

TRANSMISSIONS NUMERIQUES PAR RF

1. BUT

**ECHANGER DES INFORMATIONS NUMERIQUES (ou analogiques)
SIMULTANEMENT ENTRE UN CERTAIN NOMBRE
D'UTILISATEURS PAR CANAL RADIOFREQUENCES (RF).**

2. MODELE D'UN SYSTEME DE TX DE DONNEES

2.1 Organisation

→ **ETTD**

(Equipement Terminal de Traitement de Données ou *DTE*)

→ CODEUR DE SOURCE : conversion info → message à redondance minimale (concerne l' INFORMATION)

→ CODEUR DE CANAL : mise en forme, correction d'erreur ; code redondant (concerne le SIGNAL)

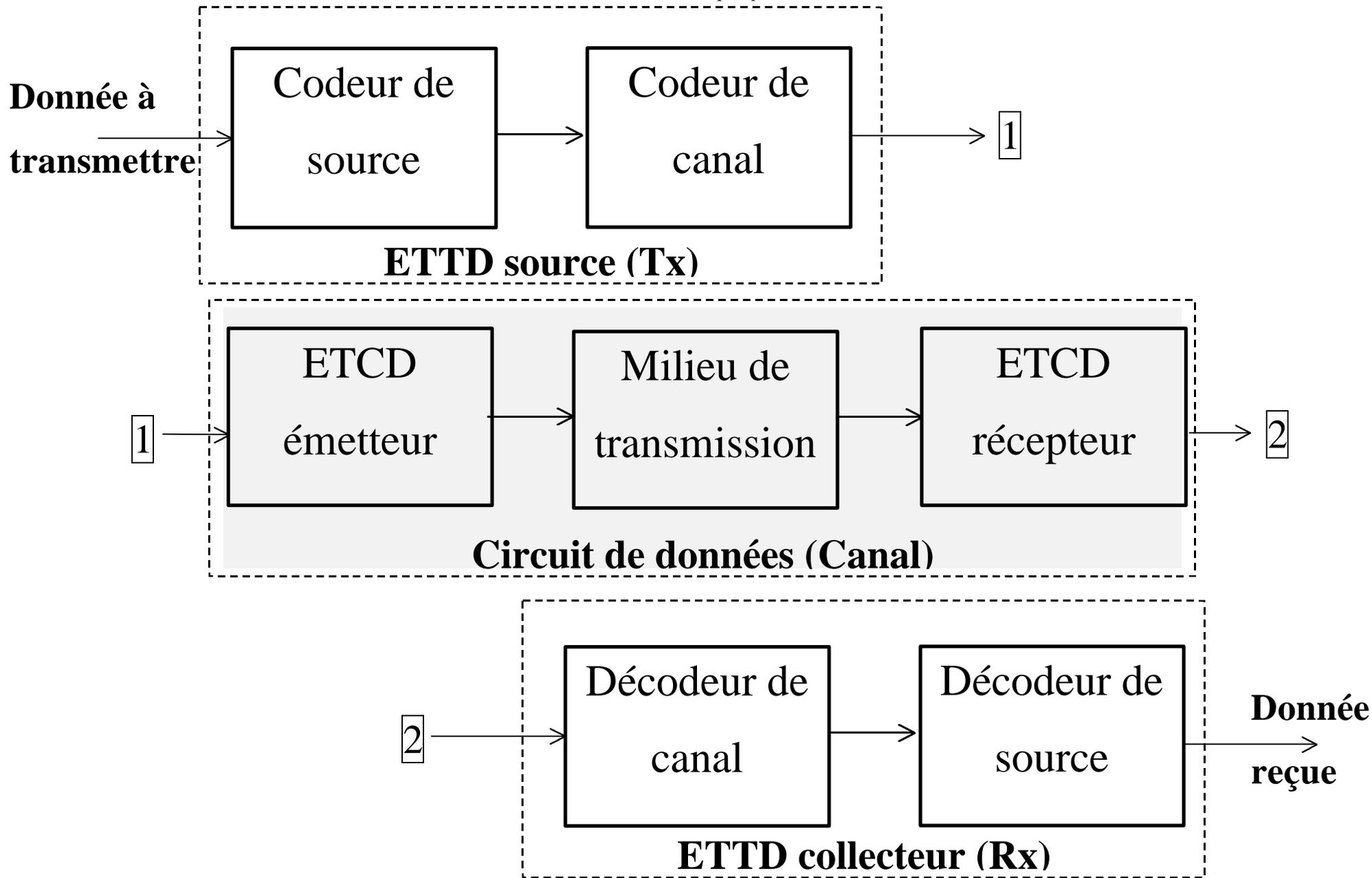
→ **CIRCUIT DE DONNEES (Canal de transmission)**

→ ETCD (Equipement de Terminaison de Circuit des Données ou *DCE*) : ADAPTATION physique et électrique signal → canal
(Ex : modem)

→ MILIEU DE TRANSMISSION : média physique

Notes :

- physiquement, les ETCD sont inclus aux ETTD mais pas au niveau informatique
- l'ETTD contient aussi l'éventuel contrôleur de communication



2.2 Terminologie

→ DEBIT BINAIRE

$$\boxed{D = 1 / T} \text{ (bits / s)} \rightarrow \text{concerne l' INFORMATION}$$

(T est la durée de transmission d'un bit)

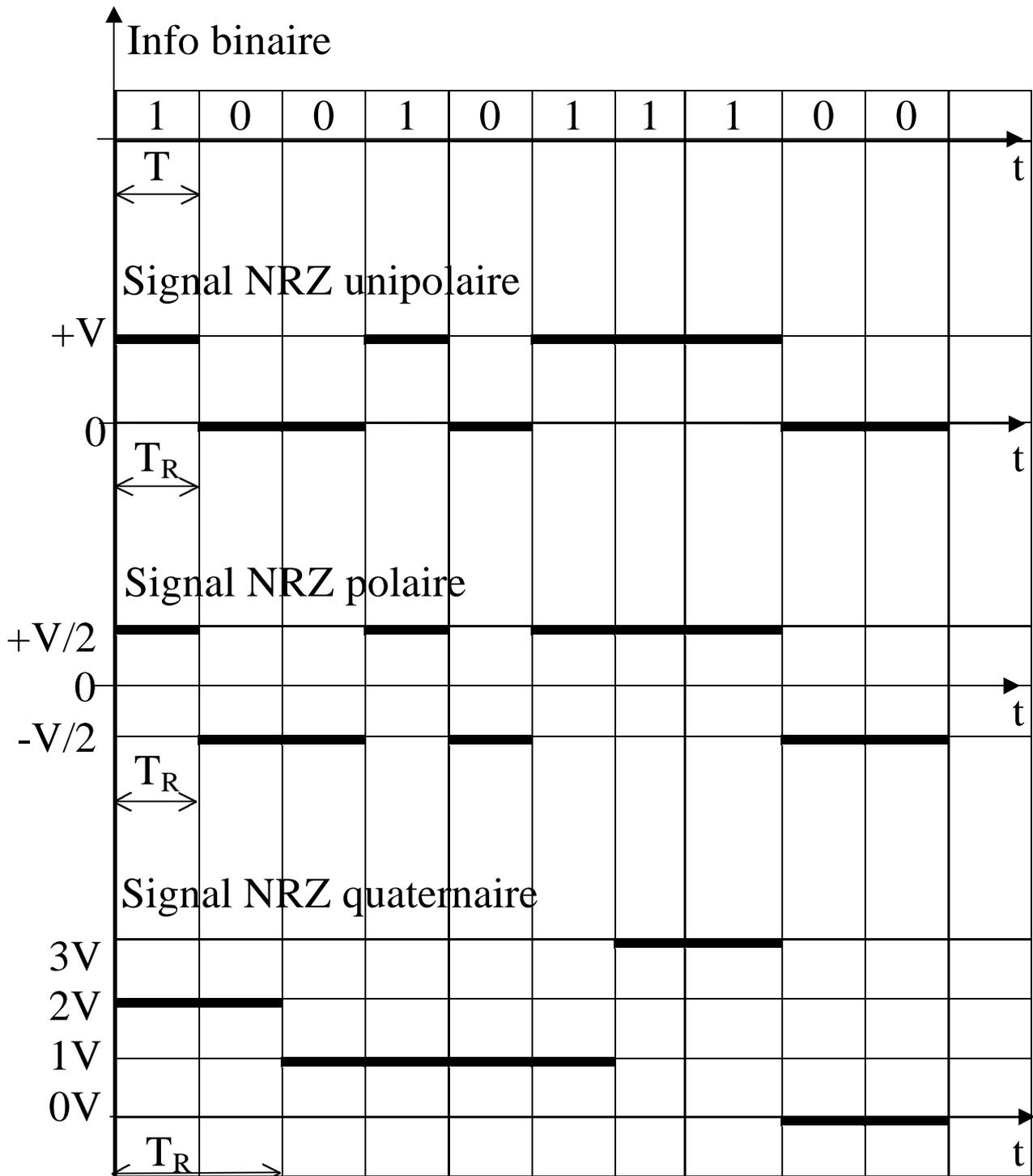
ou $\boxed{D = (\text{nb moyen de symboles / s}) * (\text{nb de bits / symbole})}$

→ RAPIDITE DE MODULATION

$$\boxed{R = 1 / T_R} \text{ (bauds)} \rightarrow \text{concerne le SIGNAL}$$

(T_R est la durée de transmission d'un symbole)

EXEMPLES :

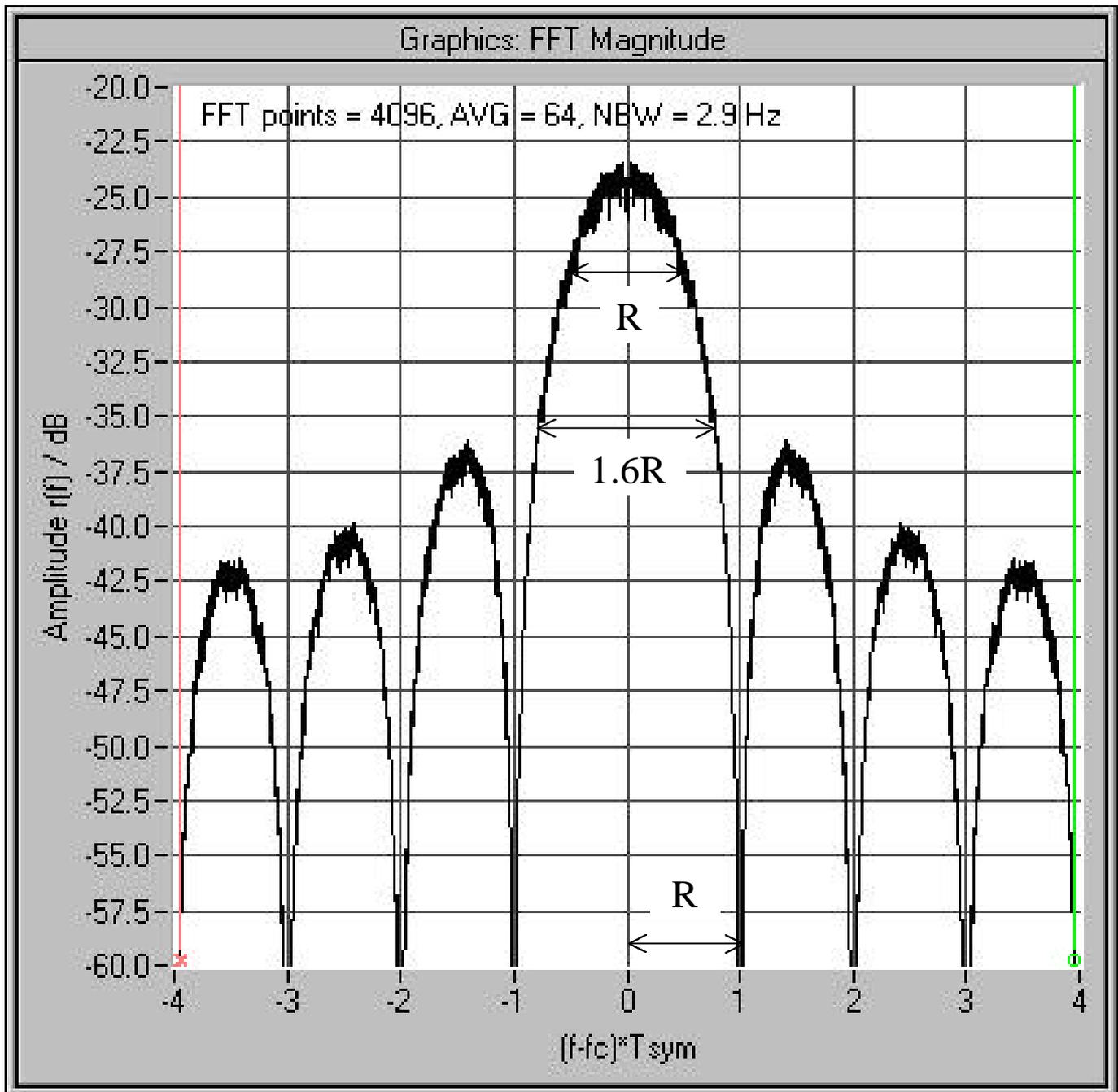


AN : si $T = 0,5 \text{ ms}$

en NRZ binaire : $D = 2000 \text{ bits / s}$ et $R = 2000 \text{ bauds}$

en NRZ quatern. : $D = 2000 \text{ bits / s}$ et $R = 1000 \text{ bauds}$

2.3 Spectre d'un signal NRZ



Puissance dans le lobe principal limité à :

$R \rightarrow -1,1 \text{ dBc}$ soit 77 % de P_o

$1,6 \text{ à } 2 R \rightarrow -0,5 \text{ dBc}$ soit 90 % de P_o

3. SYSTEME DE TX NUMERIQUES RF

3.1 Fonctions à réaliser

- ELABORER DES SIGNAUX NUMERIQUES (production de signaux NRZ)

- CONDITIONNER DES DONNEES (mise en paquets, multiplexage, gestions des trames, ...)

- TRANSMETTRE AUX RF (modulation, ...)

Notes :

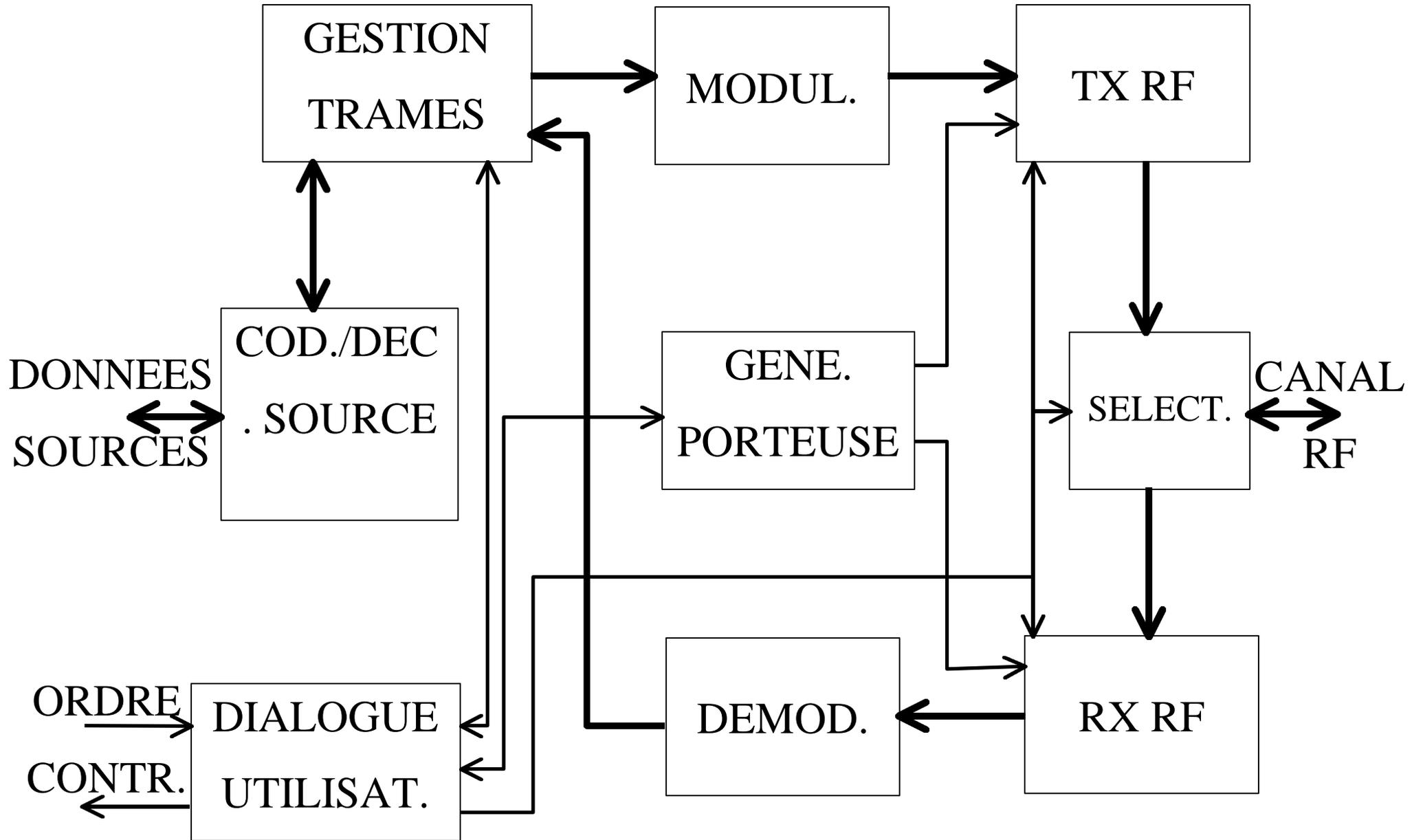
à rajouter

→ FONCTIONS RECIPROQUES POUR LA RECEPTION

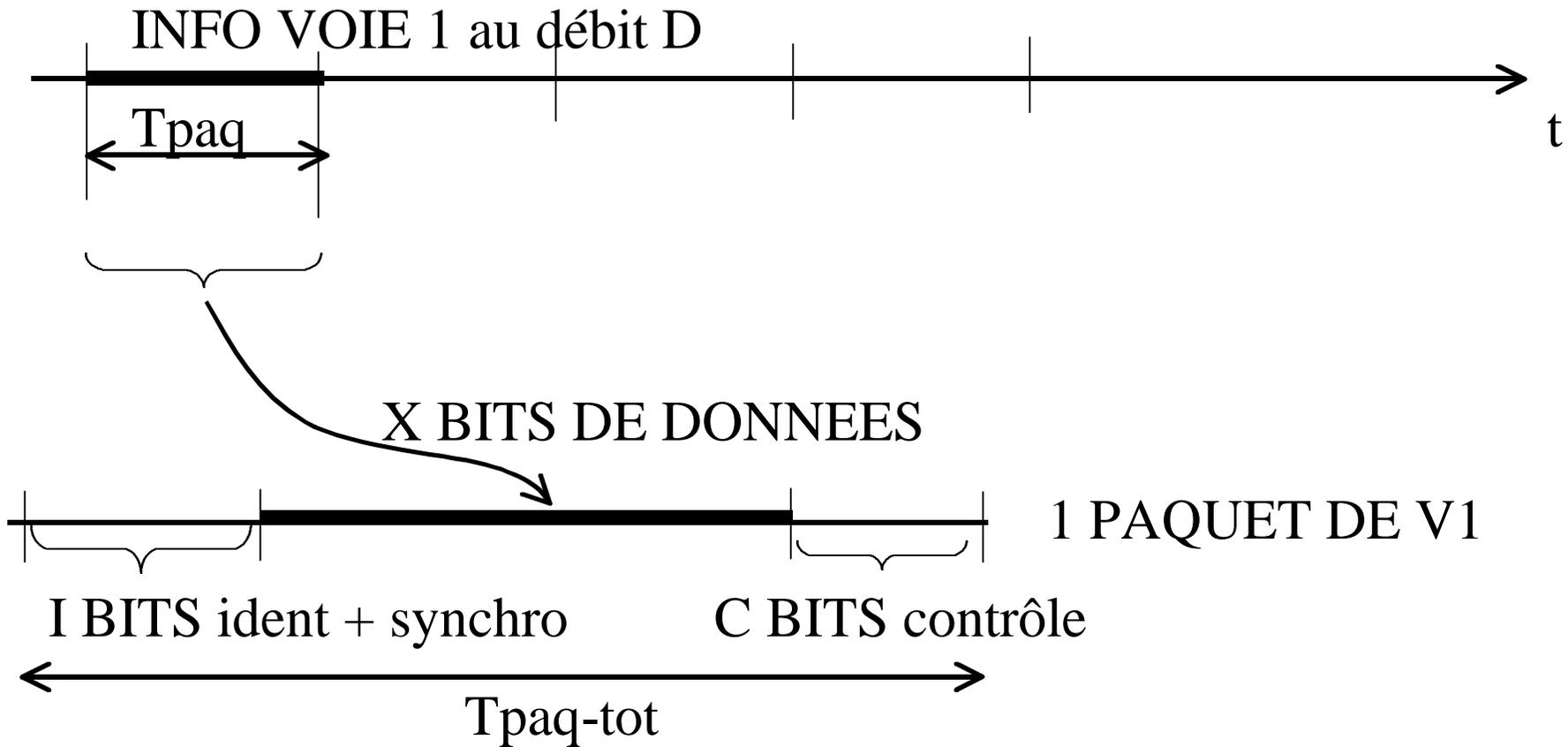
→ DIALOGUER AVEC L'UTILISATEUR

et éventuellement

→ SUPERVISER ET DIALOGUER AVEC LE RESEAU (autorisation, synchronisation, transport, ...)



3.2 Mise en paquets



3.3 Multiplexage

UTILITE → liaisons DUPLEX ou RESEAUX

3 SOLUTIONS sont employées :

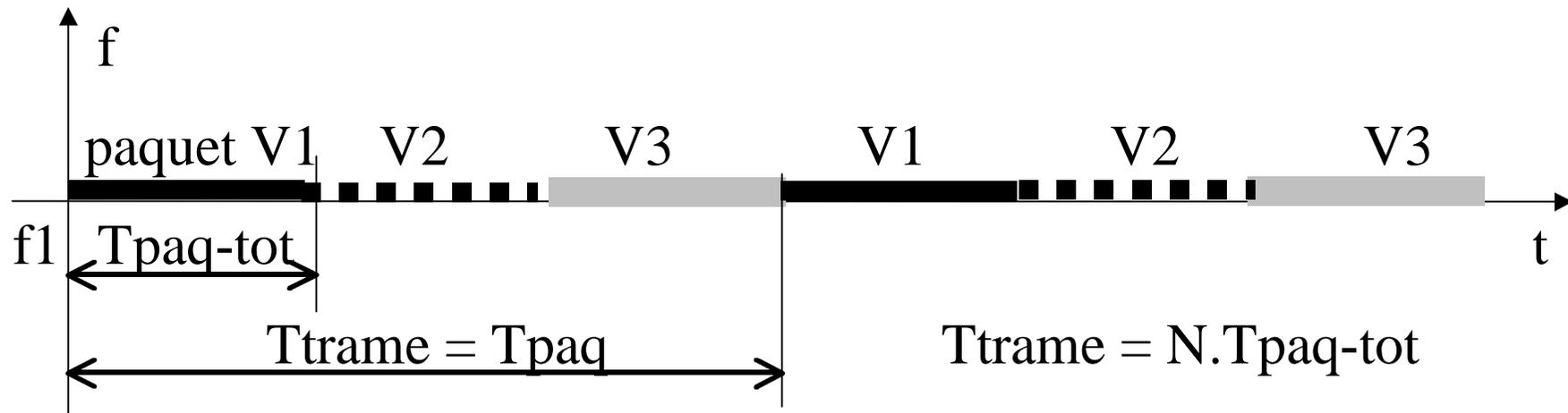
→ **TDMA** : Time Division Multiple Access ou *AMRT*

→ **FDMA** : Frequency Division Multiple Access ou *AMRF*

→ **CDMA** : Code Division Multiple Access ou *AMRC*

TDMA

→ 1 TRAME RESULTANT DU MULTIPLEXAGE TEMPOREL DES
 PAQUETS DES N (3) VOIES NECESSITE 1 SUPPORT PHYSIQUE
 (porteuse à f_1)



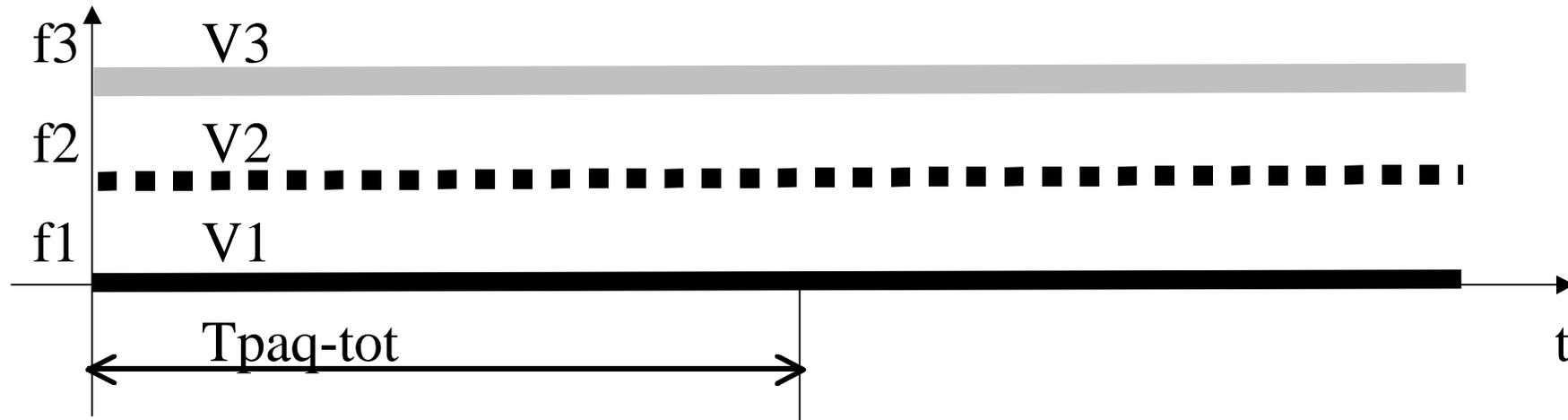
$$T_{\text{trame}} = N \cdot T_{\text{paq-tot}}$$

$$X \cdot (1/D) = N \cdot (X+I+C) \cdot (1/R)$$

si $(I + C) \ll X$ alors $\mathbf{R \approx N \cdot D}$

FDMA

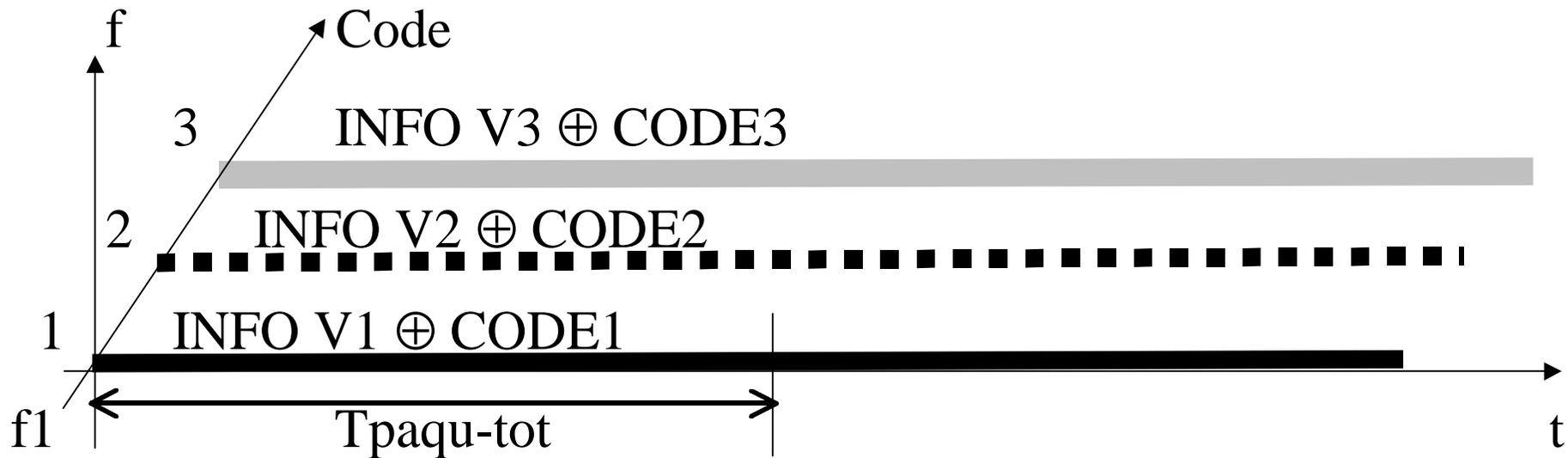
→ LES PAQUETS DES N(3) VOIES SONT MULTIPLEXES VERS
AU MOINS N SUPPORTS PHYSIQUES (porteuses)



si $(I + C) \ll X$ alors $\mathbf{R} \approx \mathbf{D}$

CDMA

→ CHAQUE VOIE, BROUILLÉE PAR UN CODE PROPRE, EST TRANSMISE SUR UN SEUL SUPPORT PHYSIQUE (f_1) EN PERMANENCE



on a $\boxed{\mathbf{Rcode = K.D}}$ ($K \gg 1$)

4. ETALEMENT DE SPECTRE

INTERET :

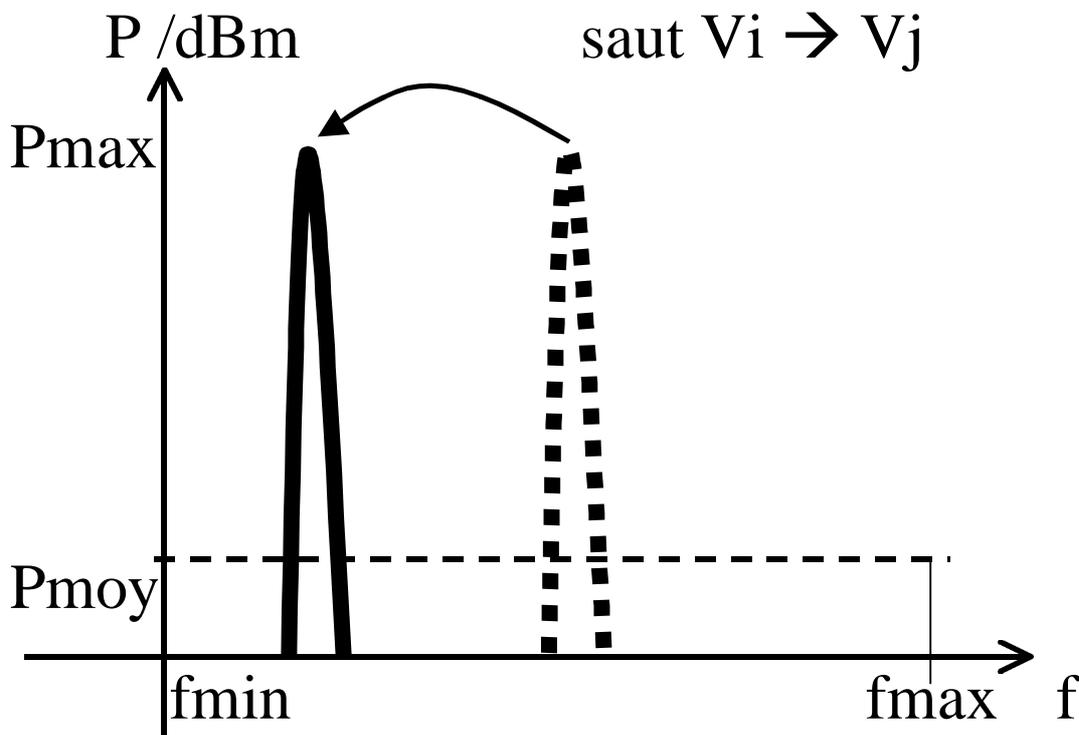
- GRANDE IMMUNITÉ AUX INTERFÉRENCES ET AUX PB DES TRAJETS MULTIPLES
- TRAFIC DENSE
- SYSTÈMES SÉCURISÉS

2 PROCÉDES SONT UTILISÉS :

- PAR SAUT DE FRÉQUENCE (FHSS)
- PAR SÉQUENCE DIRECTE (DSSS)

FHSS

→ LES DONNEES, EN PAQUETS, SONT MULTIPLEXEES EN FDMA ET L'ACCES AUX FREQUENCES SE FAIT DE MANIERE PSEUDO-ALEATOIRE



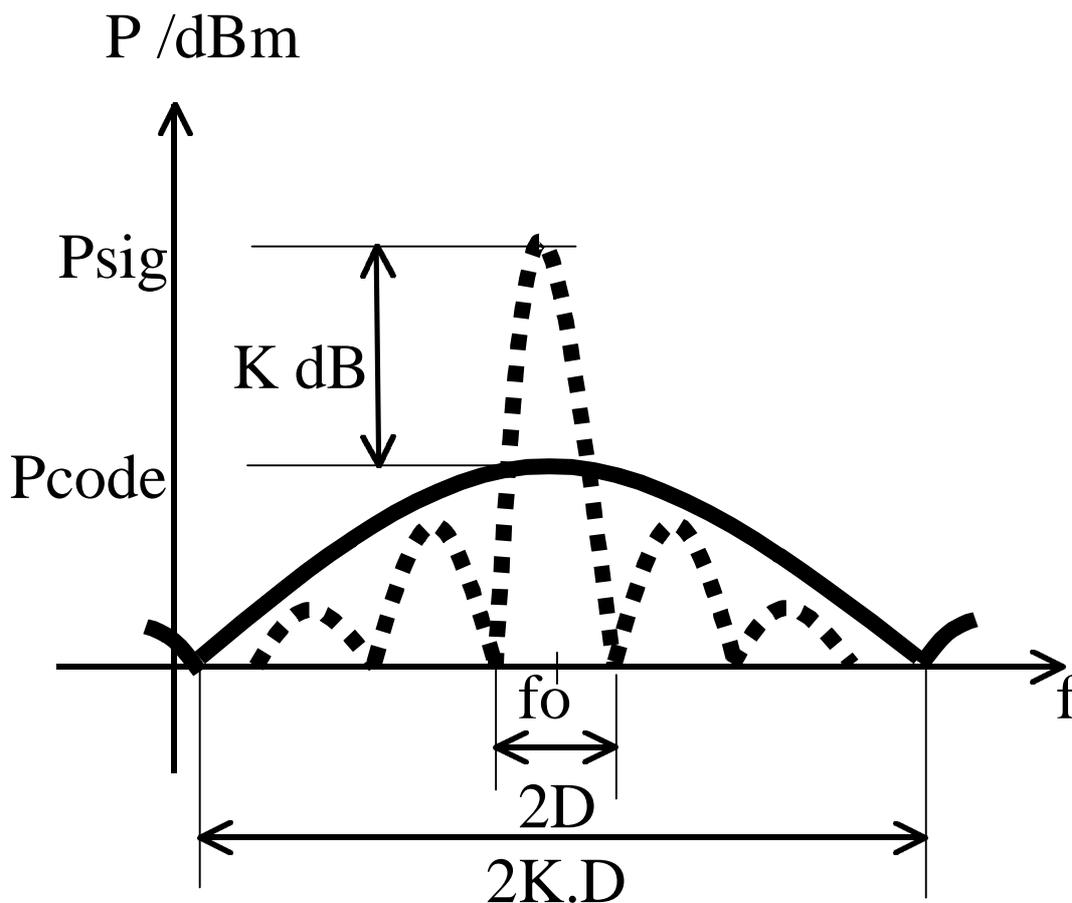
on a $\boxed{P_{moy} = P_{max} / K}$; K voies

P_{moy} : puiss. moy. dans BP du RX

P_{max} : puiss. instantanée quand $F_{RX} = F_{TX}$

DSSS

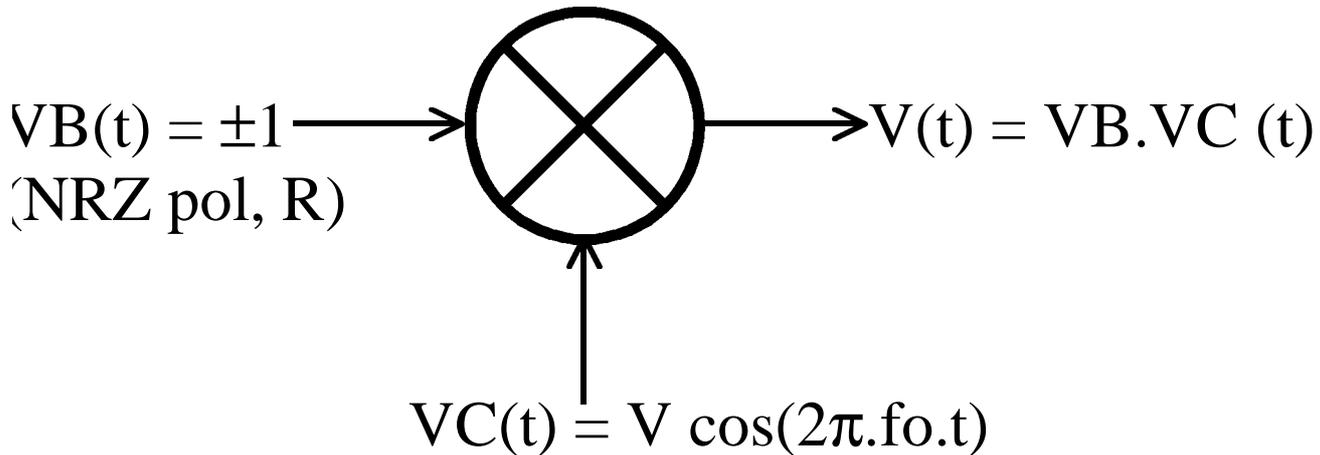
→ LES DONNEES AU DEBIT D SONT
BROUILLEES EN PERMANENCE PAR 1
CODE DE K-ELEMENTS / BIT (CDMA)
GENERE PAR 1 SEQUENCE PSEUDO-
ALEATOIRE



$K \text{ dB}$ est appelé PROCESS GAIN

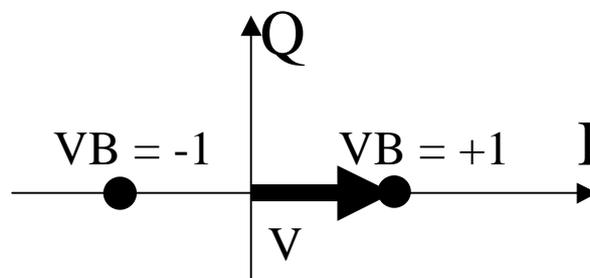
5. STRUCTURES

5.1 Mélangeur équilibré



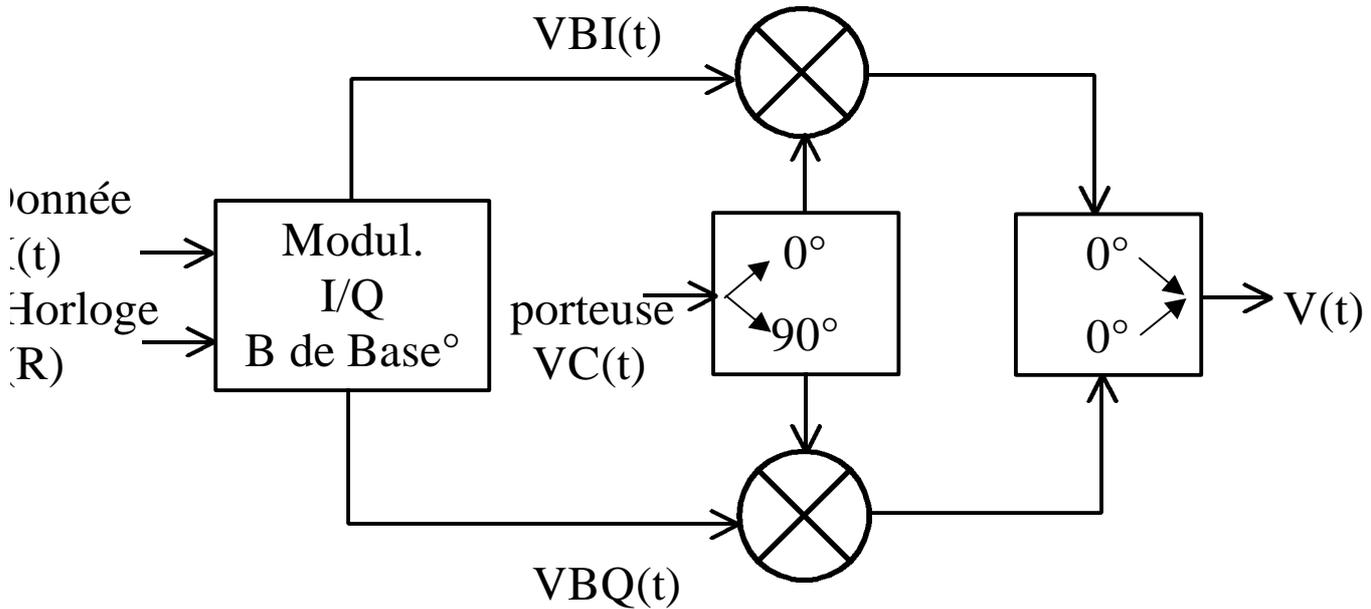
→ $V(t)$ est 1 signal modulé DSB \Rightarrow spectre de V identique à celui de VB , centré sur f_o

→ $V(t)$ est aussi 1 signal modulé en phase à 2 niveaux (BPSK) 0 ou 180°



position de $\underline{V} / \underline{VC}$

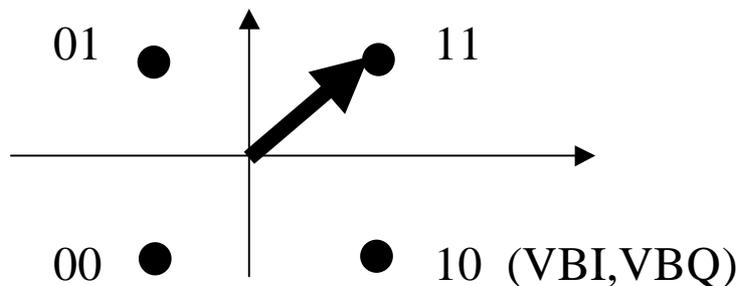
5.2 Modulateur I/Q



$$V(t) = K[VBI(t) \cos(\omega_c t) + VBQ(t) \sin(\omega_c t)]$$

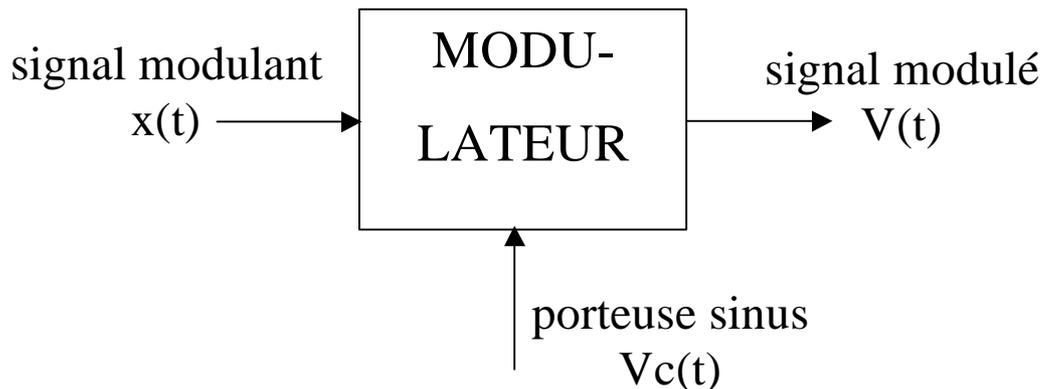
ce modulateur permet de placer \underline{V} n'importe où dans le plan I/Q

→ LA MAJORITE DES MODULATIONS EST POSSIBLE (ASK, PSK, QAM)



6. Modulations discrètes

6.1 Principe



$x(t)$: signal NRZ polaire, débit D et rapidité R

$$V(t) = V_m(t) \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi(t))$$

Principaux types :

→ **ASK** : $V_m(t) = \Delta_V \cdot x(t)$

→ **PSK** : $\varphi(t) = \Delta_\varphi \cdot x(t)$

→ **FSK** : $f(t) = d\varphi(t)/2\pi dt = \Delta_f \cdot x(t)$

→ **QAM** : combinaison ASK + PSK

Δ : excursion du paramètre concerné

On utilise aussi :

- MSK (minimum shift keying) , cas particulier de FSK
- GFSK et GMSK, adjonction d'un filtre gaussien pour $x(t)$

Principaux critères :

- SPECTRE OCCUPE
- IMMUNITÉ AUX INTERFÉRENCES ET TRAJETS MULTIPLES
- TAUX D'ERREURS BINAIRES (*BER*)
- FACILITE DE MISE EN ŒUVRE

6.2PSK

$$V(t) = V \cdot \cos(\omega \cdot t + x(t) \cdot \Delta_\varphi)$$

avec $x(t) = 0, 1, \dots, m-1$ et $\Delta_\varphi = 2\pi/m$

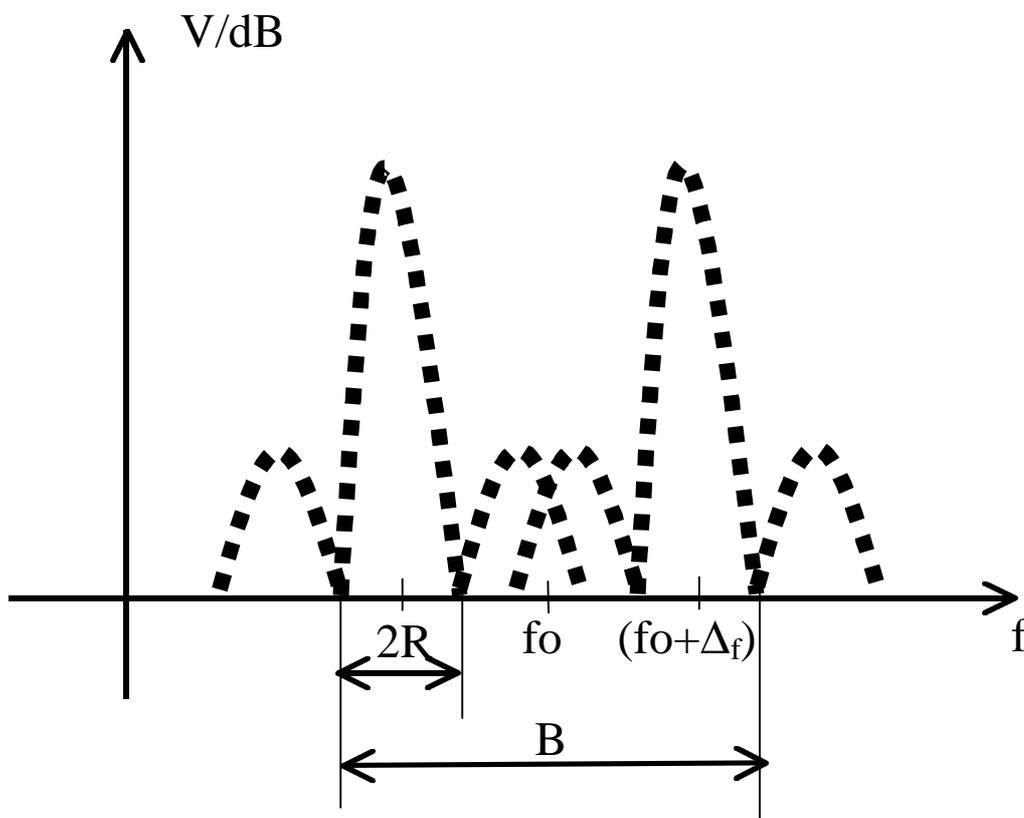
voir cas de la BPSK (Mélangeur équilibré)

6.3 FSK

$$V(t) = V \cdot \cos 2\pi(f_0 + x(t) \cdot \Delta_f) t$$

avec $x(t) = -1$ ou $+1$, $m = 2$ (binaire)

Spectre :



on a $\boxed{B = 2R + 2\Delta_f}$

parfois, on utilise $B = 2R + 1,6\Delta_f$ (Tx NRZ dans 1 bande égale à $R / 1,25$)

6.4 MSK

Dans 1 signal FSK, $\varphi(t) = x(t).2\pi.\Delta_f.t$

avec $x(t) = +/- 1$

MSK \rightarrow cas où Δ_f telle que

$$\Delta\varphi = \pi / 2 = 2\pi \Delta_f / R$$

soit $\Delta_f = R / 4$

et l'indice de modulation

$$m = 2\Delta_f / R = 0,5$$

Avantages de la MSK :

\rightarrow bande passante faible

$$B \approx 2(0,25 + 0,8)R = 2,1R$$

\rightarrow une MSK peut être considérée aussi

comme une PSK à $\pm \pi / 2$

6.5 GMSK et GFSK

→ on insère entre l'entrée $x(t)$ et le modulateur un filtre à réponse gaussienne

$$\underline{H}(f) = \exp(- G (f / B)^2)$$

avec $G = \ln(2) / 2 = 0,347$

et B bande passante (-3dB) du filtre passe-bas

$$h(t) = \exp(- (\pi t B)^2 / G)$$

les modulateurs GMSK sont caractérisés par le produit BT ou B / R

Ex : GMSK 0.5 $\Rightarrow B = 0,5 R$