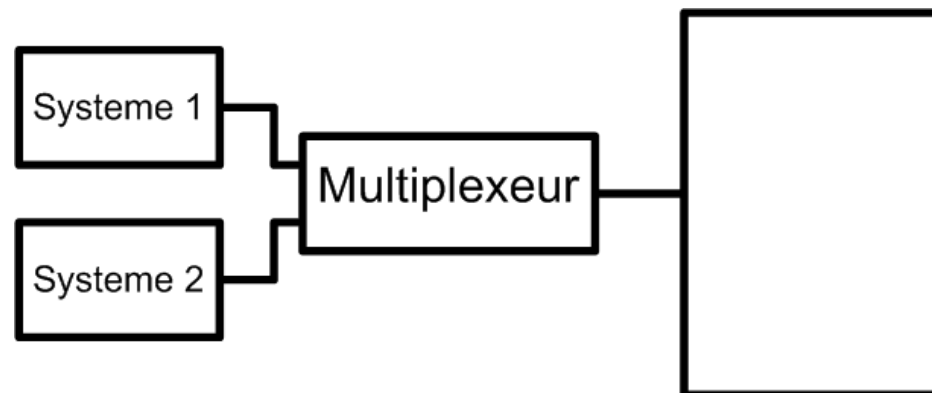


Electronique 1

Cours 12: Conception et Revision

Exemple pour portes CMOS

- Sur une puce, les pins sont dispendueux.
- Il est possible de partager un pin entre 2 (ou plus) systemes
- On utilise typiquement un multiplexeur pour faire ce genre de travail.



Exemple pour portes CMOS

- Un mutliplexeur nous transmet le signal A lorsqu'on selectionne le signal A et le signal B quand on selectionne le signal B.
- Un mutliplexeur est exprime avec l'equation suivante:

$$F = A \bullet \overline{C} + B \bullet C$$

Exemple pour portes CMOS

- On peut rearranger l'équation:

$$F = A \bullet \bar{C} + B \bullet C$$

$$F = \overline{(A \bullet \bar{C}) \bullet (B \bullet C)}$$

$$F = \overline{(\bar{A} + C) \bullet (\bar{B} + \bar{C})}$$

- Dessinez le circuit qui fait la fonction suivante:

$$F = \overline{(\bar{A} + C) \bullet (\bar{B} + \bar{C})}$$

Exemple de conception #1

- Dans un systeme de course de voiture, il y a des lasers qui detectent les voitures
 - Quand le 1er laser est coupe, on est au pre-stage
 - Quand le 2e laser est coupe, on est au stage
 - Quand les 2 voitures sont au stage, un temps aleatoire s'ecoule et les lumieres pour commencer s'allument

 —————)) stage

 —————)) stage

 —————)) Pre-stage

 —————)) Pre-stage



Exemple de conception #1

- On va changer les choses un peu...
 - Des que les 2 voitures coupent le stage et le prestage, on envoie un signal qui commence le décompte
- Concevez le système qui indique '1' lorsqu'on peut commencer le décompte.

Exemple de conception #2

- On aimerait avoir un systeme qui fournit 4v en sortie peu importe le courant tire (presque)
- On a une source de 9v et des resistances.

Exemple de conception #3

- On aimerait avoir un systeme qui genere la note LA (440Hz) dans des ecouteurs a haute impedance
- Pour avoir de la musique, il faut generer un signal oscillatoire a la bonne frequence
 - Vous avez des transistors, resistances et capacites
- Note: le temps de montee et de descente pour un transistor est estime a 10^{-9} s

Exemple de conception #4

- On aimerait faire un systeme qui nous donne la note LA quand on pese sur un bouton et DO quand on lache le bouton.

Exemple de conception #5

- On aimerait concevoir un comparateur
- Ce système va nous donner 5v quand le signal en entrée est plus que 3v et 0v quand c'est moins.

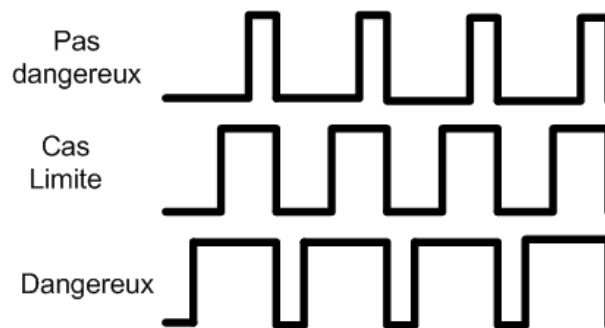
Exemple de conception #6

- Concevez le système de sécurité pour les coffres de sécurité dans une banque.
- Pour ouvrir un coffre, on a besoin de la clef du client (A) et du personnel de la banque
 - Soit 2 banquiers (B, C)
 - Ou le seulement le gerant (D)
- Quand une clef est tournée, on a '1'. Sinon, on a '0'.

La sortie devrait être 1 en sortie pour indiquer l'ouverture du coffre

Exemple de conception #7

- Un systeme detecte la quantite de monoxide de carbone dans l'air
 - La sortie est sous forme de "largeur d'impulsion"
 - Un signal dont la largeur d'impulsion est plus que 50% indique un taux dangereux
- Faites un systeme qui detecte le danger en allumant une lumiere



But du cours

- Apprendre la base en électronique
- Identifier et faire le lien entre différentes composantes
- Permettre de jouer avec les composantes
- Développer des techniques d'analyse de circuits actifs non-linéaires

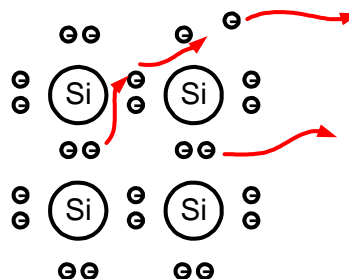
BUT: Donner un “feeling” de comment les choses fonctionnent

But du cours

- Resume du cours en 1 phrase:
 - Examiner la conduction dans les semiconducteurs
- Separation en 4 parties:
 - Physique des semiconducteurs
 - Diodes
 - Transistors bipolaires
 - Transistors a effet de champ

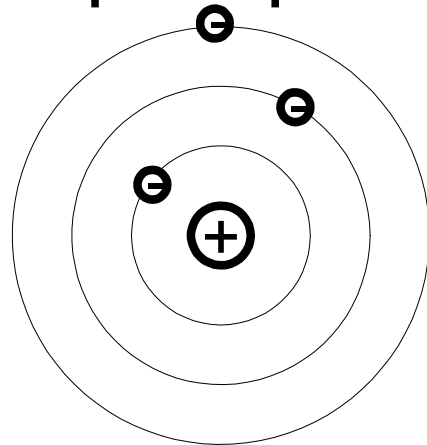
Physique des semiconducteurs

- On veut comprendre l'électronique
 - L'électronique est basée sur les semiconducteurs
 - L'électronique est basée sur le courant et la tension
- Pour comprendre l'électronique il faut..
 - On veut comprendre le déplacement de charges dans les semiconducteurs
 - Est-ce que les charges vont conduire? Si oui, combien? Quelles sont les conditions?



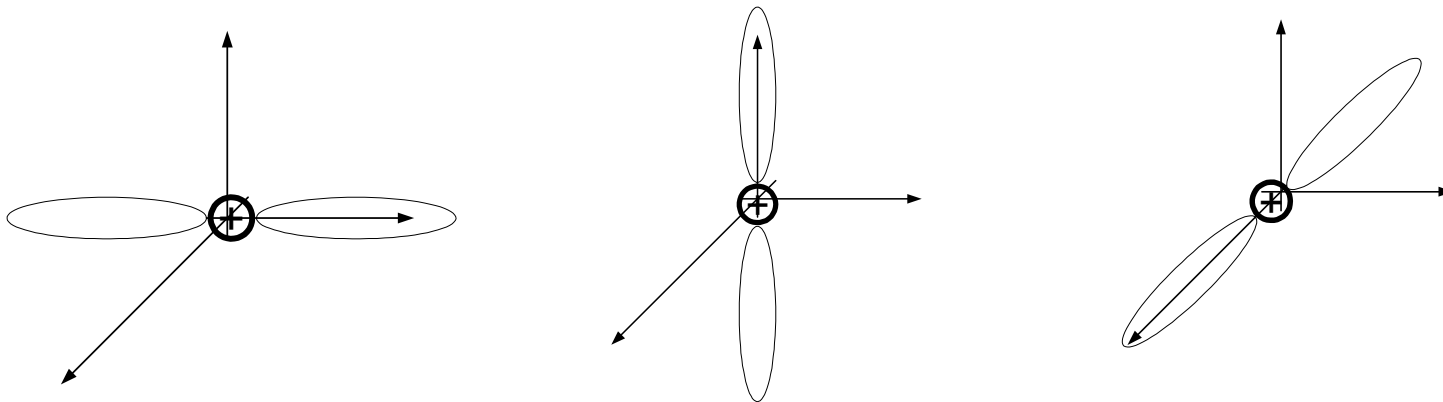
Physique des semiconducteurs

- Atome: Noyau (+) entoure par (-)
- On sait que les + et les - s'attirent
- FORCE depend de la distance:
 - Plus c'est loin, **moins** c'est fort
 - Plus c'est proche, **plus** c'est fort
- Electrons loins plus portes a conduire...



Physique des semiconducteurs

- Attraction depend de distance mais aussi de d'autres choses
- On dit que les electrons orbitent en cercle:
 - Pas toujours vrai: il y a d'autres formes d'orbite
 - Orbites peuvent etre orientes differemment
 - Ces facteurs peuvent changer la force

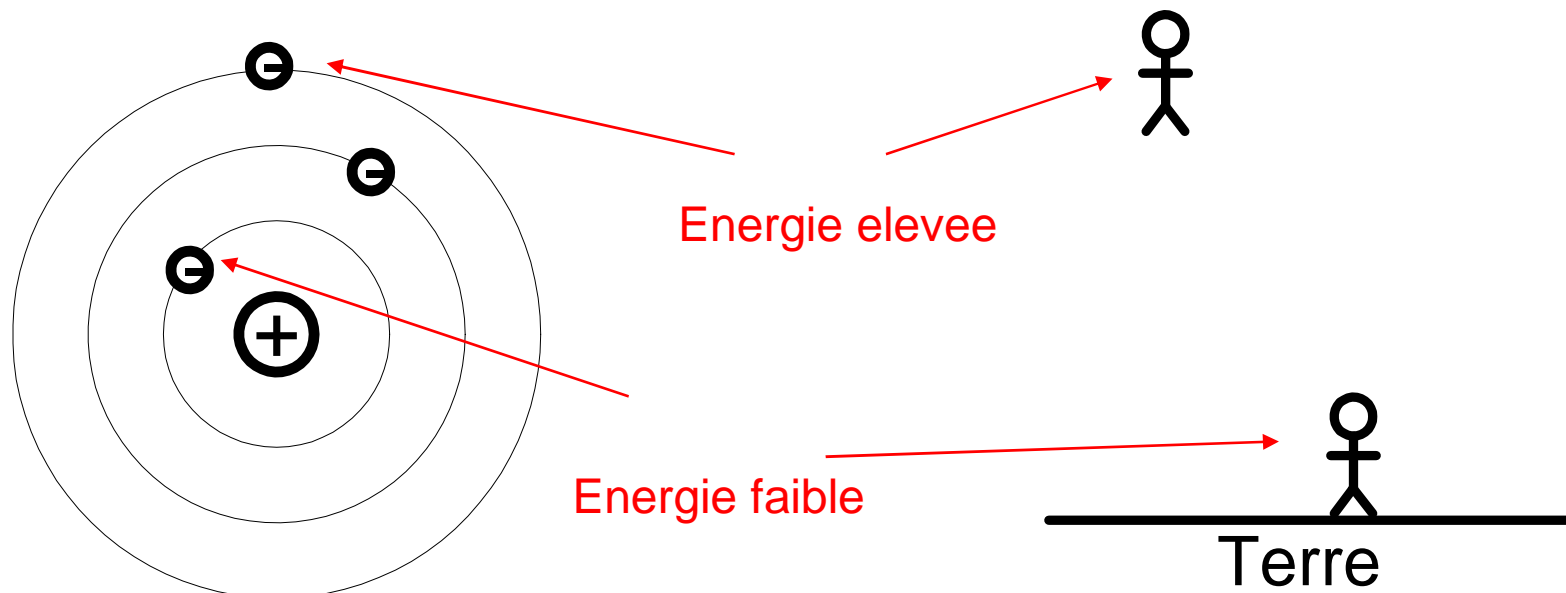


Physique des semiconducteurs

- On donne un nom compliqué à ces caractéristiques: **nombres quantiques**
 - Nombre quantique primaire: n (distance)
 - Nombre quantique secondaire: l (forme)
 - Nombre quantique magnétique: m_l (orientation)
 - Spin: m_s (+ ou -)
- Nombres quantiques différents ont des “forces différentes”.
 - DEUX électrons (max) peuvent partager le même niveau SI ils ont des spins différents

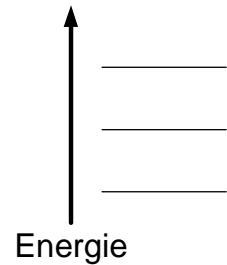
Physique des semiconducteurs

- Chaque electron a une force qui l'attire
- Autre facon de le dire:
 - Chaque electron a un certain energie potentiel
 - Analogie avec la gravite



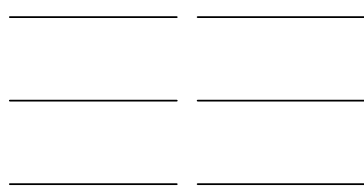
Physique des semiconducteurs

- Un atome a des electrons avec des energies differentes:



Chaque niveau peut avoir 2 electrons

- Si 2 atomes sont loins, pas de probleme
 - En les rapprochant, on a un probleme

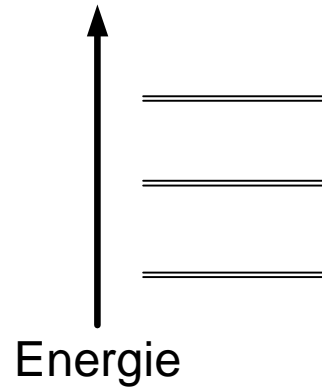


On pourrait avoir 4 electrons avec le meme niveau

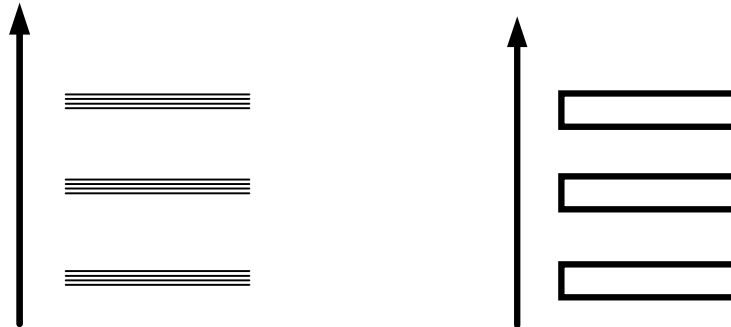
Pauli n'aimerait pas ca...

Physique des semiconducteurs

- Il y aura decalage d'energie:



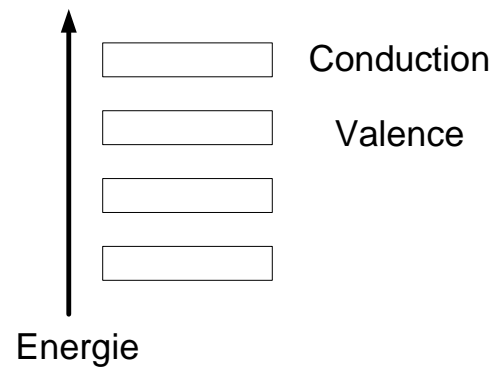
- Avec plus d'atomes colles:



Ca devient des
"bandes d'energie"

Physique des semiconducteurs

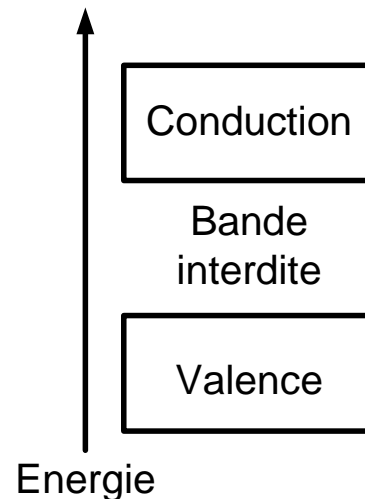
- Pour la conduction, on ne considère que les électrons qui sont faciles à bouger
- Ceux-ci se trouvent sur les 2 derniers niveaux



On va ignorer les autres niveaux

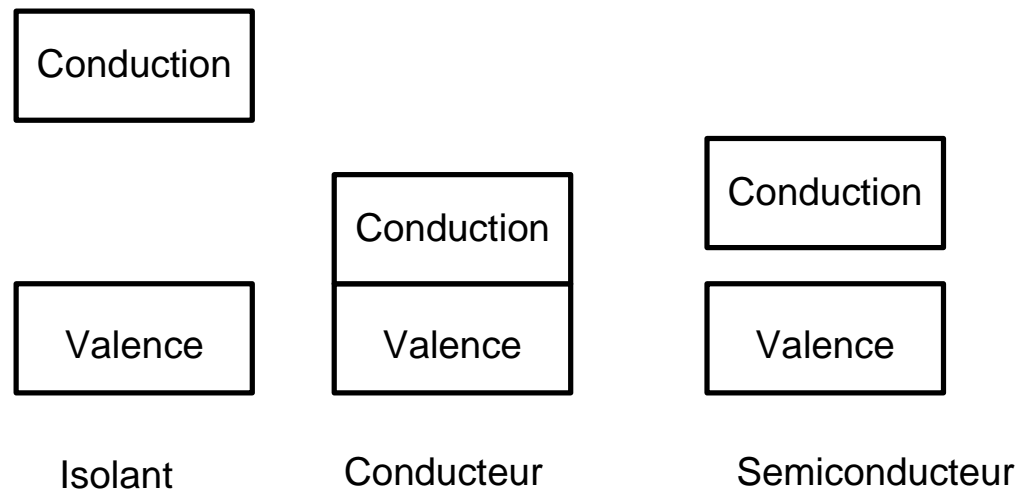
Physique des semiconducteurs

- On donne de l'énergie aux électrons de valence pour les amener en conduction:
 - Thermique
 - Optique
 - Mécanique
 - Etc.



Physique des semiconducteurs

- Energie fournie doit être plus (ou égale) à la bande interdite (bandgap)
- Bandgap dépend du matériau
- On identifie 3 **types** de matériaux:

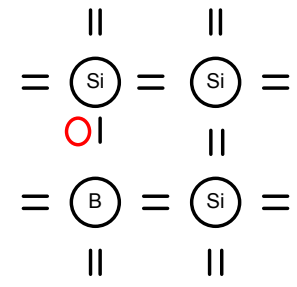
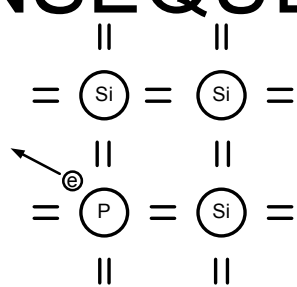


Physique des semiconducteurs

- Pour améliorer la conduction, on pourrait faire 2 choses:
 - Augmenter les électrons disponibles
 - Augmenter la place où les électrons peuvent aller (trous)
- Ca se fait en ajoutant des impuretés: dopage

Physique des semiconducteurs

- Pour ajouter electrons:
 - Ajouter atomes qui ont 1 electron de plus que Si
 - Ca devient plus NEGATIF: dopage de type N
- Pour ajouter trous:
 - Ajouter atomes qui ont 1 electron de moins que Si
 - Ca devient plus POSITIF: dopage de type P
- Le silicium dope est aussi appele **EXTRINSEQUE**



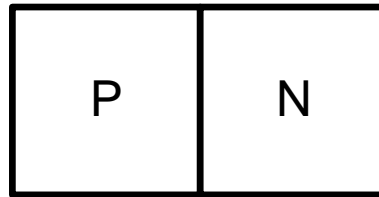
Diode

- Le silicium pur (intrinseque) et extrinseque sont comme des resistances:
 - Pas tres utile
- En placant P et N ensemble, on se retrouve avec une diode
 - Les choses deviennent plus interessantes

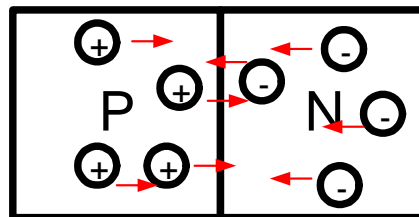


Diode

- On examine la structure physique
 - Examinons le cas **hypothétique** lorsqu'on place un P et un N ensemble
- Etape 1: En collant P et N

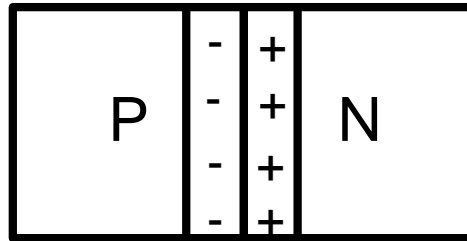


- Etape 2: Electrons et trous diffusent

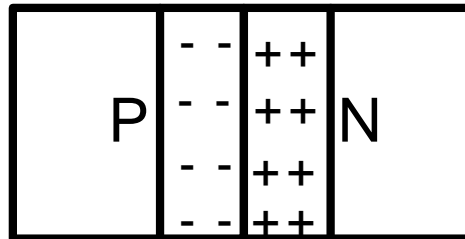


Diode

- Etape 3: Creation de la zone charge-espace

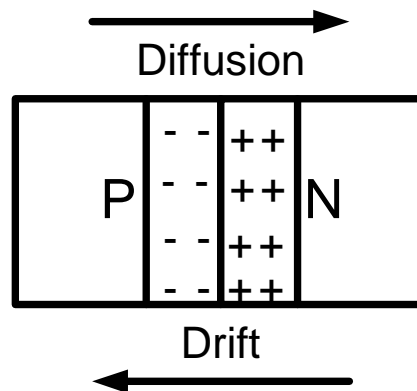


- Etape 4: Equilibre



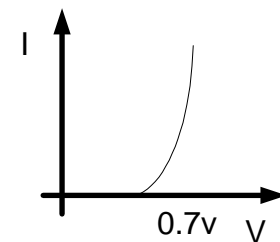
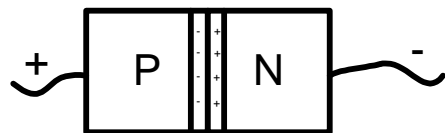
Diode

- En equilibrium, 2 courants existent:
 - Champ électrique “bloque” la diffusion
 - A cause de T, pairs electrons-trous se forment continuellement
 - Electron-trou dans region charge espace est pousse par le drift
 - Diffusion rebalance les charges



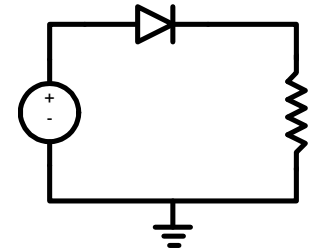
Diode

- Il y a un champ a l'interieur qui "bloque" le courant de diffusion
- Qu'arrive-t-il si on reduisait cette tension?
 - La diffusion "rempporterait"
- On peut calculer cette valeur:
 - Pour les diodes "typiques", cette valeur est 0.7v
 - Avec la tension, le courant augmente exponentiellement



Diode

- Le courant a une dépendance exponentielle sur la tension
 - L'exponentielle n'est pas linéaire



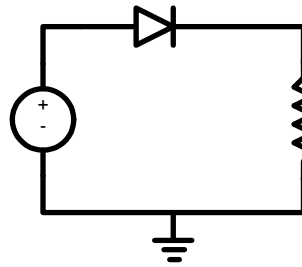
- La résolution des équations est difficile

$$e^{V_D/kT} = \frac{V_{DD} - V_D}{R I_S} + 1 \quad \leftarrow \text{Isolez } V_D$$

- Solutions:
 - Méthode graphique
 - Faire semblant que c'est linéaire (approximation)

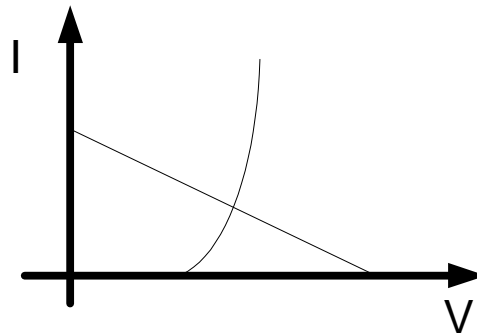
Diode

- Methode graphique:



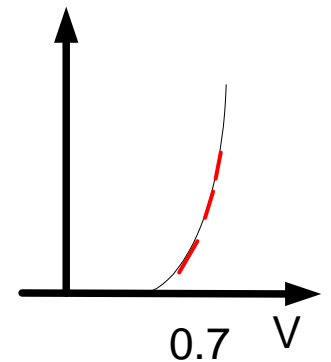
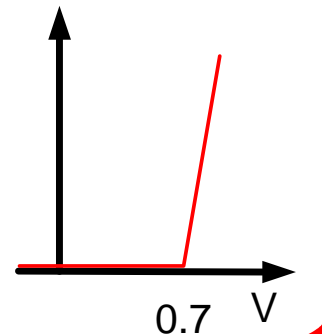
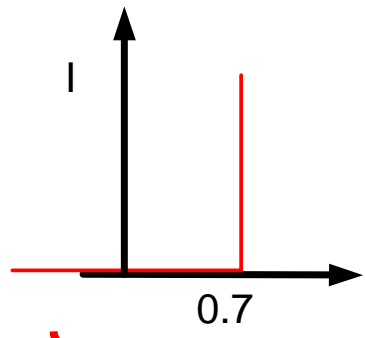
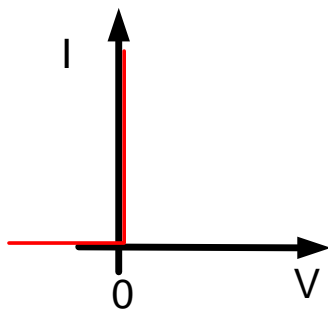
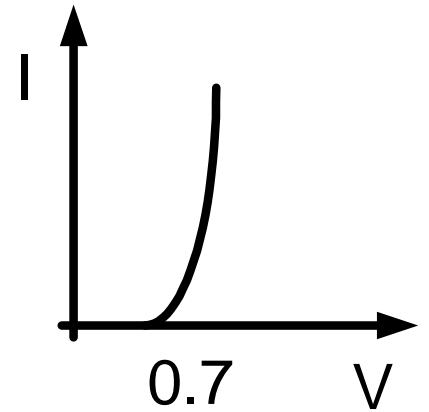
$$I_D = I_R$$

- I_D est exponentielle et I_R est lineaire
- On trace la ligne de charge
 - L'intersection c'est la place ou $I_D = I_R$



Diode

- On a vu plusieurs modeles:
 - ON-OFF sans chute
 - ON-OFF avec chute
 - Segmente lineaire
 - Petit signal



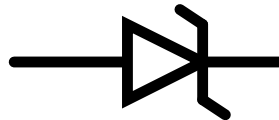
Les plus utiles (pour moi)

Diode

- L'analyse n'est pas directe:
 - On ne sais pas si la diode conduit ou pas
- Il faut **DEVINER** si la diode conduit ou pas (hypothese)
 - On calcule le reste avec nos equations
 - On **VERIFIE** si notre hypothese est bonne ou pas
- **SINON**, on recommence...

Diode

- Une diode peut aussi conduire si on polarise “a l’envers”
- 2 phenomenes existent:
 - Zener: Champ electrique arrache electrons
 - Avalanche: Collision d’electron donne assez d’energie pour deloger d’autres electrons
- Diodes concues avec le but de conduire a l’inverse: diodes zener

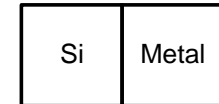


Diodes: Applications

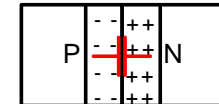
- Redressement
 - Generer tension positive a partir d'un signal AC
- Clamping
 - Changer le niveau DC
- Limiteur
 - Bloquer les tensions trop hautes ou trop basses
- Regulation
 - Fournir une tension fixe independante du courant

Diodes: Types

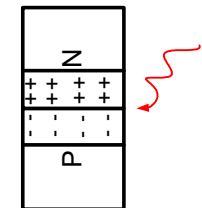
- Schottky: semiconducteur/metal



- Varacteur: PN utilise en inverse



- Photodiode: PN utilise en inverse



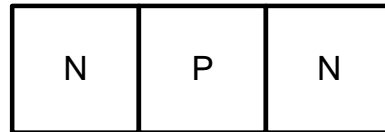
- Diode photoluminescente: Recombinaison redonne l'energie "visible"



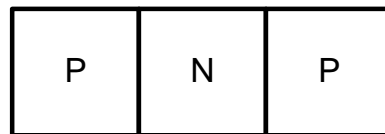
Materiau different
(bandgap direct)

Transistors Bipolaires

- En connectant un P et un N: diode
- En connectant un autre bloc de silicium: on obtient un transistor bipolaire
- NPN: transistor de type N



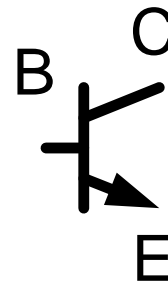
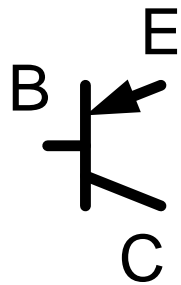
- PNP: transistor de type P



BJT: Bipolar Junction transistor (transistors bipolaires)

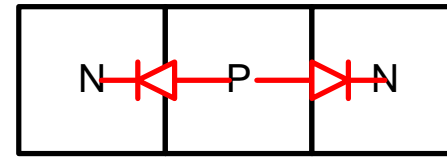
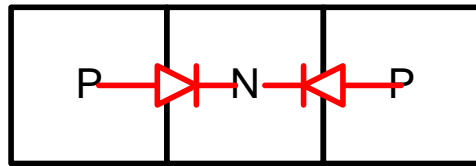
Transistors Bipolaires

- On peut se connecter a chacun des blocs
- Chaque bloc sera une “patte” du transistor
 - Base: Patte qui est seule
 - Emetteur: Celle avec la fleche
 - Collecteur: L'autre



Transistors Bipolaires

- On peut voir les BJT comme étant 2 diodes dos-a-dos



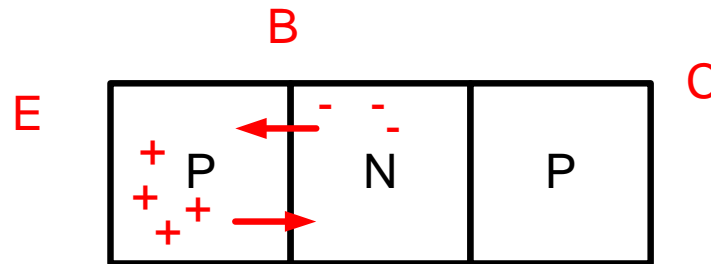
- Les BJT fonctionnent différemment selon la conduction (ou non) de ses diodes
- Avec 2 diodes qui peuvent être ON-OFF, il y a $2^2=4$ modes possibles

Transistors Bipolaires

B-E	B-C	Mode	Application
OFF	OFF	Cutoff	Switch OFF
OFF	ON	Inverse	Aucune
ON	OFF	Active	Amplification
ON	ON	Saturation	Switch ON

Transistors Bipolaires

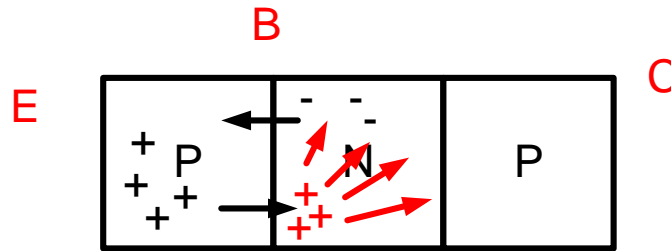
- On utilise la region active pour expliquer le fonctionnement
- Examinons le PNP pour faire changement
- En active la jonction BE conduit



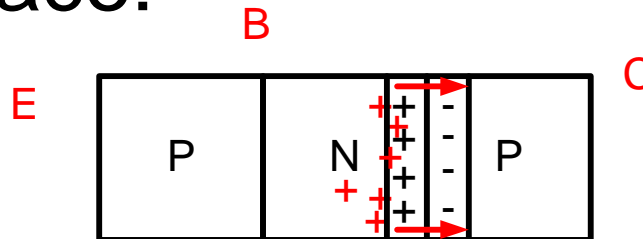
- B envoie des - et E envoie des +

Transistors Bipolaires

- Quand les + arrivent a la base il y a difference de concentration: diffusion



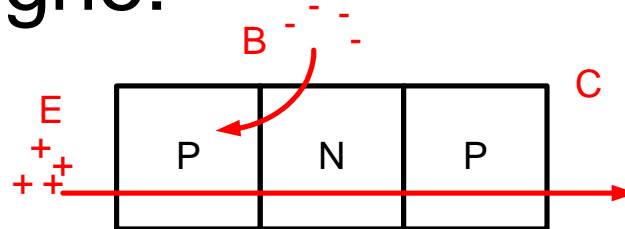
- Certains diffusent et se rendent a la region charge-espace:



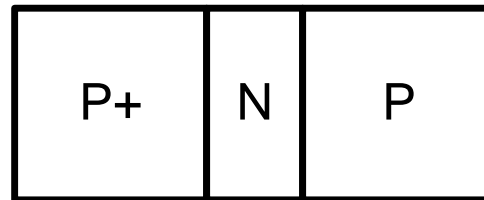
Le champ pousse les + au collecteur (DRIFT)

Transistors Bipolaires

- En bout de ligne:

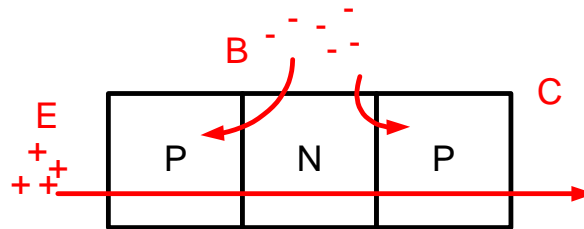


- Petit courant a la base donne gros courant EC
- On limite recombinaison a la base: mince
- Pour gros courant EC: gros dopage a l'emetteur



Transistors Bipolaires

- En saturation, on a un courant dans BC



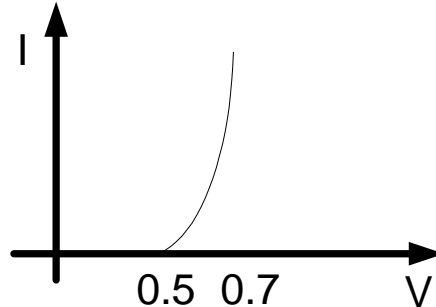
- La base injecte maintenant des – au collecteur
- Diminue le courant effectif de E a C
 - Raison: E a C sont des + et on injecte des -

Transistors Bipolaires

- En saturation on a gros courant I_B
 - I_C est habituellement gros
 - Mais le ratio I_C/I_B (β_F) n'est pas eleve
- β est a son maximum en active:
 - Raison pourquoi **active** est bon pour **amplifier**
- En saturation, on ne se preoccupe pas de β : on veut juste un gros I_C
 - Pour faire ca, on met un gros I_B .

Transistors Bipolaires

- C'est quoi le $V_{CESAT}=0.2v$?
- Une diode conduit pleinement a 0.7v
- On estime qu'elle commence a conduire a 0.5v

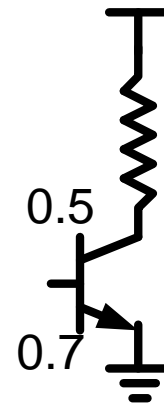


- Saturation c'est quand BC COMMENCE a conduire

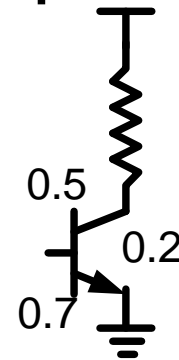
On estime que V_C ne change plus une fois en saturation

Transistors Bipolaires

- Ces tensions donnerait un transistor en saturation



- Ca veut aussi dire que $V_{CE}=0.2v$



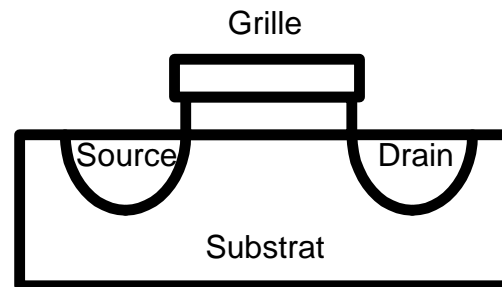
D'ou $V_{CESAT}=0.2v$

Transistors Bipolaires

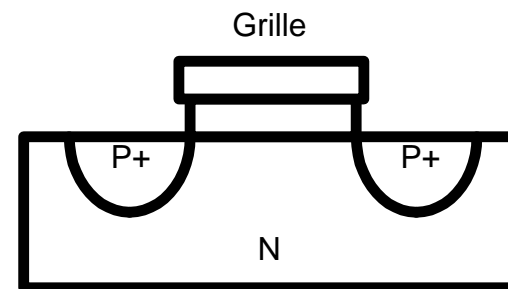
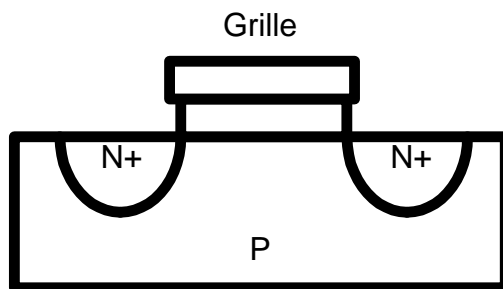
- On connaît les équations pour calculer le courant et la tension.
- Mais on ne sait pas dans quel mode le transistor se trouve
- Il faut faire une hypothèse, faire les calculs et vérifier
- Si les hypothèses ne sont pas justifiées, il faut recommencer du début

Transistors CMOS

- Les transistors CMOS n'utilisent plus les equations des diodes
- On a une structure differente



- Il y a 2 sortes: NMOS et PMOS



Transistors CMOS

- On controle la connexion entre source et drain avec la grille:

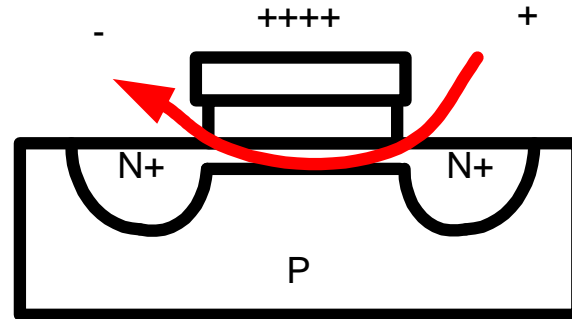


- Avec la grille, on cree un champ electrique
 - Transistor “a effet de champ”
- Cette region s’appelle le canal

Tension requise pour avoir le canal: V_{TH}

Transistors CMOS

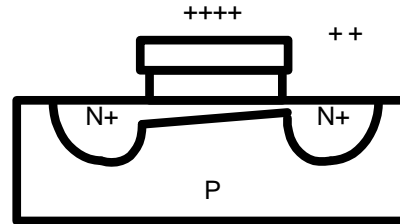
- On peut appliquer une tension pour avoir un courant entre drain et source



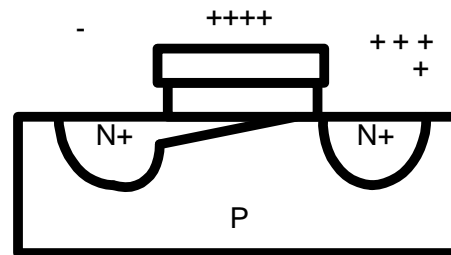
- En augmentant la tension le courant augmente **LINEAIREMENT**
 - On est dans la region LINEAIRE

Transistors CMOS

- Si on augmente TROP la tension au drain, $V_{G-CANAL}$ sera faible au drain (V_{GD})



- Si V_D trop gros, ca peut couper le canal
 - On tombe en saturation
 - Le courant cesse d'augmenter avec V_D



Transistors CMOS

- Symbole des transistors CMOS:



- On identifie les pattes:
 - Grille: la patte seule
 - Source: patte avec la fleche
 - Drain: l'autre patte
 - Substrat: Pas presentee ici. Sert souvent a bloquer les diodes parasites.

Transistors CMOS

- Analyse des circuits ne peut pas se faire facilement
- On ne connaît pas le mode de fonctionnement a priori
- Il faut faire une hypothese, faire les calculs et verifier
- Resolution d'equations quadratiques.

Comparaison

- Voici quelques caractéristiques

Caractéristique	BJT	CMOS
Conduction	$V_{BE}=0.7$	$ V_{GS} > V_{TH} $
Amplification	Active	Saturation
Switch	Saturation	Lineaire
Controle	Faible I_B	$I_G=0$

Vue vers le futur

- Electronique II: Transistors pour concevoir des amplificateurs
- Important pour plusieurs raisons:
 - Amplifier: signaux pour fibre optique, signaux du corps pour circuits implantables, etc.
 - Fonction de transfer: Integration, differentiation, etc.
 - Operation mathematique: Addition, soustraction, gain, etc.

Vue vers le futur

- Systemes digitaux: cours sur la logique
- On a vu au dernier cours comment creer des portes logiques avec des transistors
 - Vous monterez a “plus haut niveau”
- Vous utiliserez les portes logiques pour faire des choses plus grosses
 - Combinatoire: additionneur, multiplicateur, etc.
 - Sequentiel: controle (machines a etats)

Professeur: Moi

Vue vers le futur

- Conception des systemes digitaux: on fait la conception de systemes
- Vous monterez encore de niveau d'abstraction pour concevoir les choses encore plus compliquees
 - Vous utiliserez ces connaissances pour configurer des puces programmables
 - Utilisable aussi pour conception de puces
 - Pensez: "Automate programmable moderne"

Vue vers le futur

- Conception de circuits integres: cours sur la conception des puces
- Concevoir a bas niveau comme a haut niveau
 - Dessiner des transistors a la main
 - Concevoir la logique au niveau transistor
 - Concevoir a haut niveau d'abstraction