comme support de transmission d'informations dans l'espace

Transmission de données entre deux satellites européens via un faisceau laser : Une première mondiale.

Le 22 novembre 2001, une liaison optique utilisant un faisceau laser comme support de transmission a été établie entre le satellite d'EADS Artemis occupant alors une orbite transitoire autour de la Terre à 31000 km et le satellite d'observation terrestre SPOT 4 du CNES en orbite à l'altitude de 832 km.
Grâce à cette liaison laser, des images prises par le satellite SPOT 4 ont pu être transmises en temps réel au centre d'exploitation du CNES à Toulouse, réduisant de façon drastique le temps entre la prise des images et leur réception sur Terre.



Traduction partielle de ***A world first : Data transmission between European satellites using laser light***
http://www.esa.int/esaCP/ESASGBZ84UC_Improving_0.html

Transmission de données haut débit dans l'espace grâce à la technologie laser

Les satellites génèrent de plus en plus de données qui doivent être envoyées sur Terre pour y être exploitées. Habituellement, ces données sont transmises par ondes radio. Les équipes du satellite TerraSAR-X – développé et fabriqué par Astrium – et du satellite américain NFIRE viennent d'ouvrir la voie à une accélération sans précédent du transfert de données : une liaison de données optique laser d'un débit de 5,5 Gbit/seconde à été établie et maintenue, sans perte, entre les deux satellites alors distants de 5 000 km. Ce débit équivaut […] à 200 000 feuillets A4 en une seconde ou à 400 DVD en une heure ! […]
[…] Pendant la transmission de données, de 5,5 gigabit par seconde sur une distance de 5 000 km, les terminaux lasers n'ont eu besoin que de 130 watts pour fonctionner, soit un peu plus qu'une ampoule électrique.

Les satellites NFIRE et TerraSAR-X évoluent en orbite basse autour de la Terre et se croisent plusieurs fois par jour. Une connexion laser de 20 minutes peut être établie à chaque rencontre. L'une des opérations les plus délicates consiste à diriger le laser de manière très précise sur le deuxième satellite, qui évolue à une distance pouvant atteindre 5 000 km pour une vitesse d'environ 25 000 km/h. Obtenir l'angle nécessaire reviendrait, sur Terre, à tenter de viser le hublot d'un passager d'avion de ligne en vol et de suivre cette cible. […]

A l'avenir, les liaisons à large bande par satellite seront nécessaires aussi bien pour la mise en réseau des satellites géostationnaires que pour la communication avec des plates-formes en orbite moins élevée, si l'on veut répondre au besoin grandissant en capacité de transfert de données dans les domaines des télécommunications, de la navigation, de l'observation de la Terre, de la météorologie et des vols habités. […]

http://www.astrium.eads.net/fr/actualites/grace-a-la-technologie-laser-transmission-de-donnees-haut-debit-dans.html