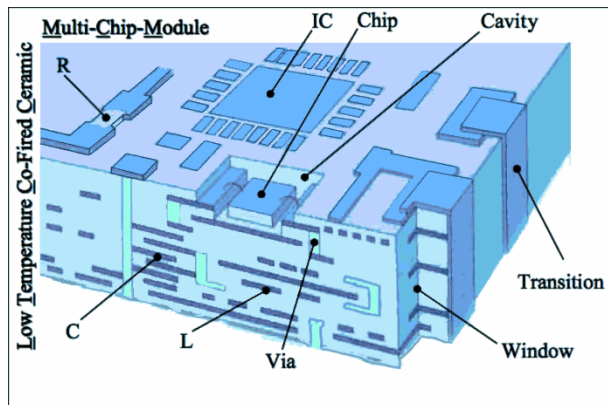


Architectures des terminaux radiofréquences

- Evolutions et contraintes face aux nouveaux besoins -

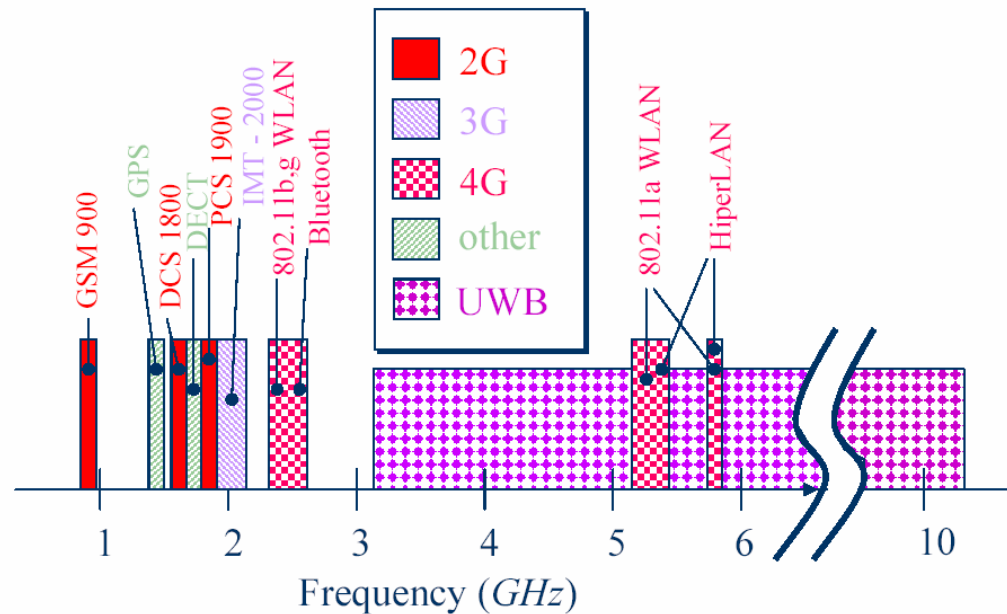
Christian PERSON – LEST – ENST Bretagne/UBO
Serge TOUTAIN – IREENA – Polytech Nantes



Contexte des systèmes RF :

CONSTAT PREALABLE :

- Les systèmes RF communicants *et* les infrastructures associées



Réseaux Cellulaires mobiles

Première génération (1G)

- ✓ norme analogique

Deuxième génération (2G)

- ✓ norme numérique

Troisième génération (3G)

Evolution de la 3^{ème} génération (3.5 G)

- ✓ Six évolutions majeures
- ✓ Technologie HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*)



Réseaux locaux Wireless

Home RF Bluetooth

- 802.15.1 $\Rightarrow$ 2.4GHz - 1Mb/s
- 802.15.4 $\Rightarrow$ 2.4 GHz - 250 kb/s

WiFi

- 802.11.a $\Rightarrow$ 5 GHz - 54 Mbps
- 802.11.b $\Rightarrow$ 2.4 GHz - 11 Mbps
- 802.11.g $\Rightarrow$ 54 Mbps
- 802.11.n $\Rightarrow$ 600 Mbit/s.

WiMAX

- 802.16-2004 (fixe) $\Rightarrow$ 2-11 GHz - 75 Mbps
- 802.16-e(mobile) $\Rightarrow$ 2-6 GHz - 30 Mbps

Mobiles - Quatrième génération (4G)

- Interopérabilité -

(Téléphonie cellulaire, réseaux locaux, diffusion "broadcast" (DVB, DAB))

Bilan sur les principaux systèmes de communications RF

- Enjeu majeur : Une mobilité totale -

La multiplication des standards de communication conduit à une *évolution des architectures Radio* et un développement de nouveaux *concepts technologiques*.

Contraintes associées

Sur les Architecture des émetteurs / récepteurs

- ☛ Supporter des schémas de modulation multiples
- ☛ Pouvoir s'adapter dynamiquement
- ☛ Bénéficier de fortes marges de communications
- ☛ Concilier compacité et efficacité

La reconfigurabilité devient une orientation souhaitable & incontournable

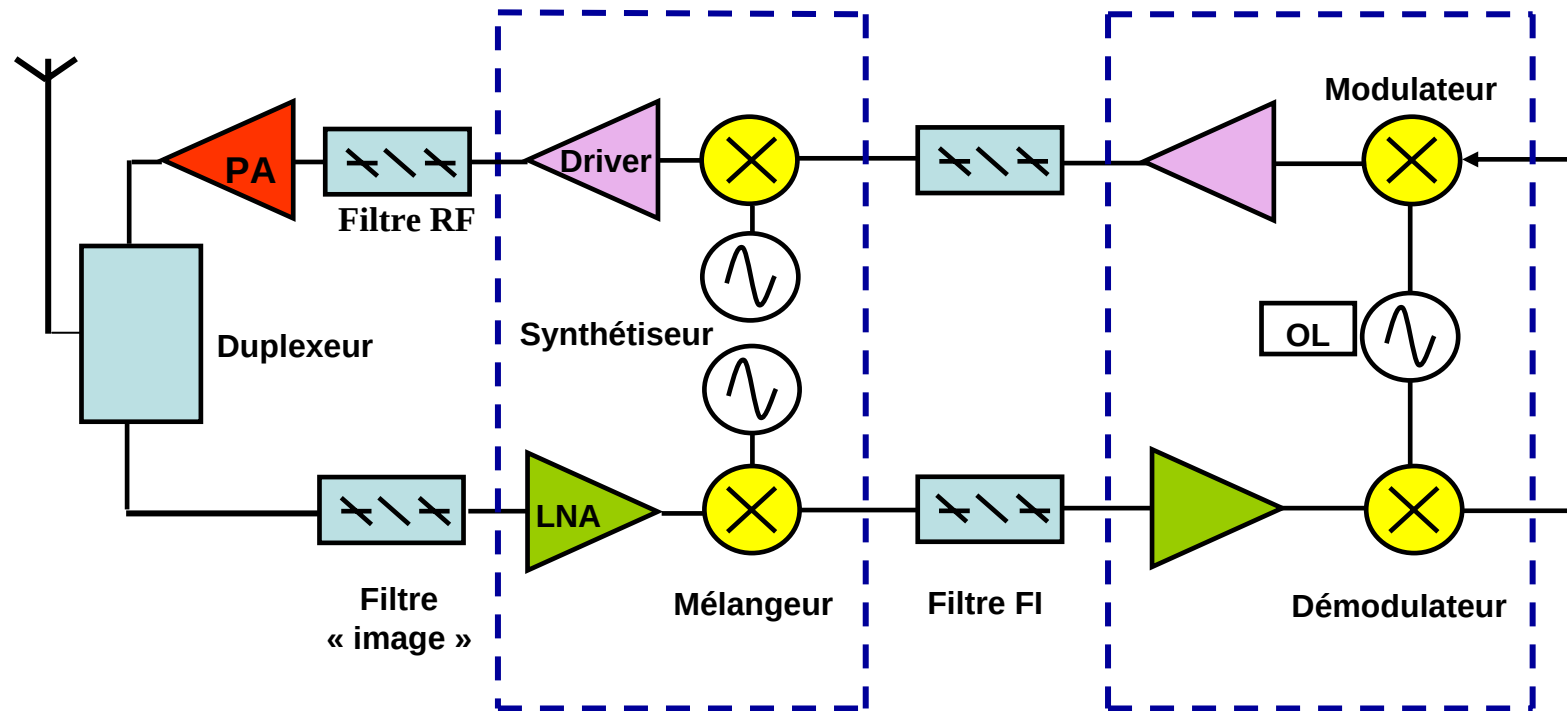
QUELLE ARCHITECTURE ?

- Architecture Hétérodyne ?
- Architecture Low FI ?
- Architecture Zéro FI ?



Chaîne de réception

Architecture (super)hétérodyne



◆ Avantages :

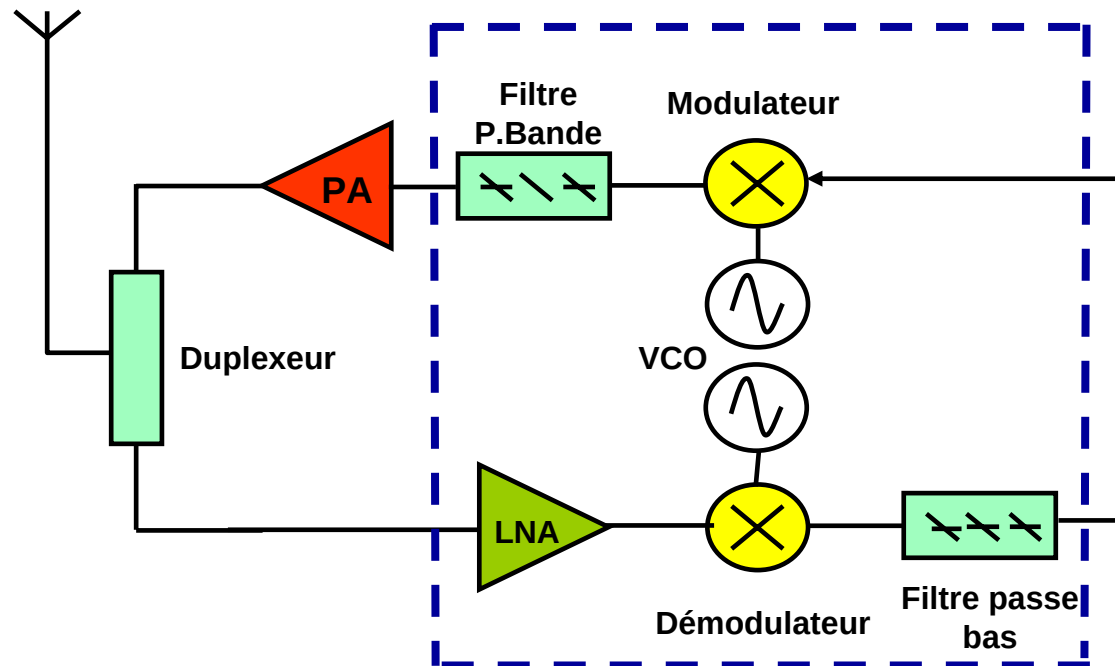
- ✓ Importante sélectivité
- ✓ Grande sensibilité
- ✓ Maîtrise de fabrication (bien connue)
- ✓ La fuite de l'OL sur l'antenne est négligeable
- ✓ Pas d'offset DC grâce aux capas de couplage

◆ Inconvénients :

- ✓ Filtres de grandes qualités
- ✓ Grand nombre de composants externes/complexité
- ✓ Adaptation d'impédance entre chaque bloc
- ✓ Consommation élevée
- ✓ Intégration difficile (à cause des filtres RF)
- ✓ Pas adapté multibande

Chaîne de réception

Architecture homodyne / Zéro-FI ou conversion directe



◆ Avantages :

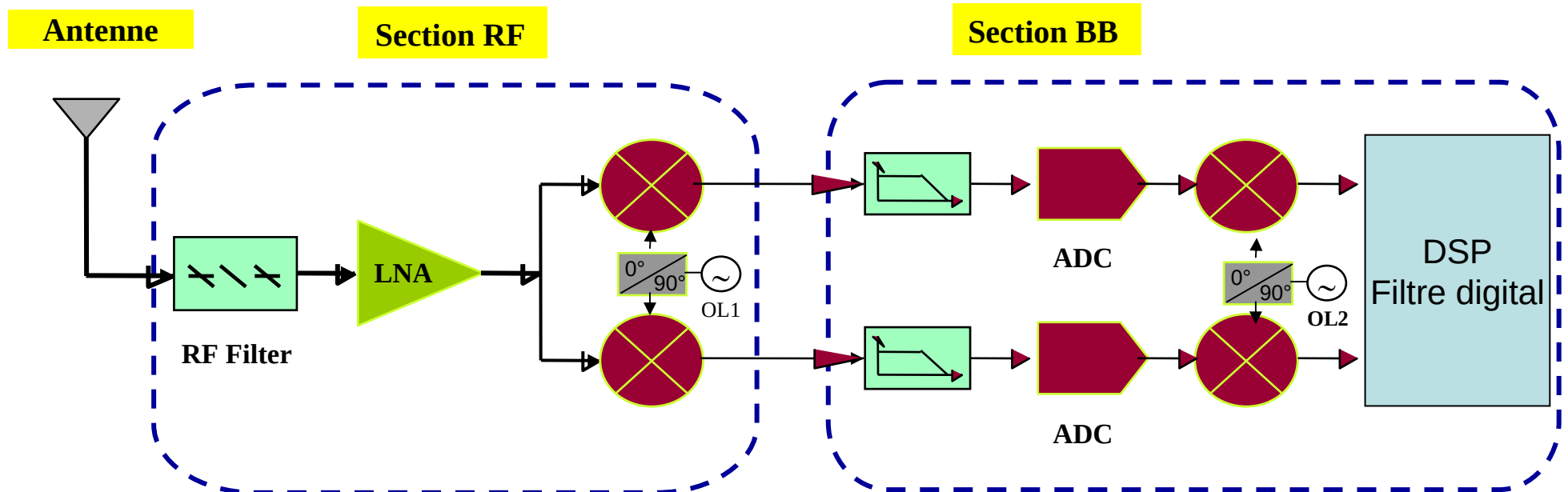
- ✓ Plus de fréquence image
- ✓ Plus d'adaptation 50 Ω après LNA
- ✓ Forte intégration monolithique (sauf filtre & antenne RX)
- ✓ Simplicité de conception RF
- ✓ Faible consommation
- ✓ 1 seul étage de transposition (1 seul oscillateur)

◆ Inconvénients :

- ✓ Tension DC-Offset (saturation)
- ✓ Dynamique amplificateurs et CAN
- ✓ Distorsion de second ordre
- ✓ Bruit en $1/f$ (*flicker noise*)
- ✓ Contraintes sur le traitement BB
- ✓ Contraintes/appariement voie I-Q
- ✓ Contrainte linéarité PA et Mixer

Chaîne de réception

Architecture « Low-FI » / Non Zero IF



- Signal directement ramené en bande de base, à FI faible (# 1 à 2 canaux) -

◆ Avantages :

- ✓ Faible coût
- ✓ **Suppression de filtre image, filtre IF, OL à IF élevée et 1 mélangeur**
- ✓ F_{FI} # 1 à 2 canaux (100kHz et +)
- ✓ **Pas de tension DC OFFSET**
- ✓ Consommation réduite

◆ Inconvénients :

- ✓ Equilibrage voies I/Q difficile en RF
- ✓ Nécessité filtres passe-bas large-bande
- ✓ Sensibilité & Dynamique CAN
- ✓ Fuite de l'OL RF vers l'antenne
- ✓ **Sensibilité IP2 pour signaux Low-IF**
- ✓ Sensibilité Appariement voies I-Q

QUELLE ARCHITECTURE ?

• Architecture Hétérodyne ?

• Architecture Low FI ?

• Architecture Zéro FI ?

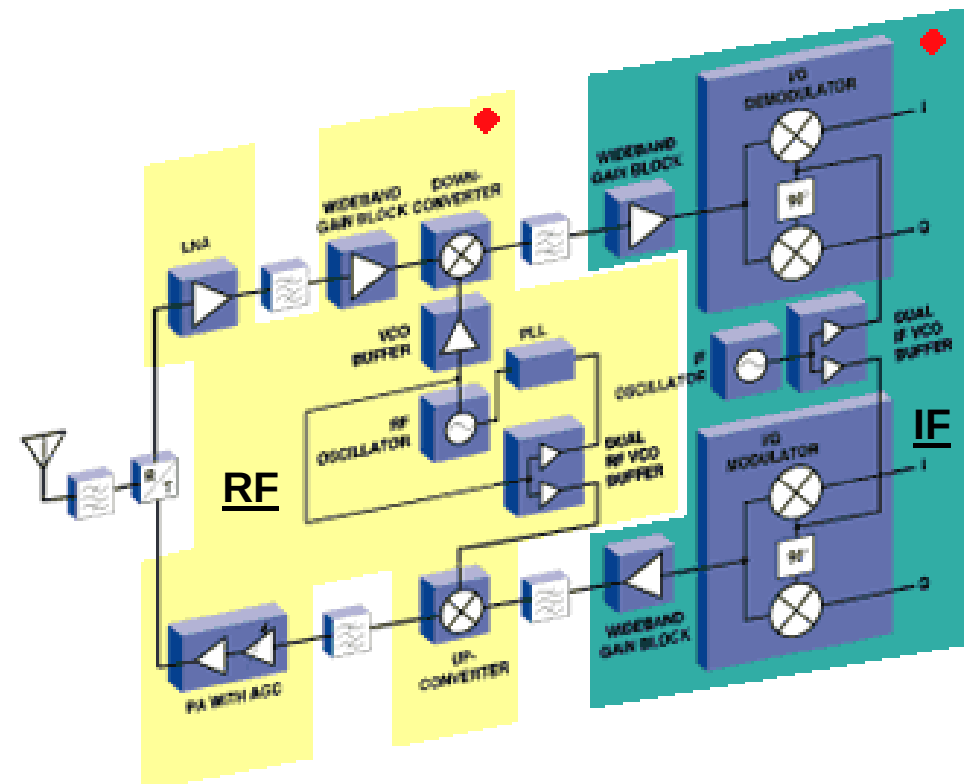
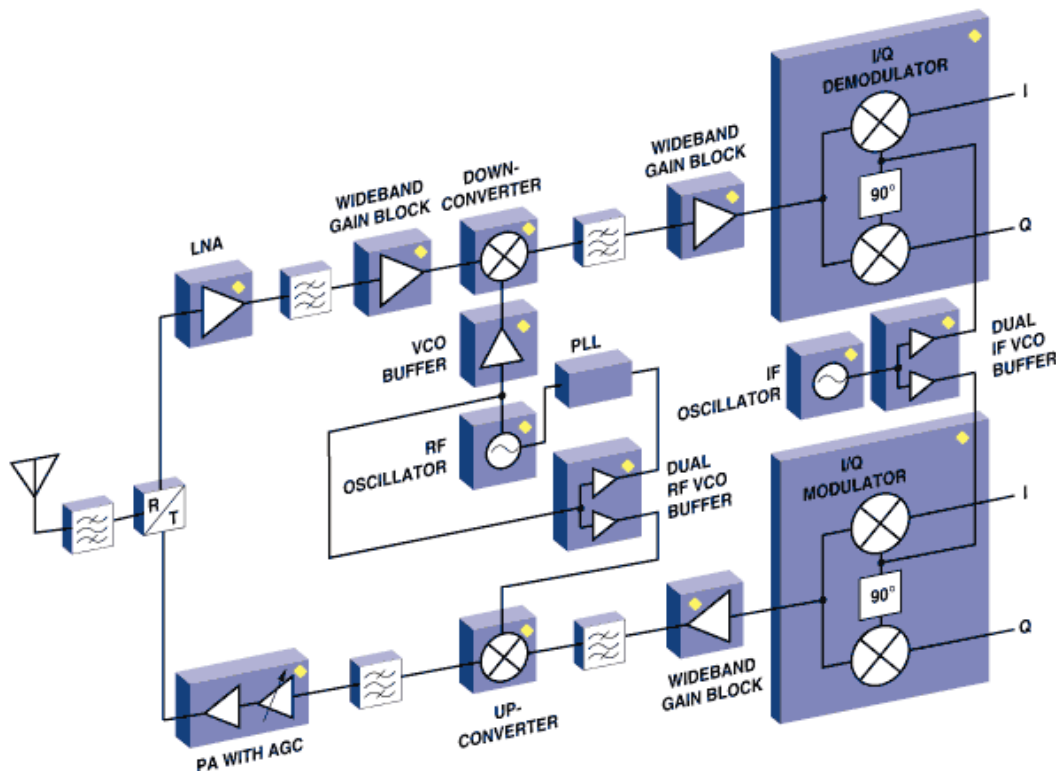
- **Intégration maximale** : Pas de filtres RF SVP !
 - Récepteurs low-IF
 - Récepteurs à conversion directe : Pb Auto-Mélange
 - Récepteurs polyphasés
- **Solution optimale** : Combinaison Architecture polyphasée I-Q & conversion low-IF
 - !! Intermodulation Ordre 2 & Linéarité

Intégration des émetteurs / récepteurs RF

✓ Il existe différents niveaux d'intégration aujourd'hui

▪ *Rien n'est intégré*

▪ *Intégration séparée sections RF et IF*



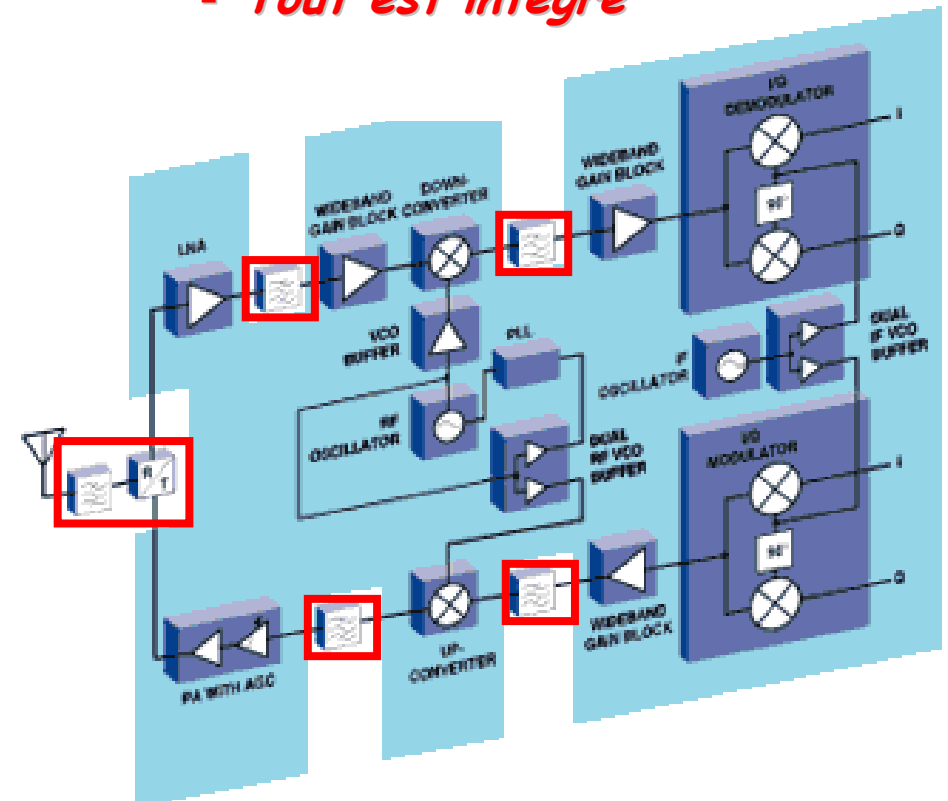
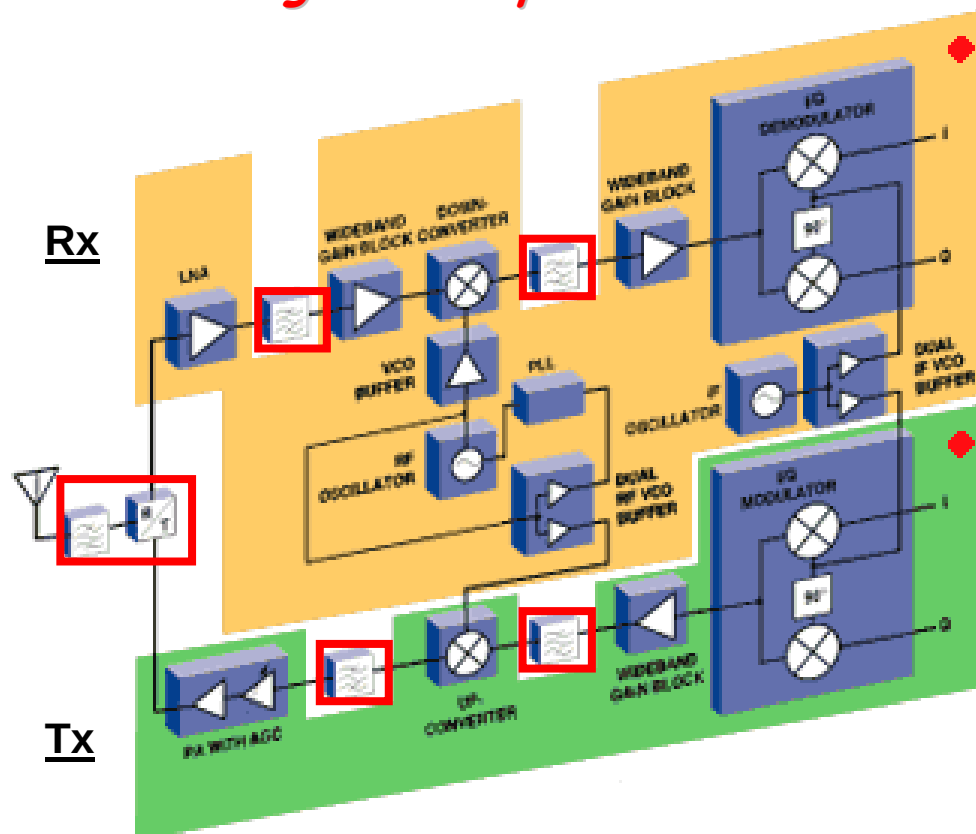
<http://www.maxim-ic.com/products/asics/wireless/>

Intégration des émetteurs / récepteurs RF

✓ Il existe différents niveaux d'intégration aujourd'hui

▪ *Intégration séparée des Rx/Tx*

▪ *Tout est intégré*



Quelque soit la solution d'intégration, Antennes & filtres (RF, image et FI) non intégrés

Architecture multibande / multinorme ??

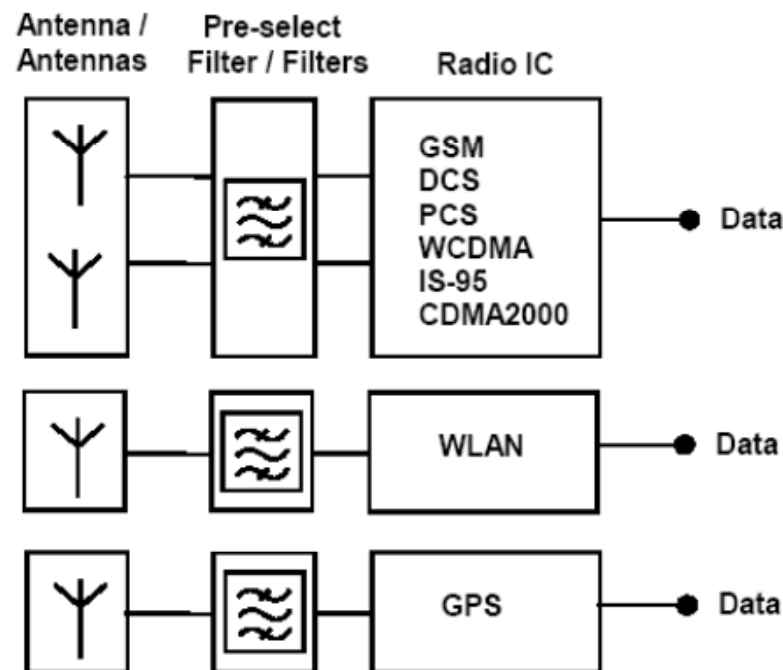
QUELLES CONFIGURATIONS POUR UNE Architecture RF multibande / multinorme ??



Une chaîne RF ne peut « supporter » implicitement toute forme de signaux

- VERS DES TRANSCEIVERS MULTI-MODE -

Mobile = Combinaison de plusieurs IC pour différentes applications

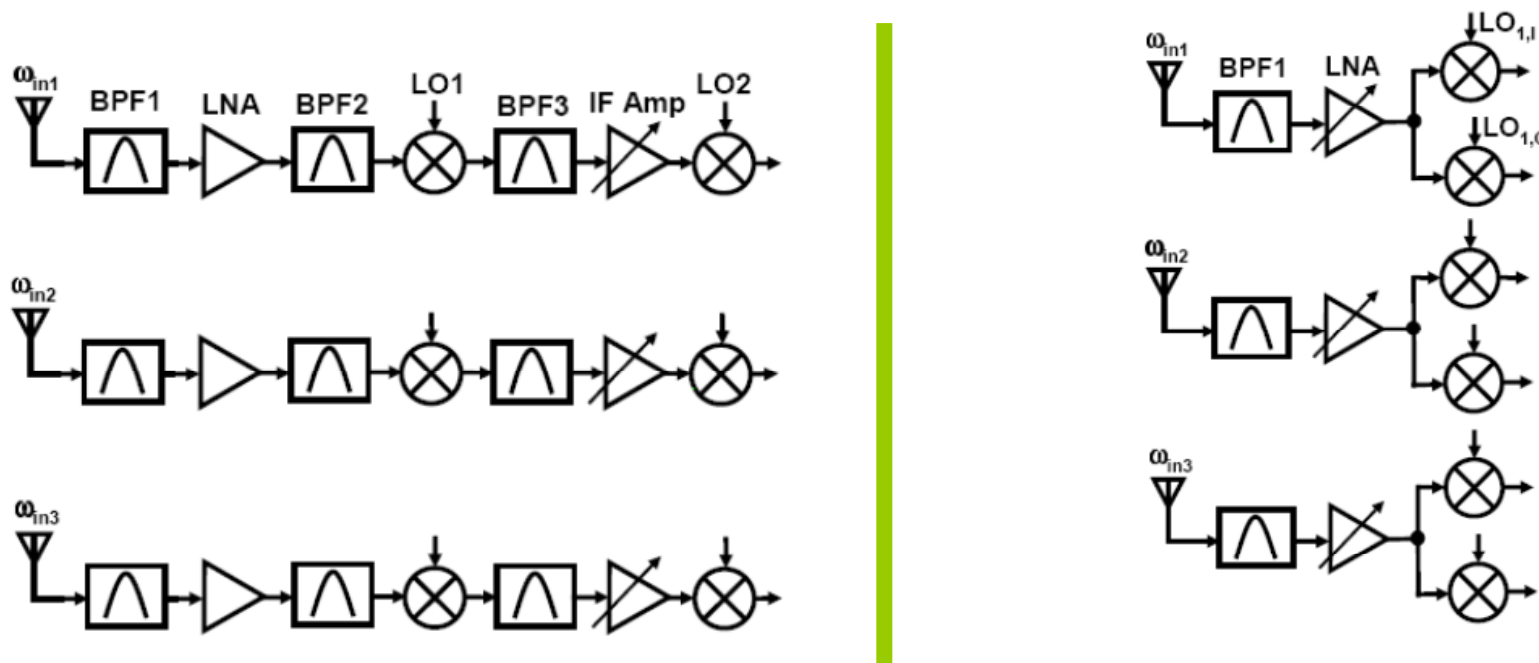


= 1 seul IC ??

Contraintes : Forte intégration Interférences ??
Spécifications très différentes suivant standards

- Récepteurs mono-standards parallélisés -

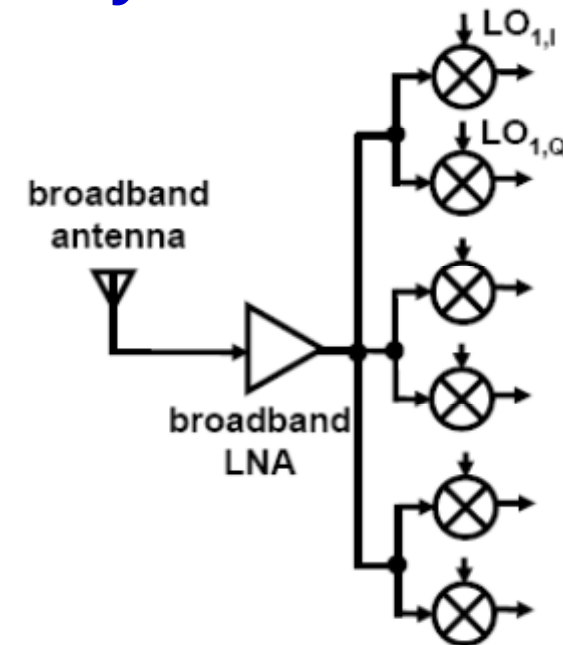
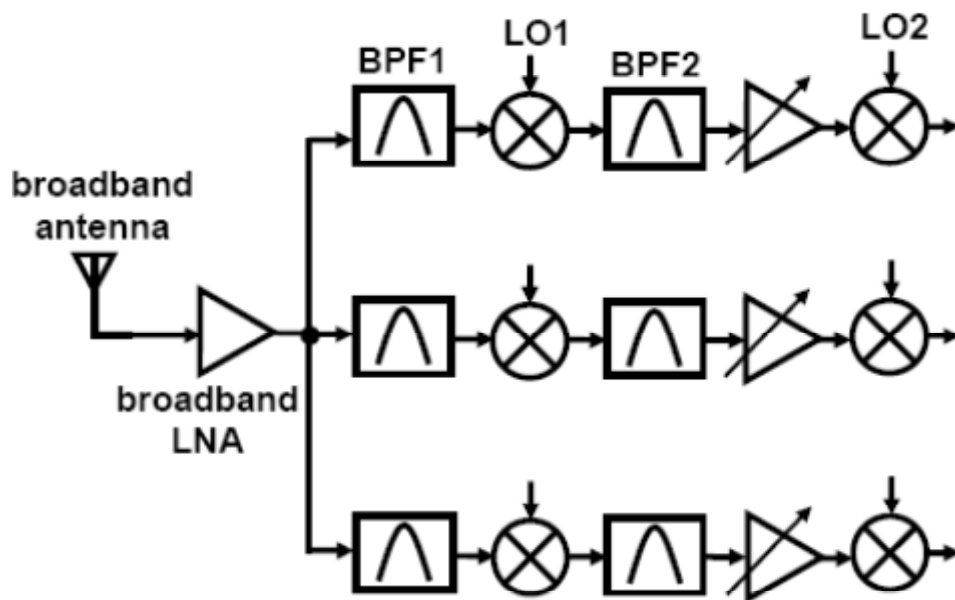
Hétérodyne vs. Homodyne



Handicaps majeurs : Consommation et niveau d'intégration

- Front-end large-bande avec Rx partagés parallélisés -

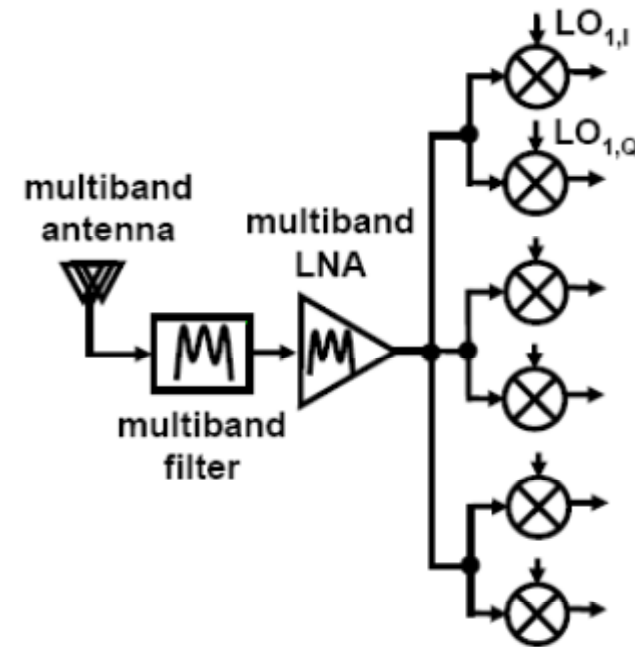
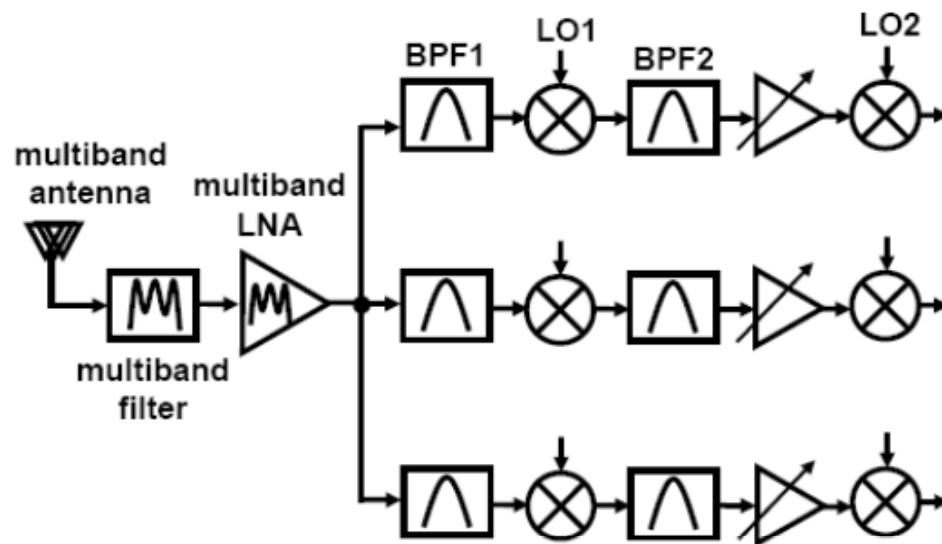
Hétérodyne vs. Homodyne



Handicaps majeurs : Sensibilité signaux Bloqueurs « hors bande » & non-linéarités
Forte dynamique DR requise pour le Front-end

Front-end Multi-bande avec Rx partagés parallélisés

Hétérodyne vs. Homodyne



Handicaps majeurs : Nécessité contrôle en amplitude pour CHAQUE bande
 Front-end multi-bande (sans commutation)

Une idée du terminal du futur ...

✓ Les besoins en composants RF pour une telle architecture Multi-bandes

- *Éléments RF multibandes sélectifs*

- *Solutions d'antennes bi- tri- voire quadri-bande*
- *idem pour les filtres, les amplificateurs et les OL.*

- *Éléments RF très large bande*

Illustration "Amplificateurs multibandes"

COMPOSANTS DÉDIÉS

Un amplificateur de puissance b bande SiGe

Erwan Humbert , [Electronique Internationale](#), le 17/10/2006

Renesas Technology - Référence HA31010

Bandes 2,4GHz 5GHz

Consommation 130mA 160mA

Gain 28dB 24dB

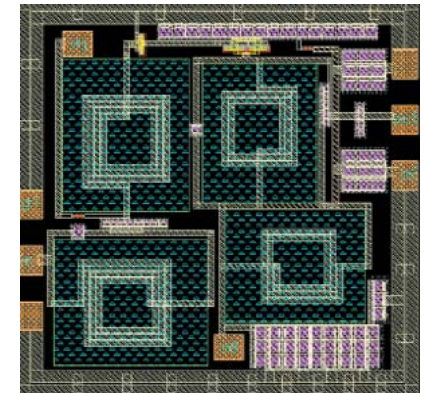
Encombrement : 4x4mm (réduction 40%)

Performances en linéarité : compatibles IEEE-802.11a/b/g & 802.11n

TABLE I

PERFORMANCE OF A 2.4/5.7 GHz CONCURRENT DUAL-BAND CMOS LNA

	<i>Simulation Measurement</i>	
V_{dd}/I_{dd}	1.8 V/6 mA	1.8 V/6 mA
Power consumption (mW)	10.8	10.8
Frequency (GHz)	2.44/5.76	2.44/5.76
Input return loss (dB)	21.3/21.5	9.48/6.2
Output return loss (dB)	16.2/16.3	2.7/11.2
Gain (dB)	17.2/12.4	7.6/8.6
Noise figure (dB)	3.7/4.2	5.7/6.8
IIP3 (dBm)	-5.9/-4.2	-1.5/-2.4
Input P1dB (dBm)	-17.6/-10.8	-9.3/-10.1
Chip size (mm)	1.076 × 1.072	



A FULLY-INTEGRATED
2.4/5.7 GHz CONCURRENT
DUAL-BAND 0.18 μ m
CMOS LNA FOR AN
802.11 WLAN DIRECT
CONVERSION RECEIVER

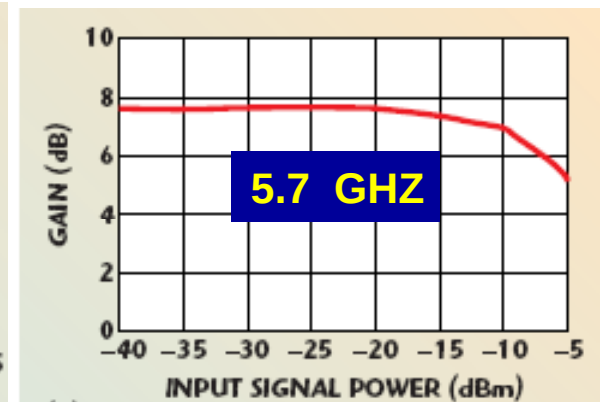
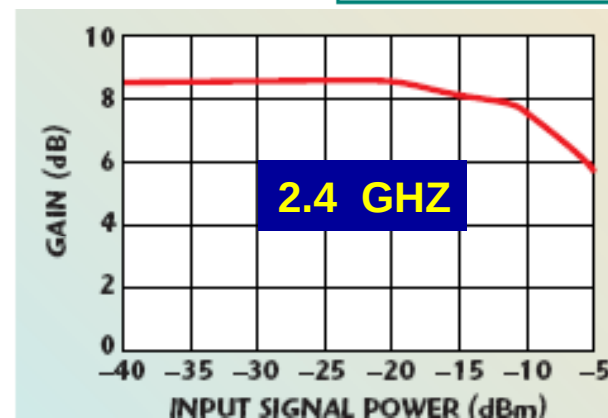
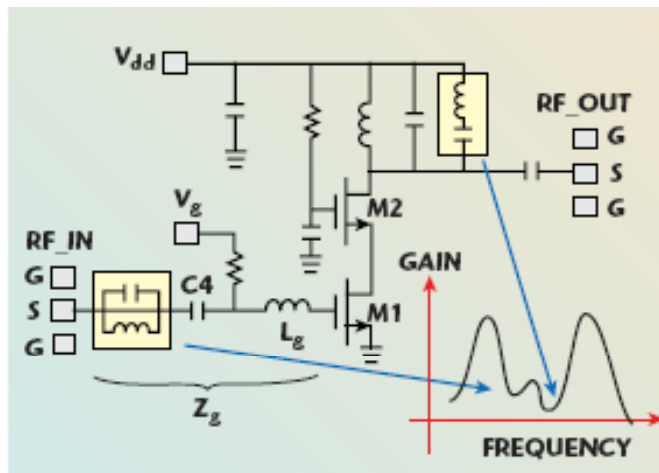
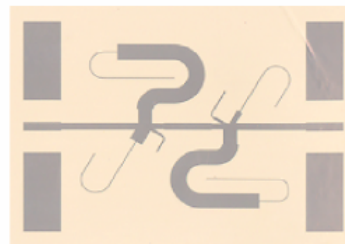
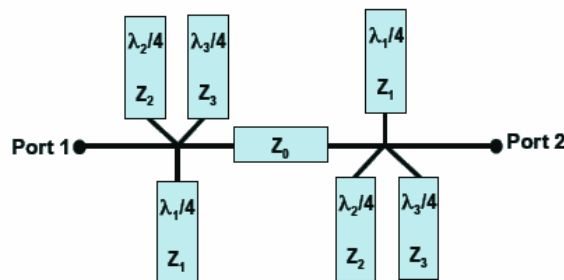


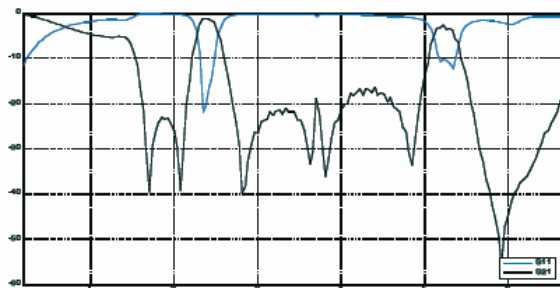
Illustration "filtres multibandes »

Exemple de travaux réalisés au LEST

WLAN Dual-Band BPF 2.4 / 5.2 GHz

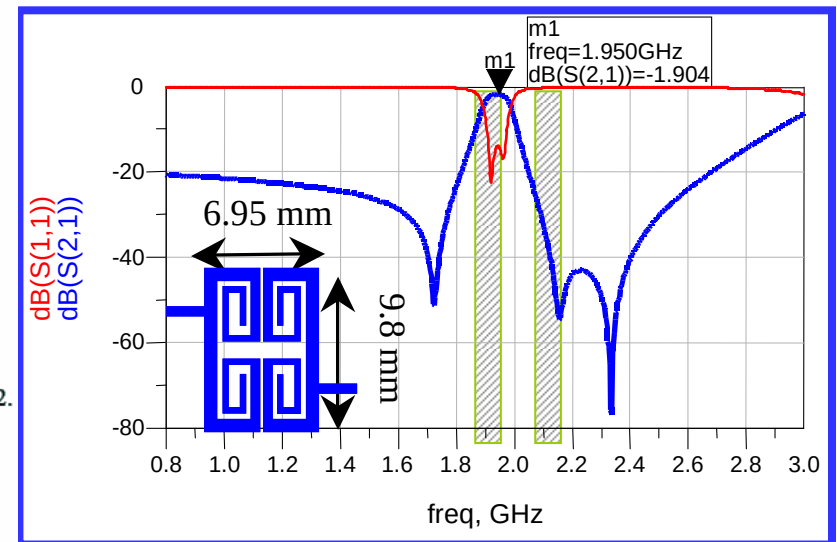


stepped impedances resonator
 => enhanced control of the periodic behavior
 => achieving a center frequency ratio greater than 2.



IL @ 2.4GHz = 1.25 dB
 BW @ 2.4GHz = 80 MHz

IL @ 5.8 GHz = 1.1 / 2.4 dB
 BW @ 5.5GHz = 600 MHz



Filtre très sélectif

bande Rx UMTS (f_0 : 1.95 GHz)

Taille : 7 * 9.8 mm

Pertes : 2 dB

Bande passante à -10 dB : 3 %

Réjection : >40 dB de 2.1 à 2.4 GHz

Filtre Multi-bandes sur LCP

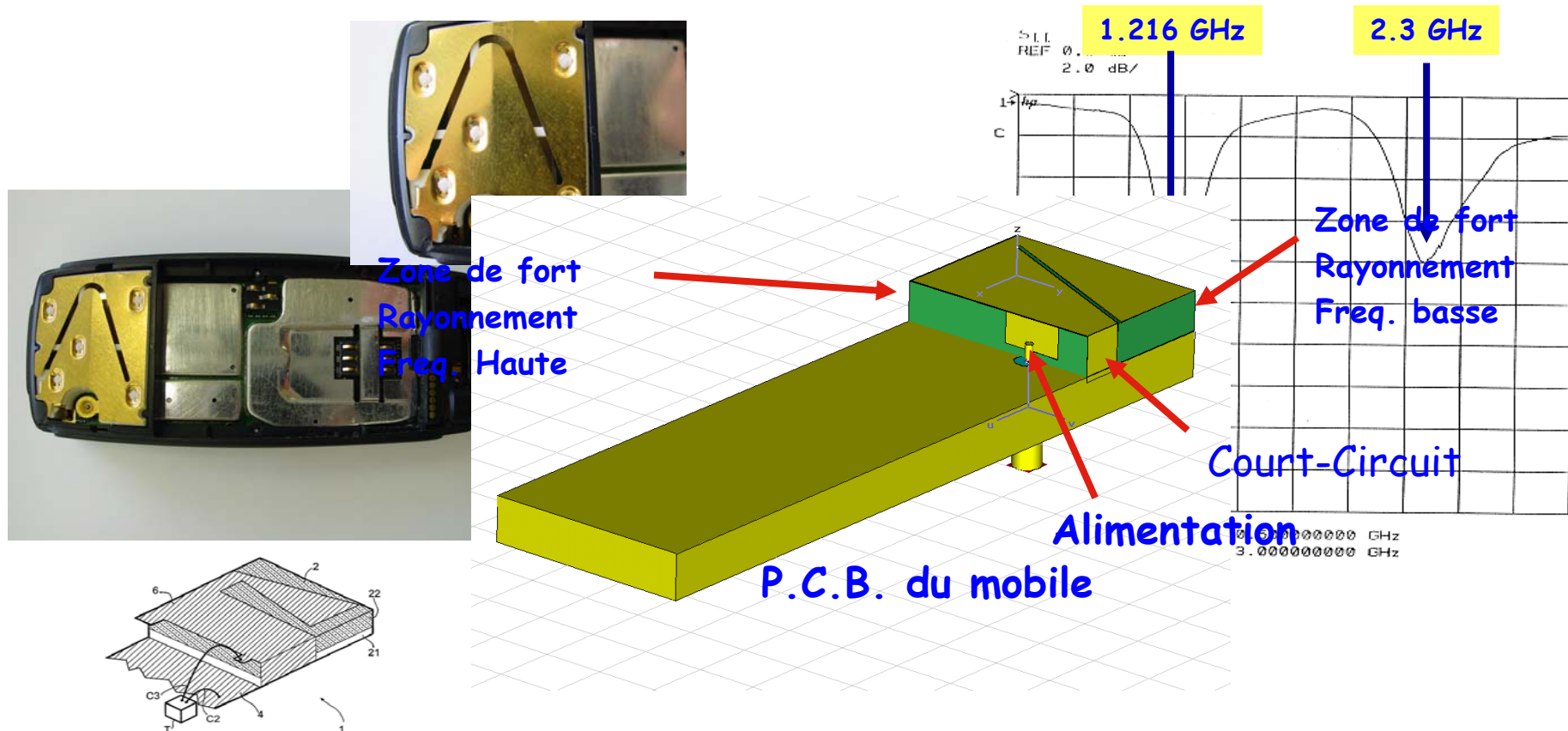


Besoins cruciaux en Synthèses Large Bande / multi-critères

Illustration « Antennes multibandes »

Exemple de travaux réalisés au LEST

Antenne « T(ail)-PATCH » : Antenne avec fentes inscrites sur un support 3D



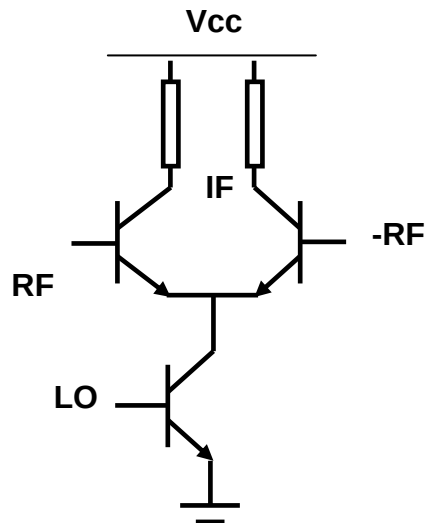
Brevet ref.WO 01/35 492

Éléments RF large-bande

Illustration « Mélangeurs Linéaires large bande »

Mélangeurs actifs

Variation dans le temps d'une transconductance



✓

✓

✗

✗

✗

Gain

Bruit

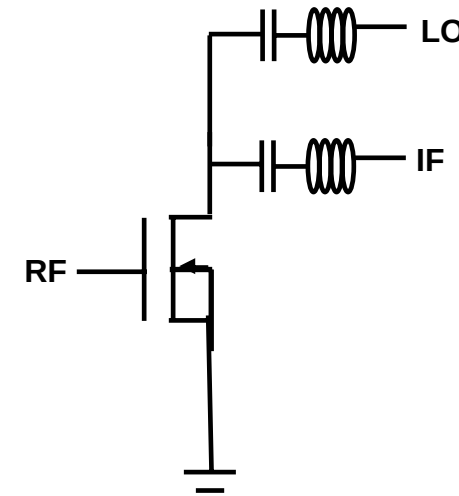
Linéarité

Efficacité

Dynamique

Mélangeurs passifs

Variation dans le temps d'une conductance



✗

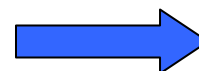
✗

✓

✓

✓

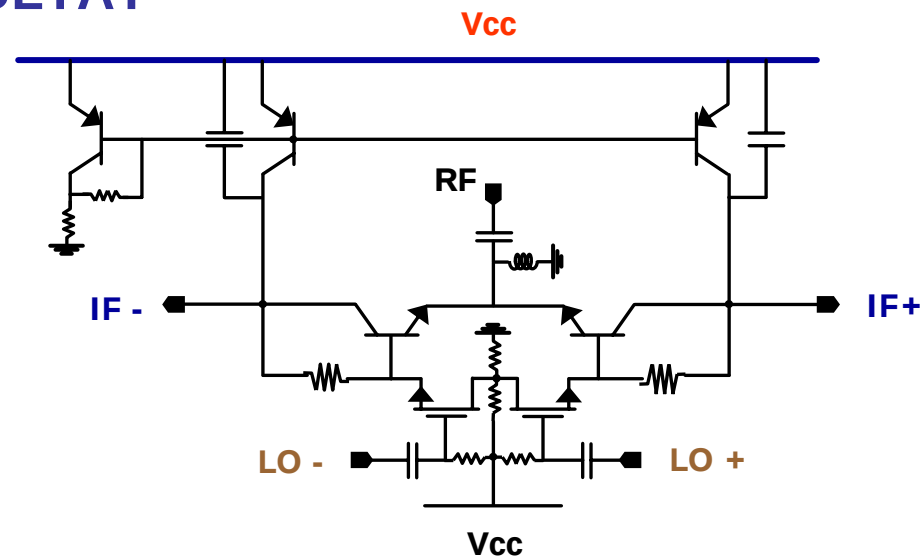
Association de ces 2 concepts



Nécessité de faire des compromis

Illustration « Mélangeurs Linéaires large bande »

EXEMPLE de RESULTAT



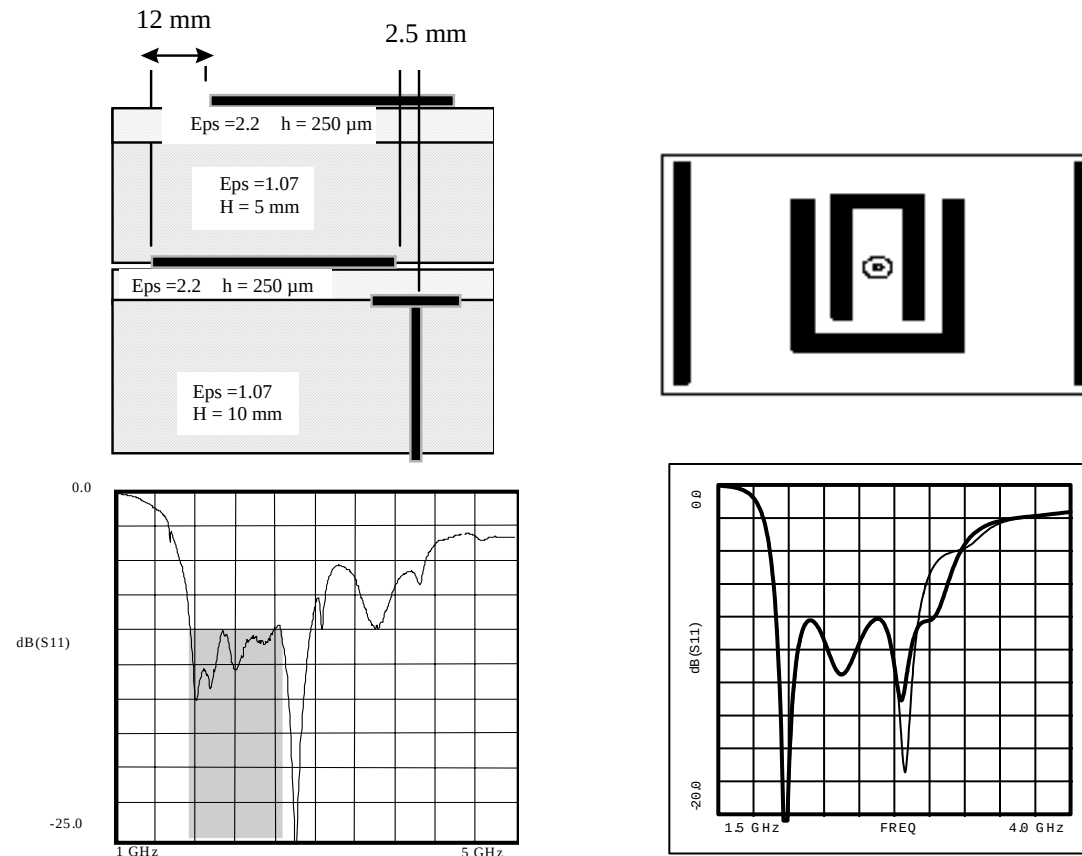
Pdc	Fréquence RF de test	Niveau OL de test	GCv	IIP2	IIP3	IP _{-1dB}	Isolation RF-OL	Coupure à -3dB
23mW	10GHz	-5dBm	+13dB	+62dBm* +78dBm* *	+12.2dBm	-4dBm	28dBm	30GHz

Fabrication du circuit chez NXP à Caen dans la technologie QBIC4

Thèse de Chakib BELKHIRI IREENA, univ. De Nantes - 2005

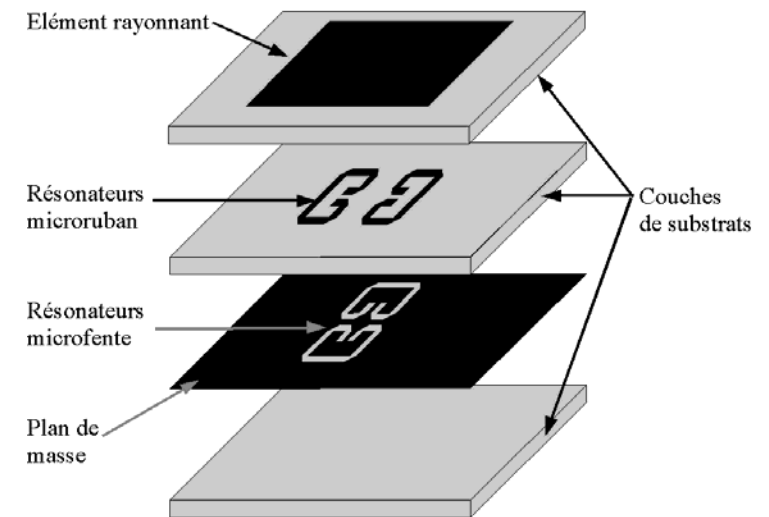
Illustration « Antennes Large bandes »

- Antennes à Éléments imbriqués -



Thèse Frédéric Perrot, LEST, ENST Bretagne 2003

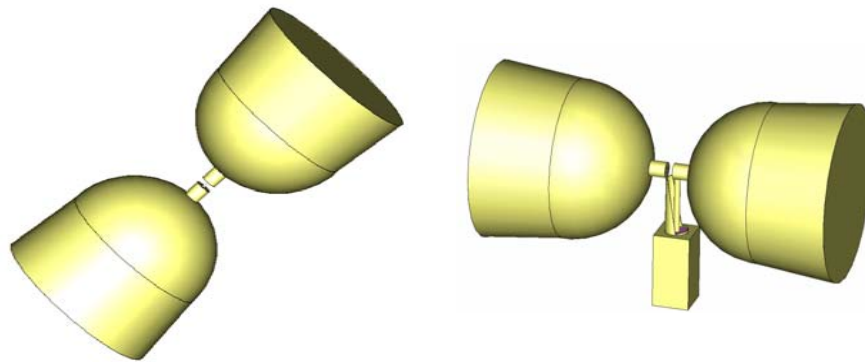
- Concept Antenne-Filtre -



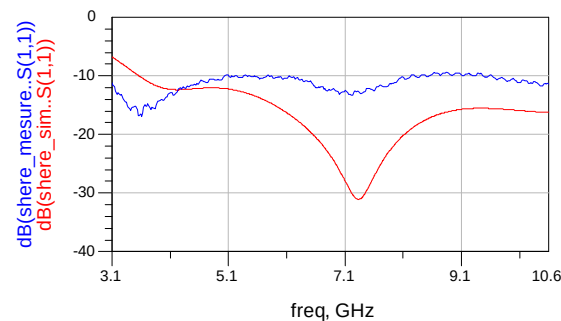
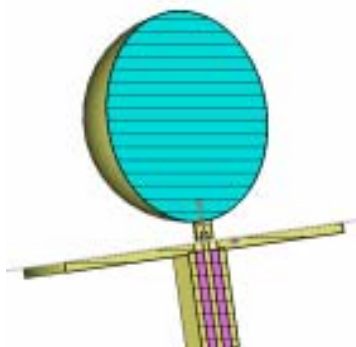
Thèse Frédéric Queudet,
IREENA, univ. de Nantes 2006

Illustration « Antennes Large bandes »

Antenne ULB avec filtrage incorporé



Monopole/Discone/Dipôle



Adaptation S11

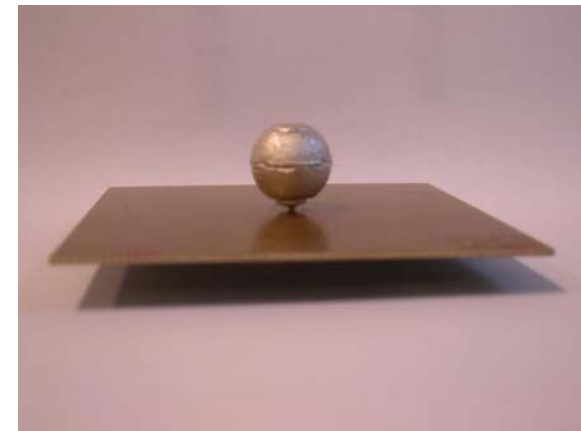
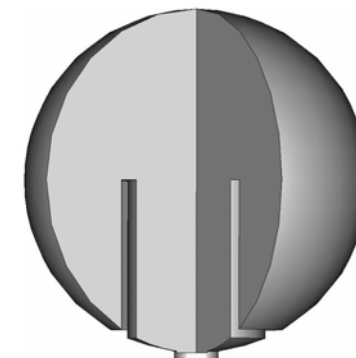


Photo de l'antenne réalisée



Vue en coupe de l'antenne

Une idée du terminal du futur ...

✓ Les besoins en composants RF pour une telle architecture accordable

▪ *Éléments RF très large bande*

▪ *Éléments RF multibandes sélectifs*

- *Solutions d'antennes bi- tri- voire quadri-bande*
- *idem pour les filtres, les amplificateurs et les OL.*

▪ *Éléments RF accordables*

- *Antennes accordables,*
- *Amplificateurs et filtres*
- *Problèmes contrôles indépendants bande / fréquence*

Matériaux

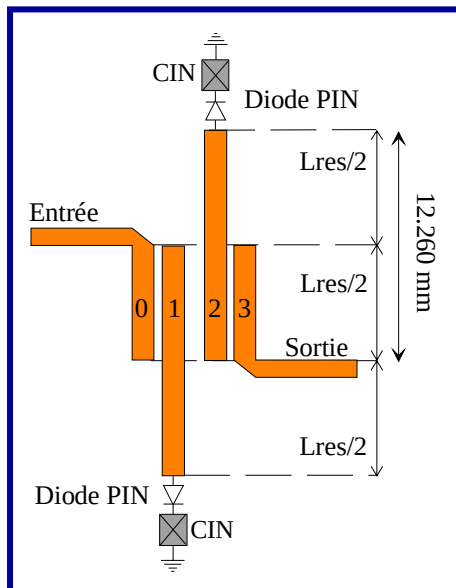
MEMs

Composants

Variation Fréquence centrale

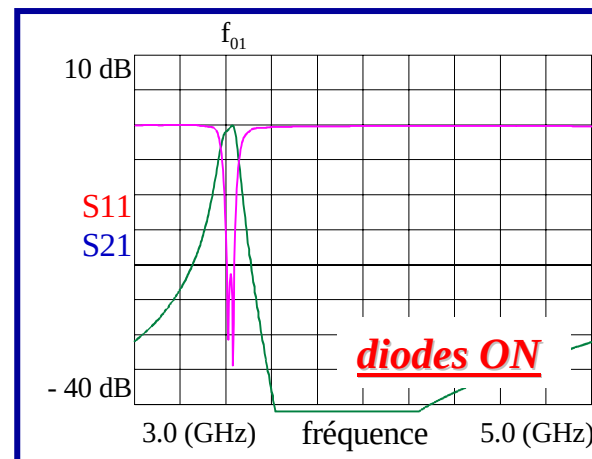
Agilité à base de diodes + MMIC ($R < 0$)

Topologie du filtre



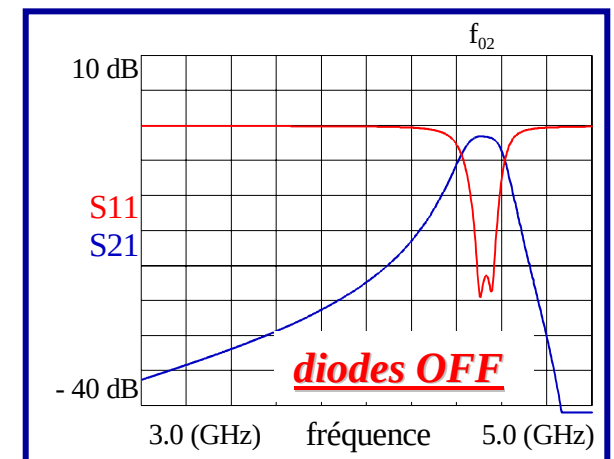
(Travaux LEST – XLIM)

Simulations



Fréquence basse

$$f_{01} = 3.42 \text{ GHz}$$



Fréquence haute

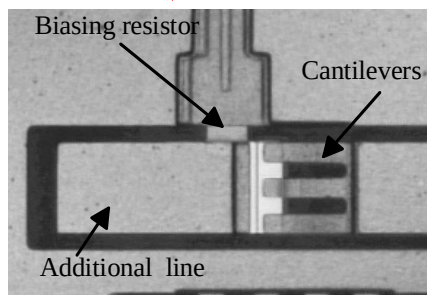
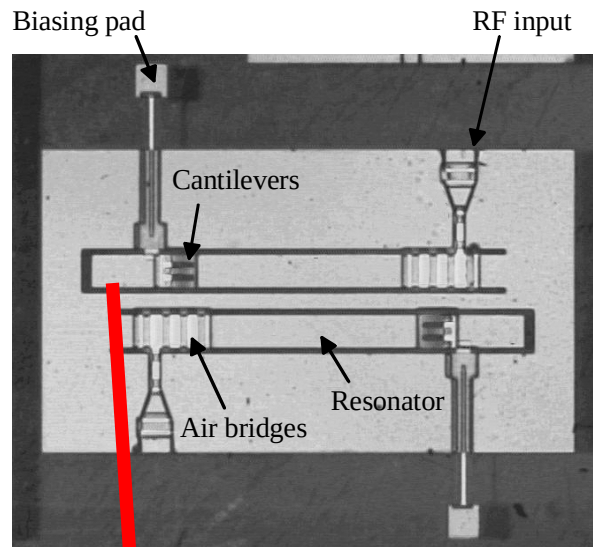
$$f_{02} = 4.53 \text{ GHz}$$



$$\Delta f = 1.11 \text{ GHz}$$

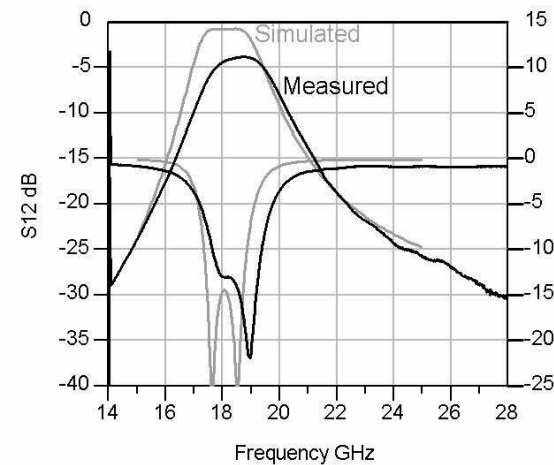
Variation Fréquence centrale

Agilité à base de MEMS

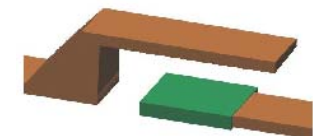
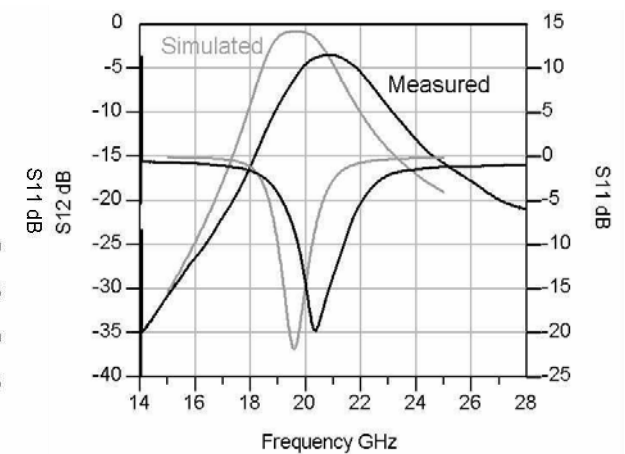


Mesures

Etat bas



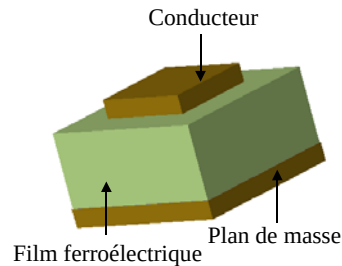
Etat Haut



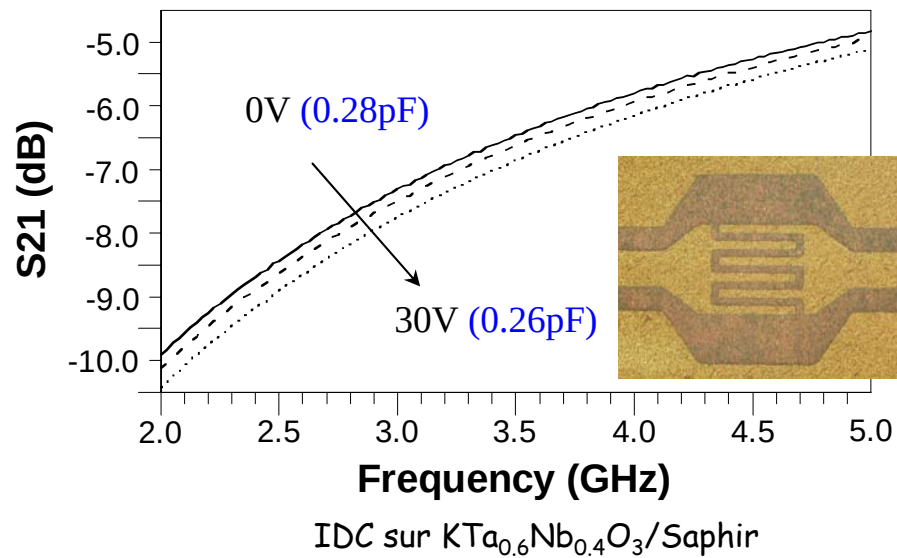
Variation Fréquence centrale

Agilité à base de Matériaux

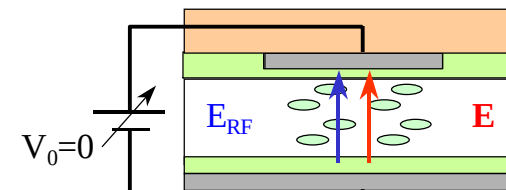
- Ferroélectriques -



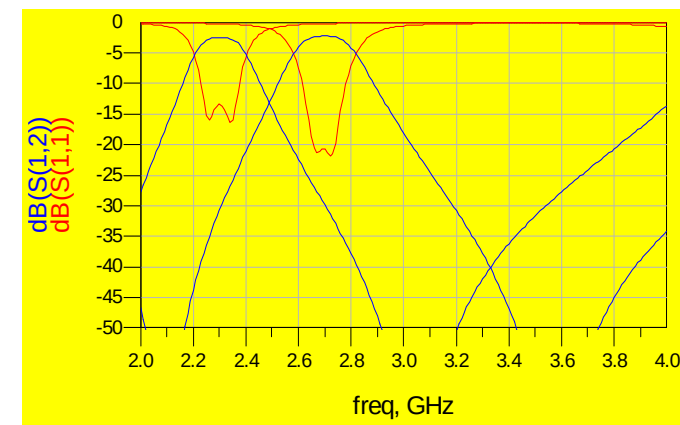
$$\epsilon_r = f(\vec{E})$$



- Cristaux liquides -



Exemple de réponse - Filtre DBR

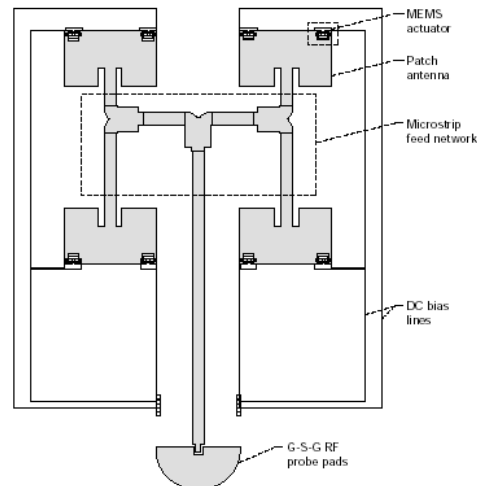


Changement d'anisotropie de CL

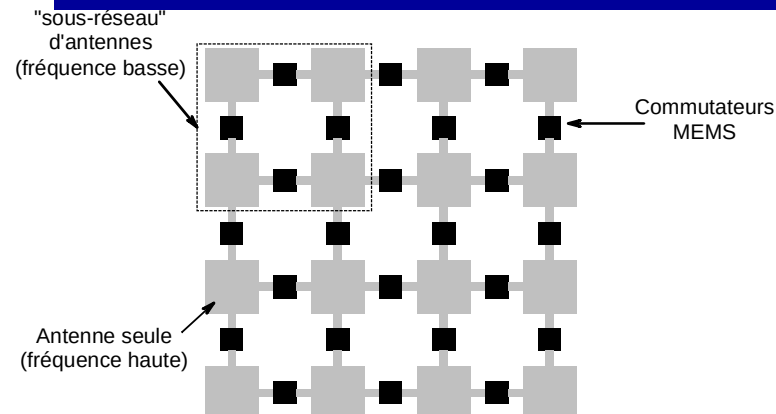
Variation Fréquence centrale

Différentes solution d'accord

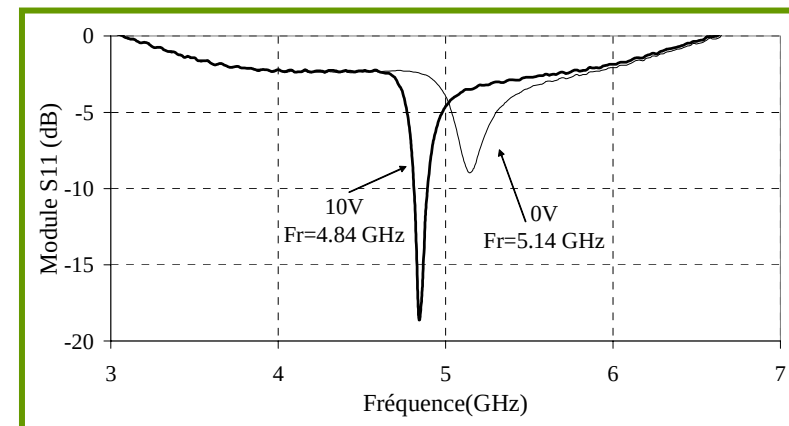
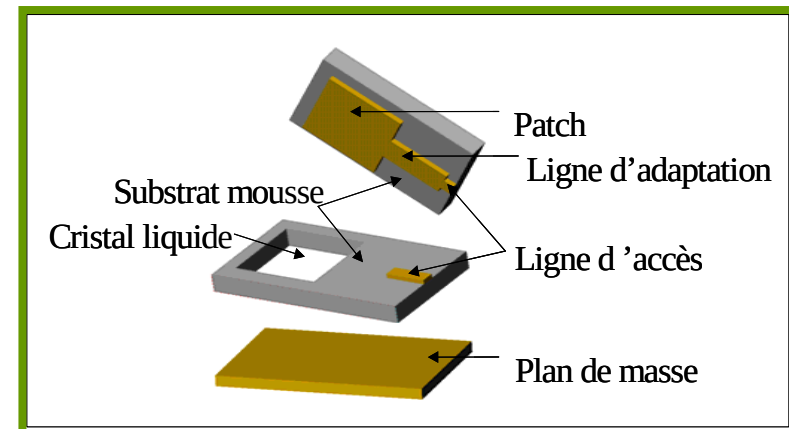
- MEMs -



Réseau d'antennes patches reconfigurable.



- Cristaux liquides -

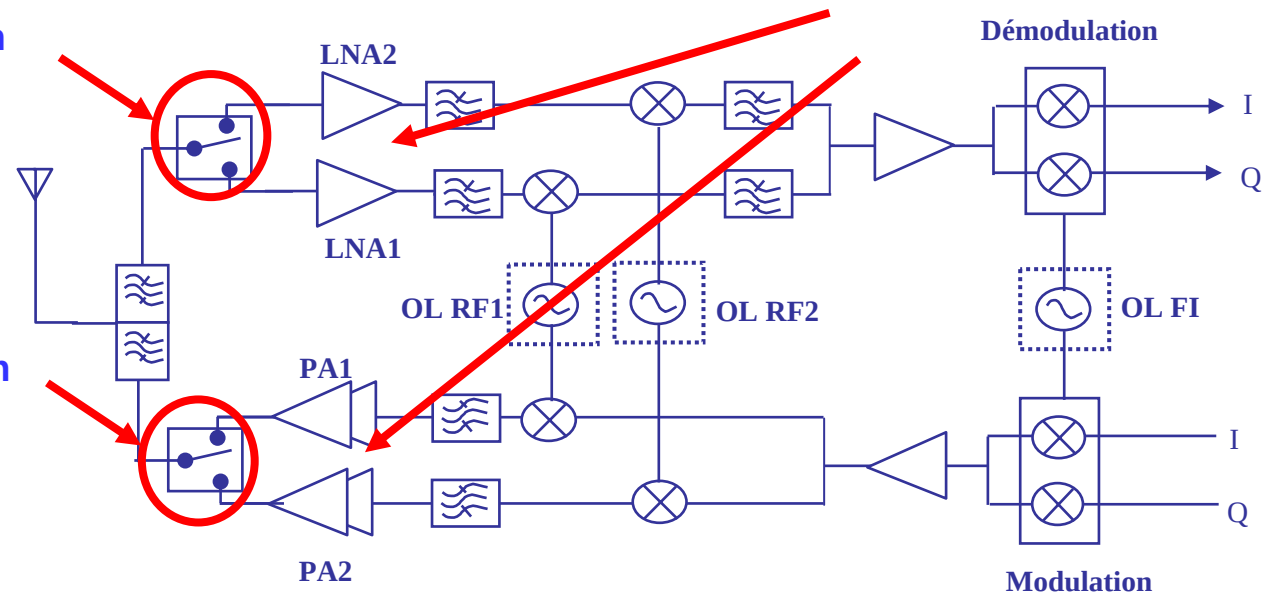


- Il devient envisageable de concevoir des Récepteurs multi-bandes commutés -

Les chaînes RF RX et TX sont :
 - doublées pour un bibande,
 - triplées pour un tribande, ...

Interrupteur pour la sélection
de la chaîne RF RX

Interrupteur pour la sélection
de la chaîne RF TX

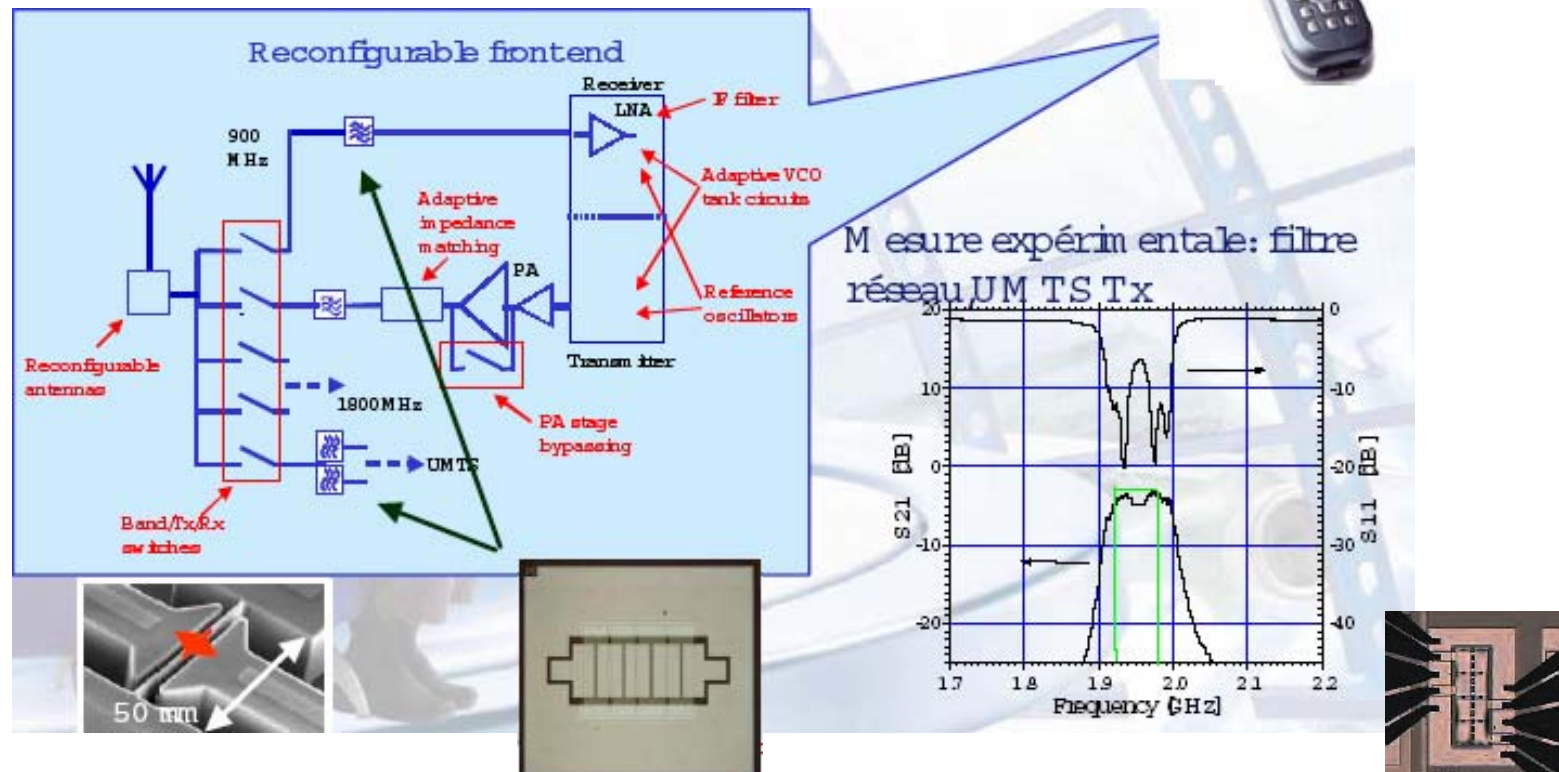


✓ Exemple de solution actuelle => Duplication de chaînes RF

Une Intégration de plus en plus poussée du système

Exemple de solution d'intégration sur Silicium

✓ Pour les capteurs et les filtres : *Solutions à base de MEMS, BAW, ...*



- ✓ Les filtres à base de MEMS sont en cours de développement
- ✓ Les filtres BAW sont déjà en production

Filtre BAW

- Vers des Récepteurs multi-bandes commutés -

Démarche : Sur une même puce, un système activé à chaque fois

- Nécessité de contrôler et configurer distinctement chaque trajet/système
- Nombre de signaux interférents réduit / solution « récepteurs parallélisés

Challenges :

- Optimisation des composants « co-utilisés » suivant différents modes opérationnels en RF ET en Bande de base
- Contraintes de surface Silicium
 - Pas de structures parallélisées par blocs fonctionnels
 - Fonctions reconfigurables
- Maintien des performances / récepteur mono-standard
- Pas de composants « OFF-Chip »

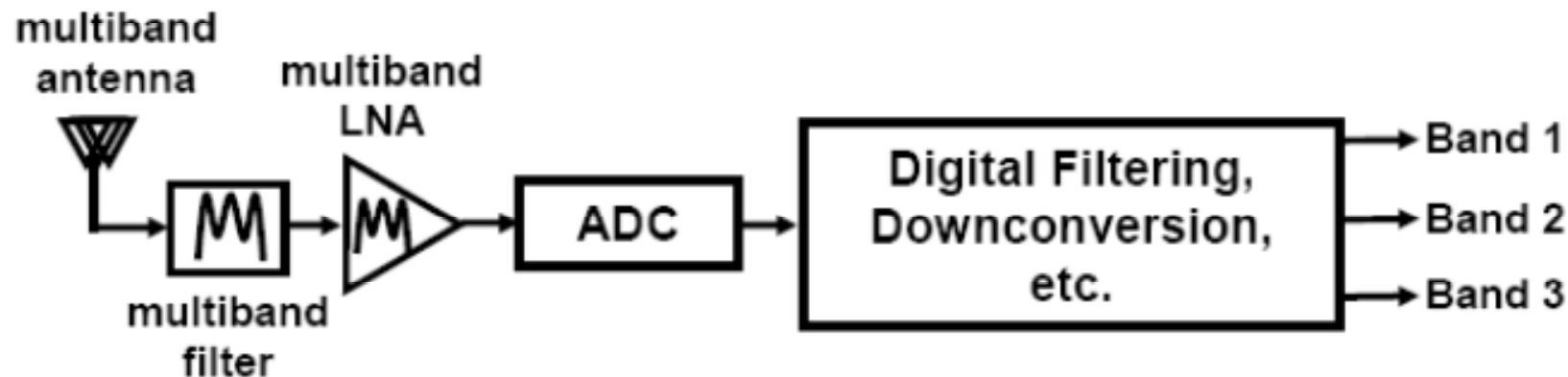
Architecture multibande / multinorme ??

Et la Voie de «la radio logicielle» ?

- Récepteur numérique idéal -

✓ La « radio logicielle » idéale

- Numérisation des signaux en fréquence RF après l'antenne
- Convertisseur analogique/numérique (CAN) haute fréquence.
- Traitements logiciels (sélection du canal, filtrage, ...).



Handicaps majeurs dans un contexte multibandes/multinormes :

- Forte dynamique (DR) requise coté Front-end
- Contraintes ADC : Forte dynamique (DR) et rapidité
 - *Consommation de puissance ADC augmente avec contraintes échantillonnage.*
- Consommation de puissance partie numérique ?

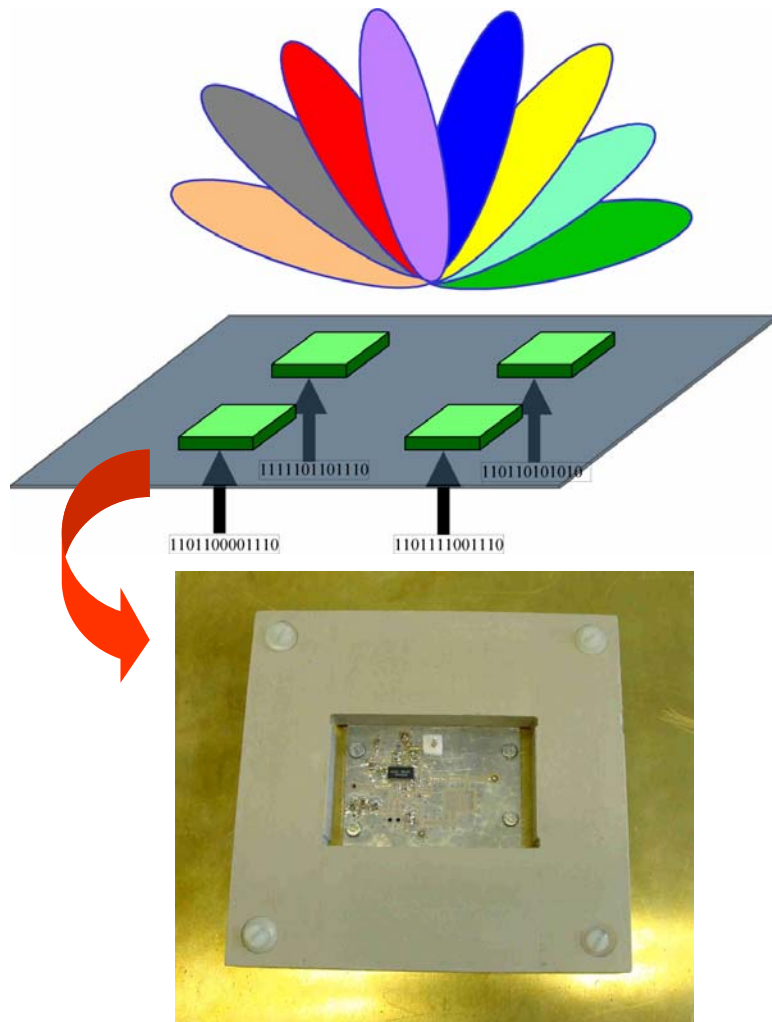
- Front-end multibandes pour Récepteur numérique idéal -



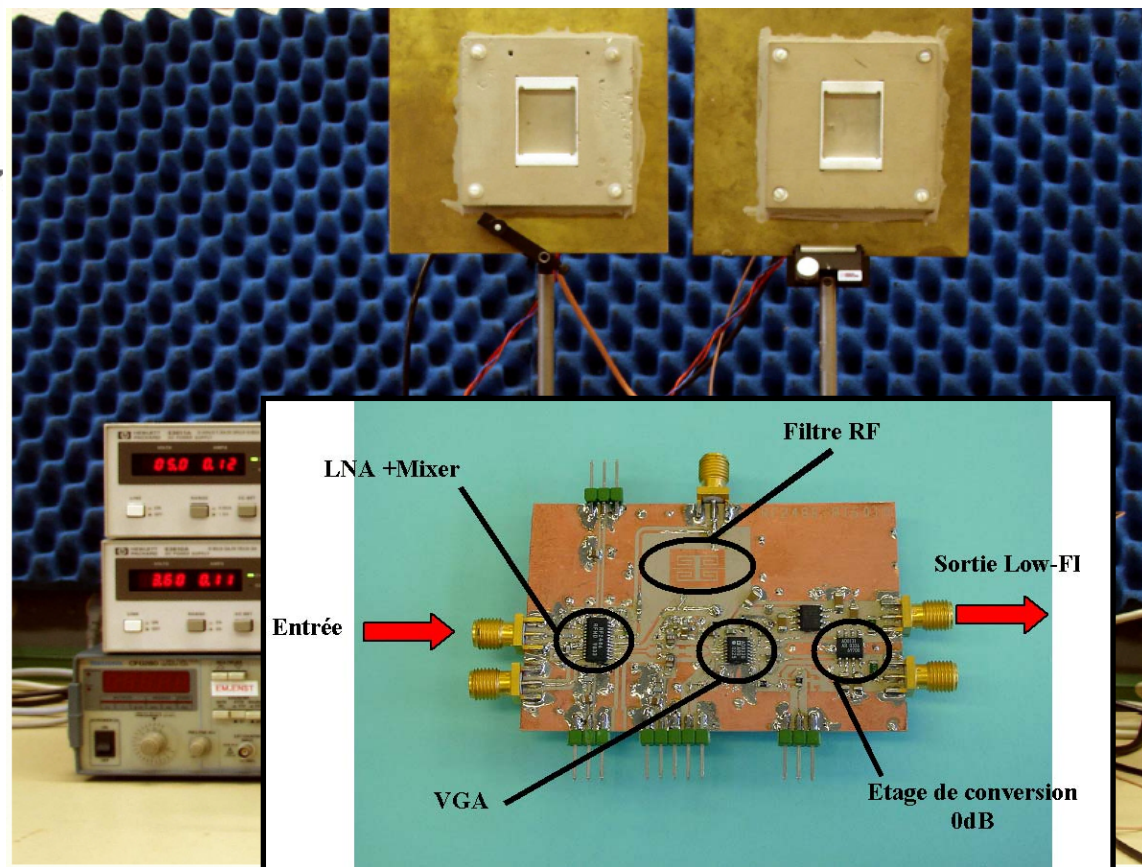
En pratique, Plutôt une Radiologicielle Restreinte ...

Antennes reconfigurables

Par commande Numérique



Modules radio numérisés



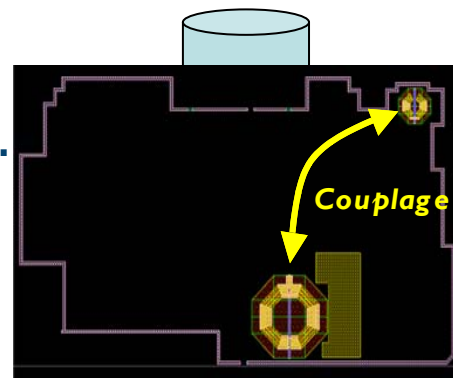
- BILAN -

L'intégration système liée à l'évolution des technologies

Intégration sur silicium

..... Solution SOI (intégration des passifs)
- Technologies BiCMOS, RF CMOS

Conception sur Silicium ..



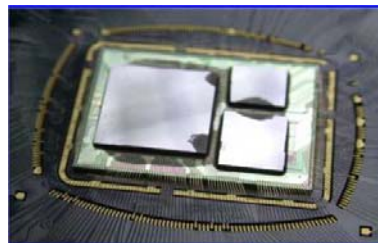
Maîtrise de la conception

Outils CAO appropriés :

- Approches Multi-physiques
- Approches Multi-échelles

SoC : system on chip

Une seule puce



SiP : System in Package
SoP : System on Package

Une puce + un support