



Institut
Mines-Telecom

Electronique des Systèmes d'acquisition

Chadi Jabbour

ELEC101



- ▶ Fournir une vision générale de l'électronique des systèmes d'acquisition, particulièrement pour la partie de traitement analogique du signal :
 - ▶ Intérêts et enjeux
 - ▶ Applications
 - ▶ Défis techniques
 - ▶ Principales fonctions

- ▶ Approche descendante:
 - ▶ Du système
 - ▶ Vers le composant

Numérique vs Analogique

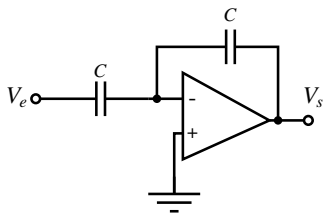


Numérique vs Analogique

On est tous un peu schizophrène, l'électronique aussi

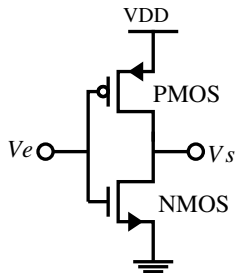
Inverseur Numérique vs Analogique

Analogique



- ▶ Surface: 20 à 100 transistors pour l'amplificateur opérationnel + capacités
- ▶ Consommation: Dépend principalement de la bande du signal et des capacités utilisées

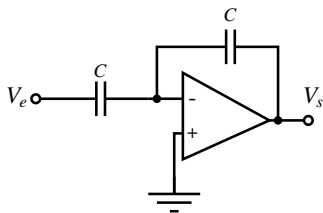
Numérique



- ▶ Surface: 2 transistors
- ▶ Consommation: Dépend de la vitesse voulue et de la technologie

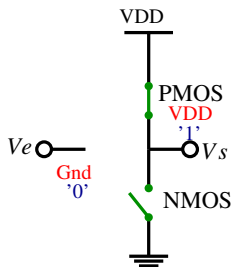
Inverseur Numérique vs Analogique

Analogique



- ▶ Surface: 20 à 100 transistors pour l'amplificateur opérationnel + capacités
- ▶ Consommation: Dépend principalement de la bande du signal et des capacités utilisées

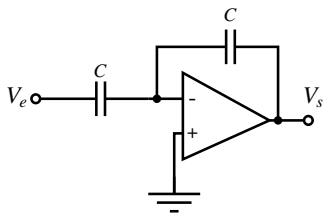
Numérique



- ▶ Surface: 2 transistors
- ▶ Consommation: Dépend de la vitesse voulue et de la technologie

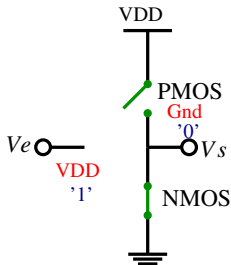
Inverseur Numérique vs Analogique

Analogique



- ▶ Surface: 20 à 100 transistors pour l'amplificateur opérationnel + capacités
- ▶ Consommation: Dépend principalement de la bande du signal et des capacités utilisées

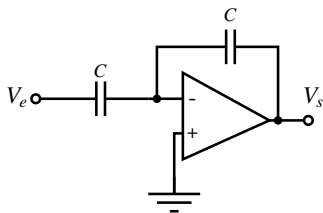
Numérique



- ▶ Surface: 2 transistors
- ▶ Consommation: Dépend de la vitesse voulue et de la technologie

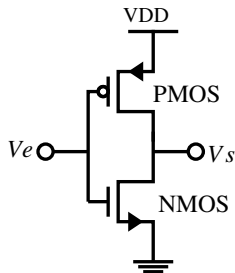
Inverseur Numérique vs Analogique

Analogique



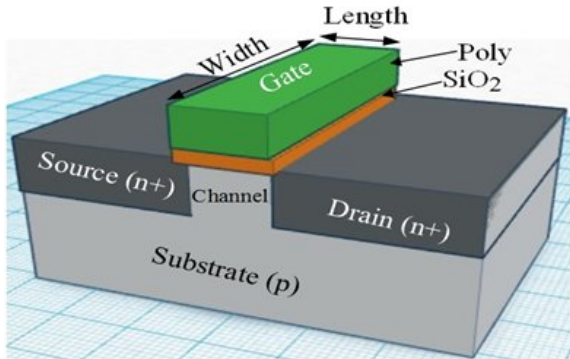
- ▶ Surface: 20 à 100 transistors pour l'amplificateur opérationnel + capacités
- ▶ Consommation: Dépend principalement de la bande du signal et des capacités utilisées

Numérique



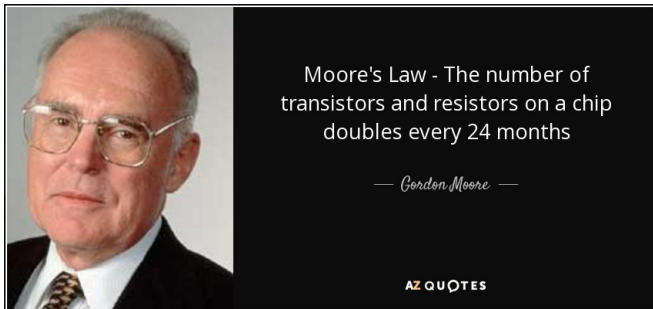
- ▶ Surface: 2 transistors
- ▶ Consommation: Dépend de la vitesse voulue et de la technologie

Technologie CMOS



- ▶ Quand on parle d'une technologie CMOS 40 nm, 40 nm désigne la longueur du canal *Length*
- ▶ Les capacités d'un transistor sont proportionnels à $W \cdot L$
- ▶ Alors que sa vitesse est approx. proportionnelle à $\frac{W}{L}$

La loi de Moore - 1965



Gordon Moore

Co-fondateur de Intel en 1968 avec Robert Noyce et Andrew Grove

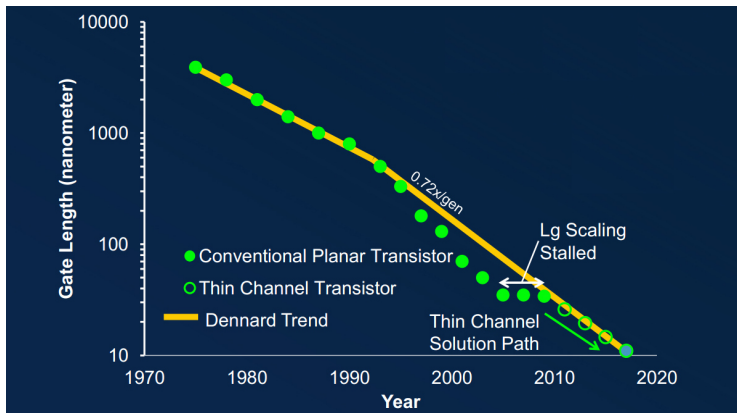
Si dans une surface donnée, nous voulons doubler de nombres de transistors:

- ▶ A $\frac{W}{L}$ constant, L doit $\searrow \sqrt{2}$ d'un noeud technologique au suivant afin que la surface ($\propto W \cdot L$) $\searrow 2$ tous les 2 ans

Implications de la loi de Moore

Si dans une surface donnée, nous voulons doubler de nombres de transistors:

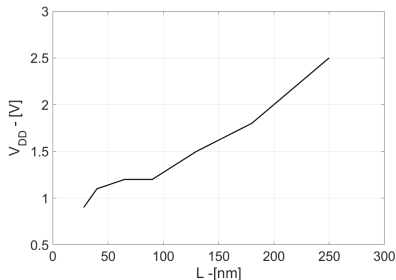
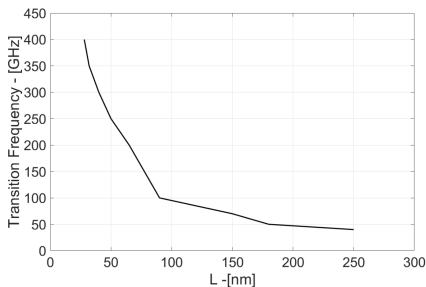
- ▶ A $\frac{W}{L}$ constant, L doit $\searrow \sqrt{2}$ d'un noeud technologique au suivant afin que la surface ($\propto W \cdot L$) $\searrow 2$ tous les 2 ans



[source: Applied Materials]

Le scaling

Quand la longueur L ou la technologie est mise à l'échelle (*scaler*)



source: ITRS

- ▶ La tension d'alimentation diminue
- ▶ La fréquence de transition¹ augmente \implies les systèmes peuvent opérer à des vitesses supérieures

¹fréquence pour laquelle le gain intrinsèque du transistor vaut 1

Analogique

- ▶ Surface: Diminue légèrement car principalement dominée par les capacités
- ▶ Vitesse maximale: $\nearrow \sim 2$
- ▶ Consommation: Diminue très légèrement

Numérique

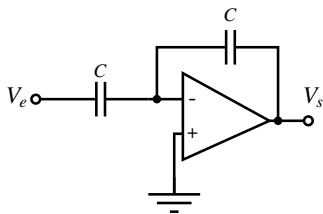
- ▶ Surface: $\searrow 2$ entre noeuds tech. successifs ou 2 fois plus de fonctionnalités
- ▶ Vitesse maximale: $\nearrow 2$
- ▶ Consommation: à vitesse constante, $\searrow > 2$

Réduction consommation :

Technologie $1\mu\text{m}$ 1990 Vs Technologie 28 nm 2015

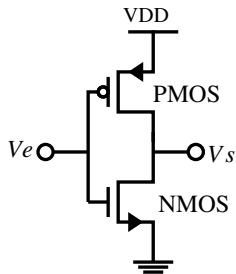
~ 30000 pour le numérique Vs 5 à 10 pour l'analogique

Analogique



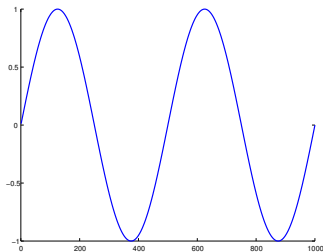
- ▶ Résolution théorique: infinie

Numérique



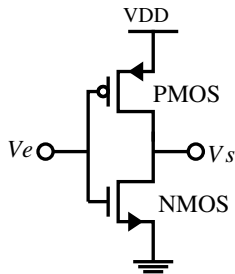
- ▶ Résolution un inverseur: 1 bit

Analogique



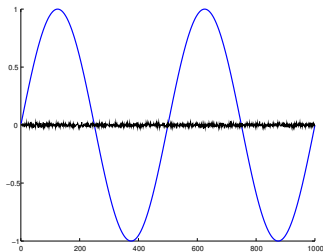
- ▶ Résolution théorique: infinie

Numérique



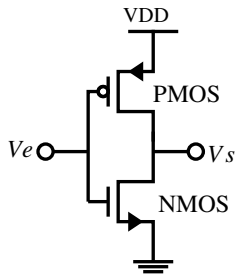
- ▶ Résolution un inverseur: 1 bit

Analogique



- ▶ Résolution théorique: infinie

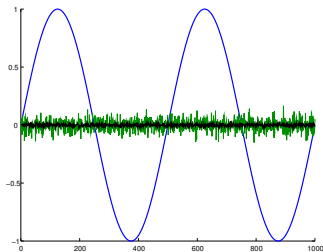
Numérique



- ▶ Résolution un inverseur: 1 bit

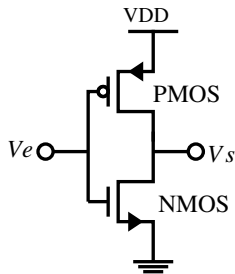
Inverseur Numérique vs Analogique - round 2

Analogique



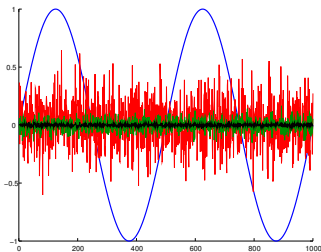
- ▶ Résolution théorique: infinie

Numérique



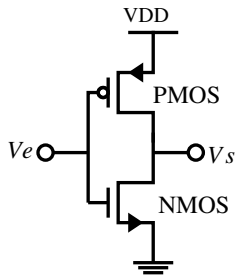
- ▶ Résolution un inverseur: 1 bit

Analogique



- ▶ Résolution théorique: infinie
- ▶ Résolution pratique:
Dépend du rapport entre les
puissance du signal utile et
du bruit (SNR)

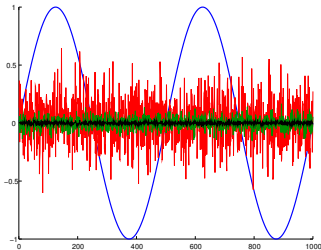
Numérique



- ▶ Résolution un inverseur:
1 bit

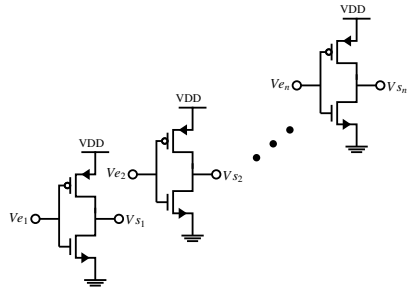
Inverseur Numérique vs Analogique - round 2

Analogique



- ▶ Résolution théorique: infinie
- ▶ Résolution pratique:
Dépend du rapport entre les
puissance du signal utile et
du bruit (SNR)

Numérique



- ▶ Résolution un inverseur:
1 bit
- ▶ La résolution peut être
augmentée en disposant +
inverseurs en parallèle.

Numérique vs Analogique - résumé

- ▶ Le *scaling* technologique améliore exponentiellement les performances des circuits numériques (vitesse, résolution, surface, consommation ...). **Beaucoup moins vrai pour les circuits analogiques.**
- ▶ Les circuits numériques sont plus simples à concevoir, sont conçus et dessinés automatiquement par des outils dédiés. **Beaucoup moins vrai pour les circuits analogiques qu'on doit en grande partie les concevoir à la "main".**
- ▶ Son marché étant sensiblement plus important que l'analogique, les fondeurs optimisent leurs technologies pour le numérique, **beaucoup moins pour l'analogique.**
- ▶ ...

Le monde réel est analogique

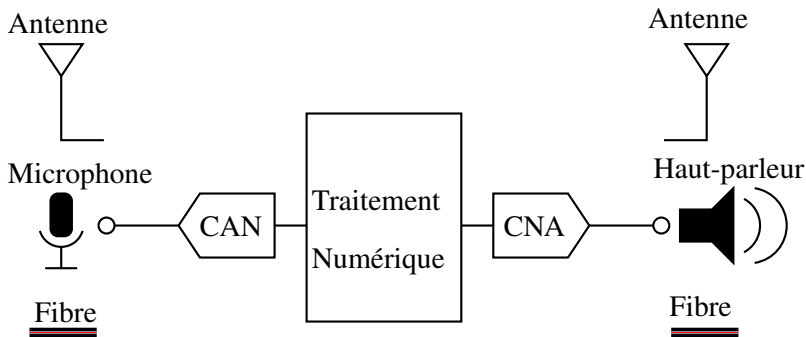


TeamClips.com #8851 service@teamclips.com



Tous les systèmes de com. (filaires, sans fil, sur fibre), tous les systèmes de détection (radar, capteur de distance ...), tous les systèmes audio, un moment ou un autre, sont analogiques

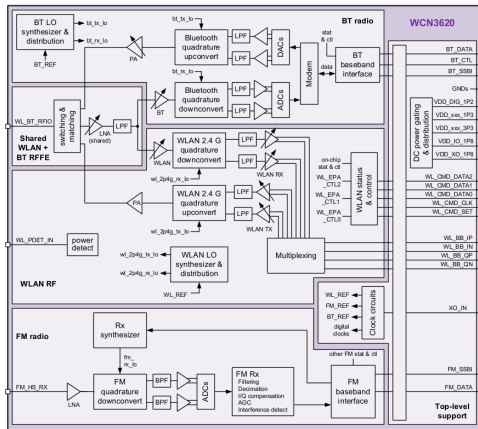
Du coup rajoutons, juste des interfaces A/N (CAN ou ADC) et N/A (CNA ou DAC)



Approche *Software Defined Radio* proposée dans les 90s

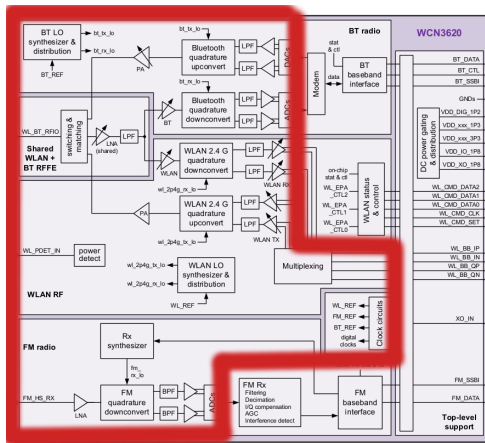
Comme le traitement numérique coûte et coûtera de moins en moins cher, rajoutons à notre traitement numérique juste des convertisseurs analogique-numérique et numérique-analogique.

Transceiver de connectivité



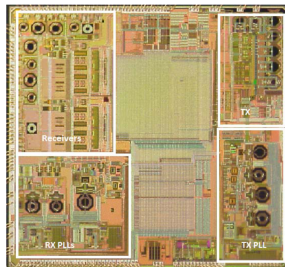
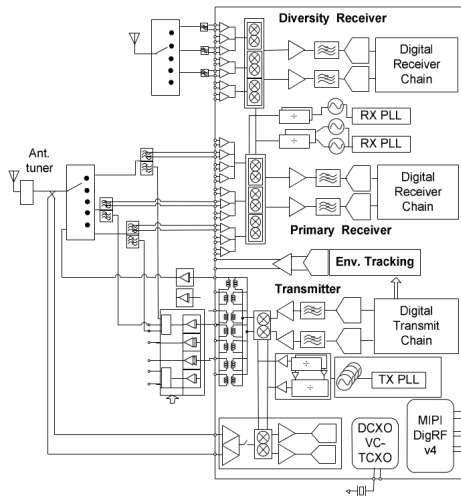
Transceiver de connectivité produit par Qualcomm (WiFi, Bluetooth, BLE) en CMOS 65nm

Transceiver de connectivité



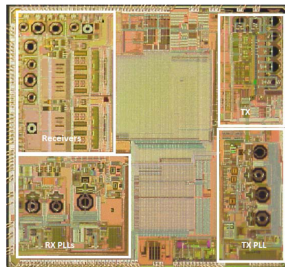
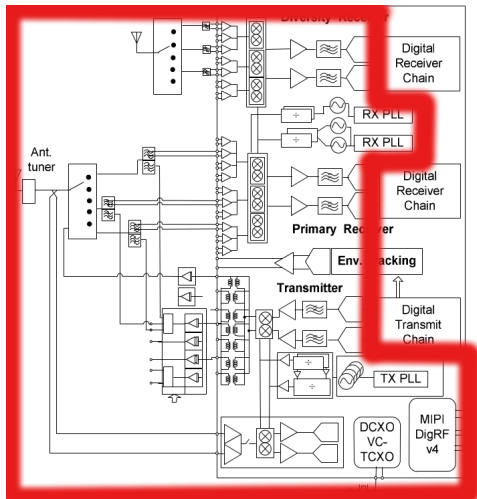
Transceiver de connectivité produit par Qualcomm (WiFi, Bluetooth, BLE) en CMOS 65nm

Transceiver pour communications mobiles



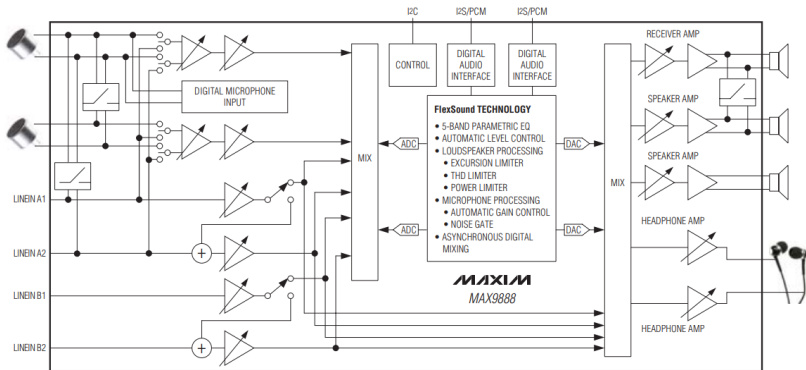
Transceiver 3G/4G produit par Marvell en 55 nm CMOS

Transceiver pour communications mobiles



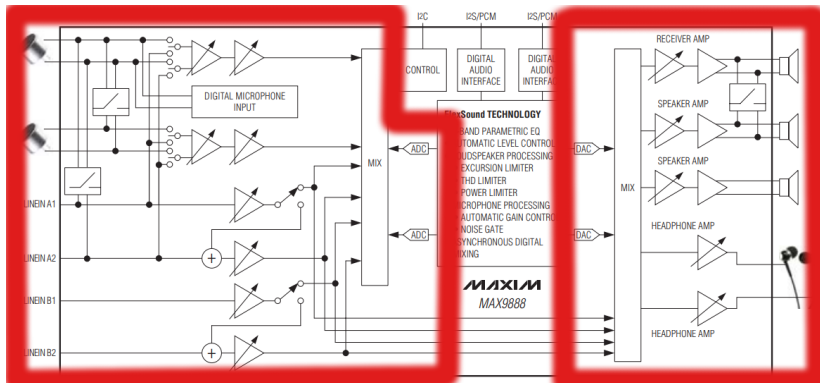
Transceiver 3G/4G produit par Marvell en 55 nm CMOS

Transceiver audio



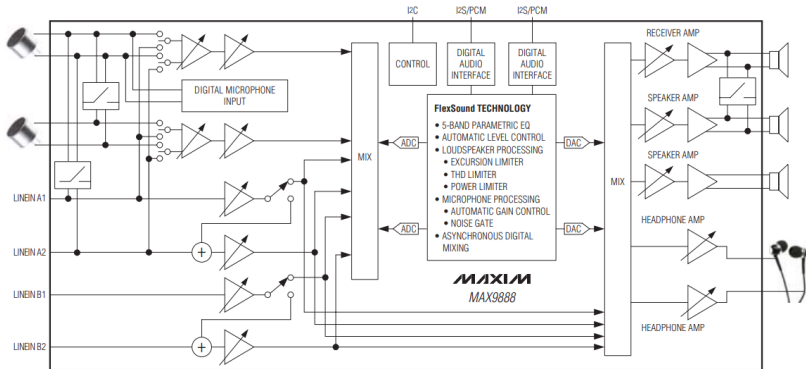
Transceiver audio stéréo produit par Maxim

Transceiver audio



Transceiver audio stéréo produit par Maxim

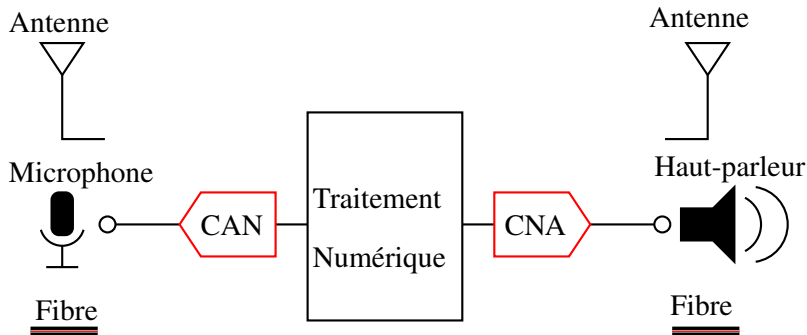
Transceiver audio



Transceiver audio stéréo produit par Maxim

Tous les systèmes de communication et d'acquisition ont toujours un grand nombre de blocs analogiques, pas juste des CAN et CNA

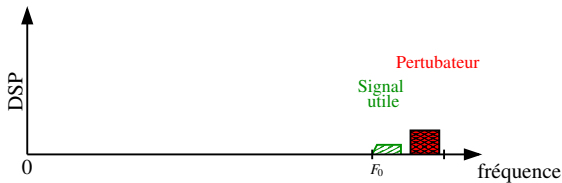
Approche SDR, why not?



Problèmes

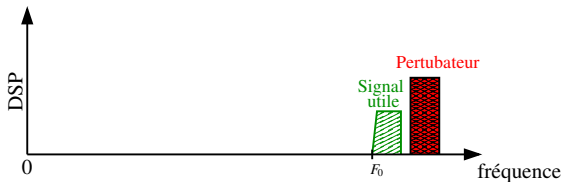
Cette approche n'est jamais adoptée en pratique car implique des contraintes colossales sur le CAN et CNA

Approche SDR, why not? Récepteur



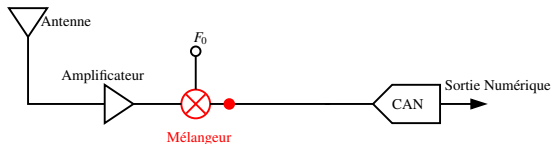
- Puissance du signal très faible à la réception

Approche SDR, why not? Récepteur



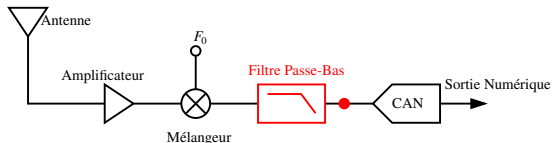
- ▶ Puissance du signal très faible à la réception **Amplification**
- ▶ Fréquence centrale de réception élevée

Approche SDR, why not? Récepteur



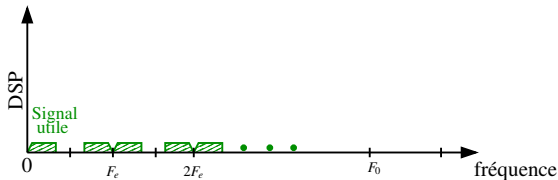
- ▶ Puissance du signal très faible à la réception **Amplification**
- ▶ Fréquence centrale de réception élevée **Mélangeur**
- ▶ Interféreurs et parasites

Approche SDR, why not? Récepteur



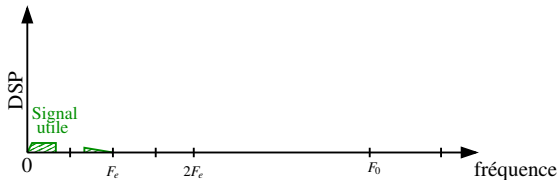
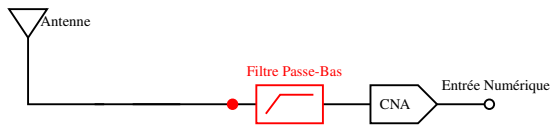
- ▶ Puissance du signal très faible à la réception **Amplification**
- ▶ Fréquence centrale de réception élevée **Mélangeur**
- ▶ Interférences et parasites **Filtrage**

Approche SDR, why not? Emetteur



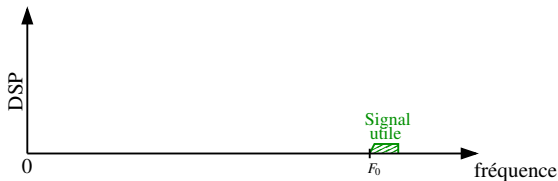
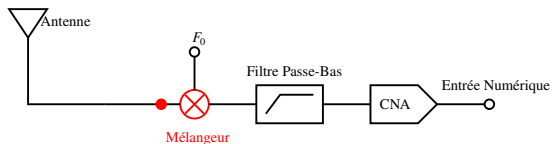
- Images du signal aux multiples de la fréquence d'échantillonnage

Approche SDR, why not? Emetteur



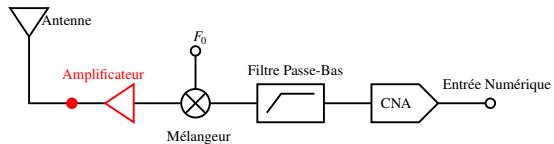
- ▶ Images du signal aux multiples de la fréquence d'échantillonnage **Filtrage**
- ▶ Fréquence centrale à l'émission élevée

Approche SDR, why not? Emetteur



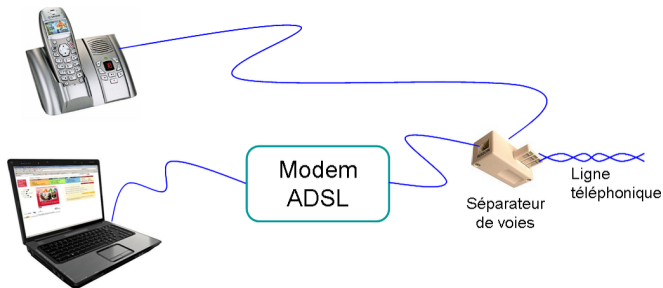
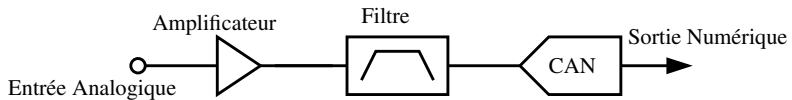
- ▶ Images du signal aux multiples de la fréquence d'échantillonnage **Filtrage**
- ▶ Fréquence centrale à l'émission élevée **Mélangeur**
- ▶ Nécessité d'avoir une puissance élevée pour réduire les contraintes sur le récepteur

Approche SDR, why not? Emetteur

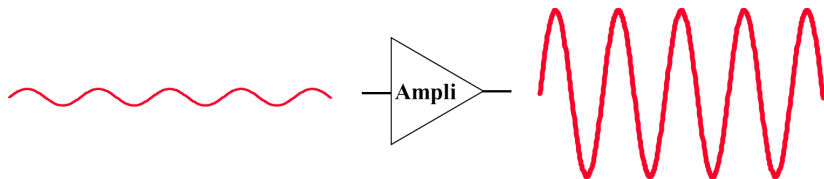


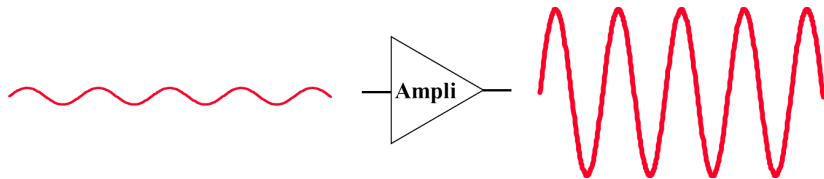
- ▶ Images du signal aux multiples de la fréquence d'échantillonnage **Filtrage**
- ▶ Fréquence centrale à l'émission élevée **Mélangeur**
- ▶ Nécessité d'avoir une puissance élevée pour réduire les contraintes sur le récepteur **Amplification**

Chaîne étudiée dans le module



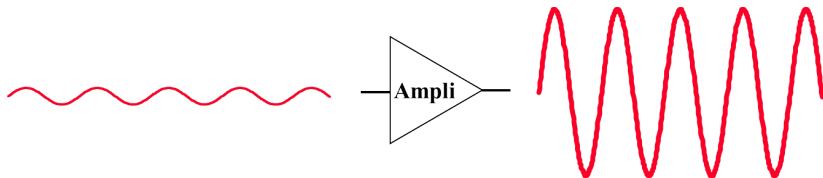
Amplificateur



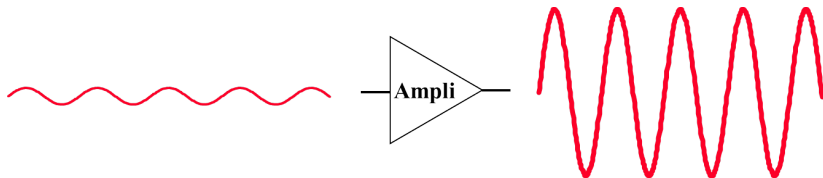


► Gain

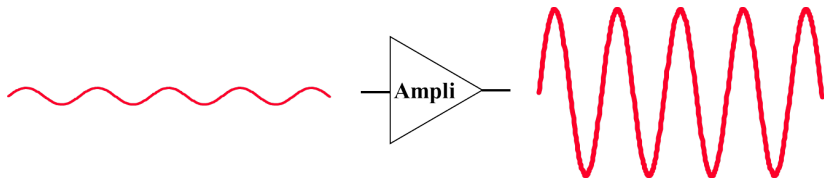
Amplificateur



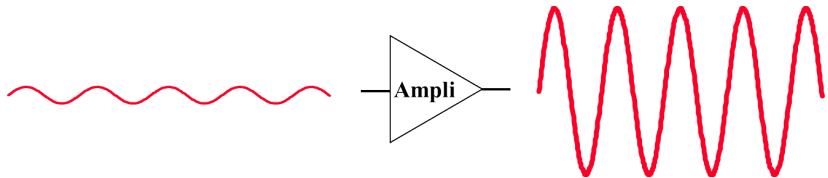
- ▶ Gain
- ▶ Bruit



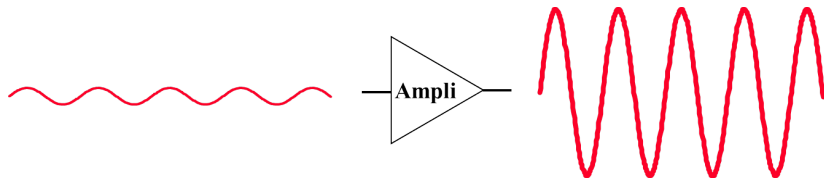
- ▶ Gain
- ▶ Bruit
- ▶ Bande passante



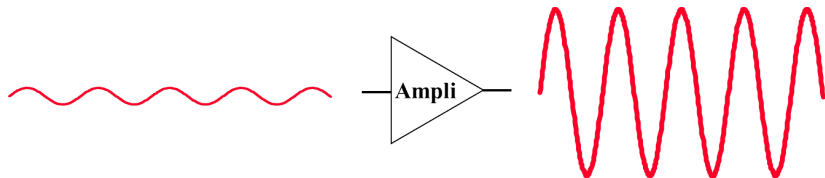
- ▶ Gain
- ▶ Bruit
- ▶ Bande passante
- ▶ Non-linéarités



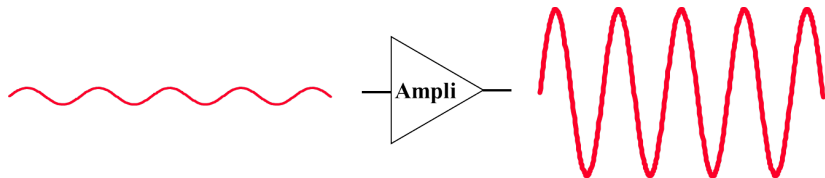
- ▶ Gain
- ▶ Bruit
- ▶ Bande passante
- ▶ Non-linéarités
- ▶ Dynamique d'entrée



- ▶ Gain
- ▶ Bruit
- ▶ Bande passante
- ▶ Non-linéarités
- ▶ Dynamique d'entrée
- ▶ Dynamique de sortie



- ▶ Gain
- ▶ Bruit
- ▶ Bande passante
- ▶ Non-linéarités
- ▶ Dynamique d'entrée
- ▶ Dynamique de sortie
- ▶ Impédance de sortie



- ▶ Gain
- ▶ Bruit
- ▶ Bande passante
- ▶ Non-linéarités
- ▶ Dynamique d'entrée
- ▶ Dynamique de sortie
- ▶ Impédance de sortie
- ▶ *slew rate*



Léon Charles
Thévenin
(1857-1926)

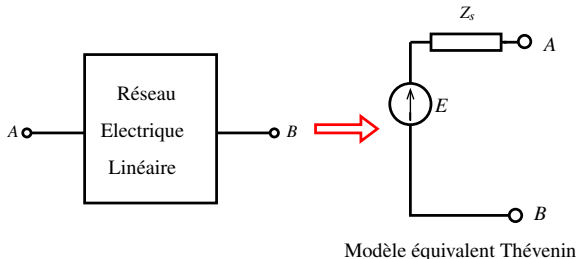
Enoncé du théorème

On peut remplacer tout circuit linéaire, qui alimente par les bornes A et B un dipôle D par une source de tension idéale en série avec une impédance

Théorème de Thévenin - 1883 - EPSPT



Léon Charles
Thévenin
(1857-1926)



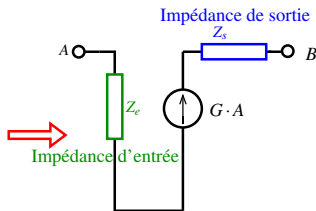
Enoncé du théorème

On peut remplacer tout circuit linéaire, qui alimente par les bornes A et B un dipôle D par une source de tension idéale en série avec une impédance

Théorème de Thévenin - 1883 - EPSPT



Léon Charles
Thévenin
(1857-1926)

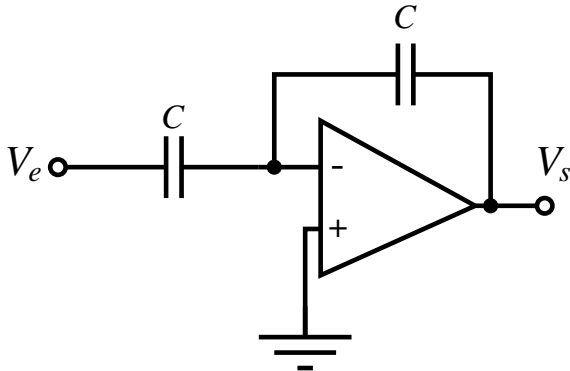


Modèle équivalent Thévenin

Enoncé du théorème

On peut remplacer tout circuit linéaire, qui alimente par les bornes A et B un dipôle D par une source de tension idéale en série avec une impédance

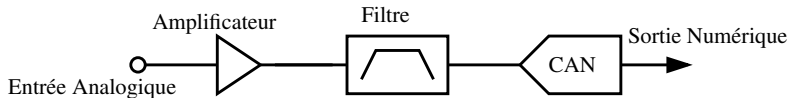
Amplificateur en boucle fermée



Amplificateur opérationnel

Grâce à sa masse virtuelle et son Z_s idéalement nulle, l'AO permet d'implémenter avec précision une multitude de fonctions sans perte de puissance utile: inversion, intégration, dérivation ...

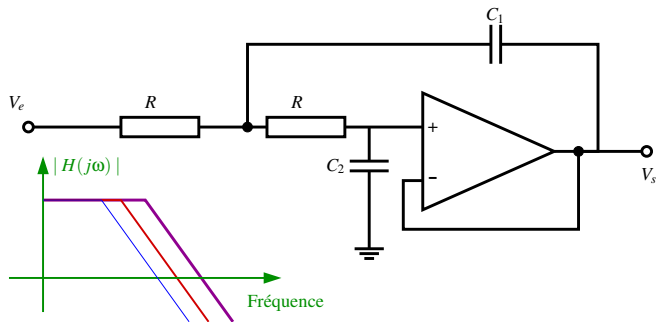
Chaîne étudiée dans le module - Filtrage



Filtrage

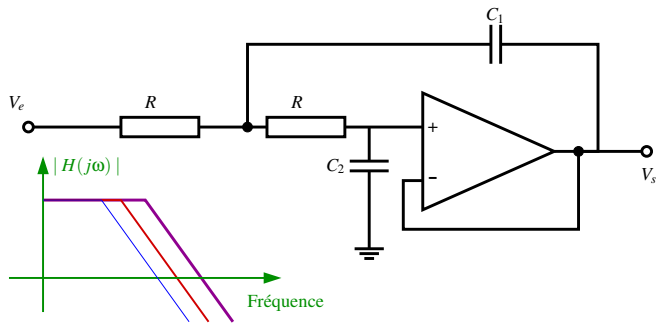
Le filtrage a comme fonction d'atténuer les perturbateurs, interféreurs et parasites tout en gardant l'intégrité du signal utile

Filtrage temps continu



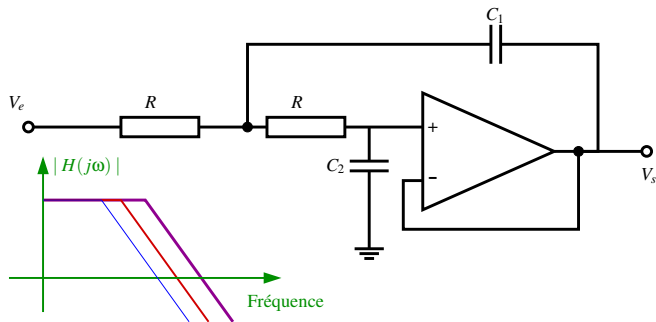
- Type du filtrage (passe bas, passe haut, ...)

Filtrage temps continu



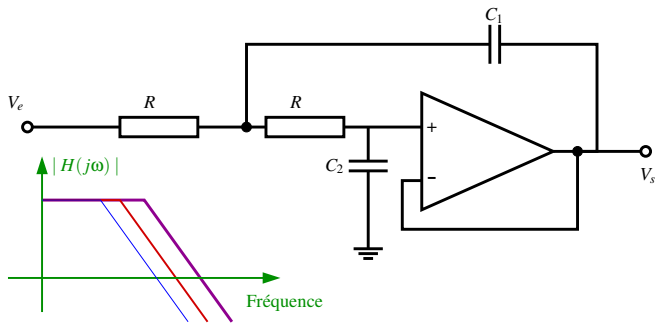
- ▶ Type du filtrage (passe bas, passe haut, ...)
- ▶ Ordre du filtre

Filtrage temps continu



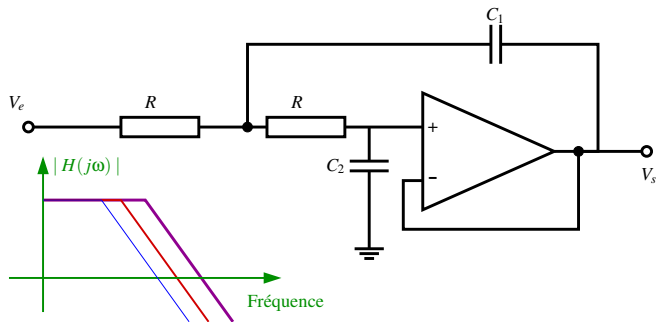
- ▶ Type du filtrage (passe bas, passe haut, ...)
- ▶ Ordre du filtre
- ▶ Approximations:

Filtrage temps continu



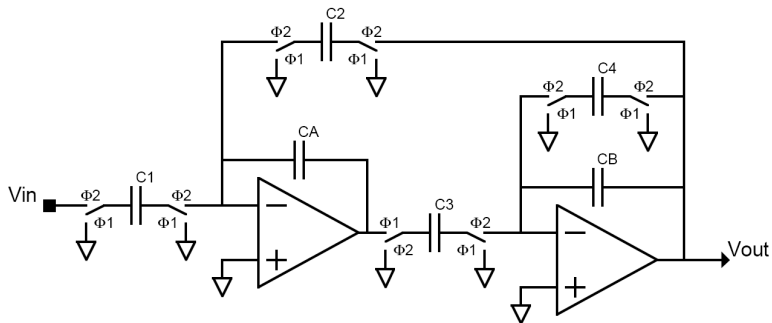
- ▶ Type du filtrage (passe bas, passe haut, ...)
- ▶ Ordre du filtre
- ▶ Approximations: Butterworth, Bessel, Tchebychev ...

Filtrage temps continu



- ▶ Type du filtrage (passe bas, passe haut, ...)
- ▶ Ordre du filtre
- ▶ Approximations: Butterworth, Bessel, Tchebychev ...
- ▶ Atténuation min hors bande, max dans la bande

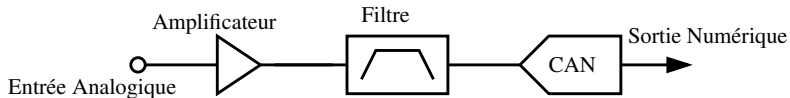
Filtrage temps discret



Technique des capacités commutées

Cette technique qui consiste à émuler le fonctionnement d'une résistance avec une capacité commuté a de nombreux avantages:
+ de précision sur la fonction de transfert et + de reconfigurabilité

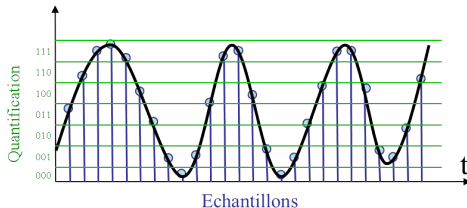
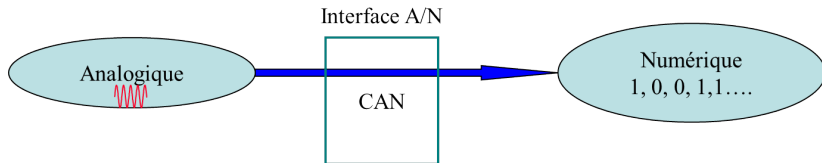
Chaîne étudiée dans le module - CAN



Convertisseur Analogique-Numérique

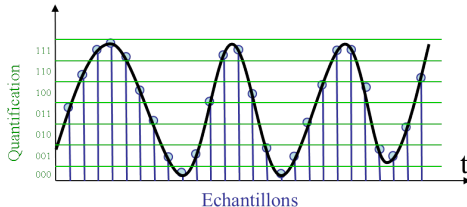
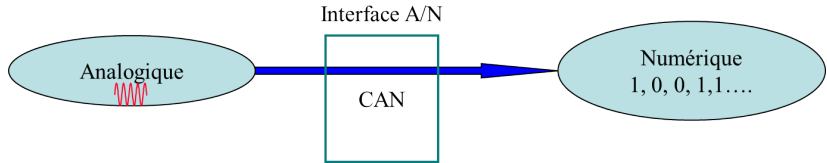
Le CAN a comme fonction de convertir une grandeur analogique en une sortie numérique

Convertisseurs analogique-numérique



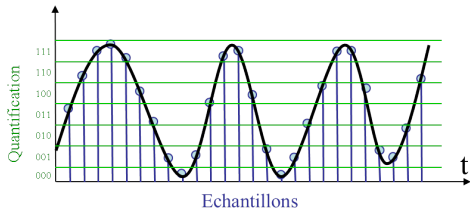
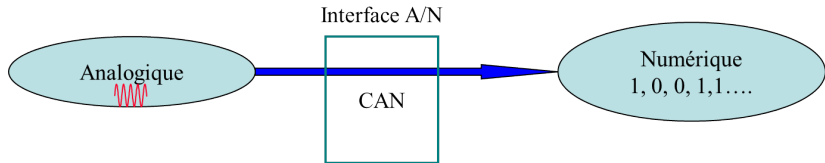
- Nombre de bits

Convertisseurs analogique-numérique



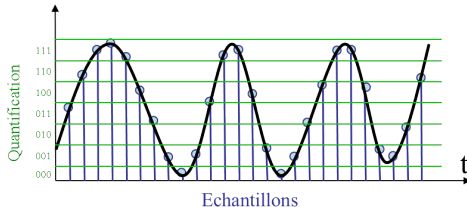
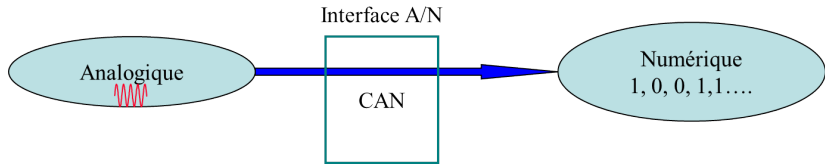
- ▶ Nombre de bits
- ▶ Fréquence d'échantillonnage

Convertisseurs analogique-numérique



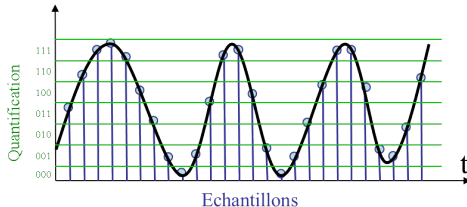
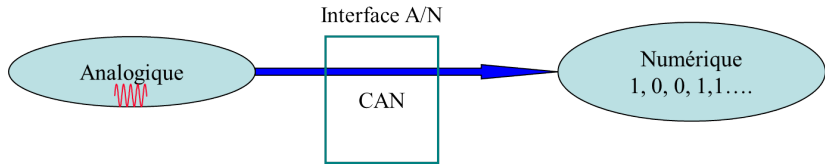
- ▶ Nombre de bits
- ▶ Pleine échelle
- ▶ Fréquence d'échantillonnage

Convertisseurs analogique-numérique

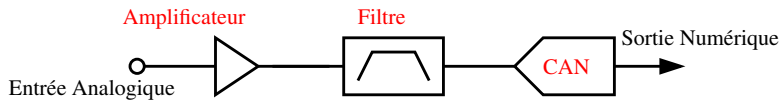


- ▶ Nombre de bits
- ▶ Fréquence d'échantillonnage
- ▶ Pleine échelle
- ▶ Résolution/Linéarité

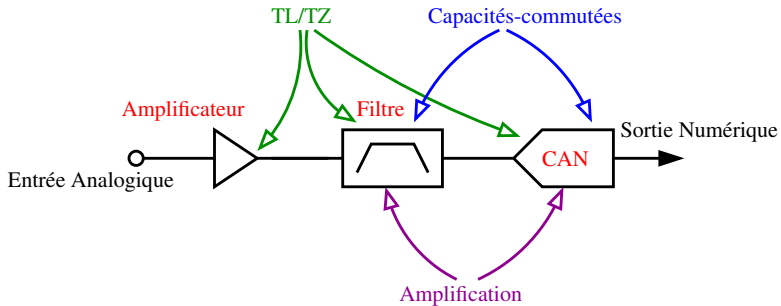
Convertisseurs analogique-numérique



- ▶ Nombre de bits
- ▶ Fréquence d'échantillonnage
- ▶ Pleine échelle
- ▶ Résolution/Linéarité



Résumé



Qui sont les grands acteurs du domaine

WSTS Autumn Forecast Summary (in millions of dollars)

Autumn 2017	Amounts in US\$M			Year on Year Growth in %		
	2016	2017	2018	2016	2017	2018
Americas	65,537	86,458	95,380	-4.7	31.9	10.3
Europe	32,707	38,048	39,799	-4.5	16.3	4.6
Japan	32,292	36,350	37,990	3.8	12.6	4.5
Asia Pacific	208,395	247,834	264,097	3.6	18.9	6.6
Total World - \$M	338,931	408,691	437,265	1.1	20.6	7.0
Discrete Semiconductors	19,418	21,498	22,490	4.3	10.7	4.6
Optoelectronics	31,994	34,467	37,302	-3.8	7.7	8.2
Sensors	10,821	12,537	13,439	22.7	15.9	7.2
Integrated Circuits	276,698	340,189	364,034	0.8	22.9	7.0
Analog	47,848	52,711	55,909	5.8	10.2	6.1
Micro	60,585	63,147	65,331	-1.2	4.2	3.5
Logic	91,498	101,413	108,467	0.8	10.8	7.0
Memory	76,767	122,918	134,327	-0.6	60.1	9.3
Total Products - \$M	338,931	408,691	437,265	1.1	20.6	7.0

Distribution Mondiale et Principales entreprises dans le domaine des semiconducteurs Source:WSTS

Qui sont les grands acteurs du domaine

1Q16 Top 20 Semiconductor Sales Leaders
(\$M, Including Foundries)

1Q16 Rank	1Q15 Rank	Company	Headquarters	1Q15 Tot Semi	1Q16 Tot Semi	1Q16/1Q15 % Change
1	1	Intel*	U.S.	12,067	13,115	9%
2	2	Samsung	South Korea	9,336	9,340	0%
3	3	TSMC (1)	Taiwan	6,995	6,122	-12%
4	7	Broadcom Ltd. (2)*	Singapore	3,679	3,550	-4%
5	4	Qualcomm (2)	U.S.	4,434	3,337	-25%
6	5	SK Hynix	South Korea	4,380	3,063	-30%
7	6	Micron	U.S.	4,061	2,930	-28%
8	8	TI	U.S.	2,940	2,804	-5%
9	10	Toshiba	Japan	2,619	2,446	-7%
10	9	NXP*	Europe	2,636	2,224	-16%
11	12	Infineon	Europe	1,666	1,776	7%
12	13	MediaTek (2)	Taiwan	1,506	1,691	12%
13	11	ST	Europe	1,700	1,601	-6%
14	14	Renesas	Japan	1,470	1,415	-4%
15	17	Apple (2)**	U.S.	1,260	1,390	10%
16	15	GlobalFoundries (1)*	U.S.	1,436	1,360	-5%
17	20	Nvidia (2)	U.S.	1,118	1,285	15%
18	16	Sony	Japan	1,272	1,125	-12%
19	18	UMC (1)	Taiwan	1,140	1,034	-9%
20	21	AMD (2)	U.S.	1,030	832	-19%
—	—	Top 20 Total	—	66,745	62,440	-6%

(1) Pure-play foundry

(2) Fabless supplier

* Includes Intel/Altera, Avago/Broadcom, NXP/Freescale, and GlobalFoundries/IBM sales for 1Q15 and 1Q16.

** Custom processors for internal use made by TSMC and Samsung foundry services.

Source: Companies, IC Insights' Strategic Reviews Database

Distribution Mondiale et Principales entreprises dans le domaine des semiconducteurs Source:WSTS

Qui sont les grands acteurs du domaine

1Q16 Top 20 Semiconductor Sales Leaders
(\$M, Including Foundries)

1Q16 Rank	1Q15 Rank	Company	Headquarters	1Q15 Tot Semi	1Q16 Tot Semi	1Q16/1Q15 % Change
1	1	Intel*	U.S.	12,067	13,115	9%
2	2	Samsung	South Korea	9,336	9,340	0%
3	3	TSMC (1)	Taiwan	6,995	6,122	-12%
4	7	Broadcom Ltd. (2)*	Singapore	3,679	3,550	-4%
5	4	Qualcomm (2)	U.S.	4,434	3,337	-25%
6	5	SK Hynix	South Korea	4,380	3,063	-30%
7	6	Micron	U.S.	4,061	2,930	-28%
8	8	TI	U.S.	2,940	2,804	-5%
9	10	Toshiba	Japan	2,619	2,446	-7%
10	9	NXP*	Europe	2,636	2,224	-16%
11	12	Infineon	Europe	1,666	1,776	7%
12	13	MediaTek (2)	Taiwan	1,506	1,691	12%
13	11	ST	Europe	1,700	1,601	-6%
14	14	Renesas	Japan	1,470	1,415	-4%
15	17	Apple (2)**	U.S.	1,260	1,390	10%
16	15	GlobalFoundries (1)*	U.S.	1,436	1,360	-5%
17	20	Nvidia (2)	U.S.	1,118	1,285	15%
18	16	Sony	Japan	1,272	1,125	-12%
19	18	UMC (1)	Taiwan	1,140	1,034	-9%
20	21	AMD (2)	U.S.	1,030	832	-19%
—	—	Top 20 Total	—	66,745	62,440	-6%

(1) Pure-play foundry

(2) Fabless supplier

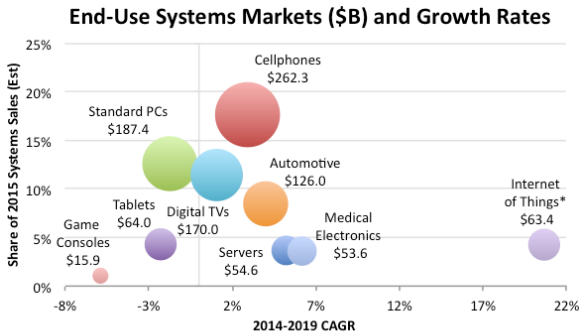
* Includes Intel/Altera, Avago/Broadcom, NXP/Freescale, and GlobalFoundries/IBM sales for 1Q15 and 1Q16.

**Custom processors for internal use made by TSMC and Samsung foundry services.

Source: Companies, IC Insights' Strategic Reviews Database

- ▶ Un *Integrated device manufacturer* est une entreprise qui fait à la fois la conception et la fabrication
- ▶ Un *Fabless Supplier* est une entreprise qui ne fait que de la conception et qui sous-traite la fabrication
- ▶ Un *Pure Play* est une entreprise qui ne fait que la fabrication

Principaux secteurs

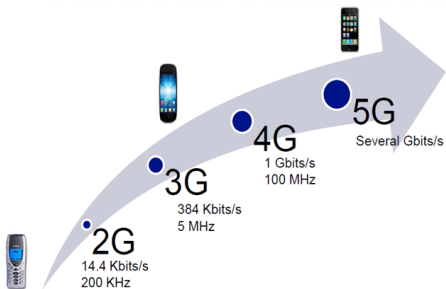


*Covers only the Internet connection portion of systems

Source: IC Insights

Principaux secteurs du semiconduteurs

- ▶ Dans le futur proche, le marché du semiconduteur sera porté par l'IoT, l'automobile et la santé en plus des *smartphones*

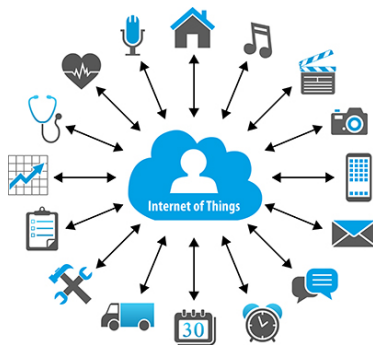


Bande et débit

La bande passante a été multipliée par 500 et le débit de données par 70 000 entre la 2G et la 4G

Contraintes matérielles

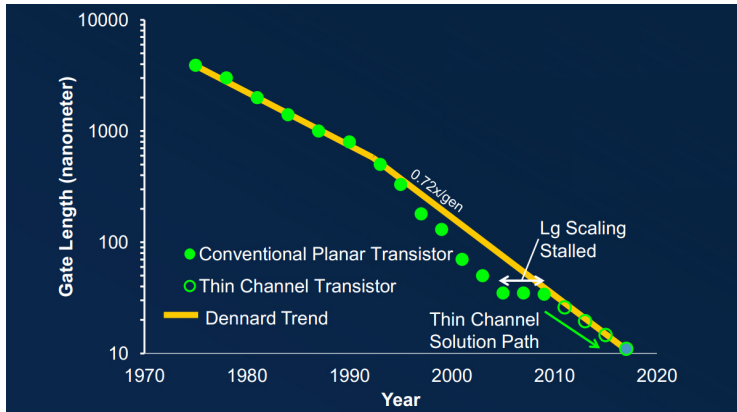
Les traitements sont de + en + rapides et complexes mais la consommation doit rester sous contrôle



Contraintes très diverses, dépendent étroitement de l'application.

Pour un capteur cardiaque, la consommation est primordiale, le coût un peu moins vice versa pour un capteur de connectivité dans un four micro-onde.

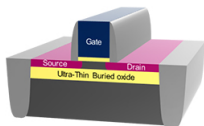
Et la technologie, elle est en ou?



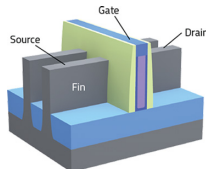
A partir de la technologie 40 nm, les méthodes classiques de *scaling* sont devenues insuffisantes

Et le monde du semiconducteur s'est divisé en 2 camps.

FDSOI



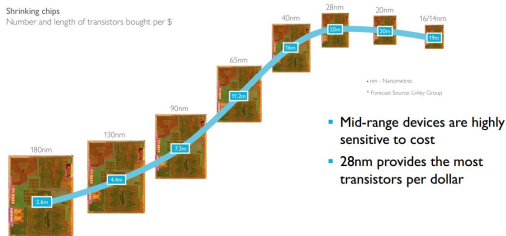
FinFet



- ▶ Transistor planaire avec une couche isolante
- ▶ STM, GF, Samsung
- ▶ www.youtube.com/watch?v=uvV7jcpQ7UY
- ▶ Transistor 3 dimensions en doigts
- ▶ Intel, TSMC, Samsung
- ▶ www.youtube.com/watch?v=Jctk0DI7YP8

Cout de fabrication du transistor

28nm: Optimal Balance of Cost and Power for 2015 Devices



Evolution du Coût par transistor - source: ARM

Technologie (nm)	180	130	90	65	40	28	20	16/14
Nb trans. (Millions)	2.6	4.4	7.3	11.2	16	20	20	19

Mauvaise nouvelle, ou pas?

Besoin de plus d'innovation et plus de créativité dans la conception pour compenser le ralentissement au niveau technologique.

Numérique et Analogique, main dans la main



Numérique et Analogique, deux faces d'une même pièce

Un bon concepteur de circuits analogiques doit maîtriser la conception numérique et vice versa

Objectifs ELEC 101 compatibles TPT école du numérique

Pour les futurs concepteurs, architectes et chercheurs des systèmes d'acquisition

ELEC101 sera un cours d'initiation au domaine

Pour les futurs utilisateurs de ces systèmes

ELEC101 vous permettra de mieux comprendre leurs fonctionnements et spécifications

Pour les autres

Pour la culture scientifique et pour éviter les crises d'épilepsie si vous entendez Thévenin, CAN ou Ampli-op.

- ▶ 3 THs de cours en promo ou demi-promo
 - ▶ Introduction, TL&TZ et CAN
- ▶ 6 Lecons/TD par groupe
 - ▶ TL&TZ , Amplification, capacités-commutées, Filtrage, CAN et ADSL
- ▶ 4 TPs par groupe
 - ▶ Amplification, capacités-commutées, Filtrage et CAN
- ▶ Responsables des groupes
 - ▶ Groupe 1: Patricia Desgreys A504-3
 - ▶ Groupe 2: Christophe Roblin, F206
 - ▶ Groupe 3: Chadi Jabbour, A504-2
 - ▶ Groupe 4: Paul Chollet, A504-3
 - ▶ Groupe 5: Germain Pham, A504-1
 - ▶ Groupe 6: Chadi Jabbour, A504-2

Pré-requis

- ▶ Fonctionnement des composants électroniques de base (résistance, capacité, amplificateur opérationnel ...)
- ▶ Fonction de transfert, diagramme de Bode, module et argument
- ▶ Transformée de Laplace, transformée de Fourier et transformée en \mathcal{Z}

Pour celles et ceux qui ont des doutes

Poly de révision sur le site web de l'UE

- ▶ 35 % sur le premier examen
 - ▶ 24/05/2018 8:30 à 10:00 pour les groupes 1, 2 et 3
 - ▶ 29/05/2018 8:30 à 10:00 pour les groupes 4, 5 et 6
- ▶ 35 % sur le deuxième examen
 - ▶ 14/06/2018 10:15 à 11:45 pour tous les groupes
- ▶ 30 % sur les TPs
 - ▶ Tous les TPs doivent être rattrapés
 - ▶ Le déroulement et règles des TPs sont décrits dans la sous-section "Travaux Pratiques" du site web

Site Web

<https://perso.telecom-paristech.fr/jabbour/enseignement/elec101/>

This is the end

Merci pour votre attention

Questions ?