



Electronique des Systèmes d'acquisition et de calcul

ELEC101 - ESAC: Introduction

Chadi Jabbour et Tarik Graba
Année scolaire 2023-2024



Objectifs du module

- Fournir une vision générale de l'électronique des systèmes d'acquisition et de calcul, particulièrement pour le **traitement matériel** (analogique et numérique) du signal :
 - Intérêts et enjeux
 - Applications
 - Défis techniques
 - Principales fonctions

Question ?



L'électronique, ça sert à quoi ?

L'électronique et le traitement analogique sont *nazes*, aujourd'hui on est dans l'ère du numérique !! En plus, Télécom Paris est l'école du numérique, c'est inscrit dans sa Raison d'Être

Numérique vs Analogique

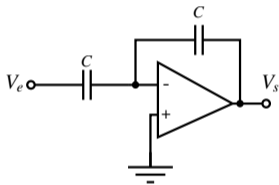


Numérique vs Analogique

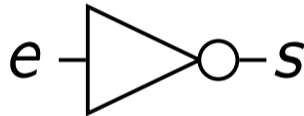
On est tous un peu schizophrène, l'électronique aussi

Inverseur Numérique vs Analogique

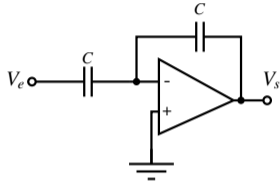
Analogique



Numérique

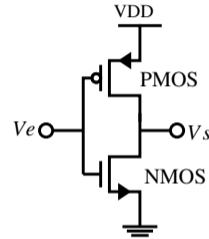


Inverseur Numérique vs Analogique



- Surface : 20 à 100 transistors pour l'amplificateur opérationnel + capacités (composants passifs)
- Consommation : dépend principalement de la bande du signal et des capacités utilisées

Numérique



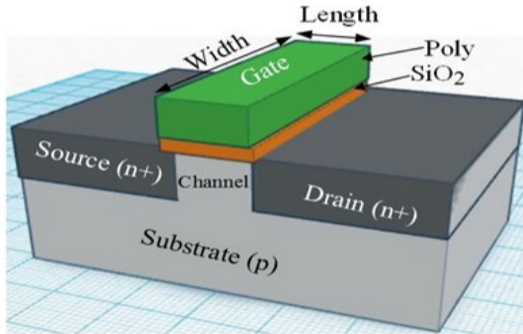
- Surface : 2 transistors !
- Consommation : dépend de la vitesse des calculs et de la technologie

Technologie commune :

Les transistors MOS

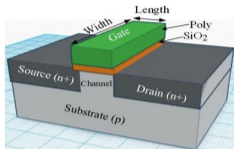
Technologie CMOS

Transistor NMOS (Negative channel Metal Oxide Semiconductor)



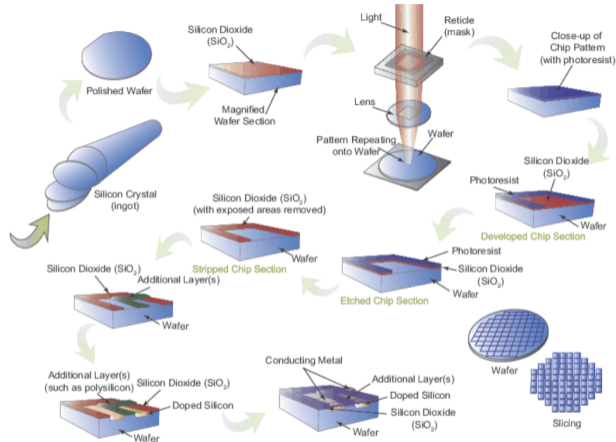
Technologie CMOS

Transistor NMOS (Negative channel Metal Oxide Semiconductor)



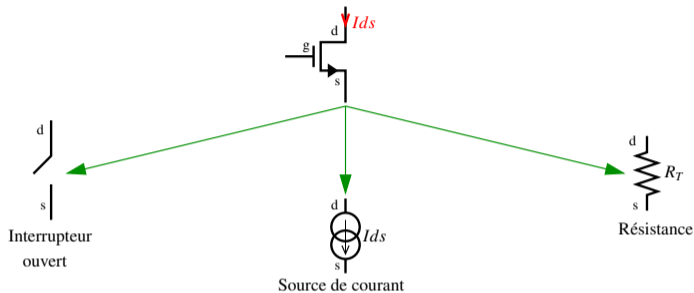
- En fonction des tensions de grille (*Gate*), Source et Drain, le transistor NMOS se comporte soit en commutateur **fermé/ouvert** ou comme une **source de courant contrôlée** par la tension de grille V_{gs}
- Le transistor PMOS complémentaire au NMOS (des zones de diffusions P+ dans un substrat N-)
- L'association des **2 types** de transistor nous donne la technologie “**Complementary Metal Oxide Semiconductor**” ou **CMOS**

Fabrication circuit



La fabrication de circuits intégrés est longue (6 à 12 semaines), très coûteuse et intègre de nombreux risques

Modélisation du transistor



$$(V_{gs} < V_T)$$

Interrupteur ouvert

$$I_{ds} = 0$$

$$(V_T < V_{gs} < V_{ds} + V_T)$$

Source de courant

$$I_{ds} = K(V_{gs} - V_T)^2$$

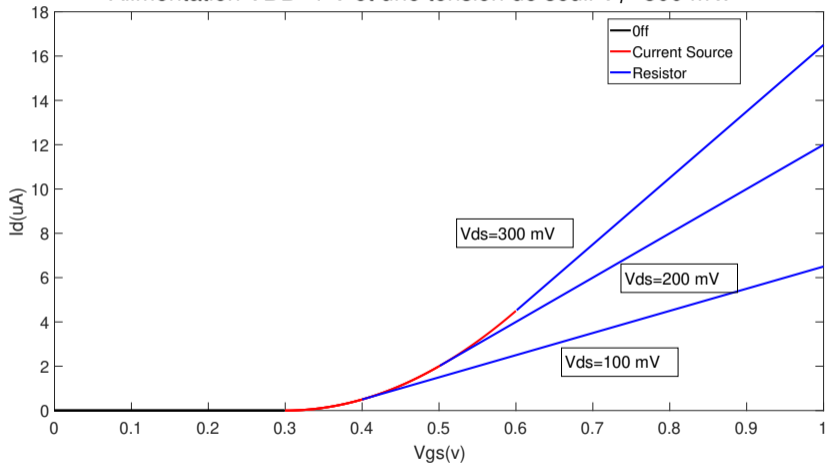
$$(V_{gs} > V_{ds} + V_T)$$

Résistance

$$I_{ds} = 2K(V_{gs} - V_T - \frac{V_{ds}}{2})V_{ds}$$

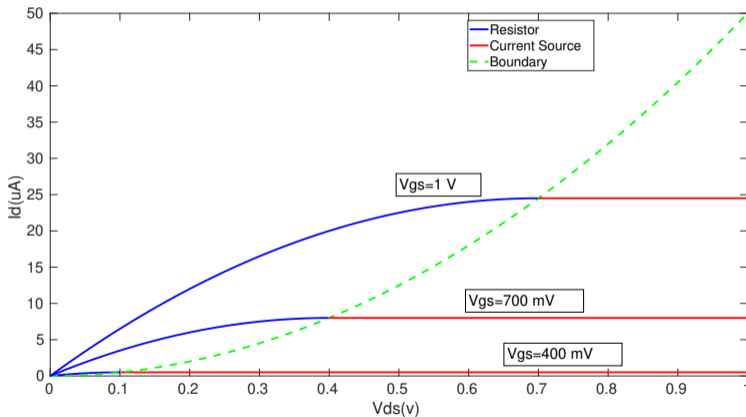
Id vs Vgs

Alimentation $V_{DD}=1$ V et une tension de seuil $V_T=300$ mV.

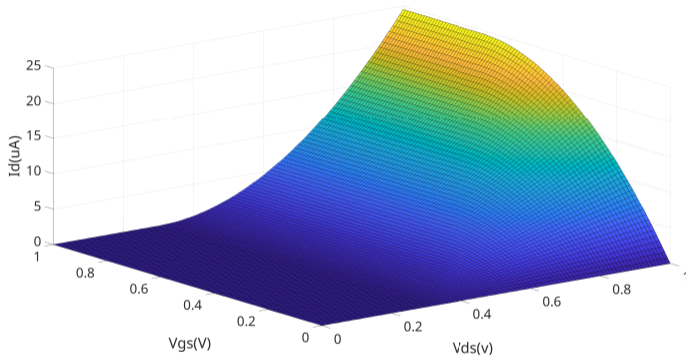


Id vs Vds

Alimentation $V_{DD}=1$ V et une tension de seuil $V_T=300$ mV.



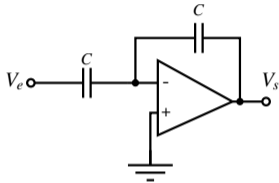
Comment utiliser le courant



Les circuits numériques utilisent les “coins” de la courbe alors qu’en analogique on peut se positionner à n’importe quel endroit

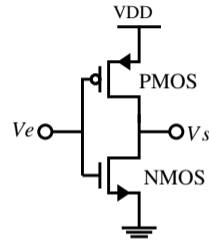
Inverseur Numérique vs Analogique

Analogique



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

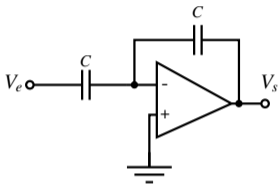
Numérique



- Surface : 2 transistors
- Consommation : dépend de la vitesse des calculs et de la technologie

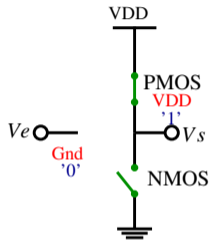
Inverseur Numérique vs Analogique

Analogique



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

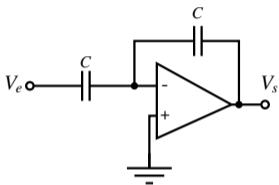
Numérique



- Surface : 2 transistors
- Consommation : dépend de la vitesse des calculs et de la technologie

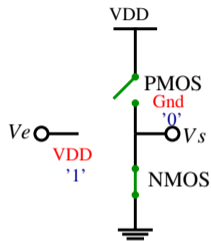
Inverseur Numérique vs Analogique

Analogique



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

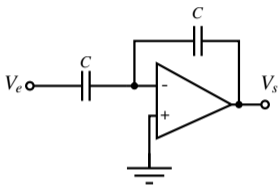
Numérique



- Surface : 2 transistors
- Consommation : dépend de la vitesse des calculs et de la technologie

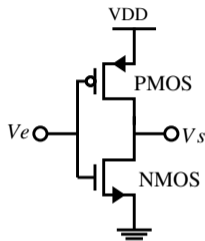
Inverseur Numérique vs Analogique

Analogique



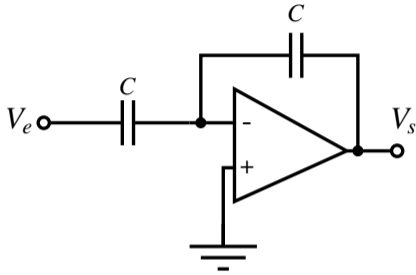
- Surface : 20 à 100 transistors pour l'amplificateur opérationnel + capacités
- Consommation : dépend principalement de la bande du signal et des capacités utilisées

Numérique

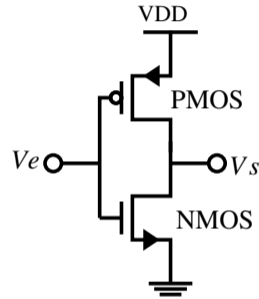


- Surface : 2 transistors
- Consommation : dépend de la vitesse des calculs et de la technologie

Inverseur Numérique vs Analogique - round 2

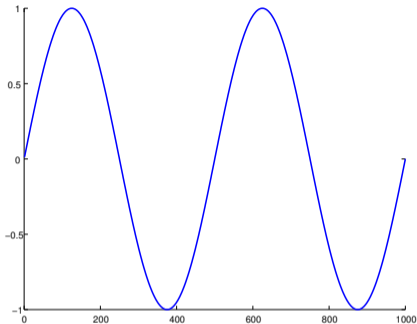


- Résolution théorique : infinie

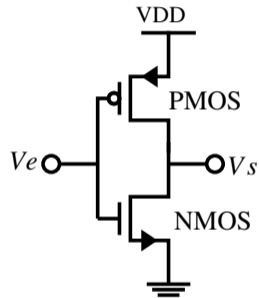


- Résolution un inverseur : 1 bit

Inverseur Numérique vs Analogique - round 2

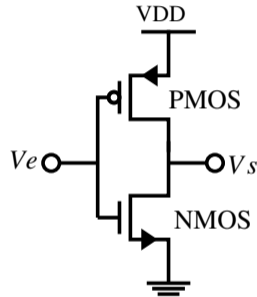
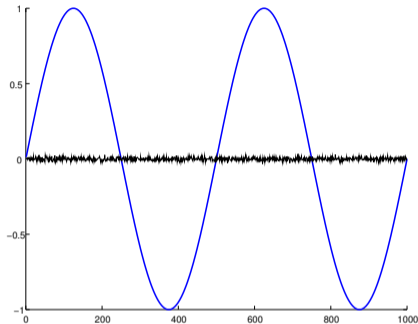


■ Résolution théorique : infinie



■ Résolution un inverseur : 1 bit

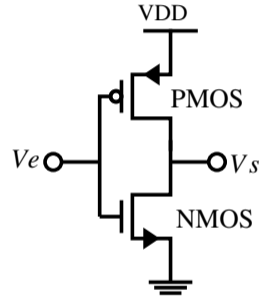
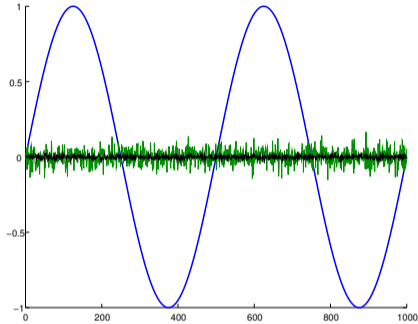
Inverseur Numérique vs Analogique - round 2



■ Résolution théorique : infinie

■ Résolution un inverseur : 1 bit

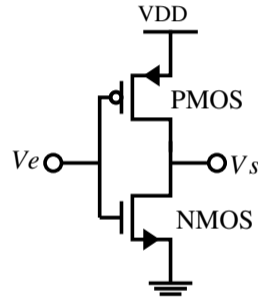
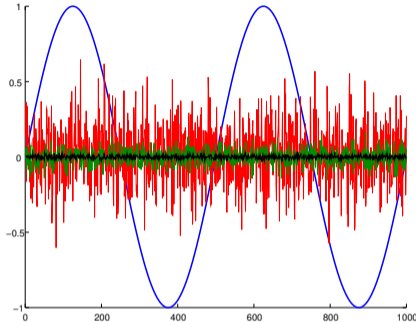
Inverseur Numérique vs Analogique - round 2



■ Résolution théorique : infinie

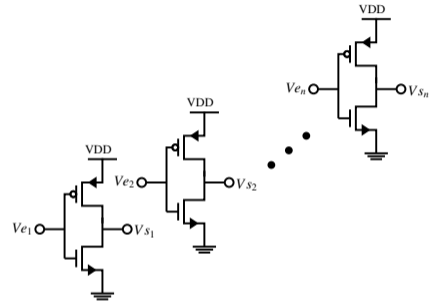
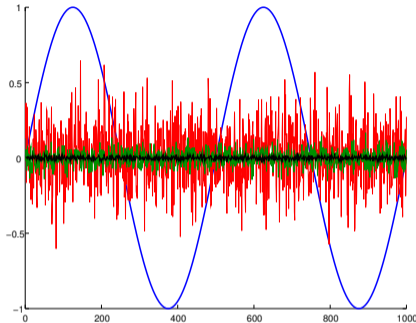
■ Résolution un inverseur : 1 bit

Inverseur Numérique vs Analogique - round 2



- Résolution théorique : infinie
- Résolution pratique : dépend du rapport entre les puissances du signal utile et du bruit (SNR)
- Résolution un inverseur : 1 bit

Inverseur Numérique vs Analogique - round 2

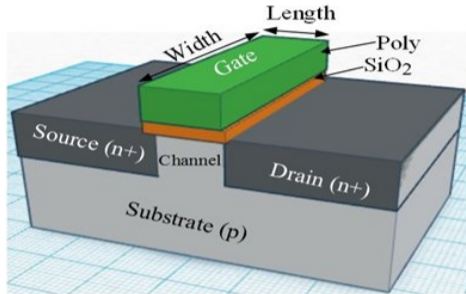


- Résolution théorique : infinie
- Résolution pratique : dépend du rapport entre les puissances du signal utile et du bruit (SNR)
- La résolution peut être augmentée en disposant + inverseurs en parallèle (↗ **complexité**).

La technologie :

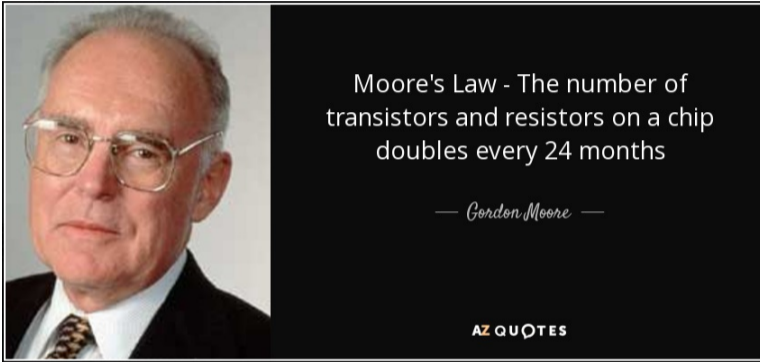
Comment évolue-t-elle ?

Technologie CMOS



- Quand on parle d'une technologie CMOS 32 nm, 32 nm désigne la longueur du canal (*Length*) sous la grille
- Les capacités d'un transistor sont proportionnelles à $W \cdot L$
- Alors que sa vitesse est proportionnelle à $\frac{W}{L}$

La loi de Moore - 1965 (RIP Gordon)



Gordon Moore

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

Implications de la loi de Moore

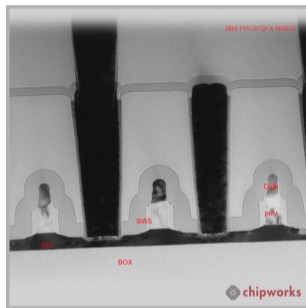
Pour une surface donnée, nous voulons doubler de nombres de transistors :

- A $\frac{W}{L}$ constant (même facteur de forme),
 - L doit être **réduit de** $\searrow \sqrt{2}$
 - afin que la surface ($\propto W \cdot L$) soit réduite de $\searrow 2$
 - tous les **2 ans**

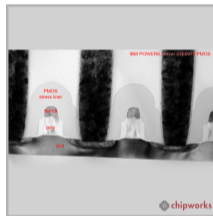
Le coût de fabrication étant lié à la surface, on arrive ainsi à réduire **les coûts d'intégration** d'un nœud technologique au suivant.

Implications de la loi de Moore

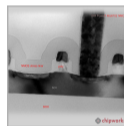
Transistor Scaling



2004
90nm
PPC970fx



2009
65nm
Power6



2011
45nm
Power7



2013
32 nm
Power7+

L'analyse des techno. IBM en 2014 par ChipWorks (microscope électronique):

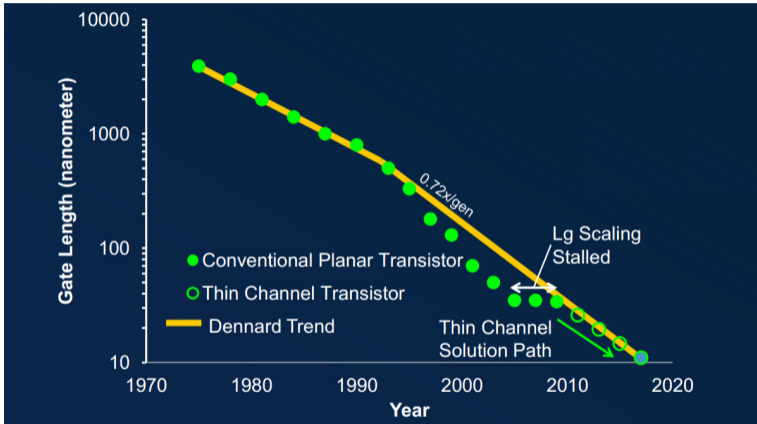
<http://www.chipworks.com/en/technical-competitive-analysis/resources/blog/ibm-continues-major-source-chip-innovation/>

L'évolution de la technologie :

De plus en plus complexe à faire évoluer et à exploiter !

Implications de la loi de Moore

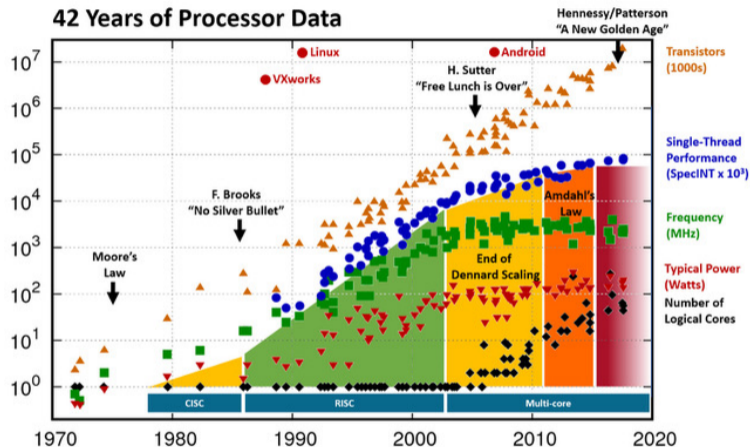
...de plus en plus complexe...



[source : Applied Materials]

Comment l'élec. profite de la loi de Moore

Augmenter le parallélisme



Hennessey and Patterson, Turing Lecture 2018, overlaid over "42 Years of Processors Data"

<https://www.karlrupp.net/2018/02/42-years-of-microprocessor-trend-data/>

Original data up to the year 2010 collected and plotted by M. Horowitz, F. Labonte, O. Shacham, K. Olukotun, L. Hammond, and C. Batten
New plot and data collected for 2010-2017 by K. Rupp

Comment l'élec. profite de la loi de Moore

Analogique

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

Numérique

- Surface : $\searrow 2$ entre nœuds tech. successifs **ou 2 fois plus** de fonctionnalités
- Vitesse maximale : $\nearrow 2$
- Consommation : pour la même fonction à vitesse constante, $\searrow > 2$

Réduction consommation :
Technologie 1 μm 1990 Vs Technologie 7 nm 2020

~ 200000 pour le numérique Vs 5 à 10 pour l'analogique

Numérique vs Analogique - résumé

- Le *scaling* technologique améliore exponentiellement les performances des circuits numériques (vitesse, résolution, surface, consommation ...).
 - ces dernières années en augmentant le parallélisme

Beaucoup moins vrai pour les circuits analogiques.

- Les circuits numériques sont plus simples à concevoir, la conception utilise des outils d'automatisation.
 - la complexité vient du nombre

Beaucoup moins vrai pour les circuits analogiques qu'on doit en grande partie concevoir à la "main".

- Les investissements dans les technos. numériques sont importants,
 - techno. optimisée pour le numérique

Beaucoup moins vrai pour l'analogique.

L'électronique :

Faut-il encore en faire ?

Question ?



Secrétaire d'état chargée
du numérique
(et pas de l'analogique)

L'électronique analogique , ça sert vraiment à rien

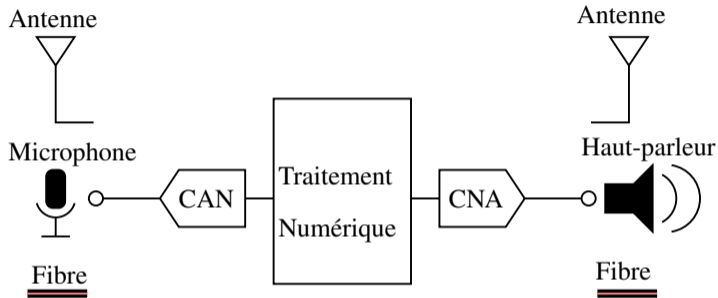
On est d'accord, tu viens de te tirer une balle dans le pied voire 3

Le monde réel est analogique



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

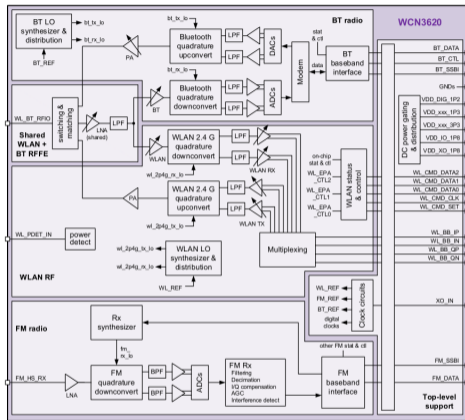
Du coup rajoutons, juste des interfaces A/N (CAN ou ADC) et N/A (CNA ou DAC)



Approche *Software Defined Radio* proposée dans les 90s

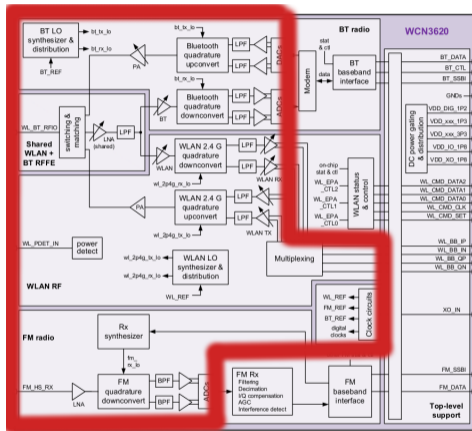
Comme le traitement numérique coûte et coûtera de moins en moins cher, rajoutons à notre traitement numérique juste des convertisseurs analogique-numérique et numérique-analogique.

Transceiver de connectivité



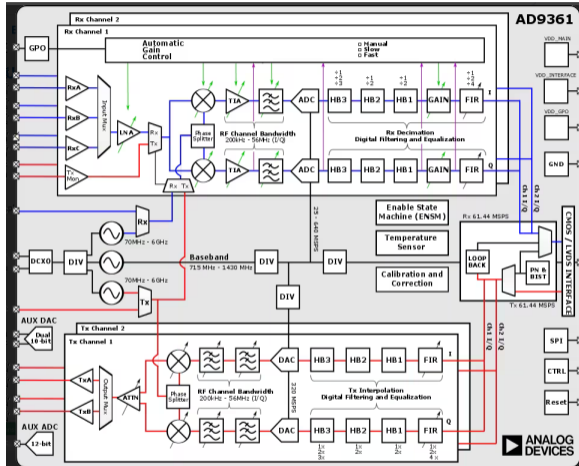
Transceiver de connectivité produit par Qualcomm (WiFi, Bluetooth, BLE) en CMOS
65nm

Transceiver de connectivité



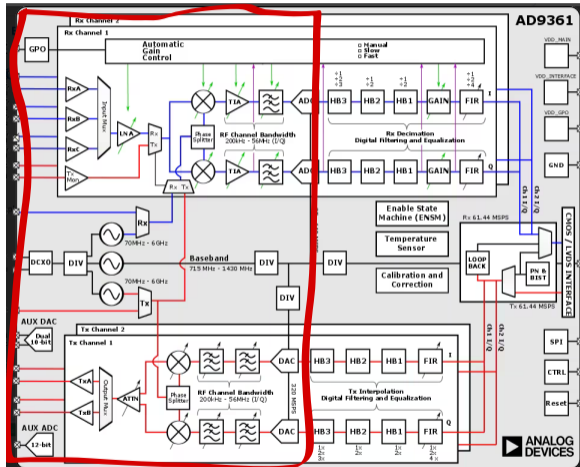
Transceiver de connectivité produit par Qualcomm (WiFi, Bluetooth, BLE) en CMOS 65nm

Transceiver SDR- AD9636



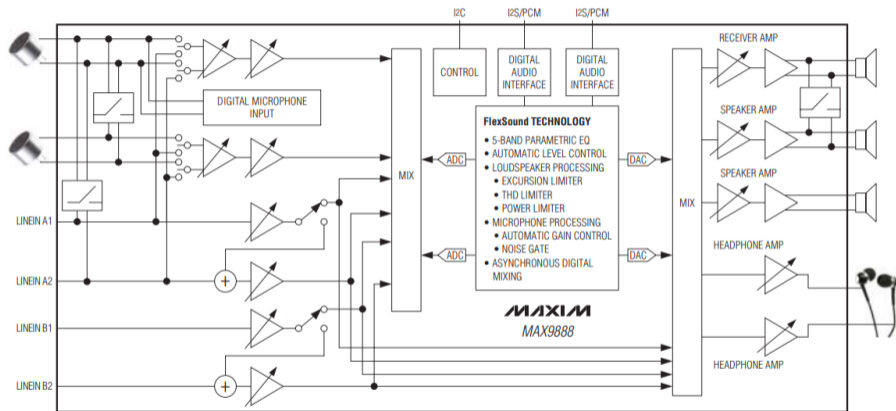
Transceiver de 70 MHz à 6 GHz par Analog Devices

Transceiver SDR- AD9636



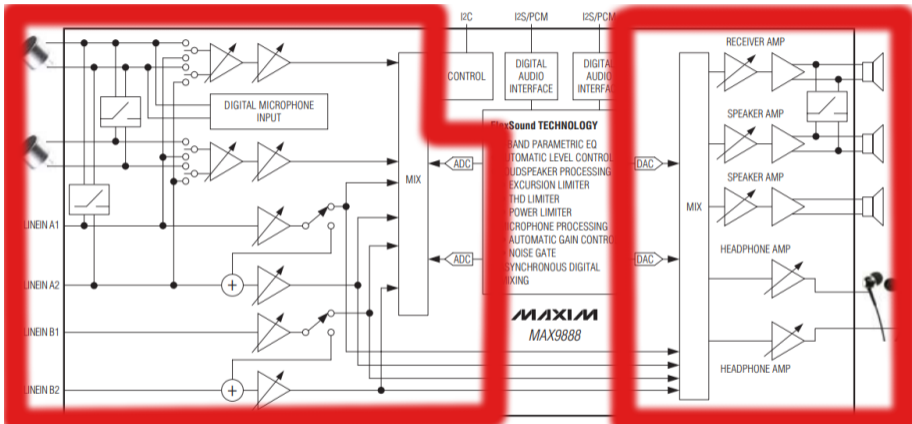
Transceiver de 70 MHz à 6 GHz par Analog Devices

Transceiver audio



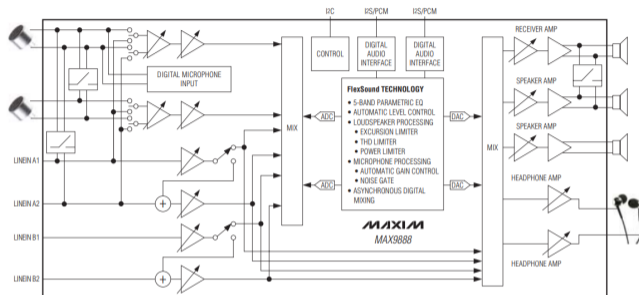
Transceiver audio stéréo produit par Maxim

Transceiver audio



Transceiver audio stéréo produit par Maxim

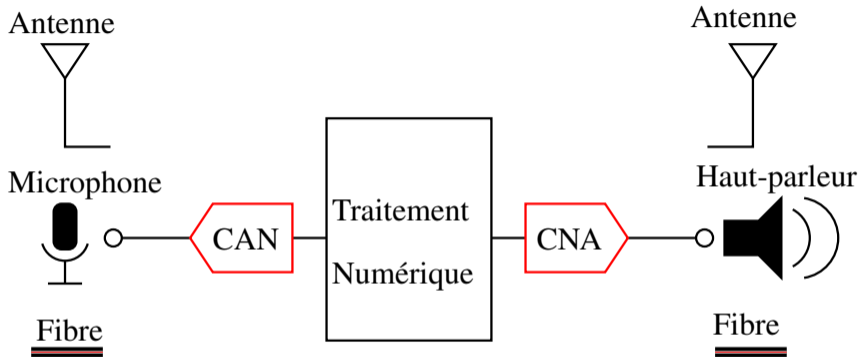
Transceiver audio



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

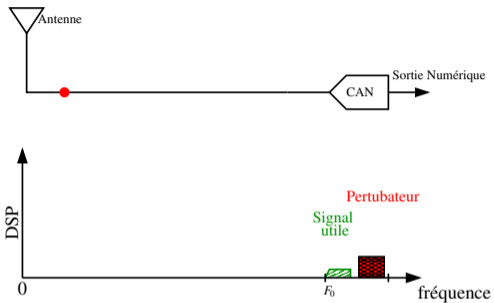
Approche SDR, why not ?



Problèmes

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

Approche SDR, why not ? Récepteur



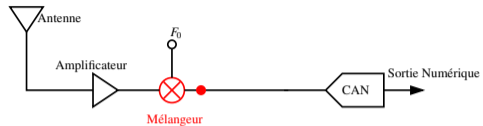
- Puissance du signal très faible à la réception

Approche SDR, why not ? Récepteur



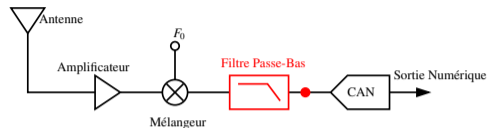
- Puissance du signal très faible à la réception **Amplification**
- Fréquence centrale de réception élevée

Approche SDR, why not ? Récepteur



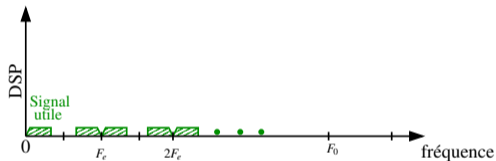
- Puissance du signal très faible à la réception **Amplification**
- Fréquence centrale de réception élevée **Mélangeur**
- Interféreurs et parasites

Approche SDR, why not ? Récepteur



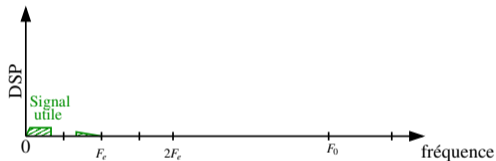
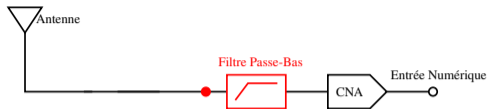
- Puissance du signal très faible à la réception **Amplification**
- Fréquence centrale de réception élevée **Mélangeur**
- Interféreurs et parasites **Filtrage**

Approche SDR, why not ? Emetteur



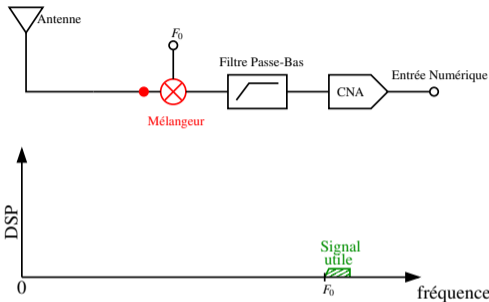
- Images du signal aux multiples de la fréquence d'échantillonnage

Approche SDR, why not ? Emetteur



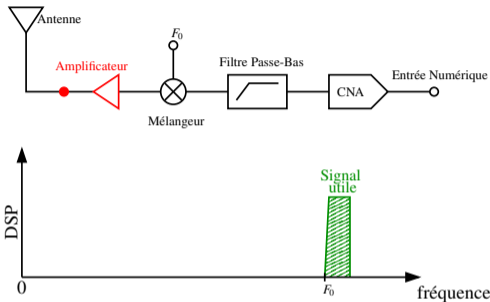
- Images du signal aux multiples de la fréquence d'échantillonnage **Filtrage**
- Fréquence centrale à l'émission élevée

Approche SDR, why not ? Emetteur



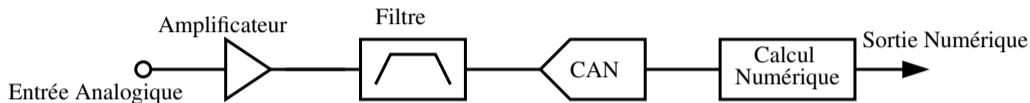
- Images du signal aux multiples de la fréquence d'échantillonnage **Filtrage**
- Fréquence centrale à l'émission élevée **Mélangeur**
- Nécessité d'avoir une puissance élevée pour réduire les contraintes sur le récepteur

Approche SDR, why not ? Emetteur



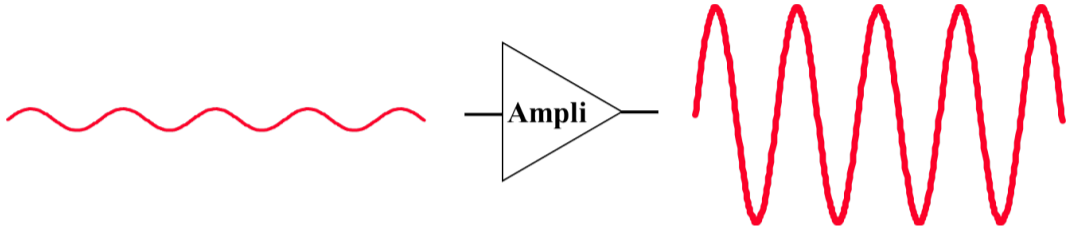
- Images du signal aux multiples de la fréquence d'échantillonnage **Filtrage**
- Fréquence centrale à l'émission élevée **Mélangeur**
- Nécessité d'avoir une puissance élevée pour réduire les contraintes sur le récepteur **Amplification**

Chaîne étudiée dans le module



- Amplificateur pour amplifier
- Filtre pour filtrer
- CAN pour convertir
- Calcul numérique pour calculer

Amplificateur



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

Théorème de Thévenin - 1883 - EPSPT



Léon Charles Thévenin
(1857-1926)

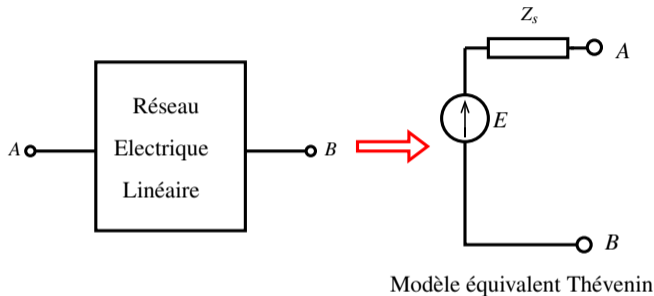
Énoncé du théorème

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)



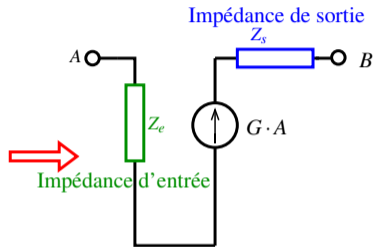
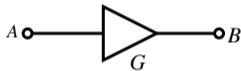
Enoncé du théorème

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)

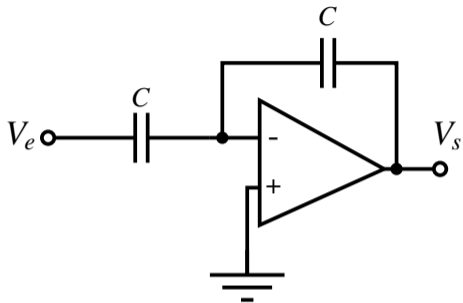


Modèle équivalent Thévenin

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

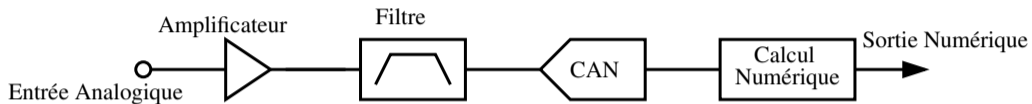
Amplificateur en boucle fermée



Amplificateur opérationnel

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

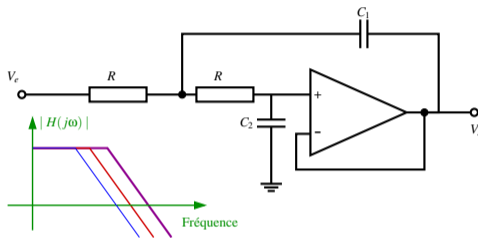
Chaîne étudiée dans le module - Filtrage



Filtrage

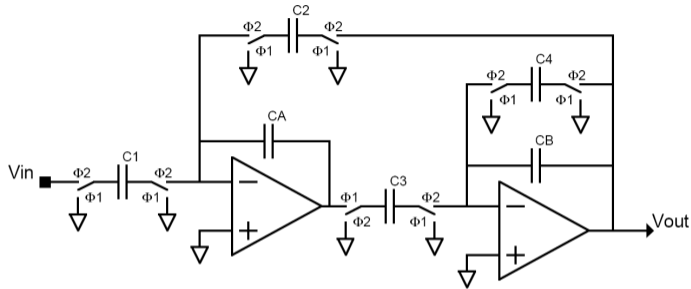
Le filtrage a comme fonction d'atténuer les perturbateurs, interféreurs et parasites tout en gardant l'intégrité du signal utile

Filtrage temps continu



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

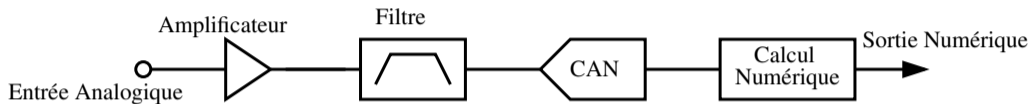
Filtrage temps discret



Technique des capacités commutées

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

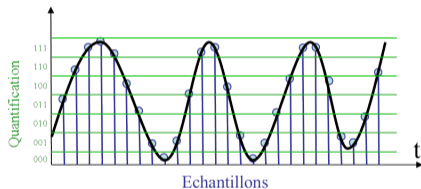
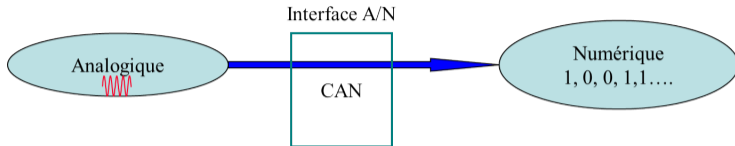
Chaîne étudiée dans le module - CAN



Convertisseur Analogique-Numérique

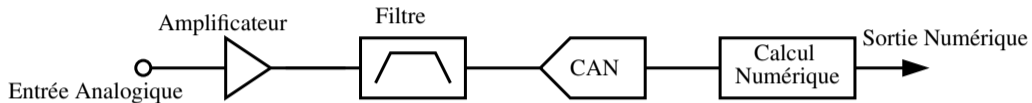
Le CAN a comme fonction de convertir une grandeur analogique en une sortie numérique

Convertisseurs analogique-numérique



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

Chaîne étudiée dans le module - Calcul numérique



Calcul numérique

Traitement numérique pour filtrer, décimer, traiter, ...

Les **processeurs** génériques ou spécialisés

- Ce que vous avez vu en **Inf10x**
- DSP (*Digital Signal Processor*)
- Exécution séquentielle d'un programme **logiciel** stocké dans une mémoire

Les architectures de traitement **dédiées**

- Opérateurs numériques dédiés
- Dans un circuit dédié, un ASIC (*Application-Specific IC*)
- Dans des circuits logiques configurables

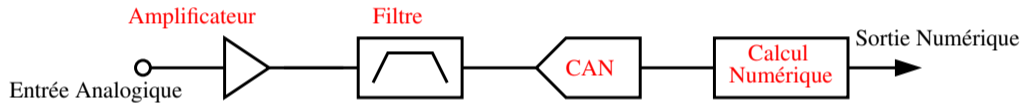
On va s'intéresser à :

- Comment construire des portes logiques ?
 - Du **transistor** MOS aux **portes logiques**

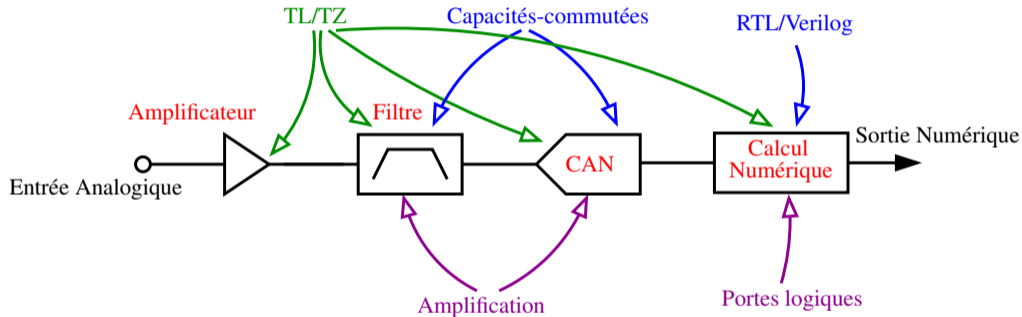
- Comment *monter en abstraction* ?
 - Utiliser des **langages informatiques** pour décrire des fonctions logiques.
 - HDL (*Hardware Description Language*)/SystemVerilog

- Comment concevoir un opérateur matériel dans un circuit configurable.
 - Qu'est-ce qu'un **FPGA** (*Field-Programmable Gate Array*) ?

Résumé



Résumé



L'électronique :

Un intérêt économique ?

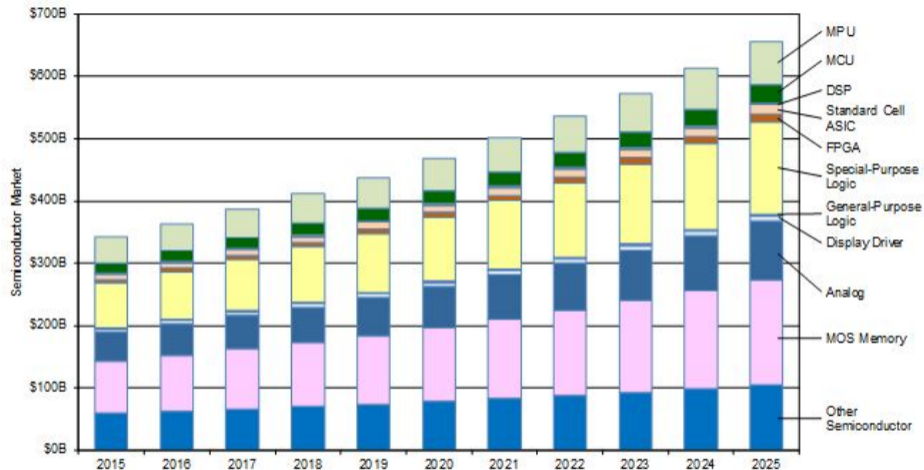
Question ?



Money, money, money

Et ton truc à la con, ça rapporte de l'argent ?

Les grands marchés et acteurs du domaine



Distribution Mondiale par secteur

Les grands marchés et acteurs du domaine

2023F Top 25 Semiconductor Sales Leaders (\$M, including Foundries)

2023 Rank	2022 Rank	Company	Headquarters	2022 Total IC	2022 Total O-S-D	2022 Total Semi	2023 Total IC	2023 Total O-S-D	2023 Total Semi	23/22 % Change
1	2	TSMC (1) †	Taiwan	75,851	0	75,851	68,852	0	68,852	-9%
2	3	Intel †	U.S.	61,534	0	61,534	51,401	0	51,401	-16%
3	8	Nvidia (2) †	U.S.	24,503	0	24,503	49,565	0	49,565	102%
4	1	Samsung †	South Korea	73,002	3,843	76,845	45,938	2,366	48,304	-37%
5	4	Qualcomm (2) †	U.S.	36,722	0	36,722	30,483	0	30,483	-17%
6	6	Broadcom (2) -	U.S.	23,972	2,661	26,633	25,204	2,789	27,993	5%
7	5	SK hynix †	South Korea	33,292	1,613	34,905	21,334	2,588	23,922	-31%
8	9	AMD (2) †	U.S.	23,601	0	23,601	22,612	0	22,612	-4%
9	14	Infineon †	Europe	10,566	5,210	15,776	11,647	5,737	17,384	10%
10	13	ST †	Europe	10,765	5,337	16,102	11,734	5,527	17,261	7%
11	10	TI †	U.S.	17,818	1,175	18,993	15,631	1,040	16,671	-12%
12	12	Apple* (2) -	U.S.	17,824	0	17,824	16,414	0	16,414	-8%
13	7	Micron †	U.S.	25,637	0	25,637	16,200	0	16,200	-37%
14	11	MediaTek (2) †	Taiwan	18,506	0	18,506	13,709	0	13,709	-26%
15	15	NXP -	Europe	11,878	1,076	12,954	11,968	1,074	13,042	1%
16	16	Analog Devices -	U.S.	11,789	599	12,388	11,042	570	11,612	-6%
17	19	Sony †	Japan	837	9,021	9,858	1,065	9,588	10,653	8%
18	17	Renesas †	Japan	8,859	2,459	11,318	8,279	2,230	10,509	-7%
19	24	Microchip †	U.S.	6,757	1,126	7,883	7,314	1,220	8,534	8%
20	21	onsemi †	U.S.	3,582	4,745	8,327	3,614	4,621	8,235	-1%
21	22	GlobalFoundries (1)	U.S.	8,108	0	8,108	7,388	0	7,388	-9%
22	20	UMC (1) †	Taiwan	9,362	0	9,362	7,129	0	7,129	-24%
23	18	Kioxia †	Japan	10,595	0	10,595	6,738	0	6,738	-36%
24	25	SMIC (1) †	China	7,273	0	7,273	6,296	0	6,296	-13%
25	23	Western Digital †	U.S.	8,022	0	8,022	5,920	0	5,920	-26%
---	---	Top-10 Total		373,808	18,664	392,472	338,770	19,007	357,777	-9%
---	---	Top-25 Total		540,658	33,685	574,343	477,427	39,350	516,777	-10%

(1) Foundry (2) Fabless *Custom processors and ICs for internal use in systems products. † Custom processors and ICs for internal use in systems products.

Source: Company reports, Techn Insights

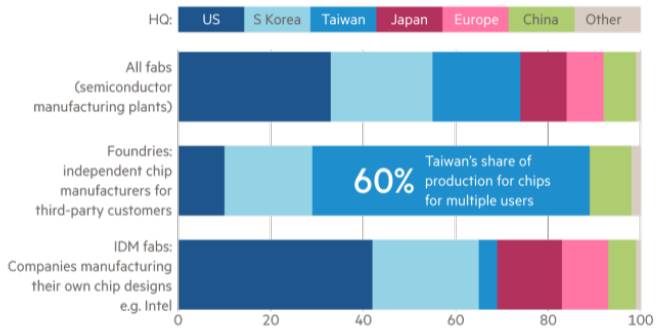
Distribution par entreprise

- 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

Les grands marchés et acteurs du domaine

How market share varies according to type of chip production

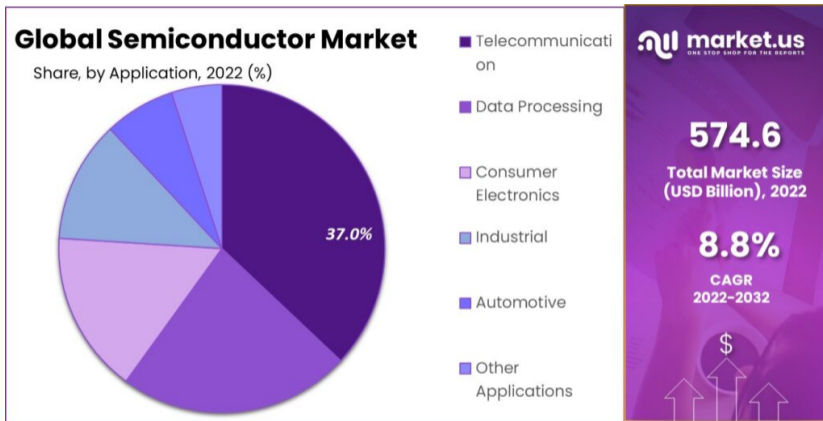
Market share by fab type and location of firm headquarters (%)



Source: Center for Security and Emerging Technology
© FT

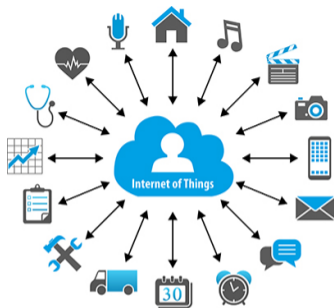
Distribution par région

Principaux secteurs



Principaux secteurs du semiconduteurs

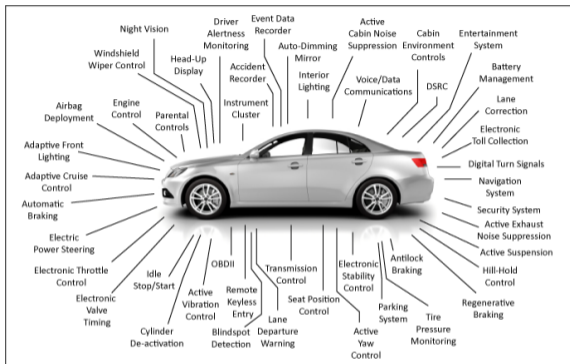
- Le marché du semiconducteur sera porté par l'IoT, l'automobile et la santé en plus des *smartphones*



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.

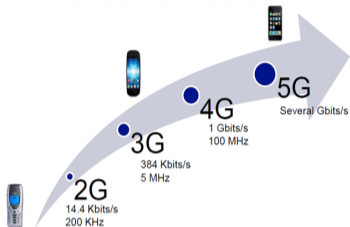
Automobile



Nombre de capteurs croit exponentiellement dans l'automobile

Grand besoin d'innovation pour accompagner cette croissance afin de gérer la connectivité, la consommation, l'intégration ...

Communications mobiles



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

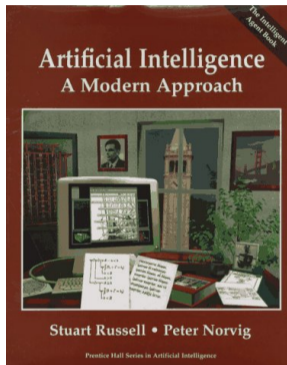
Contraintes matérielles

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



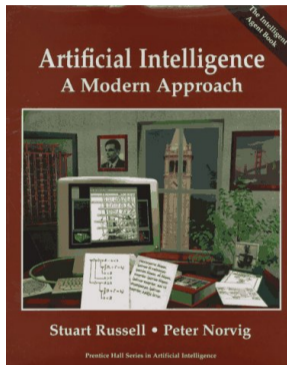
Intelligence Artificielle

Intelligence Artificielle



Artificial Intelligence : A Modern Approach by Russel et Norvig

Intelligence Artificielle



Artificial Intelligence : A Modern Approach by Russel et Norvig **1994**



Everything is about silicon

Everything is about silicon



Everything is about silicon



Everything is about silicon



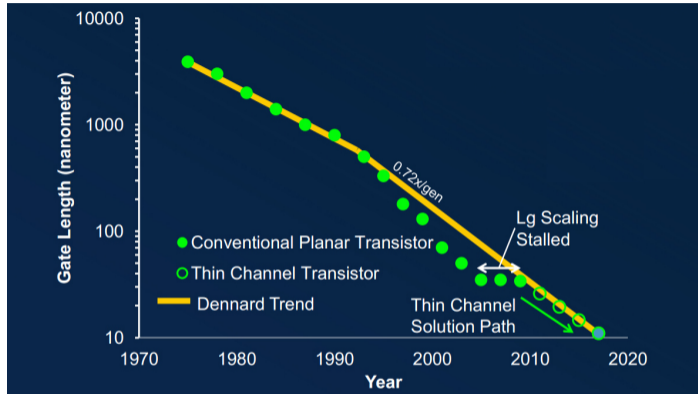
US Military Journal

Be ready to destroy TSMC To Deter Chinese Invasion Plan

La technologie :

Ça évolue encore ?

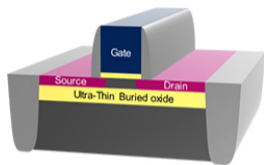
Et la technologie, elle en est où ?



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

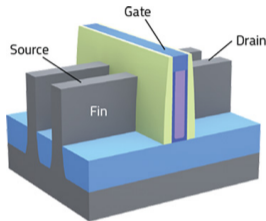
Et le monde du semiconducteur s'est divisé en 2 camps.

FDSOI



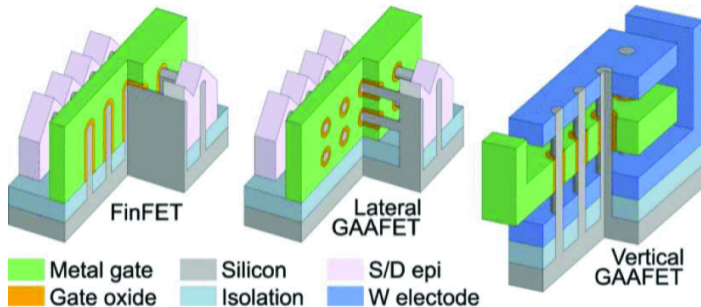
- Transistor planaire avec une couche isolante
- Moins cher mais limité à 18 nm voire 14 nm
- STM, GF, Samsung

FinFet



- Transistor 3 dimensions en “doigts”
- Plus cher mais possibilité d'aller jusqu'à 7 nm
- Intel, TSMC, Samsung

Sub 7 nm Technologies



- Le nœud technologique ne fait plus référence à la longueur du canal mais à la densité équivalente
- Les transistors deviennent de plus en plus complexes et donc plus chers à produire

Lithography machines

The ASML logo consists of the letters 'ASML' in a bold, blue, sans-serif font. The 'A' and 'S' are connected, and the 'M' and 'L' are also connected.

Market share : 50 %

The Canon logo features the word 'Canon' in a red, serif font. The 'C' is significantly larger and more stylized than the other letters.

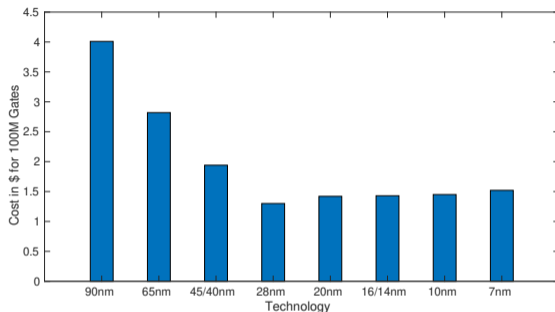
Market share : 38 %



Market share : 12 %

- ASML est le leader de l'équipement de photolithographie, une société néerlandaise.
- C'est également le seul producteur des derniers nœuds technologiques.
 - En 2011 : ASML a produit et vendu 220 machines de photo-lithographie.
 - En 2021 : 42 machines EUV (au prix modique de 150 millions de dollars par machine)
 - La machine pèse 18 tonnes et nécessite 18 mois pour être assemblée !

Coût de fabrication du transistor



Évolution du Coût par transistor - source : IBS

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

ELEC101 :

ESAC pour l'électronique des systèmes d'acquisition et de calcul

Objectifs ELEC 101 compatibles TP école du numérique

Pour les futurs :

- architectes et chercheurs des systèmes électroniques

ELEC101 sera un cours d'initiation au domaine

- utilisateurs de ces systèmes

ELEC101 vous permettra de mieux comprendre leurs fonctionnements, spécifications et performances

...autres

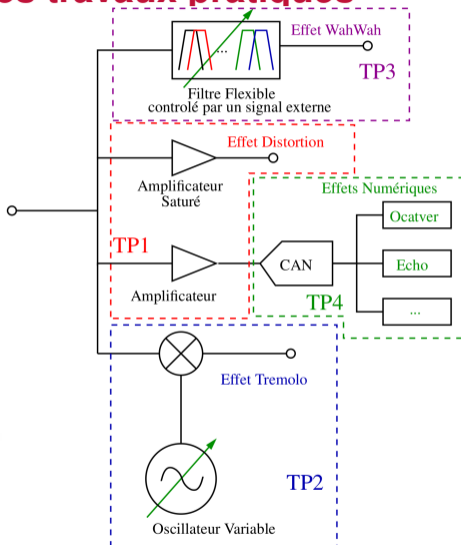
Pour vous éviter les crises d'épilepsie si vous entendez CMOS, Thévenin, CAN, porte logique, RTL, FPGA ou AOP.

Organisation du module

Le module est composé de deux sous-parties : analogique et numérique

- 1 TH d'introduction commune aux deux parties
- 13 THs pour la partie analogique
 - 7 THs de cours/TD en groupe
 - 6 THs de TP (3 TPs) en groupe
 - Un TP et un TD à faire en autonomie
- **1 TH d'examen** portant uniquement sur la partie **analogique**
- 6 THs pour la partie numérique
 - 3 séances mixtes Cours/TD/TP
 - **Contrôle continu** \Rightarrow **QCMs, présence, Rendus**

Les travaux pratiques



- Présence obligatoire aux TPs
- Si vous vous absentez à un TP, il faut le rattrapper !!
- Le TP tremolo sera fait en autonomie



Notation

Comment je valide ?

- 66 % sur la partie analogique
 - 40 % sur les TPs
 - 60 % sur le CC final
- 33 % sur la partie numérique
 - QCMs
 - Contrôle continu

La fin !!

Partie analogique

Chadi Jabbour
Bureau : 3B44

Partie numérique

Laurent Sauvage
Bureau : 3B32

Site Web commun

<https://esac.telecom-paris.fr>