

# CM4 : Transistors en tant qu'interrupteurs en électronique analogique

Davide Bucci

[davide.bucci@phelma.grenoble-inp.fr](mailto:davide.bucci@phelma.grenoble-inp.fr)

# Objectifs pour aujourd'hui

- Voir l'importance des **interrupteurs** en analogique
- Voir comment on utilise les **transistors MOS** en tant qu'interrupteurs
- Des situations, problèmes **typiques**
- Des **exemples**

# Prérequis

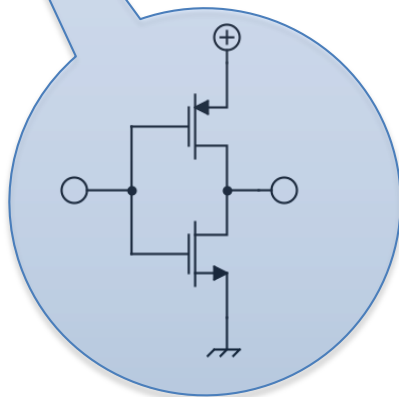
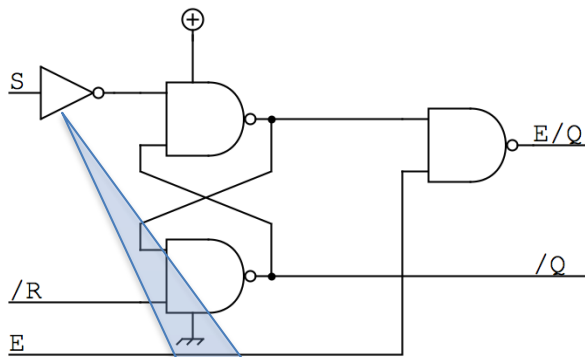
- Techniques d'analyse des circuits
- La première partie du cours
- **Le transistor MOS vu au S5 !**



# Numérique et analogique

- **Numérique**

- Commutation signaux logiques

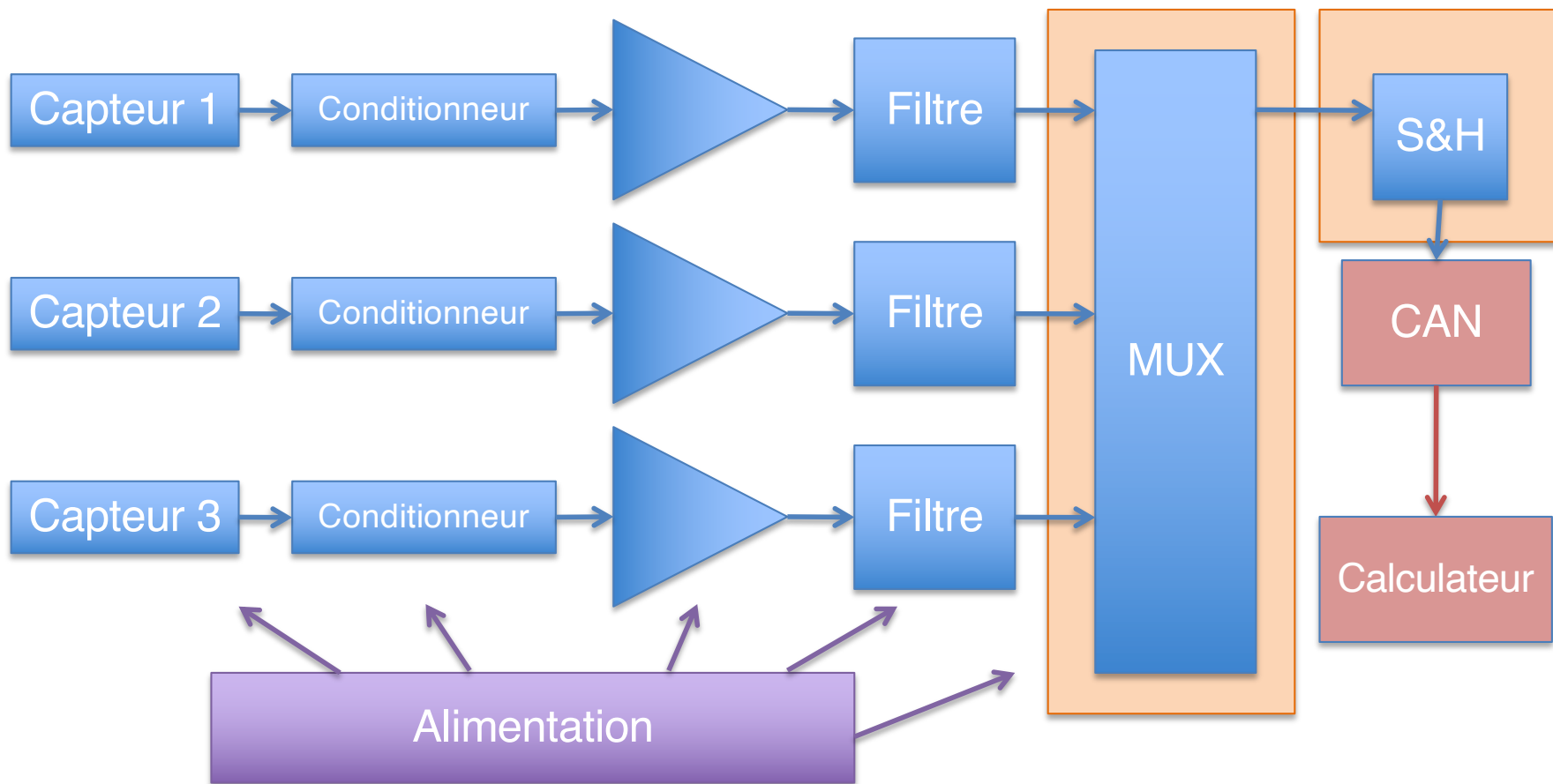


- **Analogique**

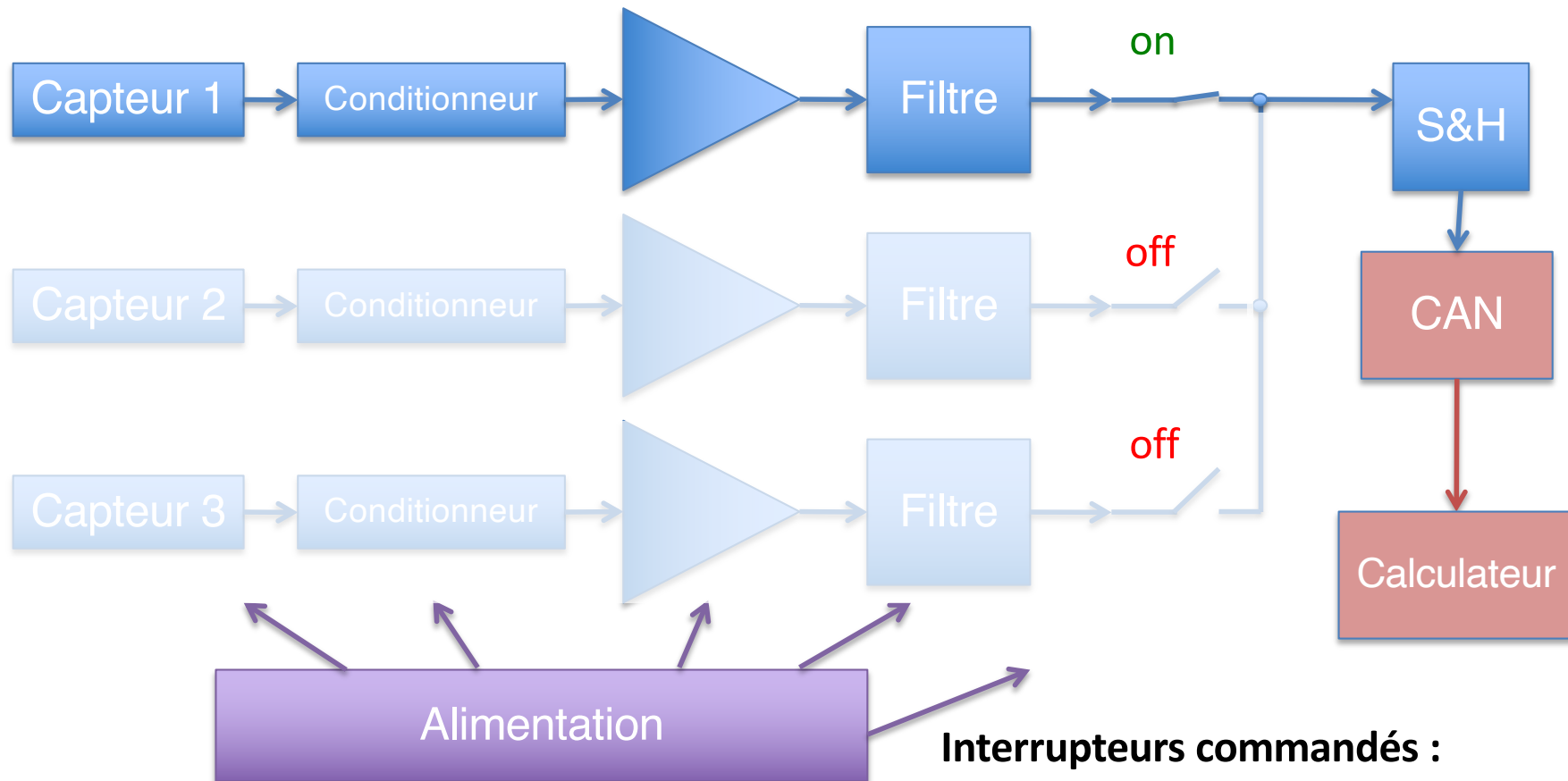
- Interrupteurs analogiques
  - Multiplexeurs
  - Sélection de source
  - Commutation de gain
  - Echantillonneurs bloqueurs

...

# De quoi parle-t-on ?



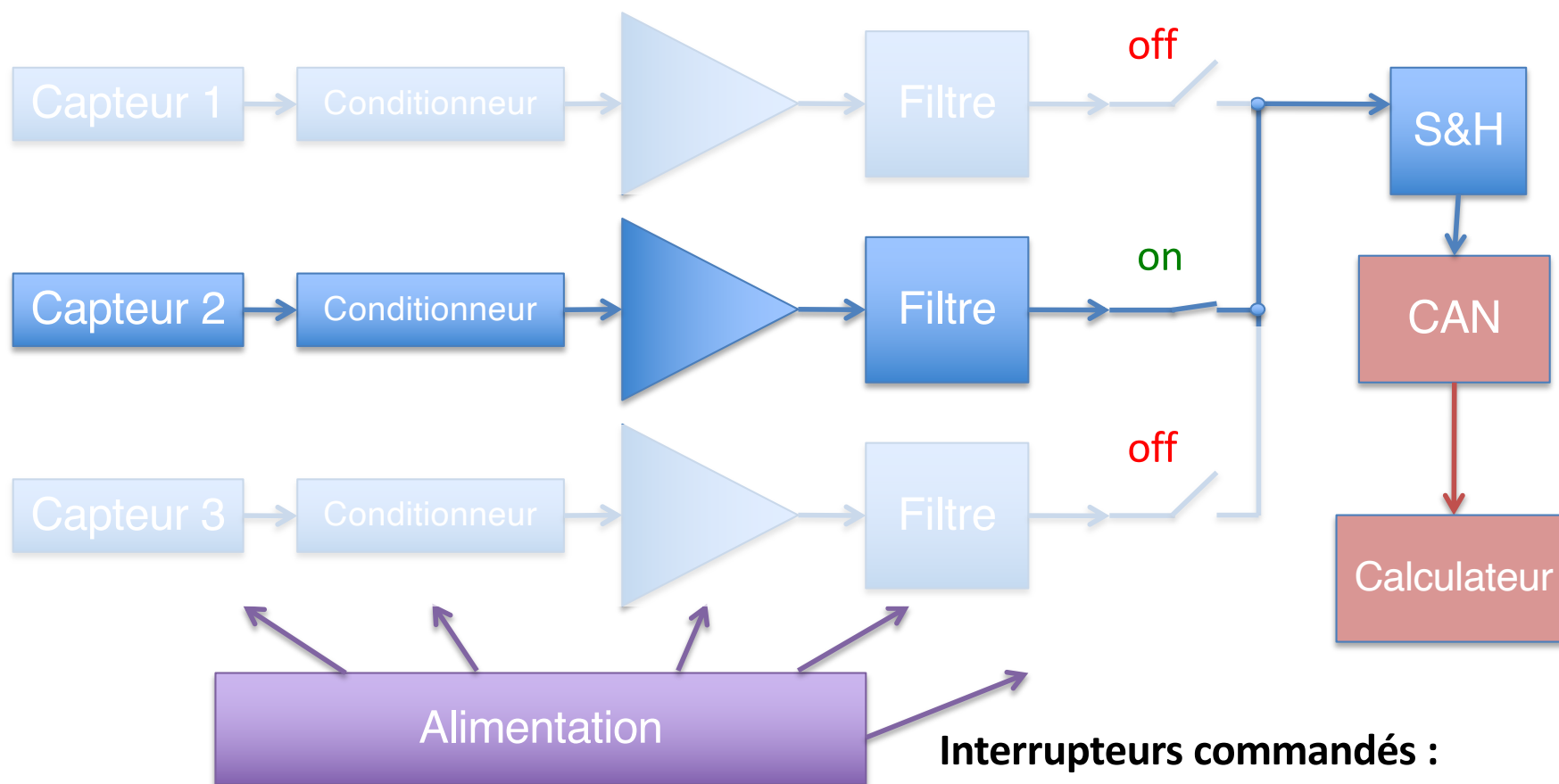
# Rôle du multiplexeur



### Interrupteurs commandés :

- « Baisse » résistance à l'état ON
- « Très haute » résistance à l'état OFF
- Commande par tension
- « Rapides »

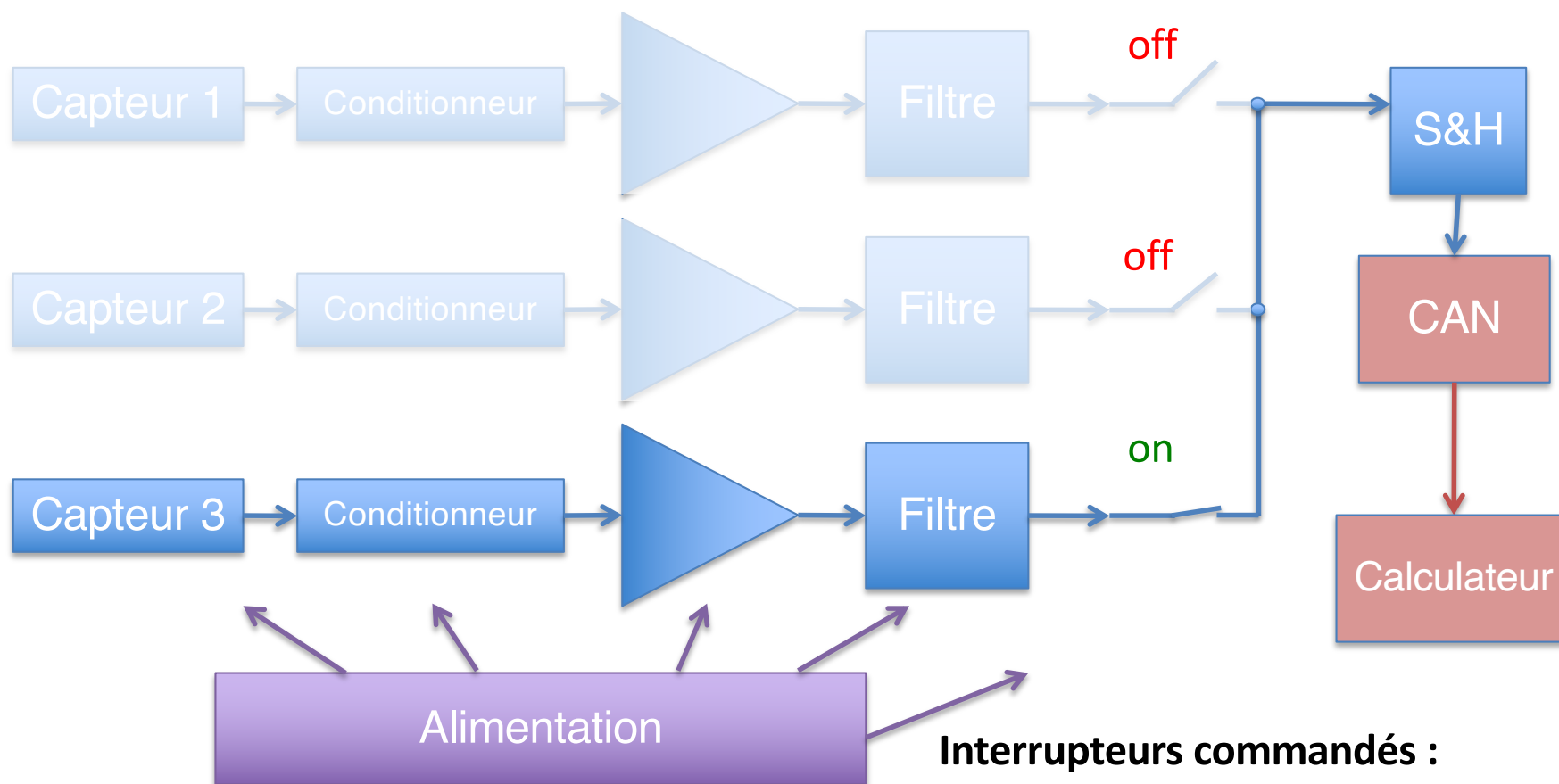
# Rôle du multiplexeur



### Interrupteurs commandés :

- « Baisse » résistance à l'état ON
- « Très haute » résistance à l'état OFF
- Commande par tension
- « Rapides »

# Rôle du multiplexeur



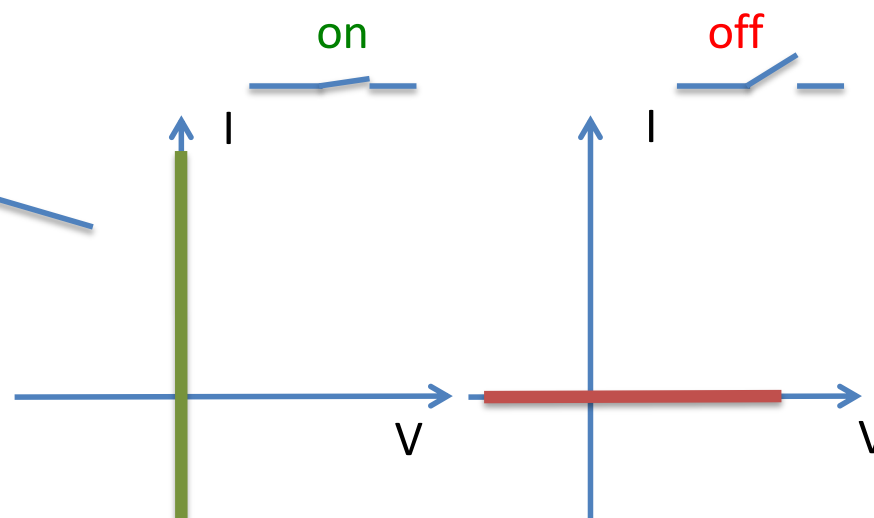
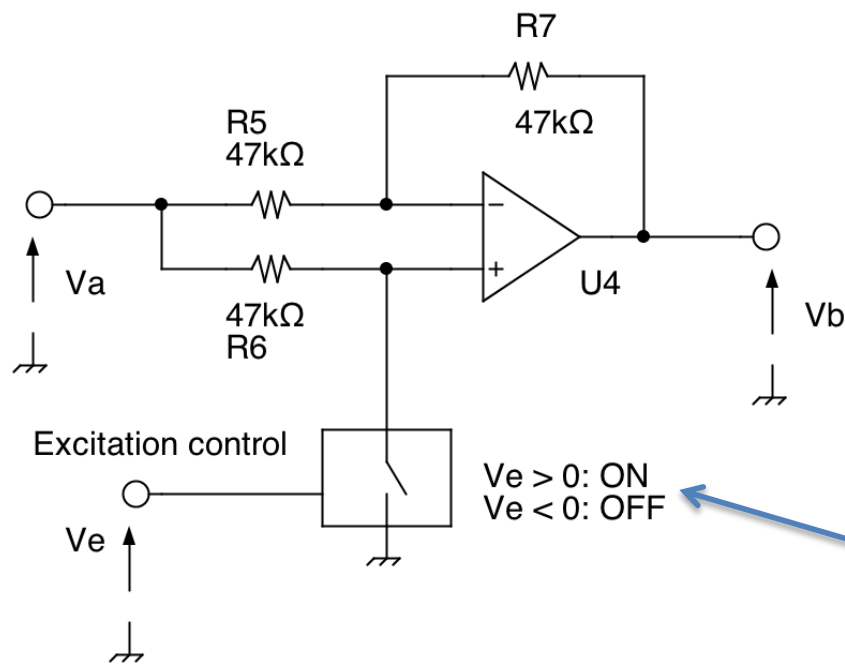
### Interrupteurs commandés :

- « Baisse » résistance à l'état ON
- « Très haute » résistance à l'état OFF
- Commande par tension
- « Rapides »

# Interrupteurs de partout !

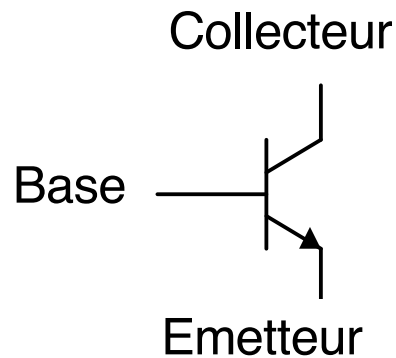
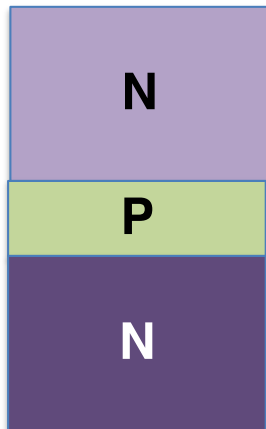
## Le DM :

- Redressement synchrone
- L'interrupteur commute à 1kHz

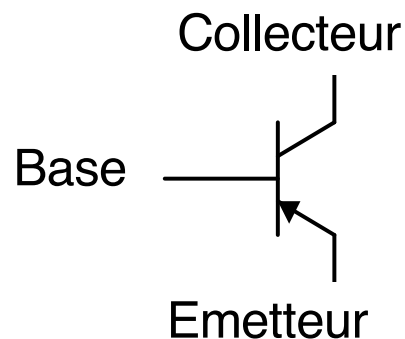
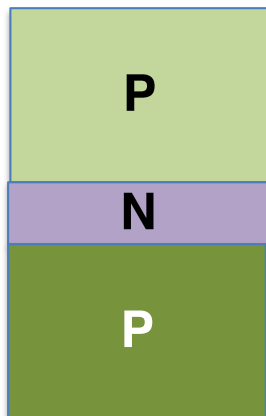


# Transistors!

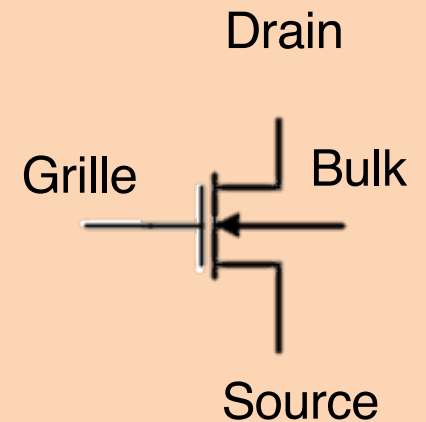
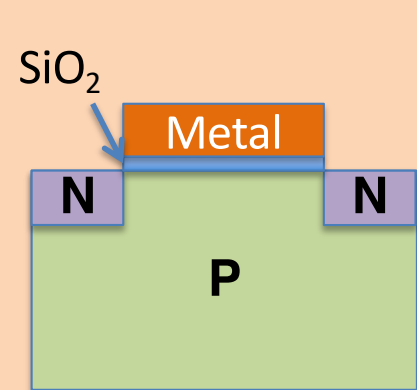
- Transistors bipolaires



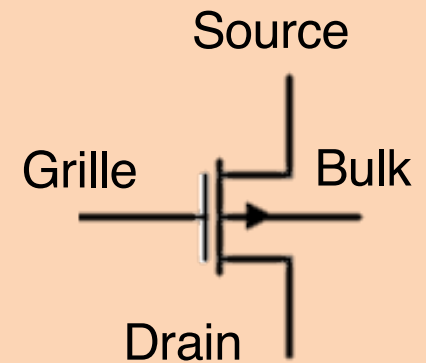
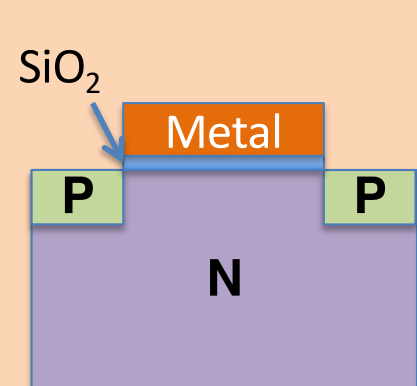
2 jonction : BE direct, BC inverse



- Transistors MOS



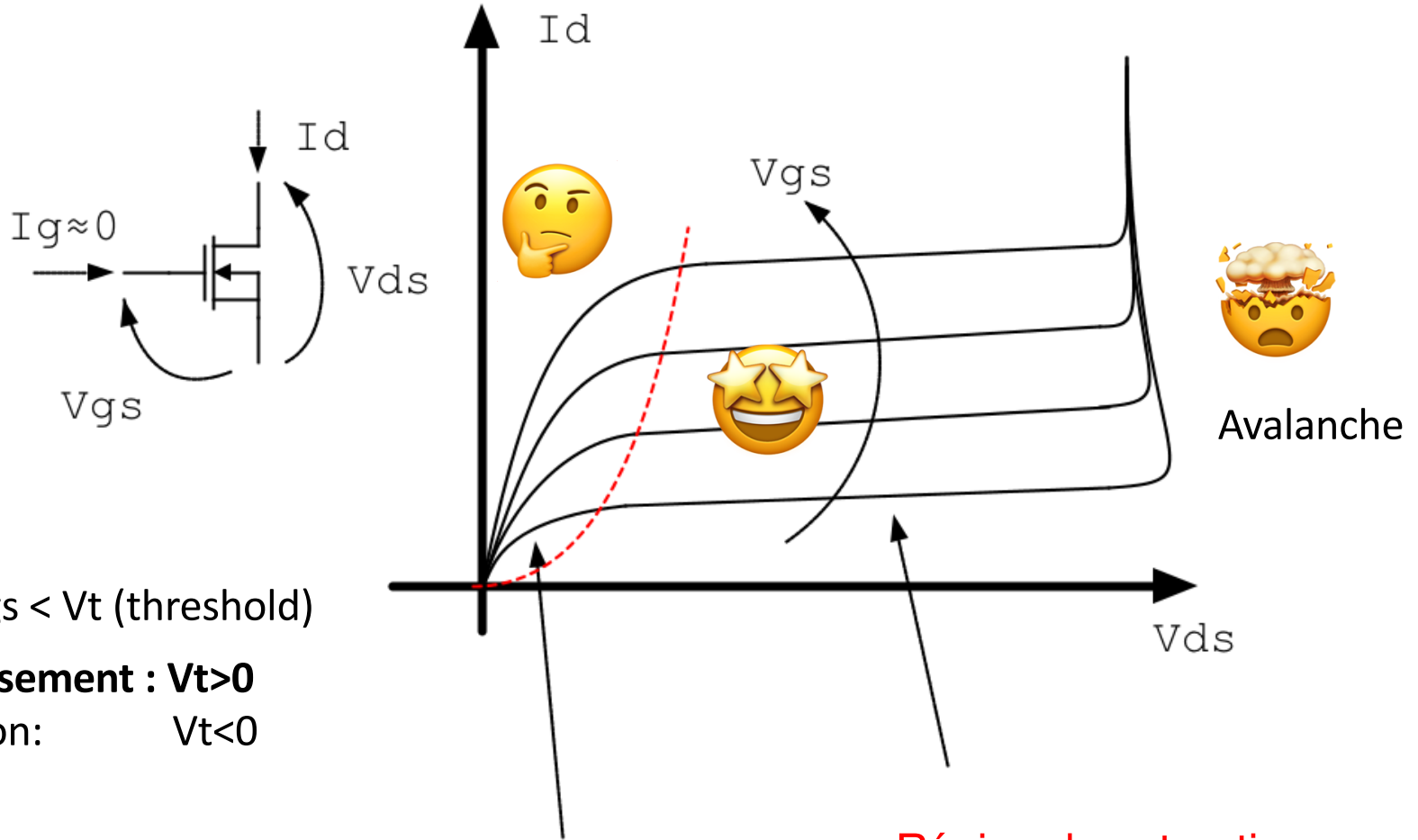
Bulk à V const. ou connecté à la source



# Ce qu'on va faire

- Revoir les transistors MOS
  - Courbes caractéristiques
  - Régions de fonctionnement
- Voir comment on peut les utiliser en tant qu'interrupteurs

# Transistor MOS à canal N



$I_d \approx 0$  if  $V_{gs} < V_t$  (threshold)

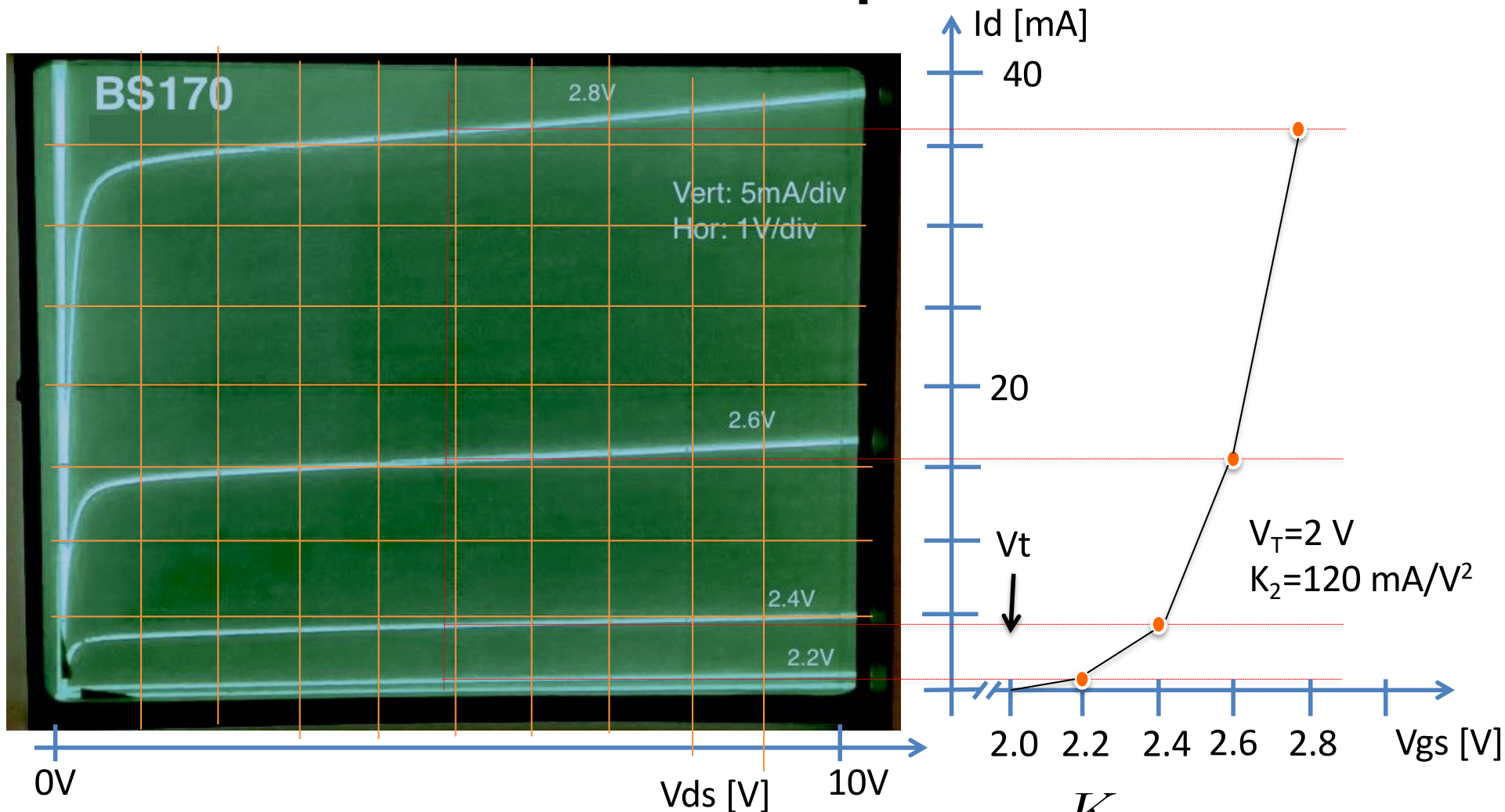
**Enrichissement :  $V_t > 0$**

Déplétion:  $V_t < 0$

Région linéaire ou « triode »

**Région de saturation  
≠ BJT!!!**

# Un vrai dispo : BS170

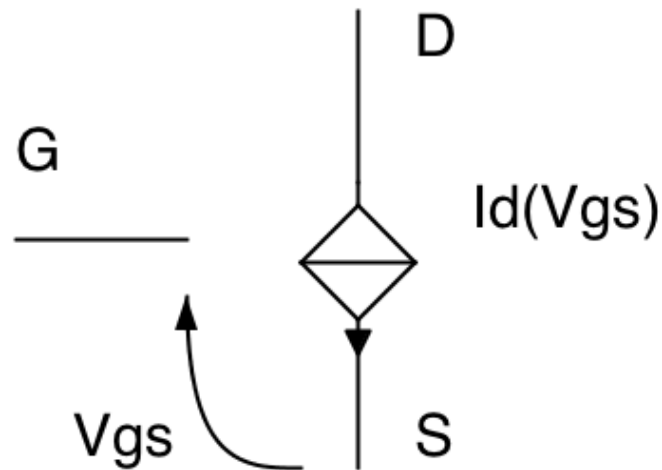


~ Courant Id quadratique en saturation

$$I_d \approx \frac{K_2}{2} (V_{gs} - V_T)^2$$

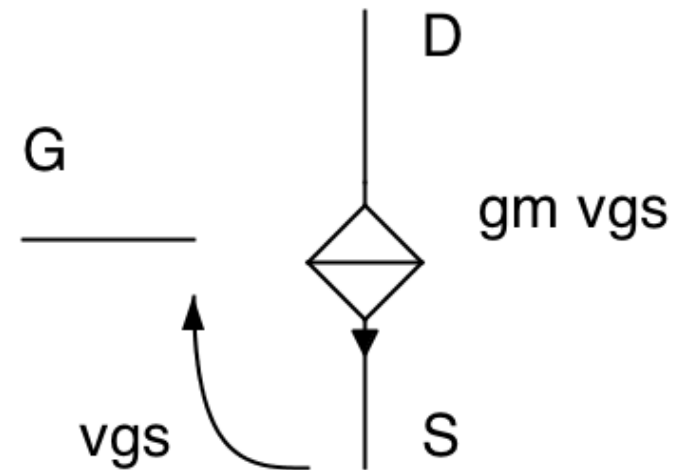
# Modélisation en région de saturation

- **Point de fonctionnement**  
(DC)  $V_{gs} > V_T$



$$I_d \approx \frac{K_2}{2} (V_{gs} - V_T)^2$$

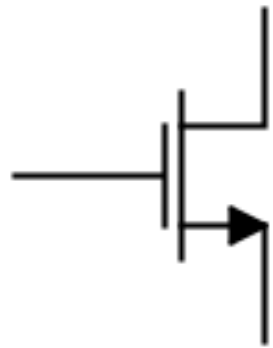
- **Analyse petit signal**  
(AC, linéarisation)



Raisonnable en  
sat. et basse fréq.

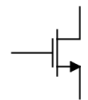
# Défis actuels

## Tendances actuelles :



Grand  
Lent  
Tension d'alim. élevée  
(e.g. 3.3 V)

Évolue vers...



Petit  
Rapide  
Tension d'alim faible  
(e.g. 1.1 V)

## Numérique

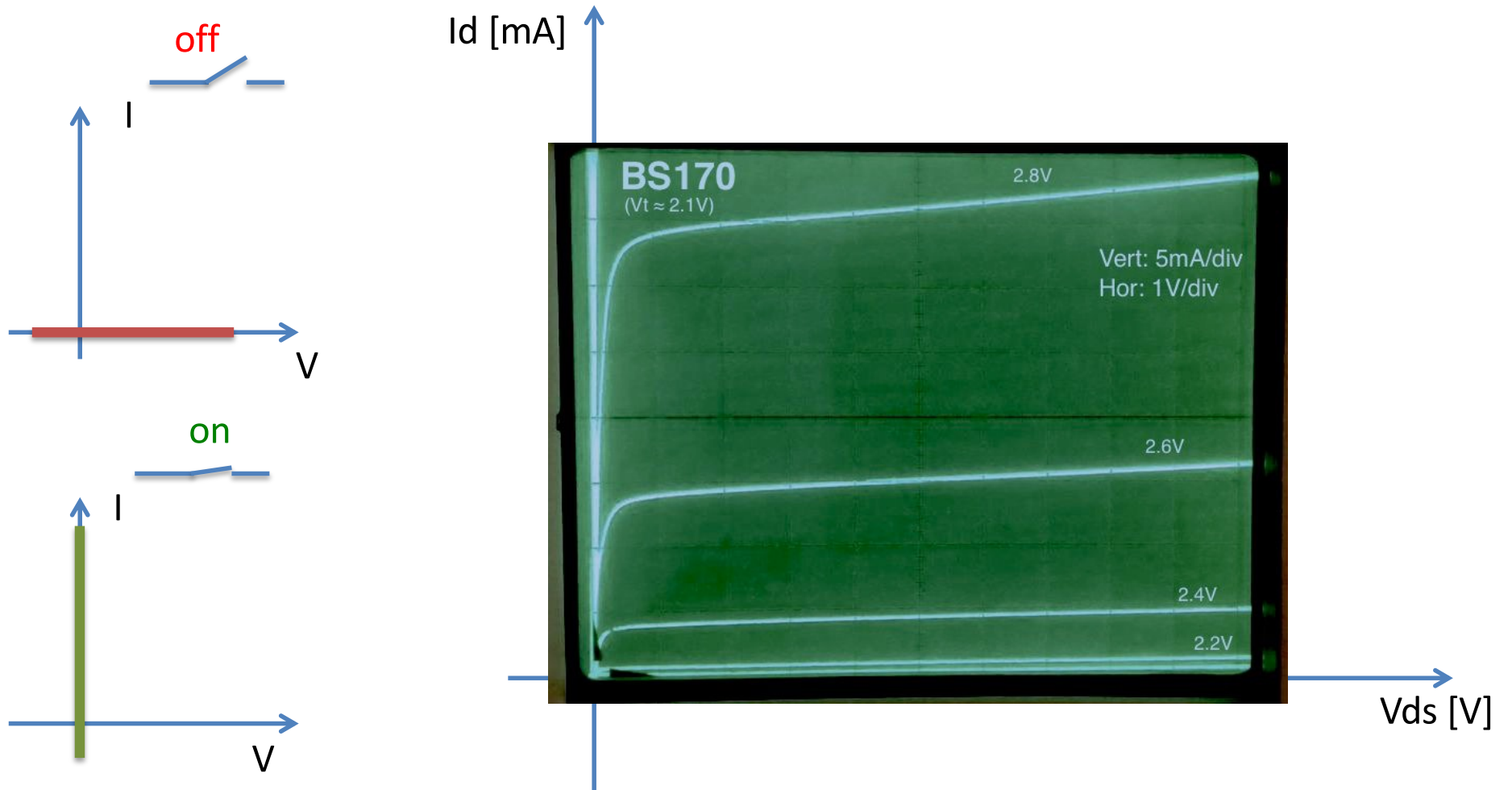
- Circuits rapides
- Moins consommateurs
- Applications complexes

## Analogique

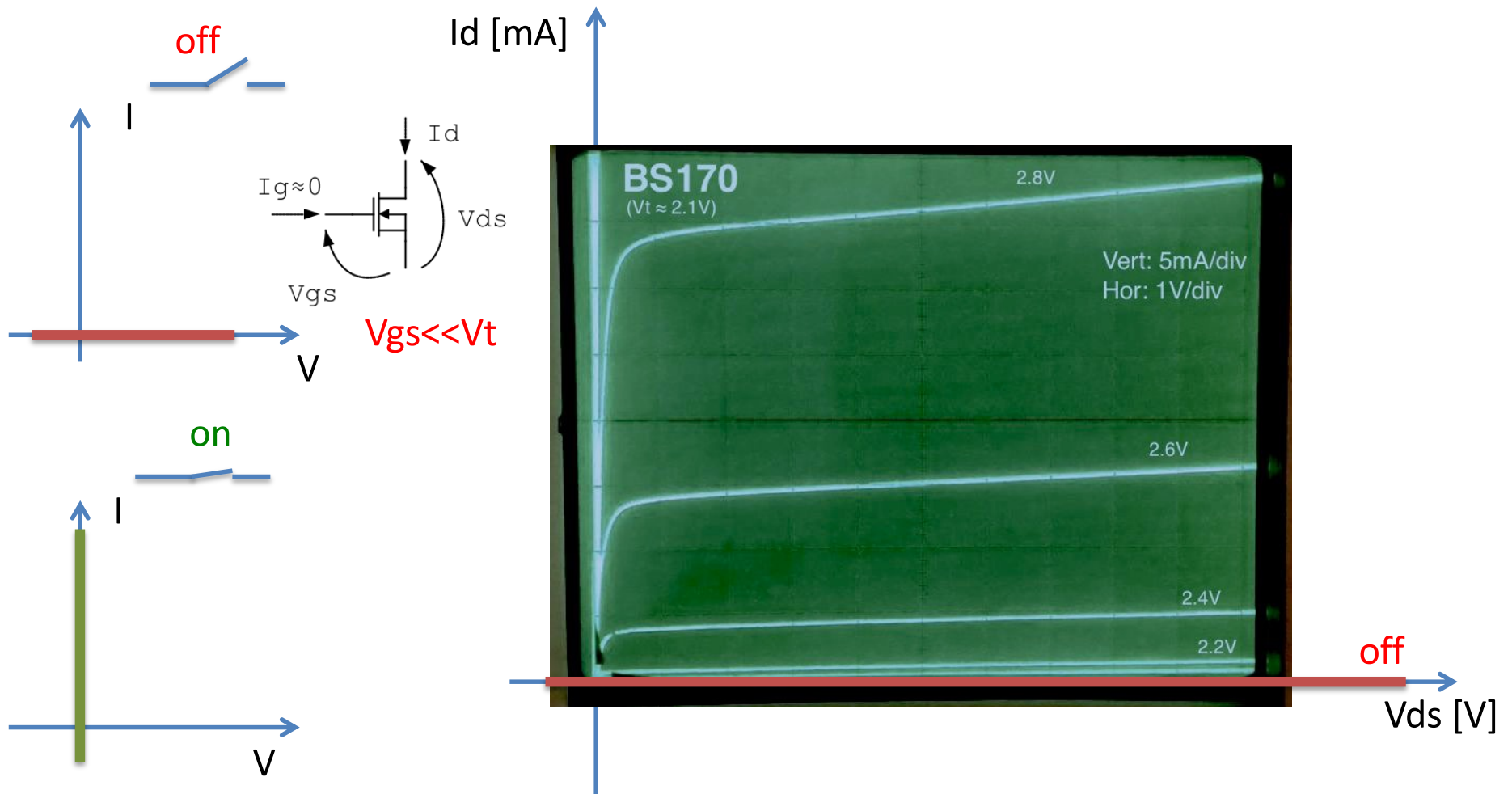
- Faible dynamique de sortie
- Modélisation délicate
- Très difficile!

Modèle EKV, gm/Id -> **filière Nanotech**

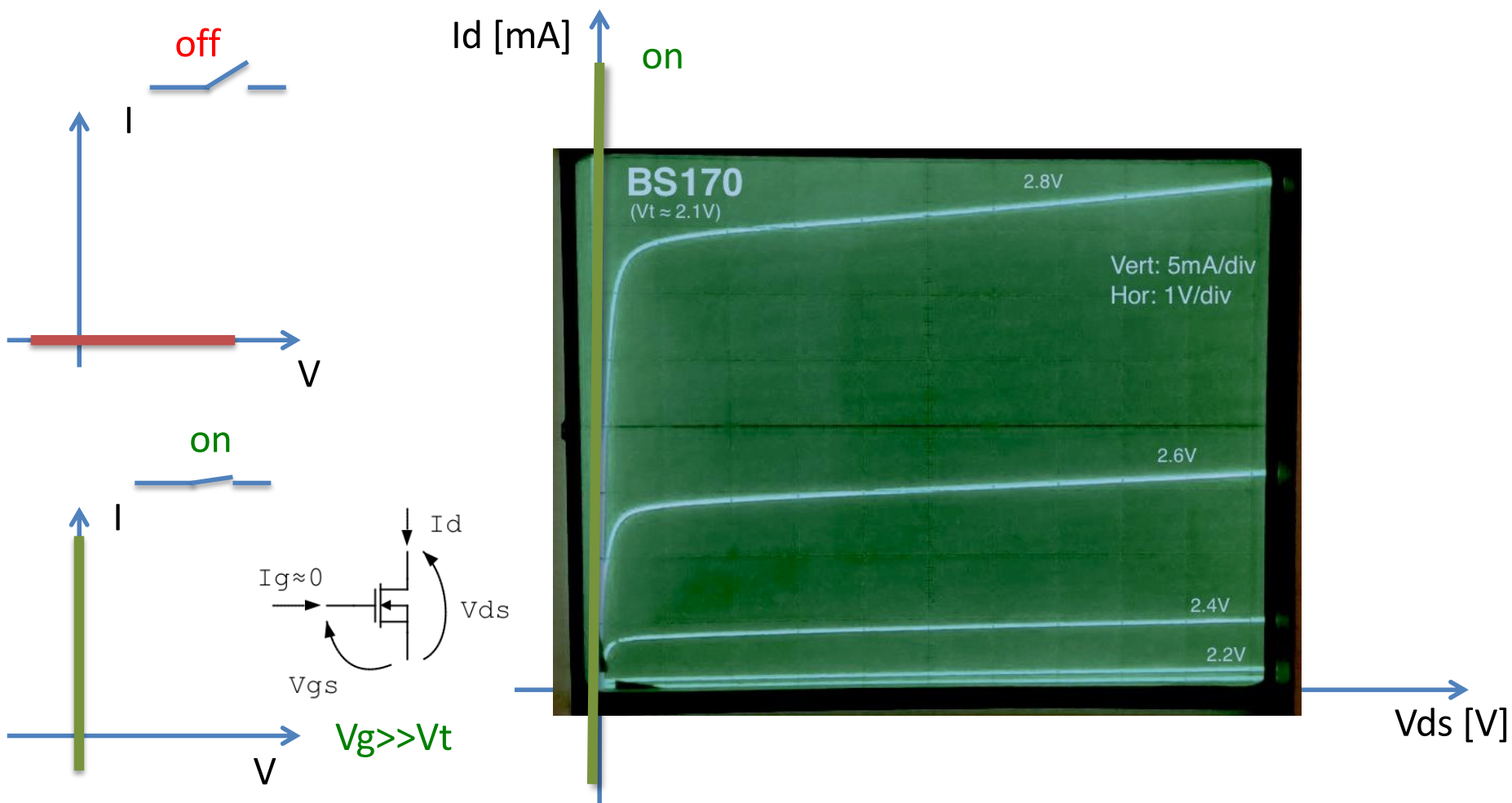
# Et donc, ces interrupteurs ?



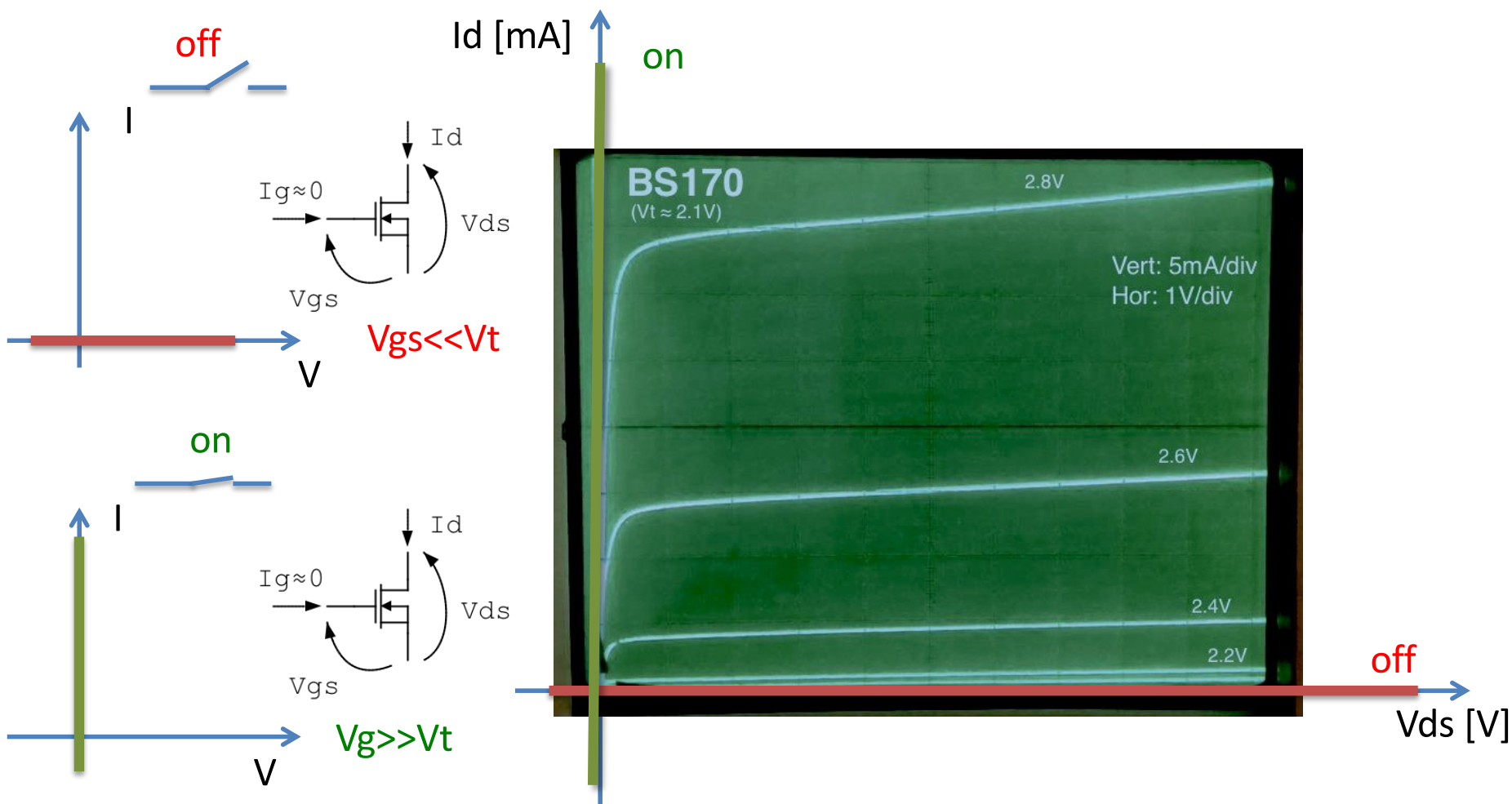
# Et donc, ces interrupteurs ?



# Et donc, ces interrupteurs ?

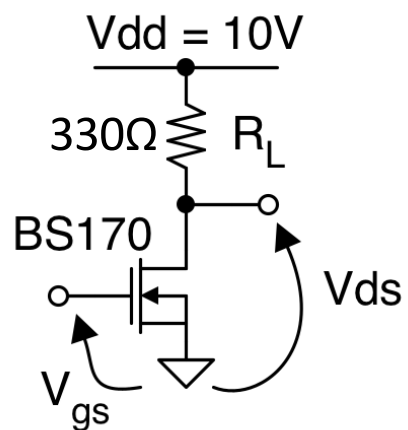


# Et donc, ces interrupteurs ?

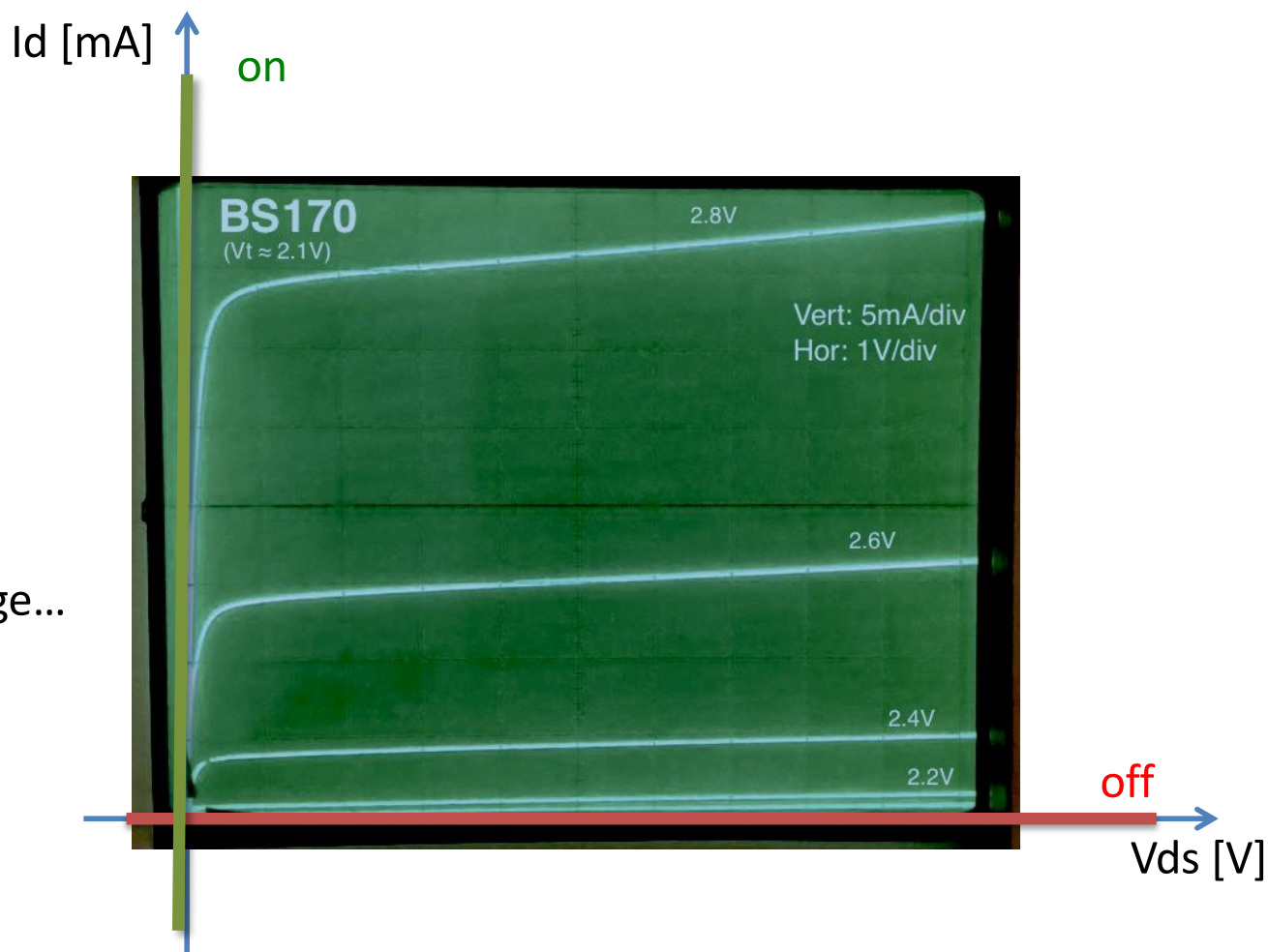


$V_{gs}$  : tension de contrôle

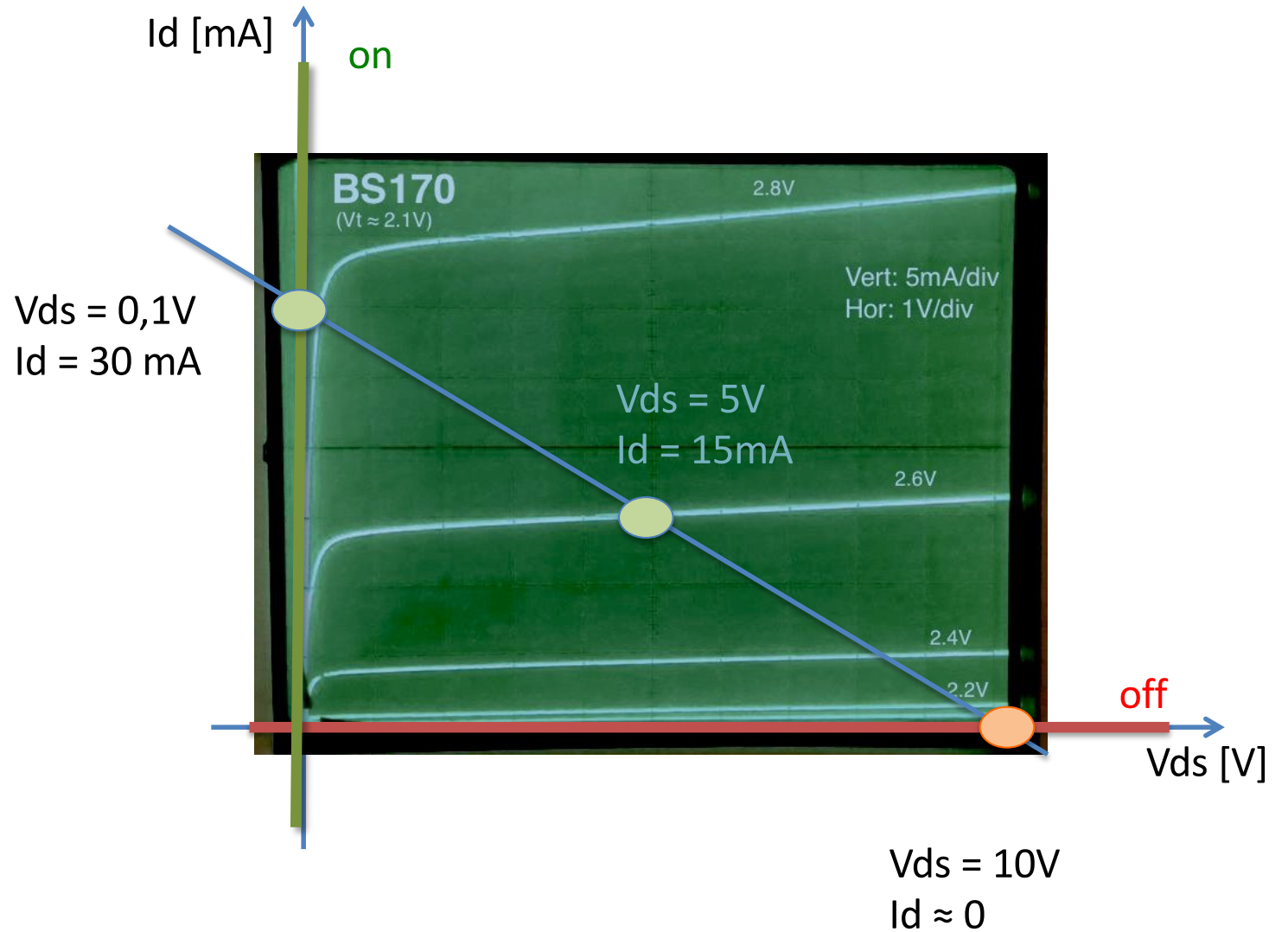
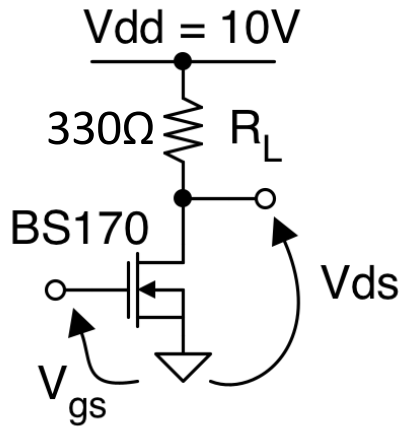
# Puissance dissipée...



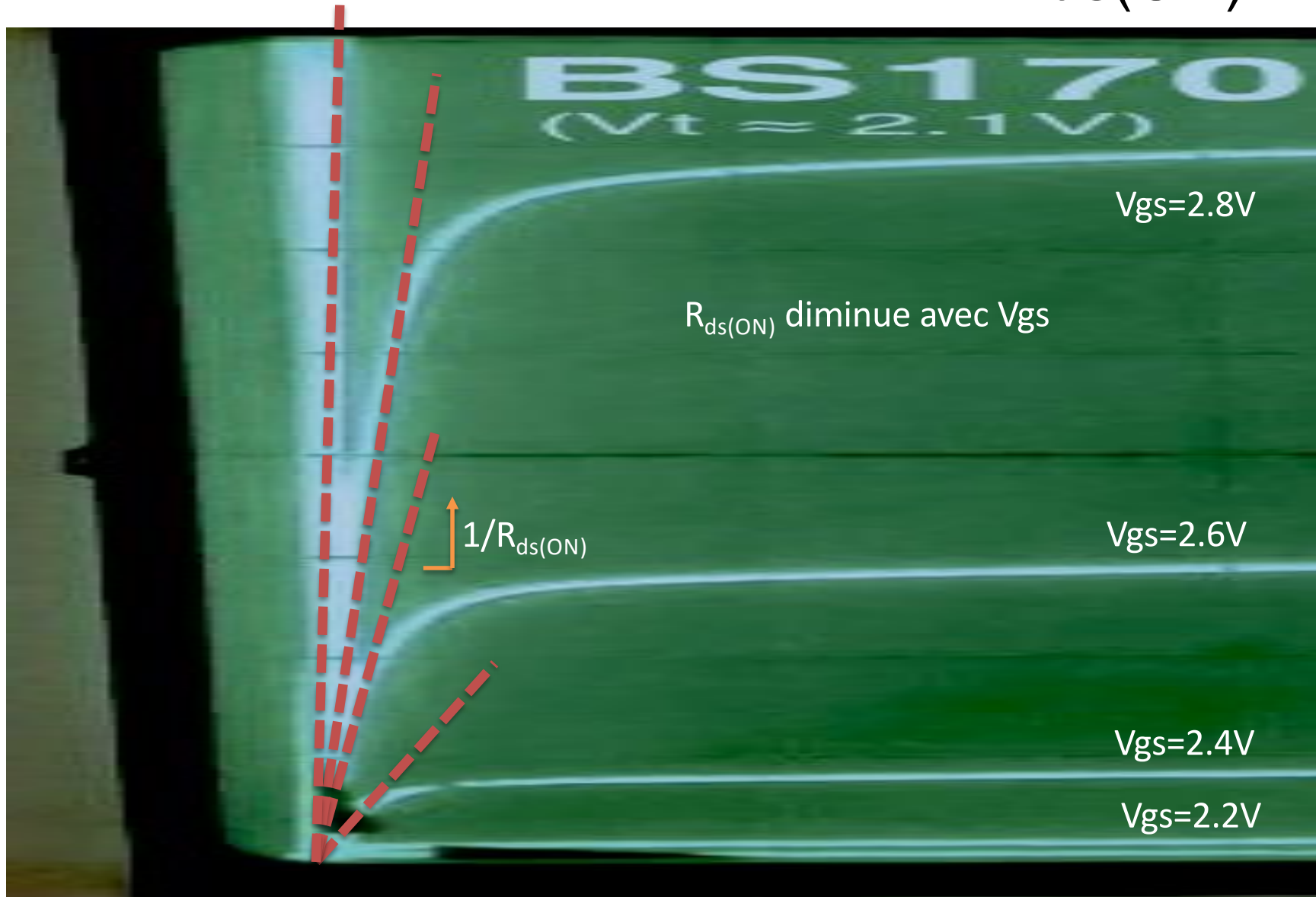
Calculons la droite de charge...



# Puissance dissipée...



# Modèle ON : $R_{ds(ON)}$



# Modèles ON/OFF



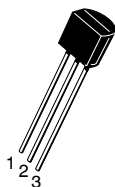
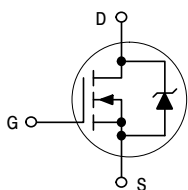
**ON Semiconductor®**

<http://onsemi.com>

**500 mA, 60 Volts**

**$R_{DS(on)} = 5.0 \Omega$**

N-Channel



TO-92 (TO-226)  
CASE 29  
STYLE 30

**ON CHARACTERISTICS** (Note 1)

Gate Threshold Voltage ( $V_{DS} = V_{GS}$ , $I_D = 1.0 \text{ mA}$ )	$V_{GS(Th)}$	0.8	2.0	3.0	Vdc
Static Drain-Source On Resistance ( $V_{GS} = 10 \text{ Vdc}$ , $I_D = 200 \text{ mA}$ )	$r_{DS(on)}$	-	1.8	5.0	$\Omega$
Drain Cutoff Current ( $V_{DS} = 25 \text{ Vdc}$ , $V_{GS} = 0 \text{ Vdc}$ )	$I_{D(off)}$	-	-	0.5	$\mu\text{A}$
Forward Transconductance ( $V_{DS} = 10 \text{ Vdc}$ , $I_D = 250 \text{ mA}$ )	$g_{fs}$	-	200	-	mmhos

$I_d$  [mA]

on

$V_{ds} = 0,1\text{V}$   
 $I_d = 30 \text{ mA}$

MAIS il  
faut que  
 $V_{gs}$  soit  
suffisant



[Datasheet BS170G ON semi]

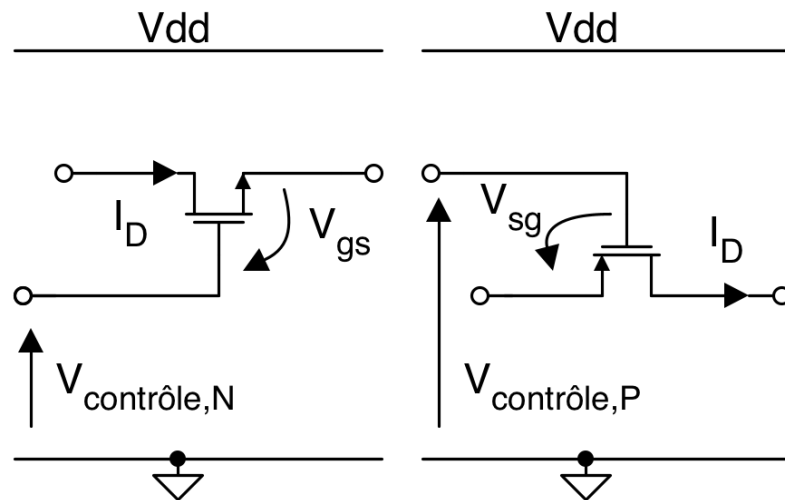
$V_{ds} = 10\text{V}$   
 $I_d < 0,5\mu\text{A}$

$R_{ds(OFF)} > 20 \text{ M}\Omega$

off  
 $V_{ds}$  [V]

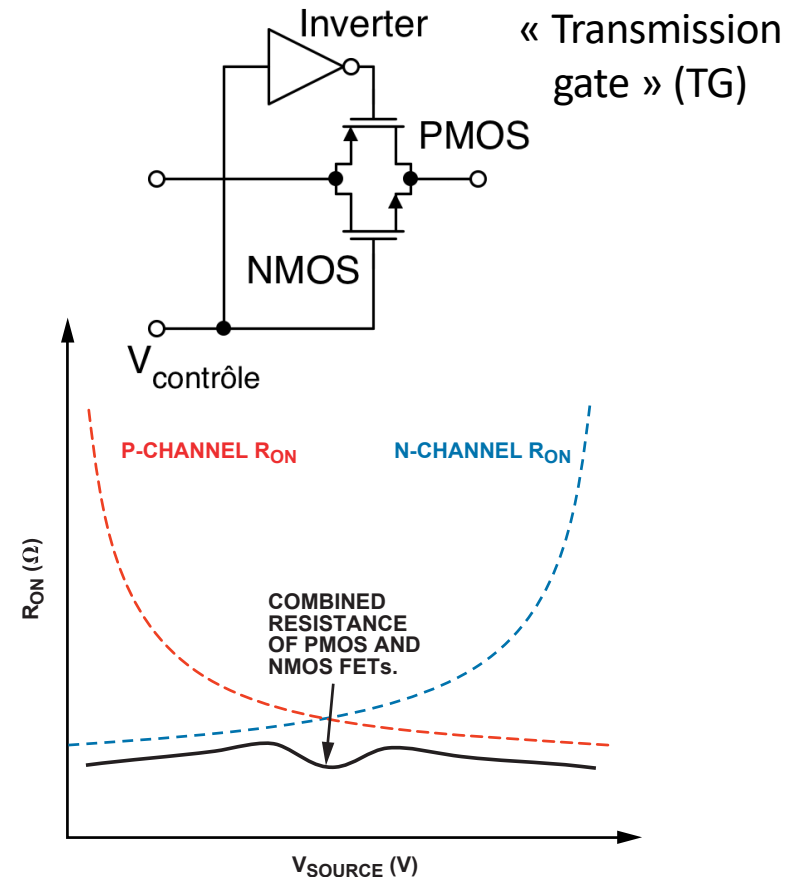
# Interrupteurs analogiques

- **PB seul transistor :**



Problème de « attaque de grille »

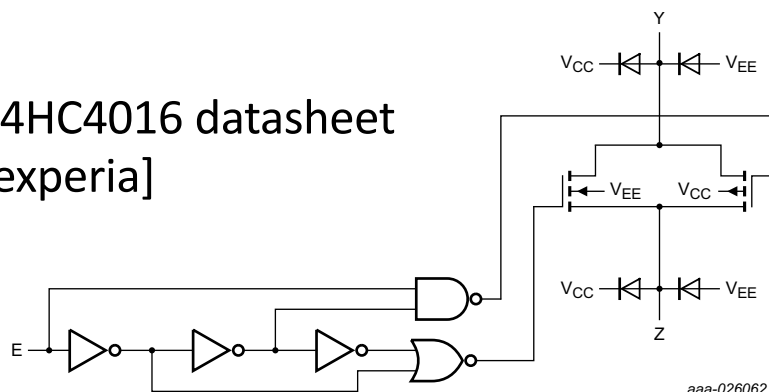
- **Deux transistors :**



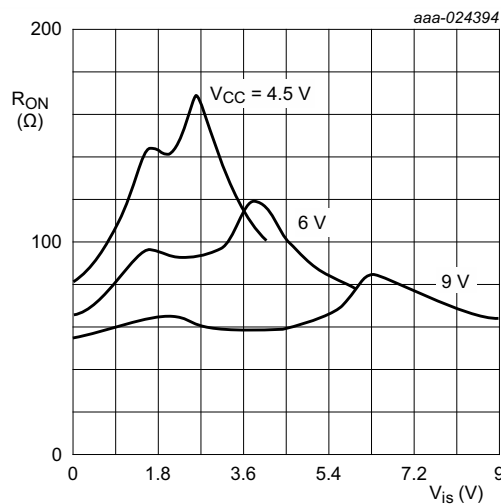
# Exemples

- 74HC4016 (obsolete)
- TS5A3166

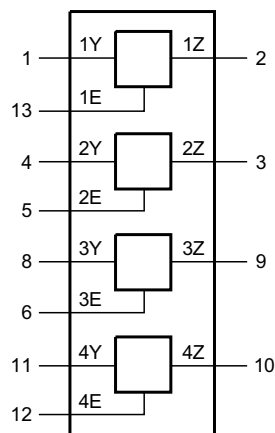
[74HC4016 datasheet  
Nexperia]



aaa-026062



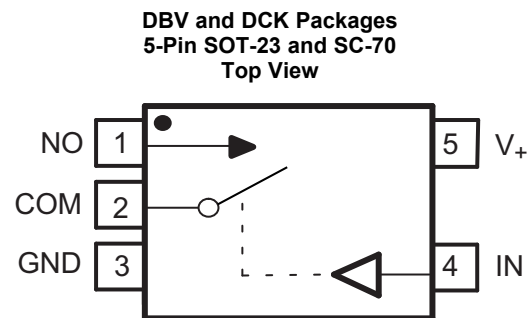
aaa-024394



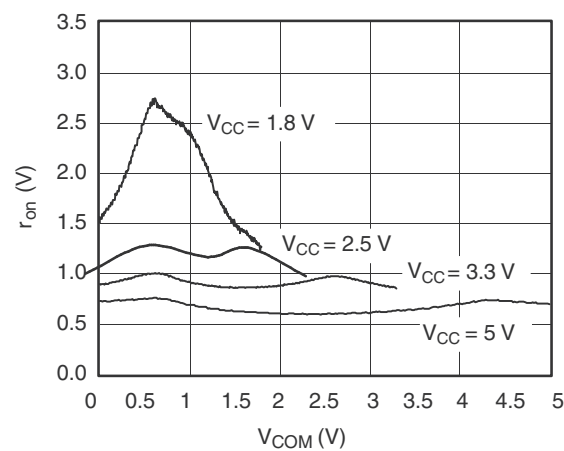
001aad269

$V_{is} = 0 \text{ V to } V_{CC}$

(CD4066 un peu mieux...)



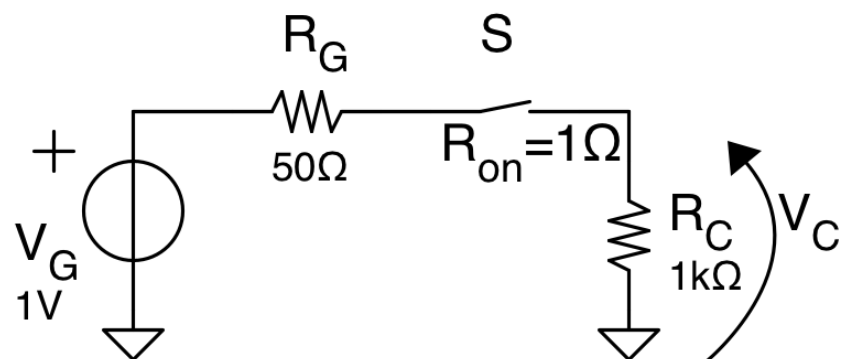
DBV and DCK Packages  
5-Pin SOT-23 and SC-70  
Top View



[Datasheet TI TS5A3166]

# Problèmes pratiques

## • Atténuation

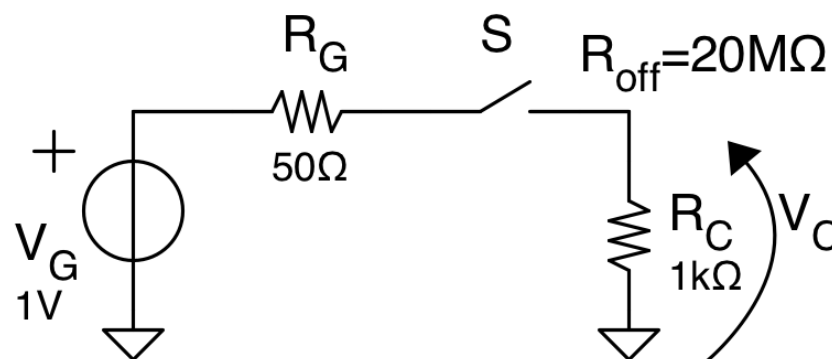


$R_{on} = 0 \Omega \rightarrow V_C' = ?$

$R_{on} = 1 \Omega \rightarrow V_C'' = ?$

Et si  $R_C = 100 \Omega$  ?

## • Isolation



$R_{off} \text{ infini} \rightarrow V_C = 0$

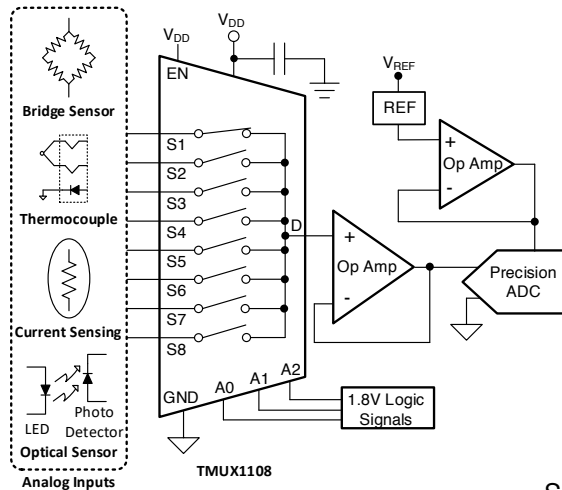
$R_{off} = 20 \text{ M}\Omega \rightarrow V_C''' = ?$

(atténuation en dB ?)

# Oh no ! D'autres exemples !

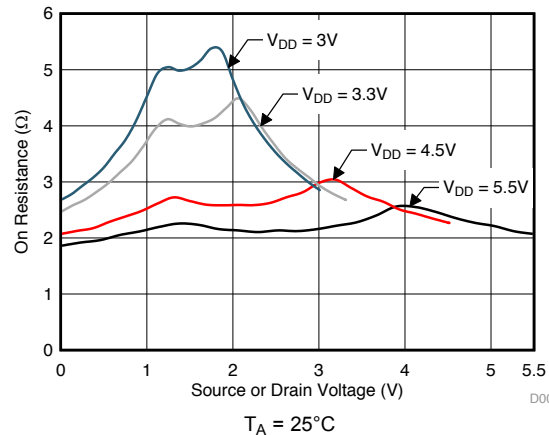
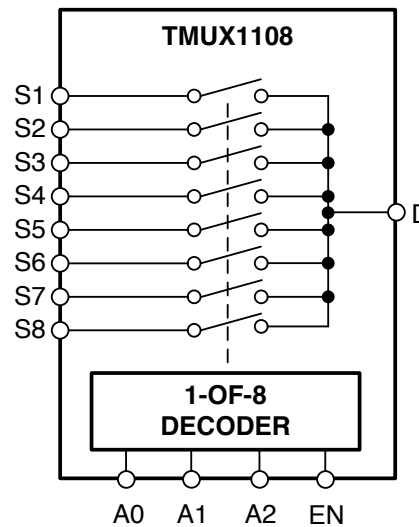
- TMUX1108**

Application Example

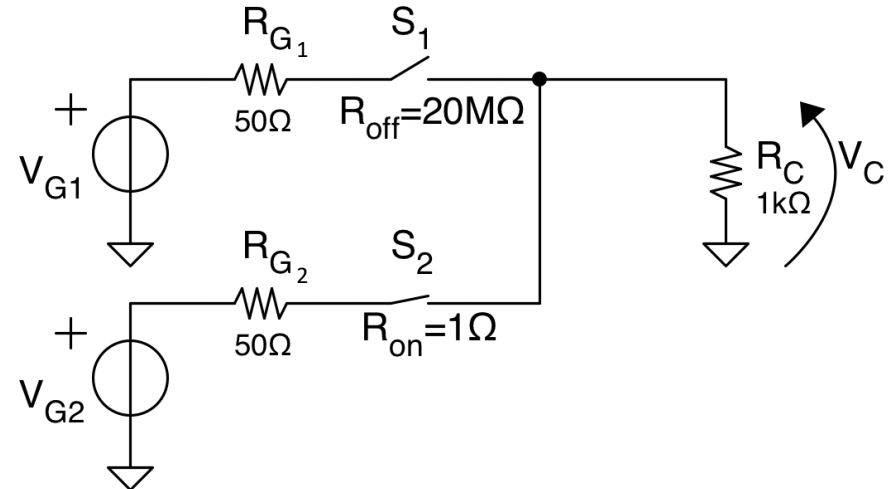


[TMUX1108 datasheet]

Block Diagram



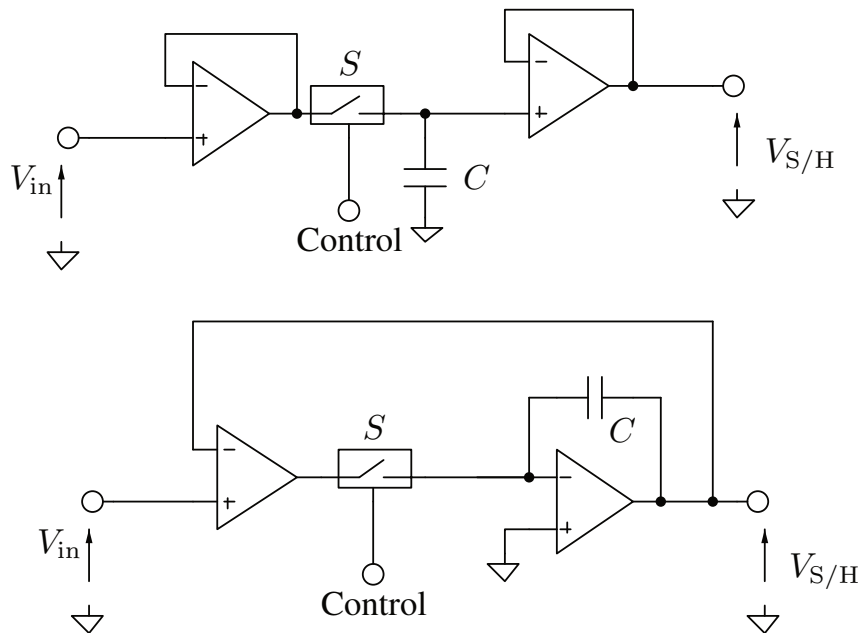
- Diaphonie (MUX)**



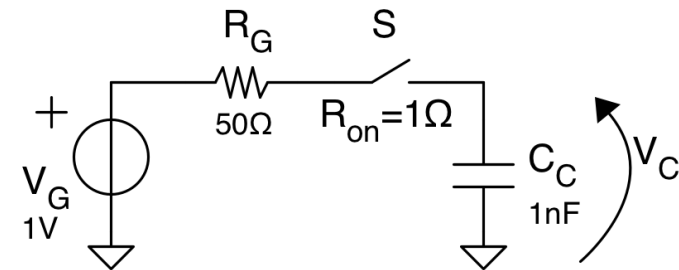
# D'autres problèmes...

- Echantillonneurs bloqueurs**

(sample & hold)



- Temps de commutation**



# Conclusion du cours

- **Parcours d'une chaîne de mesure**
  - Capteur
  - Conditionneur
  - Amplificateur
  - Filtrage
  - Routage du signal (mux)

# Conclusion du cours

- **Ce qui reste à faire**

- Bilan des erreurs
- Filtres « compliqués »
- Etude du bruit
- Métrologie



Cours 2A Biomed, IPhy

- Que fait-on des données produites ?
  - Médicales : santé numérique
  - Physique : modélisation, interprétation
  - Environnement : impact CO<sub>2</sub>, frugalité numérique

# Conseils

- **Ne baissez pas les bras**
- Travaillez sérieusement
- Revoyez **tous** les exercices
- Gardez un esprit critique
- Développez une idée d'ensemble
- Entraînez vous à analyser des circuits

# Questions ?