

Transmettre des informations Economiser la place de leur stockage

I Propagation libre et guidée : quelques procédés de transmission de l'information

Aujourd'hui, l'accès à l'information est possible pour tout le monde et dans des délais pratiquement instantanés. L'internet peut arriver chez nous via un câble, ou encore des ondes (wifi), et de plus en plus d'objets sont dits « connecté » en permanence avec le réseau. Lorsque l'on cherche à transmettre une information, les principaux problèmes à résoudre sont :

- La fiabilité des transmissions
- L'utilisation du réseau (débit de transmission, compression)
- La confidentialité des transmissions (cryptage)
- Les contraintes temporelles (débit, délais, synchronisation)
- L'interopérabilité (coopération des équipements et des protocoles)

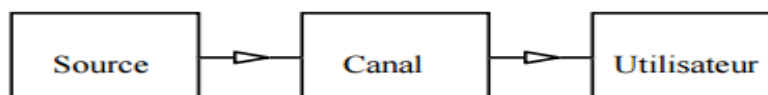


Image : Représentation du système de communication

1) Transmission par voie hertzienne

Document 1 : les ondes hertziennes

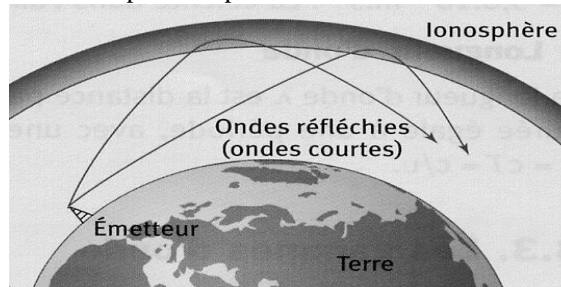
Les ondes hertziennes sont des ondes électromagnétiques selon une certaine gamme avec donc un certain domaine de longueurs d'onde.

La transmission hertzienne de l'information correspond à la propagation libre des ondes hertziennes qui vont elles-mêmes transporter l'information à transmettre. L'intérêt principal de la transmission hertzienne, pour la radio, la télévision ou le téléphone, est l'absence de support matériel et la possibilité de transmission à longue portée sans trop d'amortissement.

Gamme d'ondes	Domaine de longueur d'onde dans le vide	Domaine de fréquence	Dénomination	Transmission
Ondes millimétriques	1 mm – 10 mm	30 GHz – 300 GHz	EHF (extrahautes fréquences)	—
Ondes centimétriques ou hyperfréquences	1 cm – 10 cm	3 GHz – 30 GHz	SHF (superhautes fréquences)	Satellites de télécommunication. Téléphone GSM
Ondes décimétriques	1 dm – 10 dm	300 MHz – 3 GHz	UHF (ultrahautes fréquences)	... radars
Ondes métriques	1 m – 10 m	30 MHz – 300 MHz	THF (très hautes fréquences) ou VHF (very high frequencies)	... radio en modulation de fréquence ; communications de la police et de l'armée
Ondes décamétriques ou ondes courtes	10 m – 100 m	3 MHz – 30 MHz	HF (hautes fréquences)	CB et radio à grande portée
Ondes hectométriques ou ondes moyennes	100 m – 1000 m	300 kHz – 3 MHz	MF (moyennes fréquences)	Radio
Ondes kilométriques ou grandes ondes	1 km – 10 km	30 kHz – 300 kHz	BF (basses fréquences)	Radio
Ondes myriamétriques	10 km – 30 km	10 kHz – 30 kHz	—	—

Document 2 : la propagation des ondes hertziennes

Dans un milieu homogène et isotrope, les ondes électromagnétiques se propagent en ligne droite et dans toutes les directions. Contrairement aux ondes mécaniques, elles se propagent aussi dans le vide avec la célérité $c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$. La célérité dépend du milieu de propagation. Suivant leur fréquence les ondes électromagnétiques sont plus ou moins absorbées par les milieux matériels. Les ondes hertziennes radio utilisées pour les gammes d'ondes courtes, moyennes et grandes ($f < 40 \text{ MHz}$) sont réfléchies par l'ionosphère et se trouvent piégées entre l'ionosphère et la Terre sur laquelle elles sont réfléchies. Les ondes de fréquence supérieures traversent l'ionosphère. Il est donc nécessaire, pour ces ondes, d'installer des relais qui réceptionnent les signaux et les réémettent, pas forcément avec la même fréquence. Ces ondes radio sont normalement émises en ligne droite et ne peuvent donc pas voyager au-delà de l'horizon, en suivant la courbe de la terre. En outre, elles ne possèdent pas cette propriété unique qui leur permettrait, comme les ondes de plus basses fréquences, d'être réfléchies sur l'ionosphère. Plus généralement, plus la fréquence de l'onde émise est élevée, plus l'onde est directive, plus le signal est stable mais moins l'onde peut se propager loin car très sensible à l'environnement (maison, immeuble, météo, ...). Dans le cas des téléphones portables, la fréquence typique est de 1 000 MHz, ces ondes ne possèdent pas une capacité à franchir les obstacles, ce qui donne l'impression que leur portée est faible en milieu encombré, comme la ville par exemple ...



Document 3 : nécessité de la modulation

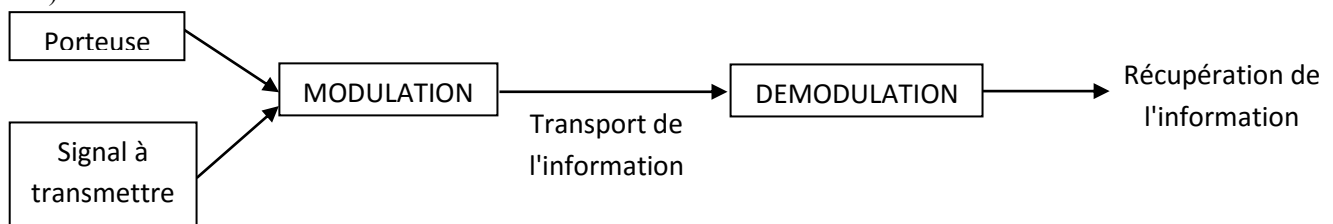
Rappel : toute tension sinusoïdale est modélisable par une fonction du type : $u(t) = U_m \cos(2\pi f t + \varphi)$
où f est la fréquence (Hz), U_m l'amplitude du signal et φ sa phase.

La voix humaine produit des sons dont les fréquences sont comprises entre 100 et 7500 Hz. Pour de la musique, la plage de fréquence est de 20-20000 Hz. Les sons audibles sont transformés en signaux électriques de même fréquence.

La transmission de tels signaux par voie hertzienne est impossible, en effet :

- il ne serait pas possible à l'arrivée de distinguer ce signal de tout autre signal encombrant la même plage de fréquence
- les **dimensions des antennes (de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde)** seraient irréalistes.
- l'antenne éventuelle ne serait adaptée que pour des signaux dont la fréquence varie sur une aussi large plage.

Le procédé de modulation consiste à utiliser le signal à transmettre pour faire varier (moduler) l'un des paramètres d'un signal porteur de fréquence plus élevée. Le signal à transmettre, appelé signal modulant, *module* la porteuse (signal de fréquence élevée) lors de la transmission de l'information.



Il est possible de moduler l'amplitude (modulation d'amplitude ou A.M.), la fréquence (modulation de fréquence ou F.M.) et/ou la phase du signal porteur. Pour la modulation d'amplitude, la porteuse (modulée) qui voyage, a une fréquence de la gamme AM (de l'ordre de la centaine de kHz : 234 kHz pour R.T.L.[®], 183 kHz pour Europe 1[®], 162 kHz pour France Inter[®] et ce sur toute la France). Pour la modulation en fréquence, la porteuse (modulée) qui voyage, a une fréquence de la gamme FM (de l'ordre de 100 MHz : pour France Inter[®] à Paris en FM, la fréquence de la porteuse est de 87,8 MHz, si vous écoutez France Inter[®] à Fontainebleau, qui n'est qu'à 70 km de Paris, la fréquence de la porteuse est de 94,2 MHz). C'est dans chaque poste de radio que la porteuse est démodulée pour revenir à l'information transmise, c'est-à-dire un signal entre 20 et 20000 Hz électrique transformé en signal audible par un haut-parleur.

Document 4 Emission et réception des ondes hertziennes

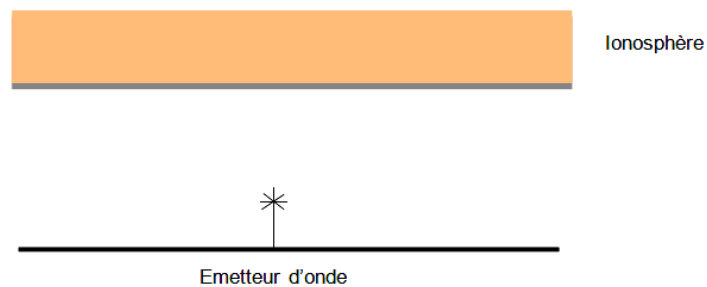
Expérience faite en classe : **mise en évidence expérimentale du phénomène d'antenne**

Le GBF utilisé délivre une tension sinusoïdale de fréquence et d'amplitude données. Il engendre des oscillations dans le fil qui lui est connecté et qui joue le rôle **d'antenne émettrice**. Ces oscillations électriques dans l'antenne provoquent la naissance d'une onde électromagnétique de même fréquence et de même forme que les oscillations. Cette onde se propage dans tout l'espace et est recueillie par le fil connecté à l'oscilloscope qui joue le rôle **d'antenne réceptrice**. L'onde captée crée un signal de même forme et de même fréquence que celui qui est émis en théorie.

- Connecter un fil de longueur de l'ordre du mètre à la sortie d'un G.B.F. et sélectionner une tension sinusoïdale de fréquence 150 kHz et d'amplitude environ 5 V (tension crête à crête : 10 V).
- Connecter un fil de longueur de l'ordre du mètre à l'entrée de l'oscilloscope placé à quelques dizaines de centimètres du G.B.F.
- Régler les sensibilités verticale et horizontale de l'oscilloscope pour observer le signal sur quelques périodes.
- Proposer un branchement permettant d'observer simultanément le signal généré par le GBF et sa réception "sans fil".
- Observer le signal détecté sans fil et le comparer au signal émis (forme, fréquence, amplitude). Noter l'effet produit sur le signal reçu par :
 - une modification du niveau de sortie du G.B.F.
 - une modification de la fréquence
 - une modification de la forme (signal carré, signal triangulaire)

Questions (sur feuille séparée)

- 1) Citer plusieurs familles d'ondes électromagnétiques qui ne font pas partie des ondes hertziennes.
- 2) A quelle domaine de fréquences correspondent les ondes métriques ? Démontrer la correspondance entre longueurs d'onde et fréquences pour ces ondes.
- 3) Pourquoi les ondes hertziennes correspondent-elles à une propagation libre et non à une propagation guidée ?
- 4) Comment générer très simplement une onde hertzienne à partir d'une tension et comment générer très simplement une tension à partir d'une onde hertzienne. ?
- 5) Montrer que les dimensions d'une antenne générant des ondes hertziennes de même fréquence que les sons audibles par l'homme seraient inutilisables.
- 6) Sur le schéma ci-dessous, représenter de manière simple :
 - En bleu la façon dont se propagerait depuis l'émetteur une onde porteuse hertzienne modulée en amplitude de fréquence typique $f = 2.10^2$ kHz ;
 - En rouge la façon dont se propagerait depuis l'émetteur une onde porteuse hertzienne modulée en fréquence de fréquence typique $f = 1.10^2$ MHz



7) Expliquer pourquoi les radios en mode AM ne présentent, chacune, qu'une seule fréquence de réception alors que les radios en mode FM présentent des fréquences qui peuvent être différentes d'un point à un autre pour la même radio.

8) Quel(s) phénomène(s) physique(s) peut-on associer à l'extrait souligné suivant : "Plus généralement, plus la fréquence de l'onde émise est élevée, plus l'onde est directive, plus le signal est stable mais moins l'onde peut se propager loin car très sensible à l'environnement (maison, immeuble, météo, ...). Dans le cas des téléphones portables, la fréquence typique est de 1 000 MHz, ces ondes ne possèdent pas une capacité à franchir les obstacles, ce qui donne l'impression que leur portée est faible en milieu encombré, comme la ville par exemple ..." ? Justifier brièvement.

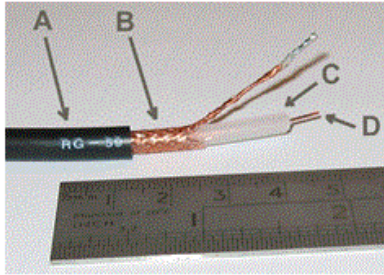
2) Propagation par câble

Document 5 : transmission par câble coaxial de l'information

Voici quelques extraits (vérifiés) de [Wikipédia](#), l'encyclopédie libre en ligne :

Extrait n°1 : " ... Le câble coaxial ou ligne coaxiale est une ligne de transmission ou liaison asymétrique, utilisée en hautes fréquences, composée d'un câble à deux conducteurs. L'âme centrale, qui peut être mono-brin ou multi-brins (en cuivre ou en cuivre argenté, voire en acier cuivré), est entourée d'un matériau diélectrique (isolant). Le diélectrique est entouré d'une tresse conductrice (ou feuille d'aluminium enroulée), appelée blindage, puis d'une gaine isolante et protectrice ... ".

Extrait n°2 : " ... A : Gaine isolante et protectrice ; B : Blindage (tresse) en cuivre ; C : Diélectrique ; D : Conducteur central (âme) en cuivre ... " (Note de l'auteur : le conducteur central sert à amener un courant électrique et le blindage en cuivre en assure le retour, jouant le rôle de masse).



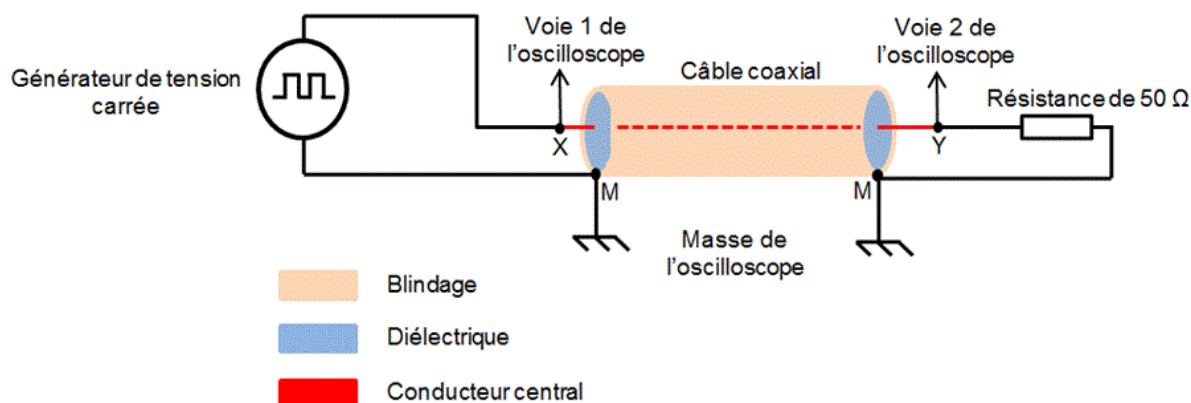
Extrait n°3 : " ... Le câble coaxial est maintenant remplacé par la fibre optique sur les longues distances (supérieures à quelques kilomètres) ... ".

Extrait n°4 : " ... Un générateur relié à une charge à l'aide d'un câble coaxial va provoquer dans chacun des deux conducteurs du câble l'établissement d'un courant électrique et la formation d'une onde électromagnétique se déplaçant dans le diélectrique à une vitesse très grande ... ".

Document 6 : mesure de la célérité d'une onde électromagnétique se propageant dans un câble coaxial

Un générateur délivre une tension carrée (éventuellement assymétrique) de fréquence $f = 400 \text{ kHz}$ ou $1, \text{ à } 10 \text{ MHz}$ mais que l'on peut faire varier, tension appliquée entre X (X = point du conducteur central) et M (M = masse = point du blindage) d'un câble coaxial. A l'autre extrémité du câble coaxial est branchée entre Y (Y = point du conducteur central) et M (M = masse = point du blindage) une résistance de 50Ω (appelée « bouchon 50 ohms »). La longueur L du câble, qui est aussi la distance XY, est variable suivant le câble utilisé. Un oscilloscope permet d'observer les tensions $u_{XM}(t)$ et $u_{YM}(t)$ représentatives des ondes électromagnétiques émises en X et reçues en Y au cours du temps à travers le diélectrique.

Le schéma et la photo du montage sont présentés ci-dessous (pour des soucis de clarté, la gaine isolante et protectrice n'a pas été représentée) :



D'après le site de physique-chimie de l'académie d'Orléans

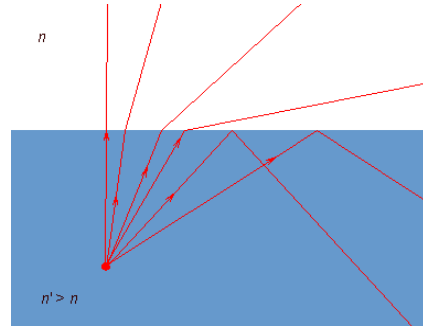
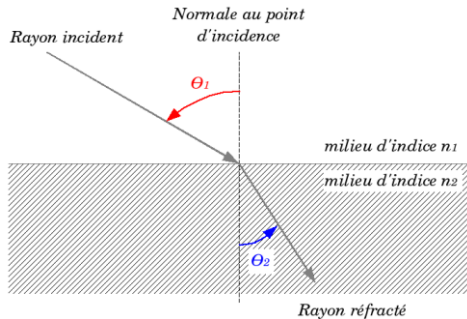
3) Propagation par fibre optique

Document 10 : principe de propagation de la lumière dans une fibre optique

Ce principe a été introduit en classe de seconde. Lorsqu'une onde arrive sur un dioptre, elle est en partie réfléchi et en partie réfractée. La loi de la **réfraction** (figure de gauche) en optique indique que, lorsqu'un rayon passe d'un milieu d'indice n_1 à un milieu d'indice n_2 :

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

Mais la réflexion peut devenir totale (absence de réfraction) si un rayon passe d'un milieu à un milieu moins réfringent ($n_1 > n_2$), comme du verre à l'air : la réfraction n'est pas possible si l'angle d'incidence est trop grand ; le rayon incident est alors entièrement réfléchi. Le principe est donné sur le schéma de droite suivant :



Document 11 : transmission par fibre optique de l'information

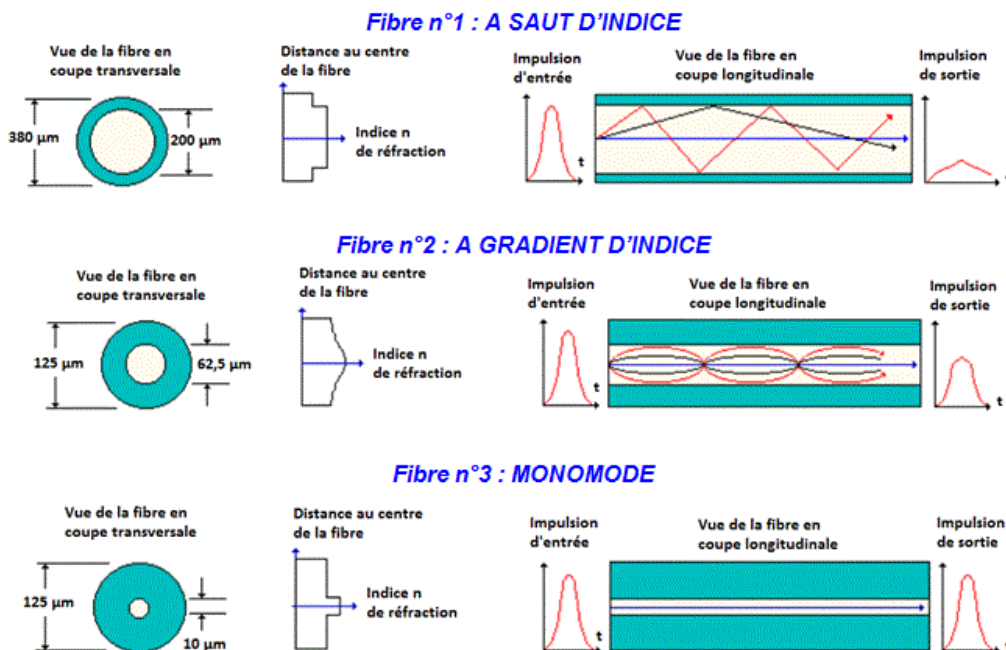
Contrairement aux ondes hertziennes hautes fréquences, la lumière ne peut pas se propager dans l'atmosphère sur de longues distances sans que son énergie ne soit rapidement absorbée ou diffusée par les molécules de l'atmosphère. En revanche, si l'on dispose d'un milieu de propagation parfaitement transparent et dépourvu d'impuretés, la propagation est alors possible avec très peu de perte : c'est le cas des fibres optiques. A l'intérieur des fibres optiques, la lumière :

- est modulée par l'information à transmettre ;
- subit de multiples réflexions à l'interface entre le cœur et la gaine : c'est le phénomène de réflexion totale.

Constitution

- Le cœur : il est constitué de verre très pur, il est transparent et d'indice de réfraction noté n_c ;
- La gaine optique : elle est constituée de verre très pur, est transparente et d'indice de réfraction n_g très légèrement inférieur à celui du cœur ;
- La gaine externe : elle est destinée à assurer une certaine solidité à la fibre optique.

Trois types de fibre :



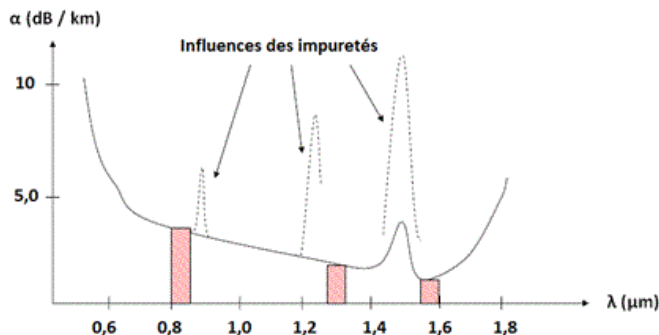
La dispersion modale :

Lorsque l'on utilise une fibre multimode, la lumière peut prendre plusieurs chemins (modes propres de propagation) lorsqu'elle se propage dans la fibre. La distance parcourue par certains modes propres est donc différente de la distance parcourue par d'autres modes propres. Lorsqu'une impulsion est envoyée dans la fibre, elle se décompose selon les différents modes propres. Certaines composantes arrivent donc avant d'autres et l'impulsion s'étale dans le temps : c'est la dispersion modale.

Voir http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/optiqueGeo/dioptres/fibre_optique.html#

Document 12 : atténuation d'une fibre optique

Atténuation α , en dB / km, dans une fibre à saut d'indice en fonction de la longueur d'onde λ de l'onde électromagnétique s'y propageant :

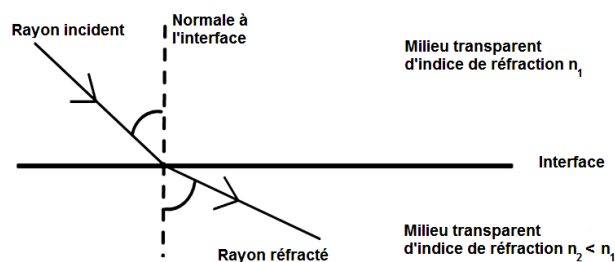


Questions :

1) De la réfraction à la réflexion totale.

On rappelle le schéma classique pour illustrer ce phénomène de réfraction de la lumière à l'interface entre deux milieux transparents d'indices de réfraction n_1 et n_2 . On se place dans le cas où $n_2 < n_1$.

- Indiquer sur le schéma l'angle d'incidence i_1 et l'angle de réfraction i_2 . Rappeler la loi de Snell-Descartes unissant ces angles puis justifier l'inégalité $i_1 < i_2$.
- Quelle valeur maximale peut prendre l'angle de réfraction i_2 ?



Montrer que si $i_2 = 90^\circ$ alors $i_{1\text{ LIM}} = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$ (Cette valeur particulière $i_{1\text{ LIM}}$ de l'angle i_1 est appelée "angle de réfraction limite").

- Quel phénomène physique a lieu si $i_1 > i_{1\text{ LIM}}$?

2) Différentes fibres optiques.

Que signifie "à saut d'indice" par rapport "à gradient d'indice" pour une fibre optique ?

3) Dispersion modale

a) Expliquer en quoi la dispersion modale est gênante dans la propagation des ondes dans les fibres optiques.

b) Parmi les trois fibres présentées sur l'animation de Geneviève Tulloue (fin document 11), quelle celle qui présente le moins de dispersion modale ? Comment le visualisez-vous ?

4) Atténuation dans les différentes fibres optiques

Pourquoi utilise-t-on le plus souvent des ondes infrarouges de longueur d'onde 1 550 nm pour transmettre l'information dans une fibre optique ?

4) Conclusion

Document 13 : polémique à propos de la fibre

Extrait d'un article d'Europe1 du 27 mars 2016

<http://www.europe1.fr/economie/la-guerre-des-operateurs-telecoms-autour-de-la-fibre-optique-2703979>

On voit passer beaucoup de publicités en ce moment pour la "fibre". Les opérateurs télécom promettent une connexion internet plus rapide qu'avec le réseau haut-débit traditionnel. Mais derrière ce terme, une bataille se joue en coulisses car tous ne proposent pas le même service qu'ils appellent "fibre". Le gouvernement vient de trancher, avec un arrêté paru au Journal officiel vendredi.

Une histoire de longueur de câble.

Vraie fibre ou fausse fibre, cela fait des mois que les opérateurs télécoms se battent sur un point de vocabulaire. D'un côté SFR, qui assure être le plus avancé en France dans le déploiement de son réseau, et de l'autre côté, Orange, Free et Bouygues télécom, qui sont un peu plus en retard. Et pour cause, eux promettent qu'ils font de la vraie fibre.

Alors quelle est la différence ? C'est une histoire de longueur de câble. Orange, Free et Bouygues télécom installent la fibre jusque dans chaque logement, tandis que SFR l'installe jusqu'au pied des immeubles, et ensuite, ce sont les fils classiques déjà installés qui prennent le relais jusque dans les logements.

1) Que penser de la polémique du document 13 ? Justifier.

2) Recopier et compléter le tableau suivant :

	Voie hertzienne	Fibre optique	Câble coaxial
Type de propagation			
Support matériel			
Procédés physiques			
Avantage(s)			
Inconvénient(s)			

II Données : stockage, transmission, traitement

1) Du support analogique au support numérique

Document 1 : supports de données

Le monde qui nous entoure nous est perçu de manière analogique... Nos cinq sens nous donnent une approche analogique du monde, ils nous permettent de percevoir une très large palette de sensations.

Les signaux analogiques sont de type continu, ils se présentent comme des variations de grandeurs physiques pouvant prendre n'importe quelle valeur de façon continue entre deux intervalles de temps et permettent ainsi de transcrire les sensations et l'information de façon très similaire à celle originale.

Il est parfois plus simple de supporter l'information sous forme numérique grâce à un code : les grandeurs analogiques sont codifiées sous la forme d'une série gigantesque de nombres ou de signes au nombre restreint qui se suivent les uns après les autres.



Illustration 1



illustration 2



illustration 3



Illustration 4



illustration 5



illustration 6

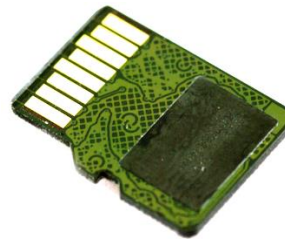


illustration 7



Illustration 11



Illustration 8



illustration 9



Illustration 10



illustration 12 (photo argentique)

Document 2 : stockage audio en 1980

(E. LEIPP « Acoustique et musique » 3^{ème} édition, **1980** Masson, chapitre 6)

II. — LE PHONOGRAPHE

L'idée était « en l'air » depuis longtemps lorsqu'un poète, Charles Cros, et un inventeur, Edison, la réalisèrent presque simultanément à la fin du siècle dernier.

Les premiers phonographes étaient d'une grande simplicité (fig. 34). Ils comportaient une membrane vibrante, munie en son centre d'une aiguille. La pointe de celle-ci appuyait sur la surface d'un cylindre recouvert de cire plus ou moins durcie par d'autres produits, comme laque par exemple, etc. Le cylindre possédait une manivelle, et son axe était une vis. Lorsqu'on agissait sur la manivelle, le cylindre tournait et se déplaçait simultanément vers

la droite. Dans ces conditions, la pointe traçait dans la cire un sillon en forme d'hélice, d'un bout à l'autre du cylindre.

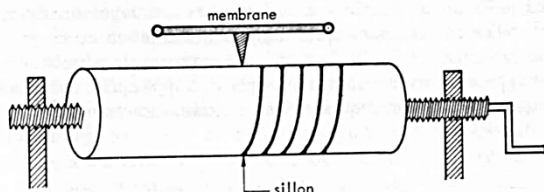


FIG. 34. — Le phonographe. Le principe fut inventé par Charles Cros. Édison réalisa un modèle qui fonctionnait à peu près correctement. Une membrane porte un style qui, sous l'effet des vibrations de la membrane grave un sillon modulé. Le système est réversible : lorsqu'on fait repasser la pointe dans le sillon, la membrane reconstitue le signal acoustique original.

Avec de telles dispositions, lorsqu'on fait vibrer la membrane, en parlant devant elle par exemple, le sillon est modulé en profondeur : il reproduit en fait exactement la forme plus ou moins compliquée de la vibration en amplitude-temps. Le système est réversible. Si, après avoir gravé le sillon, on remet la pointe au point de départ en faisant tourner le cylindre ; elle suivra toutes les excursions du fond du sillon et entraînera la membrane puisqu'elle en est solidaire. Les variations de pression aériennes déterminées ainsi par la membrane reproduiront alors le phénomène acoustique original.

A l'époque, cette invention suscita un étonnement et un enthousiasme extraordinaires ; la reproduction était pourtant bien imparfaite ! La membrane ne vibrat que pour une bande passante fort étroite ; ensuite, il fallait tourner la manivelle bien régulièrement, sinon on avait du « pleurage ». Enfin, les excursions en profondeur de l'aiguille étaient très limitées : il fallait parler très près de la membrane ou crier très fort pour graver le cylindre et à la reproduction, la « dynamique », la gamme des intensités, était très réduite. De plus, la cire s'usait vite. Enfin, en raison de l'inertie, l'aiguille ne suivait pas toutes les finesses de la vibration aérienne et la qualité musicale était assez déficiente, dégradée encore par le bruit de frottement de l'aiguille. Bref, tout cela laissait à désirer ; mais le principe était bon. Or, technologiquement, il y a une règle constamment vérifiée : tout système qui fonctionne mal aujourd'hui marchera bien demain. Étant donné l'intérêt considérable de l'invention, dont on prit rapidement conscience, d'innombrables chercheurs s'acharnèrent à perfectionner la machine. En 1892 déjà, Berliner imagina le disque et la gravure latérale. Cette invention mit bien du temps à détrôner le rouleau de cire, très populaire autour de 1900. Les avantages de l'invention étaient pourtant évidents : encombrement bien moindre, dynamique et fidélité très supérieures. Le système avait cependant quelques inconvénients ! De l'extérieur vers l'intérieur du disque, le diamètre change : puisque le moteur tourne à vitesse uniforme,

la vitesse de défilement de l'aiguille diminue donc graduellement du bord vers le centre : la « fidélité » est moindre vers l'intérieur. Pour pallier cet inconvénient, on adopta une vitesse de rotation assez grande (78 tours/mn) ramenée à 45, puis à 33 tours avec le microsillon. Les avantages du disque étaient cependant tellement énormes qu'il finit par s'imposer, et le phonographe mécanique des années 1930-1935 aboutit à une espèce de perfection qui devait cependant apparaître comme très relative peu de temps après, lorsqu'apparurent les techniques électro-acoustiques et les matériaux nouveaux servant au pressage des disques.

III. — GRAVURE ET LECTURE DES DISQUES MODERNES

Gravure et pressage. — Les gravures modernes partent toujours d'un enregistrement préalable sur bande magnétique. Ceci permet de faire toutes sortes de manipulations, montages variés, suppression et remplacement de passages defectueux, etc.

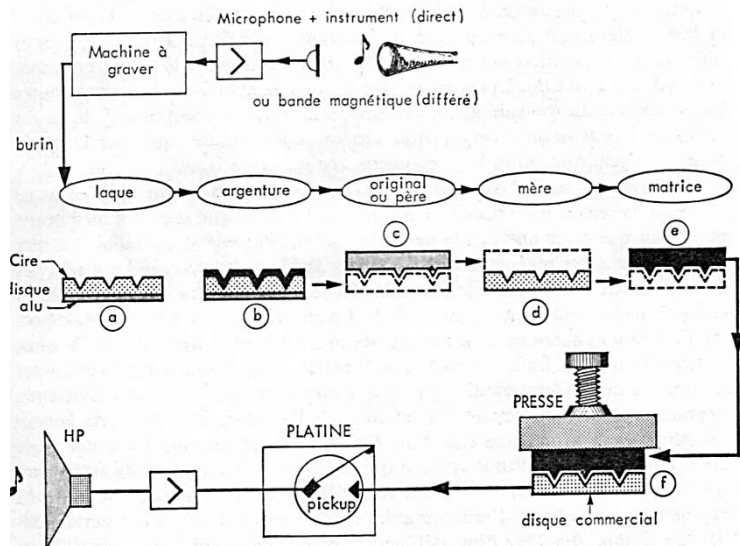


FIG. 35. — Gravure d'un disque. Elle comporte toute une série d'opérations entre l'enregistrement sur bande magnétique et le pressage du disque commercial. Quoique l'on fasse, on ne réalise jamais qu'une reproduction, car chaque maillon intermédiaire altère peu ou prou les formes acoustiques originales. Mais grâce à l'électronique, ces reproductions ont atteint actuellement une perfection qui semble difficile à dépasser.

Grâce à l'amplification électronique, le courant électrique modulé, fourni par le magnétophone est assez intense pour entraîner un burin chauffé, qui vibre latéralement, et grave un sillon modulé sur une couche de « laque » (a) spéciale, à grain très fin, étendue sur un disque en aluminium (fig. 35).

Cette laque est ensuite recouverte par galvanoplastie d'une mince pellicule d'argent (b), destinée à rendre la surface conductrice. Puis, elle est placée dans un bain de sel de nickel et on laisse ainsi une couche de nickel se déposer par galvanoplastie sur la surface argentée de la laque. Au bout de 3 heures environ, on obtient un disque en nickel (c) appelé « original » ou « père » : les « sillons », à l'inverse de la laque, sont maintenant en relief. On remet ensuite le père, dont la surface a été traitée au préalable pour éviter l'adhésion, dans un autre bain galvanoplastique et on obtient un nouveau disque en nickel où les sillons sont en creux à présent : c'est la « mère » (d). Enfin, on recommence une fois encore l'opération et on a un autre disque en nickel, en relief, identique au « père » : la matrice. Cette matrice est ensuite portée à la presse. On pose sous la matrice une boule de matière plastique, en particulier du chloro-acétate de polyvinyle, matériau avec lequel le bruit de frottement devient imperceptible. Le tout étant convenablement chauffé, on écrase la matière plastique qui épouse les moindres reliefs de la matrice : c'est le disque commercial classique, que l'on peut lire sur la platine.

On aurait pu « écouter » la laque ; mais on l'aurait abîmée ! On ne peut écouter le « père » puisqu'il est en relief. Par contre, la « mère » fournit une audition remarquable de qualité ; mais elle est fortement abrasive pour le saphir...

Il serait bien entendu possible de passer au pressage à partir de l'original (père) puisqu'il est identique à la matrice. On ne le fait pas pour la raison suivante. Les forces exercées par la presse sont considérables et la matrice finit par s'abîmer lorsqu'on en a tiré un certain nombre de disques. Il est facile d'en refaire une autre si... on a conservé le père.

Toute cette technique est maintenant très bien au point et les disques atteignent une perfection qu'on ne peut plus guère espérer dépasser, car on en est arrivé à l'échelle moléculaire en ce qui concerne la précision de fabrication et le bruit de fond. Encore faut-il utiliser une « chaîne » correcte pour les lire.

Principe et fonctionnement

Le Danois Poulsen en avait inventé le principe au siècle dernier... Il avait montré que si l'on magnétise un fil d'acier avec un électro-aimant en lui « imprimant » un signal acoustique préalablement capté par un microphone et convenablement amplifié, il était possible de reconstituer ce signal acoustique, de le « relire » avec un haut-parleur. Les premiers modèles commerciaux de magnétophones, apparus sur le marché après la guerre de 1940-1945 utilisaient effectivement un fil d'acier très fin. Ces appareils fonctionnaient bien, mais la qualité du son laissait beaucoup à désirer; utilisables pour les messages parlés, ils ne l'étaient guère pour la musique.

L'invention de la bande magnétique allait apporter bientôt une solution au problème.

Sur une mince bande de matière plastique (fig. 36), on dépose un enduit dans lequel sont incorporées de fines particules d'oxyde ferrique, par exemple, que l'on peut magnétiser à loisir. Sur la figure 36, a, les charges sont en désordre.

particules en désordre polarisation =
particules "alignées"
en ordre par courant
de haute fréquence

enregistrement =
modulation systématique
des groupes de particules

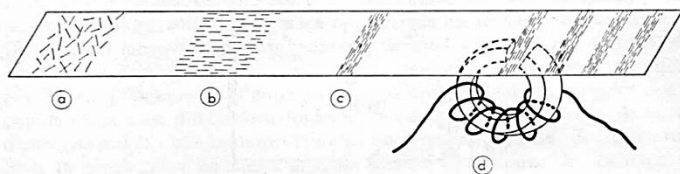


FIG. 36. — La bande magnétique. Le courant modulé délivré par le microphone, convenablement amplifié, modifie les dispositions magnétiques des particules incorporées à une « couche sensible » coulée sur une bande de matière plastique : la forme acoustique aérienne est ainsi transformée en configuration magnétique. L'opération étant réversible, on peut relire la bande. Un gros avantage réside dans la possibilité d'effacer la configuration à l'aide d'un courant de très haute fréquence (polarisation). D'autre part, faire des « montages » en découpant et en collant des morceaux de bande devient une opération facile.

Mais on peut les mettre en ordre à l'aide d'un champ magnétique intense de haute fréquence; c'est la « polarisation » (fig. 36, b). Si on approche un aimant de la couche ainsi polarisée, le champ magnétique déplace nécessaire-

ment un certain nombre d'électrons et la configuration magnétique des particules change. Ainsi, lorsque l'entrefer entre les deux pôles de l'aimant est étroit, on obtient une véritable ligne formée de charges, perpendiculaire à la bande (fig. 36, c). On peut visualiser la réalité de cette ligne en versant, sur la bande, de la limaille de fer très fine que l'on observe au microscope.

Imaginons maintenant une « tête d'enregistrement », petit électro-aimant à entrefer très étroit, et envoyons-lui une série périodique d'impulsions électriques. Immédiatement, les particules « dessineront » une configuration particulière sur la bande, par exemple une série de « traits ».

Le système est réversible. Revenons en arrière et faisons défiler la bande devant un autre électro-aimant, la tête de lecture, branchée sur un haut-parleur, avec des amplis intermédiaires, bien entendu. Chaque fois qu'un « trait » de particules magnétisées passera devant la tête, elle produira un courant induit. S'il y avait 100 « traits » par seconde, on entendra un son de 100 Hz : on a relu le signal inscrit sur la bande.

Avec l'apparition du transistor, le magnétophone fut encore perfectionné : il est devenu un outil extraordinaire permettant d'enregistrer et d'écouter immédiatement autant de fois qu'on le désire n'importe quel phénomène acoustique, si compliqué et variable soit-il. La « fidélité » est extraordinaire, le bruit de fond infime : pas de clics, ni de bruits de frottement. Il existe actuellement d'innombrables modèles de magnétophones que l'on peut choisir selon les problèmes que l'on veut résoudre. On sait, en particulier, fabriquer des modèles autonomes à piles de qualité professionnelle, qui permettent de travailler en tous lieux et en toutes circonstances.

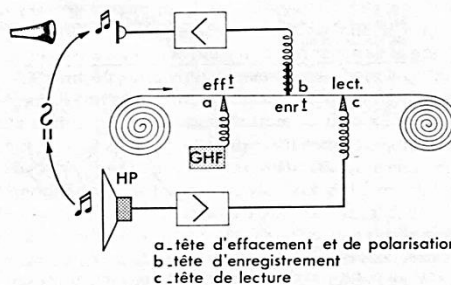


FIG. 37. — Principe de fonctionnement du magnétophone. On utilise généralement trois têtes (effacement, enregistrement et lecture). Parfois la même tête sert à l'enregistrement et à la lecture. Un haut-parleur est incorporé au système : enregistrer, écouter, effacer, sont désormais des opérations rapides et simples. La régularité de défilement de la bande est un point capital.

Document 3 : comparaison du stockage analogique et du stockage numérique

Modèle de comparaison (etud.insa-toulouse.fr/~brulard/Cours_et Annales/.../II.doc)

Pour bien percevoir la différence de qualité entre les deux types de signaux traités, on peut aussi imaginer une personne dansant en plein soleil : celui-ci diffuse une lumière continue et tous les mouvements du danseur peuvent être perçus. C'est l'analogique. Maintenant imaginons ce même danseur sous une lumière stroboscopique : celui-ci n'éclaire que le danseur par à-coups, et le mouvement n'est pas perçu de façon continue. C'est le numérique. Maintenant si le stroboscope éclaire le danseur à une fréquence très élevée, l'image perçue par notre œil sera très proche dans les deux cas mais le stroboscope ne donnera jamais exactement la réplique parfaite de l'image perçue par le soleil.

Application à la musique (etud.insa-toulouse.fr/~brulard/Cours_et Annales/.../II.doc)

Les disques vinyles n'utilisent pas l'échantillonnage, et de ce fait, le son n'est donc pas numérisé en 'escaliers'. Chacun sait en effet qu'à l'opposé de la bande magnétique ou du disque vinyle, le Compact Disc (CD) échantillonné en numérique à 44 000 Hz, ampute le signal audio, en le codifiant sous forme d'une courbe 'escalier'. Le son numérique est plus « métallique » et n'a pas la chaleur du son analogique. D'où le net avantage qualitatif musical du son analogique sur le son numérique, et du disque vinyle sur le disque compact. Les informations sonores gravées dans ses sillons restituent un signal analogique linéaire, continu. De surcroît, le son du disque vinyle est d'une indiscutable qualité musicale avec incomparable richesse harmonique. Le résultat ? Une image sonore réaliste et extrêmement précise, avec un rendu étonnant des aigus et une définition exceptionnelle de l'espace stéréophonique. La musique restituée semble « naturelle ».

Place du stockage (<http://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/ressource/monde-numerique.xml>)

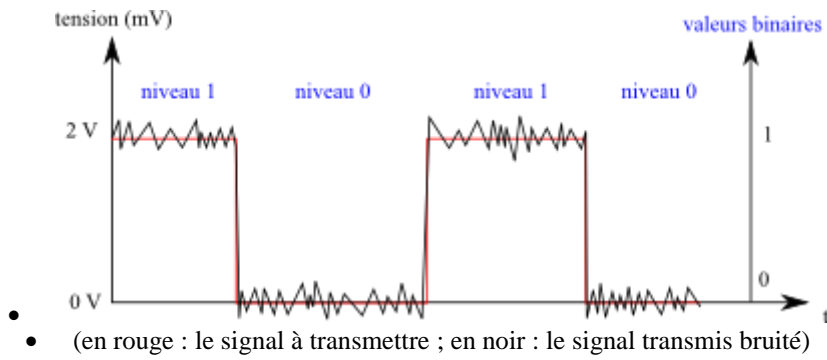
Lorsqu'il s'agit de transmettre de l'information comme de la voix, de l'image animée ou fixe, de stocker cette information ou encore de la travailler, le format analogique devient alors vite limitant. Face à cette quantité énorme d'information échangée, les 10 dernières années ont connu un essor dans le développement des capacités de stockage via le numérique. Le compromis volume d'enregistrement versus encombrement a permis de mettre quelques téraoctets dans quelques cm². Plusieurs livres numérisés peuvent tenir dans la poche d'un pantalon sur une clé USB. On voit ainsi que le numérique a tenu son pari. Afin de pérenniser les documents anciens ou précieux, les archives sont aussi actuellement activement numérisées dans toutes les institutions. Aujourd'hui, les supports de stockage de l'information sur le marché offrent à peu près ces possibilités :

Type de support	Clé USB	CD	DVD (simple couche)	Blue-ray (simple couche)	Disque dur
Quantité stockée	4 à 256 Go	700 Mo	4,7 Go	25 Go	250 Go à 12 To

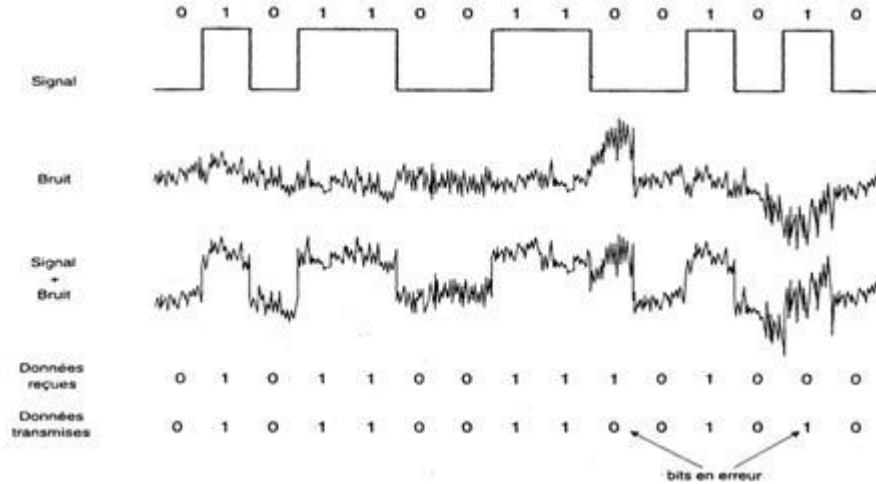
De plus, ces volumes ne prennent pas en compte les algorithmes de compression qui peuvent être utilisés afin de réduire encore la place des données. Environ 10 chansons sous format MP3 occuperont autant de place mémoire qu'une seule directement issue d'un CD (qualité Hifi).

Document 2 : fiabilité de la transmission

Le signal numérisé se résume en une suite de nombres, représentés en binaire par des 1 et 0, ou encore des niveaux de tensions correspondant respectivement à des niveaux hauts et des niveaux bas. Sous cette forme, le signal devient beaucoup plus robuste aux petites perturbations même si des erreurs peuvent apparaître.



Possibilité d'apparition d'erreurs de transmission :



De part ces deux états bien distincts, le signal numérique présente l'avantage d'être facilement et fidèlement reproductible. Lors de la transmission du signal, l'information peut être contrôlée par des programmes de détections d'erreurs assurant une grande fiabilité au message (par exemple séquence de bits de détection d'erreur dans une trame TCP/IP, voir exemple de deux erreurs ci-dessus facilement corrigibles par rapport à l'équivalent analogique). Le signal numérique est aussi facilement cryptable et cela permet d'améliorer la sécurité des transmissions.

1) Expliquer pourquoi le signal numérique « devient beaucoup plus robuste aux petites perturbations » que le signal transmis analogiquement avec le même bruit par exemple.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2) Quels sont les avantages de la transmission sous forme numérique ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

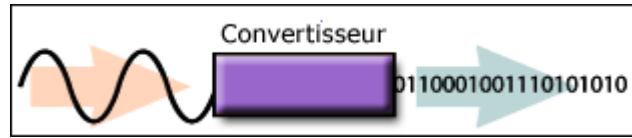
.....

.....

3) Comment passer d'un signal numérique à un signal analogique ?

L'objectif de la numérisation est de transformer le signal analogique qui contient une quantité infinie d'amplitudes en un signal numérique contenant lui une quantité finie de valeurs.

Le passage de l'analogique au numérique consiste en 2 étapes successives : l'échantillonnage et la conversion analogique-numérique (CAN).



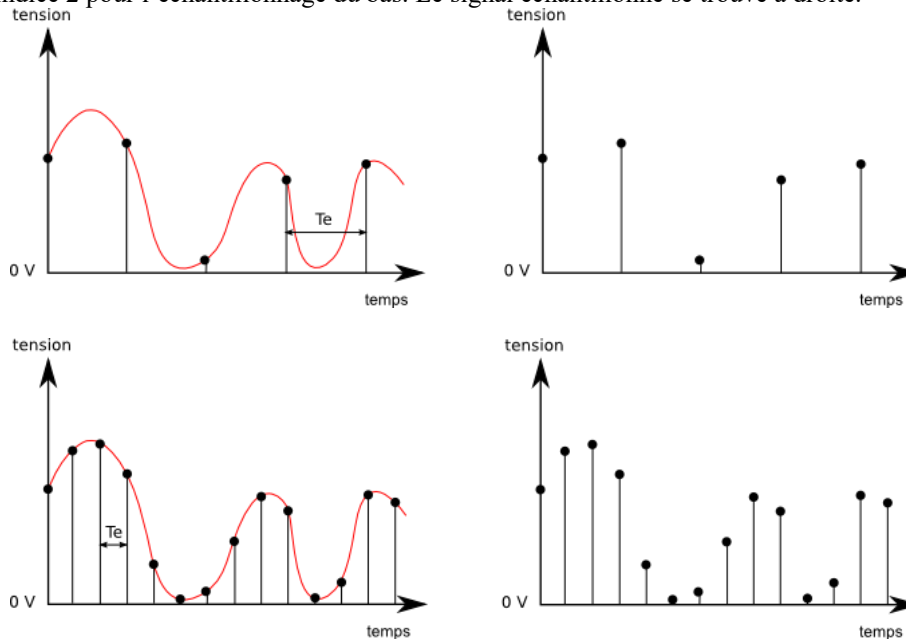
La numérisation est d'autant meilleure que le signal numérique traduit au mieux le signal analogique initial.

a) Echantillonnage et fréquence d'échantillonnage

i) Théorie

Pour numériser un signal, il faut le découper en **échantillons** (« samples » en anglais) de durée égale T_e . La **fréquence d'échantillonnage** correspond au nombre d'échantillons par seconde : $F_e = 1/T_e$

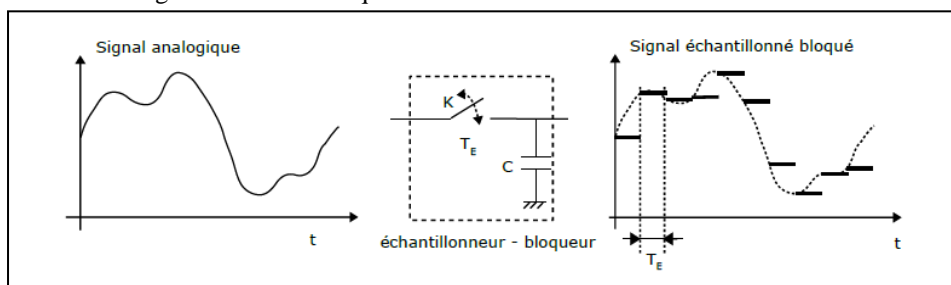
Exemple d'échantillonnage avec deux fréquences différentes (rajouter des indices : indice 1 pour l'échantillonnage du haut et indice 2 pour l'échantillonnage du bas. Le signal échantillonné se trouve à droite.



Quelle est la fréquence d'échantillonnage la plus grande ?

Quelle est la fréquence qui permet le meilleur échantillonnage ? Pourquoi ? Conclure de façon générale.

On échantillonne un signal électrique analogique selon une **période d'horloge ou période d'échantillonnage**. Le signal échantillonné est destiné à être converti en un nombre binaire par un convertisseur analogique numérique. Cette conversion n'est pas instantanée, il est nécessaire de figer les échantillons prélevés sur le signal durant la durée de conversion. En pratique, on réalise un blocage du signal échantillonné, c'est-à-dire le maintien du niveau de chaque échantillon pendant une période T_e d'échantillonnage à l'aide d'un bloqueur.



Théorème de Shannon (hors programme) : afin d'échantillonner correctement un signal sinusoïdal de fréquence f_{signal} sans perte d'information, la fréquence d'échantillonnage $f_{\text{éch}}$ doit être telle que $f_{\text{éch}} > 2 f_{\text{signal}}$.

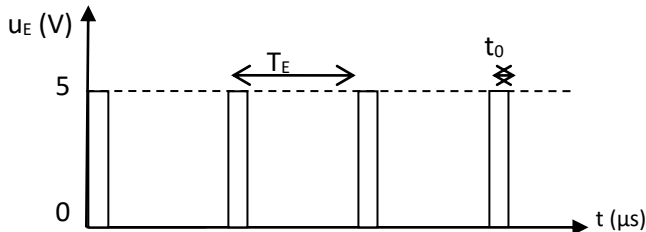
ii) Etude expérimentale de l'influence de la fréquence d'échantillonnage

T_E est la fréquence d'échantillonnage.

Réglage des appareils :

GBF2 : signal d'horloge qui va permettre de prendre la mesure pendant une durée t_0 très courte (rapport cyclique de 10% ou 20% selon modèle de GBF), à intervalles de temps régulier T_E . On utilise le **GBF blanc** (notice fournie) en sortie 50Ω.

- Régler le GBF 2 en signal périodique **carré**, d'**amplitude 5,0 V** et de **fréquence $f_E = 12 \text{ kHz}$** avec une tension d'offset de 2,5V de façon à avoir une tension variant entre 0 et 5V.
 - Brancher le GBF2 sur la voie 1 de l'oscilloscope et régler la base de temps et l'échelle verticale pour visualiser correctement le signal.
 - Régler alors le rapport cyclique (bouton symetry) pour afficher un rapport cyclique de « 20-80 ».
- Le signal délivré par le GBF2, « signal d'horloge », doit avoir l'allure suivante :



Questions :

Quelle est la période d'échantillonnage T_E ? La durée t_0 pendant laquelle le signal va être mesuré ? Que représente l'affichage « 20-80 » du GBF ?

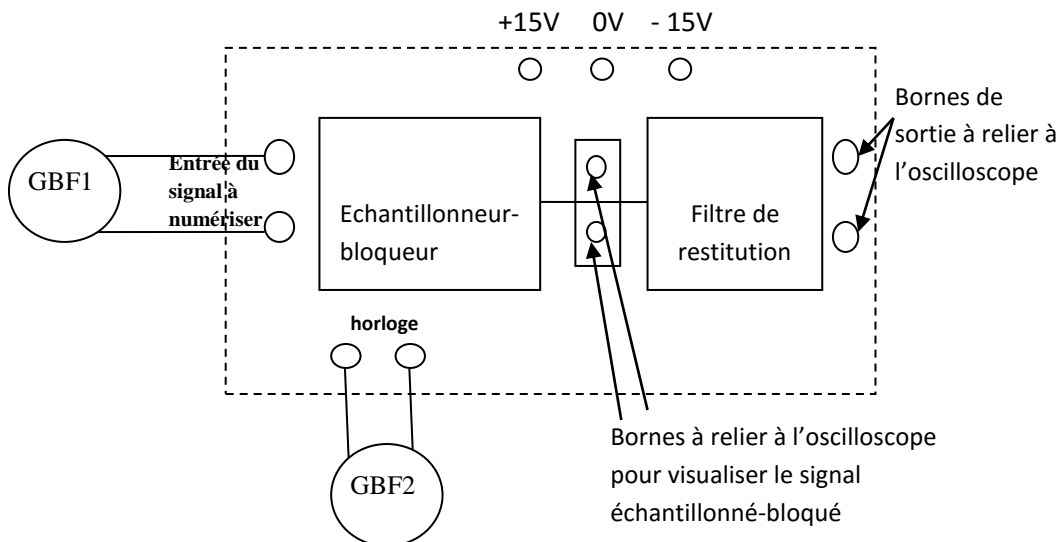
On ne modifiera plus le réglage du GBF2

- Débrancher le GBF2 de l'oscilloscope avant de passer à la suite.
- GBF1 (GBF gris)** : tension sinusoïdale de fréquence $f_s = 1 \text{ kHz}$ et d'amplitude $U_s = 5,0 \text{ V}$ (et pas d'offset)
 $u_s(t) = U_s \cdot \cos(2\pi f_s t)$ C'est le signal analogique que l'on veut échantillonner.
- Régler le GBF1 et vérifier vos réglages en visualisant le signal sur la voie 1 de l'oscilloscope.
 - Débrancher alors le GBF1 de l'oscilloscope.

Afin de voir la qualité de l'échantillonnage, on utilise, à la suite de l'échantillonneur bloqueur un « filtre de restitution » qui, si tout fonctionne correctement comme on le désire, devrait, en sortie, restituer le signal d'entrée (Le filtre de restitution est adapté à la fréquence d'échantillonnage $f_E = 12 \text{ kHz}$).

Montage :

- **Avant de brancher les GBF, alimenter la plaquette en +15V, 0V, -15V et ne plus débrancher cette alimentation avant la fin du TP** (risque de détérioration des composants électroniques)



- Brancher les GBF1 et 2 sur la plaquette en utilisant soit deux fils soit un câble coaxial suivant le matériel.
- Visualiser successivement sur la voie 2 :
 - Le signal à la sortie de l'échantillonneur-bloqueur ;
 - Puis le signal restitué après le filtre.

Noter vos observations (dessiner les oscillogrammes observés) puis remplir la colonne correspondante dans le tableau ci-après. (les fréquences pourront être déterminées en utilisant le mode « mesure » ou les curseurs de l'oscilloscope – notice jointe)

Pour étudier l'influence de la fréquence d'échantillonnage f_E sur la « numérisation » puis la restitution d'une tension sinusoïdale (signal analogique), on va plutôt modifier la fréquence f_S du signal à échantillonner (l'amplitude n'est pas modifiée) et voir l'impact de l'échantillonnage sur ce signal d'entrée.

- Modifier la fréquence f_S du signal « à numériser » et compléter le tableau.

Fréquence f_S du signal en kHz	1,0	2,0	3,0	8,0	9,0	10,0
Période T_S du signal						
Période T_E d'échantillonnage						
Fréquence f_E d'échantillonnage						
Nombre d'échantillons par période T_S						
Fréquence f_R du signal restitué						
Echantillonnage correct ?						

Conclusion : A quelle(s) condition(s) l'échantillonnage est-il correct ?

Le théorème de Shannon est-il vérifié ?

Lorsque l'échantillonnage n'est pas correctement réalisé, quelle relation semble exister entre f_S , f_R et f_E ? Encadrer cette relation. Ce phénomène s'appelle « le repliement spectral ».

iii) Comment choisir la fréquence d'échantillonnage pour l'enregistrement d'un CD-audio ?

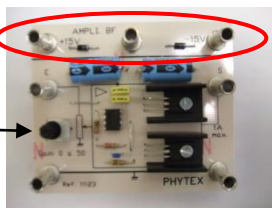
Rappeler le domaine des fréquences audibles.

On souhaite enregistrer sur un CD, un son sinusoïdal de fréquence 3,0 kHz. La fréquence d'échantillonnage utilisée au I.2) peut-elle convenir ? Justifier.

Vérification expérimentale : On va utiliser un haut-parleur (HP) pour écouter le son à numériser et le signal restitué après le filtre. Il est parfois nécessaire d'utiliser un amplificateur pour utiliser le haut-parleur. On essaiera une première fois l'expérience sans amplificateur. Si cela ne fonctionne pas, on intercalera un amplificateur.

Attention : Alimenter l'ampli en +15V, 0V, -15V avant toute utilisation.

Régler le gain au minimum (bouton rotatif en butée à gauche).



- Brancher le GBF1 au haut-parleur (ou à l'entrée de l'ampli (E et masse) et relier la sortie (S et masse) de l'ampli au haut-parleur) juste le temps d'écouter brièvement le son émis.
- Brancher maintenant à la place du GBF1, le signal restitué à la sortie du filtre et écouter brièvement le son émis. A l'oreille, la restitution du son est-elle correcte ?

On choisit maintenant une fréquence d'échantillonnage de valeur $f_E = 3,5$ kHz..

- Régler le GBF2 et refaire l'expérience précédente. Noter les observations expérimentales et interpréter en vous aidant des expériences du I.2).

Conclusion : Quelle valeur minimale doit avoir la fréquence d'échantillonnage pour enregistrer un son ?

iv) Le cri d'une chauve-souris peut-il perturber l'enregistrement d'un CD-audio ?

La fréquence d'échantillonnage standard utilisée pour la réalisation d'un CD-audio est : $f_E = 44,1$ kHz. Le cri d'une chauve-souris peut être simulé par une tension sinusoïdale de 40kHz et d'amplitude 2V. Le cri de la chauve-souris est-il audible ? Le cri de la chauve-souris va-t-il perturber l'enregistrement d'un CD-audio ? A l'aide du matériel disponible, proposer une expérience pour répondre à ces interrogations. **Après accord du professeur**, réaliser les expériences.

Conclusion : Noter vos observations expérimentales. Pourquoi le cri de la chauve-souris perturbe-t-il l'enregistrement du CD ?

Quelle modification pourrait-on apporter au dispositif pour que la présence de la chauve-souris soit sans conséquence ?

v) *Influence de la fréquence d'échantillonnage sur le signal numérique sonore*

Jusqu'à présent, l'étude était faite sur des signaux, éventuellement sonores, sinusoïdaux. Qu'en est-il pour un signal sonore quelconque ?

Une notice du logiciel Audacity est disponible dans la pochette de notices.

- Ouvrir Audacity et le fichier : **orchestre.wav (bureau/Physique(reseau)/TS/Numérisation du signal/...)**
- Ecouter le fichier audio ; obtenir le spectre (cf notice) et noter la fréquence la plus grande présente (un ordre de grandeur suffit).
- Ré-échantillonner le son à l'aide du logiciel en 8kHz (cf notice). L'enregistrer sous le nom : « **orchestre8.wav** » sur le bureau.
- Ouvrir ce second fichier et l'écouter. Est-ce le même « son » ? Confirmer à l'aide du spectre. Conclure.

- Ré-échantillonner le son « **orchestre8.wav** » en son 48 kHz. L'enregistrer en « **orchestre8vers48.wav** ». L'écouter. Le son est-il meilleur maintenant ? Confirmer à l'aide du spectre.

Exercice :

Un son aigu a une fréquence de 10 kHz. Un son grave a une fréquence de 100 Hz

1. Calculer les périodes de ces deux sons.
2. Si la fréquence d'échantillonnage choisie est de 1 kHz pour numériser ces sons, calculer la durée des échantillons.
3. Quel type de son est alors mal numérisé ?

Conclusion : fréquences choisies suivant les supports sonores (justifier)

Type de support de sons	F _E choisie
CD audio	44,1 kHz
DVD	48 kHz
Téléphonie	8 kHz
Radio numérique	22,5 kHz

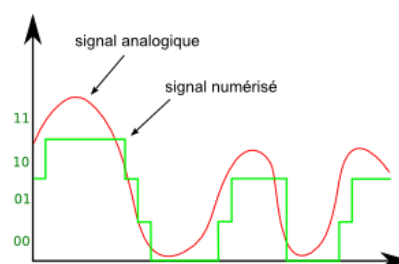
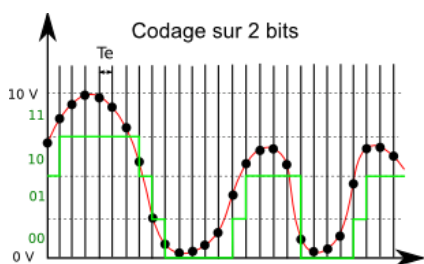
b) La quantification d'un signal

i) *Théorie*

Lors de la numérisation, il faut également discrétiser les **valeurs de l'amplitude du signal**. Le nombre de valeurs dont on dispose pour définir l'amplitude s'appelle la quantification. Elle s'exprime en « **bits** » pouvant prendre 2 valeurs 0 ou 1. Pour coder l'information après échantillonnage, on utilise des séquences de bits définissant des nombres en base 2.

Exemples :

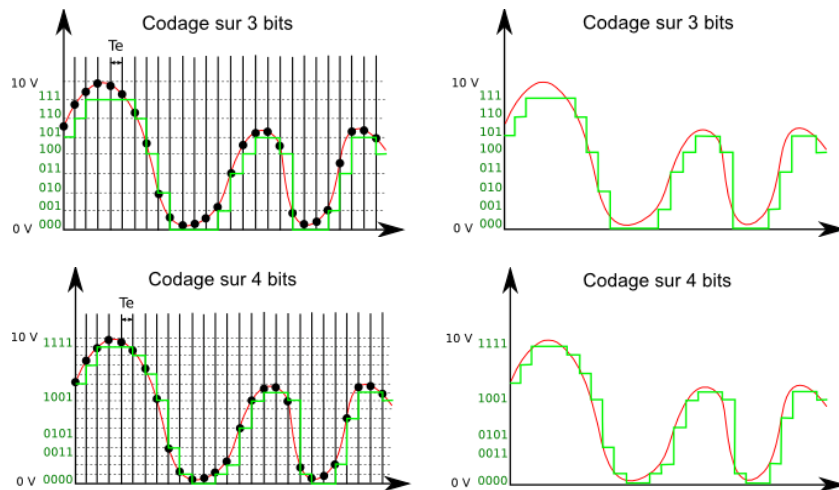
- avec 1 bit, on peut écrire : 0 et 1 soit 2 valeurs
- avec 2 bits, on peut écrire : 00, 01, 10 et 11 soit 4 valeurs ($4 = 2^2$)
- avec 3 bits, on peut écrire : 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111 soit 8 valeurs ($8 = 2^3$)
- avec 8 bits (=1 octet), on peut coder $2^8 = 256$ valeurs . . .
- avec n bits, on peut écrire 2^n valeurs



Dans cet exemple, le signal a une amplitude de 10 volts :

- 0 à 2,5 V, le code sera « 00 »
- 2,5 V à 5 V, le code sera « 01 »
- 5 V à 7,5 V, le code sera « 10 »
- 7,5 V à 10 V, le code sera « 11 »

Donner le nombre de valeurs et les valeurs correspondant à un codage sur 4 bits :



Mieux vaut-il choisir une grande quantification ou une petite quantification ? Pourquoi ?

Ordres de grandeurs :

Type de support de sons	Quantification choisie
CD audio	16 bits
DVD	24 bits
Téléphonie	8 bits
Radio numérique	8 bits

ii) *Illustration expérimentale*

- Ouvrir Audacity et le fichier : **piano_44kHz_16bits.wav**
- Modifier la quantification du fichier audio en 8 bits. L'enregistrer en **piano_44kHz_8bits.wav** sur le « Bureau ».
- Ouvrir et écouter le fichier audio suivant : **piano_44kHz_16bits.wav**
- Ouvrir et écouter maintenant le fichier : **piano_44kHz_8bits.wav**
- Que remarque-t-on lorsque l'on réduit la quantification ?
- Confirmer avec le spectre de chacun des fichiers.

c) Conclusion : choix des critères de numérisation

En résumé, plus la fréquence d'échantillonnage et la quantification sont grandes, meilleure sera la numérisation car le signal échantillonné sera d'autant plus proche que le signal de départ.

Alors pourquoi se restreindre au niveau de ces valeurs ?

La limite vient du nombre d'octets qui vont être nécessaires pour numériser (c'est-à-dire décrire) le signal analogique car :

- Il faut du temps pour écrire toutes ces données sur un support (durée qui dépend de beaucoup de paramètres : type de support, version du port USB etc....)
- Ce nombre sera écrit sur un support de stockage (disque dur, clé USB, DVD...) et la capacité de stockage de ces supports n'est pas illimitée.
- Ces données vont peut-être transiter sur un réseau qui possède un débit binaire limité (ne pourra pas transmettre plus d'un certain nombre d'octets par unité de temps)

Informations(savoir interpréter et expliquer cette formule) :

Le nombre N d'octets (ensemble de 8 bits) nécessaires pour « décrire » numériquement **une seconde** de son est :

$$N = F \times (Q/8) \times n$$

avec F fréquence échantillonnage en Hz ; Q : quantification en bits ; n : nombre de voies (si son stéréo, n = 2 ; si mono : n = 1)

Attention : Lorsqu'ils sont appliqués aux octets les préfixes de multiples ne représentent pas une puissance de 10 mais une puissance de 2 ! Exemple : 1 kilooctet : 1 ko = 2^{10} octets = 1024 octets ; 1 Mo = 1024 ko et 1 Go = 1024 Mo

Exemples d'application :

- Calculer le nombre d'octets nécessaires pour coder un morceau de musique d'un CD audio de 3 min (44,1 kHz et 16 bits, stéréo). Convertir en Mo.
- Calculer le nombre d'octets nécessaires pour coder 3 min d'un film sur DVD (48 kHz et 24 bits, stéréo). Convertir en Mo.
- Un réseau informatique domestique de mauvaise qualité possède un débit binaire de 230 ko/s (nombre d'octets pouvant circuler sur le réseau par seconde). Le son du CD pourra-t-il être transmis sur ce réseau ? Et celui du DVD ?
- Combien de morceaux de musique de 3min pourra-t-on stocker sur un lecteur mp3 de 4Go ?
- Sur le site de SanDisk® (fabricant de cartes mémoire et lecteurs mp3), on trouve :

	512 Mo	1 Go	2 Go	4 Go	8 Go	16 Go	32 Go
Nb de chansons	125	250	500	1000	2000	4000	8000

D'où vient la différence ?

Exercice bilan :

Une personne mal attentionnée télécharge sur un forum une chanson de 3 minutes au format mp3. La chanson a été numérisée par un pirate à 16 kHz et 8 bits mono.

La personne, voulant une qualité « DVD » pour la chanson, modifie le fichier et le transforme en 48 kHz et 24 bits stéréo.

1. Calculer le poids en octet de la chanson avant et après transformation.
2. Décrire la sensation auditive que l'on éprouve en écoutant le fichier téléchargé avant transformation.
3. La qualité de la chanson a-t-elle été améliorée par la transformation ?
4. Comment la personne peut-elle améliorer la qualité du fichier téléchargé ?