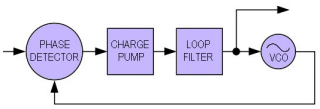
Chapitre 3
PLL : Phase Locked Loop
Boucle à verrouillage de phase

université PARIS-SACLAY — IUT DE CACHAN

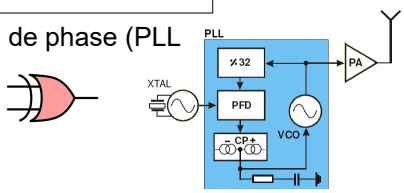
DUT GEii S3 — Module SEI

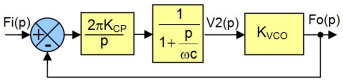
Chap. 3.1 : Introduction, Principe & Modélisation d'une PLL

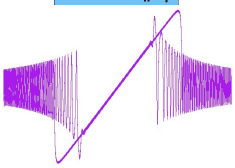


Plan de la présentation

1. Introduction & principe d'une boucle à verrouillage de phase (PLL
2. Comparateur de phase : une fonction essentielle
3. Point de fonctionnement d'une PLL
4. Modélisation d'une boucle et étude du système asservi





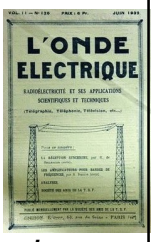


Stéphane POUJOULY http://poujouly.net IUT CACHAN Département Geii1
stephane.poujouly@universite-paris.saclay.fr 9 bd de la Div Leclerc 94230 CACHAN

1

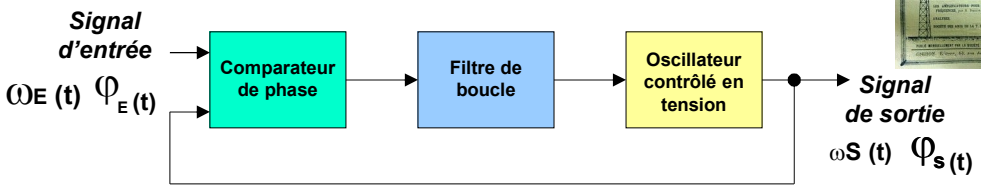
1 Boucle à verrouillage de phase : principe

C/TD Distanciel S3 2020



❒ **Historique :** La boucle à verrouillage de phase à été introduite pour la première fois en 1932 par H.Bellescize dans un article : « La réception synchrone » Onde Électrique Vol 11 Juin 1932

❒ **Principe de Base :**



Comparateur de phase :

Filtre de boucle :

Oscillateur contrôlé en tension :

❒ **Objectifs :**

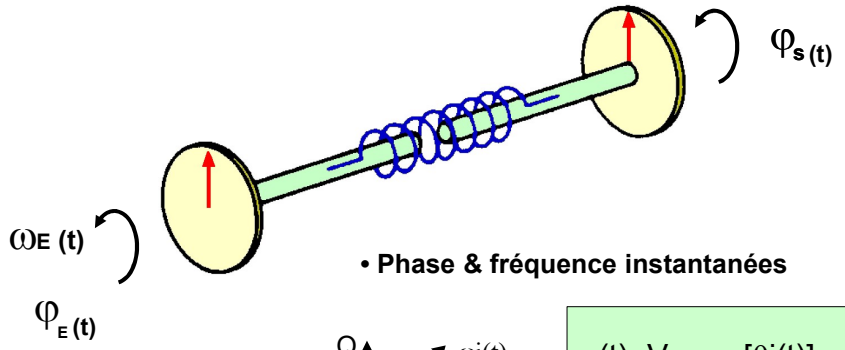
$\omega_S(t) = \omega_E(t)$ $\varphi_S(t) = \varphi_E(t) + cst$

2

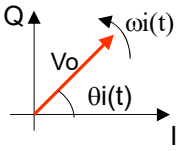
1 Une histoire de vitesse de rotation

C/TD Distanciel S3 2020

❒ Une version mécanique de la PLL



• Phase & fréquence instantanées



$v(t)=Vo.\cos[\theta i(t)] \quad \omega i = \frac{d\theta i}{dt}$

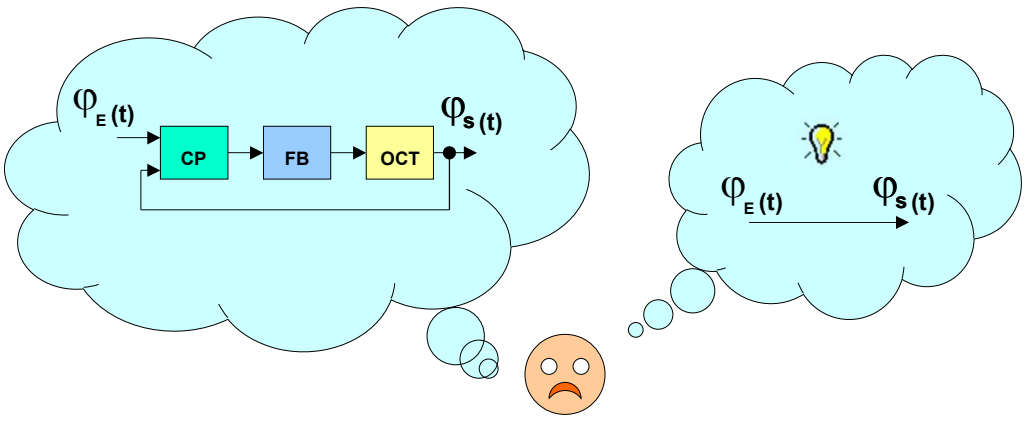
θi(t) : phase instantanée

ωi(t) : pulsation instantanée

3

1 Boucle à verrouillage de phase : Quel intérêt ?

C/TD Distanciel S3 2020



- Synthèse de fréquence
- Démodulation de fréquence
- Récupération de porteuse, rythme d 'horloge

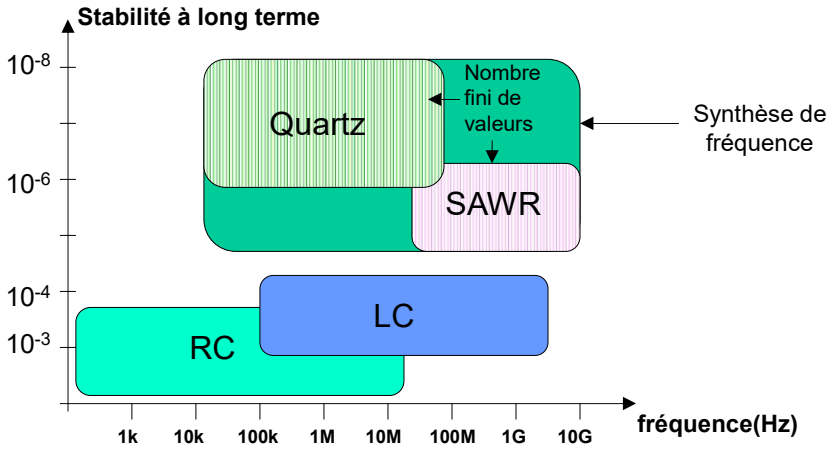
4

1 Synthèse de fréquence : pourquoi ?

C/TD Distanciel S3 2020

❒ **Question de départ :** Comment générer une fréquence porteuse RF avec une excellente précision et stabilité ? Comment obtenir un système à multi-porteuses

❒ **Quartz, SAWR ?**

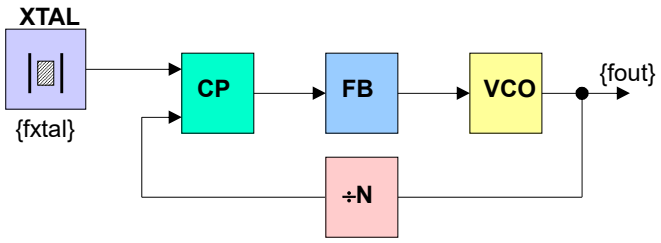


5

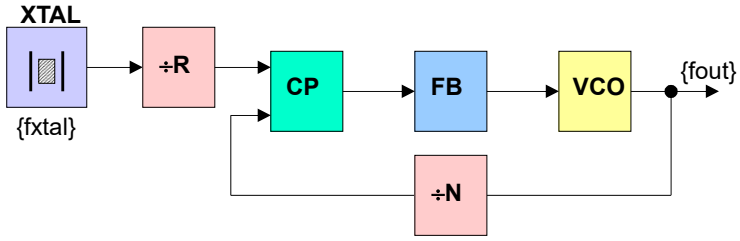
1 Application 1 : Synthèse de fréquence

C/TD Distanciel S3 2020

❒ **Synthèse directe**



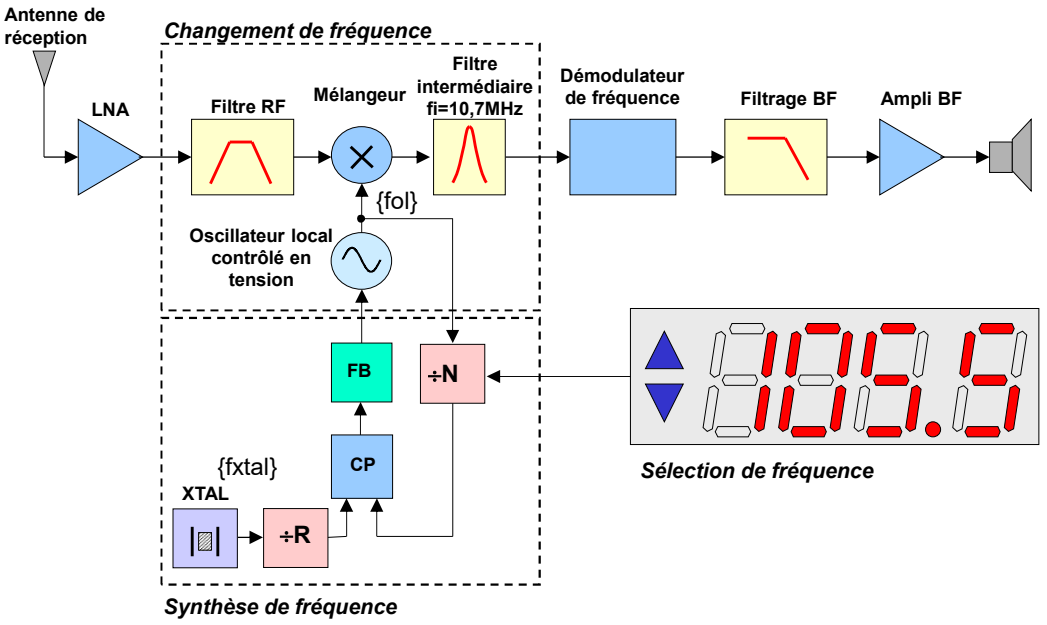
❒ **Synthèse fractionnaire**



6

1 Synthèse de fréquence dans un récepteur FM

C/TD Distanciel S3 2020

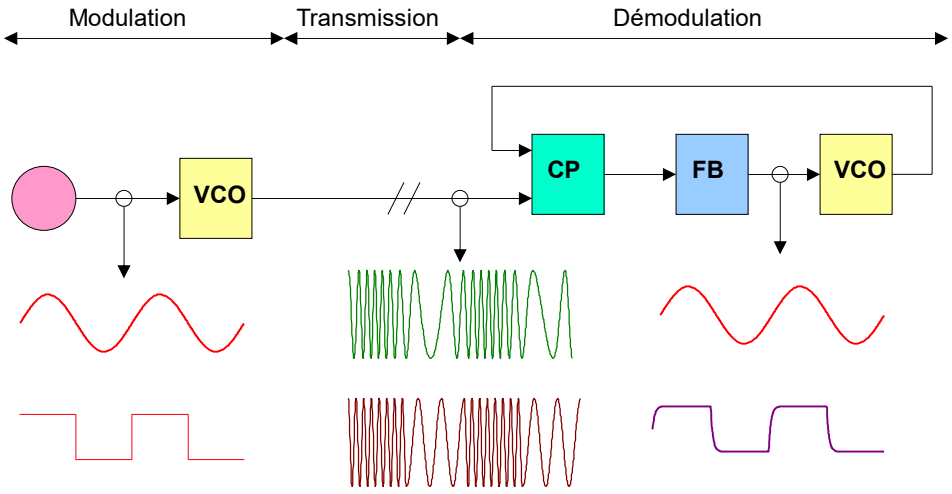


7

1 Application 2 : Démodulation de fréquence

C/TD Distanciel S3 2020

❒ Chaîne de transmission simplifiée

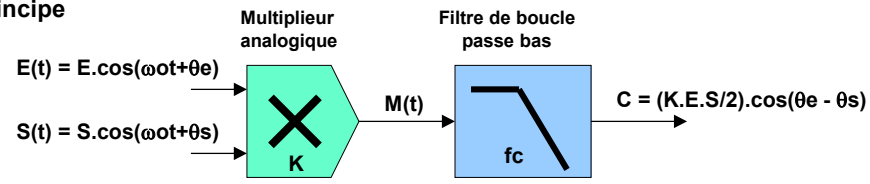


8

2 Comparateur de phase analogique

C/TD Distanciel S3 2020

❒ Principe



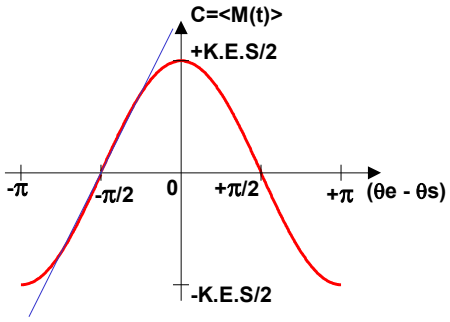
❒ Inconvénients:

- Caractéristique non linéaire (uniquement par morceau)
- Gain de conversion dépend de l 'amplitude des signaux en entrée du CP

❒ Avantages :

- Performant en présence de bruit
- Mise en œuvre simple

❒ Caractéristique de transfert



❒ Gain de conversion du CP

$K_{CP} = \pm K.E.S/2$

$C = K_{CP}.(\theta e - \theta s)$

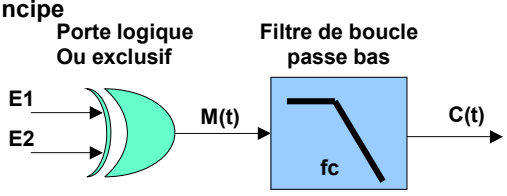
Pour (θe - θs) proche de -π/2 ou -π/2

9

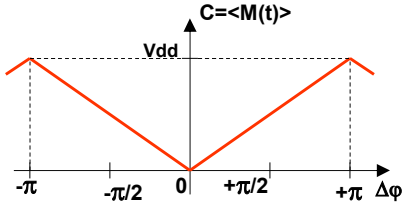
2 Comparateur de phase numérique : Ou exclusif

C/TD Distanciel S3 2020

❒ Principe



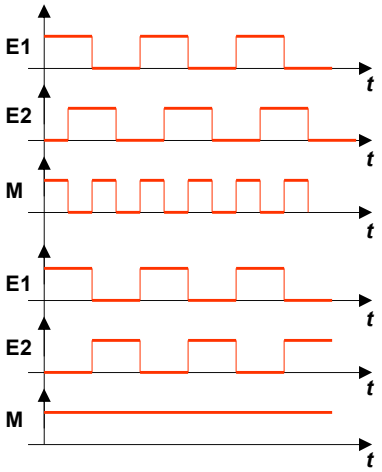
❒ Caractéristique de transfert



❒ Gain de conversion du CP $K_{CP} = \pm Vdd/\pi$

❒ Avantages :

❒ Fonctionnement



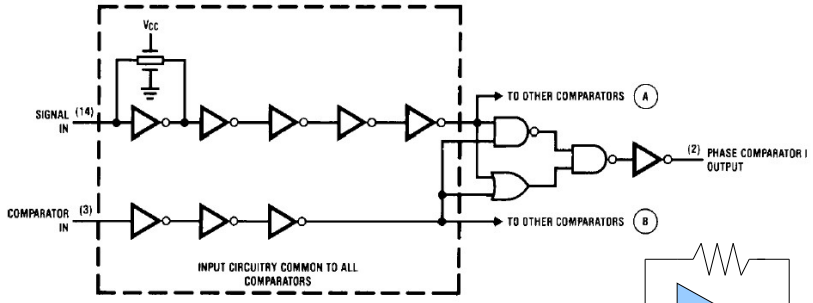
❒ Inconvénients:

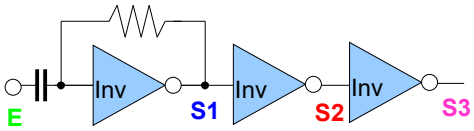
10

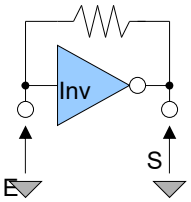
2 CP Ou exclusif avec entrée « mixte »

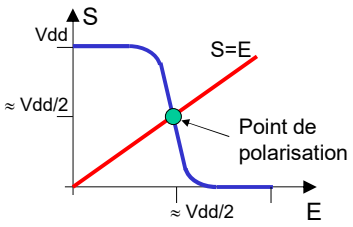
C/TD Distanciel S3 2020

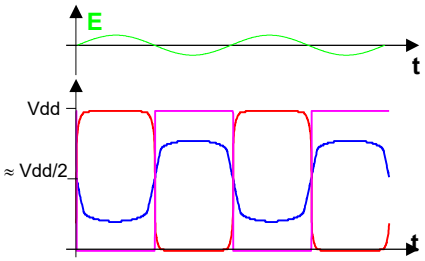
74HC4046









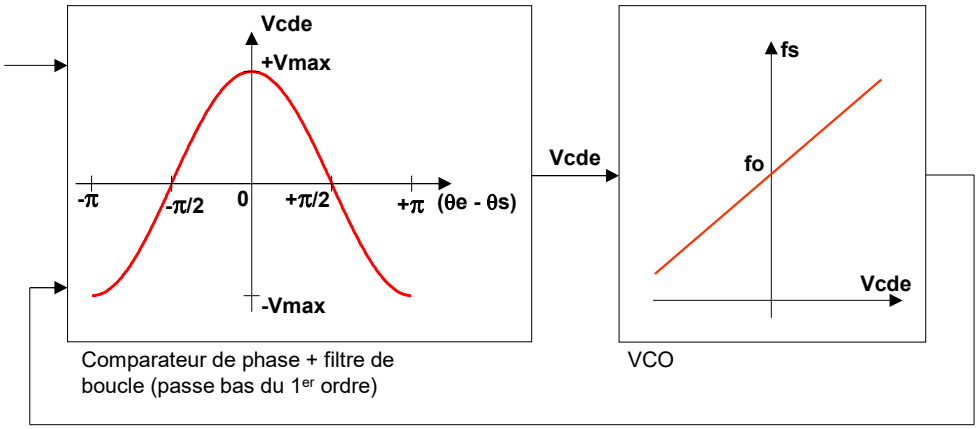


11

3 Point de repos d'une PLL en statique

C/TD Distanciel S3 2020

❒ Modélisation de la PLL d'un point de vue statique

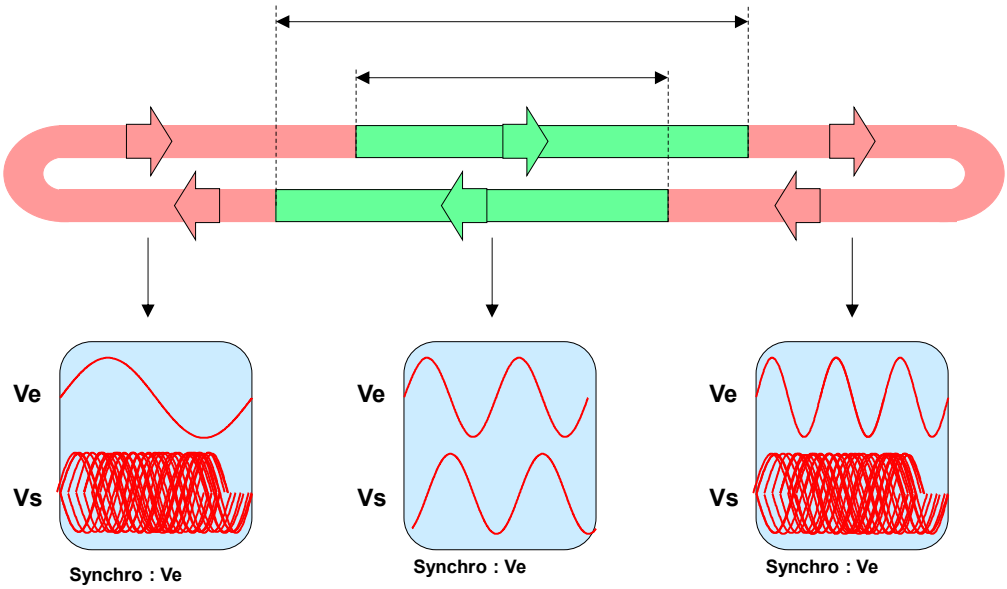


❒ Analyse

12

3 Les plages de fonctionnement d'une PLL

C/TD Distanciel S3 2020



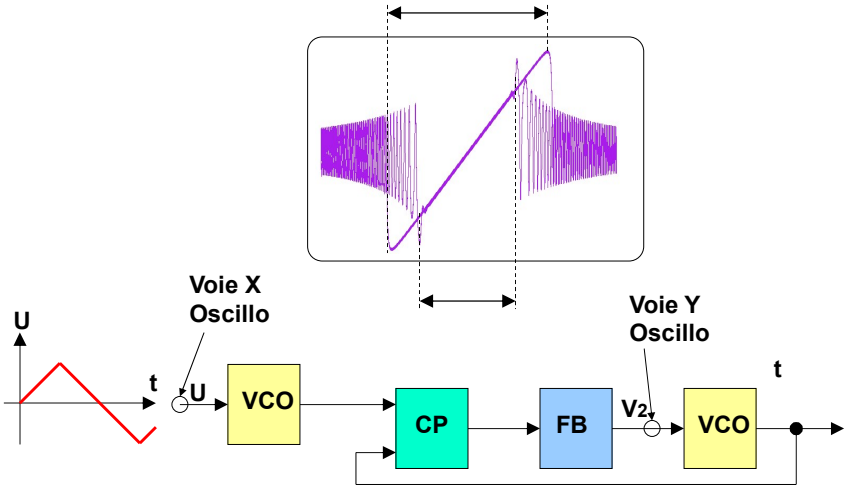
13

3 Mesure des plages de fonctionnement

C/TD Distanciel S3 2020

❒ **Manuellement :** En faisant évoluer la fréquence du signal d 'entrée entre 2 valeurs extrêmes on notes les 4 valeurs particulières de fréquence ou la PLL passe du mode verrouillée au mode non verrouillée et vice-versa.

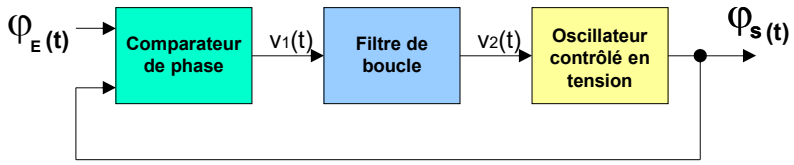
❒ **Automatique :** On utilise un balayage de fréquence et l 'observe la caractéristique directement sur un écran d 'oscilloscope en mode XY



14

4 PLL : un système asservi

C/TD Distanciel S3 2020



$\omega_S(t) \neq \omega_E(t)$ Étude d 'un système asservi non linéaire :
Technique d 'étude de type plan de phase etc…. (Niveau +++)

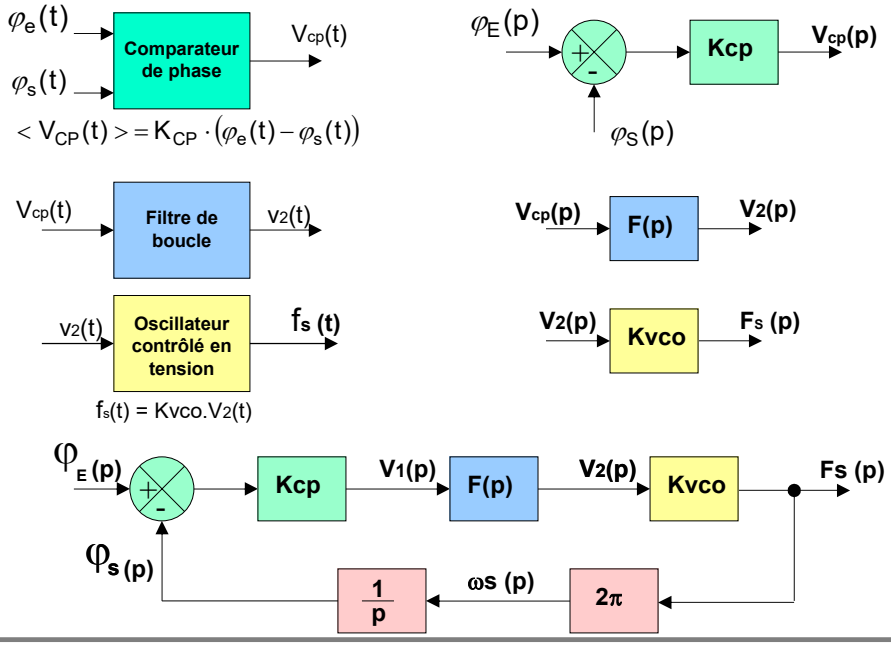
Hypothèse de travail : $\omega_S(t) = \omega_E(t)$

Dans ces conditions la boucle devient un système linéaire qu'il convient de modéliser afin d 'obtenir un système bouclé stable, performant et précis

15

4 Modélisation des éléments

C/TD Distanciel S3 2020

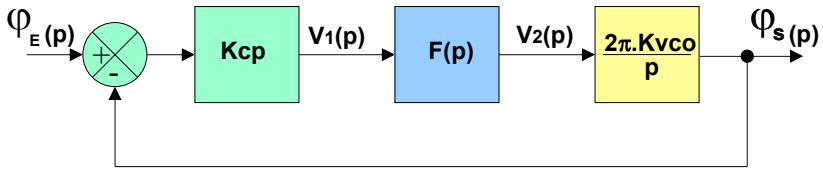


16

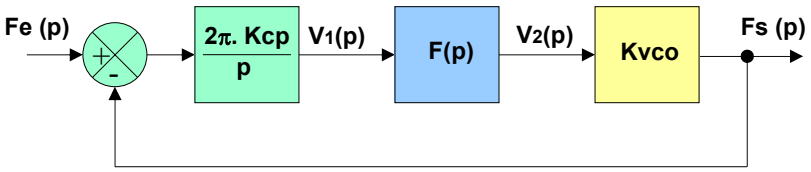
4 Modélisation avec retour unitaire

C/TD Distanciel S3 2020

❒ Grandeurs entrée & sortie : phase instantanée



❒ Grandeurs entrée & sortie : fréquence instantanée

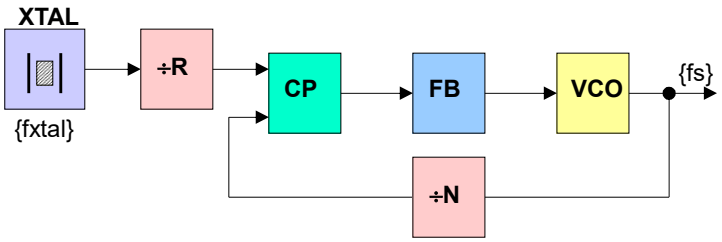


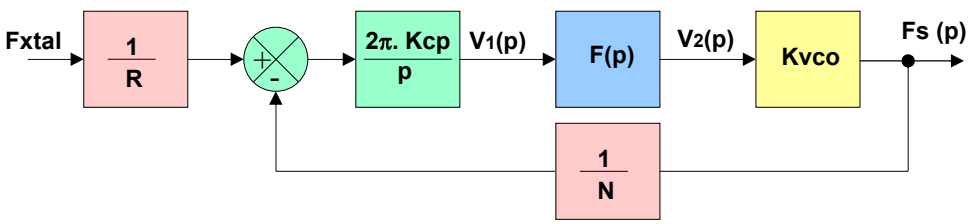
$$FTBO(p) = \frac{2\pi.Kcp.Kvco}{p} F(p)$$

17

4 Modélisation dans le cas d'une synthèse de Freq.

C/TD Distanciel S3 2020





FTBO =

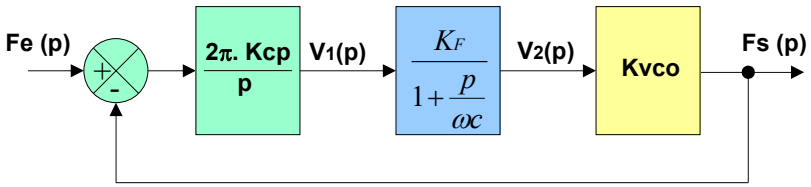
18

4 Etude d'un cas simple

C/TD Distanciel S3 2020

❒ **Hypothèse de départ :**

- Comparateur sans intégration (CP mult, XOR etc..)
- Filtre de boucle : passe bas du 1er ordre
- Retour unitaire (pas de division)



❒ **Détermination de la FTBO**

❒ **Étude de la stabilité**

❒ **Détermination de la FTBF**

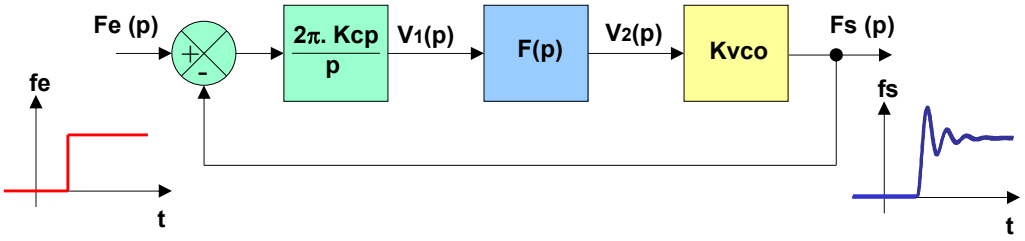
❒ **Tracé de la réponse indicielle**

19

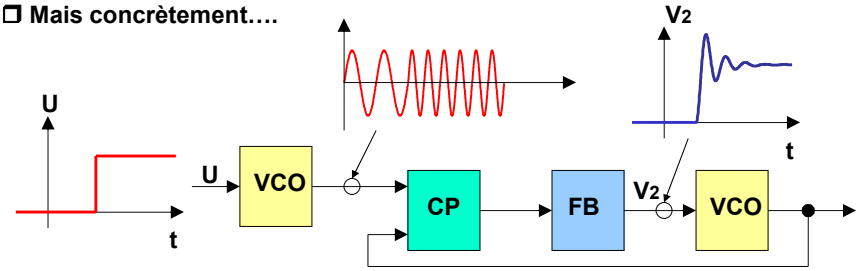
4 Réponse indicielle d'une PLL

C/TD Distanciel S3 2020

❒ **Dans le cadre du modèle**



❒ **Mais concrètement….**



20