CORRECTION : CONTROLE TELECOM n°1

MODULATION ANALOGIQUE.

Le contrôle d'une durée de 1h30 se découpe en quatre exercices distincts. Le premier noté sur 8 points concerne un rappel de cours. Ne recopiez par les questions, sur votre copie notez le numéro de la question seulement.

L'exercice 2 concerne la modulation d'amplitude (9 points), l'exercice 3 porte sur la modulation angulaire (9 points). L'exercice 4 est une application pratique sur la modulation d'amplitude et angulaire (12 points). Vous pouvez répondre à certaines questions sans savoir faire les questions précédentes.

2 point seront réservé à la clarté de vos propos et à la propreté de votre devoir

Exercice 1 : Question de cours *: Pas de correction sur cette première partie hormis la question 5 ou la majorité d'entre vous s'est trompé .*

1. Pourquoi moduler un signal d'information?
2. Quelle est la différence entre une onde matérielle et une onde electro-magnétique.
3. Quels sont les effets du canal de propagation ?
4. Quelle différence existe-t-il entre une transmission d'un signal en bande de base et une transmission d'un signal modulé.
5. Soit m(t) le signal d'information en bande de base. La porteuse s'écrit de la manière suivante $v(t) = A\sin(2\pi ft + \theta)$.
   a. Quelle caractéristique est modifiée pour une modulation en amplitude ?
   b. Quelle caractéristique est modifiée pour une modulation en phase ?
   c. Quelle caractéristique est modifiée pour une modulation en fréquence.
   ATTENTION : On modifie la phase. Relisez votre cours.
6. Quel peut être l'intérêt d'utiliser une modulation d'amplitude sans porteuse par rapport à une modulation d'amplitude avec porteuse ?
7. Quels sont, dans la liste suivante, les avantages et inconvénient d'une modulation angulaire par rapport à une modulation d'amplitude :
   a. Sensibilité à l'atténuation du canal
   b. Occupation spectrale
   c. Facilité de conception

Exercice 2 : Modulation Analogique d'amplitude

Les questions sont indépendantes

Supposons que le message à transmettre **m(t) soit un signal cosinusoïdal**, d'amplitude S_m et de fréquence f_m. Prenons une porteuse d'amplitude A et de fréquence f_p.

1. Tracer le spectre M(f) du signal d'information m(t) à partir de la table des Séries de Fourier. (1 point)

Réponse

2. Ecrire la formule mathématique du signal modulé. L'indice de modulation est de 20% (2 points)

Réponse

$$v(t) = A[1 + 0,2 * \cos(2\pi f_m t)]\cos(2\pi f_p t)$$

3. A partir des formules trigonométriques suivantes, simplifier l'expression pour ne plus avoir que des sommes de sinus et de cosinus (on supprime les produits de cosinus). (1 point)

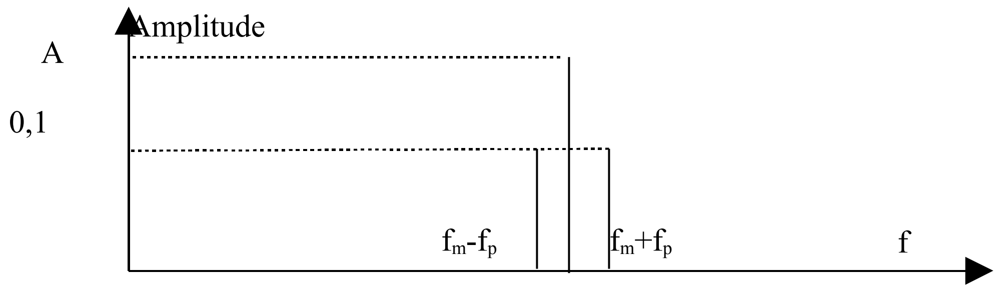
$$\cos(A + B) = \cos(A)\cos(B) - \sin(A)\sin(B)$$

Réponse

$$v(t) = A\cos(2\pi f_p t) + 0,1A * \cos[2\pi\ (f_m + f_p)t)] + 0,1A * \cos[2\pi\ (f_p - f_m)t)]$$

4. Tracer le spectre du signal modulé. (1 point)

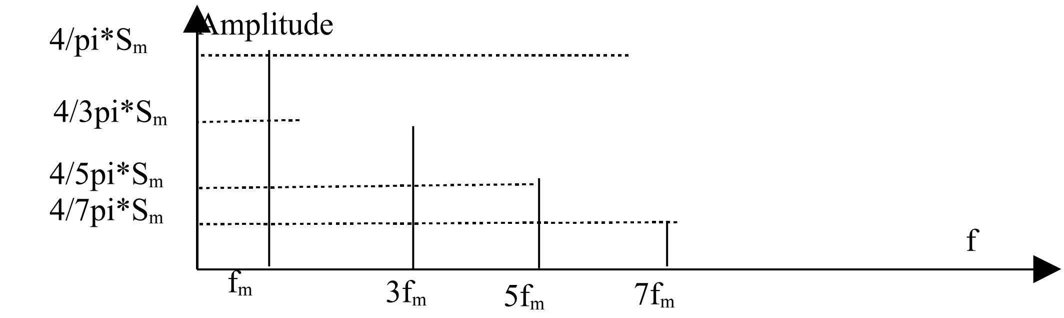
Réponse



Le signal d'information m(t) est maintenant un signal carrée.

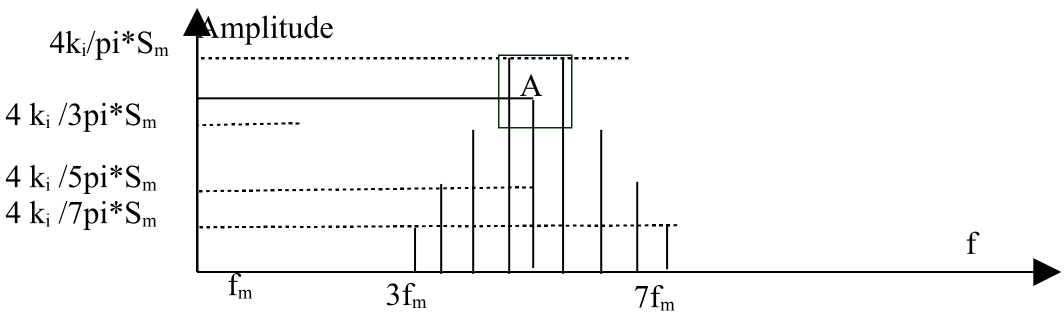
5. Tracer le spectre M(f) du signal d'information m(t) à partir de la table des Séries de Fourier. (2 point)

Réponse



6. Tracer le spectre du signal modulé. (2 point)

Réponse



<u>Exercice 3 : Modulation Angulaire</u>

1. On souhaite moduler une porteuse de fréquence fp=10 kHz par un signal sinusoidal de 100 Hz, d'amplitude 1 volt (1 point). Ecrire l'expression mathématique du signal modulé. (1 point)

Réponse : $v_t(t) = A\cos\left(2\pi f_p t + \frac{k_f a}{f_m}\sin(2\pi f_m t)\right)$

2. Soit la modulation de phase suivante (3points):

$$v_m(t) = S_p.\cos\left(2\pi f_p t + \Theta(t)\right), \text{ avec } \Theta(t) = V\sin(2\pi f_m t)$$

On suppose que Sp=2Volt, fp=10 kHz, fm=100 Hz.

a) A partir de la relation suivante :
$\cos(A+B) = \cos(A)\cos(B) - \sin(A)\sin(B)$

Décomposer $v_m(t)$ **(1 point)**

Réponse :

$$v_m(t) = S_p.\cos\left(2\pi f_p t + \Theta(t)\right) = S_p.\cos\left(2\pi f_p t\right).\cos(\Theta(t)) - S_p.\sin\left(2\pi f_p t\right).\sin(\Theta(t))$$

Tous se passe comme si on avait une modulation d'amplitude, puisque l'amplitude de la porteuse est modulé par $\cos(\Theta(t))$

b) Sachant que : 2 points
$\cos(m.\sin a) = J_0(m) + 2J_2(m).\cos(2a) + 2J_4(m).\cos(4a) + \ldots$
$\sin(m\sin a) = 2J_1(m).\sin(a) + 2J_3(m).\sin(3a) + \ldots$

A partir du graphique suivant, calculez approximativement les coefficients de Bessel (J_0, J_1, .., J_5) si l'amplitude du signal modulant est V=1Volt et V=5 Volt

Réponse : A partir de la figure, on trouve approximativement pour
m=1 : J_0= 0,72 J_1=0,46 J_2=0,1 J_3=0,15 J_4=0 J_5=0
m=5 : J_0= -0,2 J_1=-0,32 J_2=0,08 J_3=0,4 J_4=0.4 J_5=0.28

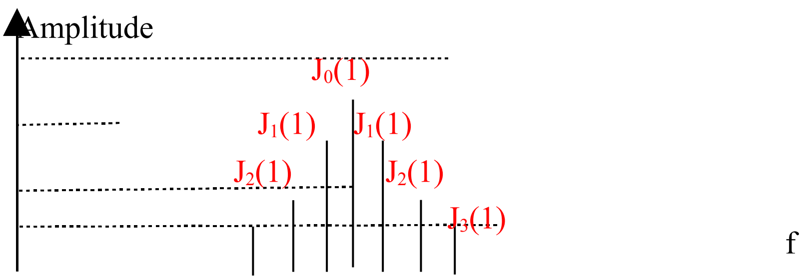
Rmq : Valeurs données dans le cours :

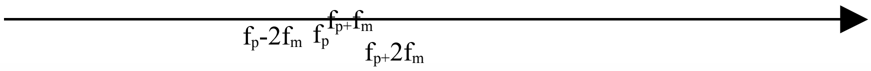
Amplitude	Fonction Bessel	Amplitude	Fonction Bessel
$J_0(1)$	0.765	$J_0(5)$	-0.177
$J_1(1)$	0.44	$J_1(5)$	-0.132
$J_2(1)$	0.11	$J_2(5)$	0.04
$J_3(1)$	0.02	$J_3(5)$	0.36
$J_4(1)$	0.002	$J_4(5)$	0.39
		$J_5(5)$	0.26
		$J_6(5)$	0.13
		$J_7(5)$	0.05
		$J_8(5)$	0.02

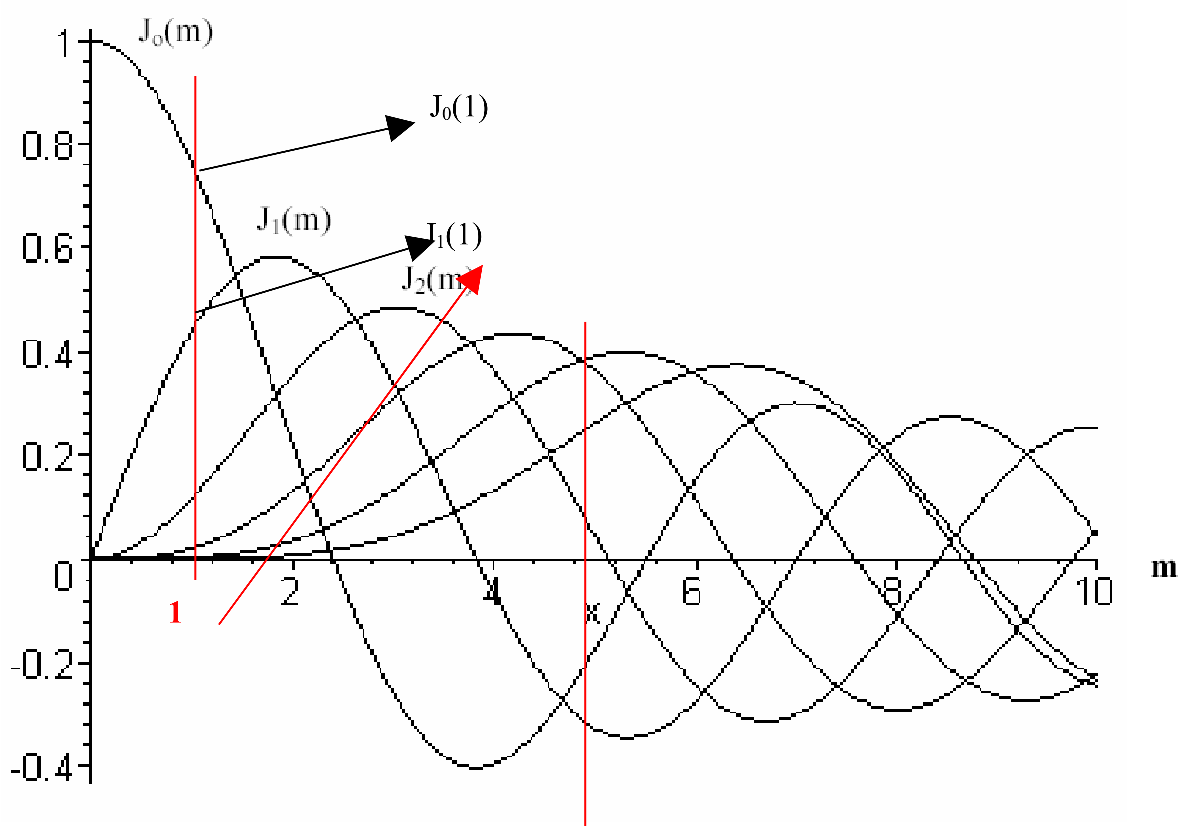
3. Tracer le spectre correspondant pour les deux cas en indiquant clairement l'amplitude des raies et les fréquences. (2 points)

M=1. L'amplitude de la porteuse est égale à 1.On multiplie

$\cos(m.\sin a) = J_0(m) + 2J_2(m).\cos(2a) + 2J_4(m).\cos(4a) + \ldots$ par





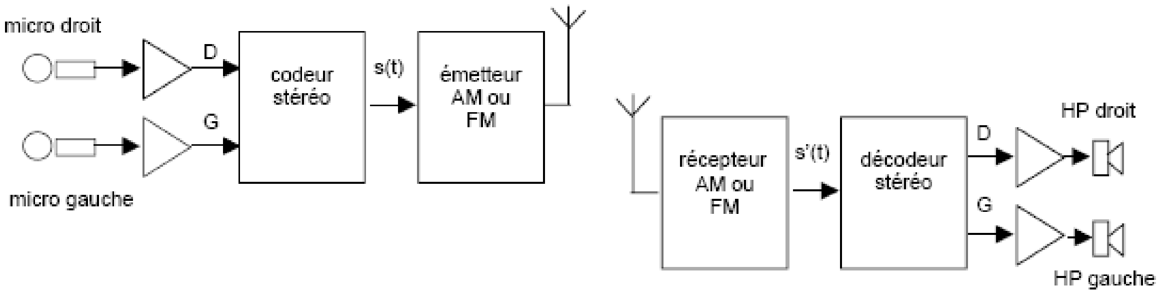


Exercice 4 : Modulation Analogique d'amplitude et Angulaire

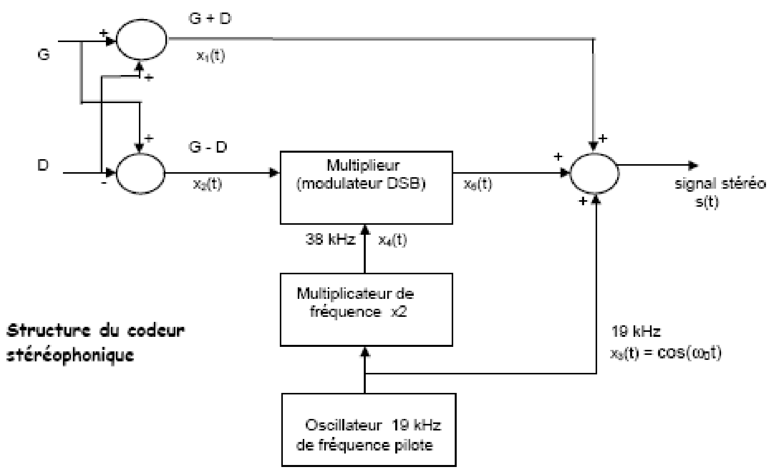
Pour obtenir un effet stéréophonique, il faut transmettre simultanément deux signaux :

- le canal droit D capté par le microphone placé du coté droit
- le canal gauche G capté par le microphone placé du coté gauche

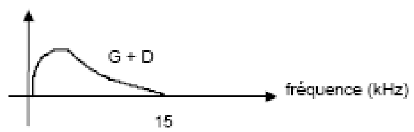
A l'émission, ces deux signaux D et G sont combinés par le codeur stéréo qui fournit un signal basse-fréquence composite stéréo s(t) qui va moduler la porteuse de l'émetteur

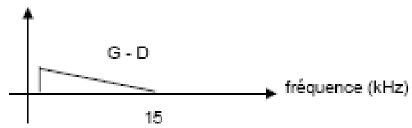


A la réception, ces deux voies devront à nouveau être séparées pour être envoyées sur les haut-parleurs droit et gauche.
Le codeur stéréo élabore d'abord les signaux « somme » $x_1(t) = G + D$ et « différence » $x_2(t) = G - D$:

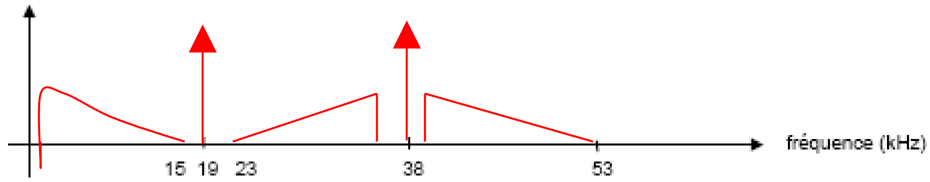


Sachant que dans la bande FM le signal audio est limité en fréquence à 15 kHz, les spectres des signaux G+D et G-D ont à un instant donné l'allure idéalisée suivante :





1) Dessiner le spectre du signal modulé en bande latérale double $x_6(t)$ puis celui du signal codé stéréo s(t) complet. (1 point)



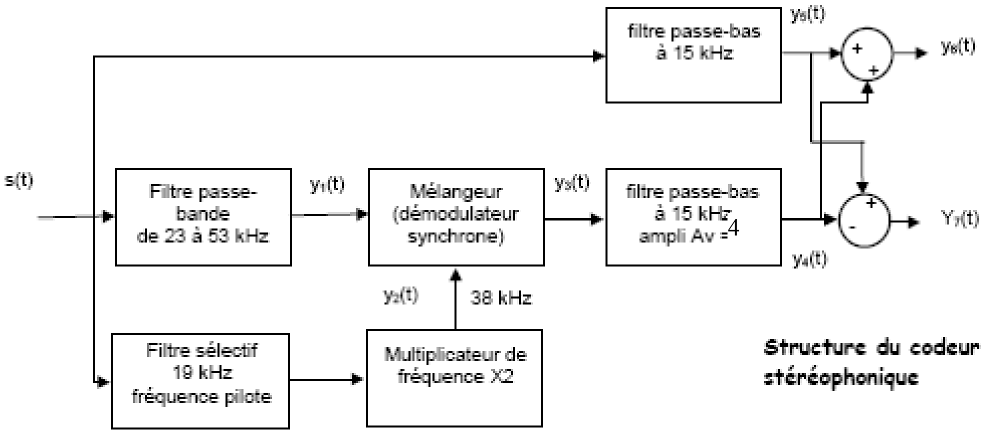
On supposera que le signal $G(t)=V_G.\cos(\omega_G t)$, $D(t)=V_D.\cos(\omega_D t)$, tel que $f_G<15$ kHz et $f_D<15$ kHz. On rappelle que $x_1(t)=G(t)+D(t)$ et $x_2(t)= G(t)-D(t)$

$x_1(t)= V_G.\cos(\omega_G t)+ V_D.\cos(\omega_D t)$,
$x_2(t)= V_G.\cos(\omega_G t)- V_D.\cos(\omega_D t)$

2) Ecrire $x_1(t)$ et $x_2(t)$ (0,5 pt).En supposant que le multiplicateur de fréquence et le multiplieur n'introduisent aucun défauts (ni amplification ni atténuation et que la porteuse n'est pas transmise), donner l'expression mathématique des signaux $x_4(t)$, $x_6(t)$ et s(t). (3 pts)
Tracer le spectre de s(t)

Ce signal s(t) est transmis par l'émetteur au récepteur qui fournit à la sortie du démodulateur un signal s'(t) qu'on supposera identique à s(t).

Réponse : $x_4(t)=\cos(2\omega_0 t)$, $x_5(t)=x_4(t)*x_2(t)=V_G/2*[\cos(2\omega_0 t+\omega_G t)-\cos(2\omega_0 t-\omega_G t)]+V_D/2*[\cos(2\omega_0 t+\omega_D t)-\cos(2\omega_0 t-\omega_D t)]$
$s(t)=x_1(t)+x_2(t)+x_4(t)= V_G.\cos(\omega_G t)+ V_D.\cos(\omega_D t)+V.\cos(\omega_0 t)+ V_G/2*[\cos(2\omega_0 t+\omega_G t)-\cos(2\omega_0 t-\omega_G t)]+V_D/2*[\cos(2\omega_0 t+\omega_D t)-\cos(2\omega_0 t-\omega_D t)]$
On en déduit ainsi le spectre de S(t) composé de sept raies



Structure du codeur stéréophonique

3) Donner les expressions mathématiques des signaux $y_1(t)$, $y_2(t)$, $y_3(t)$. (3 point)
(On supposera que le mélangeur synchrone effectue la multiplication de $y_1(t)$ et $y_2(t)$).

$s(t)=x_1(t)+x_2(t)+x_4(t)= V_G.\cos(\omega_G t)+V_D.\cos(\omega_D t)+V.\cos(\omega_0 t)+ V_G/2*[\cos(2\omega_0 t+\omega_G t)- \cos(2\omega_0 t-\omega_G t)]+ V_D/2*[\cos(2\omega_0 t+\omega_D t)- \cos(2\omega_0 t-\omega_D t)]$
Avec f_G et f_D <15 kHz et tel que f_0=19 kHz

POUR VOUS AIDER TRACER LE SPECTRE DE s(t)

Donc $y_1(t)= V_G/2*[\cos(2\omega_0 t-\omega_G t)]- V_D/2*[\cos(2\omega_0 t-\omega_D t)]$ (cf. spectre)
$y_2(t)= V*[\cos(2\omega_0 t)]$
$y_3(t)= V_G/4*[\cos(\omega_G t)]- V_D/4*[\cos(\omega_D t)]+ V_G/4*[\cos(4\omega_0 t-\omega_G t)]- V_D/4*[\cos(4\omega_0 t-\omega_D t)]$

4) En filtrant les signaux par un filtre passe bas, exprimer le résultat obtenu. Il s'agit de $y_4(t)$, $y_5(t)$ (1 point).
$y_4(t)= 4*\{V_G/4*[\cos(\omega_G t)]- V_D/4*[\cos(\omega_D t)]\}= V_G*[\cos(\omega_G t)]- V_D*[\cos(\omega_D t)]$
$y_5(t)= V_G.\cos(\omega_G t)+ V_D.\cos(\omega_D t)$

5) Donner les expressions mathématiques des signaux $y_6(t)$ et $y_7(t)$ (0,5 point).
$y_6(t)= y_4(t)+ y_5(t)=2 V_G.\cos(\omega_G t)$
$y_7(t)= y_5(t)- y_4(t)=2 V_D.\cos(\omega_D t)$

4) Un récepteur monophonique envoie directement le signal s(t) sur l'amplificateur audio. Quel est alors le signal entendu par l'auditeur ? (0,5 point)) (On rappelle que l'oreille n'est pas sensible aux signaux dont la fréquence est supérieure à 15 kHz)

Attention, nous n'entendons pas les sons au dessus de 15 kHz, donc on entend :
$V_G.\cos(\omega_G t)+V_D.\cos(\omega_D t)$

ANNEXE

Table Série de Fourier.

Tout signal s(t) continu périodique, de période T = 1/f s'écrit de la manière suivante :

$s(t)= a_0+a_1\cos(2\pi ft)+ a_2\cos(2*2\pi ft)+ a_3\cos(3*2\pi ft)+\ldots a_n\cos(n*2\pi ft)+\ldots$
$+b_1\cos(2\pi ft)+ b_2\cos(2*2\pi ft)+ b_3\cos(3*2\pi ft)+\ldots b_n\cos(n*2\pi ft)+\ldots$

Avec :

s(t)	Coefficients de Fourier
$V\sin(2\pi ft)$	$a_i=0$; pour tout i $b_1=V$, $b_i=0$
$V\cos(2\pi ft)$	$a_0=0$, $a_1=V$, $a_i=0$; pour tout i $b_i=0$; pour tout i
Carré d'amplitude V (pair) de tension continue A	$a_0=A$, $a_1=4*V/(i\pi)$, I impair $a_i=0$, i pair $b_i=0$; pour tout i
Triangulaire d'amplitude V de tension continue A	$a_0=A$, $a_1=\pi V/(4i^2)$, i impair $a_i=0$, i pair $b_i=0$; pour tout i

Relation Trigonométrique.

$$\cos(A+B)=\cos(A)\cos(B)-\sin(A)\sin(B)$$
$$\cos(A-B)=\cos(A)\cos(B)+\sin(A)\sin(B)$$
$$\sin(A+B)=\cos(A)\sin(B)+\sin(A)\cos(B)$$
$$\cos(A+B)=\cos(A)\sin(B)-\sin(A)\cos(B)$$

Donc $\cos(A)\cos(B)=1/2[\cos(A+B)+\cos(A-B)]$