

Une plateforme de développement rapide pour DSP563xx

Application à l'enseignement des Transmissions Numériques

Jean-Marie ORY

École Supérieure des Sciences et Technologies de l'Ingénieur de Nancy

Centre de Recherche en Automatique de Nancy

Université Henri Poincaré

jean-marie.ory@esstin.uhp-nancy.fr



2

Temps et fréquence dans un système DSP échantillonné



2.1 Introduction

- Les variables Temps et Fréquence apparaissent dans tout système automatisé où ils revêtent une importance fondamentale.
- Il est difficile de les définir dans l'absolu:
 - Le temps est une variable continue
 - Une date est un échantillon du temps
 - Une durée est une différence entre deux dates
 - Une période d'un phénomène, la durée minimale et $\neq 0$ après lequel il se retrouve dans le même état.
 - Une fréquence, l'inverse d'une période ... ?

2.1 Introduction Mesure ou analyse de la fréquence

- Signaux non stationnaires:
 - Transformée de Fourier à court terme,
 - T. de Wigner-Ville,
 - T. en Ondelettes
- Signaux stationnaires:
 - Analyse de Fourier sur une grande durée
- Signaux périodiques:
 - Échantillonnage aux passages par 0, quantification
- Signaux « quasi déterministes » dent de scie ou complexe
 - Estimation possible de la fréquence instantanée

2.1 Rappels sur la Transformée de Fourier Discrète (TFD)

- Définition:
- temporel $\{x_k\} \leftrightarrow$ fréquentiel $\{X_n\}$ $k,n=0..(N-1)$
- $X_n = \sum x_k \exp(-j2\pi nk/N)$ $x_k = (1/N) \sum X_n \exp(+j2\pi nk/N)$
- Echantillonnage \Rightarrow La TFD est périodique de période N
- TFD discrète \Rightarrow elle représente la T.F. de la version périodique de période N du signal temporel
- FFT = Procédé de calcul rapide (Cooley & Tuckey)

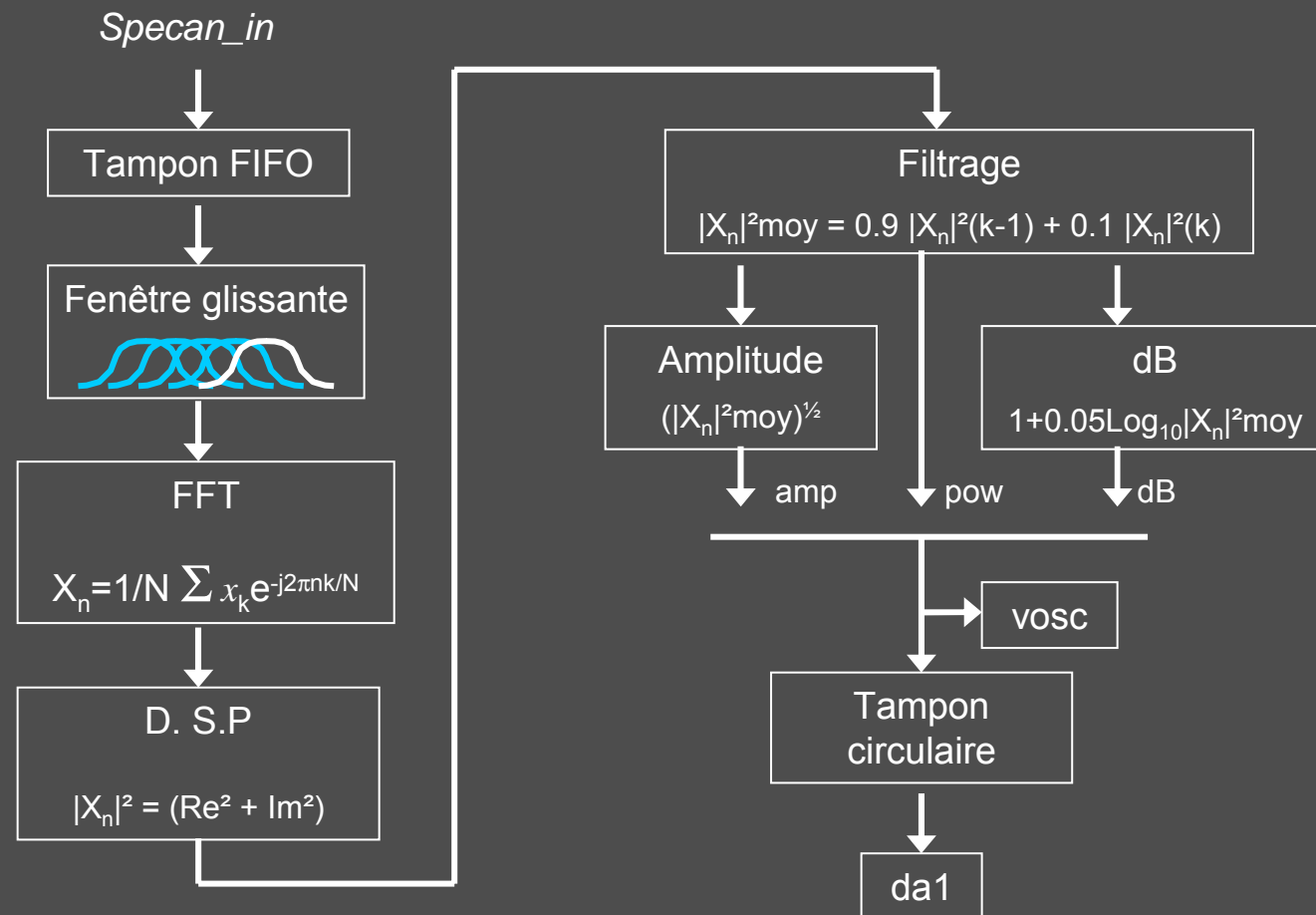
- N points temporels \Rightarrow segment de durée NTe
- N points fréquentsiels \Rightarrow chaque point représente F_e/N
- Le spectre d'un signal réel est pair (symétrique)

2.1 Rappels sur la Transformée de Fourier Discrète (TFD)

Le spectre

- Spectre = estimation de la *densité spectrale de puissance moyenne*, soit
- $S_n = ||X_n||^2_{\text{moyen}}$
- On le représente habituellement en dB $10\log (S_n/P_{\text{ref}})$
- Ainsi, en soustrayant le spectre de l'entrée au spectre de la sortie, on obtient le gain en dB en fonction de la fréquence (diagramme de Bode)
- La troncature du signal par segments de N points produit un étalement des raies empêchant d'observer de petites raies proches de grandes raies.
- On y remédie en pondérant le segment de N points par une fenêtre savamment calculée (Hann, Hamming, Blackman, Kaiser, Dolph)

2.2 L'analyseur de spectre specan de fibula ...

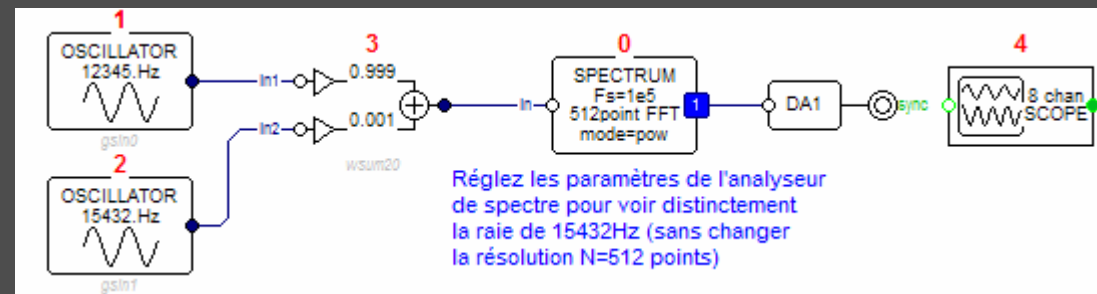


2.2 L'analyseur de spectre specan de FIBULA

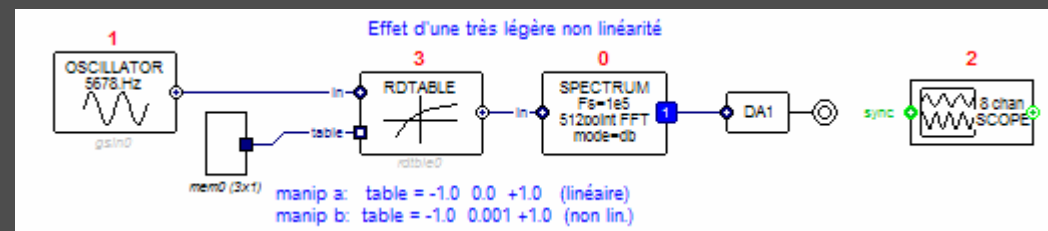


- Le programme specan s'exécute en tâche de fond.
- Les blocs fonctionnels s'exécutent dans l'ISR d'échantillonnage des entrées / sorties.
- Seuls les registres utilisés par les blocs sont sauvés et restaurés durant l'interruption.

2.2 L'analyseur de spectre specan de fibula



Démonstration de l'utilité des fenêtres



Preuve de non linéarité si observation d'harmoniques

2.3 Système échantillonné à temps déterministe

- Hypothèses:
- Fréquence d'échantillonnage F_e parfaitement stable.
- Échantillonnage rigoureux des Entrées / Sorties.
- Algorithme unique exécuté à chaque échantillon, et Indépendant du matériel.
- Alors:
Tout accès au temps est de nature logicielle et s'appuie uniquement sur la connaissance de la période d'échantillonnage T_e et du numéro de l'échantillon n .

2.3 Système échantillonné: Principe d'une temporisation

- A chaque échantillon, incrémenter une variable S d'une quantité Δ jusqu'à atteindre le terme S_{\max}

Départ:

$$S = S_{\min}$$

A chaque échantillon:

$$S = S + \Delta$$

Fin lorsque:

$$S \geq S_{\max}$$

S_{\min} ou S_{\max} variables:

linéarité en temps

Δ variable:

linéarité en fréquence

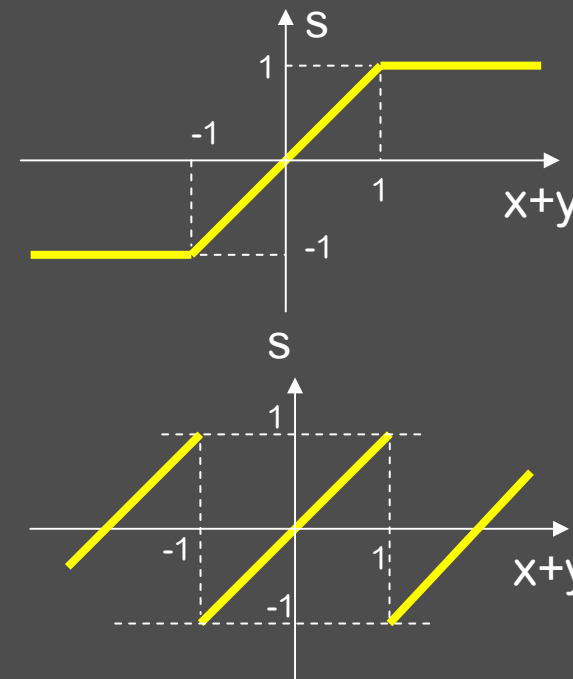
NB:

Les variables ci-dessus ne sont pas obligatoirement des entiers.

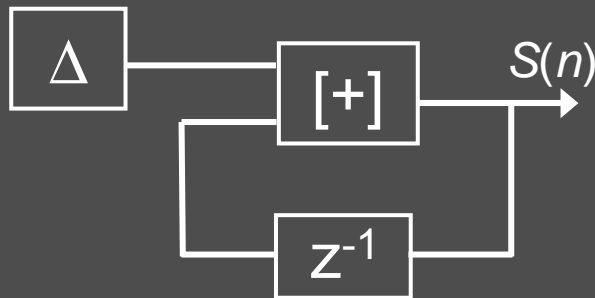
L'arithmétique fractionnaire des DSP offre des possibilités plus riches.

2.3 Système échantillonné: Addition en arithmétique fractionnaire

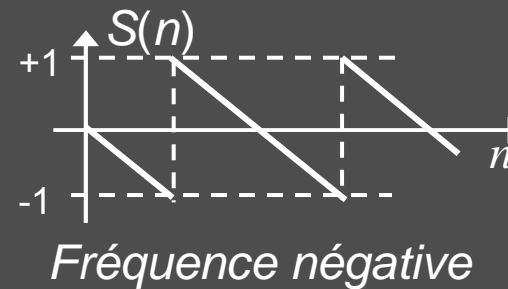
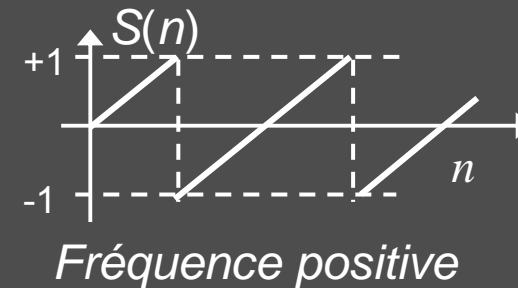
- Nombres fractionnaires $\in [-1 .. +1[$
- Soit $s = x + y$
- Addition avec saturation
 - si $x+y < -1$ alors $s = -1$
 - si $x+y \geq +1$ alors $s = 1-\epsilon$
- Addition avec débordement:
 - si $x+y < -1$ alors $s = x+y+2$
 - si $x+y \geq +1$ alors $s = x+y -2$



2.3 Système échantillonné: accumulation dans l'espace cyclique fractionnaire



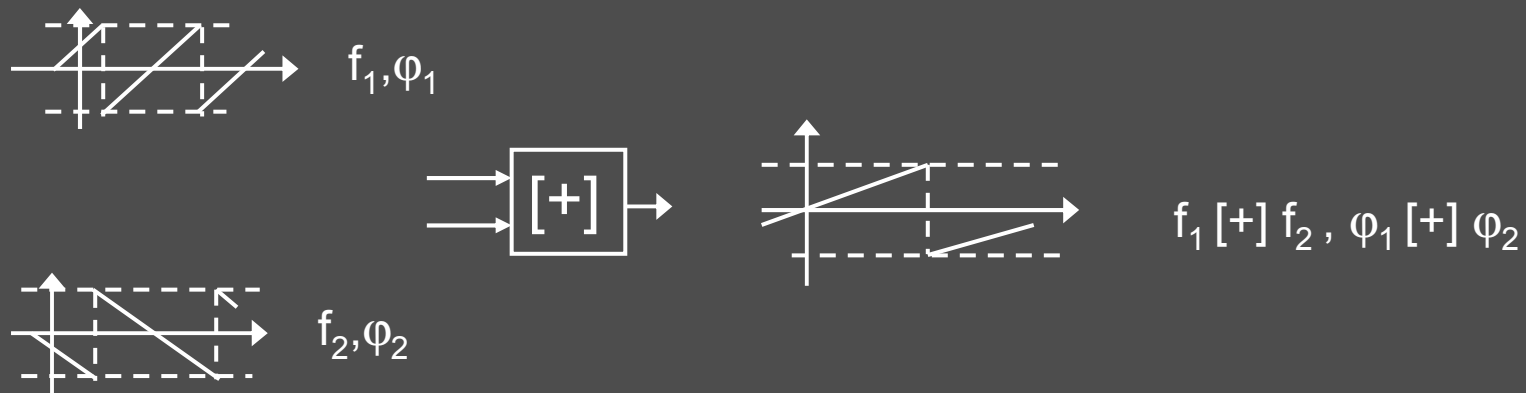
$$\begin{aligned} f_{\text{abs}} &= \Delta * Fe / 2 \\ f_{\text{rel}} &= \Delta \end{aligned}$$



Notes:

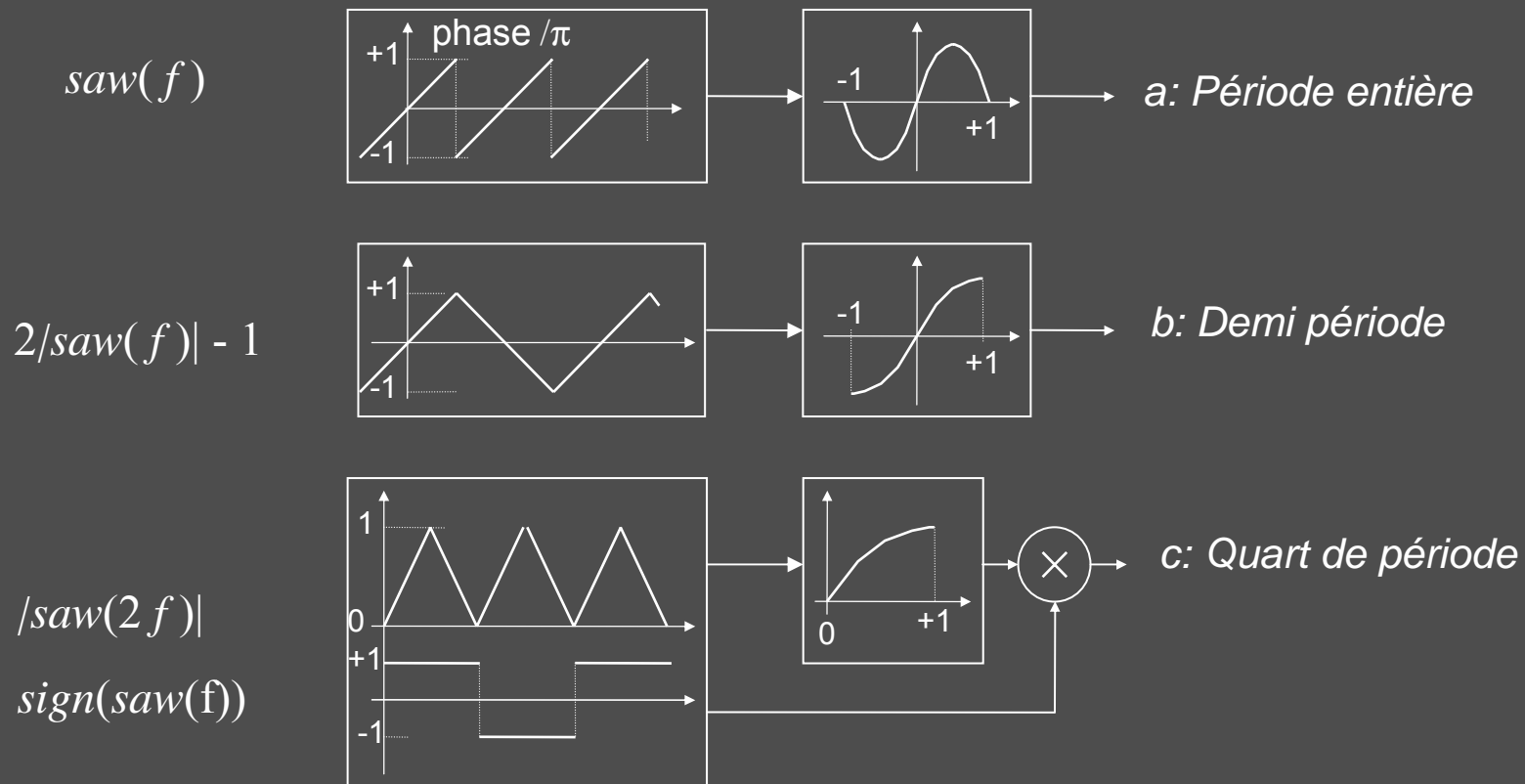
- Contrairement au signal en créneaux, la position de la discontinuité est connue
- Bien que le signal $S(n)$ soit réel, la notion de *fréquence signée* est sensée.
- **La résolution en fréquence ne dépend que de la taille des mots additionnés, elle n'est pas limitée. La précision et la stabilité ne dépendent que de l'horloge d'échantillonnage.**

2.3 Système échantillonné: Propriétés de l'addition cyclique



L'addition cyclique de deux dents de scie de fréquences f_1 et f_2 et de valeurs initiales (« phases ») φ_1 et φ_2 donne lieu à une dent de scie de fréquence $(f_1 [+] f_2)$ et de phase $(\varphi_1 [+] \varphi_2)$.

2.3 Système échantillonné: Génération d'une sinusoïde à l'aide d'une table interpolée

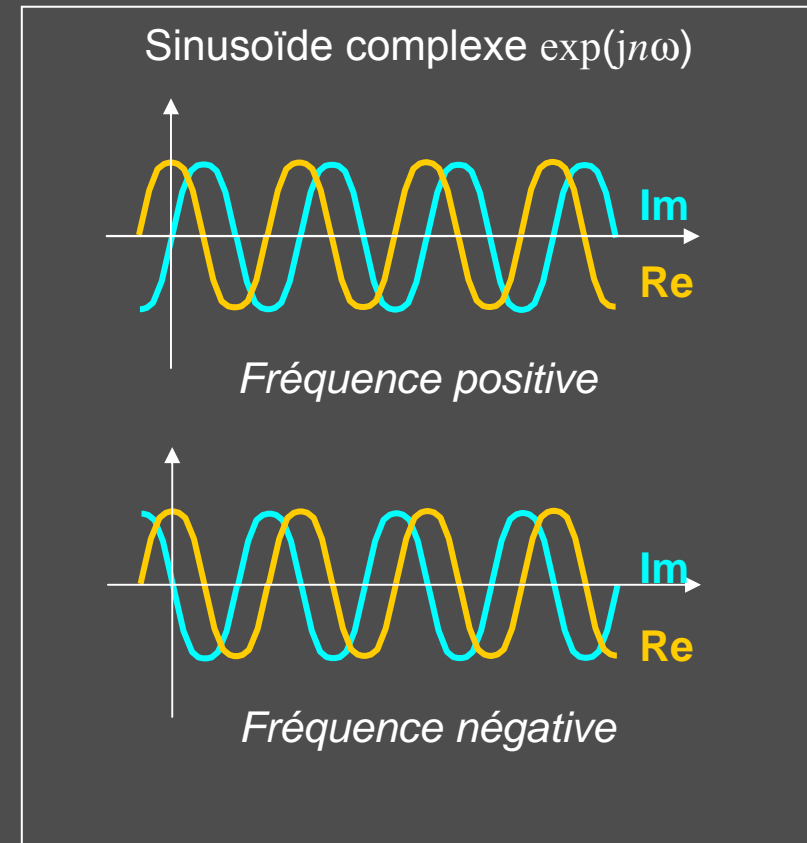


2.4 Signaux complexes échantillonnés...

- De la forme:
$$x_n = a_n \exp j\theta_n$$
- Incrément angulaire à l'instant n :
$$\omega_n = \theta_n - \theta_{n-1} ; \omega_n \in [-\pi .. \pi[$$
- Fréquence instantanée à l'instant n :

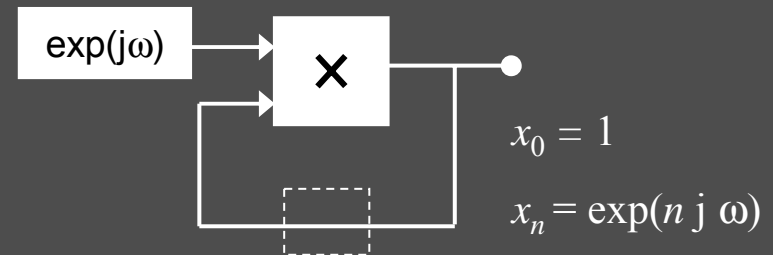
Relative: $f_{rel}(n) = \omega_n / \pi$

Absolue: $f_{abs}(n) = F_e \omega_n / 2\pi$

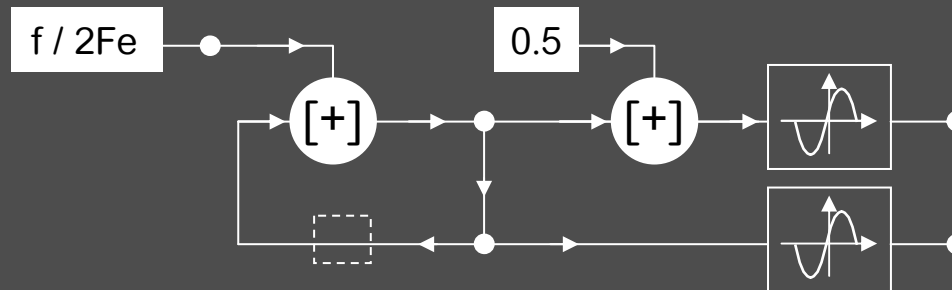


2.4 Signaux complexes échantillonnés

Obtention d'un signal diphase

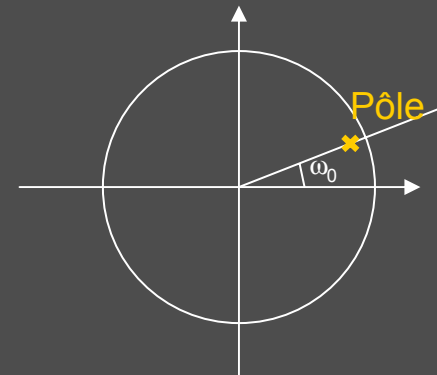
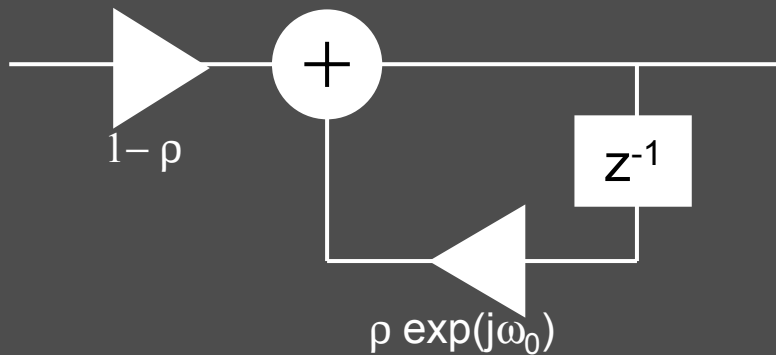


Fréquence fixe: oscillateur complexe



Fréquence variable: à partir de dents de scie

2.4 Signaux complexes échantillonnés: passe-bande unilatéral du 1^{er} ordre

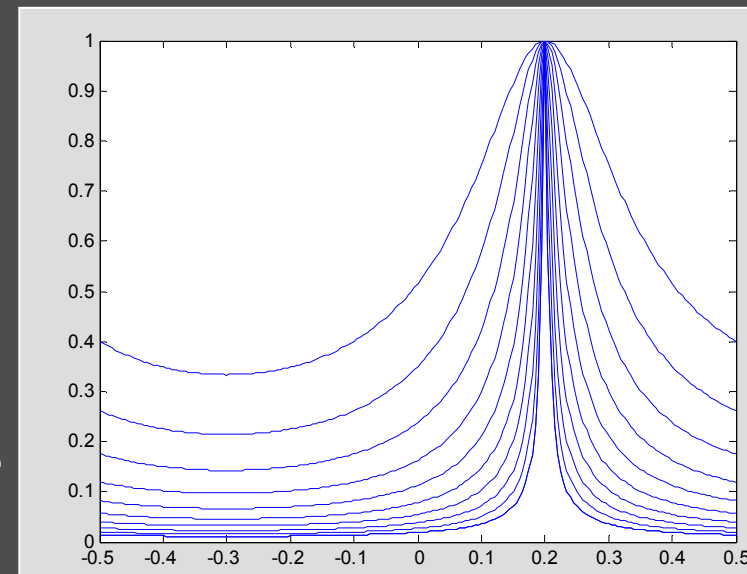


$$H(z) = \frac{(1-\rho)z}{z - \rho e^{j\omega_0}}$$

$$B \approx F_e(1-r)/p$$

Résonance à $0.2F_e$

Bandes passantes en suite
géométrique de raison 0.5

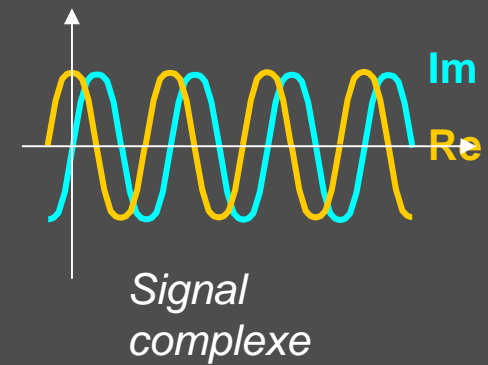
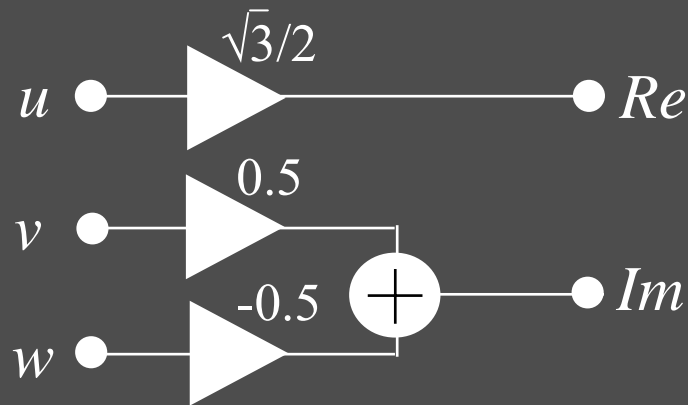
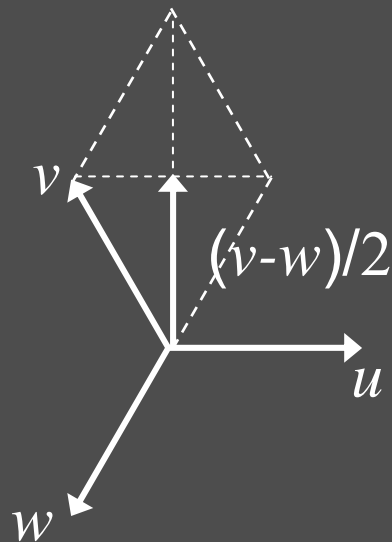


2.4 Signaux complexes échantillonnés:

Application industrielle

Mesure des vibrations angulaires d'un alternateur par analyse de la fréquence instantanée du signal triphasé. CRAN – ALSTHOM EGT (1990)

- a) Transformation Triphasé \rightarrow Diphasé



2.4 Signaux complexes échantillonnés:

Mesure des vibrations angulaires d'un alternateur par analyse de la fréquence instantanée du signal triphasé

- b) Calcul de la fréquence instantanée

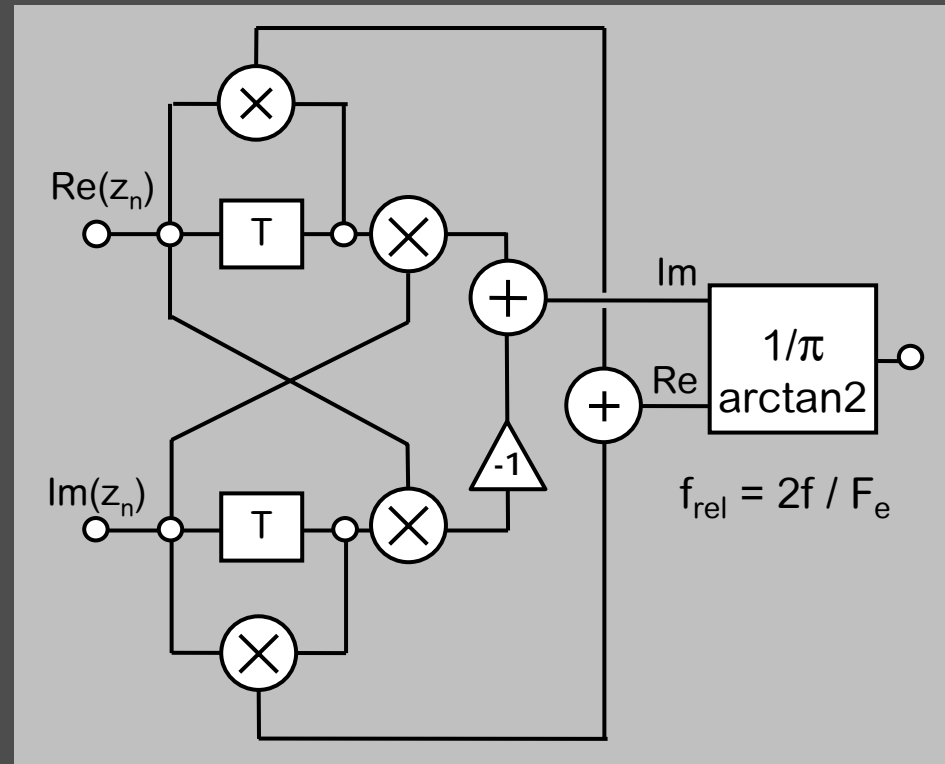
$$z_n = a \cdot \exp(j\theta_n) \quad \text{signal diphasé}$$

$$f_n = \omega_n / 2\pi$$

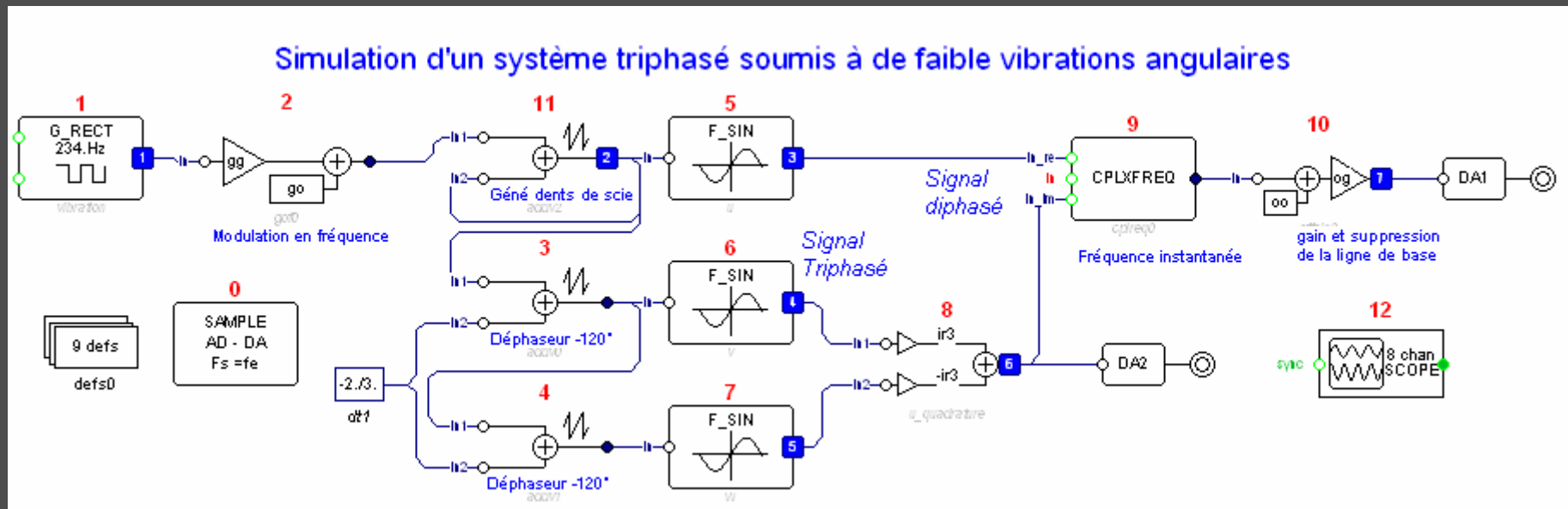
$$\omega_n = d\theta / dt \approx (\theta_n - \theta_{n-1}) / T_e$$

$$f_n = (\theta_n - \theta_{n-1}) F_e / 2\pi$$

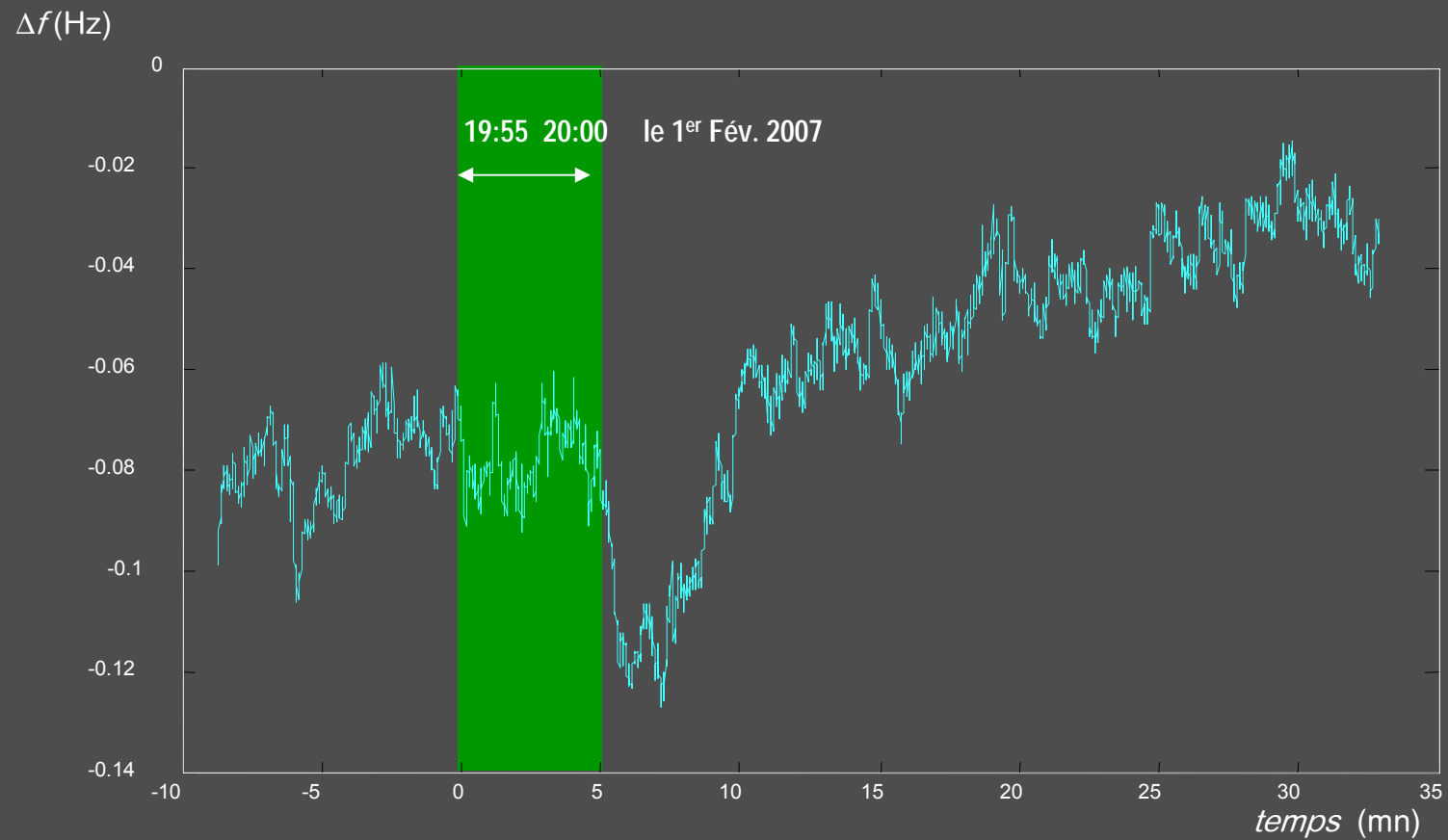
$$f_n = \text{Arg}(z_n \cdot z_{n-1}^*) F_e / 2\pi$$



2.4 Signaux complexes échantillonnés: Mesure des vibrations angulaires d'un alternateur: Simulation en Temps Réel



Monitoring de la fréquence instantanée du secteur triphasé



2.5 Convertisseur SELCAL DTMF

Codes SELCAL

- Les codes SELCAL sont utilisés pour l'adressage de talkie-walkies fonctionnant tous sur la même fréquence.
- Il s'agit en général d'une séquence de 5 tonalités, chacune pouvant prendre 16 valeurs. Le code est donc un nombre à 5 chiffres hexadécimaux.
- Les chiffres A à F codent des fonctions spéciales (ex: appel de groupe ou répétition d'un chiffre)

2.5 Fréquences SELCAL

Digit	CCIR	EEA	EIA	ZVEI I	ZVEI II	ZVEI III	DZVEI	PZVEI
0	1981 Hz	1981 Hz	600 Hz	2400 Hz	2400 Hz	2400 Hz	2200 Hz	2400 Hz
1	1124 Hz	1124 Hz	741 Hz	1060 Hz	1060 Hz	1060 Hz	970 Hz	1060 Hz
2	1197 Hz	1197 Hz	882 Hz	1160 Hz	1160 Hz	1160 Hz	1060 Hz	1160 Hz
3	1275 Hz	1275 Hz	1023 Hz	1270 Hz	1270 Hz	1270 Hz	1160 Hz	1270 Hz
4	1358 Hz	1358 Hz	1164 Hz	1400 Hz	1400 Hz	1400 Hz	1270 Hz	1400 Hz
5	1446 Hz	1446 Hz	1305 Hz	1530 Hz	1530 Hz	1530 Hz	1400 Hz	1530 Hz
6	1540 Hz	1540 Hz	1446 Hz	1670 Hz	1670 Hz	1670 Hz	1530 Hz	1670 Hz
7	1640 Hz	1640 Hz	1587 Hz	1830 Hz	1830 Hz	1830 Hz	1670 Hz	1830 Hz
8	1747 Hz	1747 Hz	1728 Hz	2000 Hz	2000 Hz	2000 Hz	1830 Hz	2000 Hz
9	1860 Hz	1860 Hz	1869 Hz	2200 Hz	2200 Hz	2200 Hz	2000 Hz	2200 Hz
A	2400 Hz	1055 Hz	2151 Hz	2800 Hz	885 Hz	885 Hz	825 Hz	970 Hz
B	930 Hz	930 Hz	2433 Hz	810 Hz	825 Hz	810 Hz	740 Hz	810 Hz
C	2247 Hz	2400 Hz	2010 Hz	970 Hz	740 Hz	2800 Hz	2600 Hz	2800 Hz
D	991 Hz	991 Hz	2292 Hz	885 Hz	680 Hz	680 Hz	885 Hz	885 Hz
E	2110 Hz	2110 Hz	459 Hz	2600 Hz	970 Hz	970 Hz	2400 Hz	2600 Hz
F	1055 Hz	2247 Hz	1091 Hz	680 Hz	2600 Hz	2600 Hz	680 Hz	680 Hz

2.5 Codes DTMF

- Le codage DTMF consiste en un couple de fréquences représentant la numérotation du téléphone

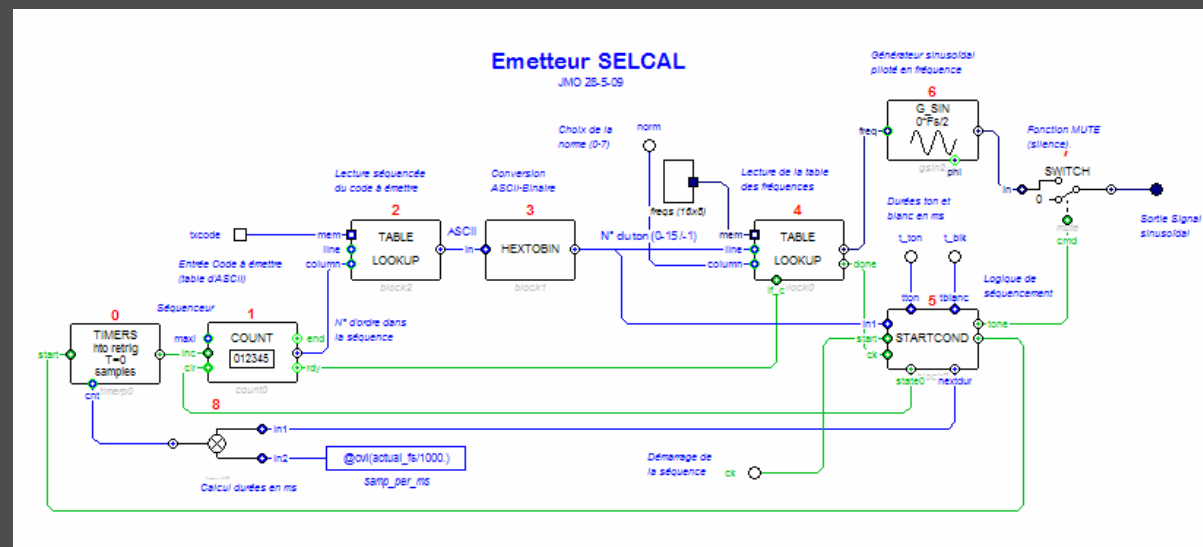
$F_L \setminus F_C$	1209 Hz	1336 Hz	1477 Hz	1633 Hz
697 Hz	1	2	3	A
770 Hz	4	5	6	B
852 Hz	7	8	9	C
941 Hz	*	0	#	D

2.5 Réception SELCAL

- La durée des salves SELCAL peut être très brève (20ms par ton)
- Compte tenu de l'espacement des fréquences, on ne peut pas utiliser de filtres pour détecter les tons.
- Solution: mesure directe de la période avec interpolation pour la détermination précise des passages par 0

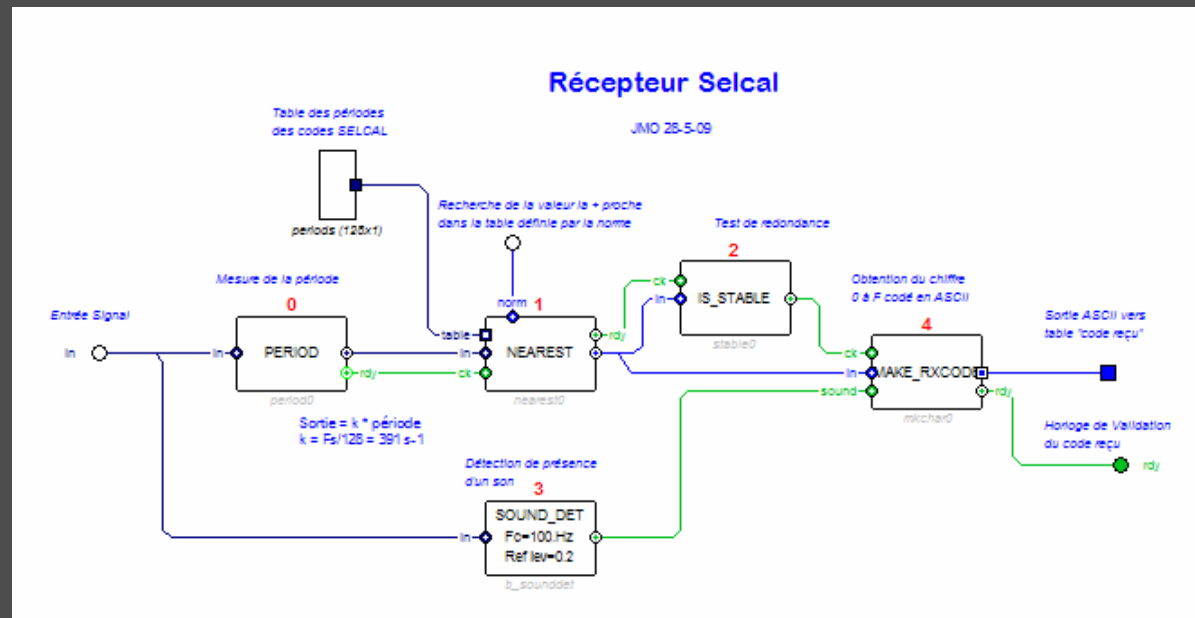
2.5 Convertisseur SELCAL DTMF

Emetteur SELCAL

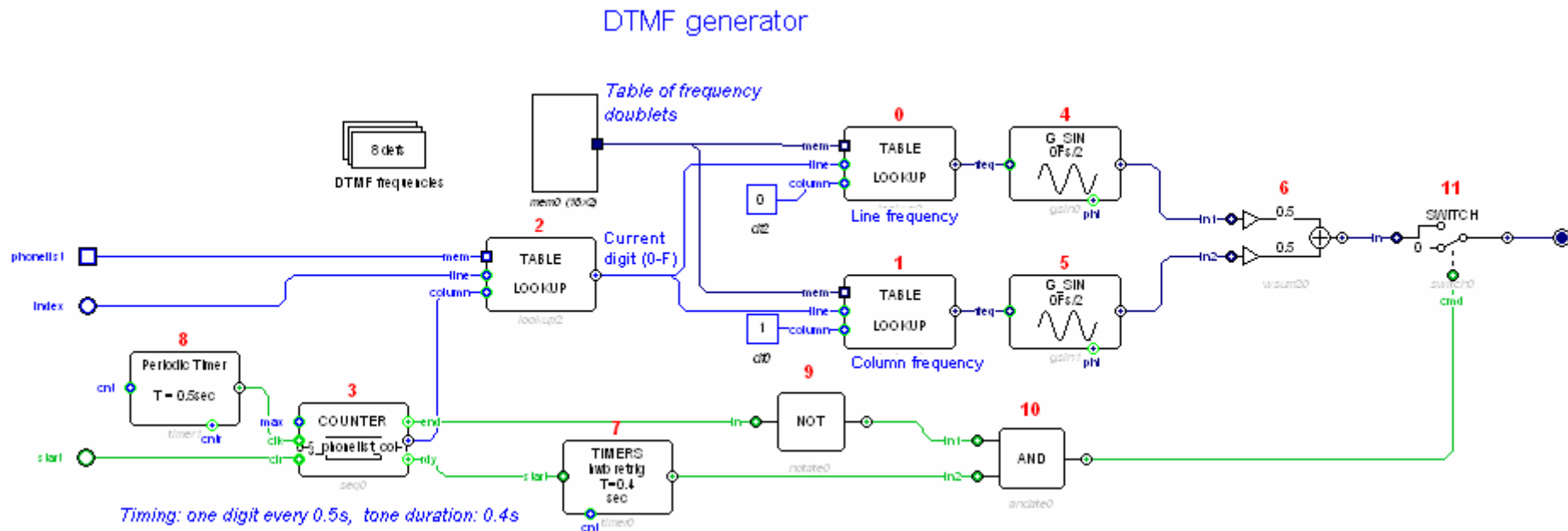


2.5 Convertisseur SELCAL DTMF

Récepteur SELCAL

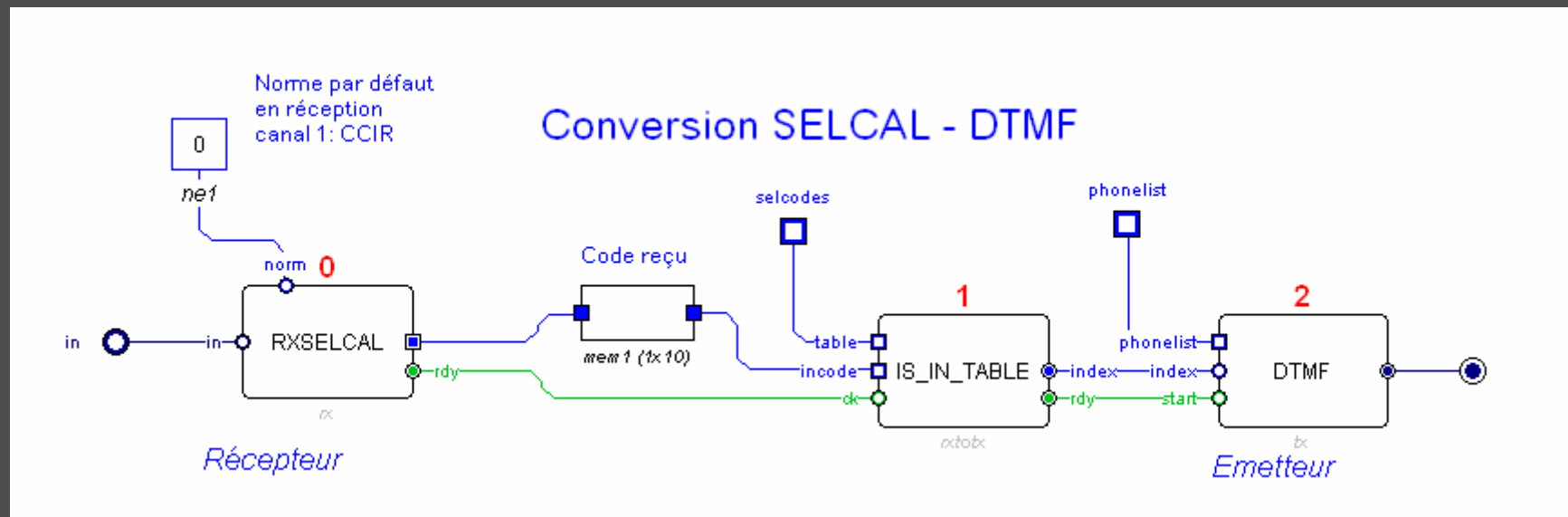


2.5 Convertisseur SELCAL DTMF Générateur DTMF



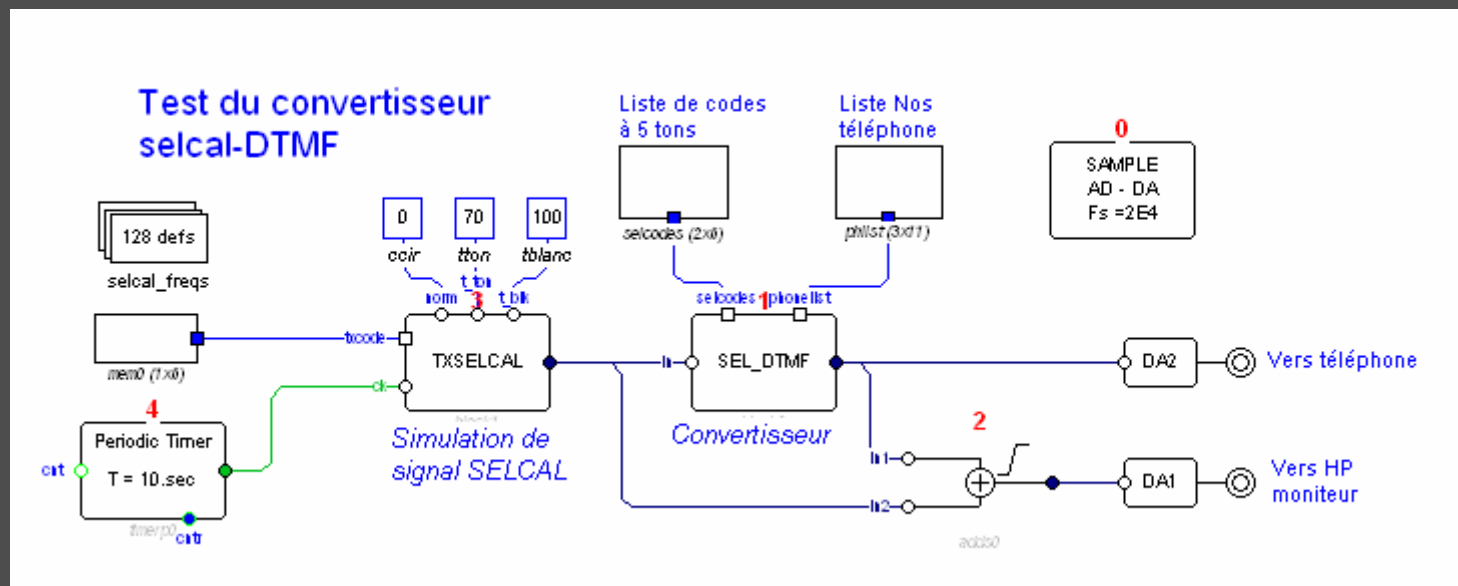
2.5 Convertisseur SELCAL DTMF

Schéma général

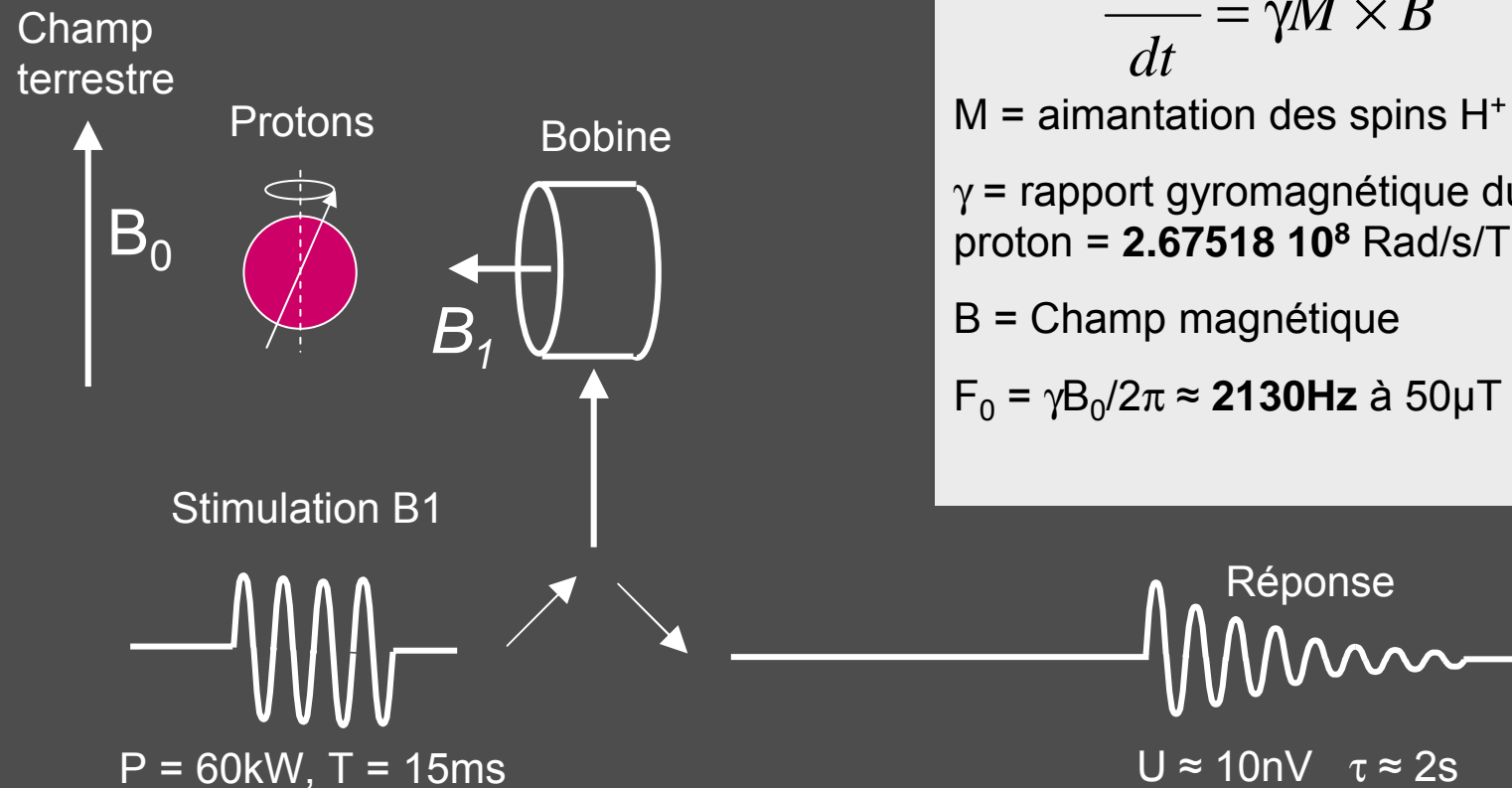


2.5 Convertisseur SELCAL DTMF

Circuit de test



2.6 Détection des nappes aquifères par RMN en champ terrestre (Projet Européen MAGWAT, collaboration RMSB Bordeaux)



$$\frac{d\vec{M}}{dt} = \gamma \vec{M} \times \vec{B}$$

M = aimantation des spins H^+

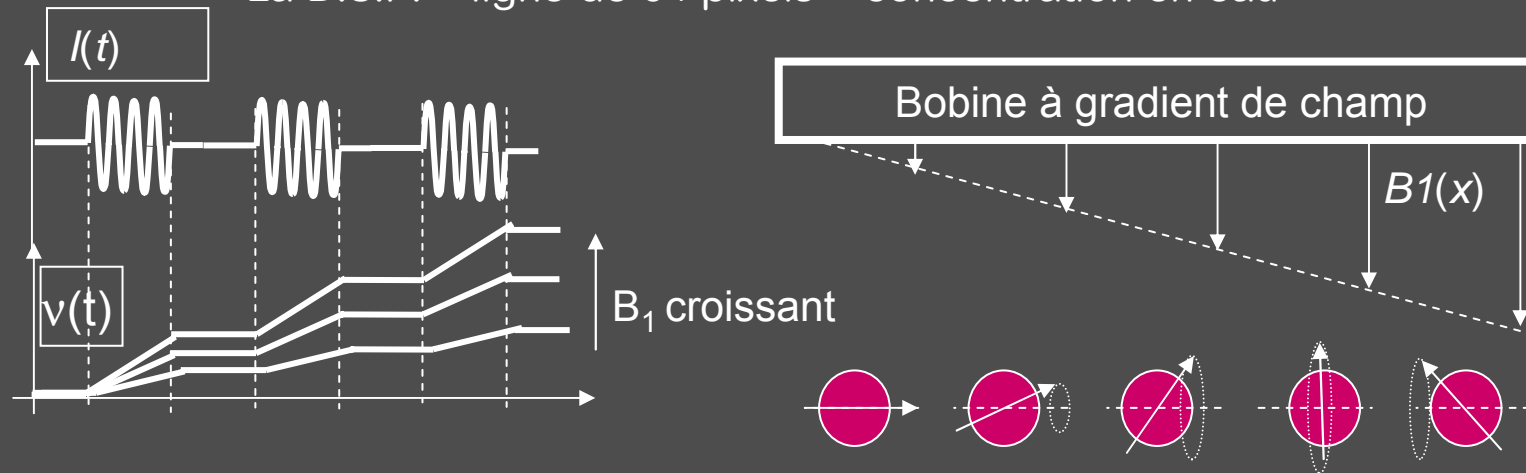
γ = rapport gyromagnétique du proton = **$2.67518 \cdot 10^8$ Rad/s/T**

B = Champ magnétique

$F_0 = \gamma B_0 / 2\pi \approx$ **2130Hz** à $50\mu\text{T}$

2.6 Détection des nappes aquifères par RMN ...

- Imagerie RMN en champ terrestre:
 - Suite de 64 impulsions cohérentes, analyse du signal reçu entre chaque impulsion.
 - Bobine à gradient de champ B_1 → encodage spatial des spins
 - T. de Fourier Discrète (signal échantillonné entre chaque impulsion)
 - La D.S.P. = ligne de 64 pixels = concentration en eau


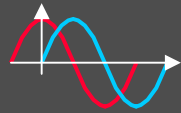


Encodage spatial des spins à la $n^{\text{ème}}$ impulsion:
La fréquence de nutation dépend de l'abscisse

2.6 Détection des nappes aquifères par RMN.

- La faisabilité du projet a été démontré en simulation, et à l'aide d'une maquette au 1:100^{ème} avec $B_0 = 4,7\text{T}$ (rapport signal/bruit bien plus favorable dans ce cas 😊)
- En champ terrestre, la détection du signal RMN a été possible, mais seulement à plus d'un km de toute ligne électrique 50Hz.
- En mode imagerie, le rapport signal sur bruit dû aux bruits des commutations de puissance est tel qu'il nous a été impossible de détecter le signal.

Annexe: Résumé des propriétés des fonctions saw et sincos

	saw 	sincos 
Génération	$\Delta = 2f / F_s$ $S_k = S_{k-1} [+]\Delta$	$S_0=1; \omega=2\pi f / F_s$ $S_k = S_{k-1}^* \exp(j\omega)$
Somme de fréquences	$S=S_1 [+]\ S_2$ ou $\Delta = \Delta_1 [+]\ \Delta_2$	$S = S_1^* S_2$ ou $\omega = \omega_1 + \omega_2$
Fréquence instantanée	$f_k = F_s/2 (S_k[-]S_{k-1})$	$f_k = F_s/2\pi \text{Arg}(S_k S_{k-1}^*)$
Déphasage $\phi=-1..+1 \quad \varphi=-\pi..+\pi$	$S(f,\phi) = S(f,0) [+]\ \phi$ $\phi(S_2,S_1) = S_2[-]S_1$	$S(f,\varphi) = S(f,0)^* e^{j\varphi}$ $\varphi(S_1,S_2)=\text{Arg}(S_1 S_2^*)$
Conversion	Sincos \rightarrow Saw $1/\pi \text{Arctan2}(\text{Im},\text{Re})$	Saw \rightarrow Sincos $\text{Re} = \text{Sin}(\pi \text{Saw}[+]0.5)$ $\text{Im} = \text{Sin}(\pi \text{Saw})$

Adresses utiles

ESSTIN

École Supérieure des Sciences et Technologies de
l'Ingénieur de Nancy

2 rue Jean Lamour 54519 Vandœuvre lès Nancy

www.esstin.uhp-nancy.fr

JM Ory

Tél. +33 (0) 3 83 68 51 33



DIDALAB

Z.A. de la Clef Saint Pierre

5, rue du groupe Manoukian

Tel. : +33 (0) 1.30.66.59.63

Fax. : +33 (0) 1.30.66.72.20

Mail : ge@didalab.fr

Web : www.didalab.fr



IFETURA-EU département Arnatronic

2 rue du Mad 54530 Arnaville

www.arnatronic.com

Tél. +33 (0) 3 83 80 02 02



IFETURA - ARNATRONIC