

DIGISAT

CORRIGE

<u>PARTIE A : ETUDE DE LA TELEDIFFUSION PAR SATELLITE</u>	<u>2</u>
A-1 L'ECHANTILLONNAGE DES SIGNAUX ANALOGIQUES	2
A-2 L'ECHANTILLONNAGE DE L'IMAGE ANALOGIQUE.....	2
A-3 ANALYSE DE LA DCT.....	3
A-4 ANALYSE DE LA POSITION DU SATELLITE.....	7
<u>PARTIE B : ETUDE DE LA CHAINE DE TRANSMISSION.....</u>	<u>9</u>
B-1 BILAN DES PUISSANCES ENTRE LE SATELLITE ET LE RECEPTEUR AU SOL.....	9
B-2 ESTIMATION DU RAPPORT SIGNAL SUR BRUIT AU NIVEAU DE LA PARABOLE	10
B-3 DETERMINATION DU FACTEUR DE MERITE ET CALCUL DU DIAMETRE DE LA PARABOLE.	11
<u>PARTIE C : ETUDE DE LA BOUCLE DE « RECUPERATION DE PORTEUSE »</u>	<u>13</u>
C-1 GENERALITES SUR LA MODULATION/DEMODULATION QAM (QUADRATURE AMPLITUDE MODULATION).....	13
C-2 APPLICATION DE LA QAM AUX MODULATIONS NUMERIQUES.....	15
C-3 ETUDE TECHNOLOGIQUE DE LA BOUCLE « RECUPERATION DE PORTEUSE »	20
<u>PARTIE D : ETUDE DE LA BOUCLE « RECUPERATION D'HORLOGE »</u>	<u>22</u>
D-1 ETUDE DE L'INTERET DE LA MODULATION SIGMA-DELTA	22
D-2 ETUDE TECHNOLOGIQUE DU FILTRE DE BOUCLE ET DU VCO.....	25
D-3 MODELISATION DE LA BOUCLE « RECUPERATION D'HORLOGE ».....	29
<u>PARTIE E : ETUDE DES STRUCTURES NUMERIQUES DE CONTROLE (CARTE « MAIN BOARD »)</u>	<u>31</u>
E-1 ETUDE DES DIFFERENTES MEMOIRES DE LA CARTE « MAIN BOARD ».....	31
E-2 ETUDE DU BUS I ² C	33

PARTIE A : ETUDE DE LA TELEDIFFUSION PAR SATELLITE

A-1 L'échantillonnage des signaux analogiques

A-1-1 : Les signaux à numériser ont une bande passante de 6,5 MHz, la fréquence d'échantillonnage utilisée qui est de **13.5MHz** respecte le théorème de Shannon.

A-1-2 : Format 4-2-2

Nous avons : -720 points par ligne , 576 lignes , 25 images par seconde , 8 bits , pour la luminance ;
-360 points par ligne , 576 lignes , 25 images par seconde , 8 bits , pour la chrominance rouge
-360 points par ligne , 576 lignes , 25 images par seconde , 8 bits , pour la chrominance bleu

Ce qui fait : $720 \times 576 \times 25 \times 8 + (360 \times 576 \times 25 \times 8) \times 2 = \mathbf{165,888 \text{ Mb/s}}$

Format 4-2-0

Nous avons : -720 points par ligne , 576 lignes , 25 images par seconde , 8 bits , pour la luminance ;
-360 points par ligne , 288 lignes , 25 images par seconde , 8 bits , pour la chrominance rouge
-360 points par ligne , 288 lignes , 25 images par seconde , 8 bits , pour la chrominance bleu

Ce qui fait : $720 \times 576 \times 25 \times 8 + (360 \times 288 \times 25 \times 8) \times 2 = \mathbf{124,416 \text{ Mb/s}}$

A-1-3 : Format 4-2-2 en SDI : 270 Mb/s; Facteur de compression: $270/165.888 = \mathbf{1.62}$;

Passage du format 4-2-2 au format 4-2-0 : $165,888/124,416 = \mathbf{1.33}$

A-1-4 : Un FEC de 2/3 signifie que le débit devient égal à $124.416 + 124.416 \times 1/3 = \mathbf{165,888 \text{ Mb/s}}$

En référence au tableau 1 donné P14/18 du document de présentation, **ce débit est bien supérieur au débit maximal que ce canal peut supporter, il est nécessaire de compresser encore l'information.**

A-2 L'échantillonnage de l'image analogique

A-2-1 : Dans le cas d'un échantillonnage spatial, nous avons :

$$I_{\text{ech}}(x,y) = I(x,y) \times E(x,y)$$

Ce qui fait après transformation de Fourier :

$$X_i(f;g) = X(f,g) \otimes E(f,g)$$

$$E(f;g) = \frac{1}{\Delta x \Delta y} \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta\left(f - \frac{m}{\Delta x}, g - \frac{n}{\Delta y}\right)$$

Après convolution :

$$X_i(f;g) = \frac{1}{\Delta x \Delta y} \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} X\left(f - \frac{m}{\Delta x}, g - \frac{n}{\Delta y}\right)$$

A-2-2 : Les limites sont données par l'application du théorème de Shannon en deux dimensions :

$f_{\text{max}} < 1/2 \cdot \Delta x$ et $g_{\text{max}} < 1/2 \cdot \Delta y$; l'unité est cycles/unité.

A-2-3 : Comme nous avons 8 pixels horizontalement et verticalement, la fréquence spectrale maximale est obtenue quand nous avons en alternance un pixel blanc et un pixel noir, ce qui donne une **fréquence spatiale horizontale de 4 cycles/coté.**

A-2-4 : Lors de l'enregistrement au format SDI, seul la résolution est mise en cause, la caméra capte une image pixel par pixel, quand on numérise par bloc de 8 x 8 pixels les fréquences maximales horizontales et verticales sont au maximum égales à 4 cycles par coté, il ne peut y avoir de fréquence enregistrée dont la valeur est supérieur à 4 cycles par unité.

Pour être sûr de l'absence de recouvrement de spectre il est nécessaire de filtrer avec un passe bas spatial pour éviter tout recouvrement spectral lors de la restitution sur le poste de l'utilisateur. On peut aussi accepter un léger recouvrement spectral dans certains cas.

A-3 Analyse de la DCT

A-3-1 : **256 niveaux de gris (de 0 à 255)**

A-3-2 : Nous allons prendre la première ligne des vecteurs supports :

Elle répond aux condition $g=0$ et $N=8$:

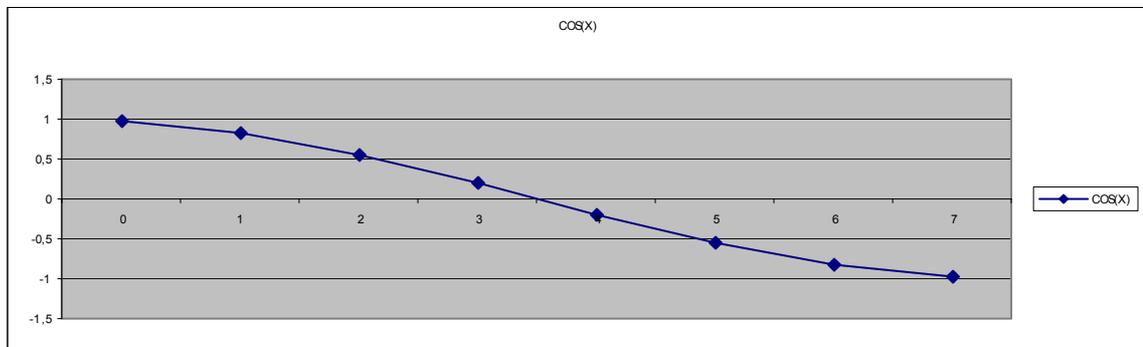
Les vecteurs supports sont définis par :

$$V(f,0) = \cos\left[\frac{\pi}{8}f\left(x + \frac{1}{2}\right)\right]$$

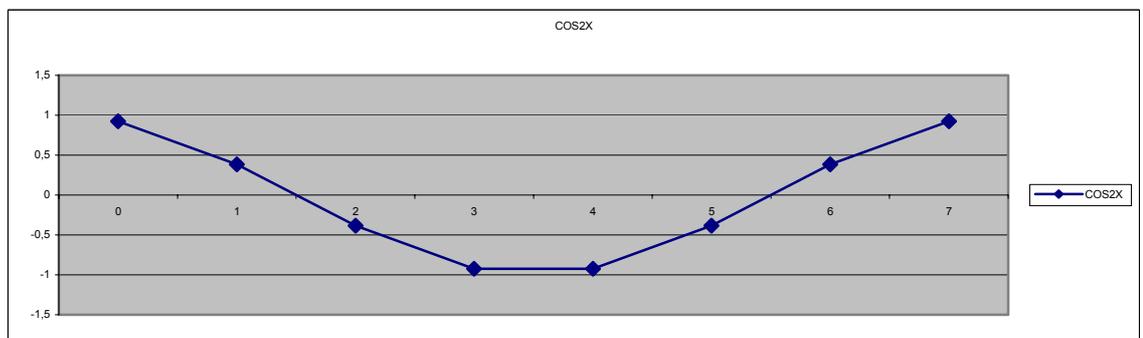
Nous avons une variation pour f de 0 à 7

A-3-3 : Pour $f=0$, $V(0,0) = 1$

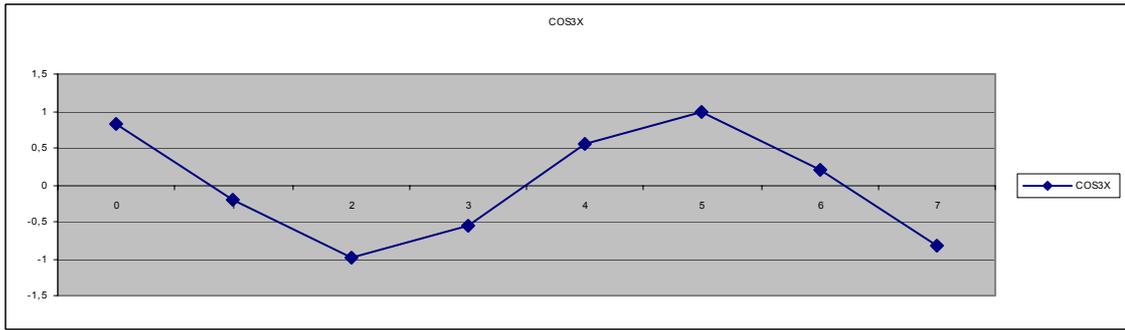
Pour $f=1$, $V(1,0) = \cos\left[\frac{\pi}{8}\left(x + \frac{1}{2}\right)\right]$



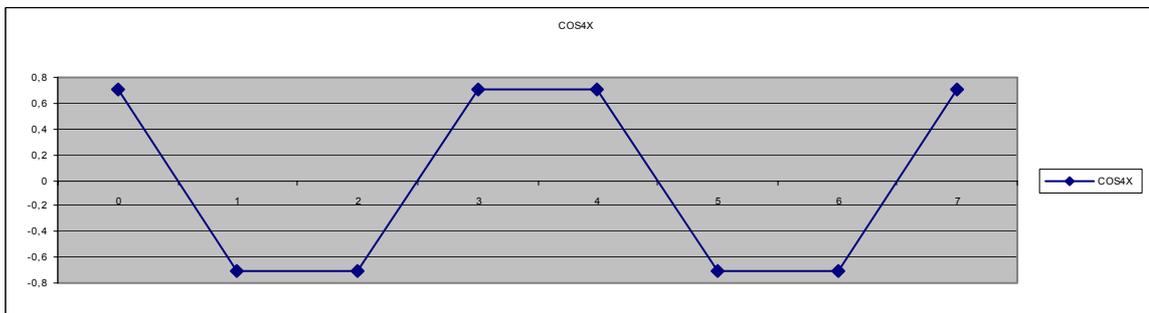
Pour $f=2$, $V(2,0) = \cos\left[\frac{\pi}{8}2\left(x + \frac{1}{2}\right)\right]$



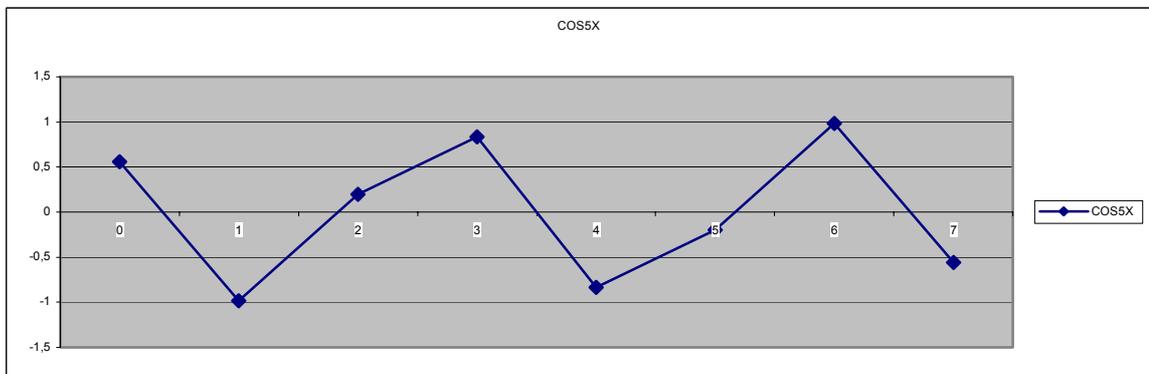
Pour $f=3$, $V(3,0) = \cos\left[\frac{\pi}{8}3\left(x + \frac{1}{2}\right)\right]$



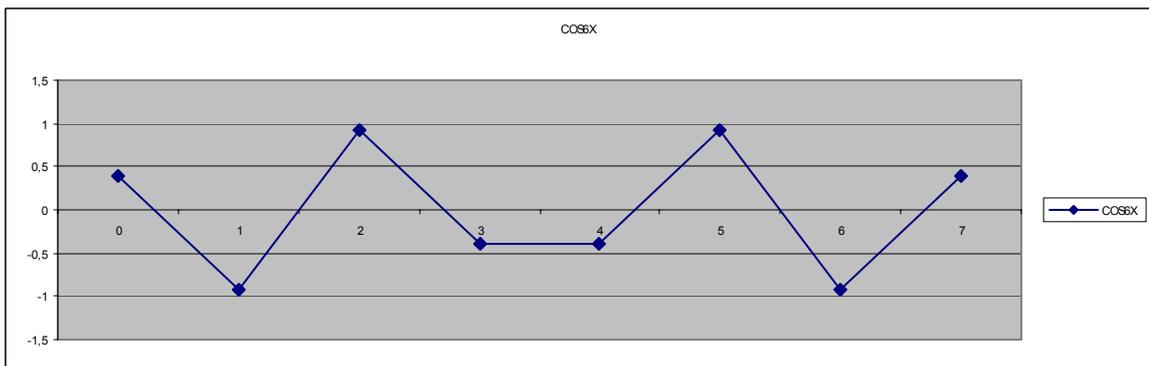
Pour $f=4$, $V(4,0) = \cos\left[\frac{\pi}{8}4\left(x + \frac{1}{2}\right)\right]$



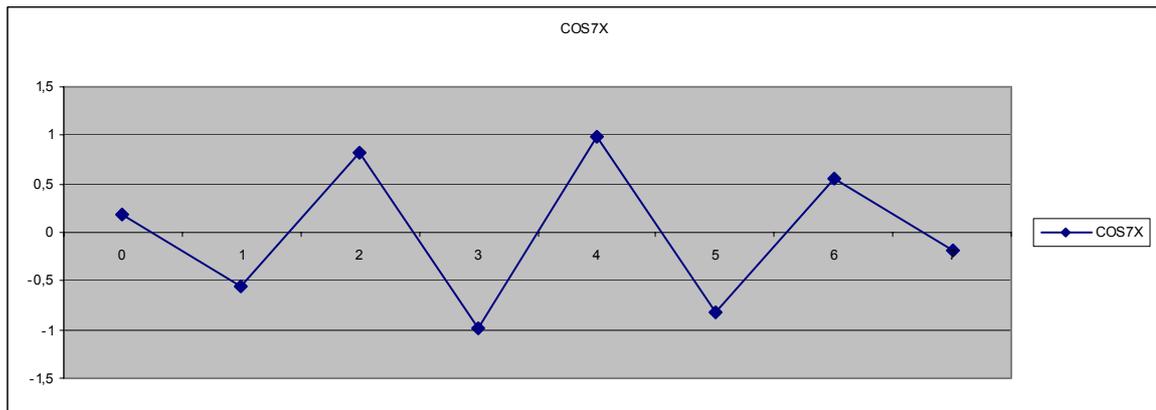
Pour $f=5$, $V(5,0) = \cos\left[\frac{\pi}{8}5\left(x + \frac{1}{2}\right)\right]$



Pour $f=6$, $V(6,0) = \cos\left[\frac{\pi}{8}6\left(x + \frac{1}{2}\right)\right]$



Pour $f=7$, $V(7,0) = \cos\left[\frac{\pi}{8}7\left(x + \frac{1}{2}\right)\right]$



A-3-4 : Les fréquences représentées pour les 7 blocs sont directement proportionnelles aux vecteurs de base, en conséquence :

- le point $X(0,0)$ est proportionnel à la valeur moyennes ; quand nous calculons la valeur moyennes sur chacun des 7 blocs,

$$X(0,0) = \frac{1}{8} \sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 I(x,y) \cdot \cos[0] \cdot \cos[0] = 800$$

Pour chacun des Bloc, $X(0,0)=800$

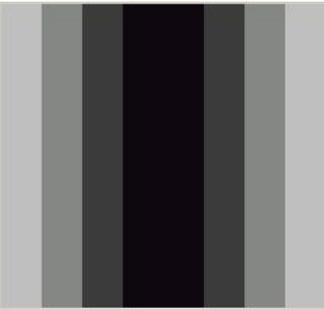
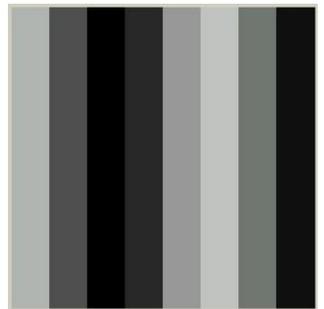
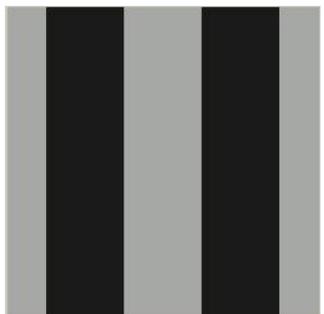
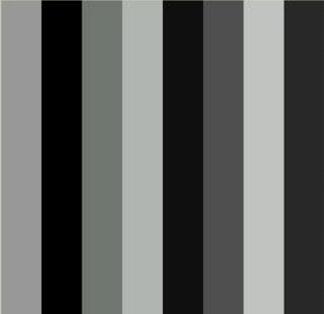
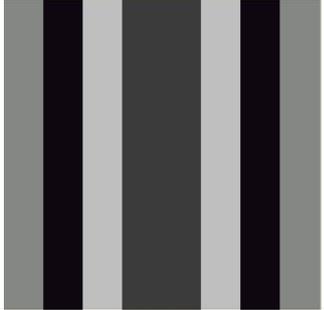
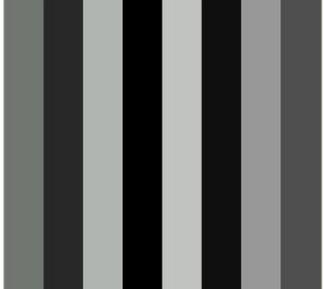
- chaque harmonique est positionné sur la colonne correspondant au vecteur de base considéré.

Pour l'amplitude, nous pouvons calculer la variance de chacune des lignes par rapport à une valeur moyenne qui est 800

$$\sigma(x;0) = \sqrt{\frac{8}{64} \sum_{x=0}^7 (I(x,0) - 800)^2} = 703,5$$

Ceci est valable sur tous les blocs de 1 à 7, ce qui veut dire que la valeur affectée à l'harmonique est identique sur tous les blocs.

Image	Valeurs de gris I(x,y)	DCT																																																																																																																																								
	<table border="1"> <tr><td>198</td><td>183</td><td>156</td><td>120</td><td>80</td><td>44</td><td>17</td><td>2</td></tr> <tr><td>198</td><td>183</td><td>156</td><td>120</td><td>80</td><td>44</td><td>17</td><td>2</td></tr> <tr><td>198</td><td>183</td><td>156</td><td>120</td><td>80</td><td>44</td><td>17</td><td>2</td></tr> <tr><td>198</td><td>183</td><td>156</td><td>120</td><td>80</td><td>44</td><td>17</td><td>2</td></tr> <tr><td>198</td><td>183</td><td>156</td><td>120</td><td>80</td><td>44</td><td>17</td><td>2</td></tr> <tr><td>198</td><td>183</td><td>156</td><td>120</td><td>80</td><td>44</td><td>17</td><td>2</td></tr> <tr><td>198</td><td>183</td><td>156</td><td>120</td><td>80</td><td>44</td><td>17</td><td>2</td></tr> <tr><td>198</td><td>183</td><td>156</td><td>120</td><td>80</td><td>44</td><td>17</td><td>2</td></tr> </table>	198	183	156	120	80	44	17	2	198	183	156	120	80	44	17	2	198	183	156	120	80	44	17	2	198	183	156	120	80	44	17	2	198	183	156	120	80	44	17	2	198	183	156	120	80	44	17	2	198	183	156	120	80	44	17	2	198	183	156	120	80	44	17	2	<table border="1"> <tr><td colspan="8">DCT F(x,u)</td></tr> <tr><td>800</td><td>566</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	DCT F(x,u)								800	566	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
198	183	156	120	80	44	17	2																																																																																																																																			
198	183	156	120	80	44	17	2																																																																																																																																			
198	183	156	120	80	44	17	2																																																																																																																																			
198	183	156	120	80	44	17	2																																																																																																																																			
198	183	156	120	80	44	17	2																																																																																																																																			
198	183	156	120	80	44	17	2																																																																																																																																			
198	183	156	120	80	44	17	2																																																																																																																																			
198	183	156	120	80	44	17	2																																																																																																																																			
DCT F(x,u)																																																																																																																																										
800	566	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																			
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																			
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																			
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																			
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																			
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																			
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																			
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																			

	<table border="1"> <tbody> <tr><td>192</td><td>138</td><td>62</td><td>8</td><td>8</td><td>62</td><td>138</td><td>192</td></tr> <tr><td>192</td><td>138</td><td>62</td><td>8</td><td>8</td><td>62</td><td>138</td><td>192</td></tr> <tr><td>192</td><td>138</td><td>62</td><td>8</td><td>8</td><td>62</td><td>138</td><td>192</td></tr> <tr><td>192</td><td>138</td><td>62</td><td>8</td><td>8</td><td>62</td><td>138</td><td>192</td></tr> <tr><td>192</td><td>138</td><td>62</td><td>8</td><td>8</td><td>62</td><td>138</td><td>192</td></tr> <tr><td>192</td><td>138</td><td>62</td><td>8</td><td>8</td><td>62</td><td>138</td><td>192</td></tr> <tr><td>192</td><td>138</td><td>62</td><td>8</td><td>8</td><td>62</td><td>138</td><td>192</td></tr> <tr><td>192</td><td>138</td><td>62</td><td>8</td><td>8</td><td>62</td><td>138</td><td>192</td></tr> </tbody> </table>	192	138	62	8	8	62	138	192	192	138	62	8	8	62	138	192	192	138	62	8	8	62	138	192	192	138	62	8	8	62	138	192	192	138	62	8	8	62	138	192	192	138	62	8	8	62	138	192	192	138	62	8	8	62	138	192	192	138	62	8	8	62	138	192	<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="2">DCT</th><th colspan="7">F(v,u)</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>800</td><td>0</td><td>566</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	DCT		F(v,u)							800	0	566	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
192	138	62	8	8	62	138	192																																																																																																																																				
192	138	62	8	8	62	138	192																																																																																																																																				
192	138	62	8	8	62	138	192																																																																																																																																				
192	138	62	8	8	62	138	192																																																																																																																																				
192	138	62	8	8	62	138	192																																																																																																																																				
192	138	62	8	8	62	138	192																																																																																																																																				
192	138	62	8	8	62	138	192																																																																																																																																				
192	138	62	8	8	62	138	192																																																																																																																																				
DCT		F(v,u)																																																																																																																																									
800	0	566	0	0	0	0	0																																																																																																																																				
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																				
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																				
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																				
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																				
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																				
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																				
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																				
	<table border="1"> <tbody> <tr><td>183</td><td>80</td><td>2</td><td>44</td><td>156</td><td>198</td><td>120</td><td>17</td></tr> <tr><td>183</td><td>80</td><td>2</td><td>44</td><td>156</td><td>198</td><td>120</td><td>17</td></tr> <tr><td>183</td><td>80</td><td>2</td><td>44</td><td>156</td><td>198</td><td>120</td><td>17</td></tr> <tr><td>183</td><td>80</td><td>2</td><td>44</td><td>156</td><td>198</td><td>120</td><td>17</td></tr> <tr><td>183</td><td>80</td><td>2</td><td>44</td><td>156</td><td>198</td><td>120</td><td>17</td></tr> <tr><td>183</td><td>80</td><td>2</td><td>44</td><td>156</td><td>198</td><td>120</td><td>17</td></tr> <tr><td>183</td><td>80</td><td>2</td><td>44</td><td>156</td><td>198</td><td>120</td><td>17</td></tr> <tr><td>183</td><td>80</td><td>2</td><td>44</td><td>156</td><td>198</td><td>120</td><td>17</td></tr> </tbody> </table>	183	80	2	44	156	198	120	17	183	80	2	44	156	198	120	17	183	80	2	44	156	198	120	17	183	80	2	44	156	198	120	17	183	80	2	44	156	198	120	17	183	80	2	44	156	198	120	17	183	80	2	44	156	198	120	17	183	80	2	44	156	198	120	17	<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="2">DCT</th><th colspan="7">F(v,u)</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>800</td><td>0</td><td>0</td><td>566</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	DCT		F(v,u)							800	0	0	566	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
183	80	2	44	156	198	120	17																																																																																																																																				
183	80	2	44	156	198	120	17																																																																																																																																				
183	80	2	44	156	198	120	17																																																																																																																																				
183	80	2	44	156	198	120	17																																																																																																																																				
183	80	2	44	156	198	120	17																																																																																																																																				
183	80	2	44	156	198	120	17																																																																																																																																				
183	80	2	44	156	198	120	17																																																																																																																																				
183	80	2	44	156	198	120	17																																																																																																																																				
DCT		F(v,u)																																																																																																																																									
800	0	0	566	0	0	0	0																																																																																																																																				
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																				
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																				
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																				
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																				
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																				
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																				
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																				
	<table border="1"> <tbody> <tr><td>171</td><td>29</td><td>29</td><td>171</td><td>171</td><td>29</td><td>29</td><td>171</td></tr> <tr><td>171</td><td>29</td><td>29</td><td>171</td><td>171</td><td>29</td><td>29</td><td>171</td></tr> <tr><td>171</td><td>29</td><td>29</td><td>171</td><td>171</td><td>29</td><td>29</td><td>171</td></tr> <tr><td>171</td><td>29</td><td>29</td><td>171</td><td>171</td><td>29</td><td>29</td><td>171</td></tr> <tr><td>171</td><td>29</td><td>29</td><td>171</td><td>171</td><td>29</td><td>29</td><td>171</td></tr> <tr><td>171</td><td>29</td><td>29</td><td>171</td><td>171</td><td>29</td><td>29</td><td>171</td></tr> <tr><td>171</td><td>29</td><td>29</td><td>171</td><td>171</td><td>29</td><td>29</td><td>171</td></tr> <tr><td>171</td><td>29</td><td>29</td><td>171</td><td>171</td><td>29</td><td>29</td><td>171</td></tr> </tbody> </table>	171	29	29	171	171	29	29	171	171	29	29	171	171	29	29	171	171	29	29	171	171	29	29	171	171	29	29	171	171	29	29	171	171	29	29	171	171	29	29	171	171	29	29	171	171	29	29	171	171	29	29	171	171	29	29	171	171	29	29	171	171	29	29	171	<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="2">DCT</th><th colspan="7">F(v,u)</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>800</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>566</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	DCT		F(v,u)							800	0	0	0	566	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
171	29	29	171	171	29	29	171																																																																																																																																				
171	29	29	171	171	29	29	171																																																																																																																																				
171	29	29	171	171	29	29	171																																																																																																																																				
171	29	29	171	171	29	29	171																																																																																																																																				
171	29	29	171	171	29	29	171																																																																																																																																				
171	29	29	171	171	29	29	171																																																																																																																																				
171	29	29	171	171	29	29	171																																																																																																																																				
171	29	29	171	171	29	29	171																																																																																																																																				
DCT		F(v,u)																																																																																																																																									
800	0	0	0	566	0	0	0																																																																																																																																				
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																				
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																				
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																				
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																				
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																				
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																				
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																				
	<table border="1"> <tbody> <tr><td>156</td><td>2</td><td>120</td><td>183</td><td>17</td><td>80</td><td>198</td><td>44</td></tr> <tr><td>156</td><td>2</td><td>120</td><td>183</td><td>17</td><td>80</td><td>198</td><td>44</td></tr> <tr><td>156</td><td>2</td><td>120</td><td>183</td><td>17</td><td>80</td><td>198</td><td>44</td></tr> <tr><td>156</td><td>2</td><td>120</td><td>183</td><td>17</td><td>80</td><td>198</td><td>44</td></tr> <tr><td>156</td><td>2</td><td>120</td><td>183</td><td>17</td><td>80</td><td>198</td><td>44</td></tr> <tr><td>156</td><td>2</td><td>120</td><td>183</td><td>17</td><td>80</td><td>198</td><td>44</td></tr> <tr><td>156</td><td>2</td><td>120</td><td>183</td><td>17</td><td>80</td><td>198</td><td>44</td></tr> <tr><td>156</td><td>2</td><td>120</td><td>183</td><td>17</td><td>80</td><td>198</td><td>44</td></tr> </tbody> </table>	156	2	120	183	17	80	198	44	156	2	120	183	17	80	198	44	156	2	120	183	17	80	198	44	156	2	120	183	17	80	198	44	156	2	120	183	17	80	198	44	156	2	120	183	17	80	198	44	156	2	120	183	17	80	198	44	156	2	120	183	17	80	198	44	<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="2">DCT</th><th colspan="7">F(v,u)</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>800</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>566</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	DCT		F(v,u)							800	0	0	0	0	566	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
156	2	120	183	17	80	198	44																																																																																																																																				
156	2	120	183	17	80	198	44																																																																																																																																				
156	2	120	183	17	80	198	44																																																																																																																																				
156	2	120	183	17	80	198	44																																																																																																																																				
156	2	120	183	17	80	198	44																																																																																																																																				
156	2	120	183	17	80	198	44																																																																																																																																				
156	2	120	183	17	80	198	44																																																																																																																																				
156	2	120	183	17	80	198	44																																																																																																																																				
DCT		F(v,u)																																																																																																																																									
800	0	0	0	0	566	0	0																																																																																																																																				
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																				
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																				
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																				
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																				
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																				
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																				
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																				
	<table border="1"> <tbody> <tr><td>138</td><td>8</td><td>192</td><td>62</td><td>62</td><td>192</td><td>8</td><td>138</td></tr> <tr><td>138</td><td>8</td><td>192</td><td>62</td><td>62</td><td>192</td><td>8</td><td>138</td></tr> <tr><td>138</td><td>8</td><td>192</td><td>62</td><td>62</td><td>192</td><td>8</td><td>138</td></tr> <tr><td>138</td><td>8</td><td>192</td><td>62</td><td>62</td><td>192</td><td>8</td><td>138</td></tr> <tr><td>138</td><td>8</td><td>192</td><td>62</td><td>62</td><td>192</td><td>8</td><td>138</td></tr> <tr><td>138</td><td>8</td><td>192</td><td>62</td><td>62</td><td>192</td><td>8</td><td>138</td></tr> <tr><td>138</td><td>8</td><td>192</td><td>62</td><td>62</td><td>192</td><td>8</td><td>138</td></tr> <tr><td>138</td><td>8</td><td>192</td><td>62</td><td>62</td><td>192</td><td>8</td><td>138</td></tr> </tbody> </table>	138	8	192	62	62	192	8	138	138	8	192	62	62	192	8	138	138	8	192	62	62	192	8	138	138	8	192	62	62	192	8	138	138	8	192	62	62	192	8	138	138	8	192	62	62	192	8	138	138	8	192	62	62	192	8	138	138	8	192	62	62	192	8	138	<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="2">DCT</th><th colspan="7">F(v,u)</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>800</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>566</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	DCT		F(v,u)							800	0	0	0	0	0	566	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
138	8	192	62	62	192	8	138																																																																																																																																				
138	8	192	62	62	192	8	138																																																																																																																																				
138	8	192	62	62	192	8	138																																																																																																																																				
138	8	192	62	62	192	8	138																																																																																																																																				
138	8	192	62	62	192	8	138																																																																																																																																				
138	8	192	62	62	192	8	138																																																																																																																																				
138	8	192	62	62	192	8	138																																																																																																																																				
138	8	192	62	62	192	8	138																																																																																																																																				
DCT		F(v,u)																																																																																																																																									
800	0	0	0	0	0	566	0																																																																																																																																				
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																				
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																				
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																				
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																				
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																				
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																				
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																				
	<table border="1"> <tbody> <tr><td>120</td><td>44</td><td>183</td><td>2</td><td>198</td><td>17</td><td>156</td><td>80</td></tr> <tr><td>120</td><td>44</td><td>183</td><td>2</td><td>198</td><td>17</td><td>156</td><td>80</td></tr> <tr><td>120</td><td>44</td><td>183</td><td>2</td><td>198</td><td>17</td><td>156</td><td>80</td></tr> <tr><td>120</td><td>44</td><td>183</td><td>2</td><td>198</td><td>17</td><td>156</td><td>80</td></tr> <tr><td>120</td><td>44</td><td>183</td><td>2</td><td>198</td><td>17</td><td>156</td><td>80</td></tr> <tr><td>120</td><td>44</td><td>183</td><td>2</td><td>198</td><td>17</td><td>156</td><td>80</td></tr> <tr><td>120</td><td>44</td><td>183</td><td>2</td><td>198</td><td>17</td><td>156</td><td>80</td></tr> <tr><td>120</td><td>44</td><td>183</td><td>2</td><td>198</td><td>17</td><td>156</td><td>80</td></tr> </tbody> </table>	120	44	183	2	198	17	156	80	120	44	183	2	198	17	156	80	120	44	183	2	198	17	156	80	120	44	183	2	198	17	156	80	120	44	183	2	198	17	156	80	120	44	183	2	198	17	156	80	120	44	183	2	198	17	156	80	120	44	183	2	198	17	156	80	<table border="1"> <thead> <tr><th colspan="2">DCT</th><th colspan="7">F(v,u)</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>800</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>566</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	DCT		F(v,u)							800	0	0	0	0	0	0	566	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
120	44	183	2	198	17	156	80																																																																																																																																				
120	44	183	2	198	17	156	80																																																																																																																																				
120	44	183	2	198	17	156	80																																																																																																																																				
120	44	183	2	198	17	156	80																																																																																																																																				
120	44	183	2	198	17	156	80																																																																																																																																				
120	44	183	2	198	17	156	80																																																																																																																																				
120	44	183	2	198	17	156	80																																																																																																																																				
120	44	183	2	198	17	156	80																																																																																																																																				
DCT		F(v,u)																																																																																																																																									
800	0	0	0	0	0	0	566																																																																																																																																				
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																				
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																				
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																				
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																				
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																				
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																				
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																				

A-3-5 : La transformée de Fourier inverse ne vas pas faire subir de perte d'information.

A-3-6 : Les images sont constituées en majorité par des signaux de type basse fréquence, la DCT permet de séparer les coefficients associés aux basses fréquences et aux hautes fréquences. Les coefficients haute fréquence sont nuls dans la plupart des cas.

La compression sera réalisée après la lecture en zigzag au moment du codage "entropique" et du codage de Huffman

A-4 Analyse de la position du satellite

A-4-1 : $F_c = m.v^2/r$ avec m : masse de l'objet considéré ; V : Vitesse ; r : distance de l'objet considéré par rapport au centre de la terre (Rayon de la terre 6378 km)

A-4-2 : Les conditions sont données par l'équilibre des forces, le satellite reste à une distance constante de la terre :

$F_m = F_c$
L'orbite est circulaire et située autour de l'équateur.

Le satellite tourne autour de la terre avec une périodicité de 24heures, ce qui le rend fixe par rapport aux pays vers lesquelles il diffuse.

La vitesse est : $2.\pi / 24.3600 = 72,72 \cdot 10^{-6}$ rd/s

A-4-3 : En faisant $F_m = F_c$, nous en extrayons : $R + r = \sqrt[3]{\frac{Gm}{\omega^2}} = 42164$ Km

Soit, par rapport à la surface de la terre : $R= 35786$ km

A-4-4 : Le satellite est positionné au dessus de l'équateur :

Calcul de l'angle α :

Pour cela nous devons calculer l'endroit où se trouve le point d'intersection entre les deux rayons extrêmes qui, partant du satellite, sont amenés à "tangenter" la terre. Nous considérons que la position du satellite est l'origine d'un repère (X,o,Y) et nous allons rechercher le point d'intersection entre la droite d'équation $y=a.x$ et le cercle représentant la terre $[(x - (R+r))^2 + y^2] = r^2$

En remplaçant y dans la deuxième équation cela donne :

$$X^2.(1+a^2) - 2.(R+r).X + (R+r)^2 - r^2 = 0$$

Calcul du discriminant :

Nous cherchons un seul point d'intersection entre la droite et le cercle, ce qui nous amène à annuler le discriminant et à extraire a :

$$a = \sqrt{\frac{(2(R+r))^2}{4((R+r)^2 - r^2)} - 1}$$

La solution est donnée par : $X = (R+r) / (1+a^2)$

Application numérique : $a = 0.153$ et $x = 41\ 199,56$ km

Calcul de α :

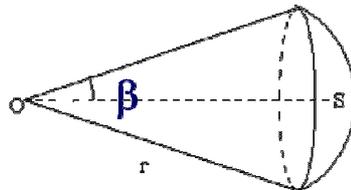
Détermination de y : $y = \sqrt{r^2 - (x - R + r)^2}$ en passant par $\text{tg } \alpha/2$, **nous obtenons : $17,4^\circ$**

Remarque : une solution plus courte de considérer le triangle rectangle de coté d_{max} et r et dont l'hypothénuse est $R + r$, dès lors il vient :

$$\alpha = 2 \arcsin (r / (R+r)) = 17,4^\circ$$

A-4-5 : En utilisant l'angle solide que nous obtenons en intégrant la couronne de diamètre $2.\pi.\sin\theta.d\theta$

Nous obtenons: $\Omega = 2.\pi.(1 - \cos \beta)$ avec β angle par rapport au centre de la terre :



Nous obtenons :

S : surface de la calotte éclairée par le satellite
 $S = \Omega . r^2$

S_t : Surface de la terre
 $S_t = 4 . \pi . r^2$

Nous avons comme rapport de surface :

$$E = (1 - \cos \beta) / 2 = 0,424$$

Nous couvrons **42% de surface de la terre** avec un satellite géostationnaire.

A-4-6 : Délai de propagation sur la liaison Terre satellite Terre, avec c : vitesse de la lumière

$$\text{Min} = 2r/c = 238\text{ms}$$

$$\text{Max} = 2[(R+r)/c]\cos(17.4^\circ/2) = 278 \text{ ms}$$

A-4-7 : Avantages des satellites sur orbites géostationnaires :

- Le satellite apparaît comme fixe dans un point spécifique sur le ciel ;
- la dérive est faible donc l'effet Doppler est très faible ;
- le satellite est en vue de façon continue ;
- 42.4% de la surface de la Terre est en vue à partir du satellite.

Désavantages des satellites sur orbites géostationnaires :

- Les régions polaires ne sont pas couvertes (latitudes supérieures à 81.3°) ;
- Délai de propagation important (distance importante) ;
- Perte importante de puissance sur le chemin (200 dB, nous le verrons par la suite).

PARTIE B : Etude de la chaîne de transmission

B-1 Bilan des puissances entre le satellite et le récepteur au sol

B-1-1 : C'est une antenne qui rayonne la même puissance de tous les cotés, elle est omnidirectionnelle.

La densité de puissance rayonnée est : $\frac{P_t}{4\pi d_0^2}$ unité Watts / m²

B-1-2 : Quand une antenne est directive, elle rayonne principalement dans une direction définie par un azimut et une élévation. Par rapport à l'antenne omnidirectionnelle la densité de puissance dans cette direction sera multipliée par un coefficient « G_t », il représente le gain de l'antenne dans cette direction.

La densité de puissance rayonnée est dans ce cas : $\frac{G_t P_t}{4\pi d_0^2}$ unité Watts / m²

B-1-3 : Le produit G_t . P_t est appelé la Puissance Isotrope Rayonnée Effective : PIRE (Effective Isotropic Radiated Power : EIRP)

B-1-4 : Le déphasage s'exprime par $\phi = \frac{2\pi}{\lambda} (dis\ tan\ ce)$

Dans notre cas quelque soit l'onde réfléchiée dans la parabole la distance par rapport au foyer vaut 2d.

Donc : $\phi = \frac{2\pi}{\lambda} (2.d)$ et la surface est "équiphase".

B-1-5 : La surface "équiphase" est $S = \frac{\pi D^2}{4}$, nous obtenons pour le gain maximal : $G_{\max} = \left(\frac{\pi.D}{\lambda} \right)^2$

B-1-6 : Nous obtenons la puissance reçue par le produit des gains et des atténuations :

$$S_r = G_t \cdot P_t \cdot G_r \cdot \frac{\lambda^2}{(4\pi \cdot d_0)^2}$$

B-1-7 : A partir de la relation précédente, en introduisant les pertes liées à la traversée de l'atmosphère, nous obtenons :

$$S_r = PIRE \cdot G_r \cdot \frac{\lambda^2}{(4\pi \cdot d_0)^2} \cdot A_t \quad \text{Soit comme : } S_{r\ dBw} = 10 \log S_r$$

nous obtenons :

$$S_{r\ dBw} = PIRE_{dBw} + A_{tdB} + G_{r\ dB} + 10 \log \frac{\lambda^2}{(4\pi \cdot d_0)^2}$$

B-1-8 : Il nous reste à effectuer le calcul :

Dans le dossier, la PIRE sur la France est de 50dB_w et l'atténuation maxi est de -7dB
 Dans la documentation constructeur, nous avons pour la parabole : 41,4dB

$$S_{r,dBw} = 50_{dBw} - 7_{dB} + 41,4_{dB} + 10 \log \frac{(300\,000\,000 / 11\,000\,000\,000)^2}{(4 \cdot \pi \cdot 35786000)^2}$$

S_{rdBw} = - 119,9 dB_w , ce qui fait **1 pW** environ

B-1-9 : Ce calcul est insuffisant car il ne tient pas compte du bruit et de la capacité du système de réception de le traiter.

B-2 Estimation du rapport signal sur bruit au niveau de la parabole

B-2-1 : **S_r = E_b · R_b P₀ = N₀ · B_{eq}**

B-2-2 :
$$\left(\frac{S_r}{P_0} \right) = \left(\frac{E_b}{N_0} \cdot \frac{R_b}{B_{eq}} \right)$$

B-2-3 :
$$R_s = \frac{1}{T_0} \text{ et } R_b = \frac{n}{T_0} \text{ et comme } n = \log_2 m \text{ soit : } R_b = \frac{\log_2 m}{T_0} = R_s \cdot \log_2 m$$

B-2-4 : Dans notre cas, il suffit de remplacer Rb dans la formule B-2-2 :
$$\left(\frac{S_r}{P_0} \right) = \left(\frac{E_b}{N_0} \cdot \frac{R_s \log_2 m}{B_{eq}} \right)$$

Puis, nous obtenons :

$$\left(\frac{S_r}{P_0} \right)_{dB} = \left(\frac{E_b}{N_0} \right)_{dB} - 10 \cdot \log_{10} \frac{B_{eq}}{(R_s \cdot \log_2(m))}$$

B-2-5 : Le rapport $\left(\frac{E_b}{N_0} \right)_{dB}$ est déterminé à partir du tableau donné dans le document annexe.

Il vaut environ 8 dB.

B_{eq} = 39,6Mhz (hypothèse que le filtre FI ait une coupure suffisante)

R_s = 27,5 Msymbole/s

Modulation QPSK : m = 4

Le résultat obtenu est :
$$\left(\frac{S_r}{P_0} \right)_{dB} = (8)_{dB} - 10 \cdot \log_{10} \frac{39.600.000}{(27.500.000 \log_2(4))} = 9,42dB$$

B-3 Détermination du facteur de Mérite et calcul du diamètre de la parabole.

B-3-1 : Dans une bande de fréquence B un corps noir à la température T produit une puissance de bruit

$N = k B T$ où $k = 1,3810^{-23} \text{ JK}^{-1}$ est la constante de Boltzmann. Par analogie on définit la Température de Bruit d'un quadripôle comme étant la température produisant la même puissance de bruit N. Cette température n'est pas identique à la température thermodynamique ambiante.

Si T_a est la température d'une résistance, la puissance de bruit qu'elle introduira à l'entrée d'un récepteur sera « $k B T_a$ ». Si T_r est la température de bruit du récepteur, cela signifie qu'il ramène à son entrée une puissance de bruit équivalente « $k B T_r$ » et donc la puissance de bruit totale à prendre en compte à l'entrée du récepteur sera « $k B (T_r + T_a)$ »

Pour une antenne directive, la température de bruit sera celle de la cible pointée par l'antenne ou de son environnement. Par exemple, si cette cible baigne dans le vide interstellaire, on aura $T_A = 3 \text{ K}$.

B-3-2 : La puissance du signal reçu est assimilable à la puissance de la porteuse, cette puissance est constante.

B-3-3 : Nous allons reprendre la formule suivante :

$$S_r = PIRE \cdot G_r \cdot \frac{\lambda^2}{(4\pi \cdot d_0)^2} \cdot A_t \quad \text{et la diviser par la puissance de bruit} \quad \frac{S_r}{P_0} = \frac{PIRE}{P_0} \cdot G_r \cdot \frac{\lambda^2}{(4\pi \cdot d_0)^2} \cdot A_t$$

$$\text{Nous obtenons : } \frac{S_r}{P_0} = \frac{PIRE}{K \cdot T_{Bequ} \cdot B_{eq}} \cdot G_r \cdot \frac{\lambda^2}{(4\pi \cdot d_0)^2} \cdot A_t$$

$$\text{Ce qui nous permet d'écrire : } \left(\frac{G_r}{T_{Bequ}} \right)_{dB} = \left(\frac{S_r}{P_0} \right)_{dB} - PIRE_{dBW} - A_{tdB} - 10 \cdot \log_{10} \frac{\lambda^2}{(4\pi d_0)^2} + 10 \cdot \log_{10} k B_{equ}$$

B-3-4 : En faisant l'application numérique, nous obtenons :

$$\left(\frac{G_r}{T_{Bequ}} \right)_{dB} = 9,42_{dB} - 50_{dBW} + 7_{tdB} - 10 \cdot \log_{10} \frac{\lambda^2}{(4\pi d_0)^2} + 10 \cdot \log_{10} k B_{equ}$$

$$\left(\frac{G_r}{T_{Bequ}} \right)_{dB} = 9,42_{dB} - 50_{dBW} + 7_{tdB} - 20 \cdot \log_{10} \frac{300/11000}{(4\pi 35786000)} + 10 \cdot \log_{10} (1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 39,6 \cdot 10^6)$$

Ce qui donne comme résultat :

$$\left(\frac{G_r}{T_{Bequ}} \right)_{dB} = 9,42_{dB} - 50_{dBW} + 7_{tdB} + 204,3_{db} - 152,62 \quad \text{ou encore : } \left(\frac{G_r}{T_{Bequ}} \right)_{dB} = 18,09_{dB}$$

B-3-5 : C'est la définition de Friis avec G_d gain en puissance du quadripôle :

$$F = \frac{\left(\frac{S_{re}}{P_{0e}} \right)_{entrée}}{\left(\frac{S_{rs}}{P_{0s}} \right)_{sortie}} = \left(\frac{S_{re}}{P_{0e}} \right)_{entrée} \left(\frac{P_{0s}}{S_{rs}} \right)_{sortie} = \left(\frac{S_{re}}{S_{rs}} \right) \left(\frac{P_{0s}}{P_{0e}} \right) = \frac{1}{G_d} \left(\frac{P_{0s}}{P_{0e}} \right)$$

$$B-3-6 : F = \frac{1}{G_d} \left(\frac{P_{0s}}{P_{0e}} \right) = \frac{1}{G_d} \left(\frac{G_d k (T_0 + T_{equ}) B_{equ}}{k T_0 B_{equ}} \right) \text{ après simplification : } F = \left(1 + \frac{T_{equ}}{T_0} \right) \text{ soit : } T_{equ} = (F - 1) T_0$$

B-3-7 : Pour les trois têtes, le facteur de bruit est identique, « F = 0,7dB »

$$T_{Blnb} = (F - 1) T_0 \text{ avec } T_0 = 290 \text{ K (température ambiante)}$$

$$\text{Soit : } T_{Blnb} = (1,179 - 1) 290 = 51,9 \text{ K}$$

$$B-3-8 : T_{Bequ} = T_{Blnb} + T_{bant} = 50 + 51,9 = 101,9 \text{ K}$$

$$B-3-9 : \text{Le gain de la parabole est donné par : } \left(\frac{G_r}{T_{Bequ}} \right)_{dB} = 18,09 \text{ dB, soit } \left(\frac{G_r}{T_{Bequ}} \right) = 64,41$$

$$G_r = 64,41 \cdot 101,9 = 6563,4 \text{ ou } G_{rdB} = 38,2 \text{ dB}$$

B-3-10 : Rendement de 55% (-2,6dB) signifie que nous devons compenser cette perte, le gain réel à obtenir est :

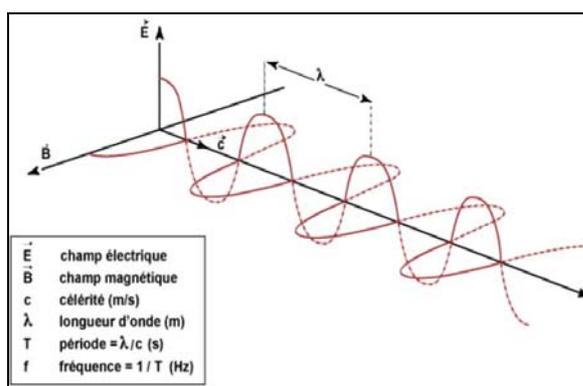
$$G_{rdB} = 38,2 + 2,6 = 40,8 \text{ dB}$$

Rendement de 70% (-1,5dB) signifie que nous devons compenser cette perte, le gain réel à obtenir est :

$$G_{rdB} = 38,2 + 1,5 = 39,7 \text{ dB}$$

Dans ce cas, il nous faut une parabole à « Offset » de 1 m de diamètre, modèle RPO 100.

B-3-11 : La polarisation de l'onde est déterminée par la position du champ électrique, nous avons tracé dans l'exemple qui suit une polarisation verticale :



Le LNB est capable de recevoir deux types de polarisation, une verticale et une horizontale. Dans chaque LNB, il existe un circuit qui est capable de commuter la réception de l'onde polarisée horizontalement avec la réception de l'onde polarisée verticalement.

$$B-3-12 : \text{La puissance reçue est de } S_{rdBW} = -119,9 - 1,3 = -121,3 \text{ dB}_w$$

$$\text{Ce qui fait, après les LNB, } S_{RdBW} = 56 - 121,3 = -65,3 \text{ dB}_w ; \text{ soit en dBm : } S_{RdBm} = -65,3 + 30 = -35,3 \text{ dB}_m$$

Le niveau du signal reçu convient pour être appliqué à l'entrée du démodulateur.

PARTIE C : Etude de la boucle de « Récupération de porteuse »

C-1 Généralités sur la modulation/démodulation QAM (Quadrature Amplitude Modulation)

C-1-1-a : $p(t) = a(t) \cdot \cos \omega_0 t = a(t) \cdot \frac{e^{j\omega_0 t} + e^{-j\omega_0 t}}{2}$ sachant que $TF\{a(t) \cdot e^{j\omega_0 t}\} = A(f - f_0)$

Il vient : $P(f) = \frac{1}{2} [A(f - f_0) + A(f + f_0)]$ où $A(f)$ est la Transformée de Fourier de $a(t)$

C-1-1-b : $S_p(f) = \frac{1}{4} [S_a(f - f_0) + S_a(f + f_0)]$

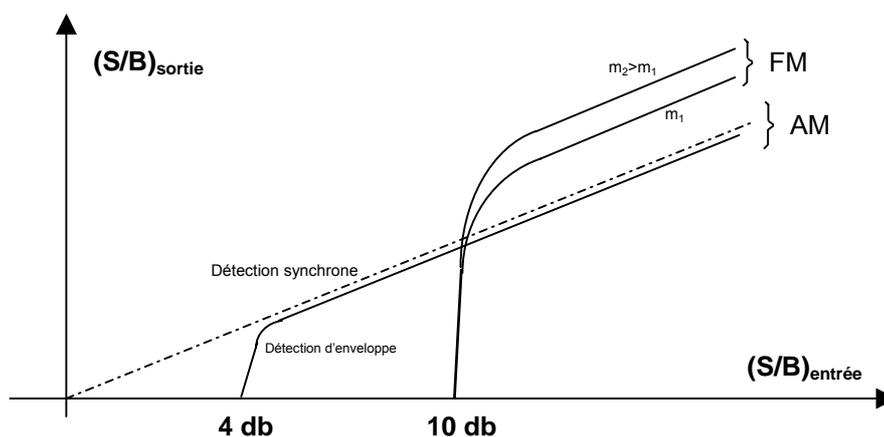
C-1-2-a : $s_1(t) = p(t) \cdot \cos(\omega_0 t + \theta_e) = a(t) \cdot \cos(\omega_0 t) \cdot \cos(\omega_0 t + \theta_e)$

$s_1(t) = (a(t)/2) \cdot [\cos(\theta_e) + \cos(2\omega_0 t + \theta_e)]$

Après filtrage on obtient : $s(t) = \frac{a(t)}{2} \cdot \cos(\theta_e)$

C-1-2-b : Démodulation optimale si $\theta_e = 0 \Rightarrow s(t) = \frac{a(t)}{2}$

C-1-2-c : La détection synchrone se comporte mieux vis à vis des signaux "fortement bruités" que la détection d'enveloppe comme le montre le graphe ci-dessous :



C-1-3-a : $p(t) = i(t) \cdot \cos(\omega_0 t) - q(t) \cdot \sin(\omega_0 t)$

C-1-3-b : L'idée est de traiter $p(t)$ comme la somme de deux signaux $p_1(t)$ et $p_2(t)$ définis comme suit :

$$\begin{cases} p_1(t) = i(t) \cdot \cos \omega_0 t \\ p_2(t) = -q(t) \cdot \sin \omega_0 t \end{cases}$$

$$\text{pour } p_1(t) = i(t) \cdot \cos(\omega_0 t) \Rightarrow \begin{cases} s_1(t) = \frac{1}{2} A_0 \cdot i(t) \cdot \cos \theta_e \\ s_1(t) = \frac{1}{2} A_0 \cdot i(t) \quad \text{si } \theta_e = 0 \\ s_2(t) = \frac{1}{2} A_0 \cdot i(t) \cdot \sin \theta_e = 0 \quad \text{si } \theta_e = 0 \end{cases}$$

$$\text{pour } p_2(t) = -q(t) \cdot \sin(\omega_0 t) \Rightarrow \begin{cases} s_1(t) = -\frac{1}{2} A_0 \cdot q(t) \cdot \sin \theta_e = 0 \quad \text{si } \theta_e = 0 \\ s_2(t) = \frac{1}{2} A_0 \cdot q(t) \cdot \cos \theta_e \\ s_2(t) = \frac{1}{2} A_0 \cdot q(t) \quad \text{si } \theta_e = 0 \end{cases}$$

$$\text{donc pour } p(t) = p_1(t) + p_2(t) \Rightarrow \boxed{\begin{cases} s_1(t) = \frac{1}{2} A_0 \cdot i(t) \\ s_2(t) = \frac{1}{2} A_0 \cdot q(t) \end{cases}}$$

C-1-4-a : On a fait à une modulation sans porteuse et donc une PLL ne pourrait "s'accrocher".

$$\text{C-1-4-b : } \boxed{\begin{cases} v_1(t) = \frac{1}{2} A_0 \cdot A_1 \cdot \cos(\theta_e) \cdot m(t) \\ v_2(t) = -\frac{1}{2} A_0 \cdot A_1 \cdot \sin(\theta_e) \cdot m(t) \\ v_3(t) = -\frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} A_0 \cdot A_1 \right)^2 \cdot m^2(t) \cdot \sin(2\theta_e) \end{cases}}$$

$$\text{C-1-4-c : } \boxed{v_4(t) = K \cdot \sin(2\theta_e)} \quad \text{avec } K = -\frac{A_2}{2} \left(\frac{1}{2} A_0 \cdot A_1 \right)^2 \cdot \langle m^2(t) \rangle \quad \text{et } \langle m^2(t) \rangle = \text{valeur moyenne de } m^2(t)$$

C-1-4-d : Signal d'erreur de la boucle : θ_e

Filtre n°3 : joue le rôle d'intégration vis à vis de $v_3(t)$ et tend donc à (quasiment) annuler l'erreur.

Comme θ_e tend vers 0, l'amplitude de $v_1(t)$ est maximale et, de plus, elle est proportionnelle à $m(t) \Rightarrow$ c'est le signal démodulé !

C-1-4-e : Le nom usuel d'une telle structure est : **BOUCLE DE COSTAS**

$$\text{C-1-4-f : } \begin{cases} e_1(t) = \frac{1}{2} \cdot A_1^2 \cdot m^2(t) \cdot [1 + \cos(2\omega_0 t)] \\ e_2(t) = \frac{1}{2} A_1^2 \cdot m^2(t) \cdot [\cos(2\omega_0 t)] \\ e_3(t) = A_0 \cdot \cos 2\omega_0 t \\ e_4(t) = A_0 \cdot \cos \omega_0 t \end{cases} \Rightarrow \boxed{s(t) = \frac{1}{2} \cdot A_1 \cdot A_0 \cdot m(t)}$$

C-1-4-g : La sortie de la "boucle d'élevation au carré" devient $s(t) = -(1/2) \cdot A_0 \cdot A_1 \cdot m(t)$ si l'entrée est inversée

La "boucle de COSTAS" donne, elle, le même résultat en sortie que l'entrée soit $e(t)$ ou $-e(t)$

C-1-4-h : Pour la "boucle de COSTAS" il y a une indétermination de 180° dans la phase du signal reçu par rapport au signal émis. Pour y remédier il faut soit coder en différentiel soit envoyer un signal de test une fois la boucle "accrochée".

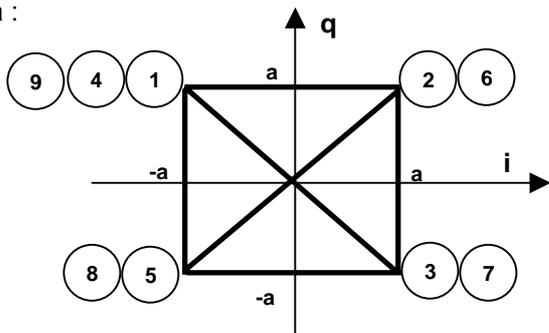
C-2 Application de la QAM aux modulations numériques

$$C-2-1 : \begin{cases} i(t) = a(t) \cdot \cos \varphi(t) \\ q(t) = a(t) \cdot \sin \varphi(t) \end{cases} \Rightarrow p(t) = a(t) \cdot \cos \varphi(t) \cdot \cos \omega_0 t - a(t) \cdot \sin \varphi(t) \cdot \sin \omega_0 t$$

$$\Rightarrow \boxed{p(t) = a(t) \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi(t))}$$

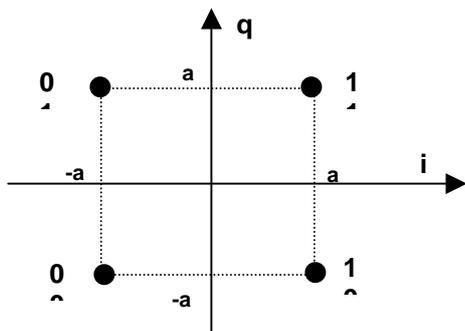
expression dans laquelle $a(t)$ représente la modulation d'amplitude et $\varphi(t)$ la modulation de phase.

C-2-2-a :



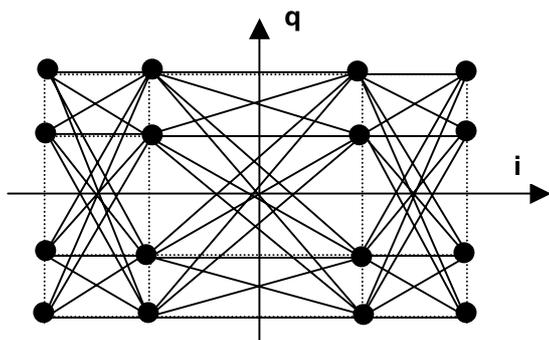
Trajectoires QAM - 4

C-2-2-b :

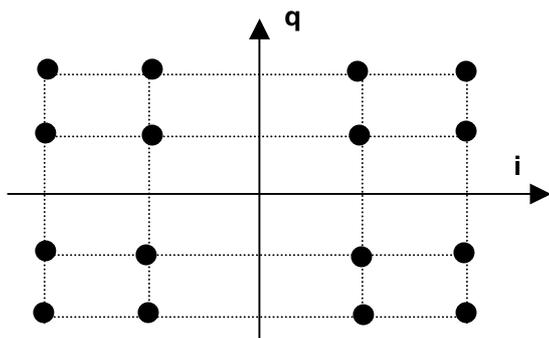


Constellation QAM - 4

C-2-2-c :



Trajectoires QAM - 16



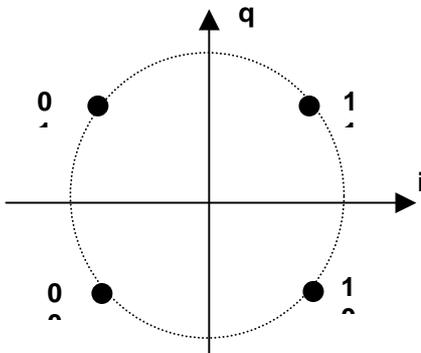
Constellation QAM - 16

C-2-3-a : on a $p(t) = \cos(\omega_0 t + \Delta\Psi(t))$ avec $\Delta\Psi = \left\{ \pm \frac{\pi}{M}; \pm \frac{3\pi}{M}; \dots; \pm \frac{(M-1)\pi}{M} \right\}$

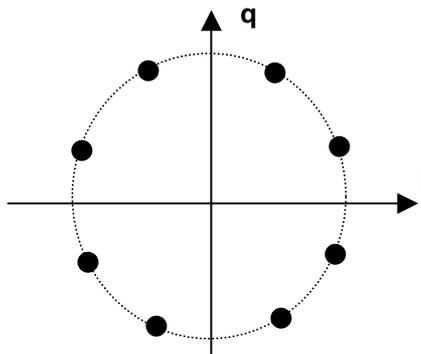
\Rightarrow on obtient : $p(t) = \cos(\Delta\Psi(t)) \cdot \cos(\omega_0 t) - \sin(\Delta\Psi(t)) \cdot \sin(\omega_0 t)$

\Rightarrow de la forme : $p(t) = i(t) \cdot \cos(\omega_0 t) - q(t) \cdot \sin(\omega_0 t)$

C-2-3-b :



Constellation QPSK



Constellation 8 - PSK

On remarque que, du point de vue des constellations, **une modulation QPSK est strictement équivalente à une modulation QAM - 4**

C-2-3-c : \rightarrow Transmission par satellite : très forte atténuation du signal reçu par le satellite (qq's 200 dB), donc ses transpondeurs doivent beaucoup amplifier d'où la présence de non linéarités \Rightarrow **la phase et la fréquence sont moins sensibles à ces non linéarités que l'amplitude.**

\rightarrow Transmission par câble : **pas de problème d'atténuation**, on utilise donc des QAM-64, QAM-128 ou QAM-256 car cela permet **des débits plus élevés.**

C-2-4-a : Les discontinuités des signaux conduiraient à un **encombrement spectral infini** ... ce qui n'est pas acceptable dans le cadre de transmission.

C-2-4-b : La réponse "impulsionnelle" d'un filtre étant infinie, **le chevauchement temporel** de certains symboles adjacents **conduirait à des erreurs de détection** et donc de transmission.

$$C-2-4-c : i_K(t) = \sum_n a_n \cdot h(t - nT_S) = \sum_n a_n \cdot h(t) * \delta(t - nT_S)$$

$$\Rightarrow i_K(t) = \left[\sum_n a_n \cdot \delta(t - nT_S) \right] * h(t) = e(t) * h(t)$$

En raisonnant en bande de base (comme nous l'y autorise l'hypothèse) et en se concentrant sur la voie I du modulateur I/Q , il vient :

$$x(t) = i(t) \quad \text{avec } x(t) = R_e(X(t))$$

$$y(t) = i_y(t) \quad \text{avec } y(t) = R_e(Y(t))$$

$$y(t) = h_c(t) * x(t)$$

D'autre part, pour le filtre de réception on peut aussi écrire :

$$i_r(t) = h_r(t) * i_y(t)$$

$$\text{soit au final : } i_r(t) = h_r(t) * h_e(t) * h_c(t) * h(t) * e(t)$$

$$\text{et donc : } \boxed{h_T(t) = h(t) * h_e(t) * h_c(t) * h_r(t)}$$

C-2-4-d : La transformée de Fourier de la fonction rectangle : $h(t) = \prod \frac{t}{T_S}$ est :

$$\boxed{H(f) = T_S \cdot \left(\frac{\sin \pi T_S \cdot f}{\pi T_S \cdot f} \right)}$$

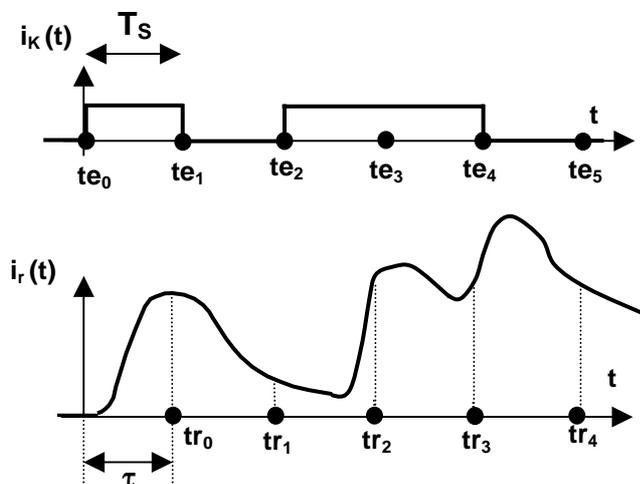
C-2-4-e : La transformée de Fourier d'un produit de convolution est le produit des transformées de Fourier :

$$\text{On obtient donc : } \boxed{H_T(f) = H(f) \cdot H_e(f) \cdot H_c(f) \cdot H_r(f)}$$

C-2-4-f : Détermination de $i_r(t)$ en fonction de a_n et de $h_T(t)$:

$$\boxed{i_r(t) = \sum_n a_n \cdot h_T(t - nT_S)}$$

C-2-5-a : Réponse du système au stimulus suivant :

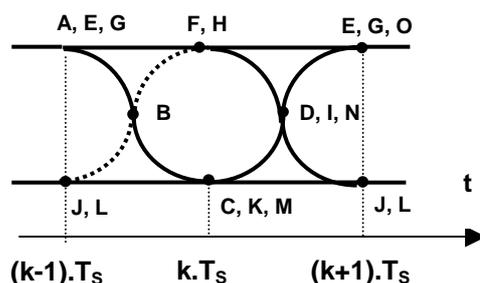


A l'instant de décision t_{r4} les réponses résiduelles des échantillons t_{e0} , t_{e2} et t_{e3} se superposent et conduisent à une erreur de détection (1 au lieu de $t_{e04} = 0$).

Le phénomène d'IES (Interférence Entre Symboles) a pour conséquence de réduire la marge de tolérance entre les niveaux échantillonnés en réception

⇒ cela augmente donc la probabilité d'erreur de décision

C-2-5-b : Le diagramme de l'œil total est de la forme suivante :



C-2-5-c : A partir du résultat de la question C-2-4-f :

$$i_r(t_{ri}) = \sum_n a_n \cdot h_T(t - nT_S) = h_T(0) \cdot a_i + \sum_{k \neq i} a_k \cdot h_T((i - k)T_S)$$

or $\sum_{k \neq i} a_k \cdot h_T((i - k)T_S) = 0$ et donc $i_r(t_{ri}) = h_T(0) a_i$

⇒ pas d'IES (Interférence Entre Symboles)

C-2-5-d : Signal échantillonné $i_r^*(t) = \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} h_T(nT_S) \cdot \delta(t - nT_S)$

La transformée de Fourier de $i_r^*(t)$ s'écrit :

$$I_r^*(f) = \frac{1}{T_S} \cdot \sum_{k=-\infty}^{k=+\infty} H_T(f - \frac{k}{T_S}) = \int_{-\infty}^{+\infty} (\sum_{n=-\infty}^{+\infty} h_T(nT_S) \cdot \delta(t - nT_S)) \cdot e^{-j2\pi ft} dt$$

$$I_r^*(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} h_T(0) \cdot \delta(t) \cdot e^{-j2\pi ft} dt = h_T(0) \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t) \cdot e^{-j2\pi ft} dt \quad \text{or} \quad \int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t) \cdot e^{-j2\pi ft} dt = 1$$

on a donc : $\frac{1}{T_S} \cdot \sum_{k=-\infty}^{k=+\infty} H_T(f - \frac{k}{T_S}) = h_T(0)$

ou encore : $\sum_{k=-\infty}^{k=+\infty} H_T(f - \frac{k}{T_S}) = h_T(0) \cdot T_S$

C-2-5-e : 3 cas possibles :

- $B \leq \frac{1}{2T_S}$ le spectre de $i_r^*(t)$ consiste en répliques de $I_r(f)$ séparées de $1/T_S$, mais elles ne se recouvrent pas ⇒ impossible de concevoir $H_T(f)$ (autrement dit si le rythme des symboles est supérieur à 2 fois la largeur de bande du canal il y a nécessairement de l'Interférence Entre Symboles (IES)).
- $B = \frac{1}{2T_S}$ la condition de NYQUIST est réalisée pour la fonction de transfert

$$\begin{cases} H_T(f) = p(0) \cdot T_S & \text{si } |f| < B \\ H_T(f) = 0 & \text{si } |f| > B \end{cases}$$
- $B \geq \frac{1}{2T_S}$ le spectre de $i_r^*(t)$ consiste en répliques de $I_r(f)$ séparées de $1/T_S$, mais, ici, elles se recouvrent ⇒ on peut concevoir des fonctions de transfert $H_T(f)$ (par exemple les filtres en Cosinus Surélevé (Raised Cosine) qui respectent le critère de NYQUIST.

Le débit maximum théorique, exprimé en nombre de symboles par seconde et appelé *débit de NYQUIST*, est donc :

$$D_S = 2 \cdot B = \frac{1}{T_S}$$

C-2-5-f : A partir du document Annexe n°2 on remarque que la bande passante du filtre en Cosinus surélevé (expression littérale de $H_{RC}(f)$) vaut f_{MAX} et que cette limite au delà de laquelle $H_{RC}(f) = 0$ est donnée par :

$$f_{MAX} = \frac{(1 + \alpha)}{2.T_S}$$

Dès lors les caractéristiques D_S , D_b et efficacité spectrale se déduisent de cette valeur.

- $B_T = (1 + \alpha) \cdot \frac{1}{2.T_S}$

- $D_S = \frac{2.B_T}{1 + \alpha}$

- $D_S = \frac{D_b}{\log_2 M} \Rightarrow D_b = \frac{2 \cdot \log_2 M}{1 + \alpha} \cdot B_T$

- Efficacité Spectrale maxi ($\alpha = 0$) : $\frac{D_b}{B_T} = 2 \cdot \log_2 M$

- Tableau des efficacités Spectrales maxi en fonction du type de modulation :

Type de Modulation	Efficacité Spectrale Maxi en bit/s/Hz
BPSK (M = 1)	1
QPSK (M = 2)	2
8 - PSK (M = 3)	3
QAM - 16	4
QAM - 64	6
QAM - 256	8

Non demandé aux candidats :

Remarque : Dans le cas du décodeur DIGISAT :

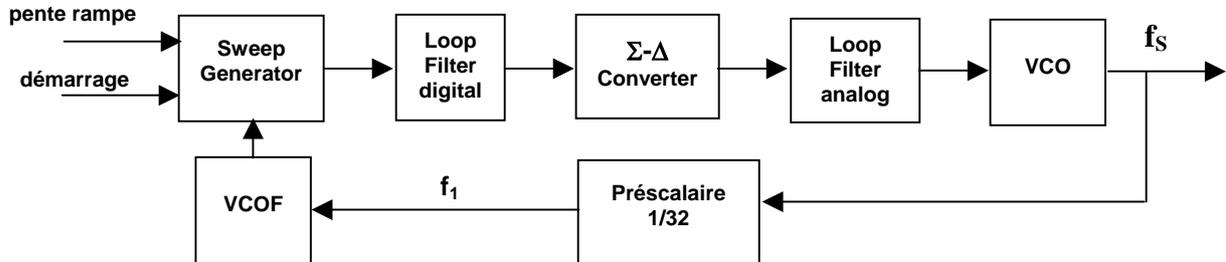
$$B_T = 16,25 \text{ Mhz} ; \alpha = 0,35 ; D_S = 1/T_S = 24 \text{ Mbauds} ; D_b = 48 \text{ Mbit/s}$$

La condition $(1 + \alpha) \cdot \frac{1}{2.T_S} \leq b_1$ est à la limite de validité ($16,4 \cdot 10^6 \neq 16,25 \cdot 10^6$)

C-3 Etude technologique de la boucle « Récupération de porteuse »

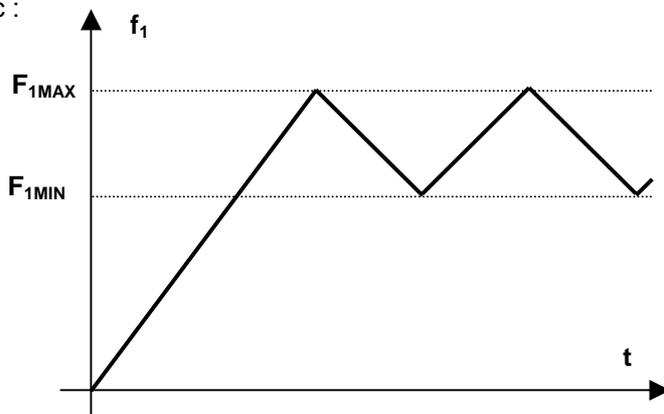
C-3-1-a : L'incertitude sur la fréquence de la porteuse du signal reçu (y compris après la LNB) est de +/- 5Mhz. Cela impose de rechercher cette fréquence pour l'accrochage de la boucle de COSTAS via une rampe de fréquence.

C-3-1-b :



VCOF : mesure de la fréquence synthétisée à partir d'une référence de temps basée sur un quartz.

C-3-1-c :

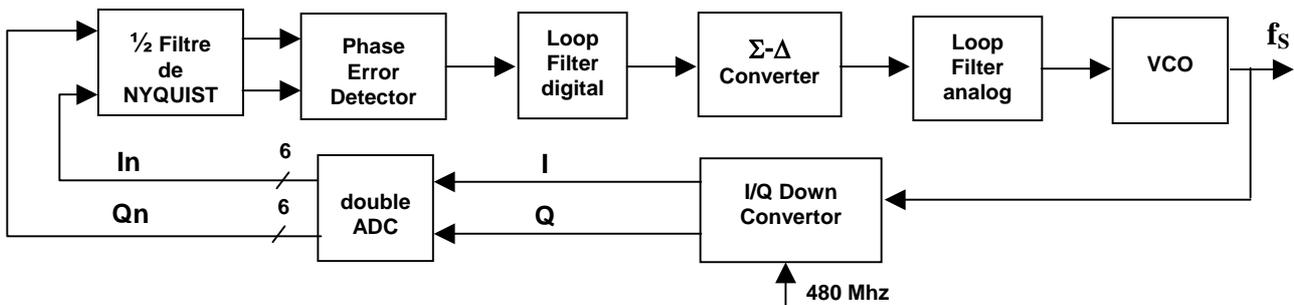


- Fréquence minimale après le diviseur "préscaleire" :
 $F_{1MIN} = (480 - 5) \cdot 10^6 / 32 = 14,84375 \cdot 10^6 \text{ Hz}$
- Fréquence maximale après le diviseur "préscaleire" :
 $F_{1MAX} = (480 + 5) \cdot 10^6 / 32 = 15,15625 \cdot 10^6 \text{ Hz}$

- $CAR_RP = 8 \Rightarrow$ période de référence = $8192 \cdot T_{\text{quartz}} = 8192 / 10 \cdot 10^6 \Rightarrow$

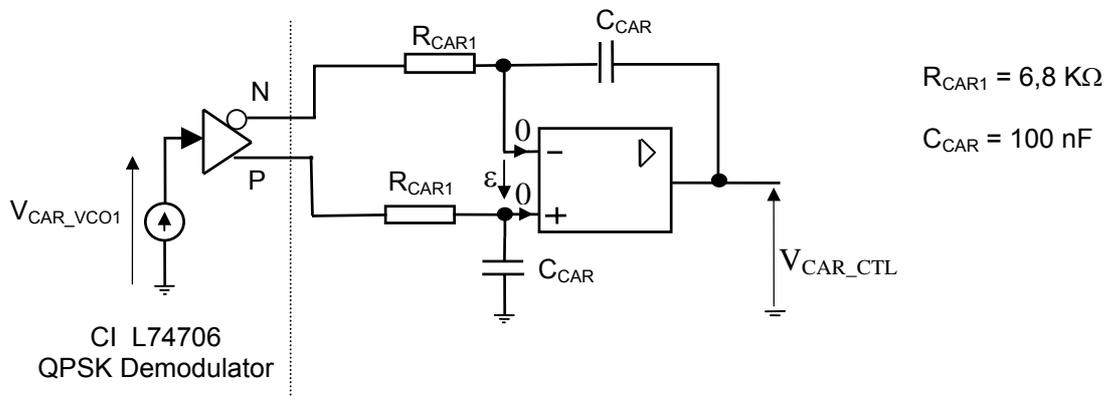
$$\left\{ \begin{array}{l} CAR_LSWL = \frac{14,84375 \cdot 10^6}{10 \cdot 10^6} \cdot 8192 = 12160 \\ CAR_USWL = \frac{15,15625 \cdot 10^6}{10 \cdot 10^6} \cdot 8192 = 12416 \end{array} \right.$$

C-3-2-a :



C-3-2-b : Le filtre numérique interne permet de réduire la complexité du filtre analogique externe au circuit.

C-3-2-c : A partir du schéma de principe fourni par la figure 4.5 *Loop Control Signal Interface* (page 4-7 de la documentation technique du circuit L64706 *QPSK/BPSK Demodulator*), et du schéma structurel F.E.C le schéma électrique du filtre de boucle extérieur au circuit intégré est le suivant :



Justification des valeurs nominales :

- Débit Symboles de **12 à 30 Mbaud** \Rightarrow utilisation de **CAR_VCO1**
- CAR_VCO1 \Rightarrow Equation 3-10 de la page 3-15 : $R_{CAR1} \cdot C_{CAR} = \frac{K_{CARVCO}}{3,98 \cdot 10^9} = 678 \mu\text{S}$

Or, d'après les valeurs du schéma ci-dessus, la constante de temps du filtre vaut :

$$R_{CAR1} \cdot C_{CAR} = 6,8 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^{-9} = 680 \mu\text{S} \text{ soit une valeur très proche de } 678 \mu\text{S}$$

PARTIE D : Etude de la boucle « Récupération d'horloge »

D-1 Etude de l'intérêt de la modulation SIGMA-DELTA

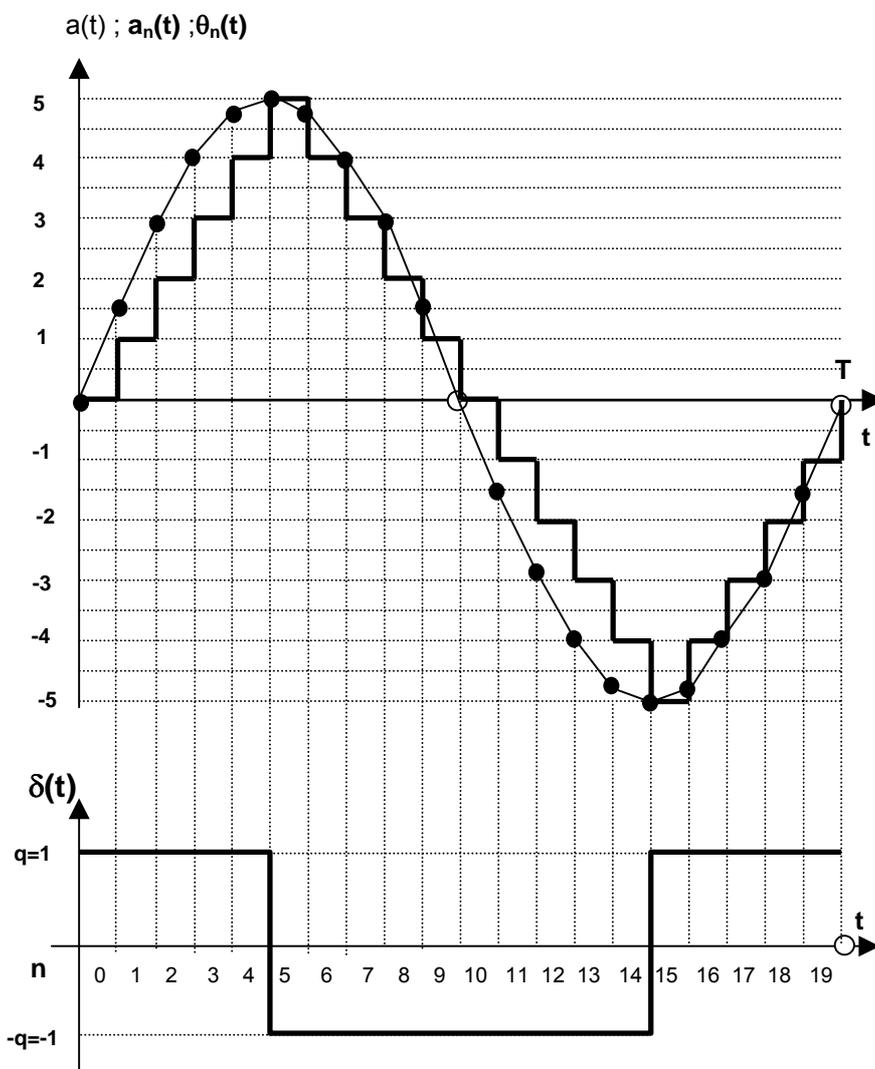
D-1-1-a : En modulation DELTA le "but du jeu" n'est pas de coder la valeur absolue du signal mais les variations de celui-ci. La sortie de l'intégrateur **tente donc de prédire l'entrée**.

$\theta(t)$ est donc la valeur moyenne de $a(t)$: $\theta(t) = \bar{a}(t)$

$\varepsilon(t)$ est l'erreur de prédiction soit $\varepsilon(t) = a(t) - \bar{a}(t)$

$\delta(t)$ est la quantification sur 1 bit de cette erreur

D-1-1-b : en prenant $q = 1$; $a(t) = 5 \cdot \sin(\omega \cdot t)$; $\theta_{-1} = 0$; $\delta_{-1} = 0$; $\varepsilon_n = a_n - \theta_{n-1}$; $\theta_n = \theta_{n-1} + \delta_{n-1}$

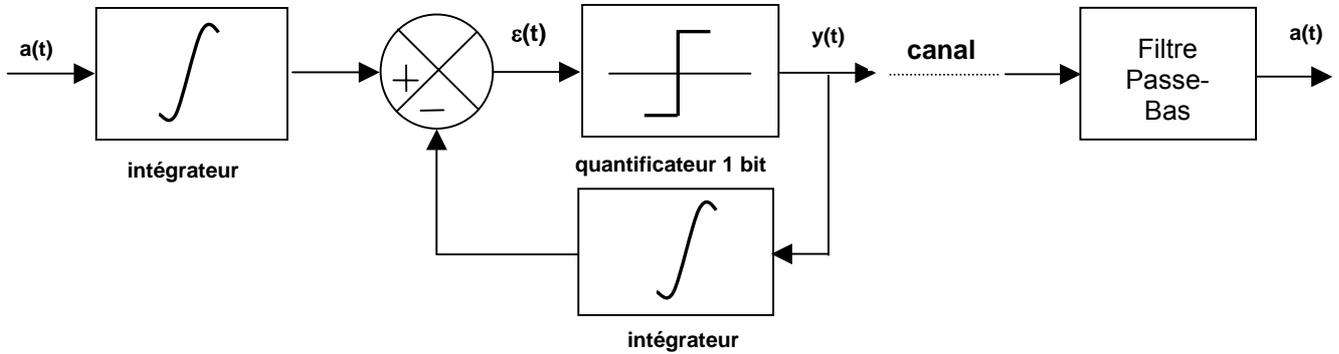


n	a_n	$\varepsilon_n = a_n - \theta_{n-1}$	δ_n	$\theta_n = \theta_{n-1} + \delta_{n-1}$
0	0	0^+	+1	0
1	1,54	1,54	+1	1
2	2,93	1,93	+1	2
3	4	2	+1	3
4	4,75	1,75	+1	4
5	4	0^-	+1	5
6	4,75	-0,25	-1	4
7	4	0^-	-1	3
8	2,93	-0,07	-1	2
9	1,54	-0,46	-1	1
10	0	-1	-1	0
11	-1,54	-1,5	-1	-1
12	-2,93	-1,93	-1	-2
13	-4	-2	-1	-3
14	-4,75	-1,75	-1	-4
15	-4	0^+	+1	-5
16	-4,75	0,25	+1	-4
17	-4	0^+	+1	-3
18	-2,93	+0,07	+1	-2
19	-1,54	+0,46	+1	-1
20				0

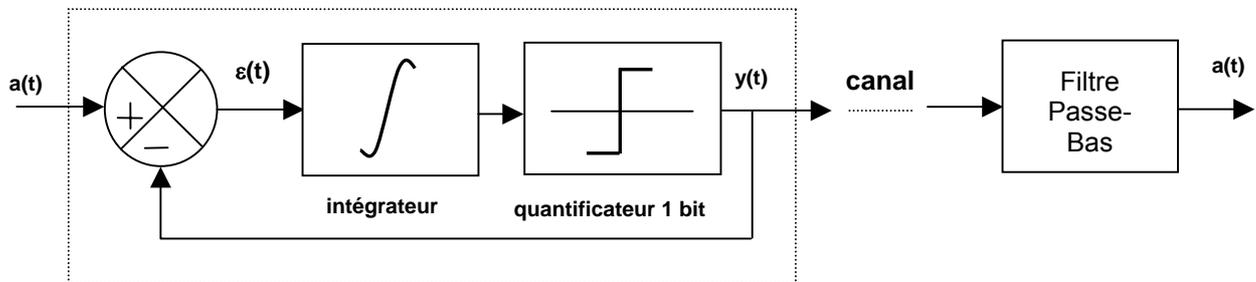
D-1-1-c : A la sortie du deuxième intégrateur on "récupère" $\theta(t)$ ce qui, après filtrage "passe-bas", donne, en sortie de l'ensemble, $a(t)$.

D-1-2-a : On procède en deux étapes :

- On place d'abord l'intégrateur de la démodulation en début de chaîne :

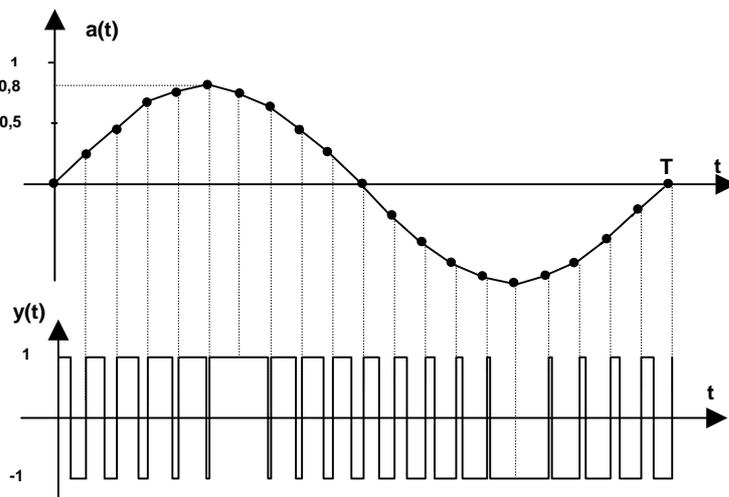


- Ensuite on modifie la boucle en ajoutant l'intégrateur dans la chaîne directe :



D-1-2-b : La partie encadrée est appelée un **modulateur "SIGMA-DELTA"** car il est basé sur l'association d'un **intégrateur (SIGMA)** suivi d'un **modulateur DELTA**

D-1-2-c :



Ce tracé montre bien que :

- Lorsque l'entrée est loin des valeurs extrêmes la sortie du modulateur change d'état très souvent
- Lorsque l'entrée est voisine des crêtes la sortie du modulateur évolue peu : par exemple si $a(t)$ est voisin de sa crête positive alors la sortie est une suite de +1 , de même si $a(t)$ est voisin de sa crête négative alors la sortie est une suite de -1

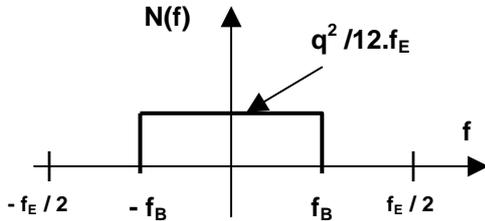
D-1-3-a : Le signal $e(t)$ peut être considéré **comme un bruit**.

D-1-3-b : $\sigma_b^2 = E(e^2) = \frac{1}{q} \int_{-q/2}^{q/2} e^2 de$ soit : $\sigma_b^2 = \frac{q^2}{12}$

D-1-3-c : Si on raisonne sur des densité et puissance de bruit spectrales définies de façon symétrique par rapport à $f = 0$ cela donne :

$$N(f) = \frac{\sigma_b^2}{f_E} \quad \text{soit} \quad \boxed{N(f) = \frac{q^2}{12 \cdot f_E}}$$

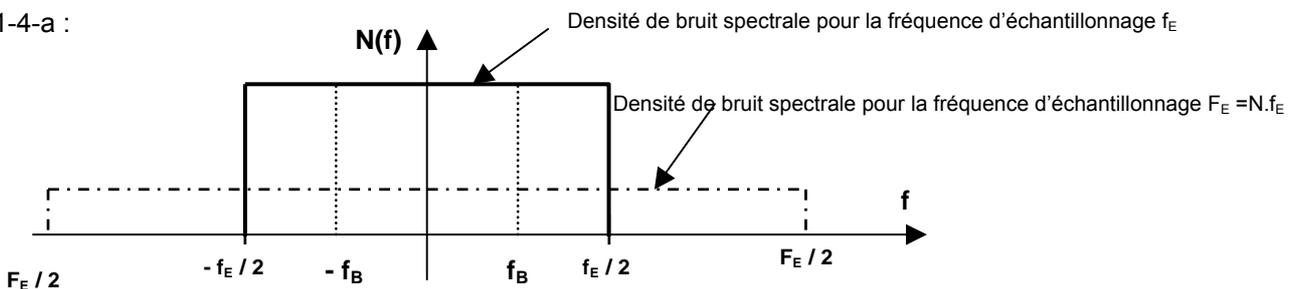
D-1-3-d : Toujours avec la même hypothèse, la densité spectrale de bruit se représente donc comme suit :



la puissance de bruit N_b se calcule donc par :

$$N_b = \int_{-f_B}^{f_B} \frac{q^2}{12 \cdot f_E} \cdot df \quad \text{soit} \quad \boxed{N_b(f) = \frac{q^2}{12} \cdot \frac{2 \cdot f_B}{f_E}}$$

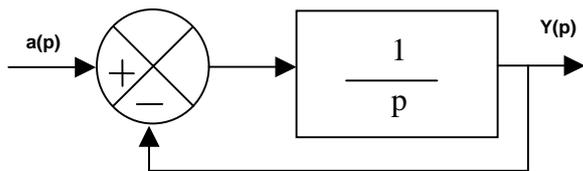
D-1-4-a :



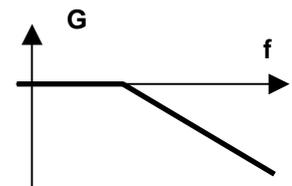
D-1-4-b : L'intérêt du "suréchantillonnage" (Oversampling) est de diminuer, dans la bande des fréquences utiles $[-f_B ; f_B]$ en particulier, la densité spectrale de bruit et, par voie de conséquence, la puissance de bruit liée à la quantification.

Un autre intérêt du "suréchantillonnage" est de faciliter la mise en œuvre du filtre anti-repliement puisque la fréquence de NYQUIST ($F_E / 2$) est "repoussée" très à droite sur l'axe des fréquences.

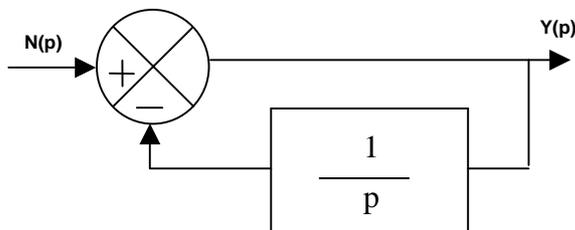
D-1-5-a : Fonctions de transfert en p de $y(t)$ vis à vis de l'entrée :



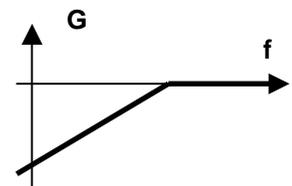
$$\frac{Y(p)}{a(p)} = \frac{1}{1+p}$$



Fonctions de transfert en p de $y(t)$ vis à vis du bruit :



$$\frac{Y(p)}{N(p)} = \frac{p}{1+p}$$

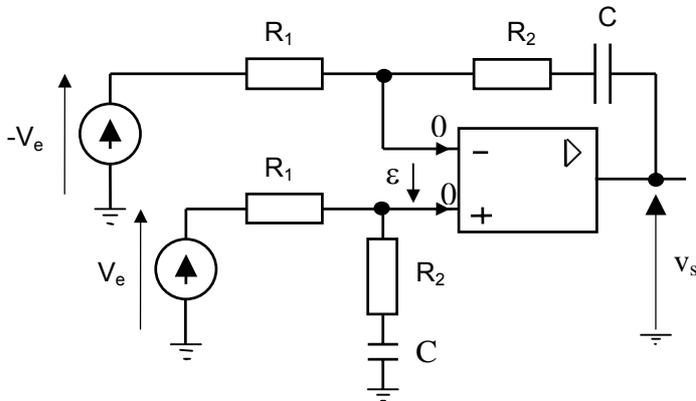


En première approximation on peut dire qu'un modulateur SIGMA-DELTA n'altère pas le signal utile, par contre il "pousse" le bruit de quantification à s'étaler sur une large bande passante tout en le diminuant dans la bande d'intérêt.

D-1-5-b : La fréquence de coupure (plusieurs Mhz) de ces fonctions de transfert (sous leur forme échantillonnée) est très supérieure aux fréquences de travail de la boucle de récupération d'horloge ... on considèrera donc l'influence du modulateur SIGMA-DELTA négligeable vis à vis du comportement dynamique de la boucle.

D-2 Etude technologique du filtre de boucle et du VCO

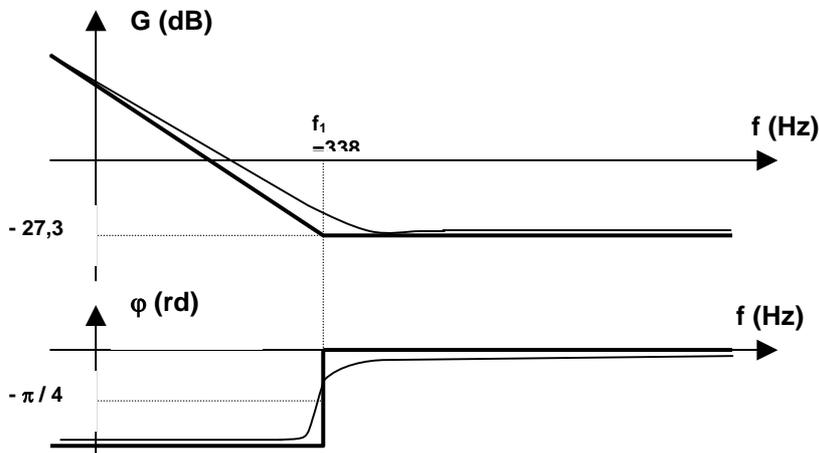
D-2-1 : La source de tension V_{CLK_VCO} , le "buffer" de sortie du circuit QPSK/Demodulator et le filtre actif peuvent se modéliser comme suit :



Le calcul de la fonction de transfert donne :

$$F(p) = \frac{V_s(p)}{V_e(p)} = 2 \cdot \frac{(1 + R_2 \cdot C \cdot p)}{R_1 \cdot C \cdot p}$$

D-2-2 : Diagramme de BODE de la fonction de transfert du filtre de boucle ($R_1 = 22 \text{ K}\Omega$; $R_2 = 470 \Omega$; $C = 1 \mu\text{F}$)



$$f_1 = \frac{1}{2\pi \cdot R_2 \cdot C} = 338 \text{ Hz}$$

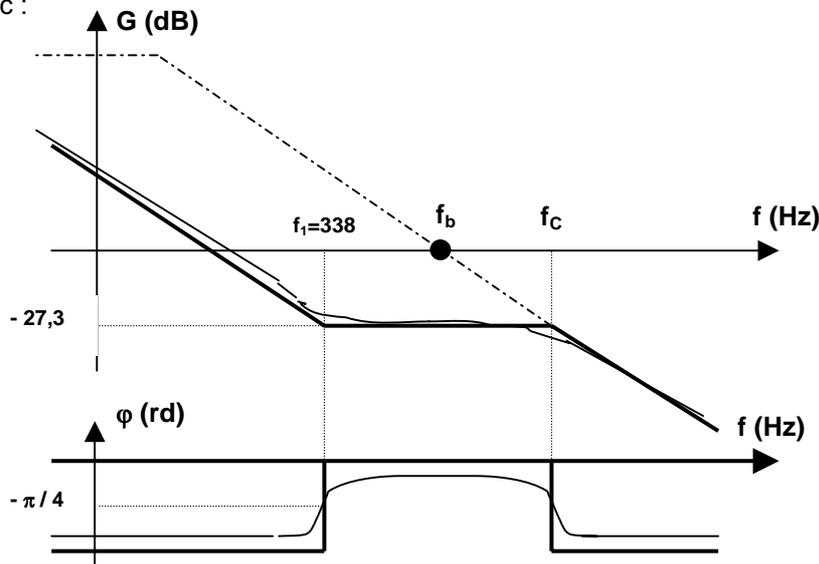
$$G = 20 \cdot \log \frac{2 \cdot R_2}{R_1} = -27,3 \text{ dB}$$

$$G = \frac{2 \cdot R_2}{R_1} = 0,042$$

D-2-3-a : Le produit Gain-Bande de tout Amplificateur Linéaire Intégrale (ALI) étant limité, cela induit une fréquence de coupure supplémentaire pour le filtre de boucle.

D-2-3-b : D'après le document constructeur du LM833 : $G_{BW} = 15 \text{ Mhz}$ en valeur typique

D-2-3-c :



Pour un système du premier ordre :

$A \cdot f = \text{constante}$ soit ici :

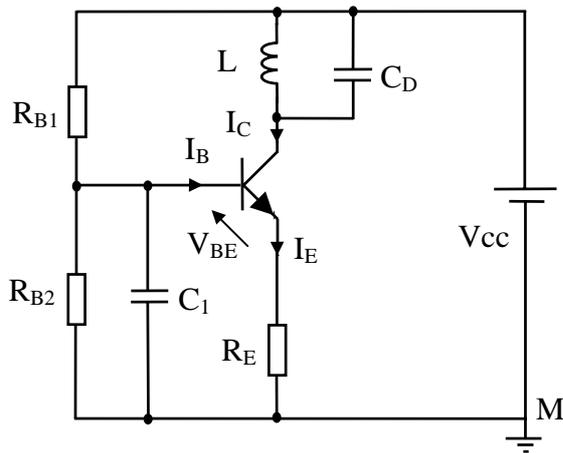
$$1 \cdot f_b = 0,042 \cdot f_c = G_{BW} = 15 \cdot 10^6$$

d'où $f_c = 357 \text{ Mhz}$

D-2-4-a : * **La structure amplificatrice** (fonction de transfert \underline{A}) est réalisée par les composants :

- transistor Q1 (BFS19)
- résistances de polarisation R_{B1} , R_{B2} , R_E
- condensateur de découplage de la base C_1
- filtre sélectif L , C_D

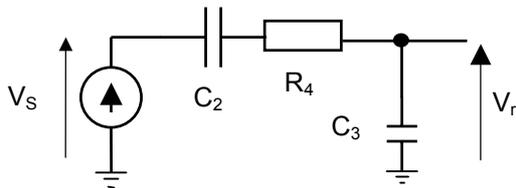
Soit le schéma structurel :



* **La structure de filtrage large bande** (fonction de transfert \underline{F}) est réalisée par les composants passifs :

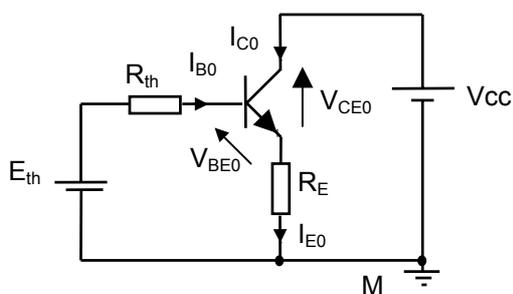
- condensateurs C_2 et C_3
- résistance R_4

Soit le schéma structurel :



* L'amplificateur à transistor est du type **Base Commune**

D-2-4-b : Calcul du point de repos du transistor : en statique, le schéma équivalent du montage amplificateur est :



$$\text{avec } E_{th} = R_{B2} \cdot V_{CC} / (R_{B2} + R_{B1}) = 2,56 \text{ V}$$

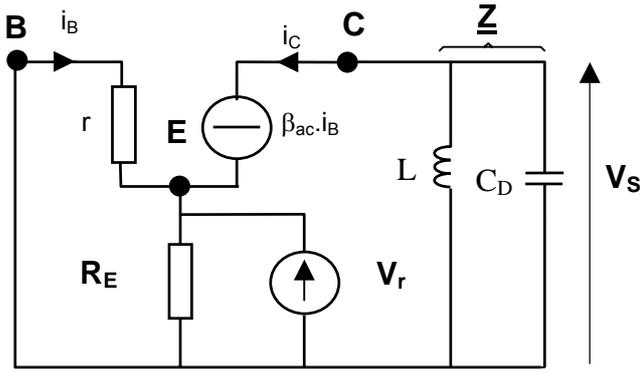
$$\text{et } R_{th} = R_{B2} \cdot R_{B1} / (R_{B2} + R_{B1}) = 2,8 \text{ K}\Omega$$

$$\text{d'où } I_{B0} = (E_{th} - V_{BE0}) / (R_{th} + \beta_{dc} \cdot R_E) \text{ soit } I_{B0} = 52 \mu\text{A}$$

$$\text{et } I_{C0} = \beta_{dc} \cdot I_{B0} \text{) soit } I_{C0} = 3,49 \text{ mA}$$

$$\text{et encore } V_{CE0} = V_{CC} - R_E \cdot (I_{B0} + I_{C0}) \text{ soit } V_{CE0} = 3,33 \text{ V}$$

D-2-4-c : Elaboration du modèle "petit signal" de l'amplificateur :

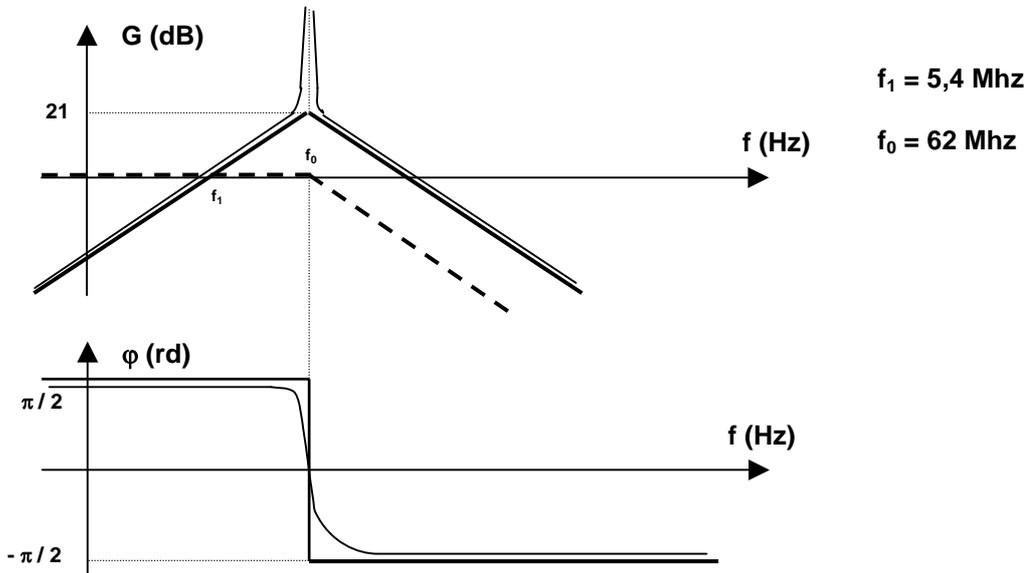


$$\begin{cases} \underline{V}_r = -r \cdot \underline{I}_B \\ r = \frac{V_T}{I_{B0}} = 480 \Omega \\ \underline{V}_s = -\beta_{ac} \cdot \underline{I}_B \cdot \underline{Z} \end{cases}$$

$$\text{d'où } \frac{\underline{V}_s}{\underline{V}_r} = \frac{\beta_{ac}}{r} \underline{Z} \text{ or } \underline{Z} = \frac{jL\omega}{1 - LC_D \omega^2}$$

soit $\underline{A} = \frac{\underline{V}_s}{\underline{V}_r} = \frac{\beta_{ac}}{r} \cdot \frac{jL\omega}{1 - LC_D \omega^2}$ ou, sous forme numérique : $\underline{A} = \frac{\underline{V}_s}{\underline{V}_r} = 0,133 \cdot \frac{j \cdot 220 \cdot 10^{-9} \cdot \omega}{1 - (2,56 \cdot 10^{-9} \cdot \omega)^2}$

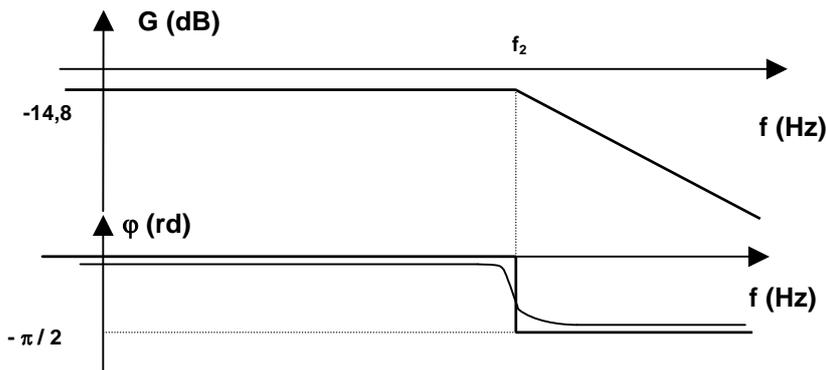
Tracer de l'allure du diagramme de BODE (courbes réelles et asymptotiques) de \underline{A} :



D-2-4-d : Fonction de transfert harmonique \underline{F} du filtre large bande dont le schéma a été présenté en D-2-4-a :

$$\underline{F} = \frac{\underline{V}_r}{\underline{V}_s} = \frac{C_2}{C_2 + C_3} \cdot \frac{1}{1 + jR_4 \cdot \frac{C_2 \cdot C_3}{C_2 + C_3} \omega} \text{ soit : } \underline{F} = \frac{\underline{V}_r}{\underline{V}_s} = 0,18 \cdot \frac{1}{1 + j \frac{f}{f_2}} \text{ avec } f_2 = 600 \text{ Mhz}$$

Tracer l'allure du diagramme de BODE (courbes réelles et asymptotiques) de \underline{F}



D-2-4-e : La condition d'oscillation d'un tel système est $\exists \omega$ telle que $\underline{A} \cdot \underline{F} = +1$

La modélisation du circuit accordé L, C_D dont le coefficient de qualité théorique est infini, impose que la boucle ouverte $\underline{A} \cdot \underline{F}$ ne peut présenter un gain supérieur à 1 que pour des pulsations très voisines de

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C_D}}$$

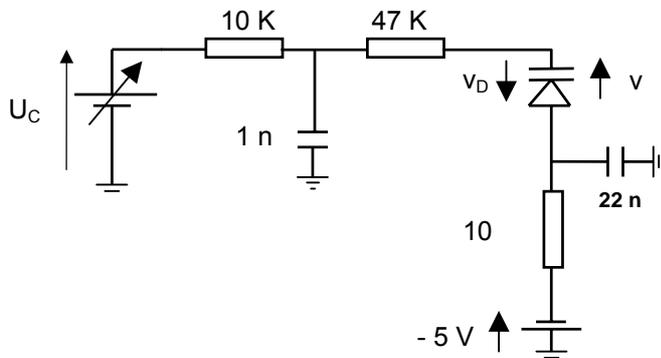
Dès lors l'expression approchée de la fréquence d'oscillation est :

$$f_{osc} \cong f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \sqrt{L \cdot C_D}}$$

Pour améliorer la modélisation du circuit rétro-actionné on peut :

- calculer les **impédances d'entrée et de sortie des quadripôles** "amplificateur" et "filtre" et déterminer les nouvelles expressions de \underline{A} et \underline{F}
- prendre en compte la saturation de l'amplificateur et appliquer les **méthodes d'étude des circuits non linéaires (méthode du 1^o harmonique ou celle dite du plan de phase)** pour trouver la fréquence d'oscillation et leur amplitude sur une sortie donnée.

D-2-4-f : Schéma de polarisation de la diode "varicap" BB133 :



En statique les condensateurs se comportent comme des circuits ouverts, la tension inverse V aux bornes de la diode varicap s'écrit donc :

$$V = U_C - (-5) = U_C + 5$$

$$U_C = 0 \text{ V} \Rightarrow V = 5 \text{ V} \Rightarrow C_D = 15 \text{ pF}$$

$$U_C = 5 \text{ V} \Rightarrow V = 10 \text{ V} \Rightarrow C_D = 7,5 \text{ pF}$$

$$\frac{\Delta C}{\Delta V} = -1,5 \text{ pF/V}$$

$$f_{osc} \cong f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \sqrt{L \cdot C_D}} \Rightarrow df_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \sqrt{L}} \left(-\frac{1}{2} \right) C^{-\frac{3}{2}} \Rightarrow \frac{df_0}{dV} = \left(-\frac{1}{2} \right) \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot C \sqrt{L \cdot C}} \cdot \frac{dC}{dV}$$

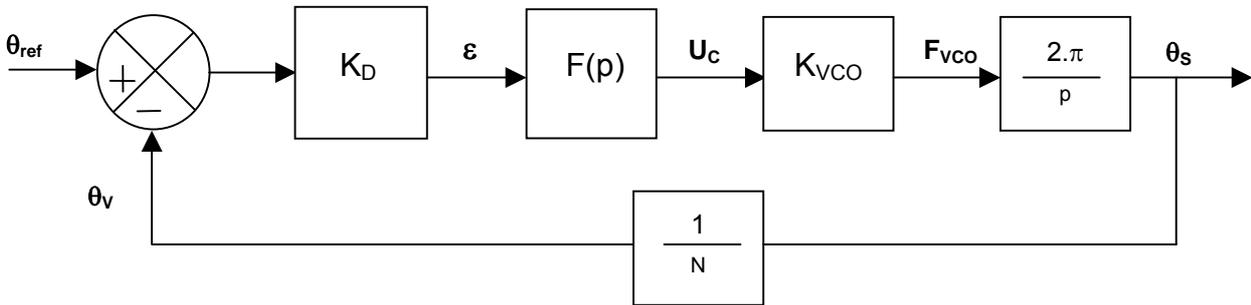
$$\Rightarrow K_{VCO} = \left(\frac{df_0}{dU_C} \right)_{U_C=2,5V} = \left(-\frac{1}{2} \right) \cdot \frac{1,5 \cdot 10^{-12}}{2 \cdot \pi \cdot C \sqrt{L \cdot C}}$$

Application numérique : $U_C = 2,5 \text{ V} \Rightarrow V = 7,5 \text{ V} \Rightarrow C = C_D = 12 \text{ pF} \Rightarrow K_{VCO} = 6,12 \text{ Mhz/V}$

Note : dans la pratique les capacités parasites (circuit imprimé, transistor etc.) limitent cette valeur à $K_{VCO} = 2 \text{ Mhz/V}$

D-3 Modélisation de la boucle « Récupération d'horloge »

D-3-1 : Elaboration du schéma bloc (au sens de l'automatique) de cet asservissement :



D-3-2 : D'après le résultat de la question D-2-1 (ou d'après un calcul rapide de la fonction de transfert du montage identifié sur le schéma structurel F.E.C et organisé autour de l'A.L.I LM833 et dont les signaux d'entrée sont CLK_VCO_P et CLK_VCO_N) on peut écrire :

$$F(p) = 2 \cdot \frac{1 + \tau_2 \cdot p}{\tau_1 \cdot p} \quad \text{avec} \quad \boxed{\tau_2 = R_2 \cdot C} \quad \text{et} \quad \boxed{\tau_1 = R_1 \cdot C}$$

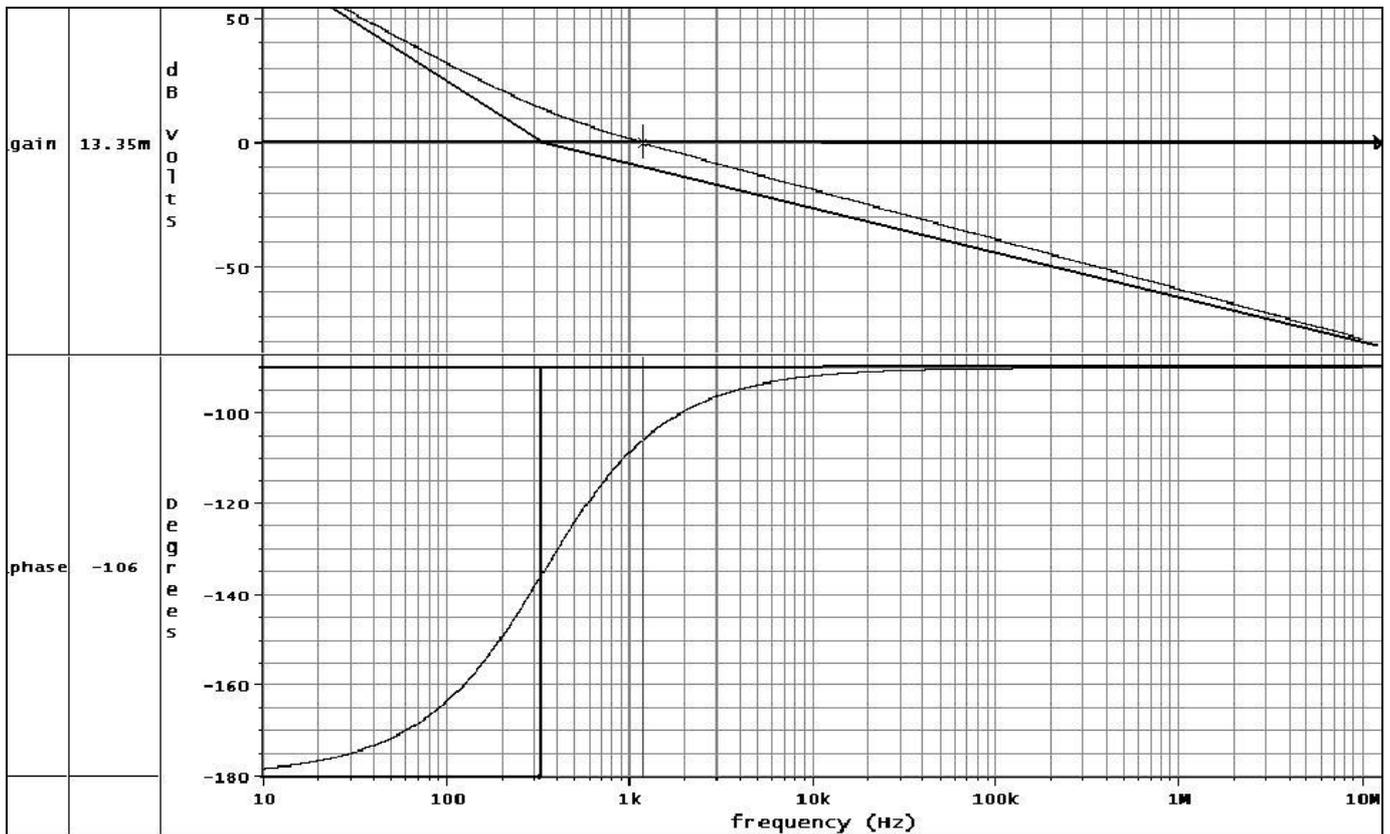
Application numérique : $R_2 = 470 \, \Omega$; $R_1 = 22 \, \text{K}\Omega$; $C = 1 \, \mu\text{F}$ $\Rightarrow \tau_2 = 470 \, \mu\text{S}$ et $\tau_1 = 22 \, \text{mS}$

D-3-3 : Détermination de l'expression littérale de la fonction de transfert en p de la boucle ouverte :

$$H_{BO}(p) = \frac{\theta_v(p)}{\theta_{ref}(p)} = \frac{4 \cdot \pi \cdot K_D \cdot K_{VCO} \cdot \tau_1}{N} \cdot \frac{1 + \tau_2 \cdot p}{(\tau_1 \cdot p)^2} = K' \cdot \frac{1 + \tau_2 \cdot p}{(\tau_1 \cdot p)^2}$$

D-3-4 : Tracé de l'allure du diagramme de BODE (courbes réelles et asymptotiques) de $H_{BO}(j\omega)$:

$K_D = 2,66 \cdot 10^{-3} \, \text{V/rad}$; $N = 2$; $\omega_2 = 1/\tau_2 = 2,1 \cdot 10^3 \, \text{rad/s} \Rightarrow f_2 = 338 \, \text{Hz}$; $\omega_1 = 1/\tau_1 = 45 \, \text{rad/s} \Rightarrow f_1 = 7 \, \text{Hz}$; $K' = 7350$



Le système sera stable en boucle fermée, de plus sa marge de phase est supérieure à 45° car $\varphi_m = 74^\circ$

D-3-5 : Fonction de transfert en boucle fermée :
$$H_{BF}(p) = \frac{\theta_s(p)}{\theta_{ref}(p)} = \frac{T_D(p)}{1 + T_D(p) \cdot T_R(p)}$$

Avec $T_D(p)$ fonction de transfert de la chaîne directe et $T_R(p)$ celle de la chaîne de retour. Après calcul il vient :

$$H_{BF}(p) = \frac{\theta_s(p)}{\theta_{ref}(p)} = \frac{4 \cdot \pi \cdot K_D \cdot K_{VCO}}{\tau_1} \cdot \frac{(1 + \tau_2 \cdot p)}{\left(\frac{4 \cdot \pi \cdot K_D \cdot K_{VCO}}{N \cdot \tau_1} + \frac{4 \cdot \pi \cdot K_D \cdot K_{VCO} \cdot \tau_2}{N \cdot \tau_1} p + p^2 \right)}$$

D-3-6 : D'après le résultat précédent on montre que la fonction de transfert en boucle fermée s'écrit sous la forme :

$$H_{BF}(p) = \frac{\theta_s(p)}{\theta_{ref}(p)} = K \cdot \frac{(1 + \tau_2 p)}{(\omega_n^2 + 2\zeta\omega_n p + p^2)}$$

avec
$$K = \frac{4 \cdot \pi \cdot K_D \cdot K_{VCO}}{\tau_1} \quad \omega_n = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi \cdot K_D \cdot K_{VCO}}{N \cdot \tau_1}} \quad \zeta = \frac{1}{2} \cdot \omega_n \cdot \tau_2$$

D-3-7 : $\omega_n = 3900 \text{ rad/s}$; $\zeta = 0,92$

ω_n correspond à une bande passante du système en boucle fermée de $f_n = \omega_n / 2 \cdot \pi = 621 \text{ Hz}$

$f_n \ll F_s = 25 \text{ Mhz}$ (F_s est la fréquence de fonctionnement du modulateur SIGMA-DELTA) \Rightarrow l'hypothèse faite au début de la partie D-3 est donc validée.

$\zeta = 0,92$: c'est une valeur usuelle des amortissements des PLL ($0,7 < \zeta < 1,1$)

D-3-8 : Erreur statique vis à vis d'un échelon de phase : nulle !!! ... \exists au moins un "intégrateur pur" ($1/p$) dans la chaîne directe.

Erreur statique vis à vis d'un échelon de fréquence : nulle !!! ... l'échelon de fréquence correspond à une entrée en rampe de phase (la phase est l'intégrale de la pulsation). Or il existe deux "intégrateurs purs" dans la chaîne directe, donc l'erreur de traînage est nulle.

PARTIE E : Etude des structures numériques de contrôle (carte Main Board)

E-1 Etude des différentes mémoires de la carte « Main Board »

E-1-1-a : Mémoires à accès parallèle :

- **SRAM : Static Random Acces Memory** : Mémoire Statique à Accès Direct (Random = Aléatoire)
 - Technologie CMOS
 - Ne nécessite pas de rafraichissement mais de densité plus faible que les DRAM
 - Mémoire volatile
- **DRAM : Dynamic Random Acces Memory** : Mémoire Dynamique à Accès Direct (Random = Aléatoire)
 - Technologie CMOS
 - Très dense mais il est nécessaire de rafraichir les informations qu'elle contient
 - Mémoire volatile
- **EEPROM / EPROM / PROM (OTP_ROM) :**
 - **EEPROM : Electrically Erasable Programmable Read Only Memory** : Mémoire ROM Programmable et Effaçable Electriquement
 - **EPROM : Erasable Programmable Read Only Memory** : Mémoire ROM Programmable et Effaçable par rayons Ultra-Violets (UV)
 - **PROM : Programmable Read Only Memory** : Mémoire ROM Programmable
 - Technologie CMOS
 - EEPROM : effaçable électriquement
 - EPROM : effaçable par UV
 - ROM (OTP_ROM) : One Time Programmable ROM : Mémoire ROM Programmable une seule fois
 - Les deux technologies (EPROM et PROM) peuvent exister avec la même référence et seul le type de boîtier fait la différence : exemple le circuit M27C4001 du décodeur
 - Mémoire non volatile
- **FLASH EEPROM : Flash Electrically Erasable Programmable Read Only Memory** : Mémoire Flash Programmable et Effaçable Electriquement
 - Technologie CMOS
 - Programmable et effaçable par secteur et "in situ"
 - Mémoire non volatile
- **FIFO : First IN First OUT** : Premier Entré – Premier Sorti
 - Technologie CMOS
 - Les données sont stockées et dé-stockées selon la règle : premier entré – premier sortie
 - Mémoire volatile

Mémoires à accès série :

- **Serial EEPROM : Serial Electrically Erasable Programmable Read Only Memory** : Mémoire à accès Série Programmable et Effaçable Electriquement
 - Technologie CMOS
 - Programmable et effaçable par secteur et "in situ"
 - Mémoire non volatile
 - Compatible avec l'un des bus standard (I²C ; SPI etc.)

E-1-1-b : **SRAM** : mémoires permettant l'exécution du programme principal, le stockage temporaire des données recopiées depuis certaines mémoires "mortes" etc.

EPROM : stockage du programme principal qui sera exécuté par le micro-contrôleur MC68341 : programme gérant le circuit spécialisé MPEG, l'interface "homme-machine", les communications externes etc.

Flash EEPROM : stockage des logiciels et services "téléchargés"

Serial EEPROM : stockage des paramètres de configuration minimale du décodeur

DRAM : stockage des données MPEG "décompressées"

E-1-2-a : Taille mémoire SRAM :

Bus d'adresse $A_1 \rightarrow A_{17}$: 17 bits $\Rightarrow 2^{17} = 131\,072$ mots de 8 bits

2 circuits $\Rightarrow 2 \times 131\,072 \times 8$ bits \Rightarrow **2 097 152 bits # 2 Mbits**

E-1-2-b : Taille mémoire EPROM :

Bus d'adresse $A_1 \rightarrow A_{19}$: 19 bits $\Rightarrow 2^{19} = 524\,288$ mots de 8 bits

2 circuits $\Rightarrow 2 \times 524\,288 \times 8$ bits \Rightarrow **8 388 608 bits # 8 Mbits**

Note : le fil d'adresse A_{19} est connecté sur la broche 31 des circuits. Cette broche est repéré, sur le schéma structurel PGM[~] mais c'est bien le bit d'adresse le plus significatif comme en atteste le document constructeur du composant M27C4001 (boîtier DIP)

E-1-2-c : Adresses de base des huit secteurs de la mémoire FLASH :

La taille d'un secteur est donné par (128 Ko / 8) soit 16 Ko \Rightarrow 14 bits pour adresser un secteur

L'adresse d'un secteur possède une dynamique (en hexadécimal) allant de 0000_H à 3FFF_H

L'adresse de base étant (en hexadécimal) 400 000_H, le "mapping" de la mémoire est donc :

$\left\{ \begin{array}{l} \text{Secteur 0 : } 400\,000 \\ \text{Secteur 1 : } 404\,000 \\ \text{Secteur 2 : } 408\,000 \\ \text{Secteur 3 : } 40C\,000 \\ \text{Secteur 4 : } 410\,000 \\ \text{Secteur 5 : } 414\,000 \\ \text{Secteur 6 : } 418\,000 \\ \text{Secteur 7 : } 41C\,000 \end{array} \right.$

E-1-2-d : Etant donné que le circuit Flash EEPROM peut-être programmé et effacé (in-situ) par secteur et que, d'autre part, les services téléchargés et les sauvegardes (coupure d'alimentation) sont de différentes nature, il apparaît évident que, suivant le cas, on n'effaçera qu'une partie de la mémoire afin de la reprogrammer.

Il est à noter que l'on peut choisir les secteurs (toute combinaison de secteurs est possible) à reprogrammer.

E-2 Etude du Bus I²C

E-2-1-a : **I²C** : * bus de niveau carte électronique (**I**nter **I**ntegrated **C**ircuits) ; spécifié par PHILIPS
* vitesses maximales : 100 Kbits/s ; 400 Kbits/s ; 3,4 Mbits/s suivant les versions de la spécification

SPI : * bus de niveau carte électronique (**S**erial **P**eriphral **I**nterface) ; spécifié par MOTOROLA
* 3 fils + fils de sélection ; full duplex ; synchrone
* vitesses maximales : 110 Kbits/s à l'origine

USB : * spécifié à l'origine pour relier un PC avec ses périphériques par INTEL et MICROSOFT
* Plug & Play
* 2 fils + alimentations
* vitesses maximales : 12 Mbits/s (Version 1.1) ; 480 Mbits/s (Version 2.1)

IEEE1394 (FireWire) : * support de transmission de video numérique entre équipements informatique et TV (set-top boxes ; DVD ; DV-Cam ; PC etc.)
* Défini à l'origine par APPLE puis standardisé par l'organisme IEEE
* Plug & Play ; 4,5 m de longueur de câble
* vitesses maximales : 100 Mbits/s ; 200 Mbits/s ; 400 Mbits/s (prévu d'évoluer vers 3,2 Gbps)

CAN (Controller Area Network) : * Applications où le contrôle du système est critique (par exemple l'automobile : premier domaine visé par les applications du bus CAN).
* Spécifié par BOSCH
* Transmission en mode commun : 33 Kbits/s
* Transmission en mode différentiel : 1 Mbits/s

VAN (Vehicule Area Network) : * Equivalent au CAN mais plus complexe et performant ... plus cher.
* Spécifié par le consortium PSA-RENAULT

on peut citer d'autres exemples de bus série : **ASI** , **Bluetooth** ; **Wi-fi** ; **Profibus** ; **Field Bus** ; **Ethernet** ; **Token-Ring** etc.

E-2-1-b : Bénéfices du bus I²C pour le concepteur de cartes :

2 fils ⇒ simplification du "Design"
 ⇒ simplification du "PCB"

Bénéfices du bus I²C pour les fabricants de circuits intégrés :

2 fils ⇒ réduction du nombre de broches
Protocole I²C ⇒ élimination de toute la glue logique d'interface (décodage d'adresses etc.)

E-2-1-c : Définition des terminologies du bus I²C :

Transmetteur : composant qui envoie les données sur le bus.

Receveur : composant qui reçoit les données sur le bus.

Maître : composant qui initialise le transfert, génère le signal d'horloge et termine le transfert.

Esclave : composant adressé par le maître.

E-2-1-d : **Multi-Maître** : deux composants maîtres peuvent tenter de contrôler le bus sans corrompre le message.

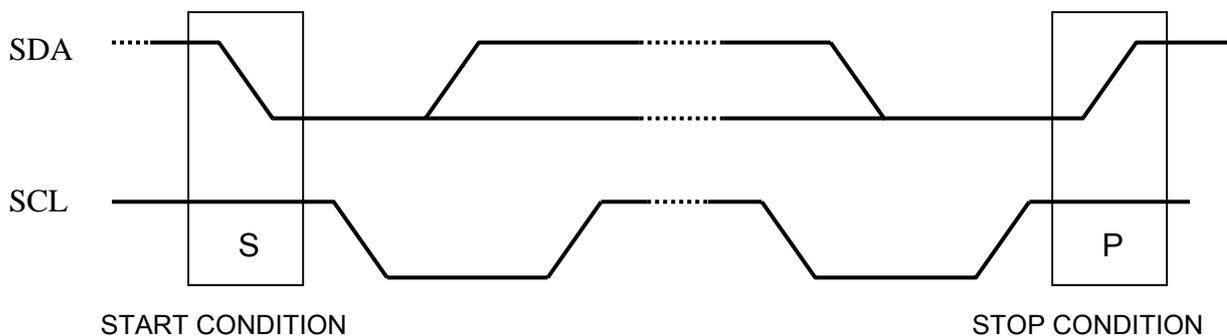
Arbitrage : cette procédure survient quand deux (ou plus) composants veulent s'approprier le bus en tant que maître. Pour cela ils génèrent ensemble une condition de START et une horloge. L'arbitrage se situe sur la ligne SDA . **Le premier des composants qui génère un niveau bas** alors que les autres laissent le signal SDA à l'état haut (état récessif) **gagne l'arbitrage car il lit la même chose que ce qu'il impose** alors que les autres perdent l'arbitrage car ils lisent sur le bus SDA une donnée différente de celle qu'ils voulaient imposer.

Synchronisation : cette procédure **permet de synchroniser le signal d'horloge** entre deux (ou plus) composants. En particulier un composant plus lent peut ralentir l'horloge du maître en "allongeant" le niveau bas sur SCL

E-2-1-e : **Algorithme de la procédure de communication sur le bus I²C :**

- 1) Attendre qu'il n'y ait plus d'activité sur le bus I²C (SCL et SDA à niveau HAUT)
- 2) Placer une condition de START sur le bus I²C (front descendant sur SDA alors que SCL est HAUT)
- 3) Générer une horloge sur SCL (qui sert à tous les auditeurs pour se synchroniser)
- 4) Mettre en série l'adresse unique du composant avec qui on veut communiquer
- 5) Mettre le bit R/~W au niveau adéquat pour indiquer le sens de transmission
- 6) Lire l'ACKNOWLEDGE qui indique que le composant esclave est disponible
- 7) Transmettre (Write) ou Réceptionner (READ) la donnée
- 8) Le receveur teste l'ACKNOWLEDGE à la fin de chaque octet transmis (autant d'octets que le transmetteur désire)
- 9) Le maître génère une condition de STOP

E-2-1-f : **Spécifications matérielles des conditions de START et STOP sur le bus I²C :**



E-2-1-g : **Adressage sur le bus I²C :**

- Excepté le cas du message général ("General Calls"), l'octet qui suit la condition de START détermine quel esclave sera en communication avec le maître car son adresse est unique.
 - Cet octet est donc constitué des sept bits de l'adresse (unique) de l'esclave et d'un bit qui indique le sens (READ ou WRITE) de l'échange.
 - L'adresse de sept bits est constituée d'une partie fixe (par exemple les quatre premiers bits) et d'une partie (les trois bits suivants) programmable de manière matérielle au niveau de l'esclave.
- ⇒ cela permet de placer plusieurs composants identiques sur le même bus (dans le cas cité en exemple on peut faire cohabiter sur le même bus I²C $2^3 = 8$ composants identiques et donc possédant le même code fixe sur 4 bits).

E-2-2-a : Schéma "Périphériques-Microprocesseur" :

Ligne I²C_SDA : Repère 3936 → R_P = 10 KΩ

Ligne I²C_SCL : Repère 3938 → R_P = 10 KΩ

Schéma "Mémoires" :

Ligne I²C_SDA : Repère 3901 → R_S = 100 Ω

Ligne I²C_SCL : Repère 3902 → R_S = 100 Ω

E-2-2-b : * La tension d'alimentation V_{DDmin} associée au niveau V_{OLmax} et au courant (à V_{OLmax}) dans le transistor à collecteur ouvert (ou drain ouvert) imposent R_{Pmin} par la relation :

$$R_{Pmin} = \frac{V_{DDmin} - V_{OLmax}}{[I_{SINK}]_{V_{OLmax}}}$$

* Le temps de montée t_r maximum, à vitesse de transmission donnée, et la charge capacitive des lignes SDA et SCL imposent R_{Pmax} par la relation :

$$R_{Pmax} = \frac{t_{rmax}}{0,847.C}$$

E-2-2-c : R_{Pmin} = 1,3 KΩ ; R_{Pmax} = 11,8 KΩ (remarque : 1,3 KΩ < 10 KΩ < 11,8 KΩ)

E-2-2-d : Adresse du circuit TDA8425 :

Circuit du groupe 8 ⇒ A₆ A₅ A₄ A₃ = 1 0 0 0

Trois bits de poids faible fixés ⇒ A₂ A₁ A₀ = 0 0 1

Bit de R/~W à 0

L'adresse est donc en binaire : (1 0 0 0 0 0 1 0)_b soit en hexadécimal : 82_H

E-2-2-e : Chronogrammes des signaux SCL et SDA lors de l'écriture par le contrôleur PCD8584 des deux octets successifs 00H et F7H dans le circuit TDA8425 : **confer page suivante.**

E-2-2-f : Adresses des huit secteurs de la mémoire série EEPROM (circuit X24C16) :

Circuit du groupe A ⇒ A₆ A₅ A₄ A₃ = 1 0 1 0

Les trois bits de poids faible déterminent le secteur visé

Bit de R/~W à 0

L'adresse du **secteur 0** est donc en binaire : (1 0 1 0 0 0 0 0)_b soit en hexadécimal : A0_H

L'adresse du **secteur 1** est donc en binaire : (1 0 1 0 0 0 1 0)_b soit en hexadécimal : A2_H

L'adresse du **secteur 2** est donc en binaire : (1 0 1 0 0 1 0 0)_b soit en hexadécimal : A4_H

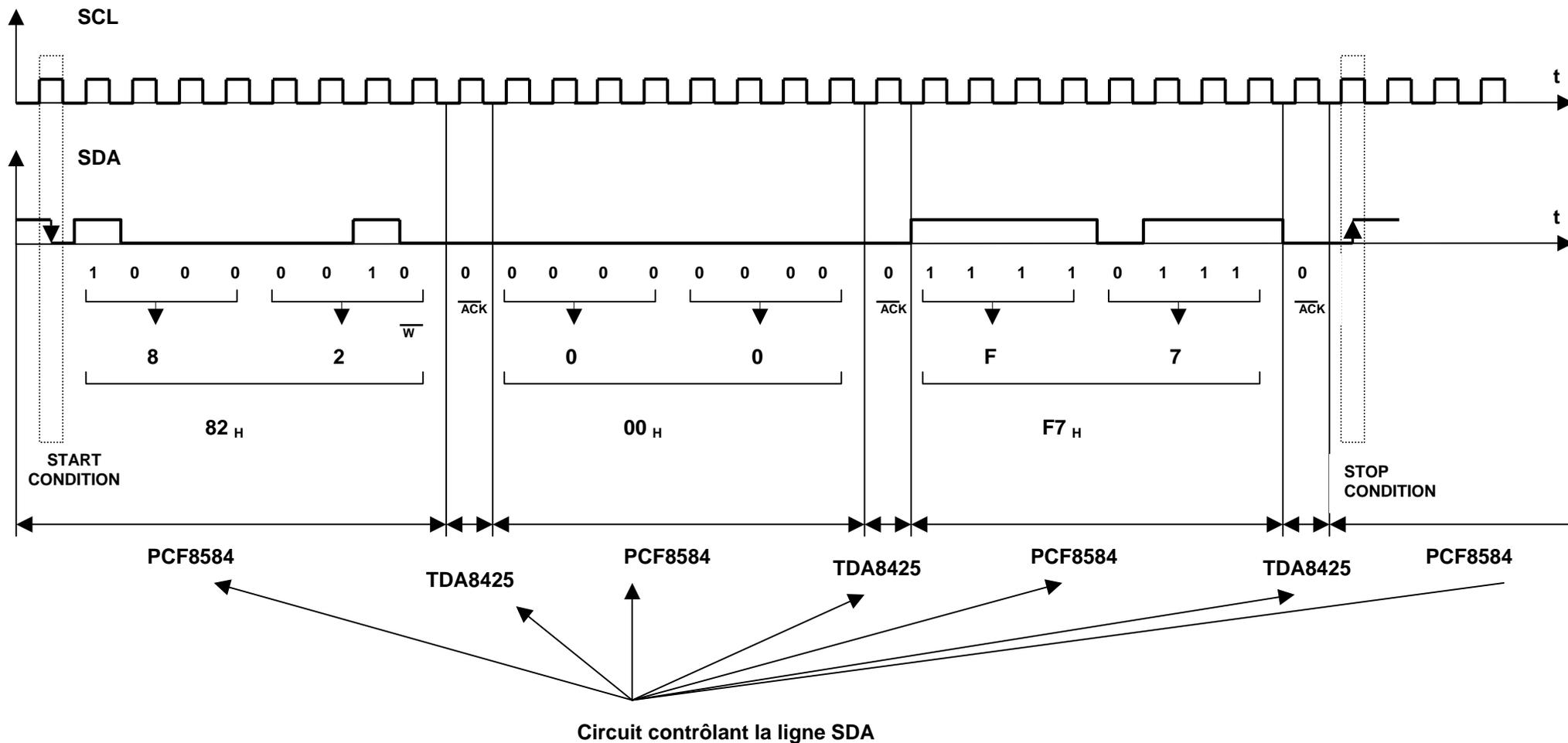
L'adresse du **secteur 3** est donc en binaire : (1 0 1 0 0 1 1 0)_b soit en hexadécimal : A6_H

L'adresse du **secteur 4** est donc en binaire : (1 0 1 0 1 0 0 0)_b soit en hexadécimal : A8_H

L'adresse du **secteur 5** est donc en binaire : (1 0 1 0 1 0 1 0)_b soit en hexadécimal : AA_H

L'adresse du **secteur 6** est donc en binaire : (1 0 1 0 1 1 0 0)_b soit en hexadécimal : AC_H

L'adresse du **secteur 7** est donc en binaire : (1 0 1 0 1 1 1 0)_b soit en hexadécimal : AE_H



Note : La ligne SCL est en permanence contrôlée par le maître de la communication soit, dans le cas étudié, le circuit PCF8584