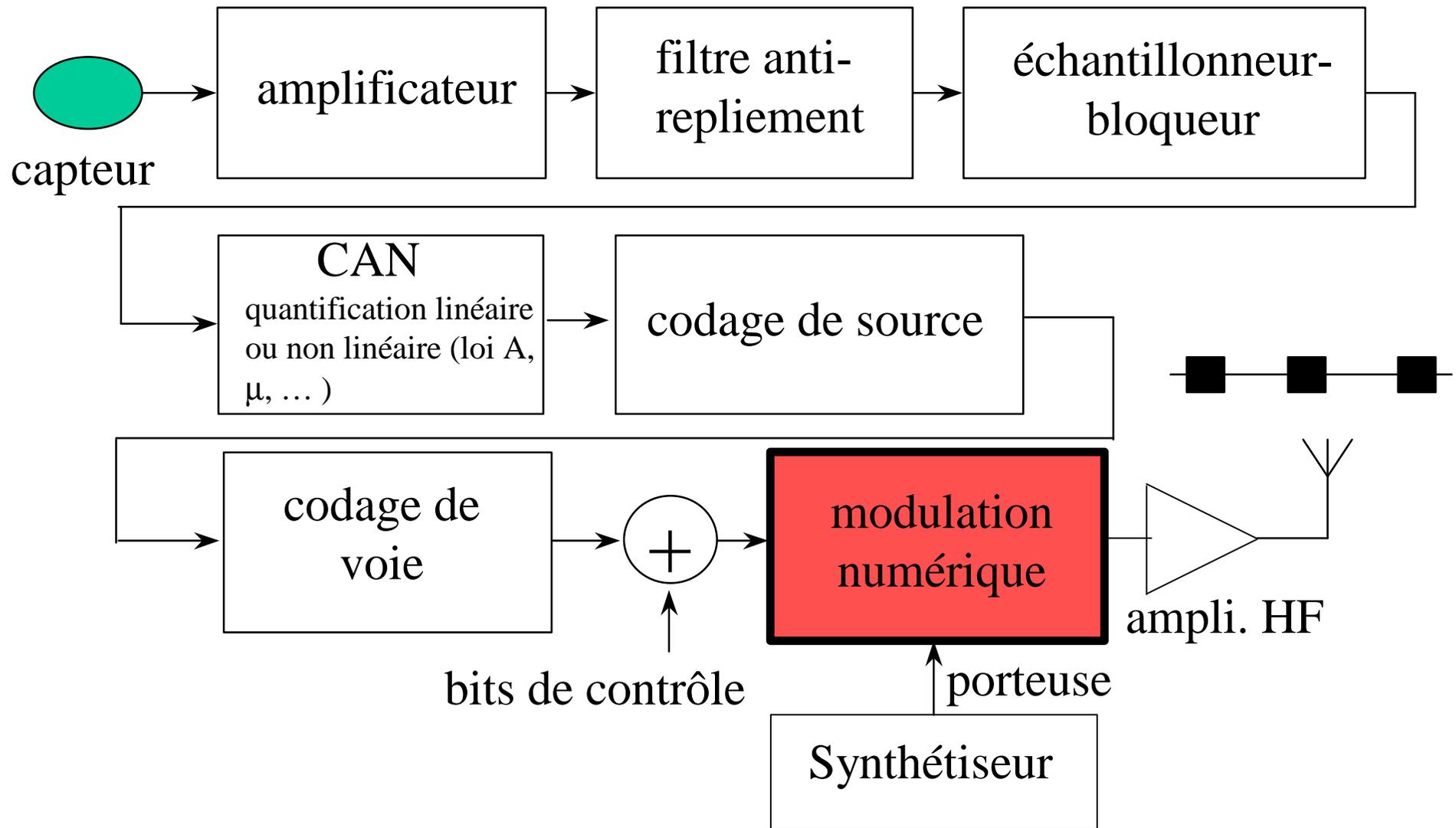


**MAQUETTE
MODULATEUR-
DEMODULATEUR
BPSK et QPSK**

G. Couturier

Dept GEII - IUT Bordeaux I

SYNOPTIQUE D'UN EMETTEUR D'UN SYSTEME DE COMMUNICATION



Quelques exemples d'utilisation des modulations numériques

Modem

recommandation V.22 : 1200 à 600bits/s : modulation de phase différentielle à 4 états

recommandation V.22 bis : 2.4 kbits/s à 1.2 kbits/s : modulation QAM à 16 états

recommandation V.23 : 1200 à 600 bits/s modulation de fréquence

recommandation V.32 : 4.8 et 9.6 kbits/s modulation QAM à 16 états

Téléphonie cellulaire et sans fil

- GSM modulation de fréquence à phase continue : 0.3 GMSK
- IS54 modulation de phase : $\pi/4$ -DQPSK
- DECT modulation de fréquence : 0.5 GFSK

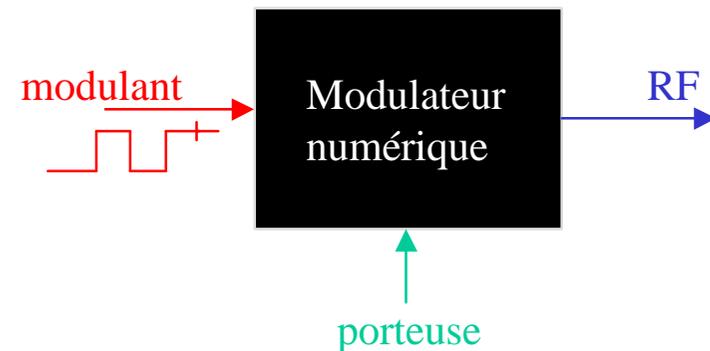
Télévision numérique

- DVB-C : câble, 16 à 64 QAM
- DVB-S : satellite, $\pi/4$ -DQPSK

Radio et télévision

- RDS (Radio Data System) : modulation numérique d'amplitude
- DAB (Digital Audio Broadcasting) : modulation à huit états de phase (codage MUSICAM)
- NICAM (Near Instantaneous Compression of the Audio Modulation) : son stéréophonique en SECAM, modulation de phase à quatre états avec codage différentiel

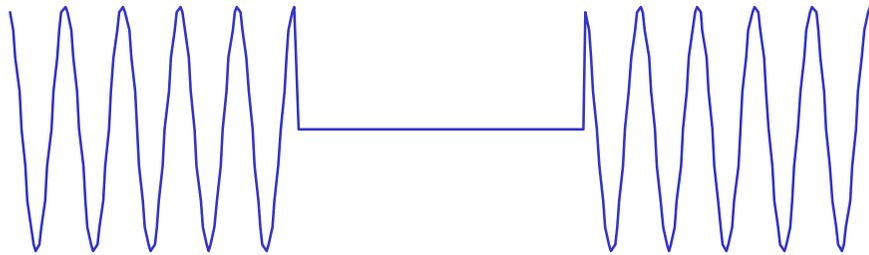
Bluetooth system : système sans fil pour communications courtes distances (0.5 GFSK)



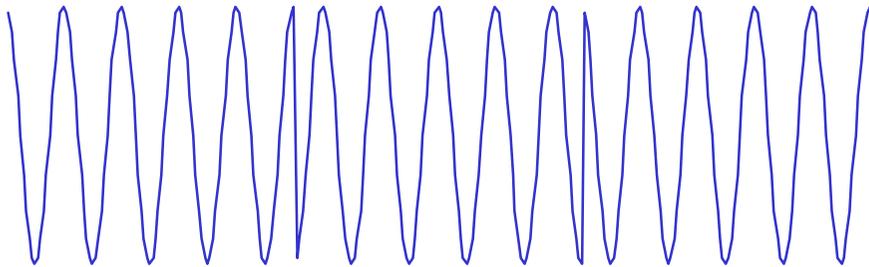
LES PRINCIPALES MODULATIONS NUMERIQUES DE BASE



'1'
'0' signal modulant

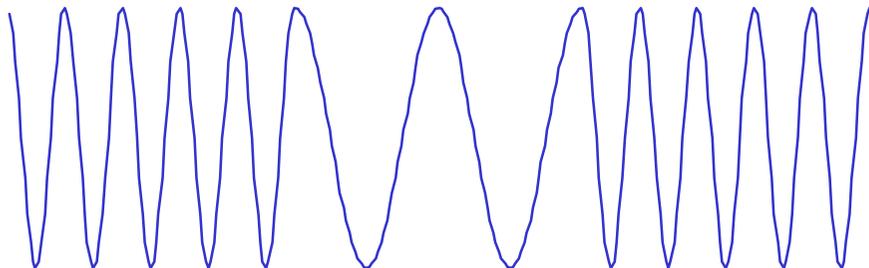


ASK (Amplitude Shift Keying)



PSK (Phase Shift Keying)

BPSK (Binary Phase Shift Keying)



FSK (Frequency Shift Keying)

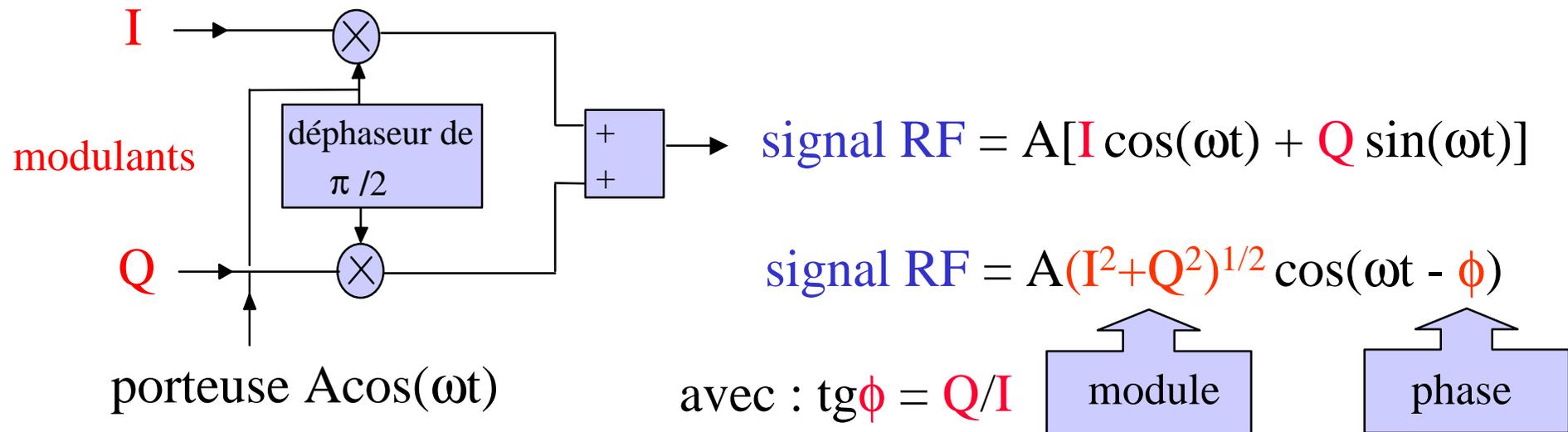
CPFSK (Continuous Phase Frequency Shift Keying)

Préambule : modulateur I/Q

Le modulateur **I**(In Phase)/**Q**(Quadrature) est utilisé dans toutes les modulations du type QAM, QPSK, $\pi/4$ -DQPSK, GMSK, ...

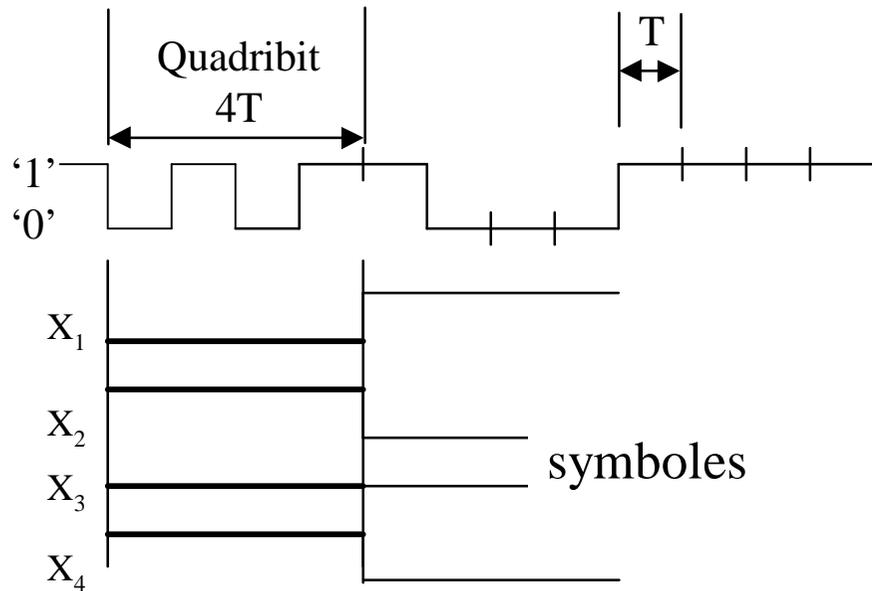
Constitution :

- deux multiplieurs
- une porteuse et un déphaseur de $\pi/2$
- un sommateur

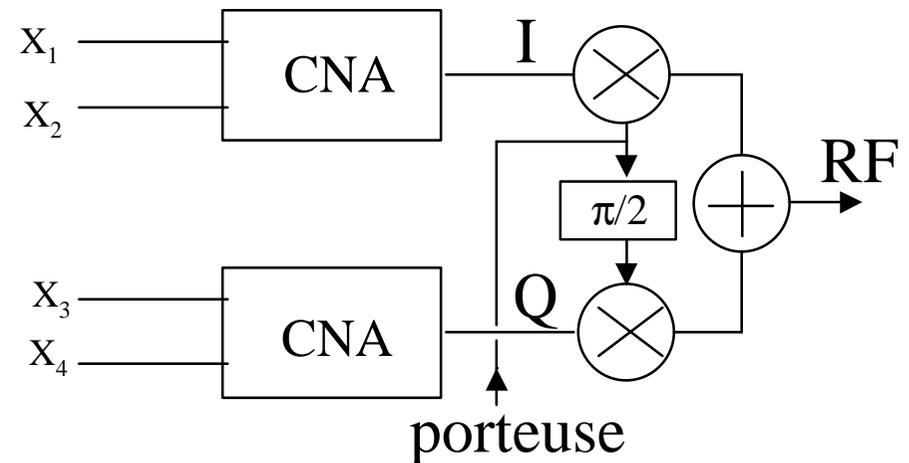
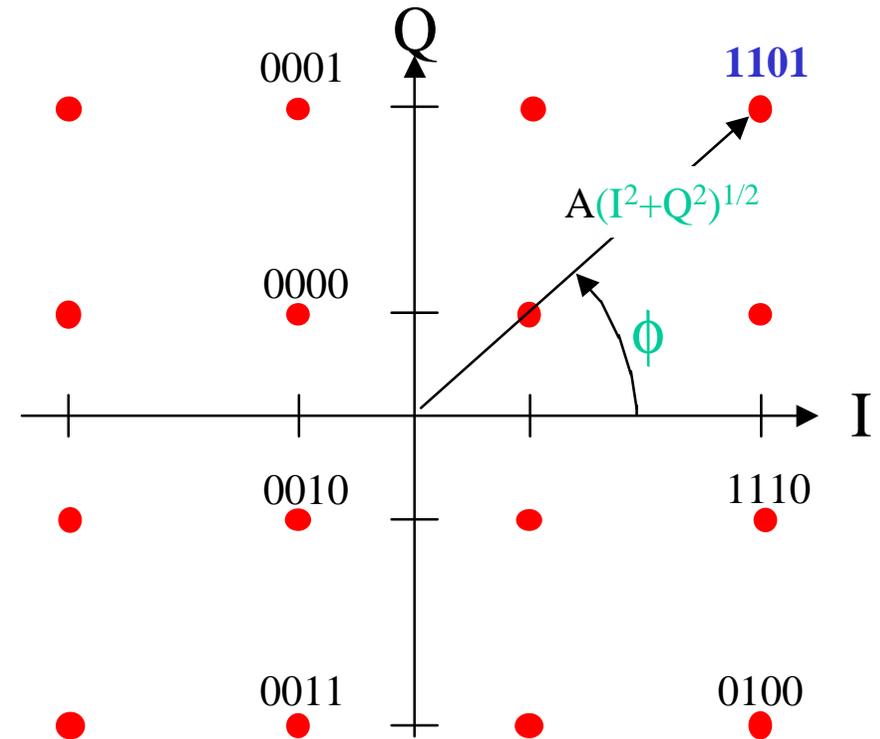


Intérêt : Il permet de transmettre deux informations (**I** et **Q**) avec une seule porteuse et une bande passante B . B est la bande passante nécessaire pour transmettre **I** ou **Q**.

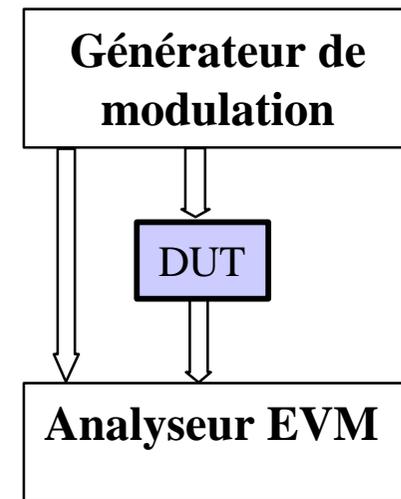
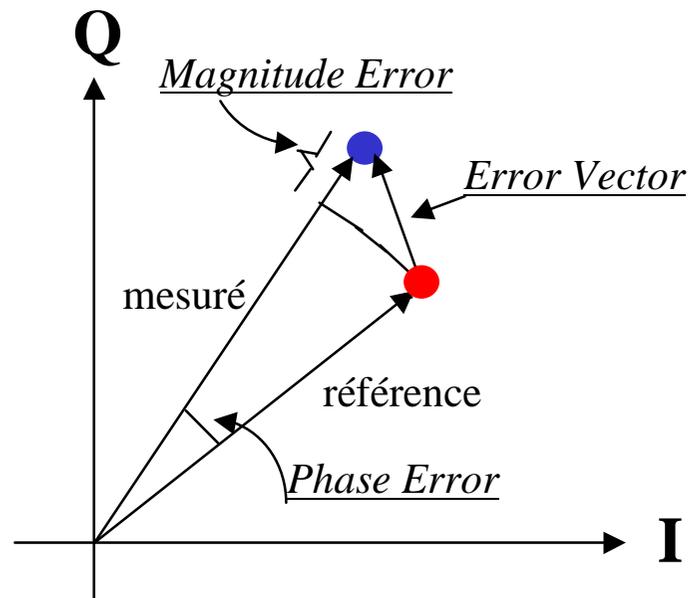
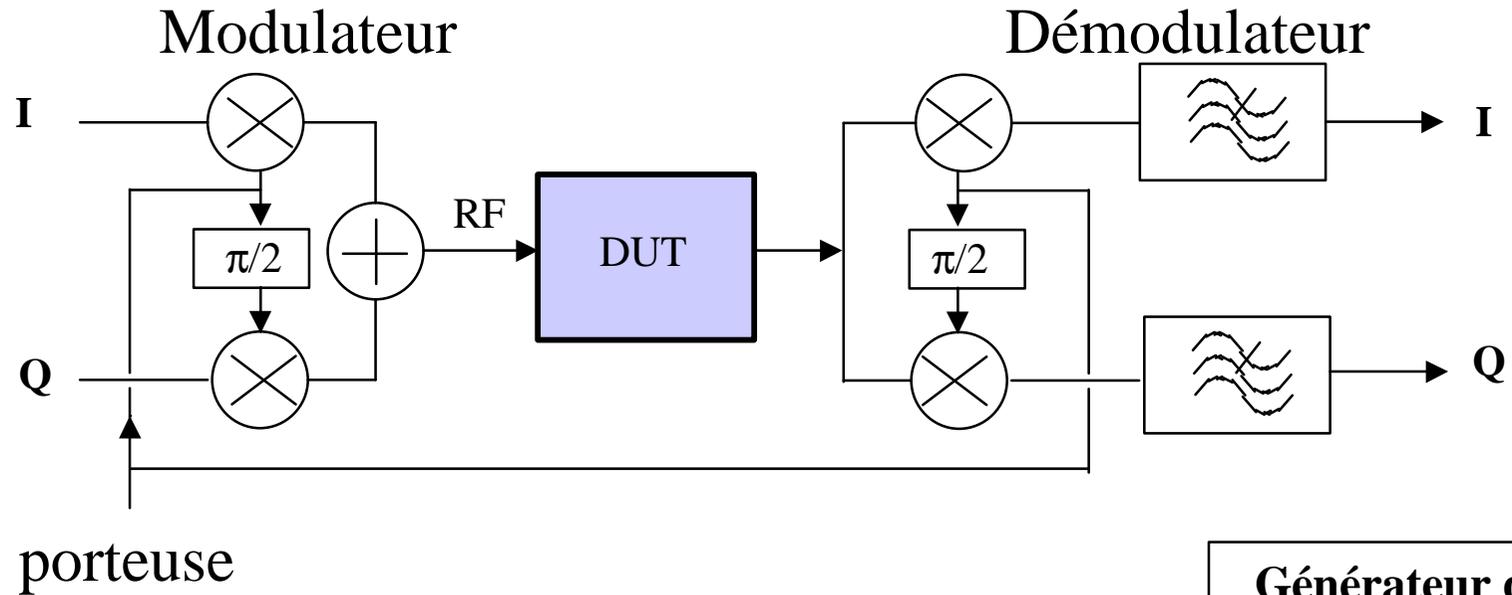
Exemple de constellations d'états 16 QAM



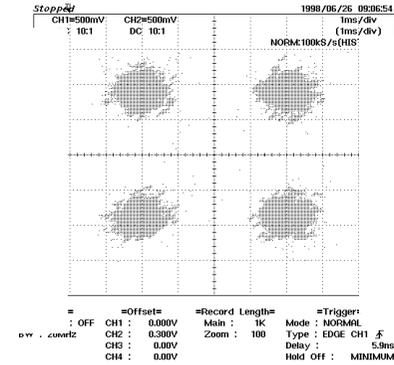
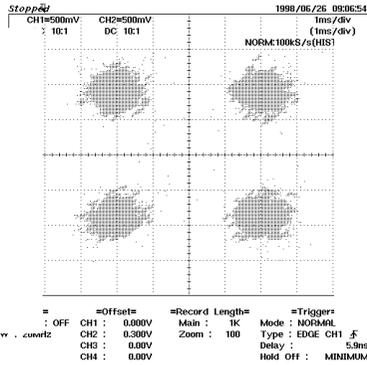
| X_1 | X_2 | X_3 | X_4 | I | Q |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | -1 | 3 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | -1 | -1 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | -1 | -3 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | -3 | 1 |
| . | . | . | . | . | . |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 3 | 3 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 3 | -1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | -3 |



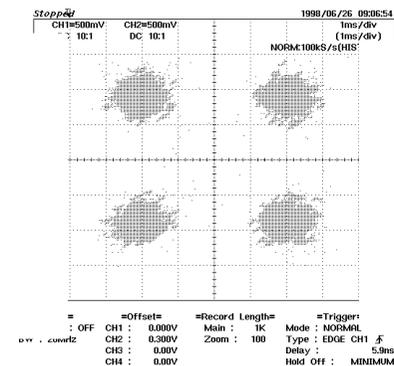
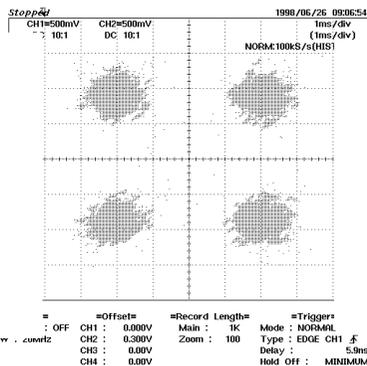
Error Vector Magnitude



- Agilent
- Anritsu
- Rohde et Schwarz



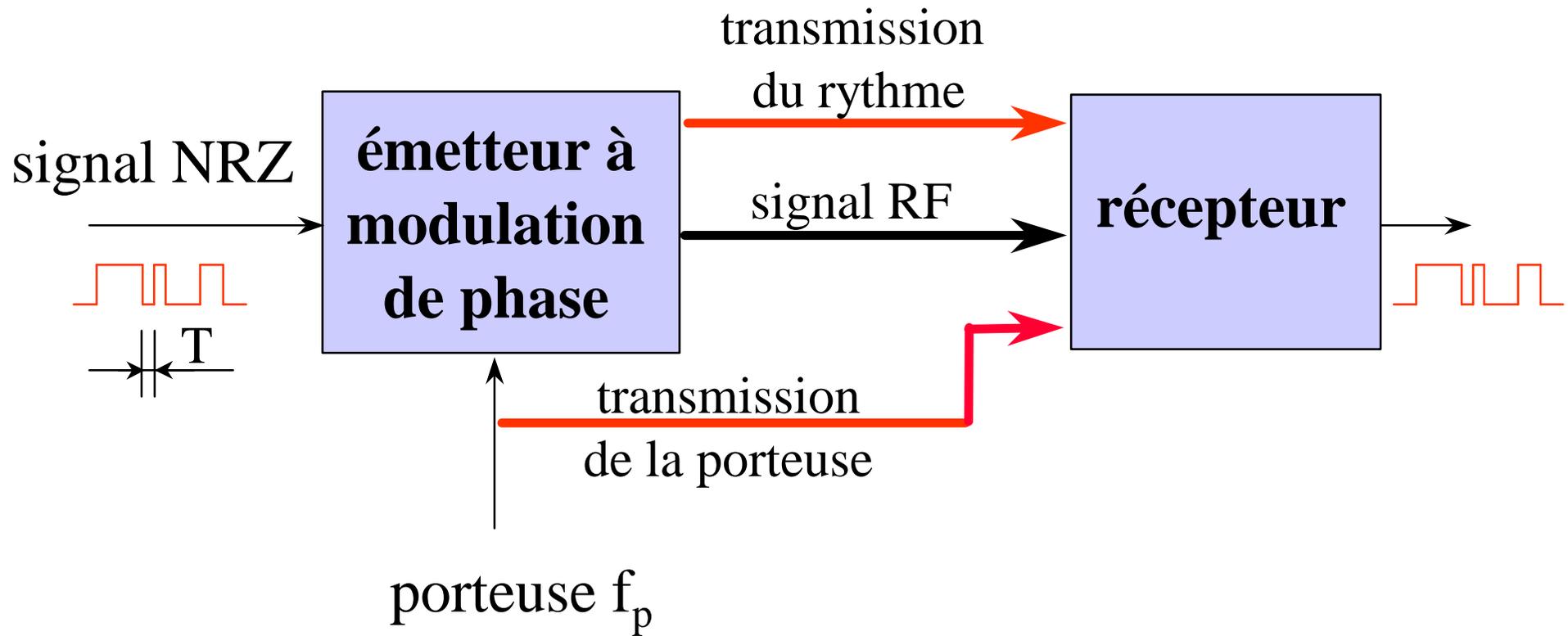
MAQUETTE d'un MODULATEUR- DEMODULATEUR de PHASE à DEUX et QUATRE ETATS

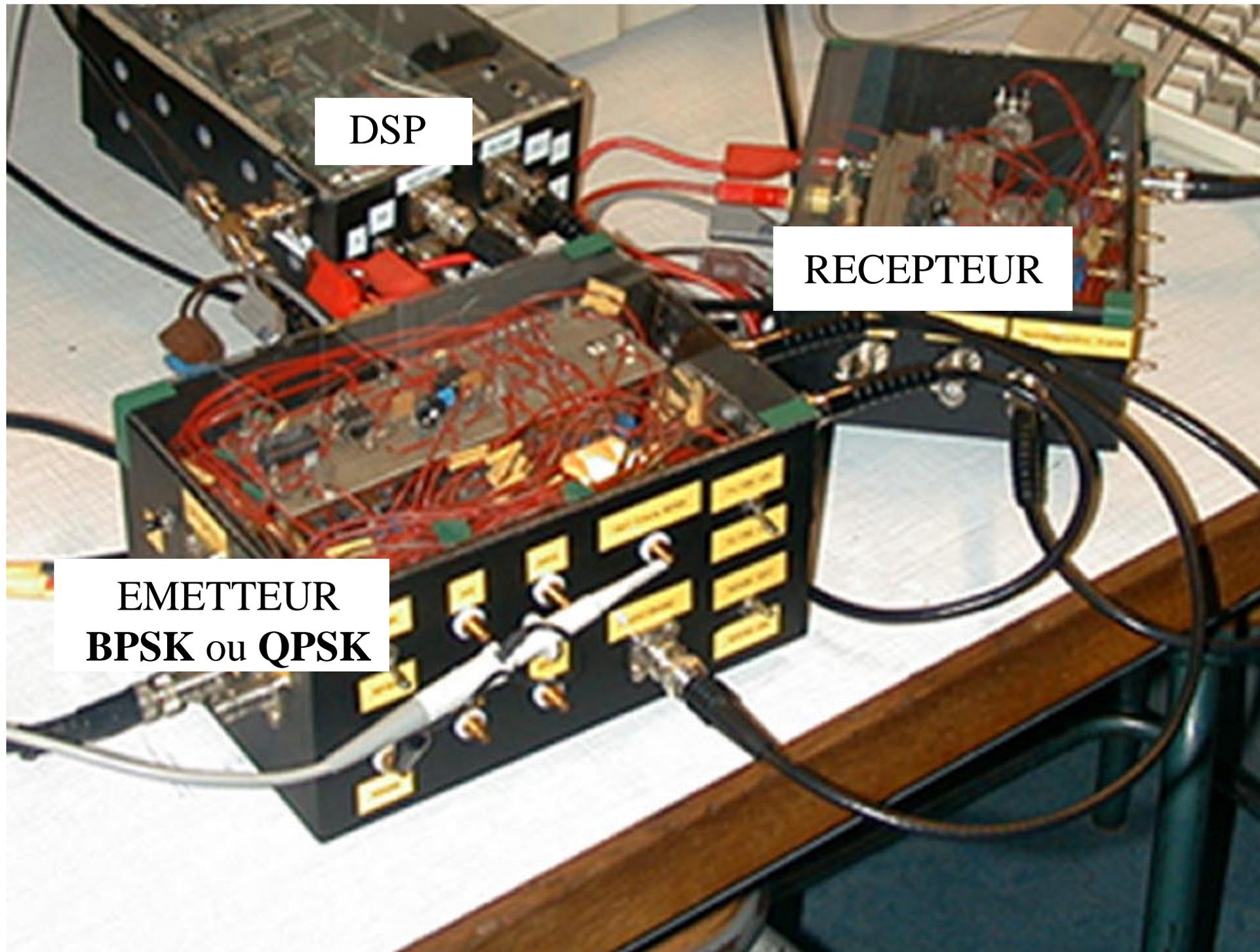


Objectifs

- Comprendre la modulation BPSK
- Observer les interférences entre les symboles
- Observer un diagramme de l'œil
- Elimination des interférences entre symboles par filtres de Nyquist
- Comprendre la modulation QPSK
 - génération des symboles
 - modulateur I/Q
 - importance de la position de l'impulsion d'échantillonnage en réception
- Inconvénient de la QPSK : nécessité des modulations $\pi/4$ -DQPSK et GMSK
- Se familiariser avec le vocabulaire afférant au domaine des transmissions numériques

Les récupérations de la **porteuse** et du **rythme** ne sont pas abordées dans la maquette

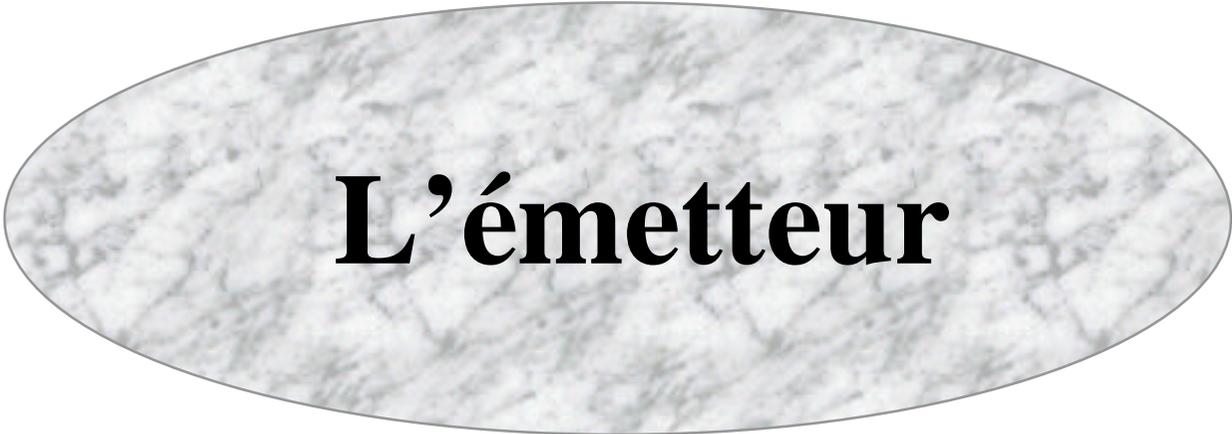




DSP

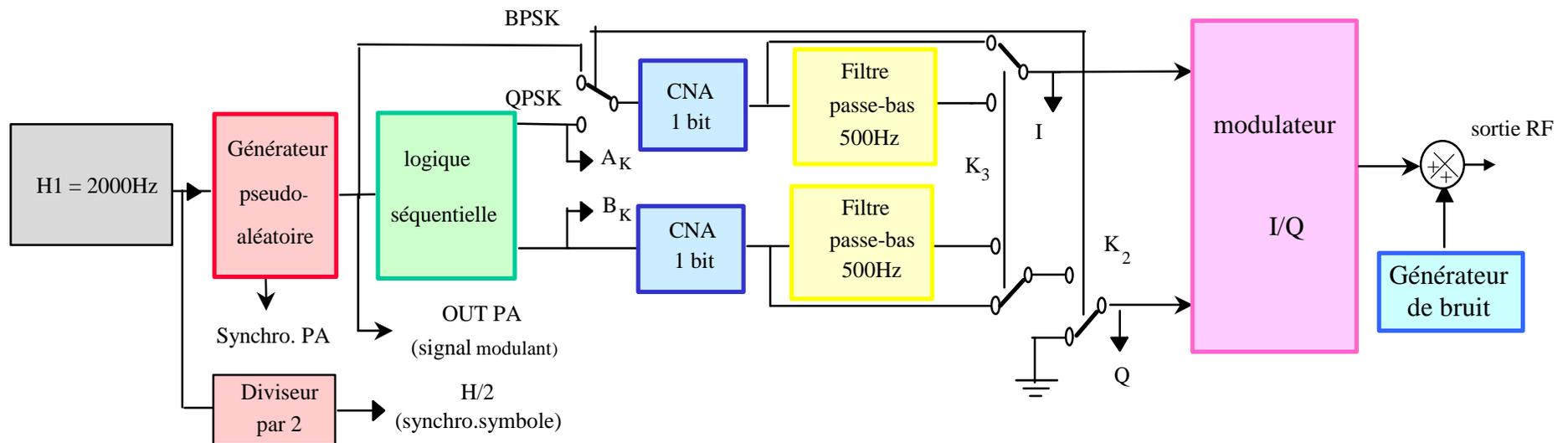
RECEPTEUR

EMETTEUR
BPSK ou QPSK

A horizontal oval with a marbled, grey and white pattern, serving as a background for the text.

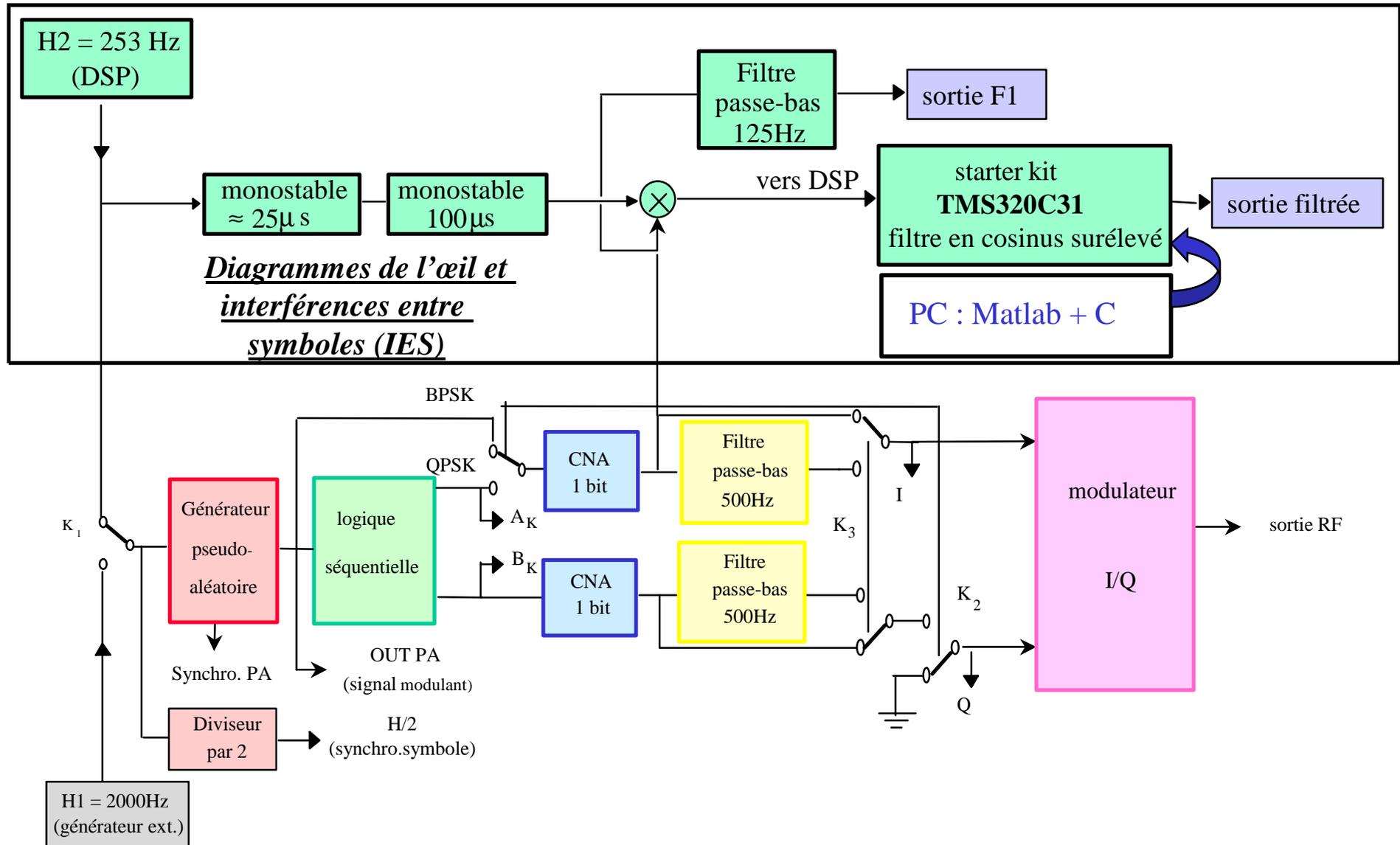
L'émetteur

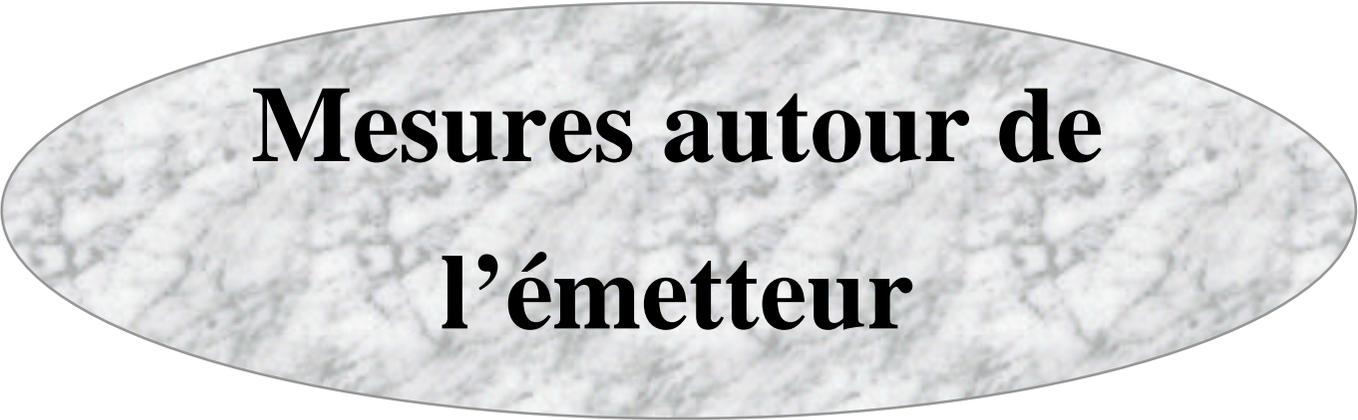
Synoptique du modulateur de phase à deux BPSK et quatre états QPSK



- 1) un générateur pseudo-aléatoire simulant une séquence NRZ
- 2) un générateur de symboles
- 3) deux convertisseurs numérique-analogique suivis de filtres
- 4) deux filtres en bande de base
- 5) un modulateur I/Q
- 6) un générateur de bruit

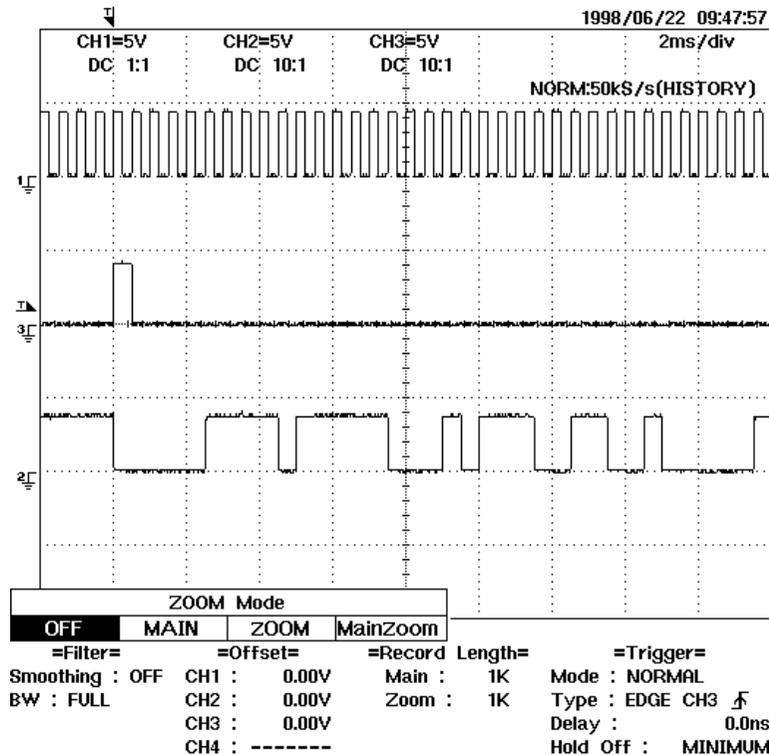
Elimination des interférences symboles par filtre de Nyquist (cosinus surélevé)



A horizontal oval with a marbled, grey and white pattern, serving as a background for the text.

**Mesures autour de
l'émetteur**

Principaux signaux autour du générateur pseudo-aléatoire

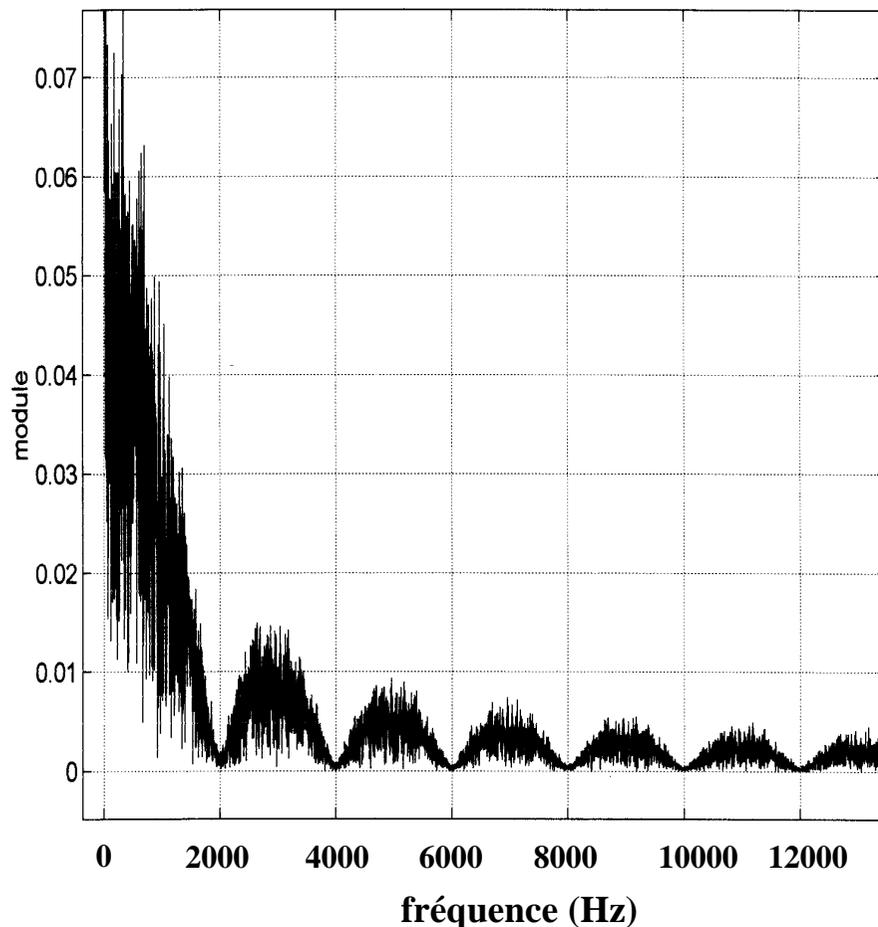


Horloge H1 (2 kHz)

Synchro PA

OUT PA

Densité spectrale de puissance du signal
délivré par le générateur pseudo-aléatoire
(horloge = H1= 2 kHz)

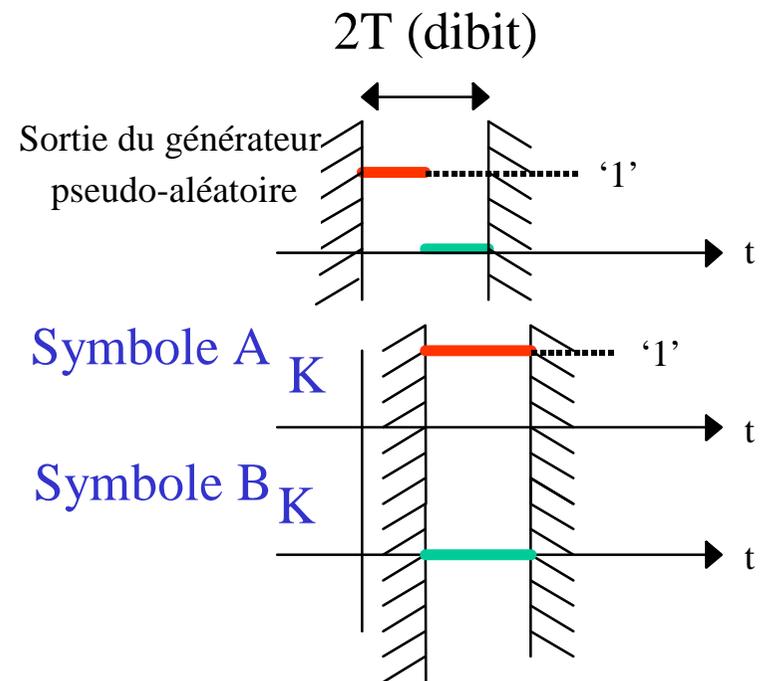


Le calcul théorique de la densité spectrale de puissance prévoit un spectre continu avec des zéros aux multiples de 2 kHz.

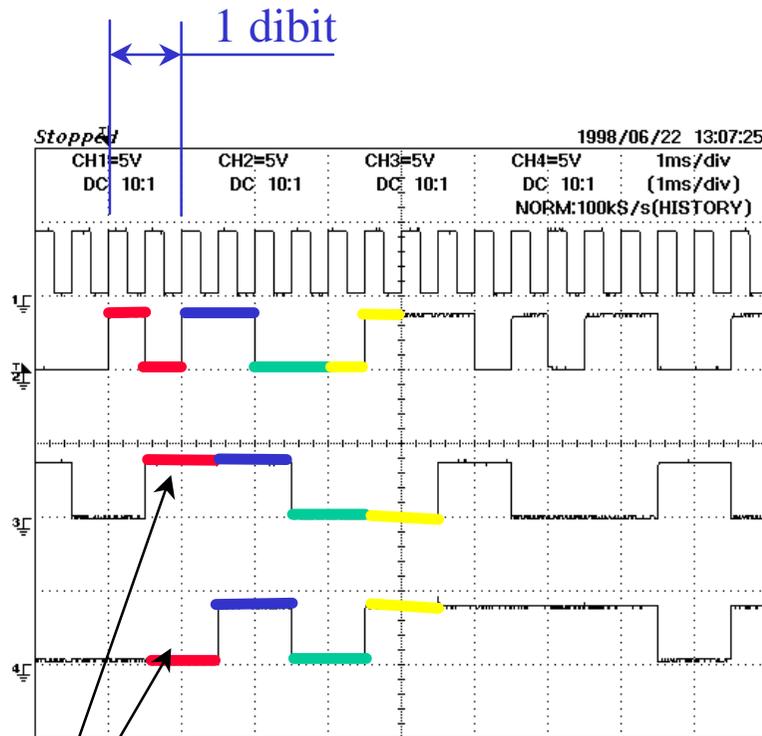
NB : en toute rigueur le spectre est constitué de raies car le signal est pseudo-aléatoire.

Principe du générateur de symboles

Le générateur de symboles fournit deux symboles logiques A_K et B_K de durée $2T$. Les symboles A_K et B_K prennent respectivement les valeurs du premier et deuxième bit du dibit de durée $2T$. Un dibit est une suite de deux bits.



Génération des symboles A_K et B_K



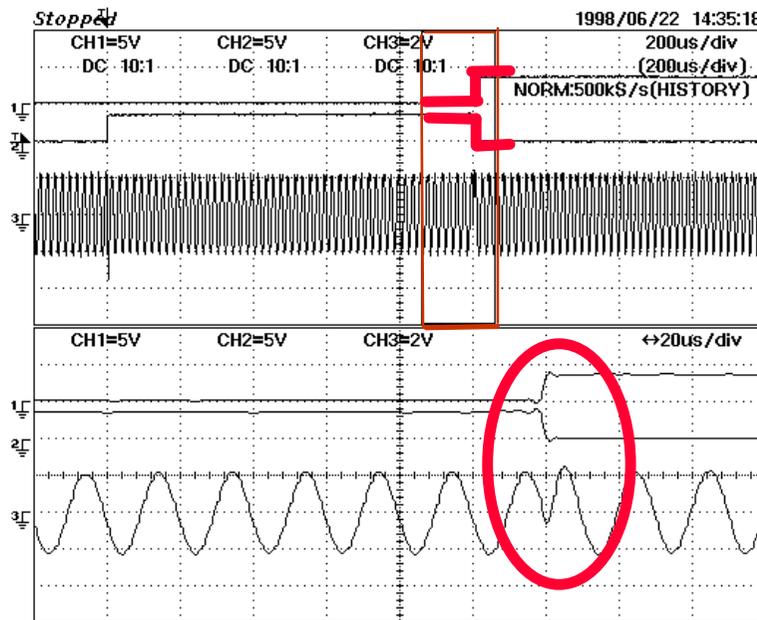
Horloge H1 (2kHz)

OUT PA

A_K

B_K

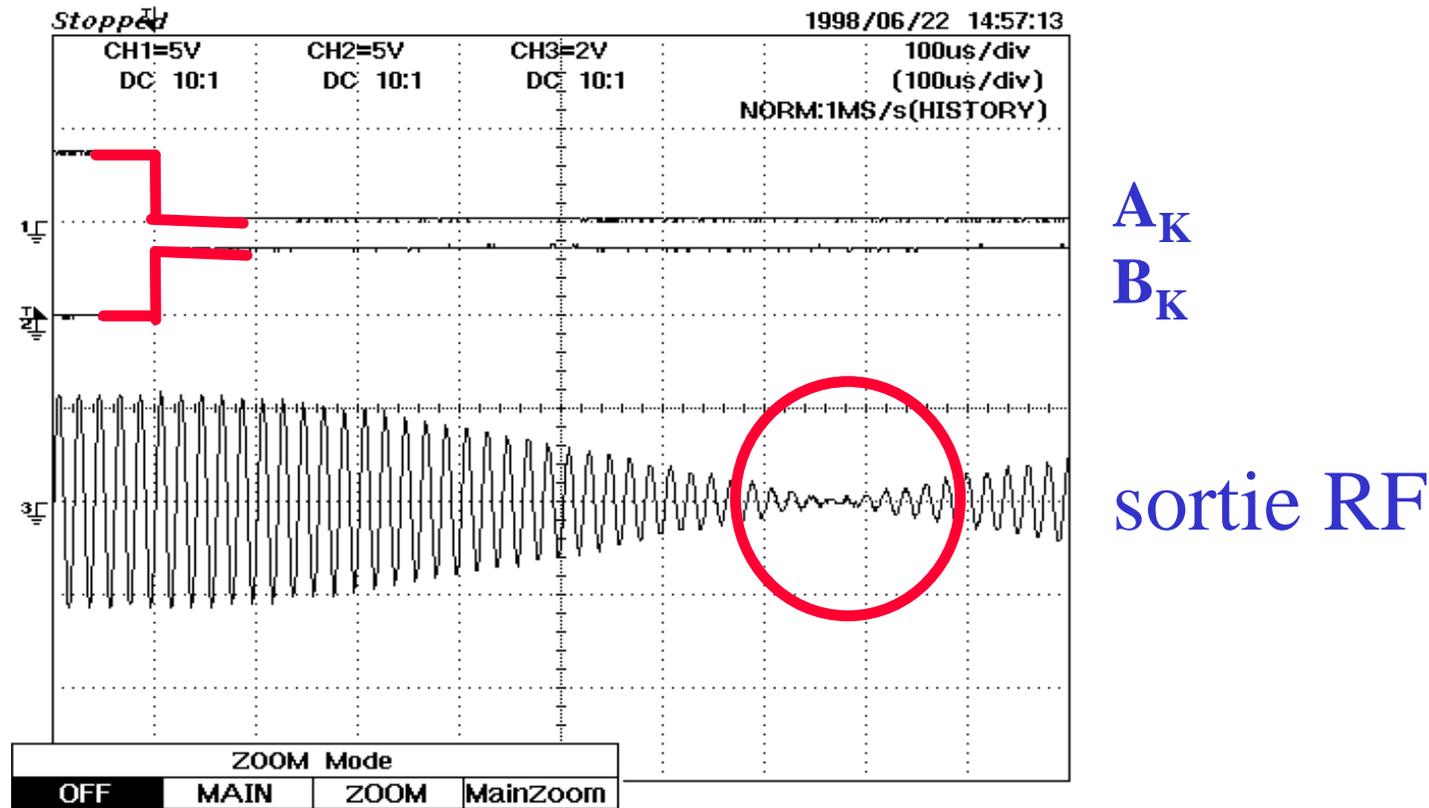
Exemple d'un changement de phase de π en
l'absence de filtrage en bande de base
($A_K = '0' \rightarrow A_K = '1'$ et $B_K = '1' \rightarrow B_K = '0'$)



A_K
 B_K
sortie RF

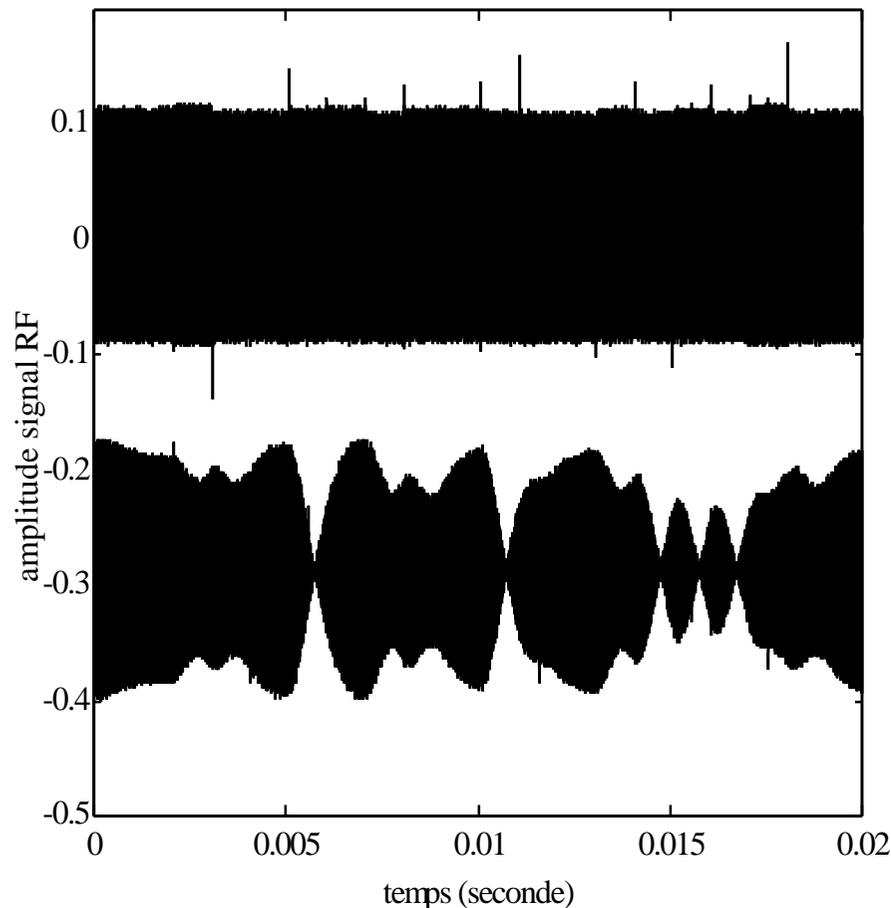
zoom

Exemple d'un changement de phase de π en présence du filtrage en bande de base
($A_K = '1' \rightarrow A_K = '0'$ et $B_K = '0' \rightarrow B_K = '1'$)



NB : le filtrage en bande de base fait passer le signal RF par zéro

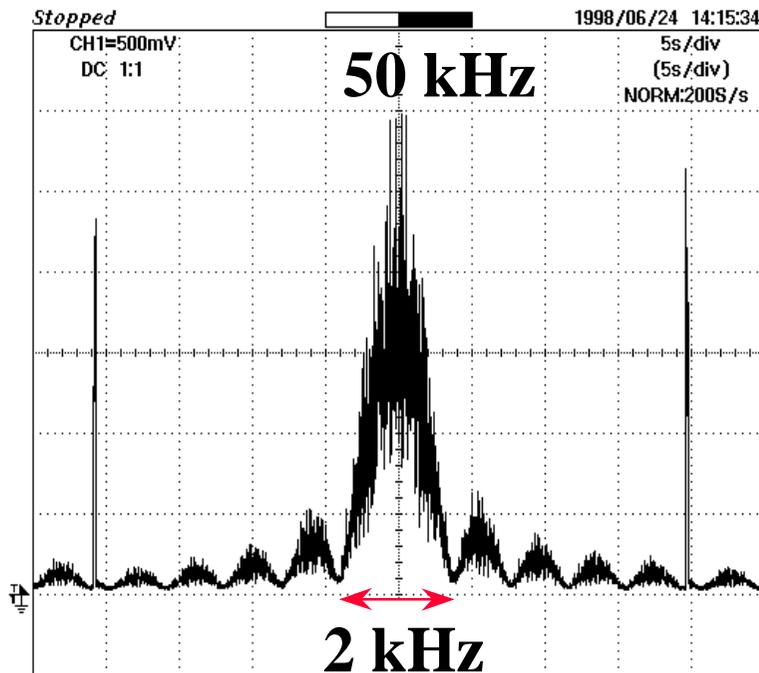
Signal RF en sortie de l'émetteur (modulation QPSK).
(En présence du filtrage en bande de base, les passages par zéro du signal RF rendent la récupération de la porteuse difficile en réception, d'où la modulation $\pi/4$ DQPSK.)



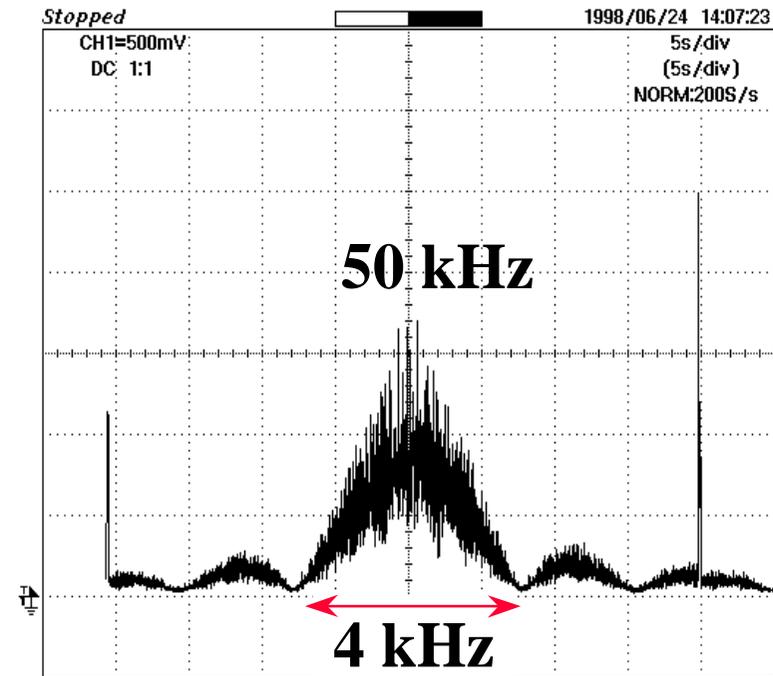
**Amplitude du signal RF
en l'absence de filtrage**

**Amplitude du signal RF
en présence du filtrage
en bande de base**

Spectres des signaux RF en modulation QPSK et BPSK

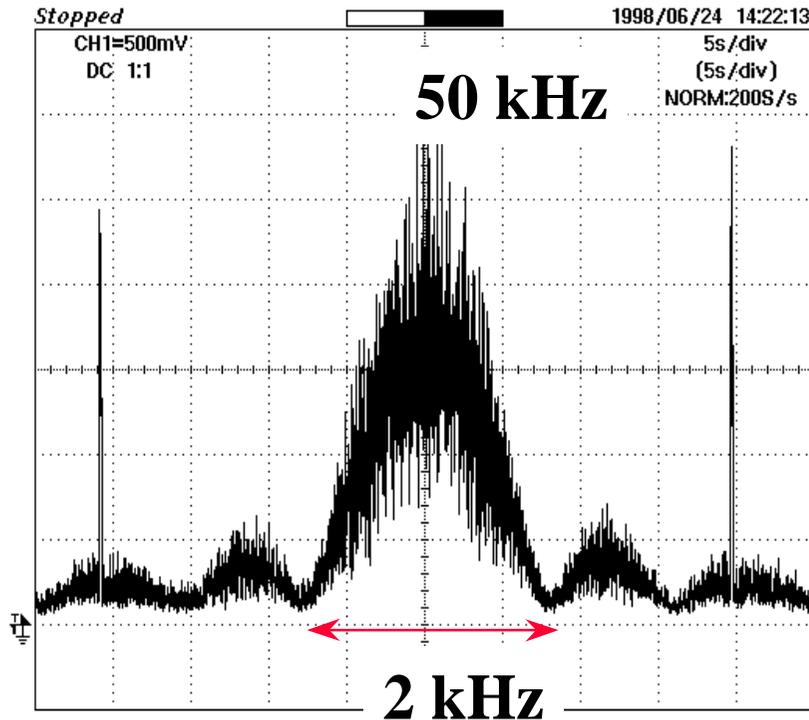


QPSK

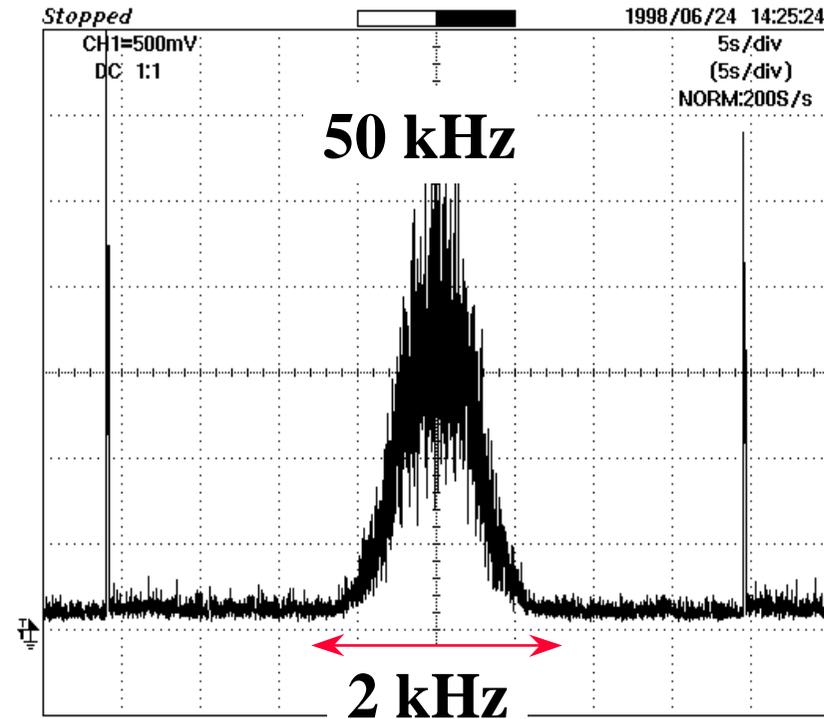


BPSK

Comparaison des spectres RF en QPSK avant et après filtrage en bande de base



spectre RF avant filtrage
en bande de base



spectre RF après
filtrage en bande de
base

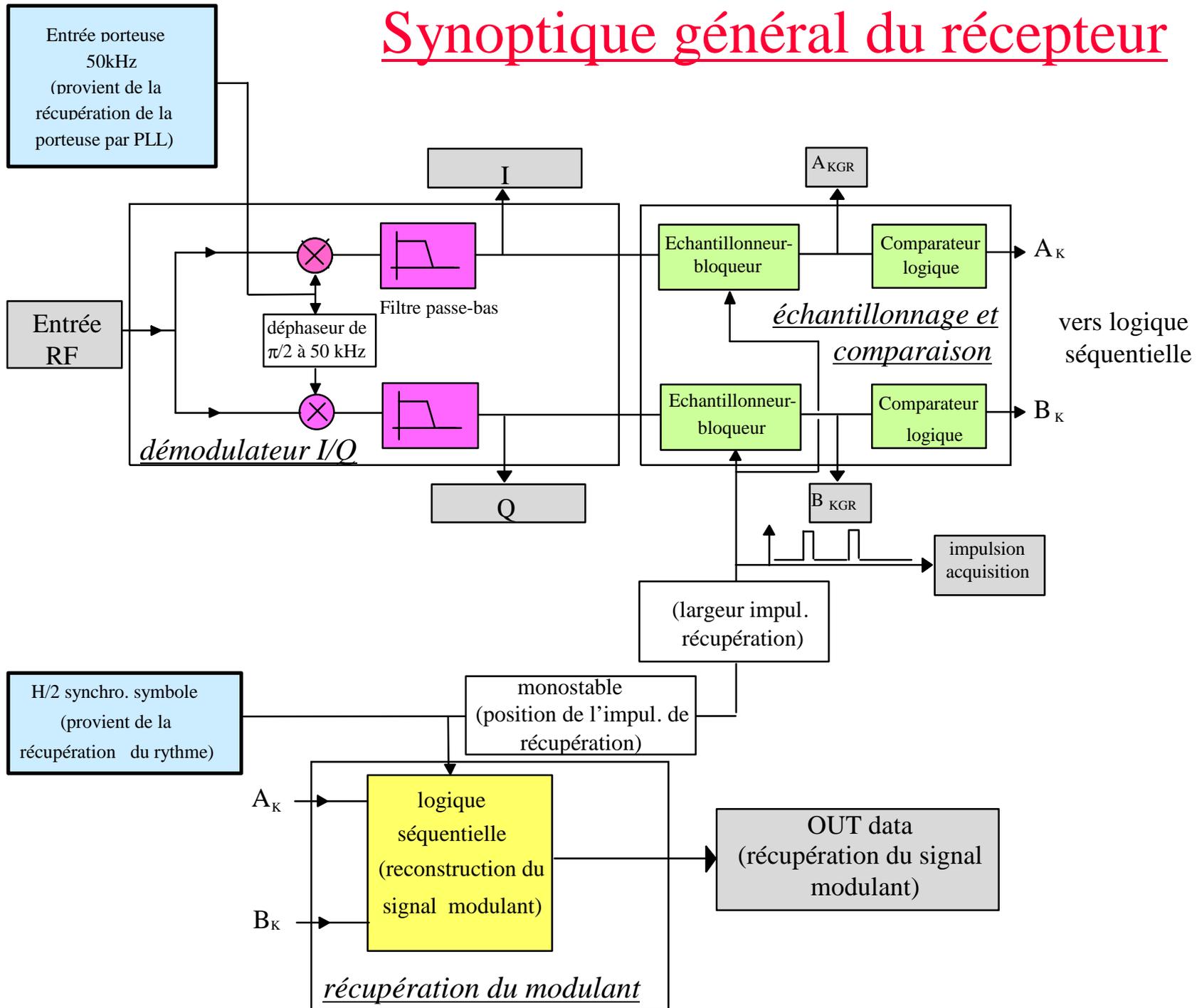
A horizontal oval with a marbled, stone-like texture in shades of grey and white. The text is centered within this oval.

Le récepteur

Le récepteur permet de récupérer le signal numérique. Les principaux sous-ensembles du récepteur sont :

- 1- un démodulateur I/Q pour récupérer les signaux **I** et **Q**
- 2- un échantillonnage des signaux **I** et **Q** suivi d'une comparaison pour récupérer les symboles **A_K** et **B_K**
- 3- une logique séquentielle pour reconstruire le signal logique NRZ de modulation à partir de **A_K** et **B_K**

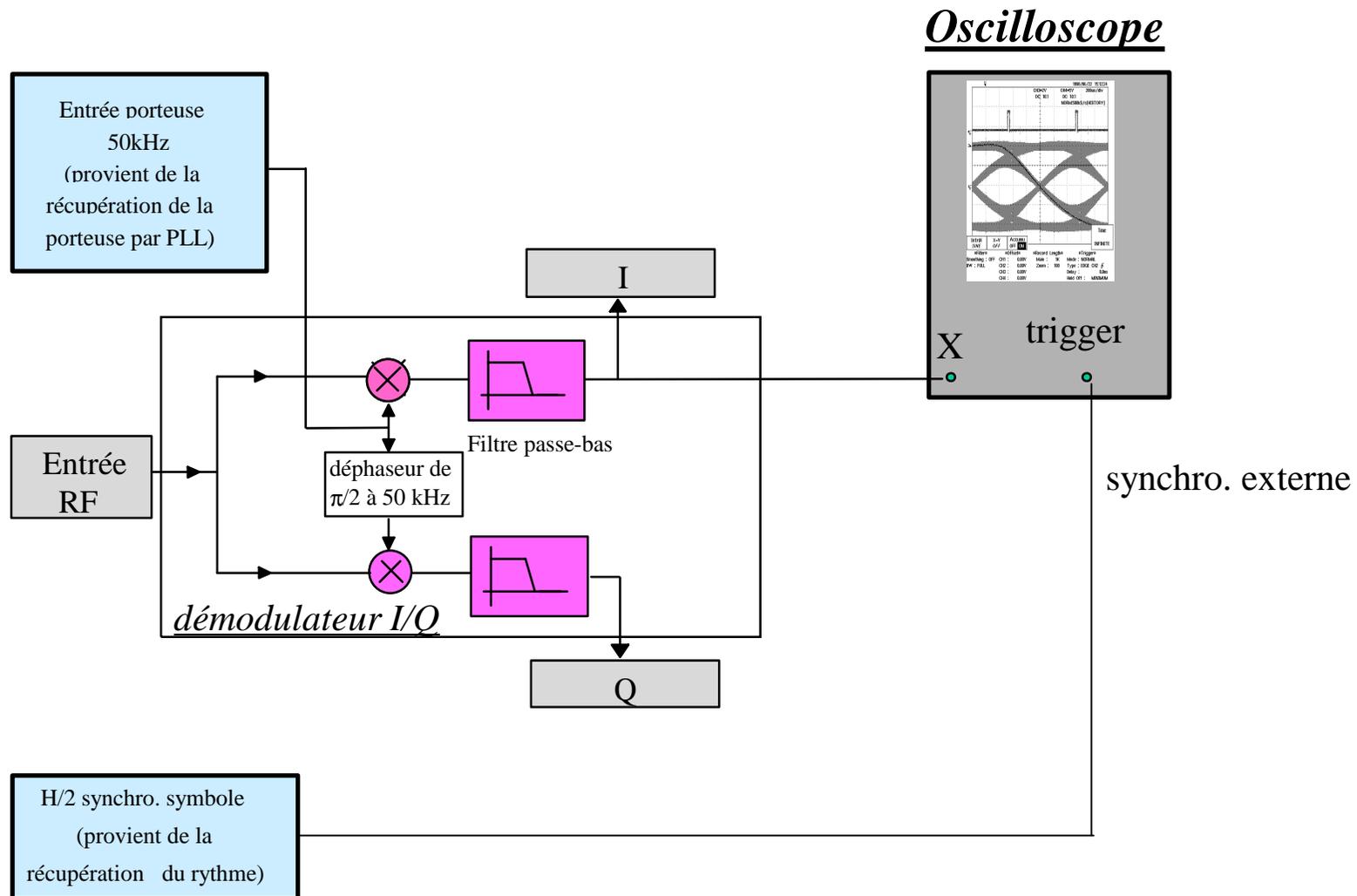
Synoptique général du récepteur



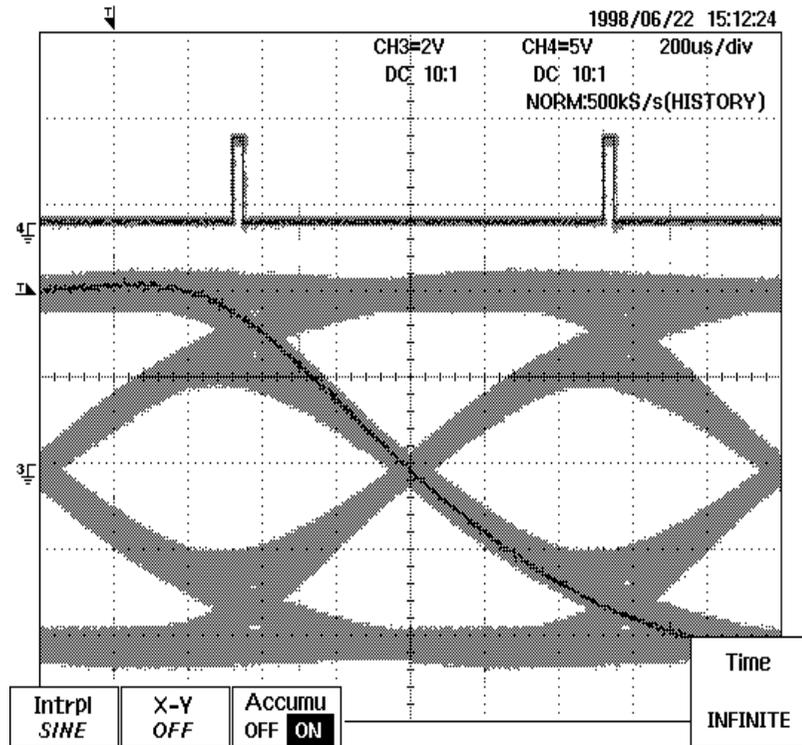
A horizontal oval with a marbled, grey and white pattern, serving as a background for the title text.

Diagrammes de l'oeil

Condition d'observation des diagrammes de l'oeil



Exemple 1 : impulsion d'acquisition et diagramme de l'oeil

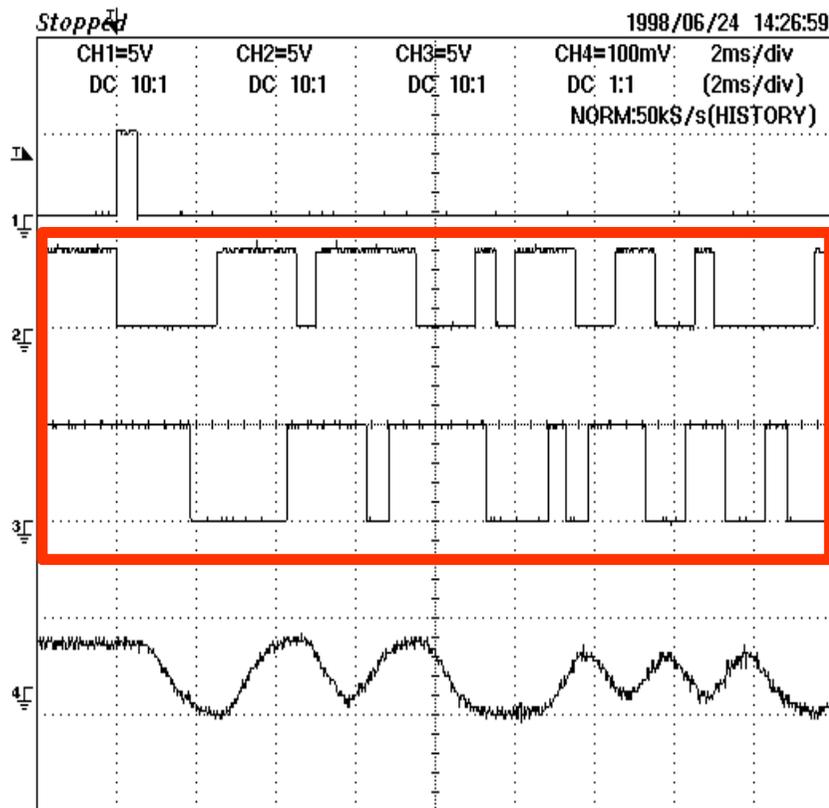


Impulsion d'acquisition

Diagramme de l'œil du signal I
en réception

NB : Le générateur de bruit n'est pas actif. L'impulsion d'acquisition est bien positionnée ; les données sont correctement récupérées.

Exemple 1 : comparaison des données en émission et réception



Synchro. PA (émission)

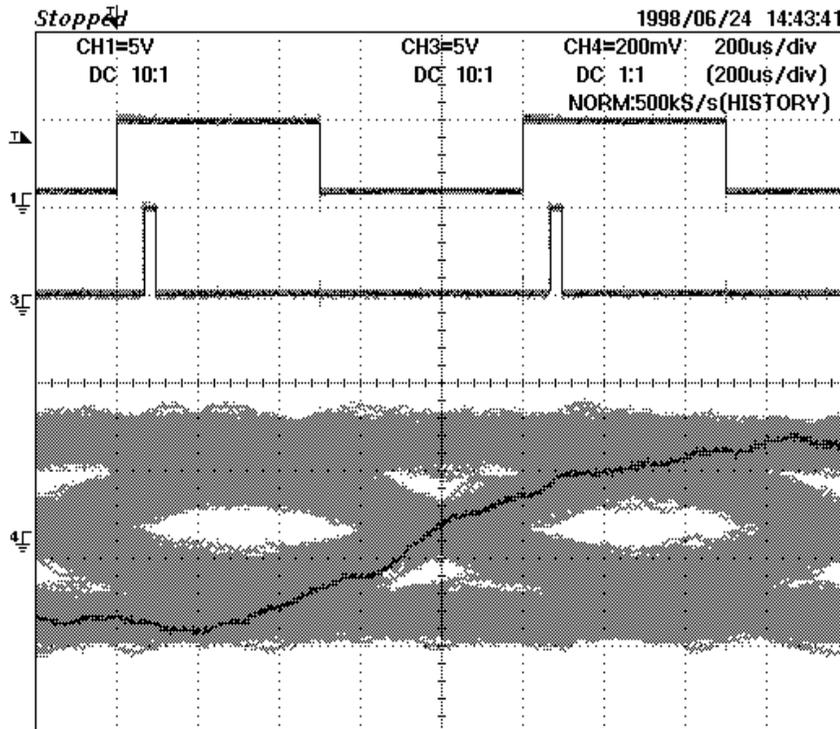
OUT PA (émission)

OUT data (réception)

Signal I (sortie filtre réception)

Les données sont correctement récupérées

Exemple 2 : impulsion d'acquisition et diagramme de l'oeil



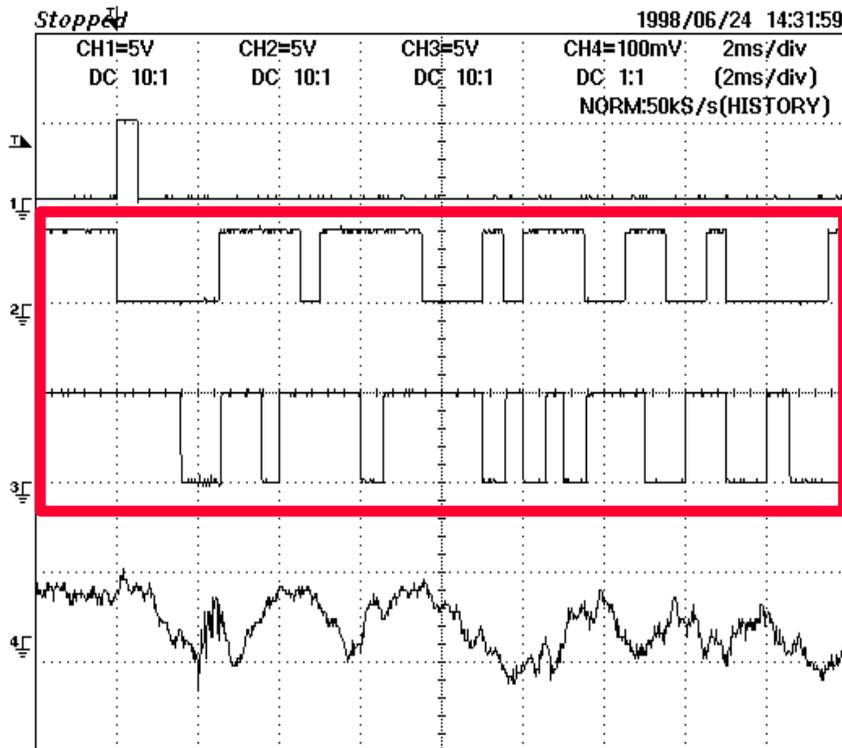
Horloge H/2

Impulsion d'acquisition

Diagramme de l'œil du
signal **I** en réception

NB : Le générateur de bruit est actif. L'impulsion d'acquisition est mal positionnée ; les données ne sont pas correctement récupérées.

Exemple 2 : comparaison des données en émission et réception



Synchro. PA (émission)

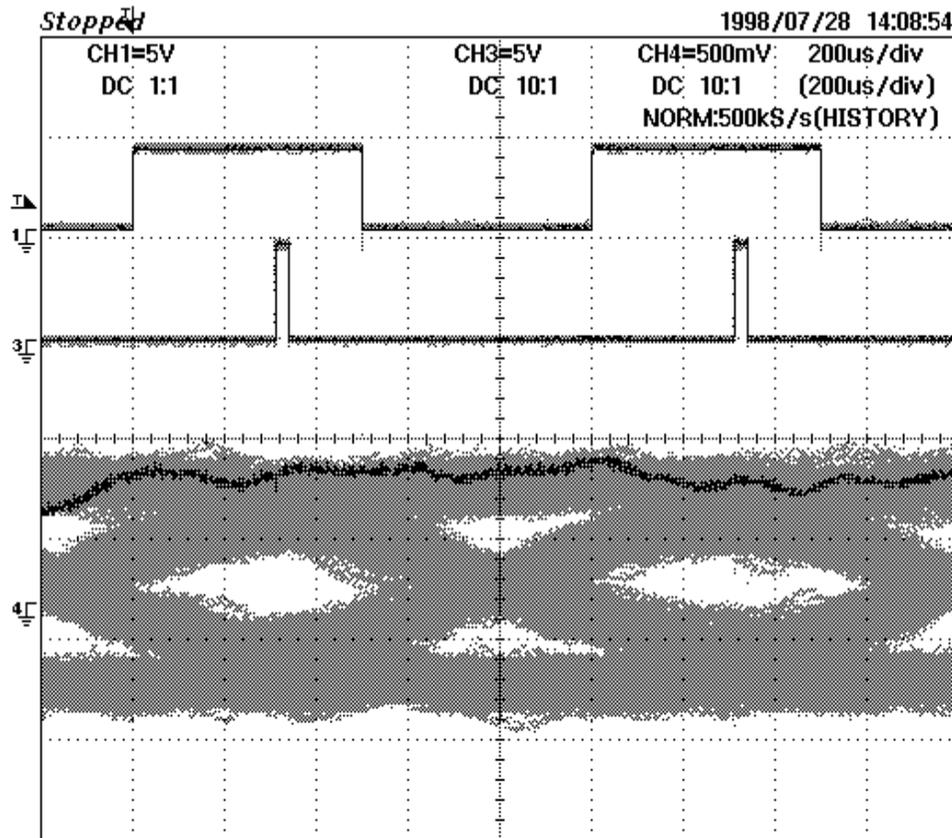
OUT PA (émission)

OUT data (réception)

Signal I (sortie filtre réception)

Les données ne sont pas correctement récupérées

Exemple 3 : impulsion d'acquisition et diagramme de l'oeil



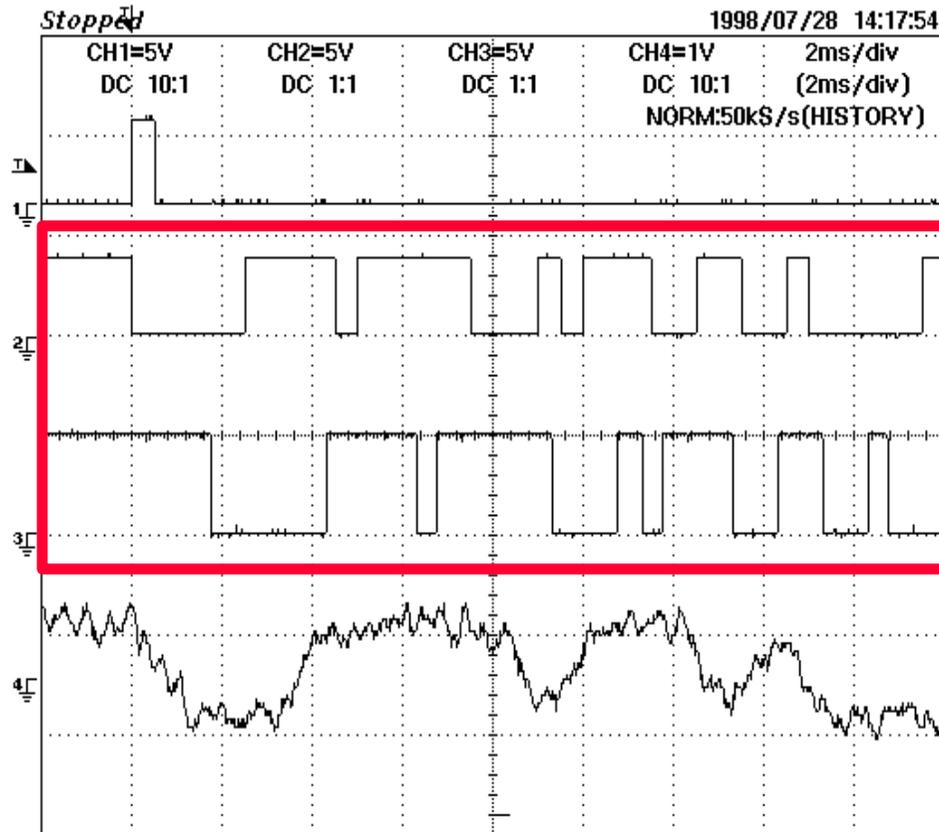
Horloge H/2

Impulsion d'acquisition

Diagramme de l'œil du
signal **I** en réception

NB : Le générateur de bruit est actif. L'impulsion d'acquisition est bien positionnée ; les données sont correctement récupérées.

Exemple 3 : comparaison des données en émission et réception



Synchro. PA (émission)

OUT PA (émission)

OUT data (réception)

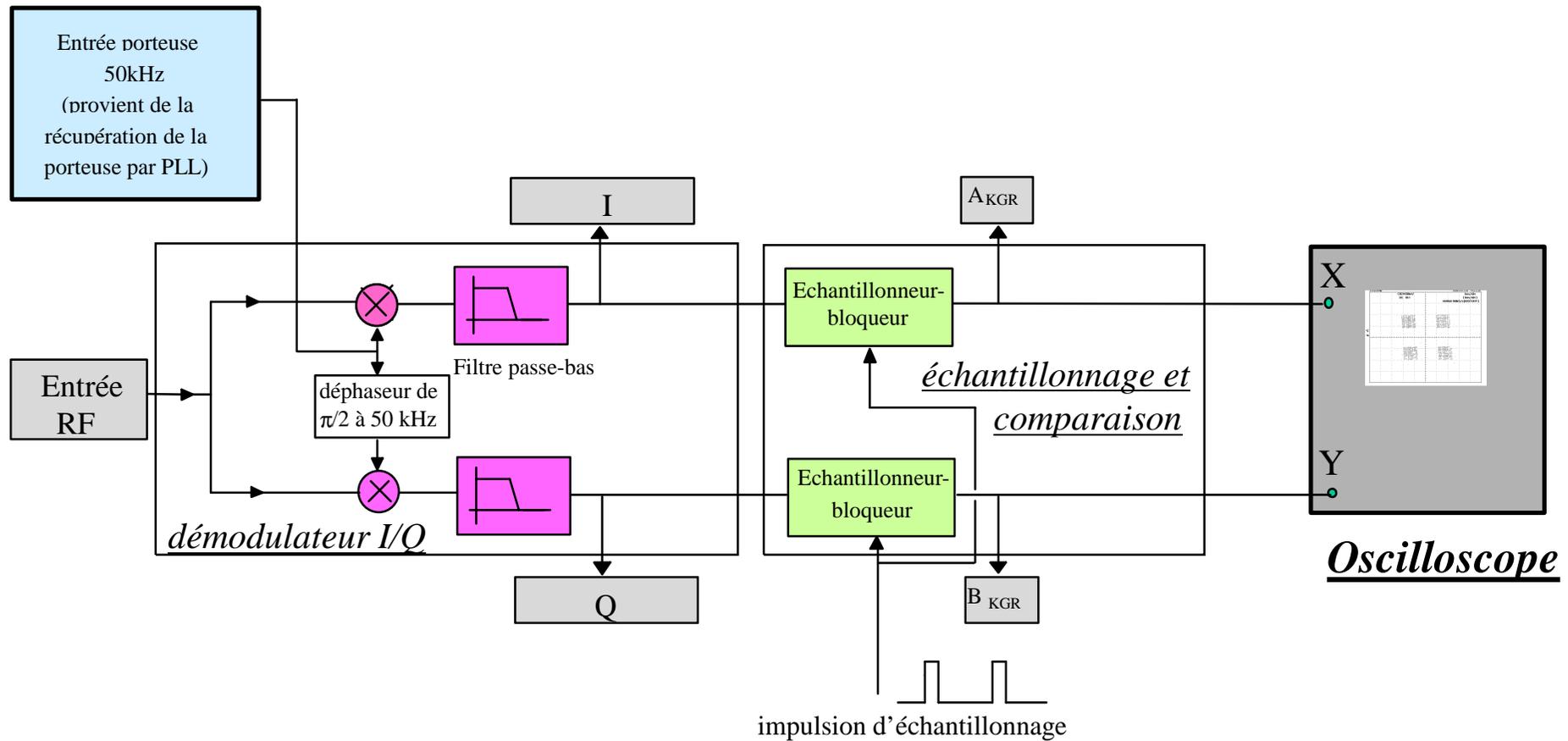
Signal I (sortie filtre réception)

Les données sont correctement récupérées

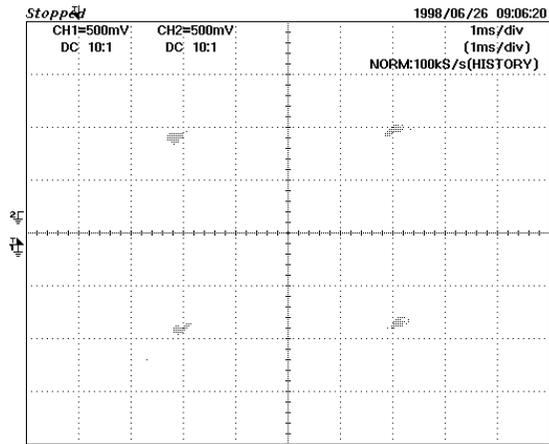
A horizontal oval shape with a marbled, grey and white pattern, serving as a background for the text.

Constellations d'états

Condition d'observation des constellations d'états en réception

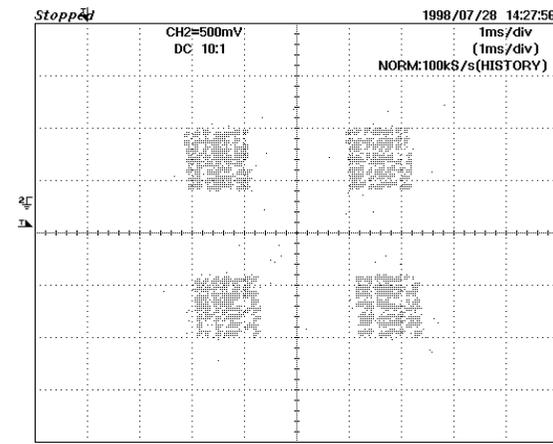


Exemples de constellation en réception



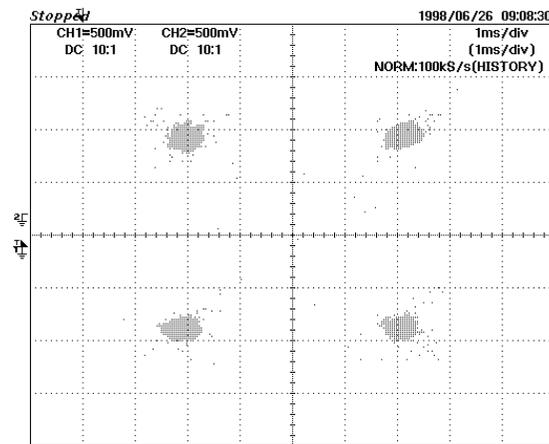
Le générateur de bruit et le filtrage en bande de base sont supprimés.

=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
 Smoothing : OFF CH1 : 0.00V Main : 1K NORM : MAL
 BW : 20MHz CH2 : 0.300V Zoom : 100 Type : EDGE CH1
 CH3 : 0.00V Delay : 5.9ns
 CH4 : 0.00V Hold Off : MINIMUM



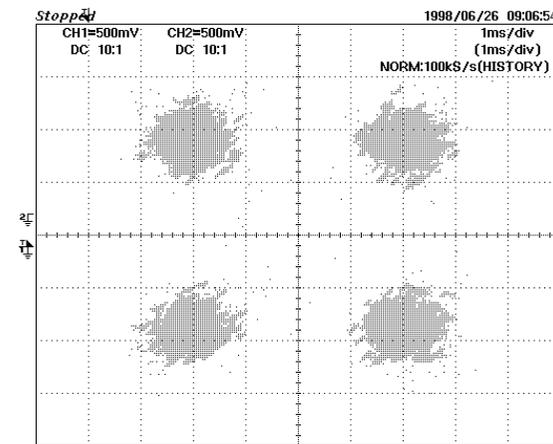
Le générateur de bruit est supprimé, le filtrage en bande de base est actif.

=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
 Smoothing : OFF CH1 : 0.00V Main : 1K NORM : MAL
 BW : Full CH2 : 0.300V Zoom : 100 Type : EDGE CH1
 CH3 : 0.00V Delay : 5.9ns
 CH4 : 0.00V Hold Off : MINIMUM



Le générateur de bruit est actif (position médium), le filtrage en bande de base est supprimé.

=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
 Smoothing : OFF CH1 : 0.00V Main : 1K NORM : MAL
 BW : 20MHz CH2 : 0.300V Zoom : 100 Type : EDGE CH1
 CH3 : 0.00V Delay : 5.9ns
 CH4 : 0.30V Hold Off : MINIMUM

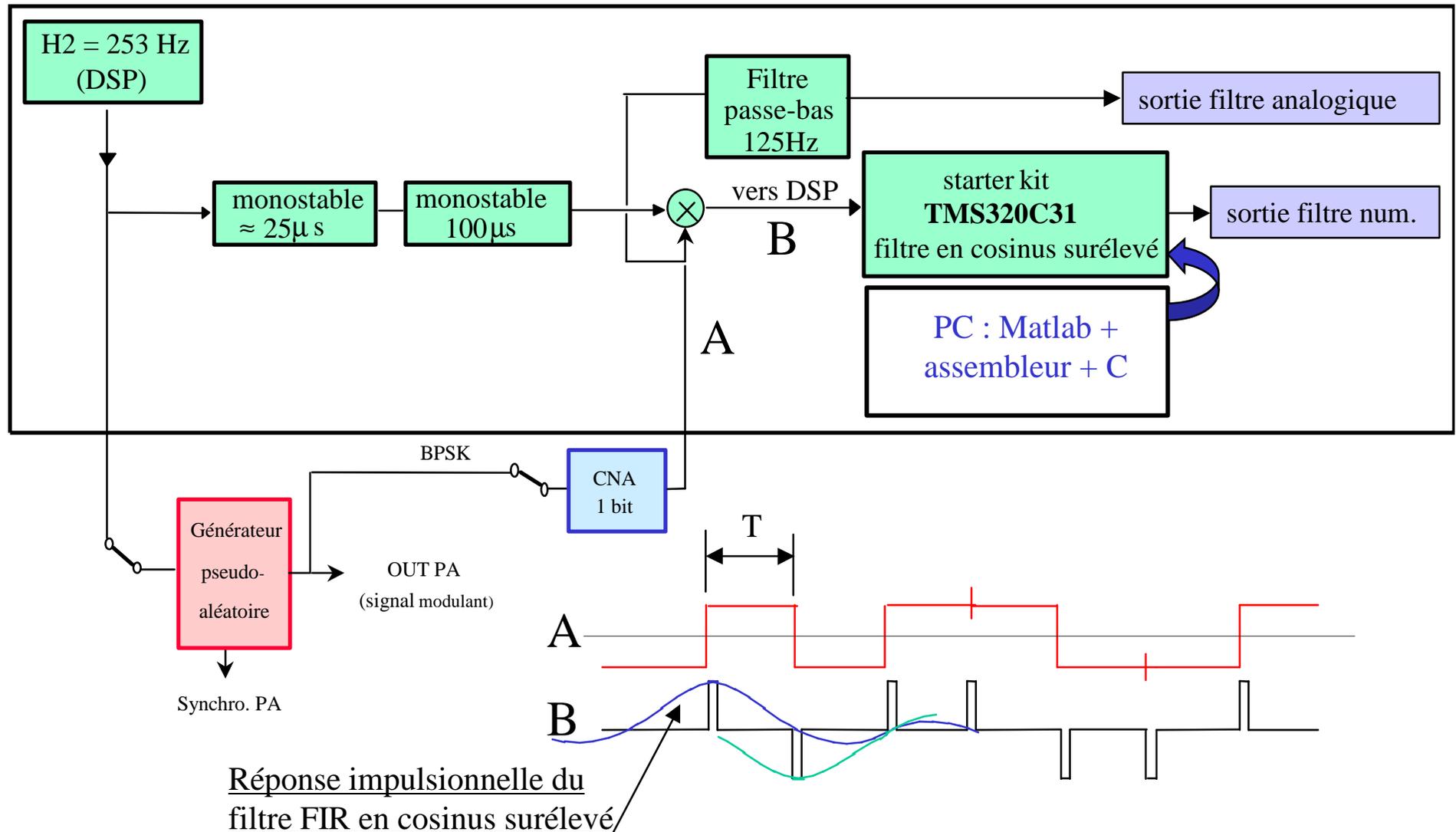


Le générateur de bruit est actif (position maximum), le filtrage en bande de base est supprimé.

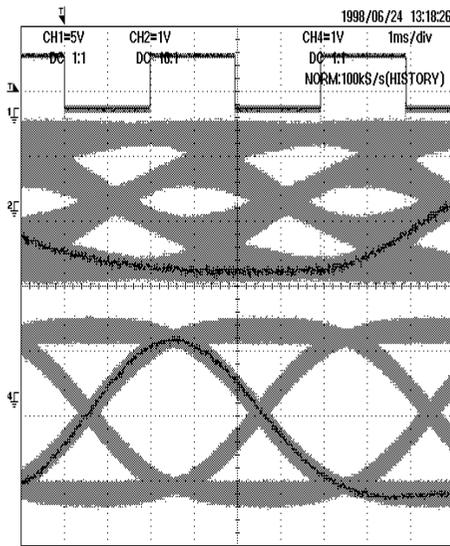
=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
 Smoothing : OFF CH1 : 0.00V Main : 1K NORM : MAL
 BW : 20MHz CH2 : 0.300V Zoom : 100 Type : EDGE CH1
 CH3 : 0.00V Delay : 5.9ns
 CH4 : 0.00V Hold Off : MINIMUM

**Elimination de
l'interférence entre les symboles (IES)
par utilisation de filtres en cosinus
surélevé**

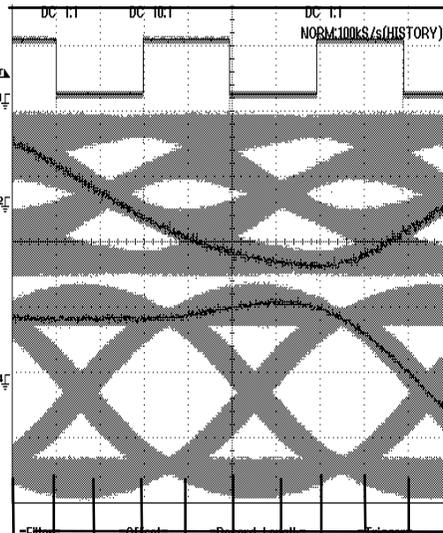
Elimination des interférences symboles par filtre de Nyquist (cosinus surélevé)



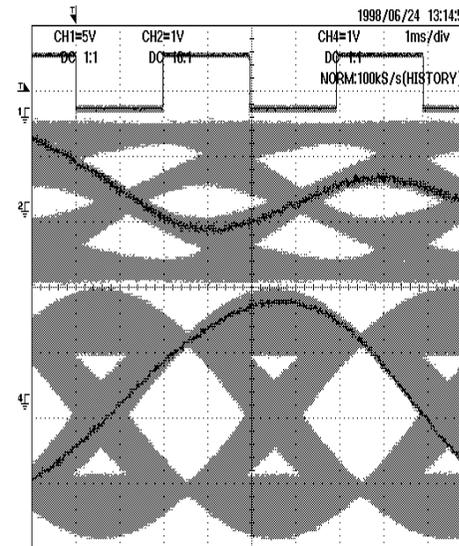
Comparaison des diagrammes de l'œil avec filtres analogique et numérique en cosinus surélevé



roll off = 0.8



roll off = 0.6



=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
Smoothing : OFF CH1 : 0.00V Main : 1K Mode : NORMAL
BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 100 Type : EDGE CH1
CH3 : 0.00V CH4 : 0.00V
CH5 : 0.00V

roll off = 0.4

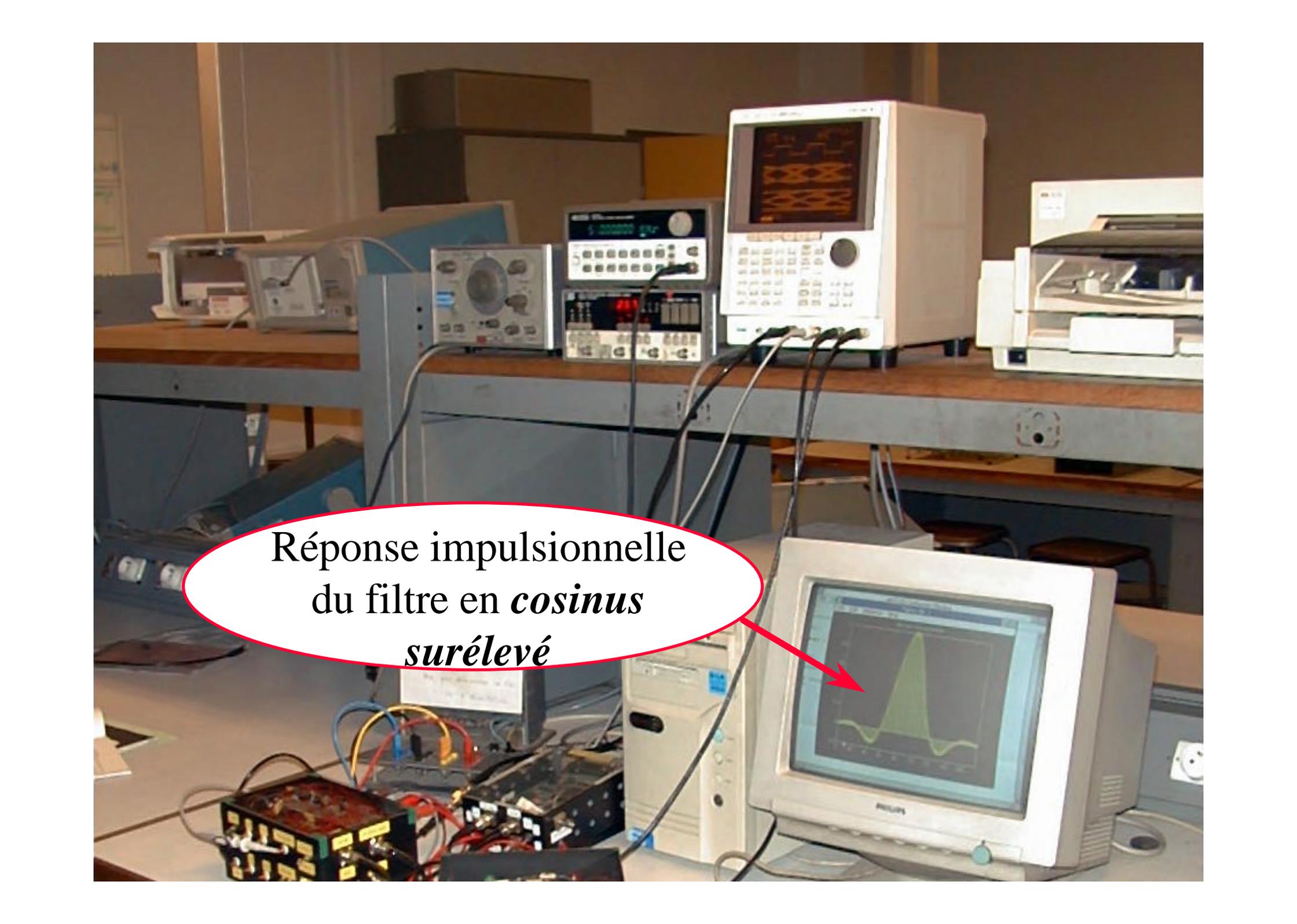
0.0ns
HOLD OFF : MINIMUM

horloge H/2

diagramme de l'œil
avec filtre analogique,
sortie F1

diagramme de l'œil
avec filtre numérique
en cosinus surélevé,
sortie du Starter kit

NB : Le filtre en cosinus surélevé élimine l'IES (Interférence Entre les Symboles). Le diagramme de l'œil se ferme horizontalement quand le facteur de roll off diminue ; le récepteur devient sensible à la position de l'impulsion d'acquisition.



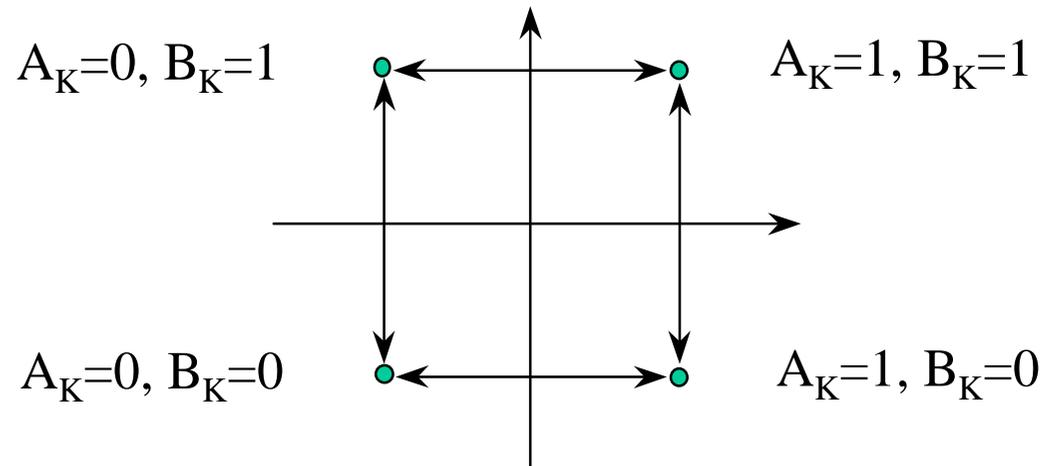
Réponse impulsionnelle
du filtre en *cosinus*
surélevé

Diagrammes de
l'oeil

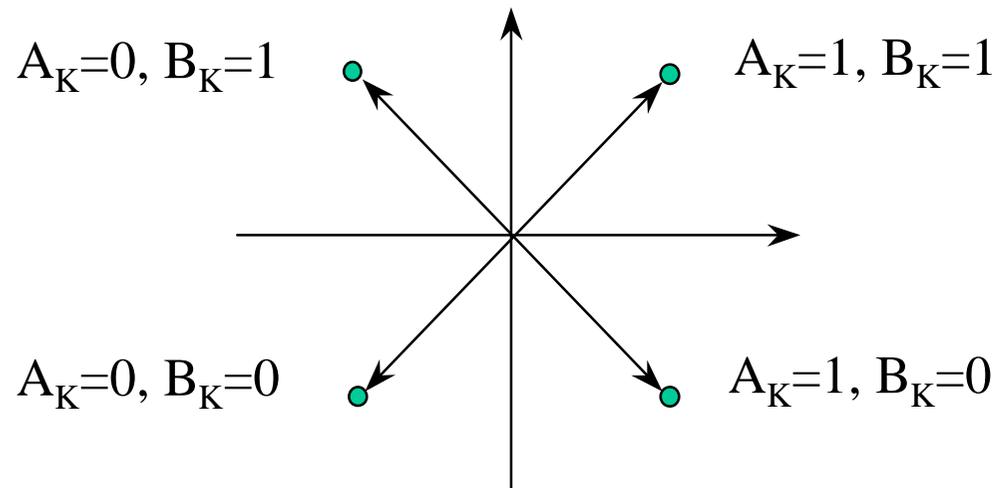


Inconvénients de la modulation de phase QPSK

[Retour plan](#)

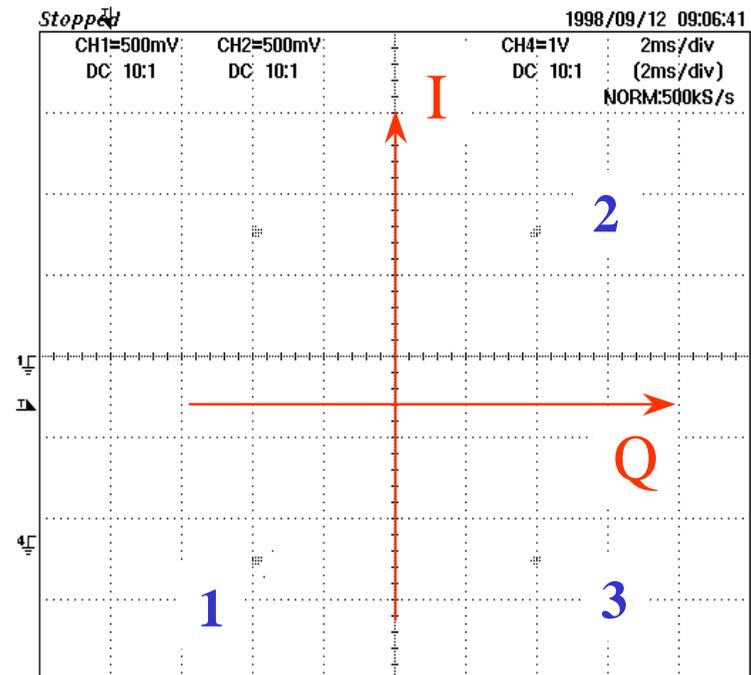
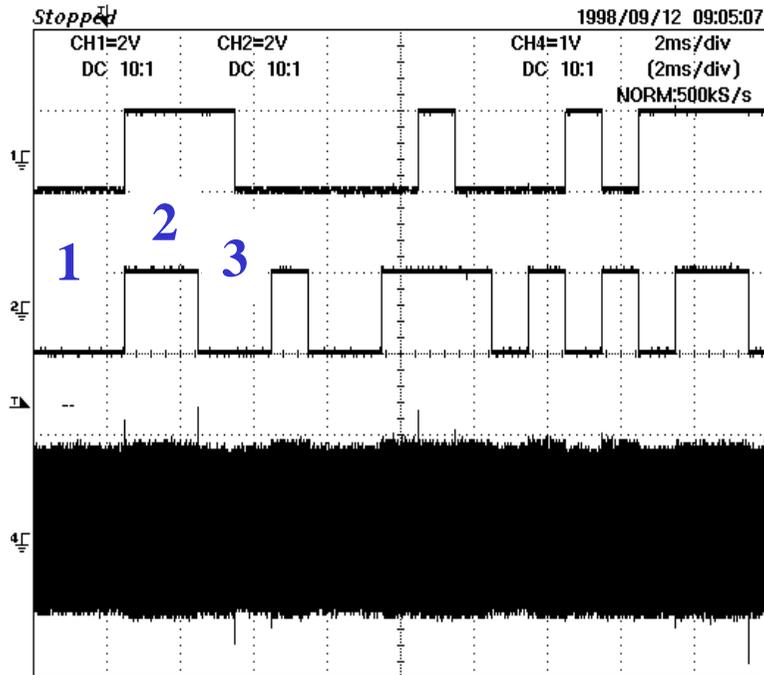


Les changements d'états marqués d'une double flèche conduisent à une atténuation de la porteuse d'un facteur 0.7



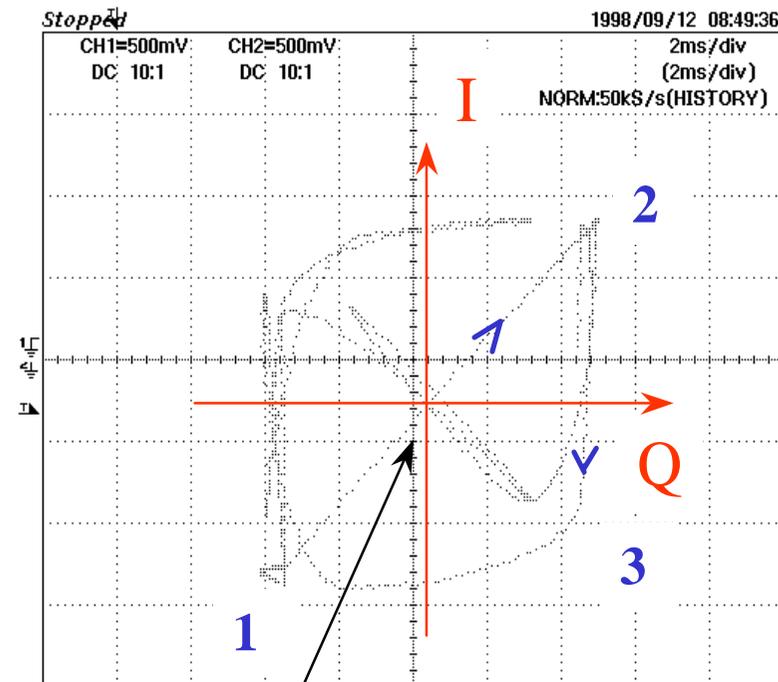
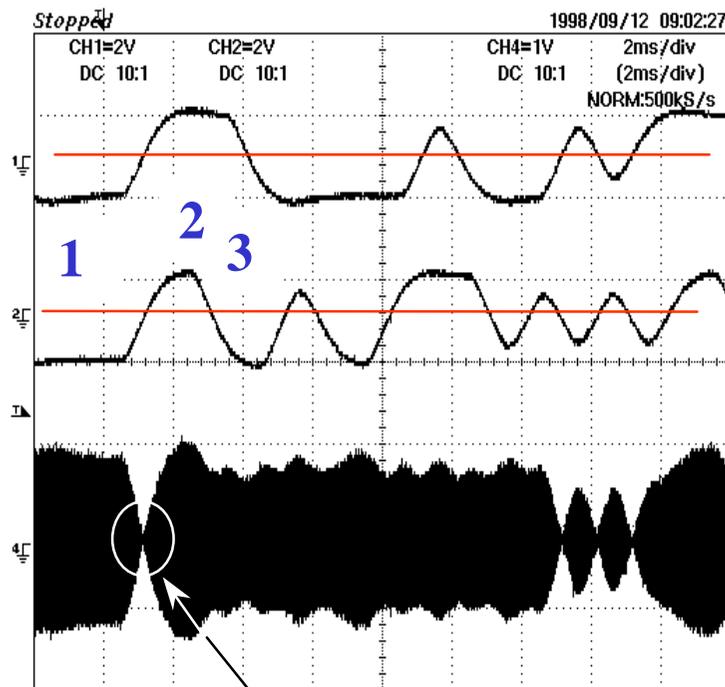
Les changements d'états marqués d'une double flèche conduisent à une suppression de la porteuse

Expérience sans filtrage en bande de base



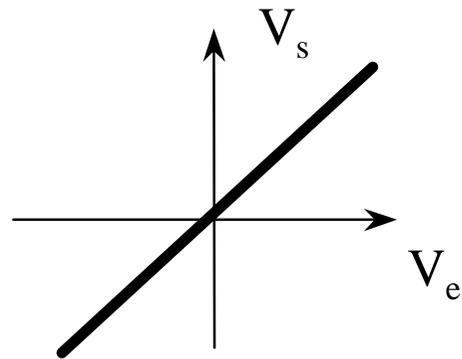
Si le filtre en bande de base est supprimé, l'amplitude du signal **RF** reste constante.

Expérience avec filtrage en bande de base

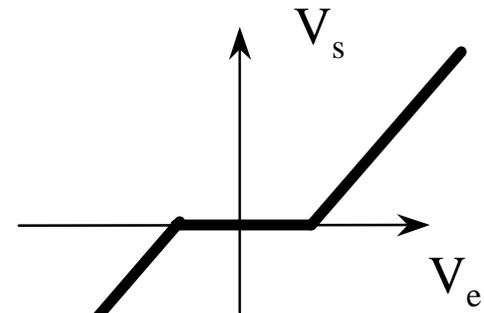


passage par zéro

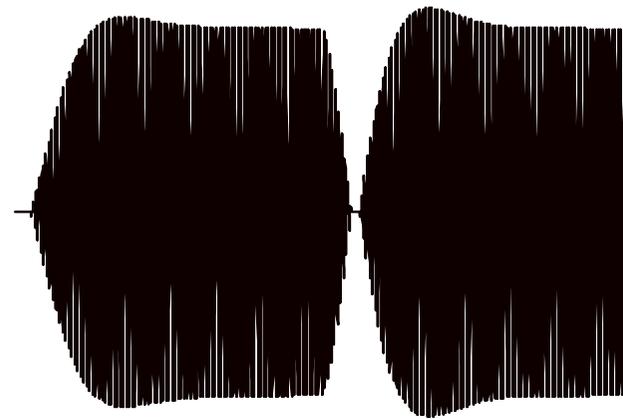
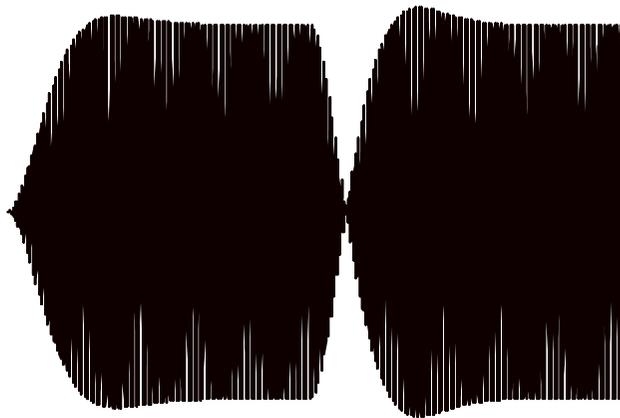
Le passage par zéro interdit pratiquement l'emploi d'amplificateur **classe C à rendement élevé**. En effet, un amplificateur classe C introduit un effet de seuil ; il s'ensuit que la porteuse est supprimée pendant un intervalle de temps non négligeable.



ampli. linéaire
(faible rendement)

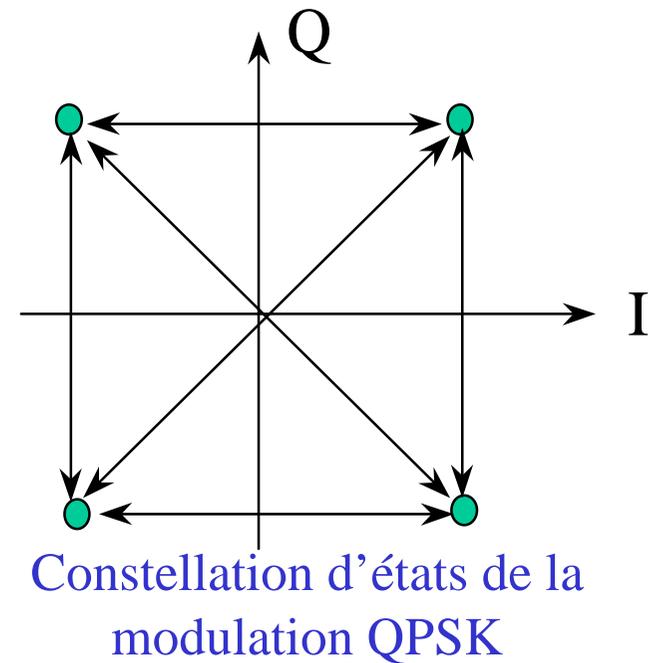
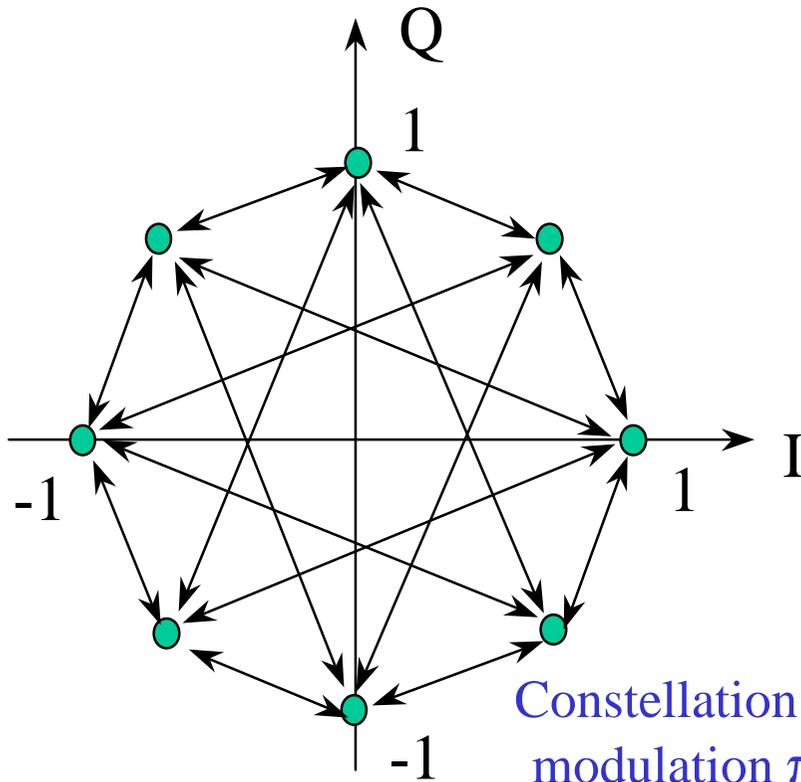


ampli. classe C
(rendement élevé)

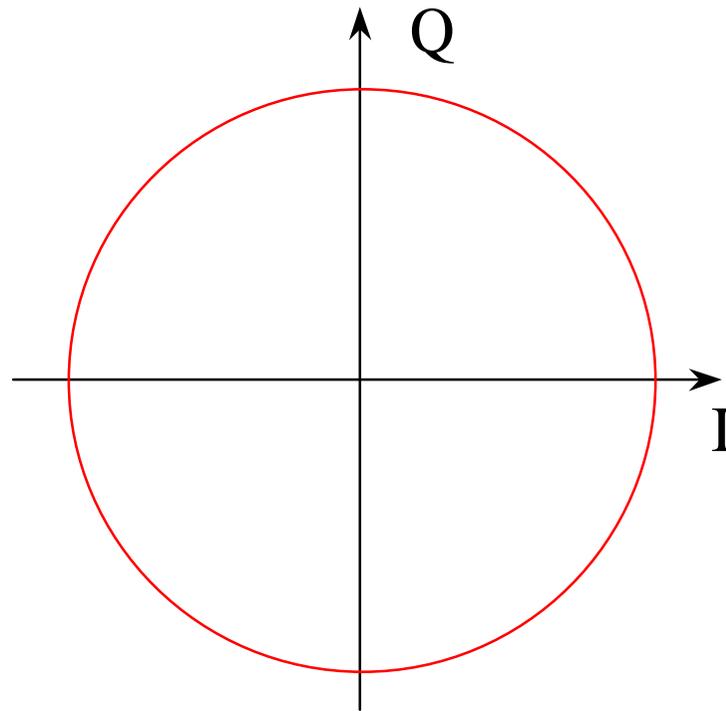


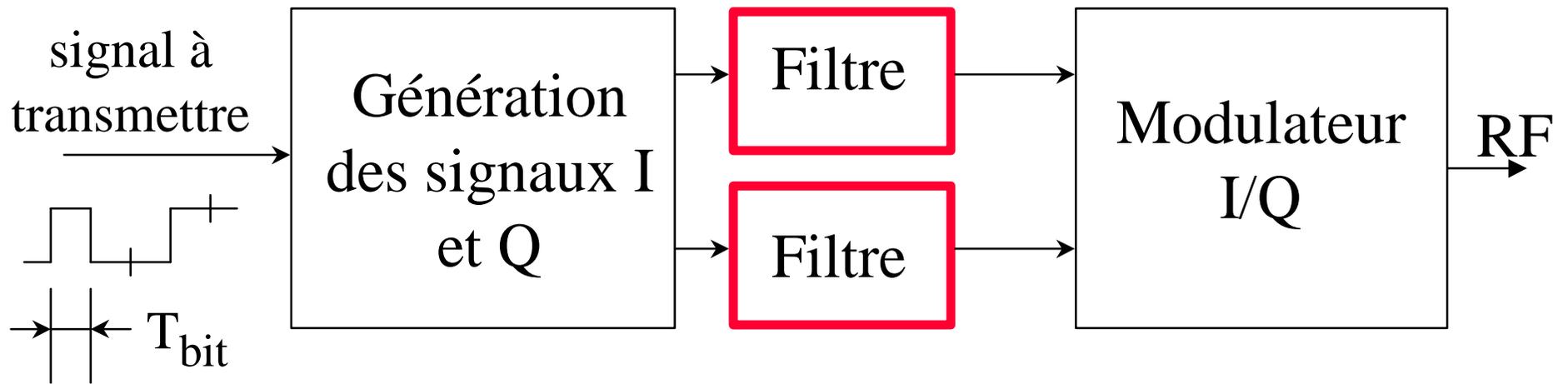
La suppression de la porteuse en émission complique la récupération de la porteuse en réception : il faut interdire les changements de phase de π .

➔ Modulation $\pi/4$ -DQPSK : on ne transmet pas les états de phase mais les différences des états de phase car la récupération de la porteuse est à π près avec une boucle de Costas. C'est la modulation de la norme IS54.

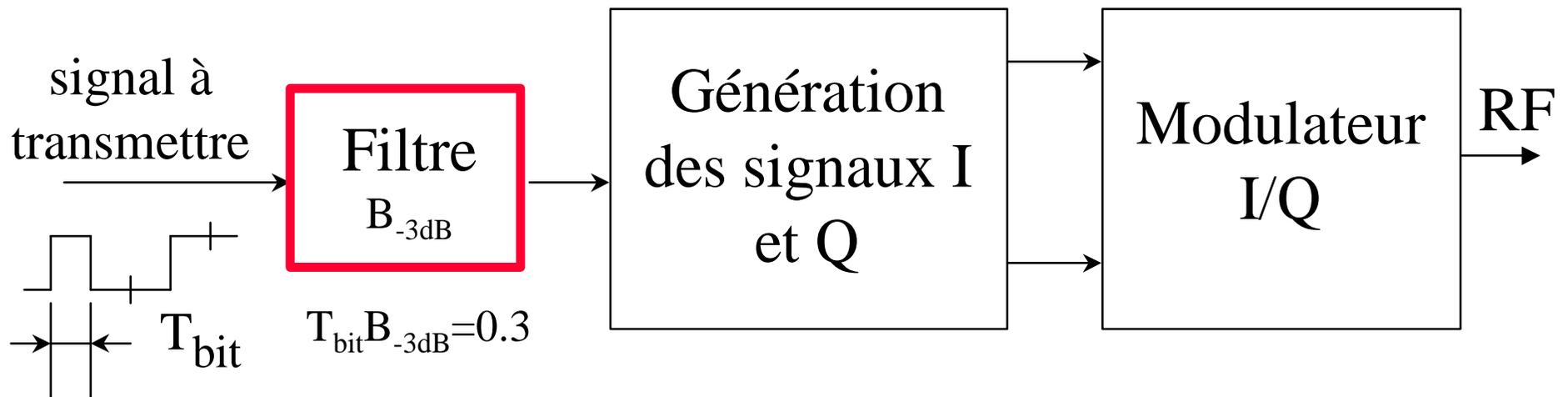


➔ Modulation de fréquence à phase continue (CPFSK) avec filtrage Gaussien (0.3 GMSK) et codage différentiel. Il s'agit d'une modulation à amplitude constante. C'est la modulation de la norme GSM. Elle nécessite une largeur de bande plus grande que la modulation $\pi/4$ -DQPSK.





Filtrage en modulation $\pi/4$ -DQPSK



Filtrage en modulation 0.3 GMSK

| | | | |
|----------------------------------|---|---------------------------------------|-------------------------------------|
| systemes | GSM 900 DCS 1800 | NADC | PDC |
| codeur source débit de sortie | RPE-LTP 13kbits/s | VSELP 8kbits/s | VSELP 8kbits/s |
| débit entrée modulateur | 270.833 kbits/s (1bit/ symbol) | 48.6 kbits/s (2bits/ symbol) | 42 kbits/s (2bits/ symbol) |
| modulation | 0.3 GMSK (1bit/ symbol) | $\pi/4$ DQPSK (2bits/ symbol) | $\pi/4$ DQPSK (2bits/ symbol) |
| espacement entre canaux | 200 kHz | 30 kHz | 50 kHz |

Glossaire

GSM : Global System for Mobile Communication

DCS : Digital Communication System

NADC : North American Digital Cellular System

PDC : Pacific Digital Cellular System

RLC : Run Length Coding

VLC : Variable Length Coding

ADPCM : Adaptive Differential Pulse Code Modulation

RPE-LTP : Regular Pulse Excitation-Long Term Prediction

VSELP : Vector Sum Excited Linear Predictive *coder*

Convolutional coding : décodage par algorithme de Viterbi

CRC : Cyclic Redundancy Check

JPEG : Joint Photographic Experts Group

DCT : Direct Cosine Transform

MPEG : Moving Picture Expert Group

TDMA : Time Division Multiple Access

FDMA : Frequency Division Multiple Access

CDMA : Code Division Multiple Access

QAM : Quadrature Amplitude modulation

BPSK : Binary Phase Shift keying

QPSK : Quadrature Phase Shift Keying

GMSK : Gaussian Minimum Shift Keying

CPFSK : Continuous Phase Frequency Shift Keying

$\pi/4$ -DQPSK : $\pi/4$ -Differential Quadrature Phase Shift Keying

EVM : Error Vector Magnitude, il permet de mesurer les erreurs introduites dans un système numérique

BER : Bit Error rate, il est fonction du rapport signal/bruit, ex : 1 bit erroné sur 1000 pour un rapport S/B=10dB, le **ber** est d'autant plus faible que S/B est grand

BANDWIDTH EFFICIENCY : Efficacité Spectrale, c'est le débit binaire (bit/s) pouvant être transmis par Hertz de bande passante, l'unité d'efficacité spectrale s'exprime en $\text{bits}^{-1}\text{Hz}^{-1}$ (bpsHz^{-1} : bit per second Hz^{-1})

Références

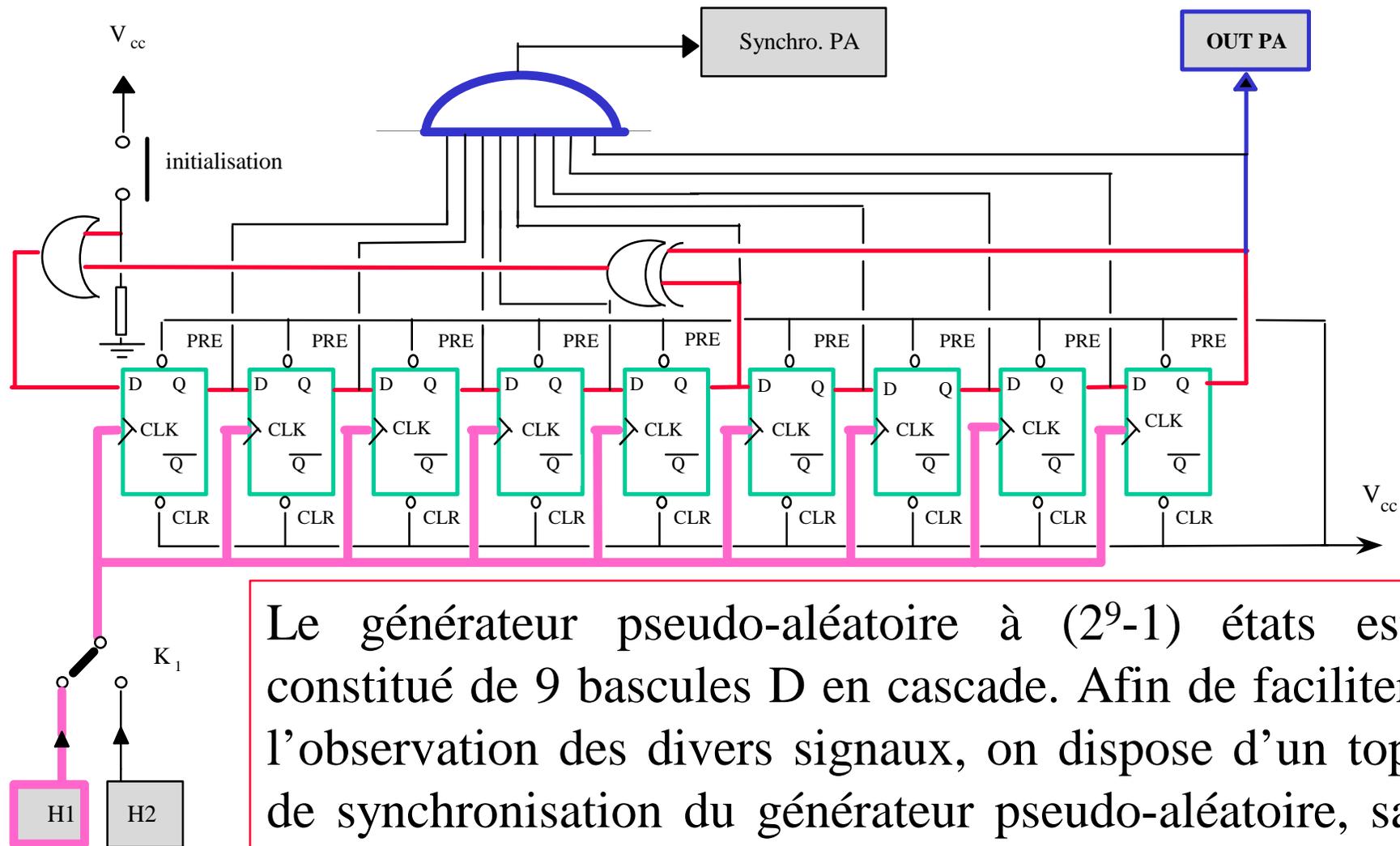
- Communications numériques, introduction, A. Glavieux et M. Joindot, Masson, 1996.
- Techniques de compression des signaux, N. Moreau, Masson, 1995.
- A $\pi/4$ shift D-QPSK baseband modem using the TMS320C50 DSP, J. W. Webber, N. Dahnoun, University of Bristol, Proceedings of the first European workshop on DSP, Texas Instruments, 1997.
- Modulation numérique en radiocommunications, P. Hatzold, Actualités Rhode & Schwarz, n°150-156 (96-97).
- Digital modulation in communications systems - an introduction, Application note 1298, Hewlett Packard, 1997.
- La télévision numérique, H. Benoit, Dunod, 1996.
- Telecommunications, Applications with the TMS320C5x DSPs, Texas Instruments, 1994.



Schémas des différents ensembles

[Retour plan](#)

Schéma électrique du générateur pseudo-aléatoire

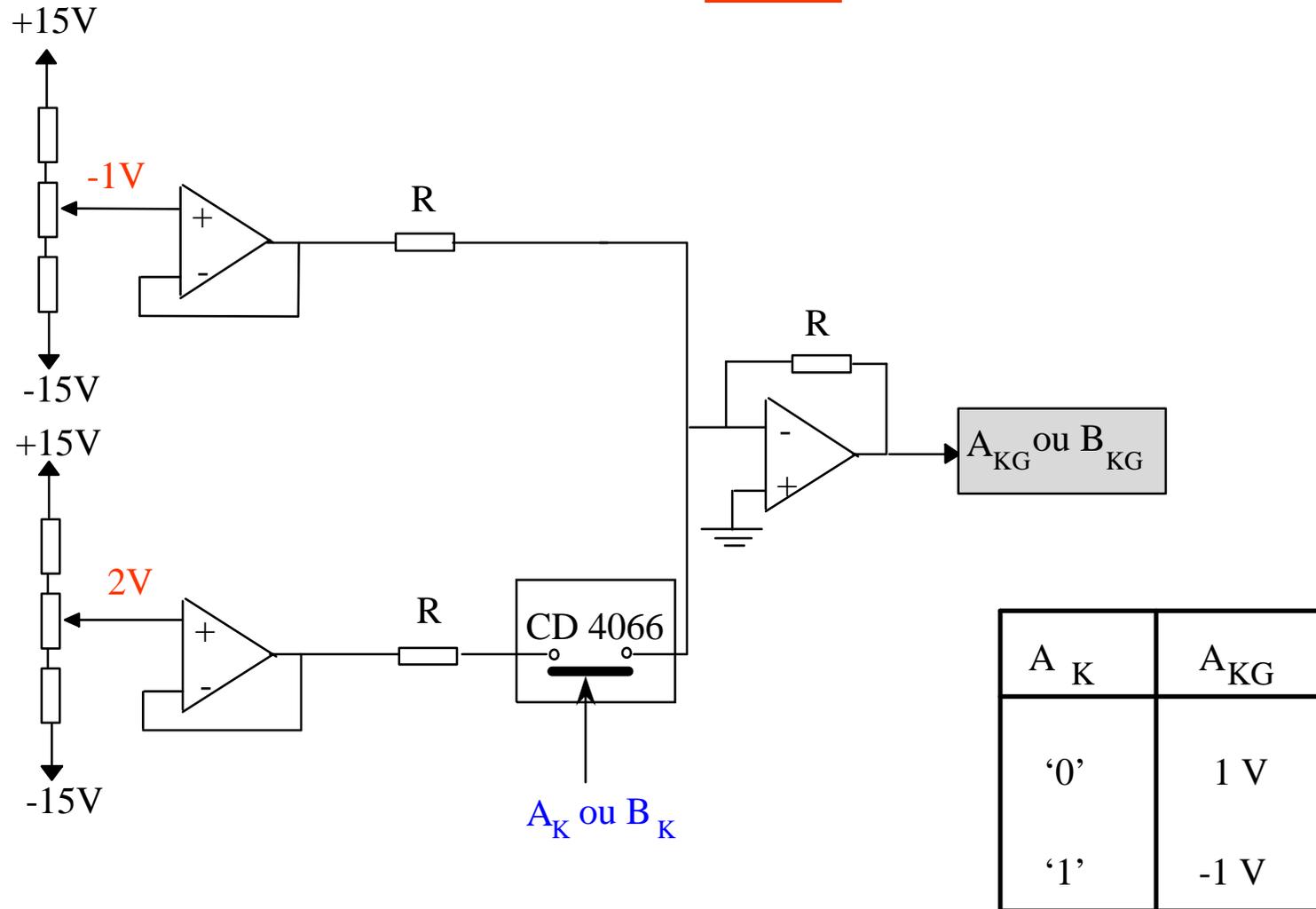


Le générateur pseudo-aléatoire à (2^9-1) états est constitué de 9 bascules D en cascade. Afin de faciliter l'observation des divers signaux, on dispose d'un top de synchronisation du générateur pseudo-aléatoire, sa période est égale à (2^9-1) fois la période de l'horloge du générateur. Le top est réalisé à partir d'une fonction ET réalisée avec les 9 sorties des bascules D.

[Retour plan](#)

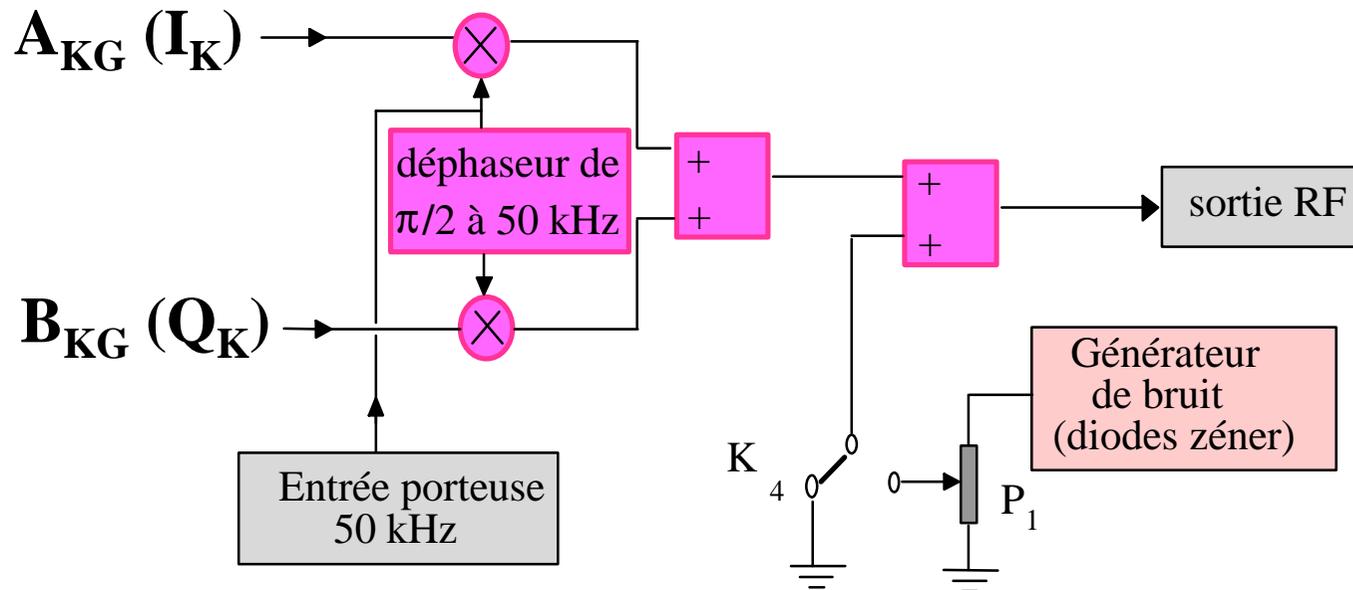
Schéma des convertisseurs numérique-analogique

1 bit



[Retour plan](#)

IV- Modulateur I/Q



Le modulateur I/Q travaille à la fréquence de 50 kHz. Les quatre états de phase sont reportés dans le tableau. Un générateur de bruit permet de faire varier le rapport S/B du signal RF.

| A_K | B_K | sortie CAN voie A_{KG} | sortie CAN voie B_{KG} | phase (ref. porteuse) |
|-------|-------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| '0' | '0' | 1V | 1V | $\pi/4$ |
| '0' | '1' | 1V | -1V | $-\pi/4$ |
| '1' | '0' | -1V | 1V | $3\pi/4$ |
| '1' | '1' | -1V | -1V | $5\pi/4$ |

Tableau des états de phase

[*Retour plan*](#)

FIN