

**CONTROLE ECRIT
SYSTEMES DE TRANSMISSION**

Durée : 2 heures

Documents et calculatrices interdits

*Ce contrôle est destiné à mesurer le degré de compréhension et d'assimilation de cet enseignement.
Il comporte une série de questions contenant parfois un petit exercice d'application.
Rédigez des réponses justifiées, courtes mais claires.
Bon courage !*

Questions relatives aux Modulations

- 1) Dans le cadre des transmissions hertziennes, comment sont différenciés les différents canaux de transmission correspondants à des informations distinctes ? Comment peut-on alors les sélectionner ?
- 2) En présence d'une fonction modulée en d'amplitude : $\mathbf{m(t) = x(t).cos (2\pi f_0 t)}$, quelles sont les deux opérations élémentaires à réaliser pour retrouver l'information $\mathbf{x(t)}$?
- 3) Compléter le tableau suivant avec les qualificatifs que vous jugez appropriés pour établir une comparaison (*recopier ce tableau sur la copie*) :

critère	Modulation d'amplitude	Modulation angulaire
Occupation fréquentielle		
Comportement vis à vis des perturbations		

- 4) Montrer qu'une fonction à la fois modulée en amplitude et en phase par deux signaux différents peut s'écrire comme étant une somme de deux fonctions orthogonales modulées seulement en amplitude. On prendra comme fonction de départ la fonction suivante : $\mathbf{m(t) = x(t) \cos [2\pi f_0 t + y(t)]}$ $\mathbf{x(t)}$ et $\mathbf{y(t)}$ étant les deux signaux.

Questions relatives à la Numérisation

- 5) L'échantillonnage conduit-il à une erreur systématique lors de la restitution ?
Si oui, laquelle ?
Si non, pourquoi ?
- 6) La quantification conduit-elle à une erreur systématique lors de la restitution ?
Si oui, laquelle ?
Si non, pourquoi ?

.../...

- 7) On considère la transmission d'une fonction continue $x(t)$, réalisée avec deux méthodes différentes.

Justifier les affirmations suivantes :

- « en modulation d'amplitude, le bruit constaté à la réception provient essentiellement du canal de transmission »
- « en modulation numérique, le bruit constaté à la réception provient essentiellement du processus de numérisation »

Conclure au sujet de la qualité de la transmission (de quoi dépend-elle ? puis-je agir sur cette qualité ? ...)

Questions relatives aux systèmes de transmission

- 8) On considère un ensemble de 3 sources d'information toutes caractérisées par un spectre fréquentiel contenu dans la bande $[0 - F]$. On souhaite réaliser un multiplexage fréquentiel de ces 3 sources en utilisant une modulation d'amplitude. Représenter le graphique fréquentiel de ce multiplexage et donner des conditions sur les différentes fréquences associées.
- 9) Quel est le défaut majeur de la méthode de multiplexage fréquentiel ? Expliquer pourquoi, en particulier, il ne faut jamais choisir des fréquences de porteuses multiplexées dont les valeurs seraient multiples les unes des autres (*traité en cours !*)
- 10) Expliquer sommairement le principe du changement de fréquence (principe « superhétérodyne »).
Appliquer ce principe à la réception d'une gamme de fréquences porteuses situées entre 100 et 150 MHz avec un démodulateur fonctionnant à la fréquence unique de 10 MHz : établir un schéma fonctionnel avec toutes les valeurs des fréquences mises en jeu.

F I N

CONTROLE ECRIT - SYSTEMES DE TRANSMISSION

Corrigé

- 1) Dans le cadre des transmissions hertziennes, comment sont différenciés les différents canaux de transmission correspondants à des informations distinctes ? Comment peut-on alors les sélectionner ?

Les canaux sont différenciés par le choix d'une fréquence de fonction sinusoïdale (fréquence porteuse de la modulation).

On peut alors les sélectionner par filtrage passe-bande

- 2) En présence d'une fonction modulée en d'amplitude : $m(t) = x(t) \cdot \cos(2\pi f_0 t)$, quelles sont les deux opérations élémentaires à réaliser pour retrouver l'information $x(t)$?

Multiplication par $\cos(2\pi f_0 t)$: cette opération engendre 2 termes dont l'un est $x(t)$

Filtrage passe bas : pour éliminer le terme indésirable, autre que $x(t)$

- 3) Compléter le tableau suivant avec les qualificatifs que vous jugez appropriés pour établir une comparaison

critère	Modulation d'amplitude	Modulation angulaire
Occupation fréquentielle	Minimale ou « faible »	Théoriquement infinie ou « grande »
Comportement vis à vis des perturbations	Grande sensibilité	Faible sensibilité

- 4) Montrer qu'une fonction à la fois modulée en amplitude et en phase par deux signaux différents peut s'écrire comme étant une somme de deux fonctions orthogonales modulées seulement en amplitude. On prendra comme fonction de départ la fonction suivante : $m(t) = x(t) \cos[2\pi f_0 t + y(t)]$ $x(t)$ et $y(t)$ étant les deux signaux.

En développant l'argument du cosinus : $m(t) = \frac{1}{2} x(t) \cos(2\pi f_0 t) \cos(y(t)) - \frac{1}{2} x(t) \sin(2\pi f_0 t) \sin(y(t))$, soit, en notant $I(t) = \frac{1}{2} x(t) \cos(y(t))$ et $Q(t) = -\frac{1}{2} x(t) \sin(y(t))$, on obtient enfin : $m(t) = I(t) \cos(2\pi f_0 t) + Q(t) \sin(2\pi f_0 t)$ qui est bien une somme de deux fonctions orthogonales (sinus et cosinus de même argument), chacune étant modulée par une fonction du temps : $I(t)$ ou $Q(t)$

- 5) L'échantillonnage conduit-il à une erreur systématique lors de la restitution ?

Si oui, laquelle ? Si non, pourquoi ?

Non, il n'y a pas d'erreur systématique à la reconstitution

Car la reconstitution est exacte grâce à la fonction d'interpolation de Shannon, sous réserve toutefois que la condition de Nyquist-Shannon soit respectée

- 6) La quantification conduit-elle à une erreur systématique lors de la restitution ?

Si oui, laquelle ? Si non, pourquoi ?

Oui, il y a une erreur systématique à la reconstitution

Car, l'erreur d'arrondi faite lors de la quantification (passage de l'ensemble des réels à l'ensemble des entiers relatifs) n'est pas compensable (infinité de solutions !)

- 7) On considère la transmission d'une fonction continue $x(t)$, réalisée avec deux méthodes différentes.

Justifier les affirmations suivantes :

- « en modulation d'amplitude, le bruit constaté à la réception provient essentiellement du canal de transmission »
- « en modulation numérique, le bruit constaté à la réception provient essentiellement du processus de numérisation »

Conclure au sujet de la qualité de la transmission (de quoi dépend-elle ? puis-je agir sur cette qualité ? ...)

En modulation d'amplitude d'une fonction continue $x(t)$, le bruit présent sur le canal s'ajoute à la fonction modulée et modifie donc l'amplitude instantanée de cette fonction ; à la réception, le démodulateur, qui restitue l'amplitude de la fonction modulée, restitue

donc la fonction $x(t)$ accompagnée du bruit additif. Ce bruit provient donc directement du canal.

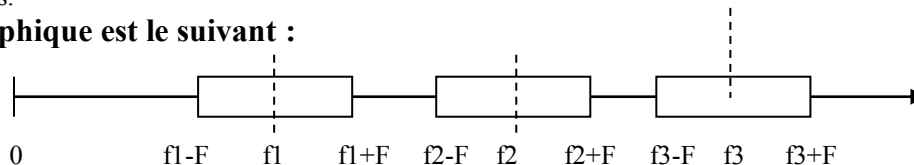
En modulation numérique, le processus est le même relativement au canal, mais la différence essentielle est que la fonction ait été préalablement numérisée, donc ses valeurs ont été quantifiées ; à la réception, le bruit s'est ajouté à ces valeurs quantifiées, mais, si les valeurs de bruits ne sont pas « trop grandes » (inférieures au pas de quantification), les valeurs émises sont récupérées exactement ... à cela près que ces valeurs, ayant été quantifiées, ne sont pas exactement les valeurs d'origine de la fonction $x(t)$, d'où apparition d'un « bruit de quantification » qui ne dépend cette fois que du processus de numérisation.

Conclusion : - la qualité de la transmission en modulation d'amplitude d'une fonction continue dépend essentiellement de la qualité du canal et je ne peux pas agir sur le canal
- la qualité de la transmission en modulation numérique dépend essentiellement de la numérisation et je peux agir sur cette numérisation

- 8) On considère un ensemble de 3 sources d'information toutes caractérisées par un spectre fréquentiel contenu dans la bande $[0 - F]$. On souhaite réaliser un multiplexage fréquentiel de ces 3 sources en utilisant une modulation d'amplitude.

Représenter le graphique fréquentiel de ce multiplexage et donner des conditions sur les différentes fréquences associées.

Le graphique est le suivant :



Afin qu'il n'y ait pas recouvrement, il faut que : $f1+F < f2-F$, soit : $f2-f1 > 2F$
et que : $f2+F < f3-F$, soit : $f3-f2 > 2F$

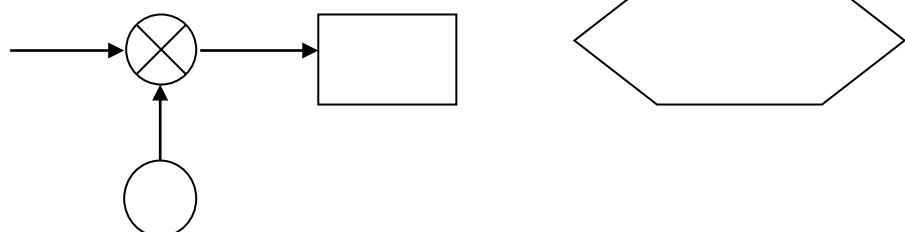
- 9) Quel est le défaut majeur de la méthode de multiplexage fréquentiel ? Expliquer pourquoi, en particulier, il ne faut jamais choisir des fréquences de porteuses multiplexées dont les valeurs seraient multiples les unes des autres (*traité en cours !*)

Le défaut majeur du multiplexage fréquentiel est sa grande sensibilité à la non-linéarité du canal, une telle non-linéarité conduisant à des interférences entre les canaux, ce qui est désastreux vis-à-vis de l'indépendance attendue des divers canaux !

La non-linéarité du canal se modélise par une fonction de transfert du canal de la forme (si 's' est la sortie et 'e' l'entrée) : $s = Ae + Be^2 + Ce^3 + \dots$. En particulier le terme Be^2 agissant sur un $\cos(2\pi f_0 t)$, produit un $\cos^2(2\pi f_0 t)$ qui lui même produit un $\cos(4\pi f_0 t) = \cos(2\pi 2f_0 t)$; ainsi un canal opérant sur f_0 produit une action sur le canal situé sur la fréquence $2f_0$ (et autres multiples), ceci est particulièrement grave si un autre canal est justement sur cette fréquence $2f_0$! En d'autres termes, une information envoyée sur le canal 1 (f_0) produit un effet sur le canal 1 (f_0) mais aussi sur le canal 2 ($2f_0$).

- 10) Expliquer sommairement le principe du changement de fréquence (principe « superhétérodyne »). Appliquer ce principe à la réception d'une gamme de fréquences porteuses situées entre 100 et 150 MHz avec un démodulateur fonctionnant à la fréquence unique de 10 MHz : établir un schéma fonctionnel avec toutes les valeurs des fréquences mises en jeu.

Le principe du changement de fréquence consiste à translater la fréquence porteuse d'une modulation, ceci se réalise grâce à une simple multiplication de la fonction modulée par une fonction sinusoïdale de fréquence différente



[100 MHz ... 150 MHz]



[90 Mhz ... 140 MHz]
Oscillateur variable

Filtre passe bas
 $0 < F < 10 \text{ MHz}$

Démodulateur
 $f_0 = 10 \text{ MHz}$

A une fréquence porteuse reçue f comprise dans la bande [100 MHz ... 150 MHz], on associe respectivement une fréquence d'oscillateur variable (« oscillateur local ») dans la bande [90 Mhz ... 140 MHz] de façon à ce que la différence entre les deux fréquences fasse toujours 10 MHz. Le produit engendre alors deux termes : l'un situé à la fréquence différence, donc précisément 10 MHz, l'autre situé à la fréquence somme (donc 190 à 290 MHz), ce dernier étant éliminé par le filtre passe-bas. Il subsiste donc le seul terme situé à 10 MHz, quelle que soit la fréquence porteuse reçue.