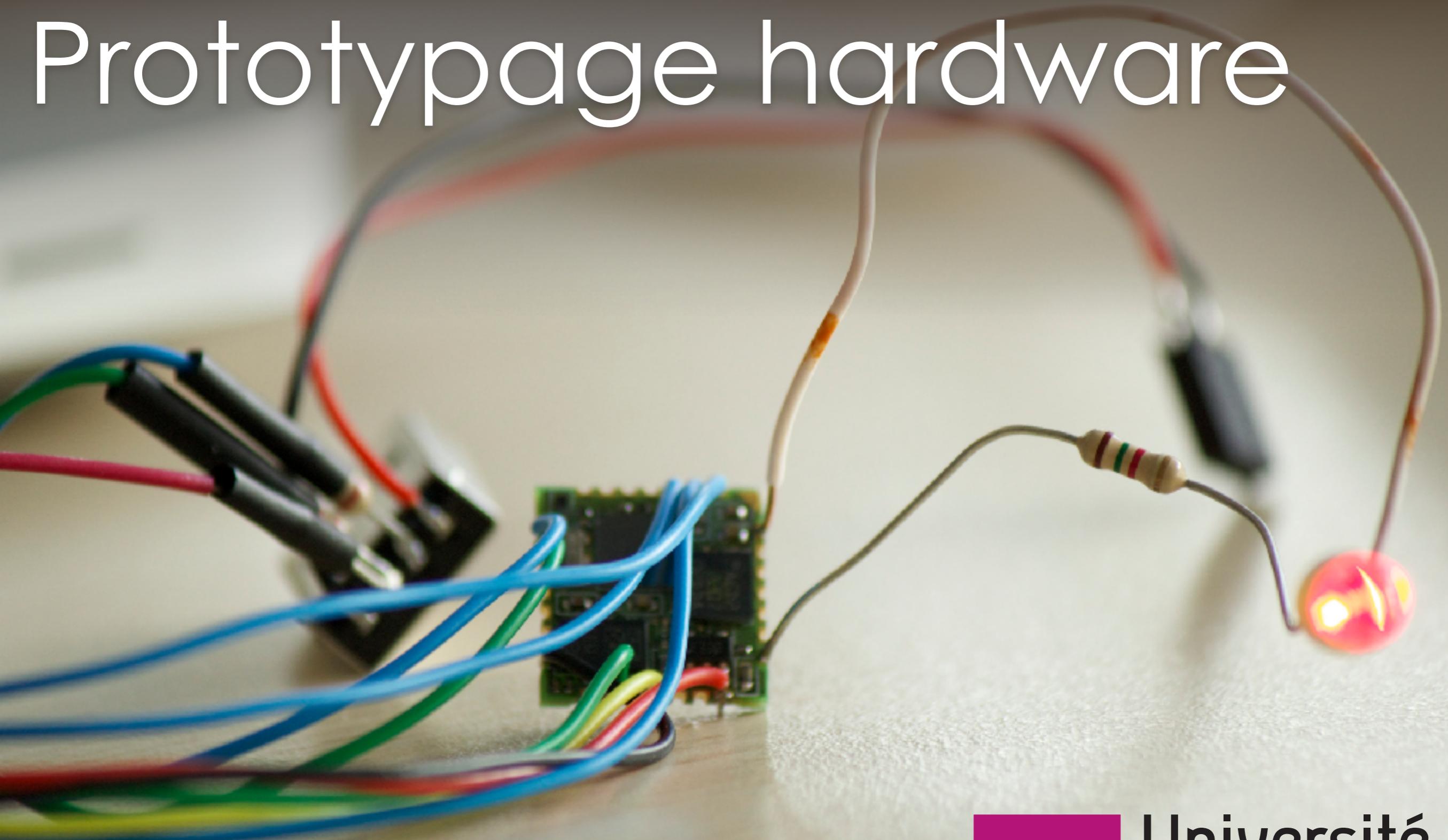


Prototypage hardware

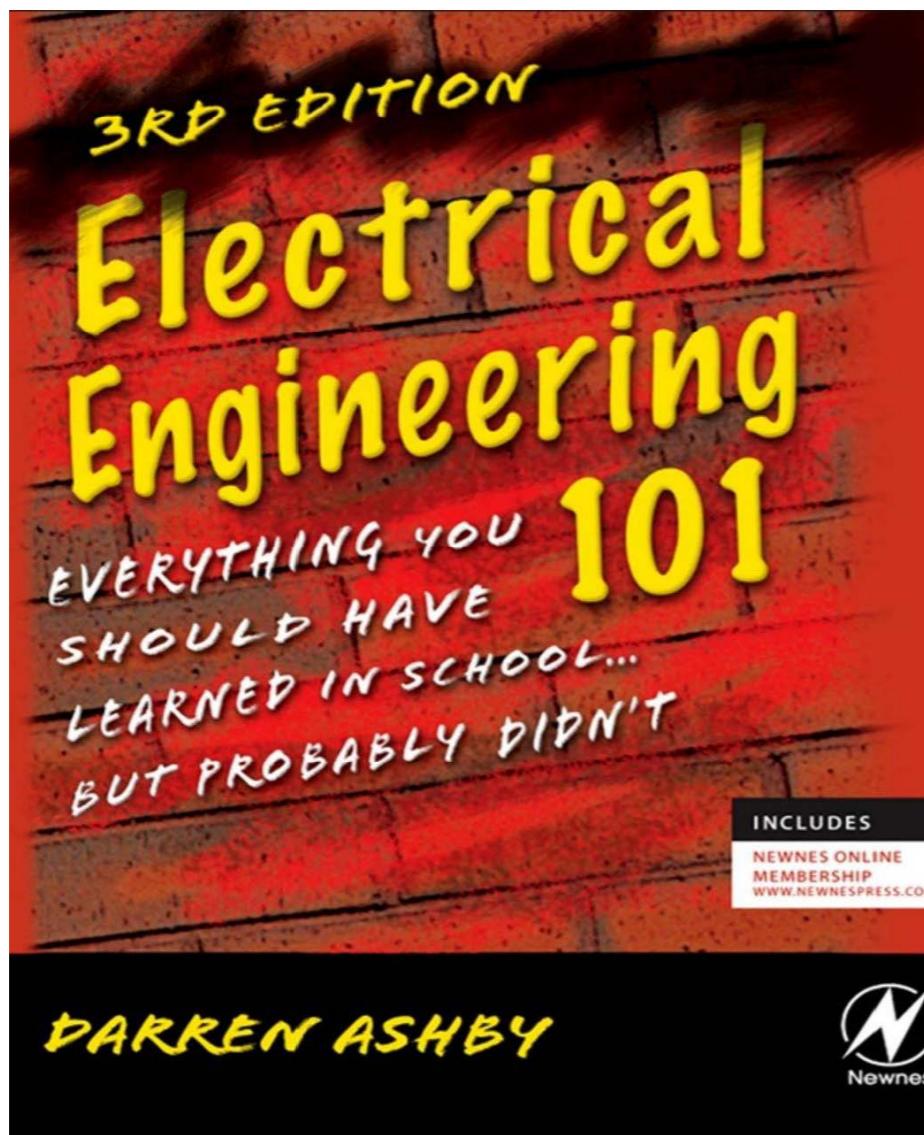


Thomas Pietrzak
Master 2 IVI



Université
de Lille
1 SCIENCES
ET TECHNOLOGIES

Lecture



Jean-Pierre Petit

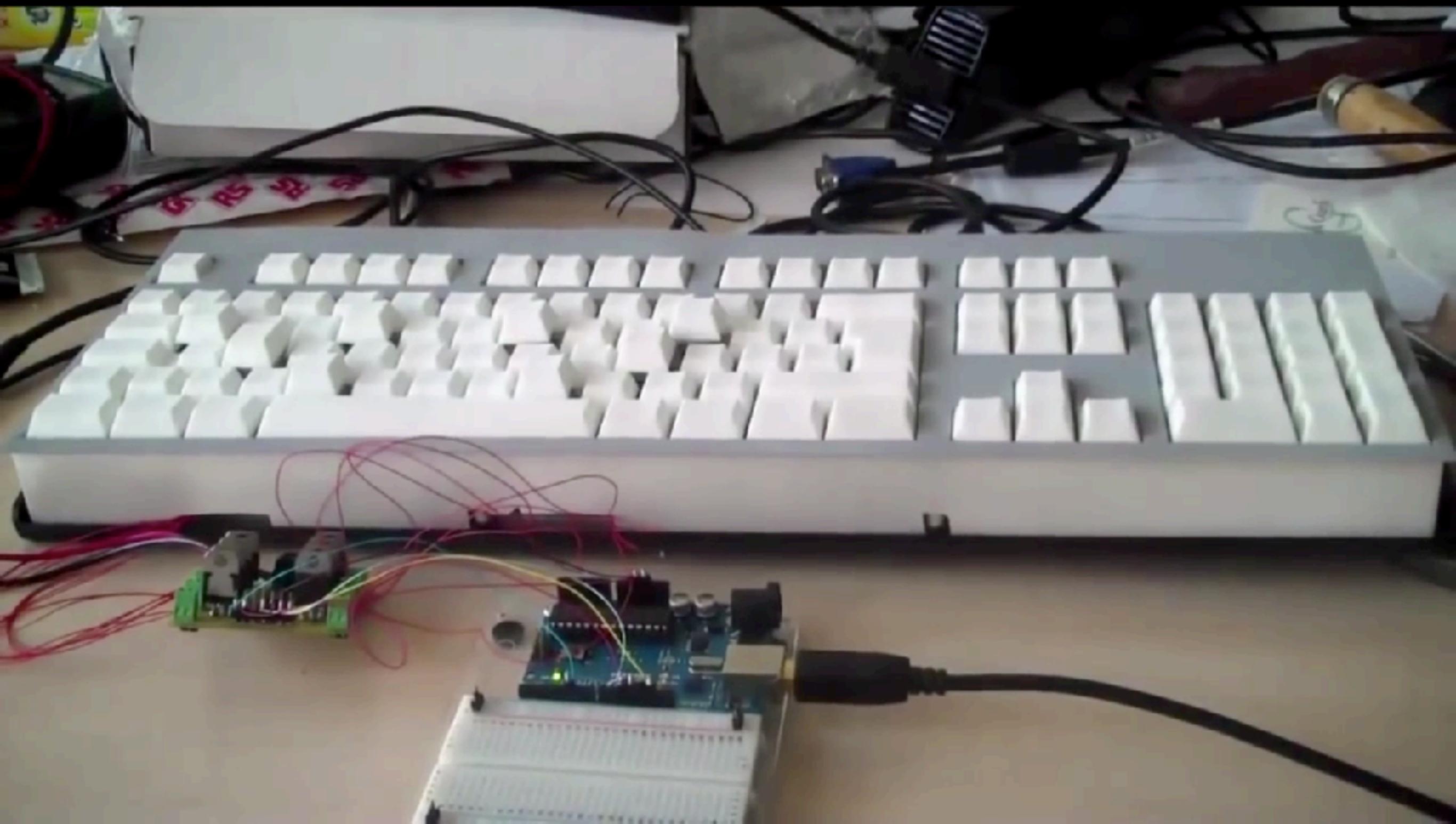
L'AMBRE ET LE VERRE

Histoire de l'électricité

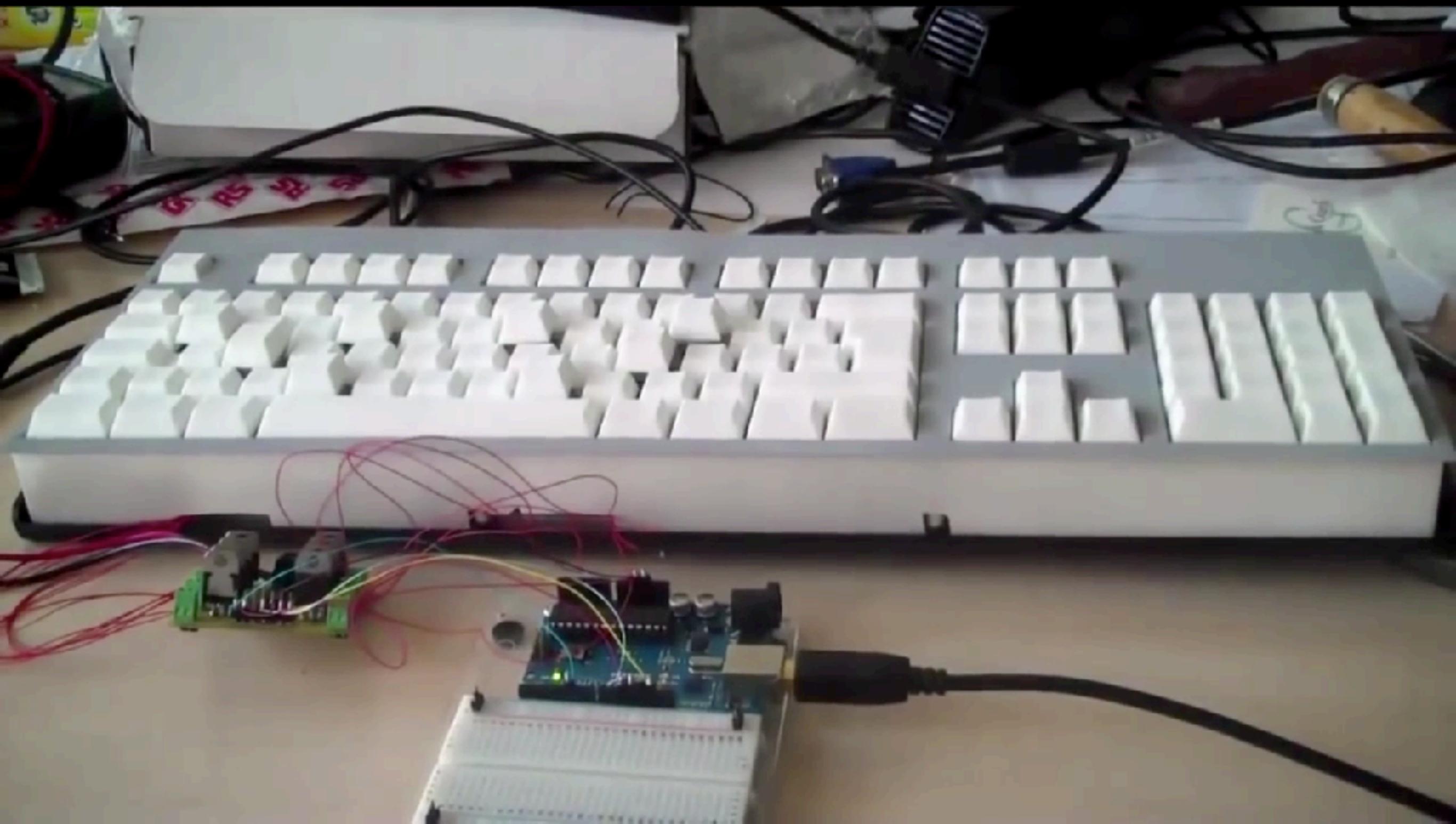
Cette électricité est vraiment dénuée du moindre intérêt. Un amusement de salon, tout au plus. Ça n'a aucun avenir, si vous voulez mon avis.

édité par l'association Science et Culture pour tous

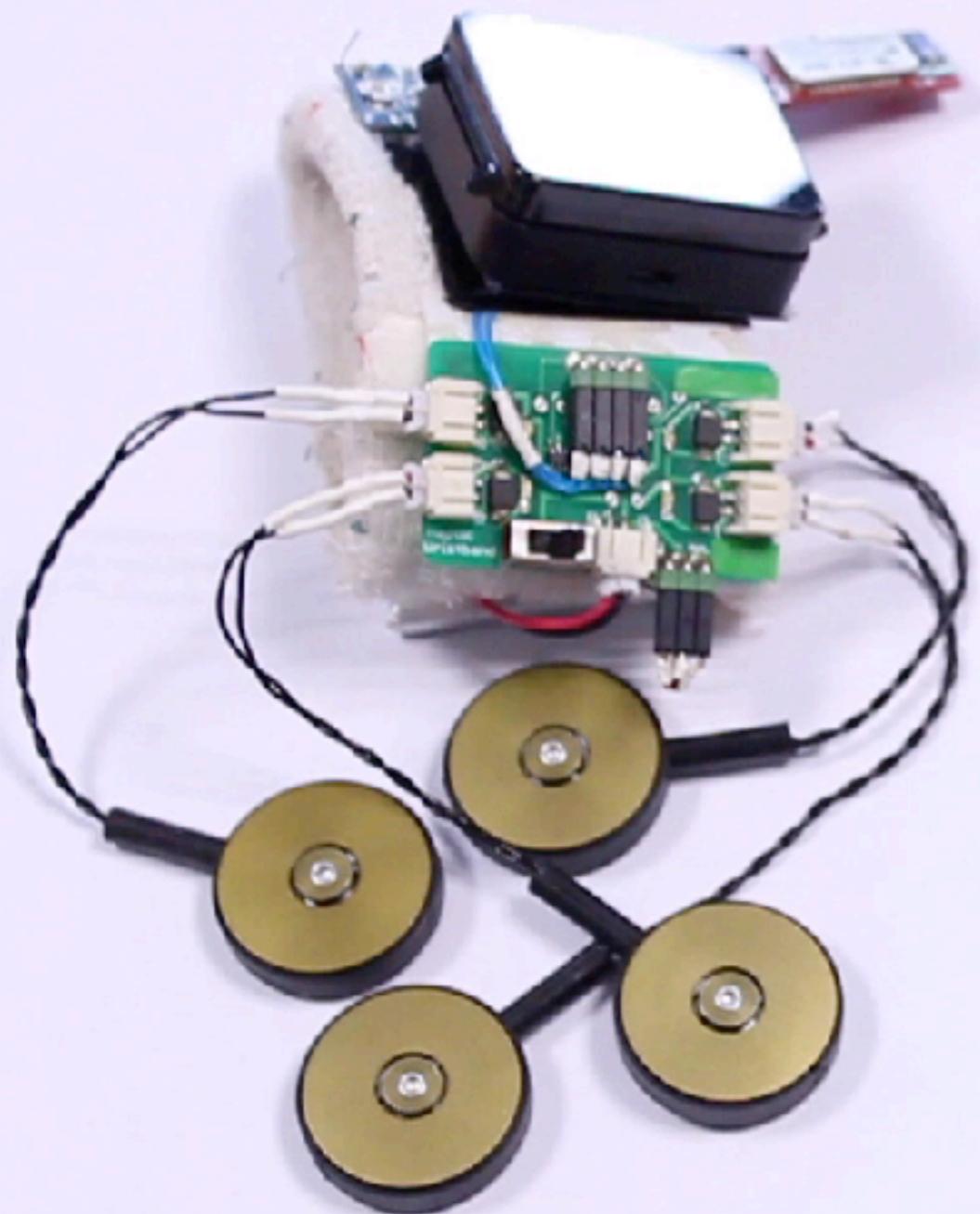




Métamorphe
(Lille 1, UofT)

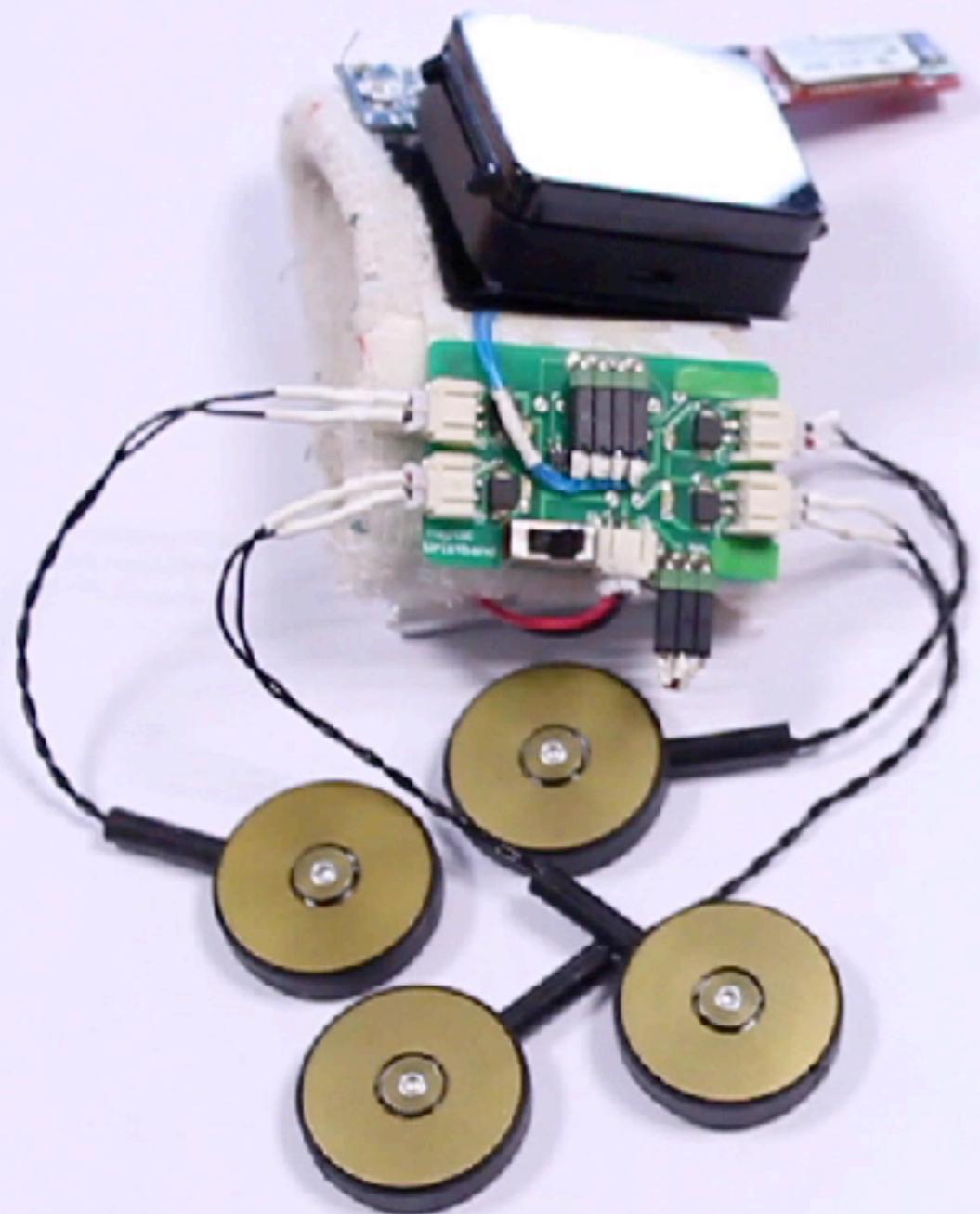


Métamorphe
(Lille 1, UofT)



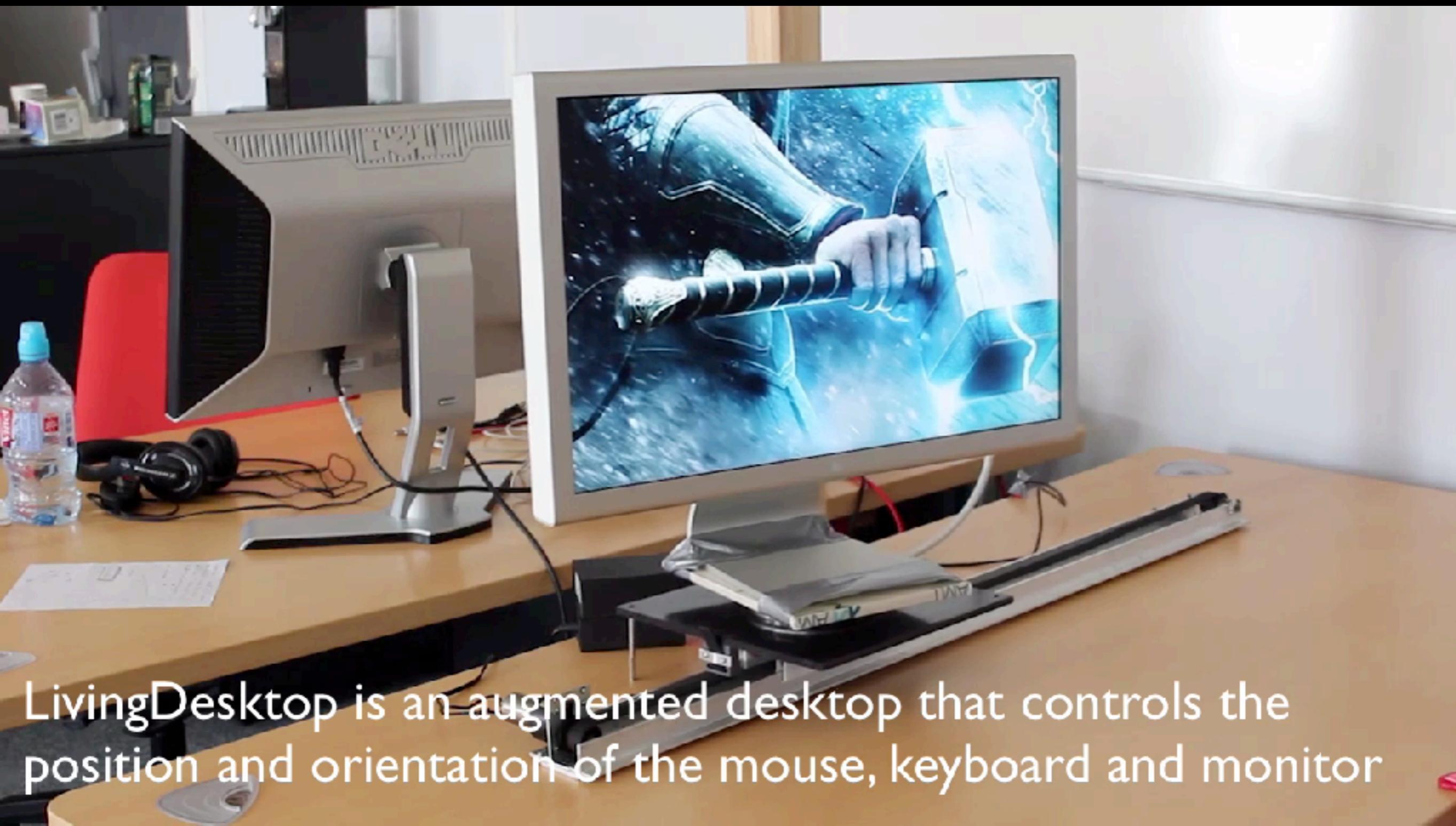
Direct Manipulation

(Lille 1, UofT, Inria)



Direct Manipulation

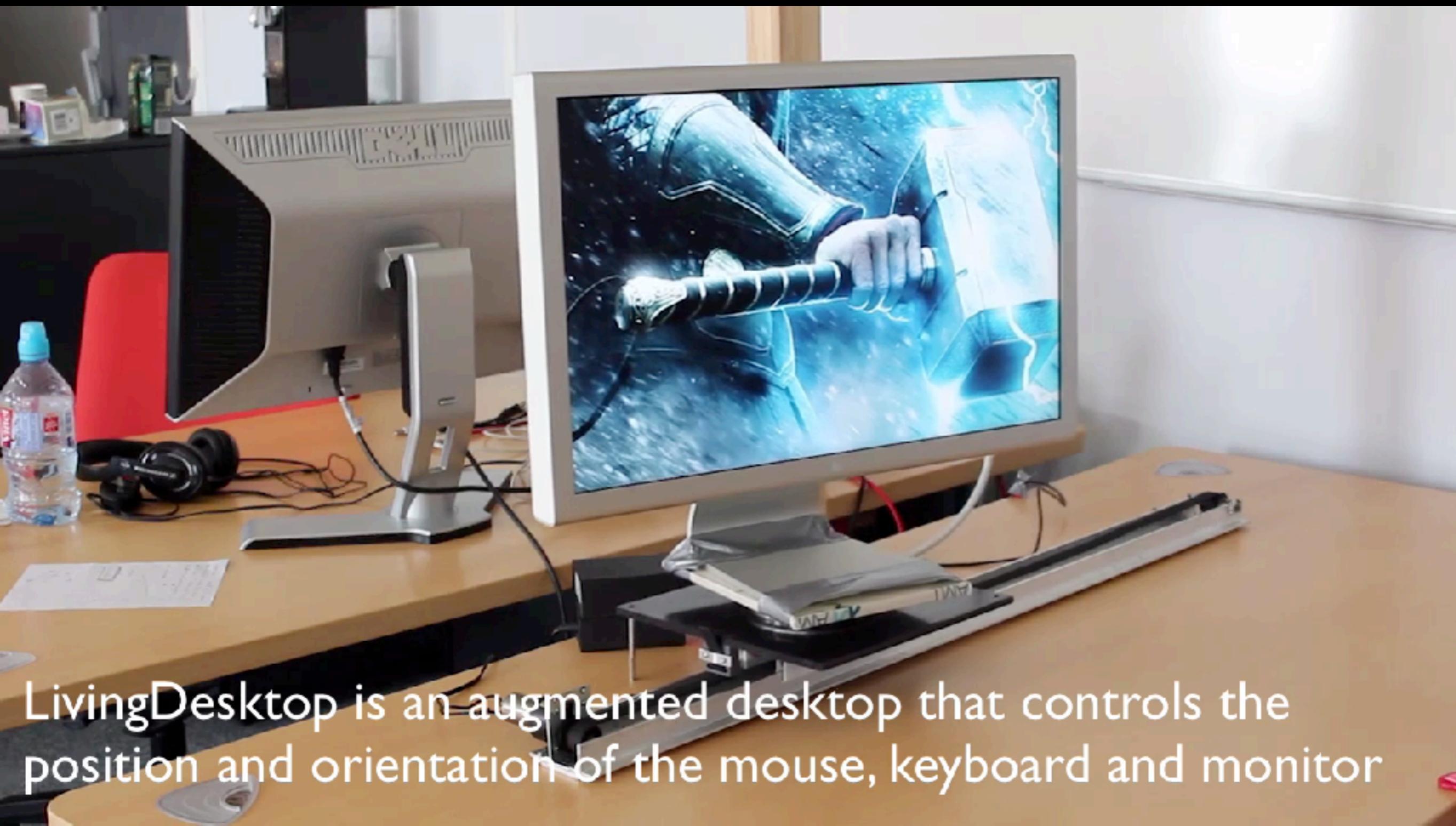
(Lille 1, UofT, Inria)



LivingDesktop is an augmented desktop that controls the position and orientation of the mouse, keyboard and monitor

Living Desktop

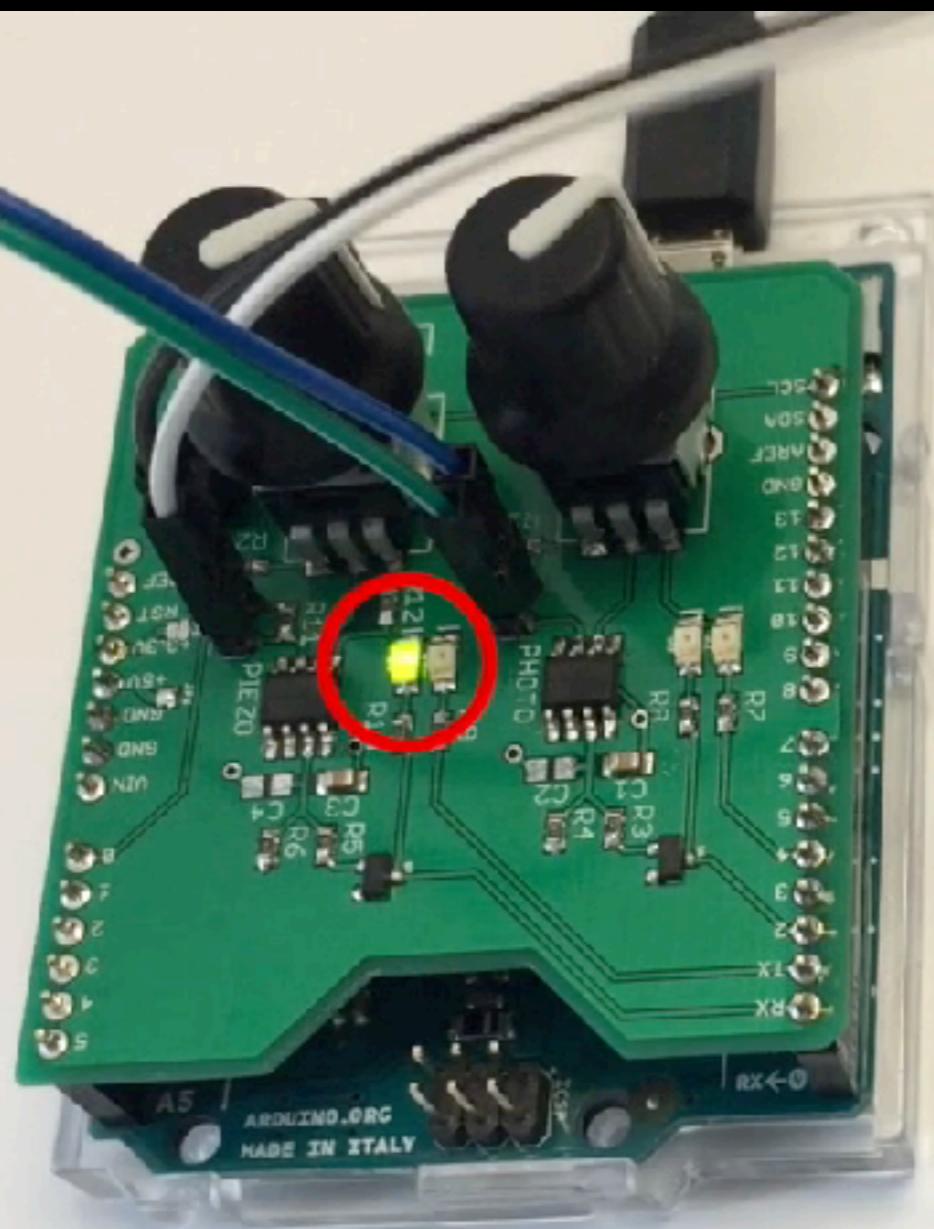
(Télécom ParisTech, Inria, Lille 1)



LivingDesktop is an augmented desktop that controls the position and orientation of the mouse, keyboard and monitor

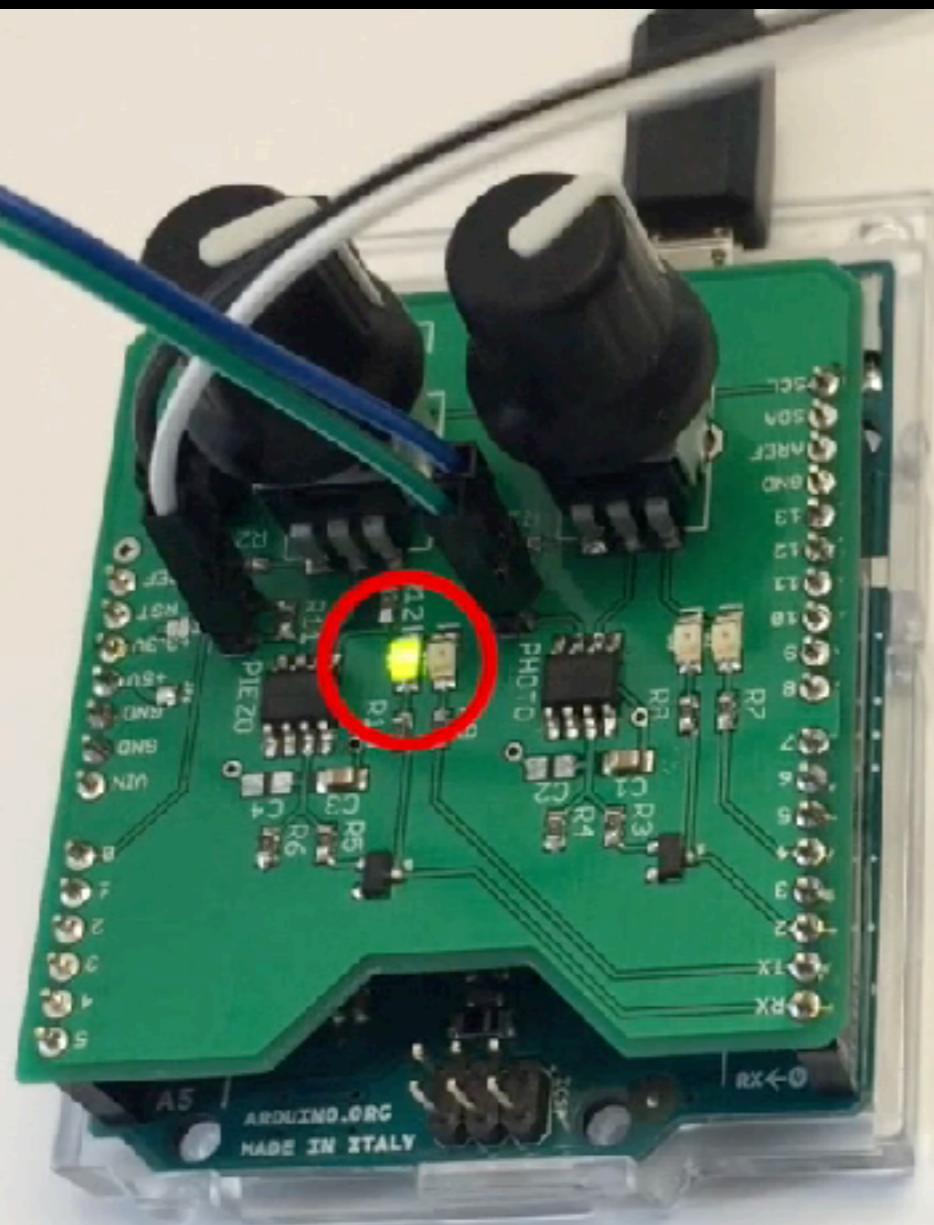
Living Desktop

(Télécom ParisTech, Inria, Lille 1)



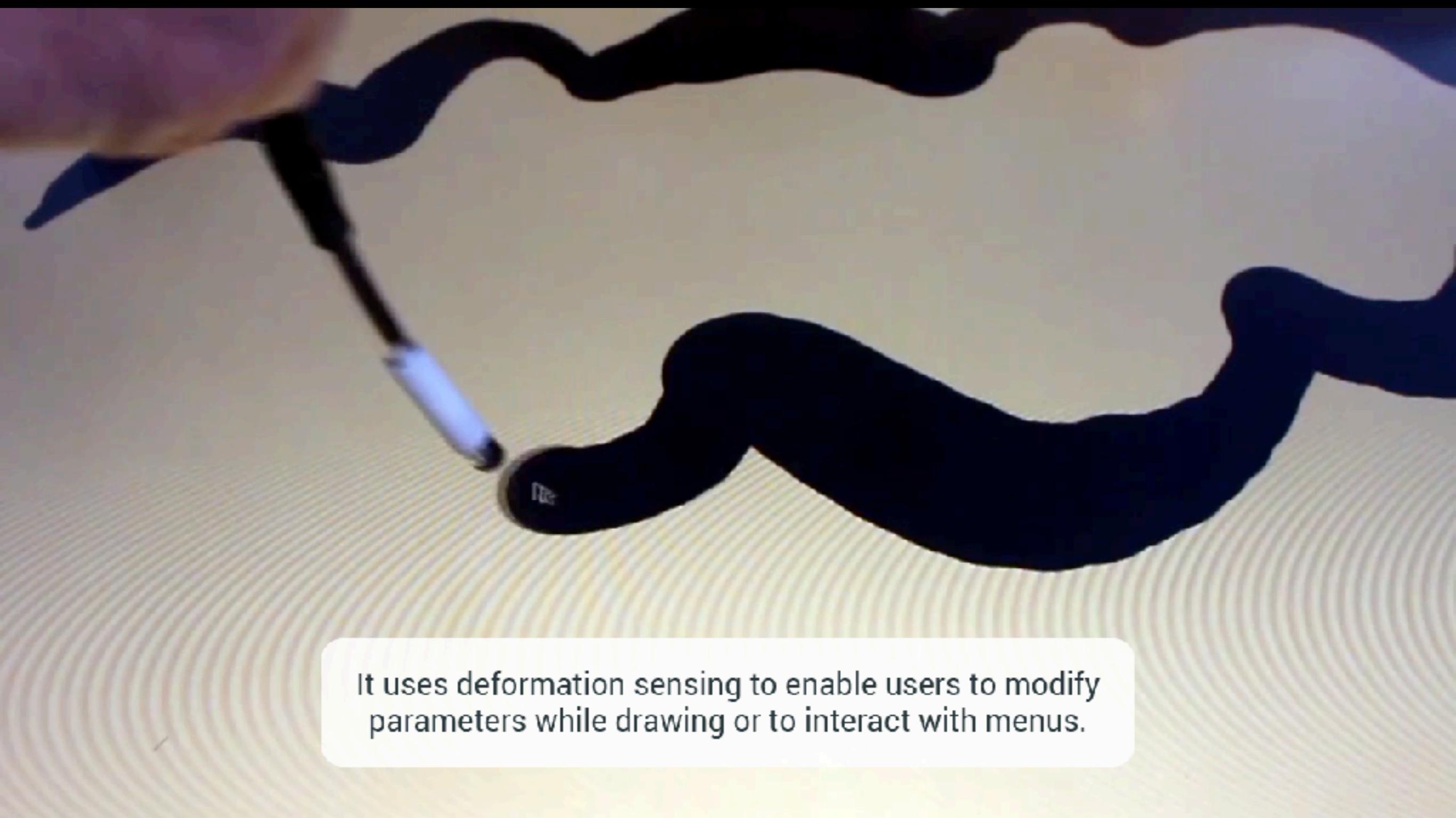
The hardware part of our measurement method

Lagmeter
(Lille 1, Inria)



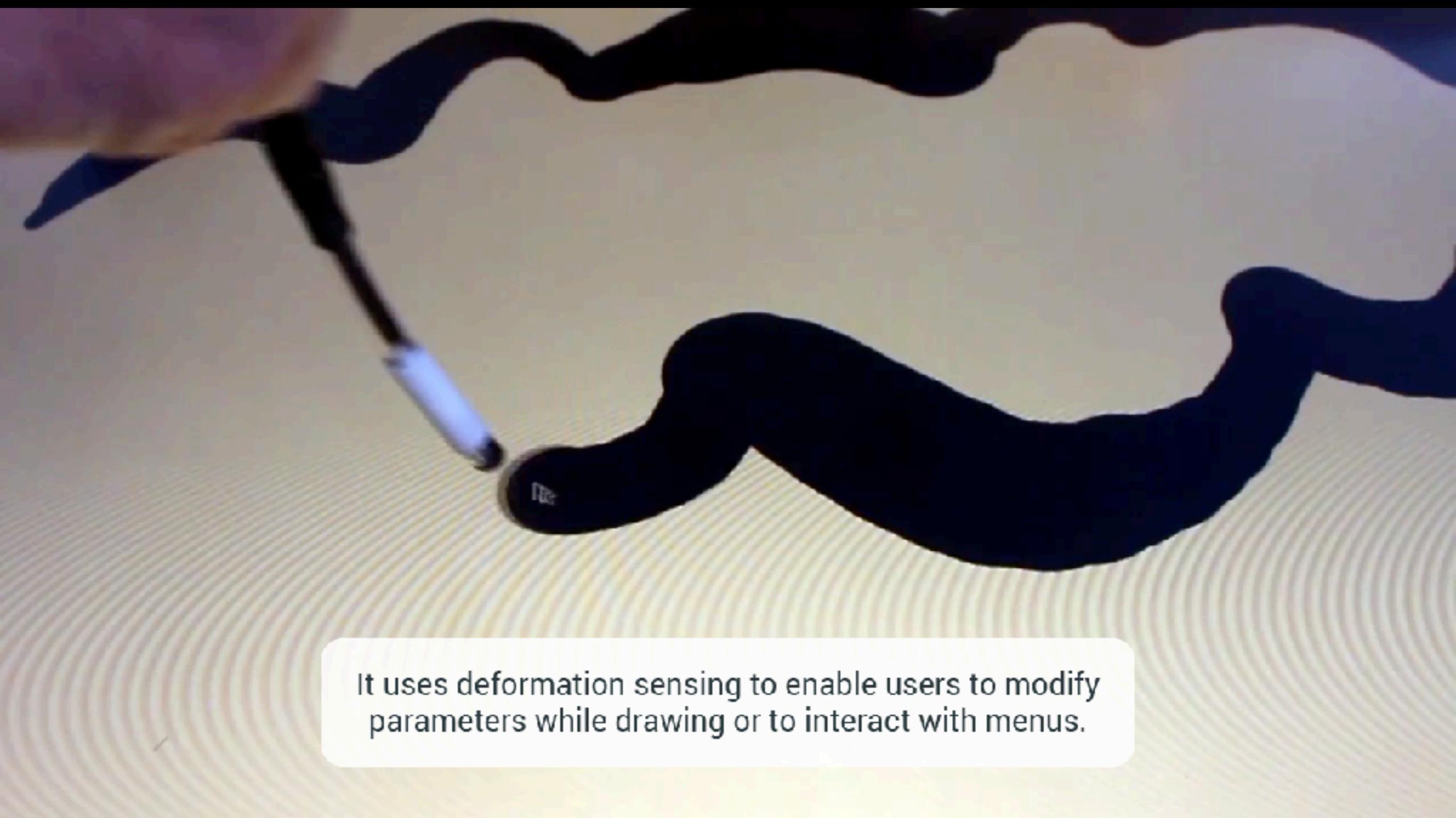
The hardware part of our measurement method

Lagmeter
(Lille 1, Inria)



Direct Manipulation

(Lille 1, UofT, Inria)



Direct Manipulation

(Lille 1, UofT, Inria)

Rappels sur l'électricité

Les charges

- ❖ Électron : charge négative -
- ❖ Protons : charge positive +
- ❖ Même type se repoussent
- ❖ Type différent s'attirent
- ❖ Se déplacent facilement dans les conducteurs
- ❖ Se déplacent difficilement dans les isolants



Tension

- ♦ Unité : Volt (V)
- ♦ Accumulation d'électrons

Courant

- ◆ Unité : Ampère (A)
- ◆ Flux d'électrons

Puissance

- ◆ Unité : Watt (W)
- ◆ $P = UI$
- ◆ Plus on a de charges, plus on a de puissance
- ◆ Plus les chargent bougent plus on a de puissance

AC/DC

- ♦ AC : Alternating Current ⇒ courant alternatif
 - ♦ Le courant change de direction périodiquement
 - ♦ Facile à créer, mécaniquement par exemple
 - ♦ Prise de courant, etc.
- ♦ DC : Direct Current ⇒ courant continu
 - ♦ Le courant circule dans une seule direction
 - ♦ Le courant doit revenir à la source
 - ♦ Pile, batterie, etc.

R L C

Résistance



Résistance

- ◆ Unité : Ohm (Ω)
- ◆ Code couleurs A horizontal row of ten colored squares, each containing a black numerical digit from 0 to 9. The colors follow a standard sequence: black, brown, red, orange, yellow, green, blue, purple, grey, and white.
- ◆ Résistance interne : impédance
- ◆ Loi d'OHM : $U = RI \Rightarrow I = U/R$
 - ◆ Une grande résistance diminue le flux
 - ◆ Une petite résistance ne s'oppose pas au flux.

Circuit série

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3$$

$$I_t = I_1 = I_2 = I_3$$

$$U_1 = R_1 I_1$$

$$U_2 = R_2 I_2$$

$$U_3 = R_3 I_3$$

$$\Rightarrow U_t = U_1 + U_2 + U_3$$



Circuit parallèle

$$1/R_t = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3$$

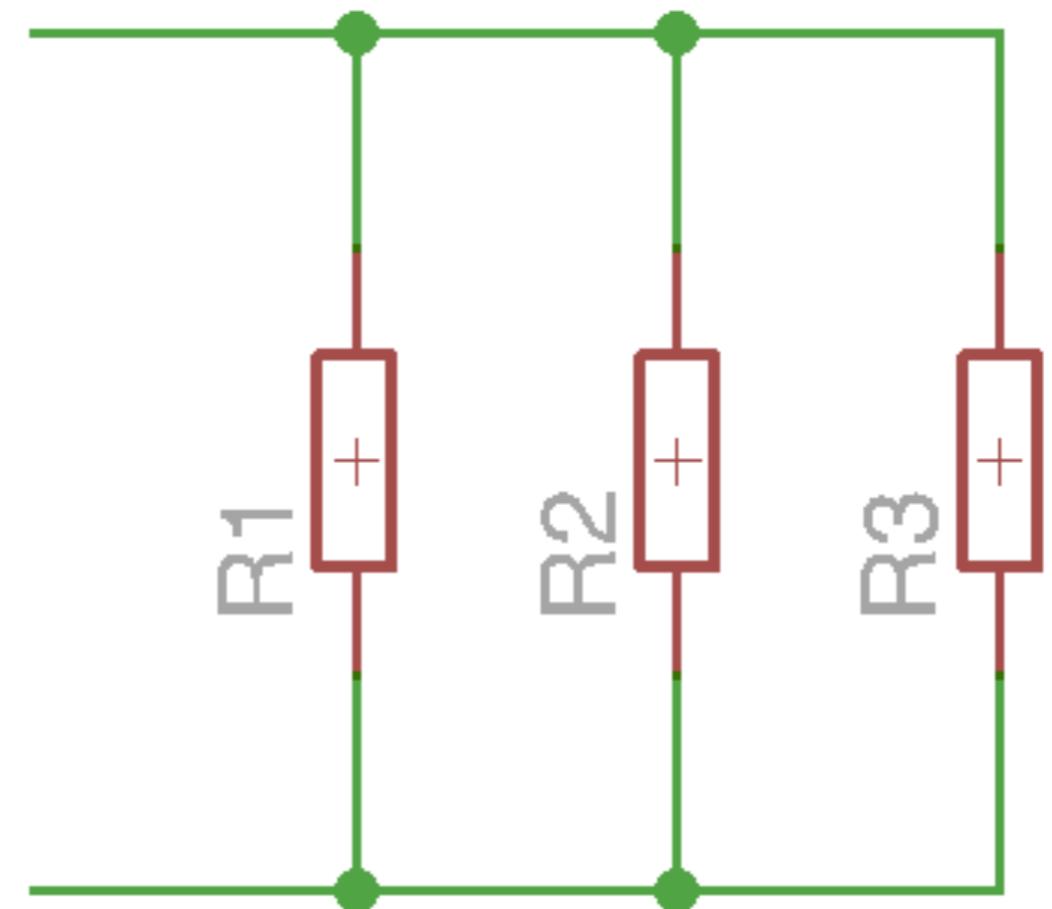
$$U_t = U_1 = U_2 = U_3$$

$$I_1 = U_1/R_1$$

$$I_2 = U_2/R_2$$

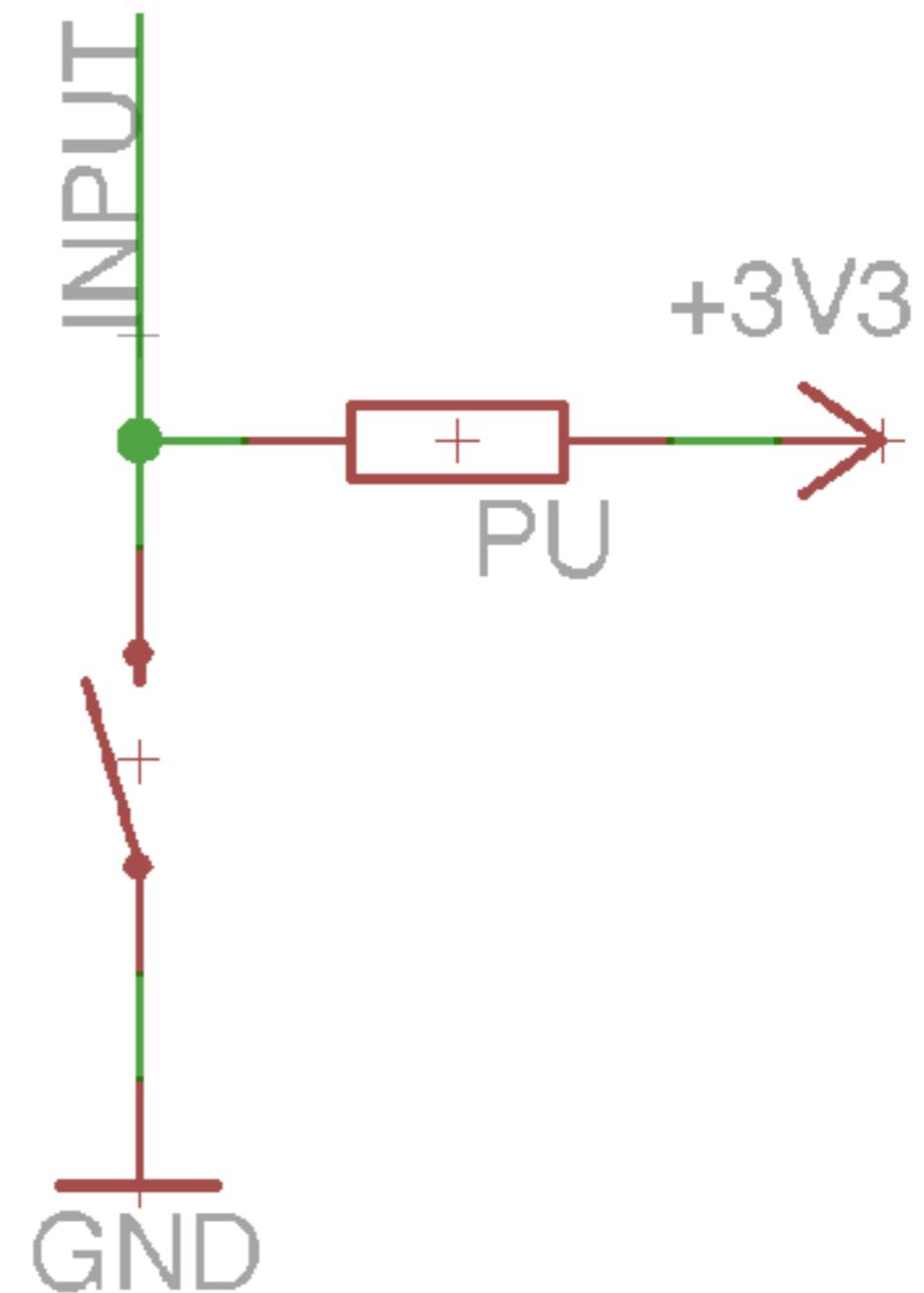
$$I_3 = U_3/R_3$$

$$\Rightarrow I_t = I_1 + I_2 + I_3$$



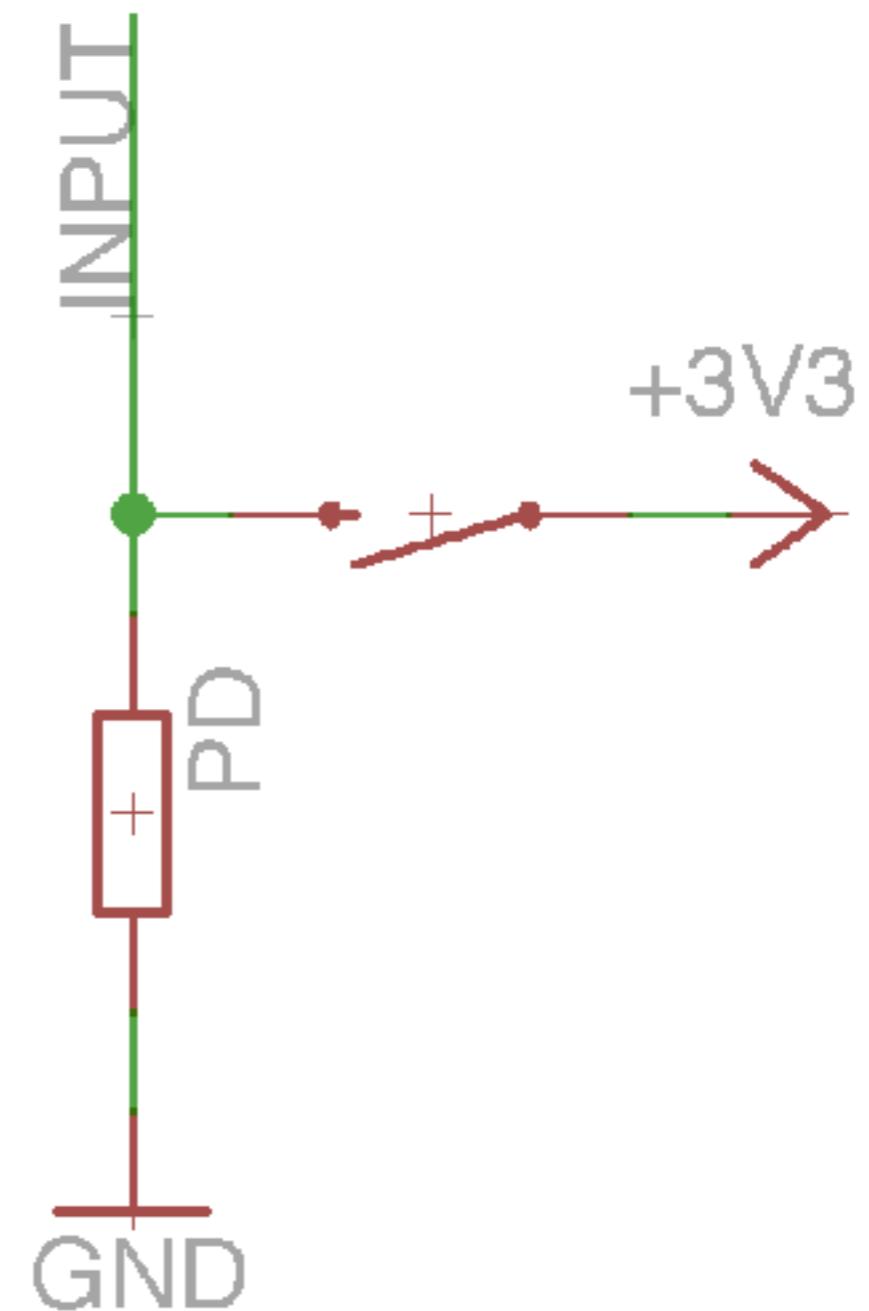
Pull-up

INPUT = HIGH par défaut



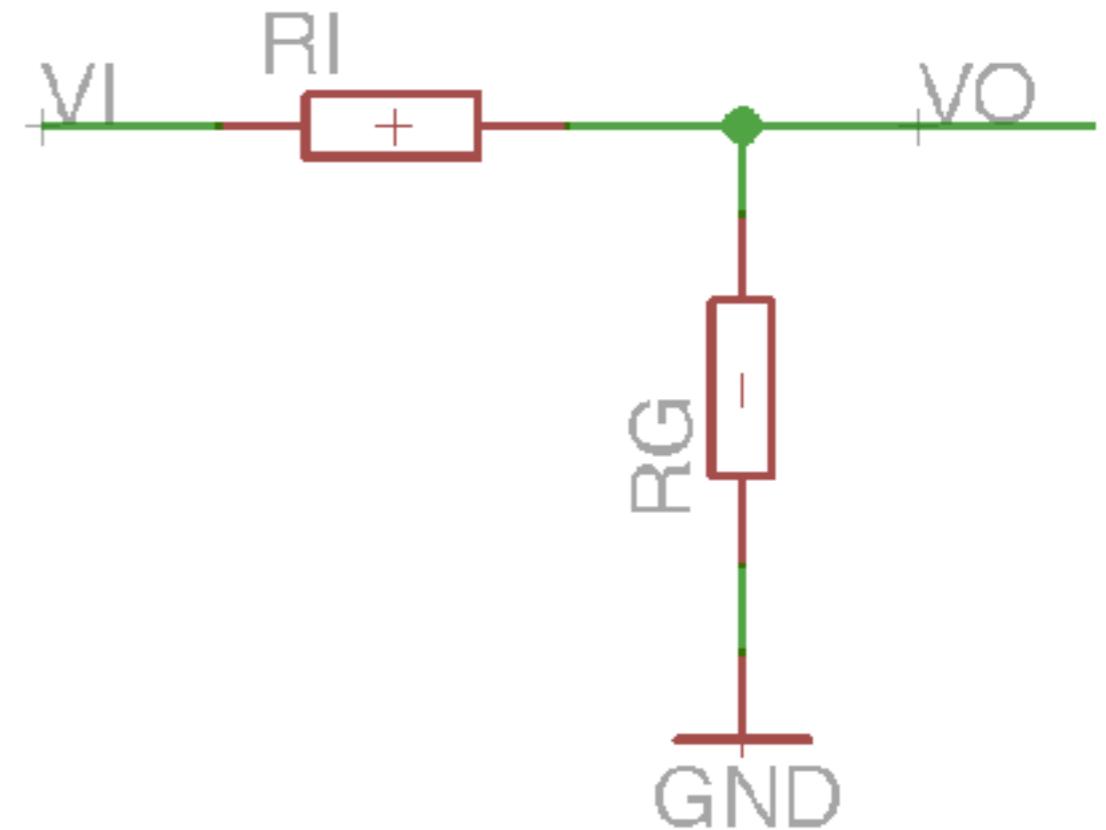
Pull-down

INPUT = LOW par défaut



Diviseur de tension

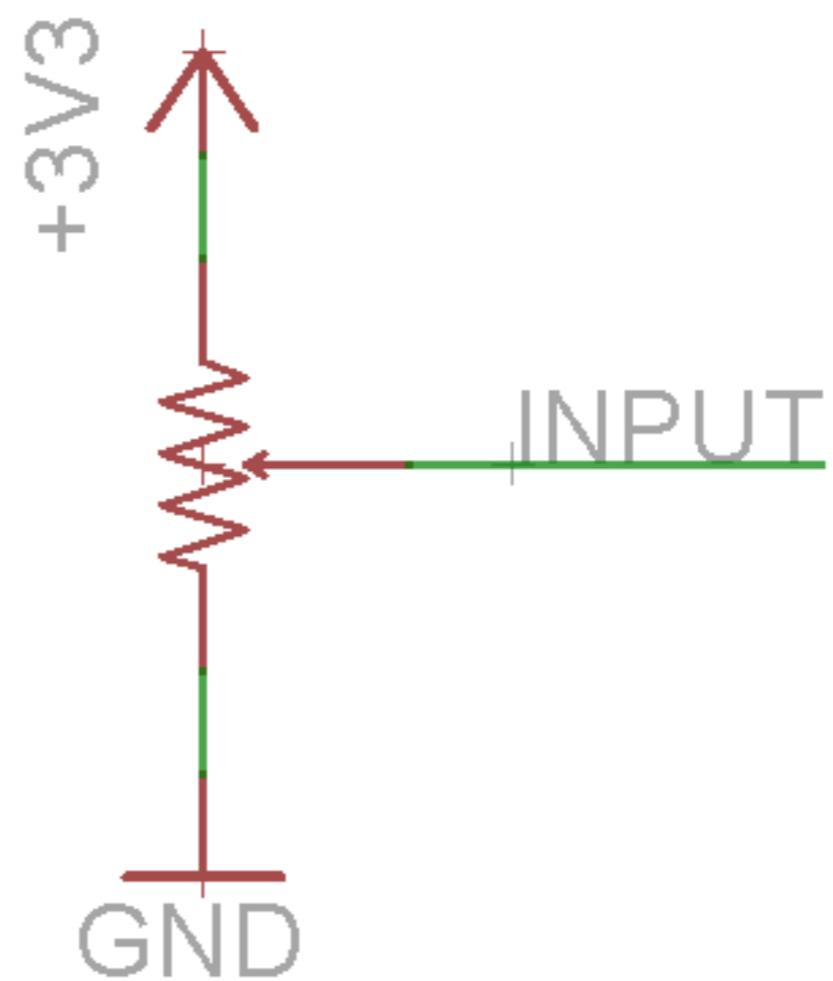
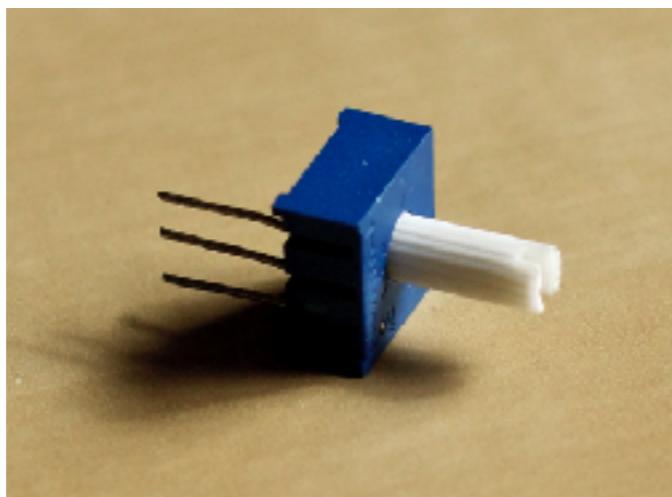
$$V_o = V_i \frac{R_g}{R_g + R_i}$$



Potentiomètre

Résistance variable

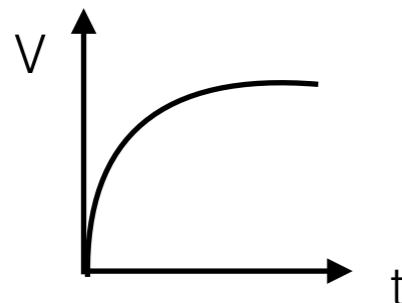
Bouton pour ajuster la valeur



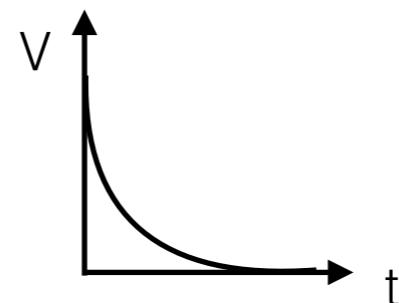
Codensateur



Condensateur



Charge



Décharge

$$\text{capacitance} = \frac{\text{courant} \times \text{temps}}{\text{tension}}$$

$$\frac{\text{tension}}{\text{intensité}} = \frac{\text{temps}}{\text{capacitance}}$$

$$\text{impédance} = \frac{\text{temps}}{\text{capacitance}}$$

$$\text{impédance} = \frac{1}{\text{fréquence} \times \text{capacitance}}$$

équations simplifiées

- ❖ Impédance dépend de la fréquence du signal
 - ❖ Haute fréquences (ex : changements brusques) : basse impédance
 - ❖ Basse fréquence (ex : signal constant) : haute impédance

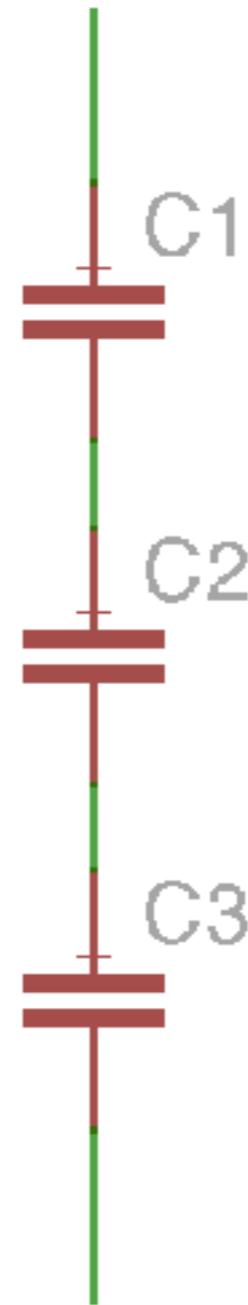
Circuits série

$$I_t = I_1 = I_2 = I_3$$

$$U_t = U_1 + U_2 + U_3$$

$$C = \frac{I \times t}{U}$$

$$1/C_t = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3$$



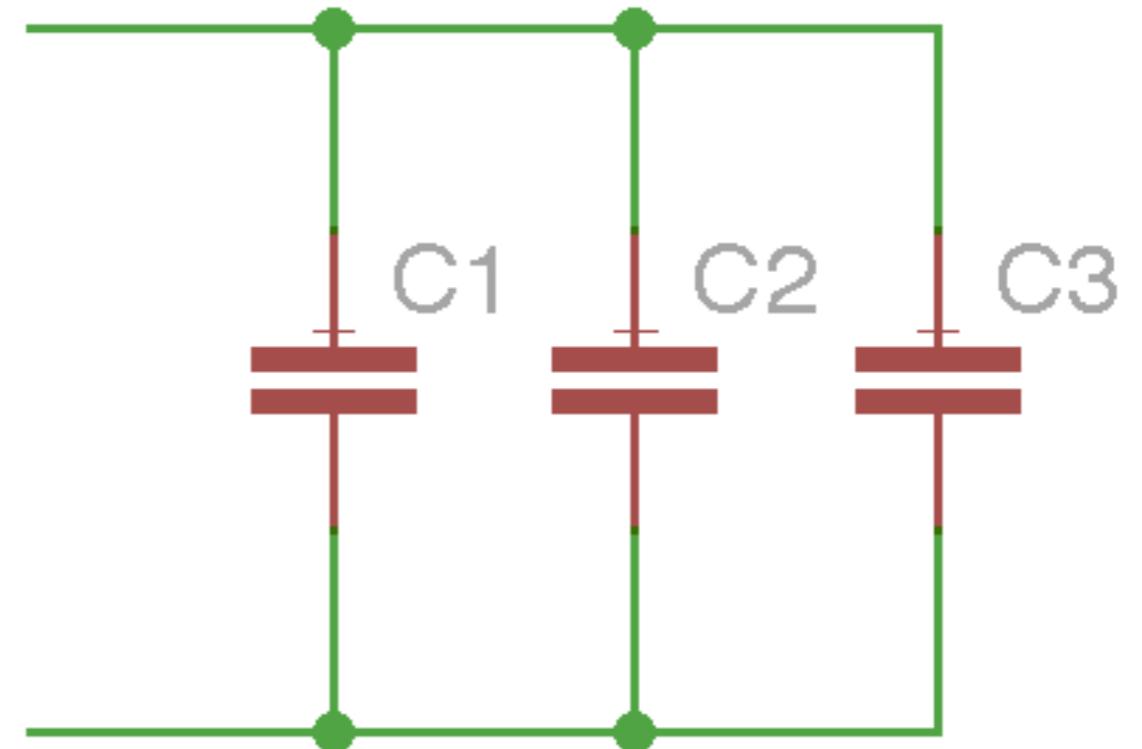
Circuits parallèle

$$U_t = U_1 = U_2 = U_3$$

$$I_t = I_1 + I_2 + I_3$$

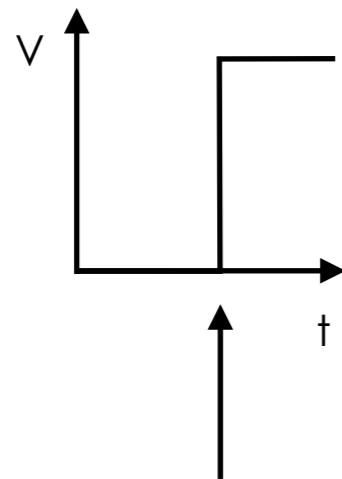
$$C = \frac{I \times t}{U}$$

$$C_t = C_1 + C_2 + C_3$$



Filtre passe bas (RC)

Éviter de brusquer l'output



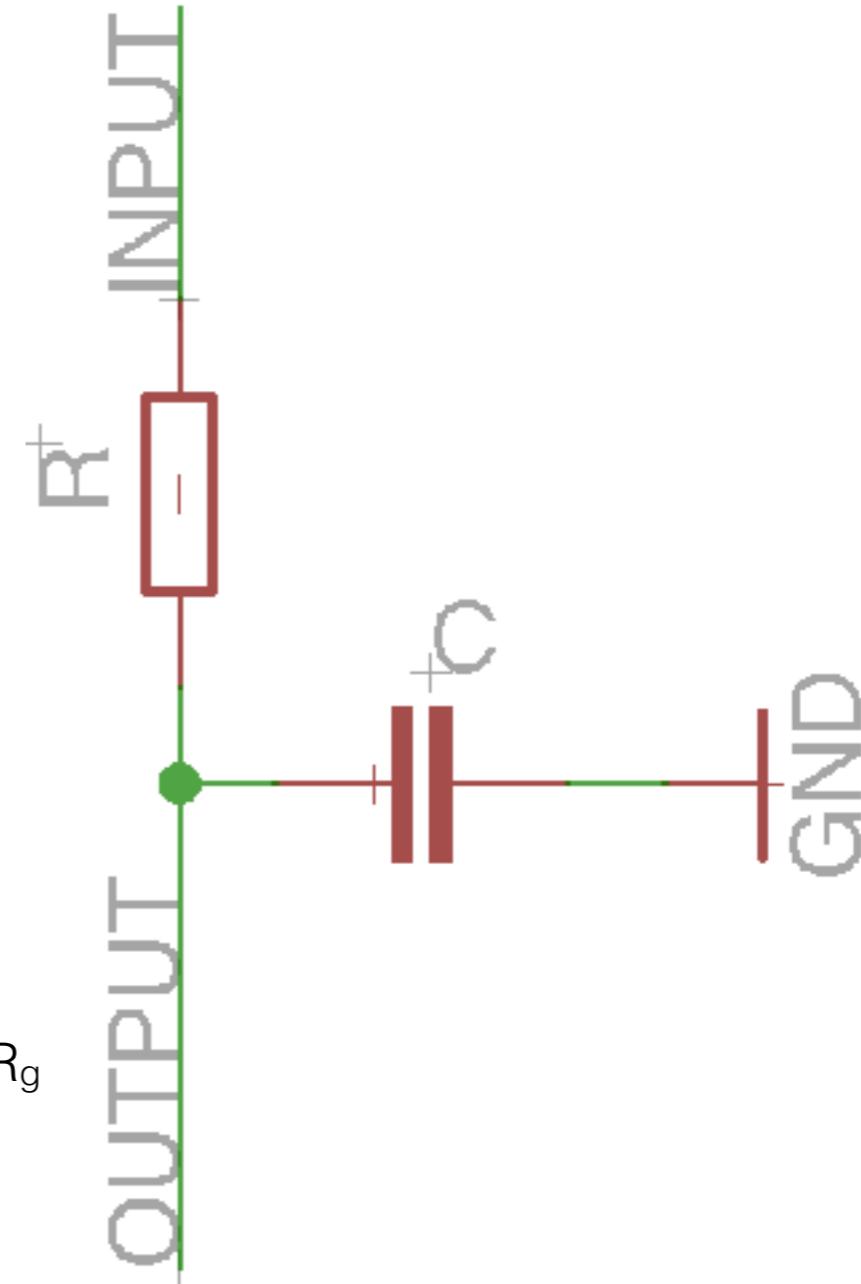
Haute fréquence
⇒ basse impédance

$$V_o = V_i \frac{Z}{Z + R}$$

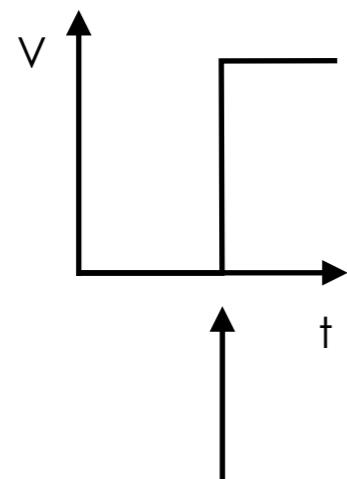
$$Z = \frac{1}{fC}$$

Diviseur de tension
Avec C à la place de R_g

$$V_o = V_i \frac{1}{fC (\frac{1}{fC} + R)}$$



Filtre passe haut (RC)



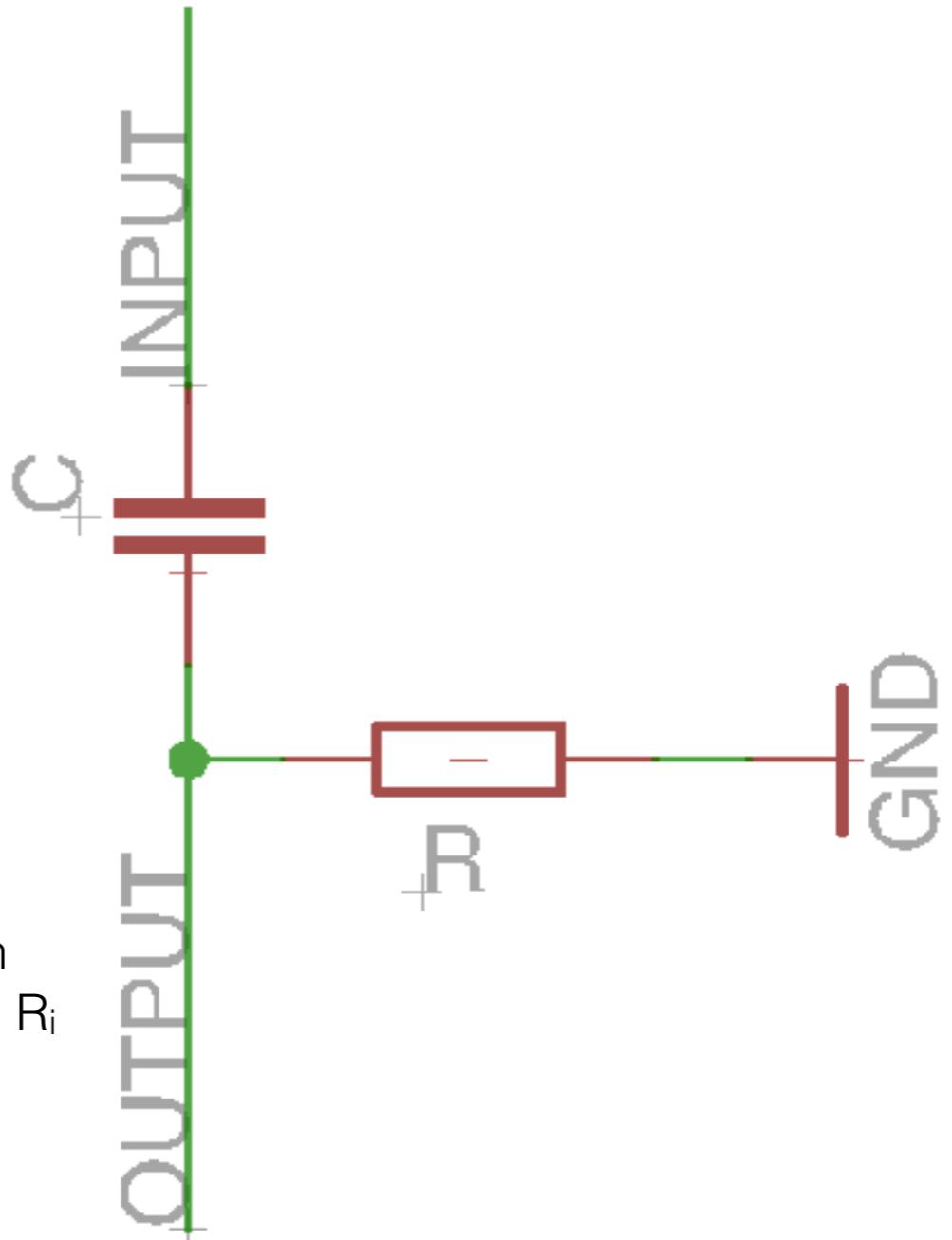
Haute fréquence
⇒ basse impédance

$$V_o = V_i \frac{R}{R + Z}$$

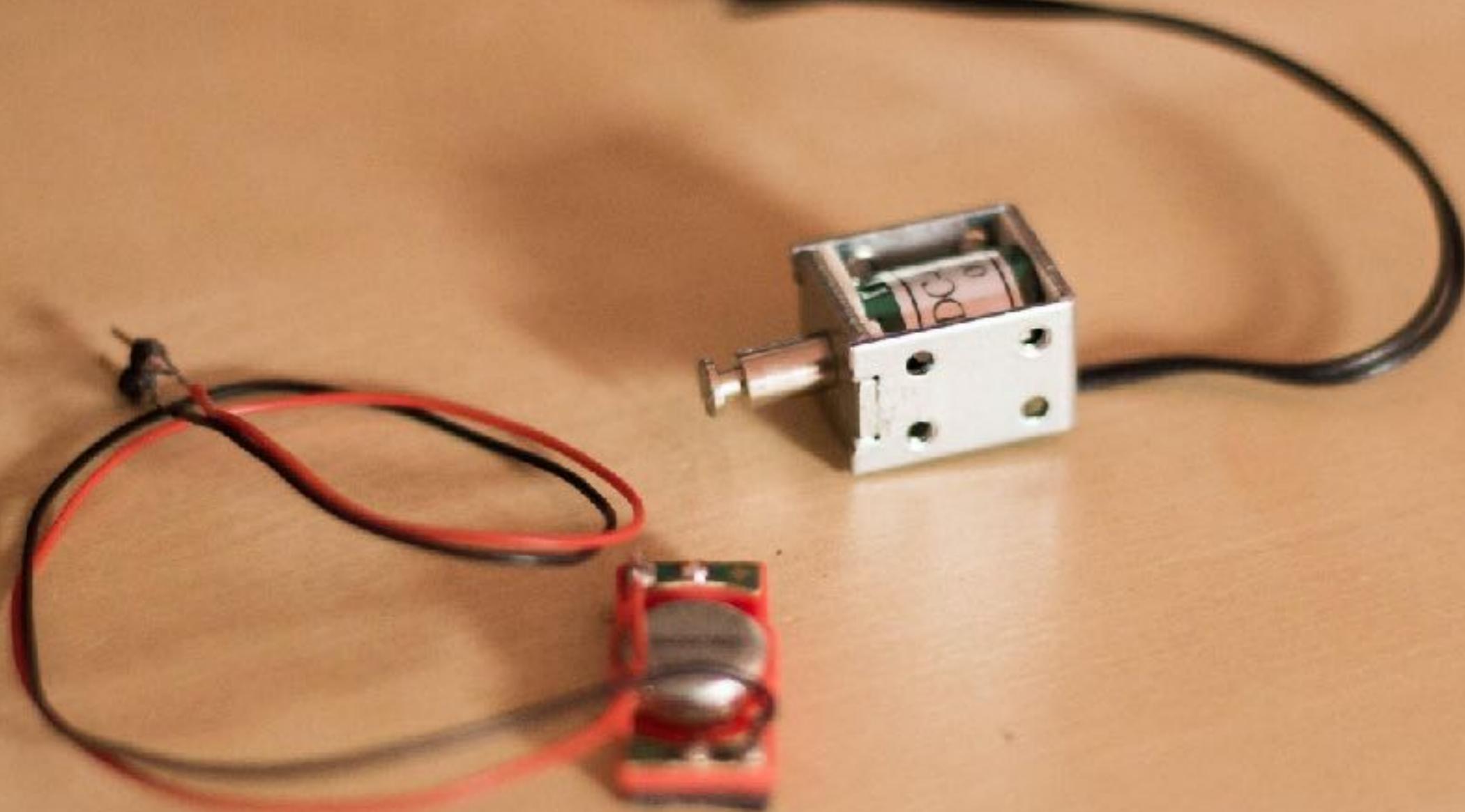
$$Z = \frac{1}{fC}$$

$$V_o = V_i \frac{R}{R + \frac{1}{fC}}$$

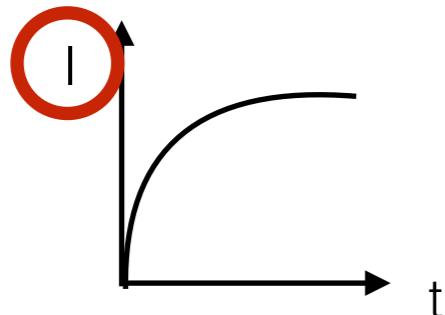
Diviseur de tension
Avec C à la place de R_i



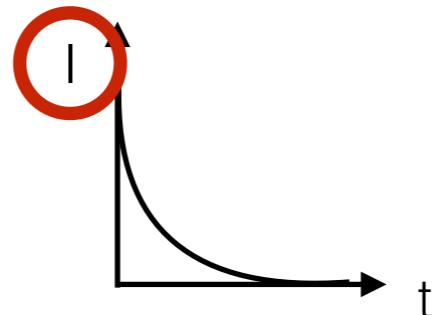
Inducteur



Inducteur



Charge



Décharge

$$\text{inductance} = \frac{\text{tension} \times \text{temps}}{\text{intensité}}$$

$$\text{inductance} = \text{impédance} \times \text{temps}$$

$$\text{impédance} = \frac{\text{inductance}}{\text{temps}}$$

$$\text{impédance} = \text{fréquence} \times \text{inductance}$$

- ♦ Impédance dépend de la fréquence du signal
 - ♦ Haute fréquences (ex : changements brusques) : haute impédance
 - ♦ Basse fréquence (ex : signal constant) : basse impédance

Circuits série

$$I_t = I_1 = I_2 = I_3$$

$$U_t = U_1 + U_2 + U_3$$

$$L = \frac{U \times t}{I}$$

$$L_t = L_1 + L_2 + L_3$$



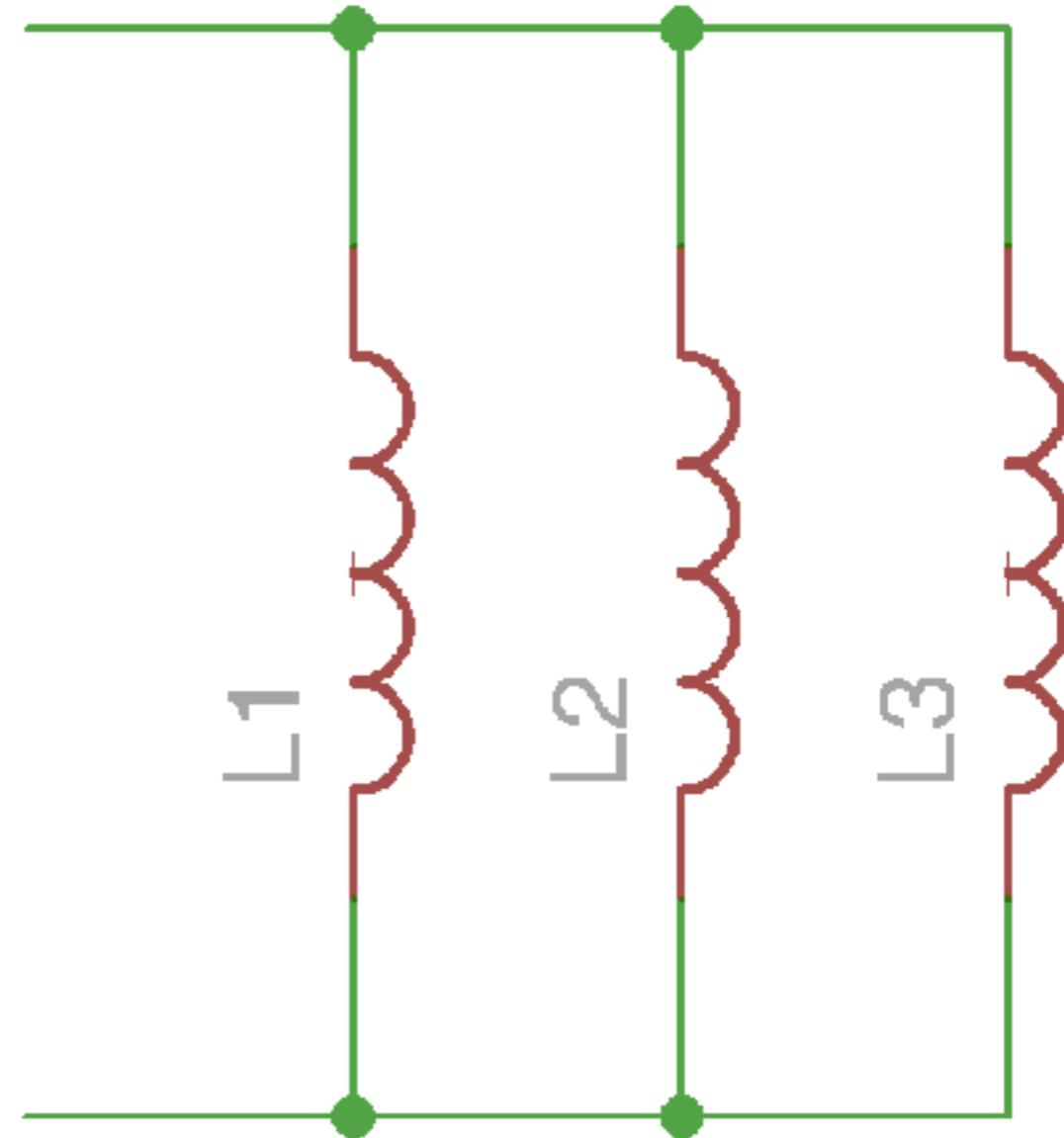
Circuits parallèle

$$U_t = U_1 = U_2 = U_3$$

$$I_t = I_1 + I_2 + I_3$$

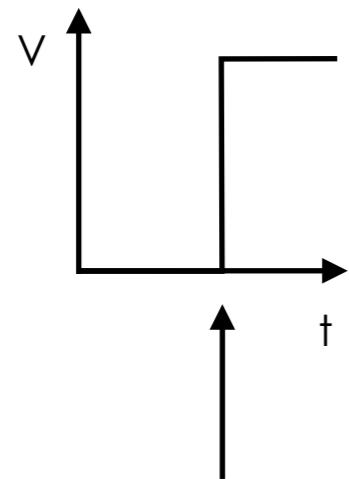
$$L = \frac{U \times t}{I}$$

$$\frac{1}{L_t} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}$$



Filtre passe bas (RL)

Éviter de brusquer l'output



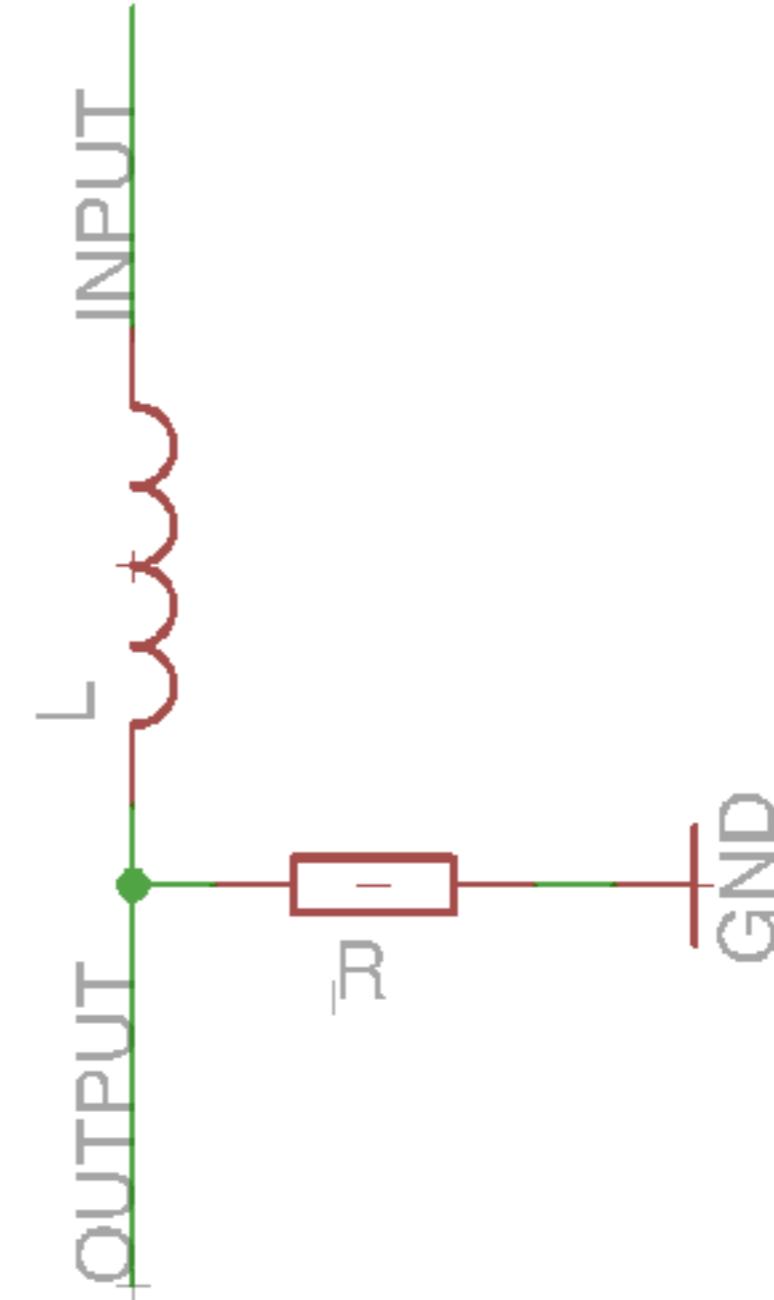
Haute fréquence
⇒ haute impédance

$$V_o = V_i \frac{R}{R + Z}$$

$$Z = fL$$

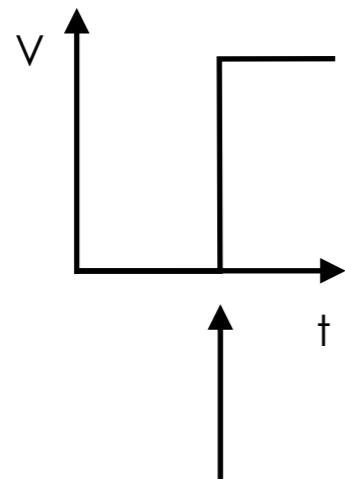
Diviseur de tension
Avec L à la place de R_i

$$V_o = V_i \frac{R}{R + fL}$$



Filtre passe haut (RL)

Éviter de brusquer l'output



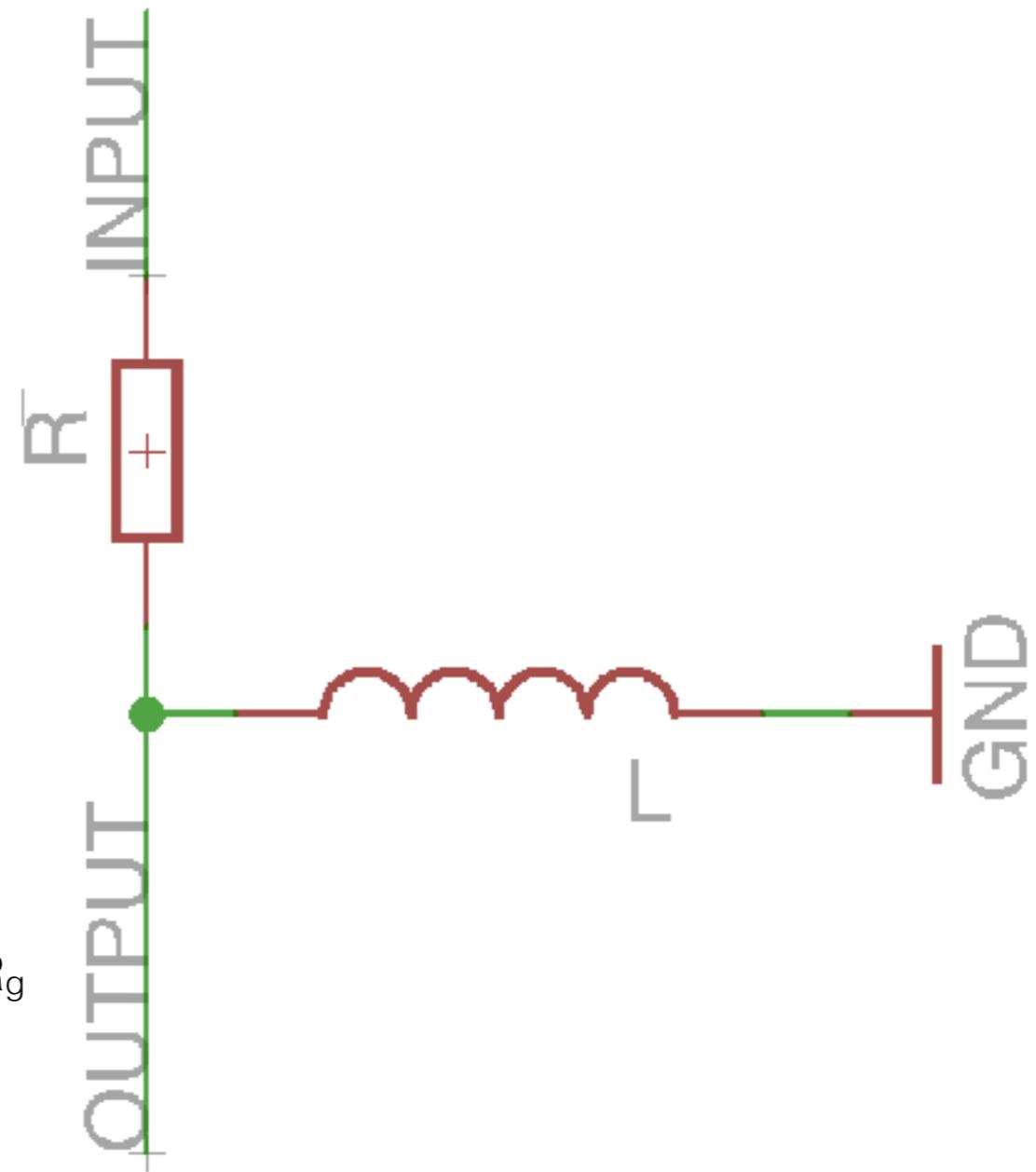
Haute fréquence
⇒ basse impédance

$$V_o = V_i \frac{Z}{Z + R}$$

$$Z = fL$$

$$V_o = V_i \frac{fL}{fL + R}$$

Diviseur de tension
Avec L à la place de R_g

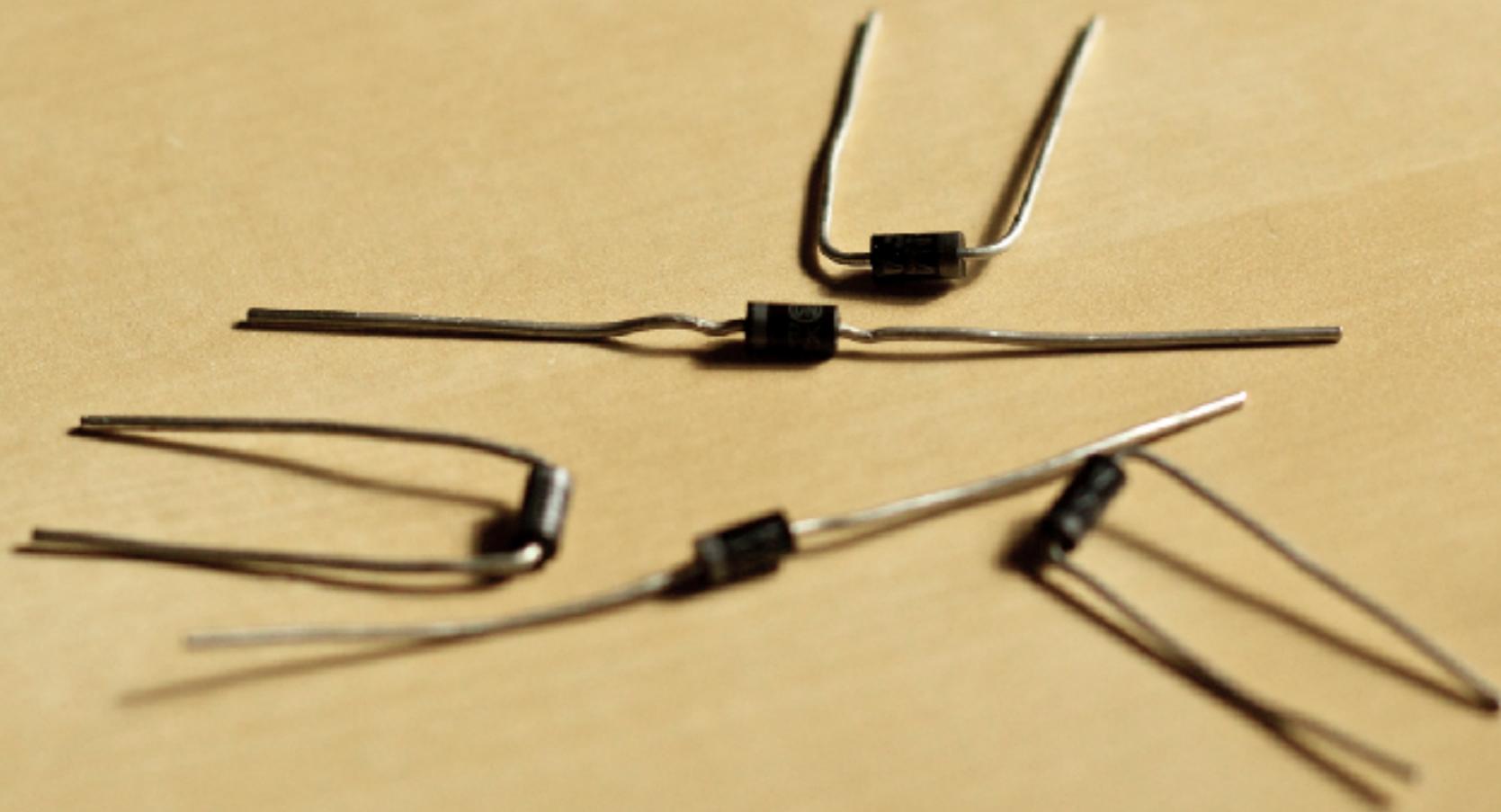


Semi-conducteurs

Semi-conducteurs

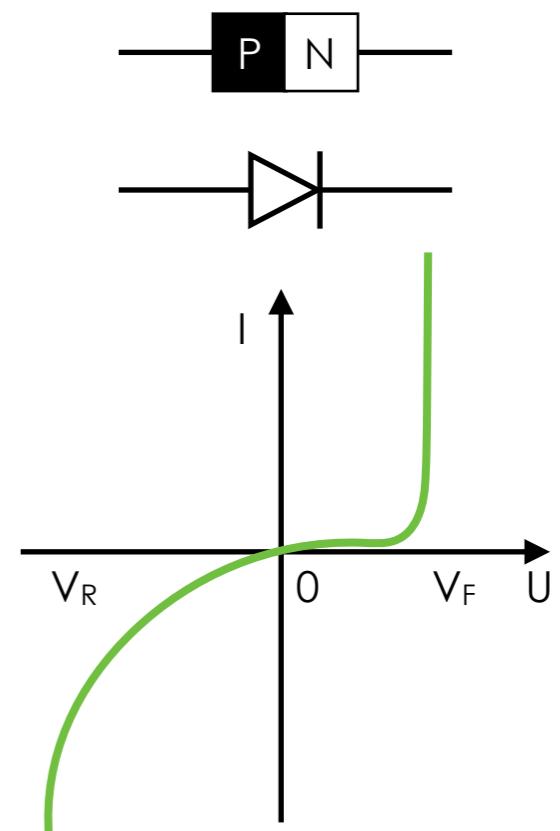
- ◆ À mi-chemin entre conducteur et isolant
- ◆ Quantité d'électrons modifiés par **dopage**
- ◆ Type N : excès d'électrons
- ◆ Type P : défaut d'électrons

Diode



Diode

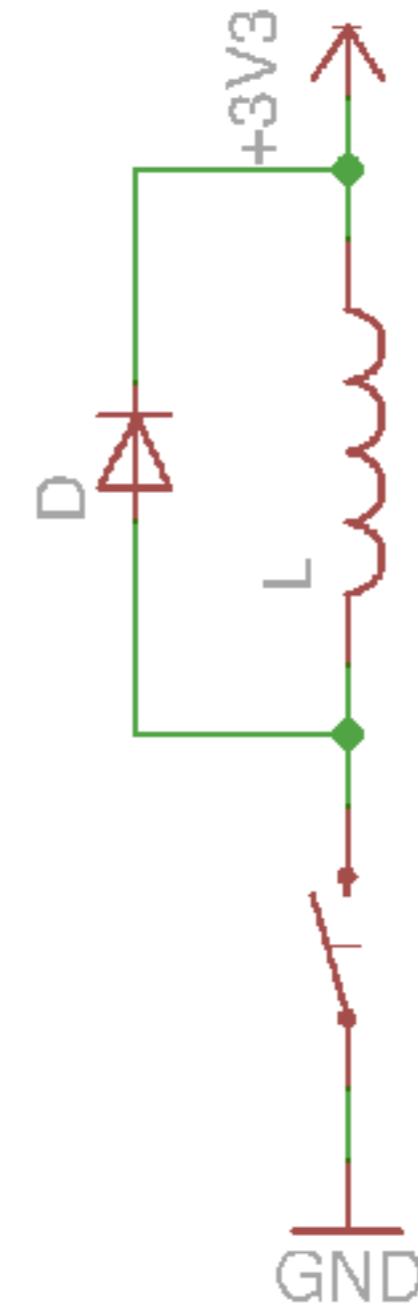
- ◆ Assemblage de deux semi-conducteurs
- ◆ Cathode : jonction N (excès d'électrons)
- ◆ Anode : jonction P (défaut d'électrons)
- ◆ Sens passant (P+/N-)
- ◆ Sens bloquant (N+/P-)
- ◆ Tension seuil V_F (Forward voltage)
- ◆ Tension au bornes V_R quand bloquée (Reverse voltage)



Diode de flyback

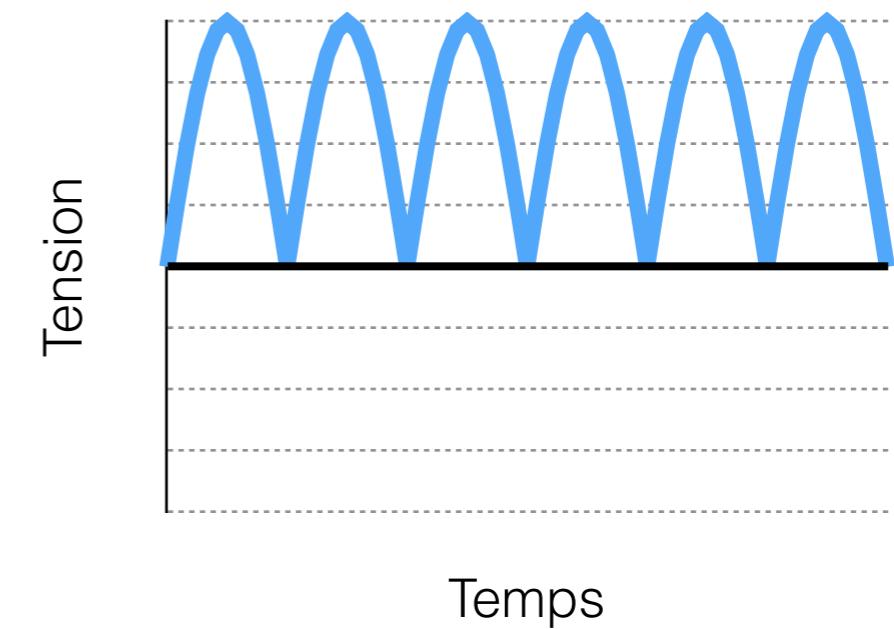
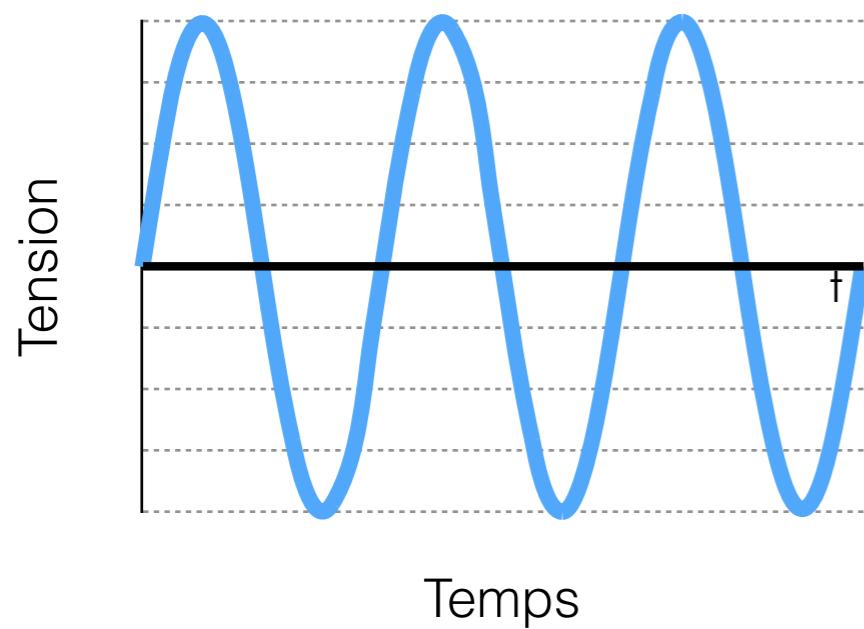
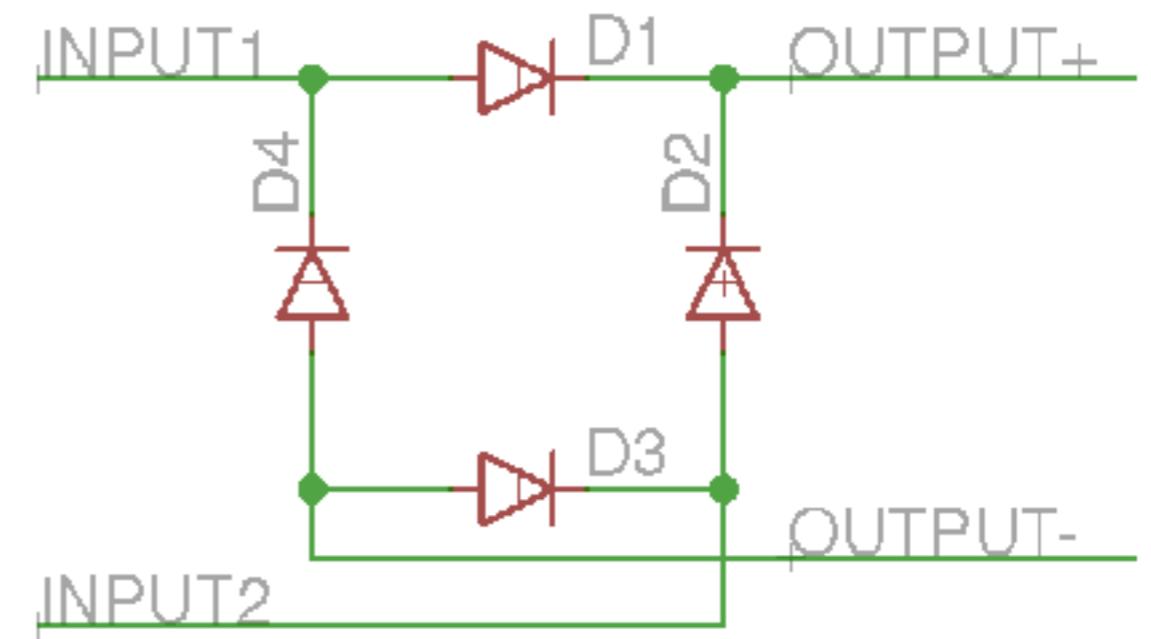
Éviter le courant induit lors des changements brusques

Utile sur des moteurs, vibrateurs, etc.



Pont de diodes

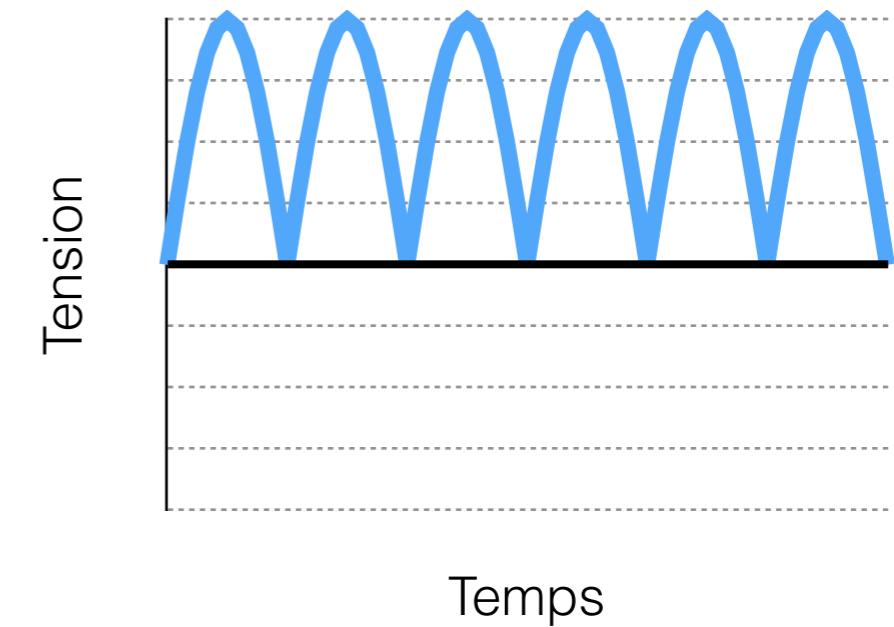
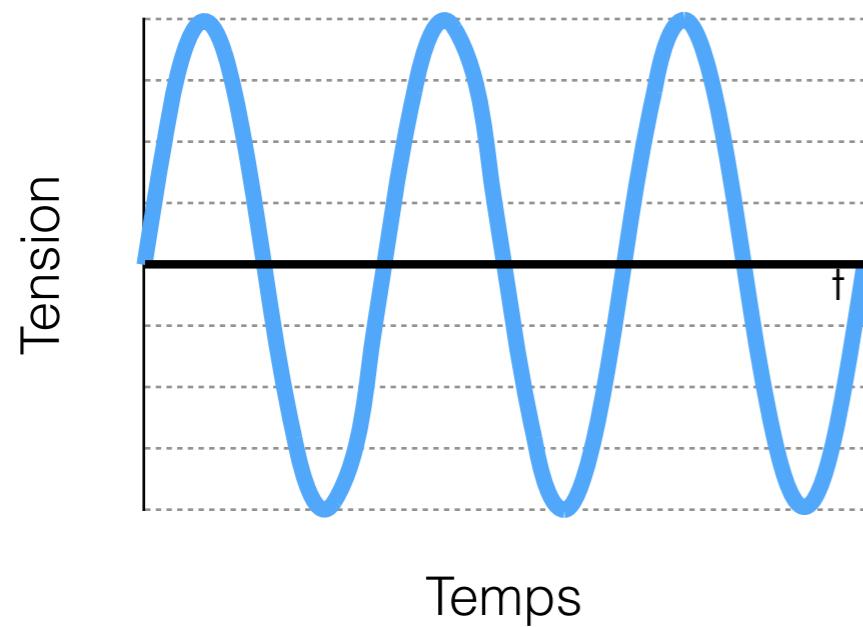
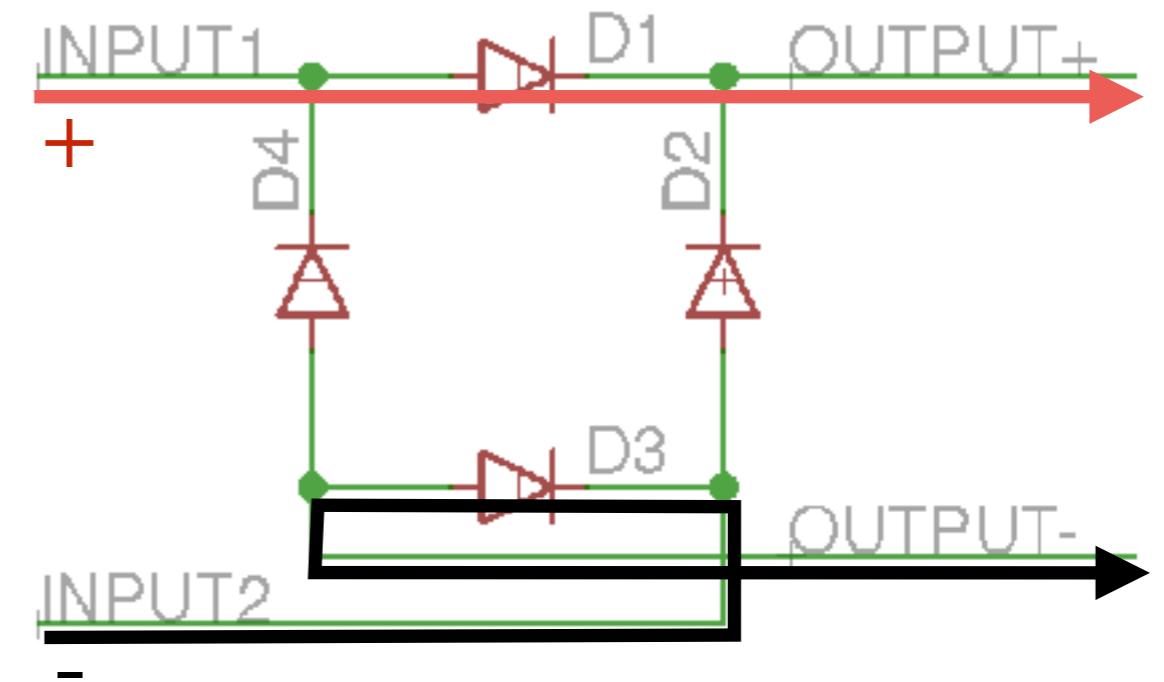
Transformer AC en DC



Pont de diodes

Transformer AC en DC

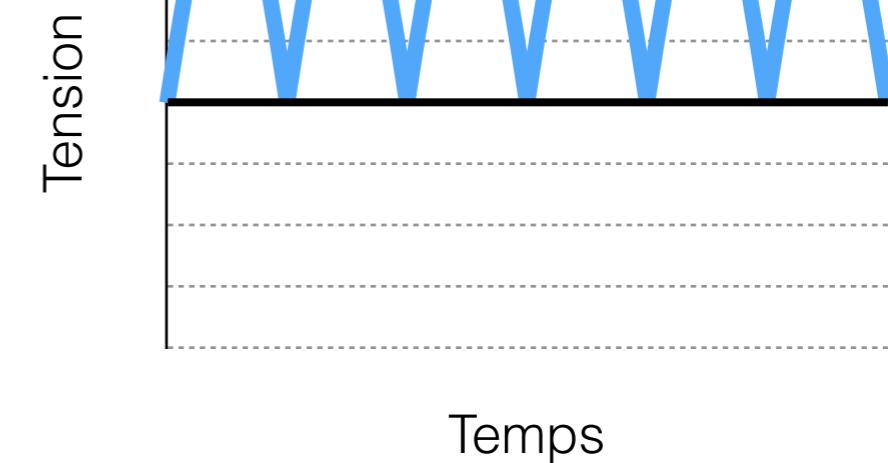
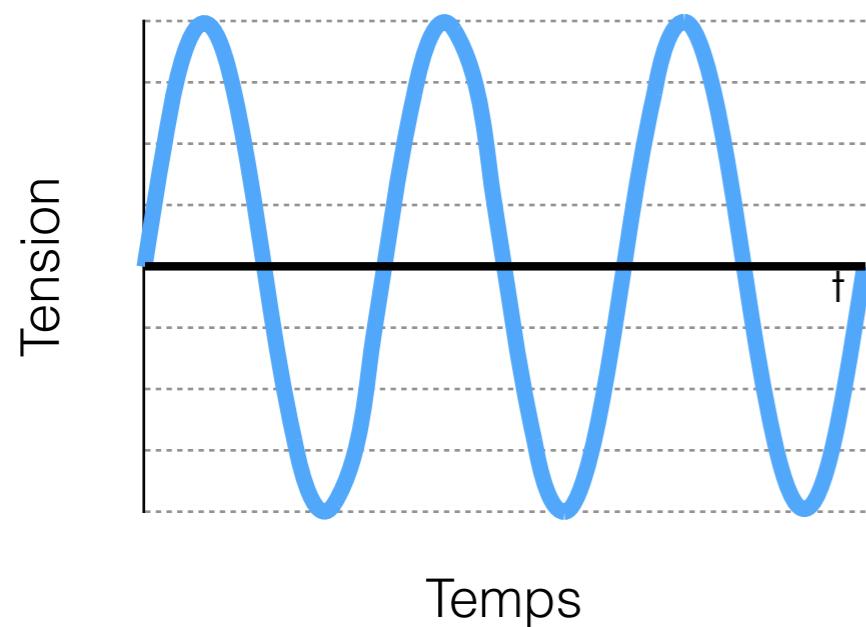
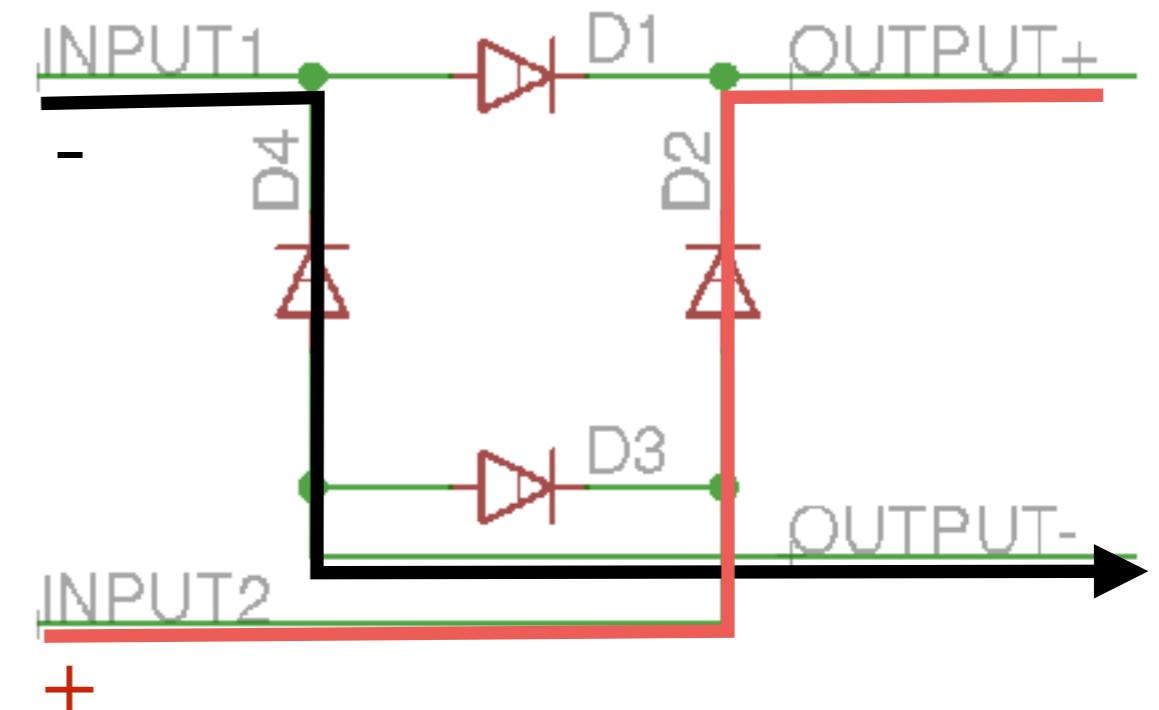
$$I_1 + \Rightarrow D_1 \Rightarrow O_+ \quad I_2 - \Rightarrow D_3 \Rightarrow O_-$$



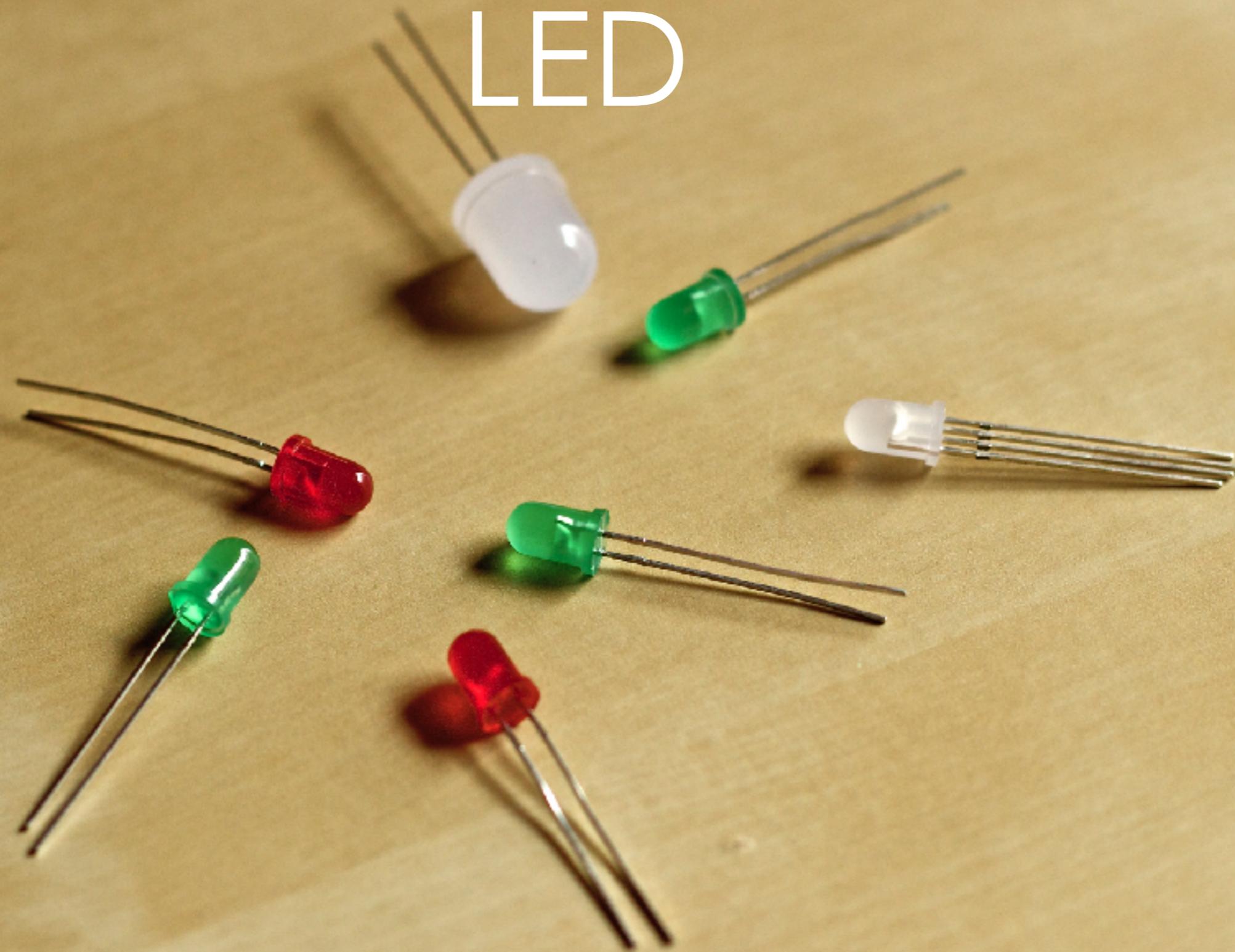
Pont de diodes

Transformer AC en DC

$I_1 - \Rightarrow D_4 \Rightarrow O_-$ $I_2 + \Rightarrow D_2 \Rightarrow O_+$

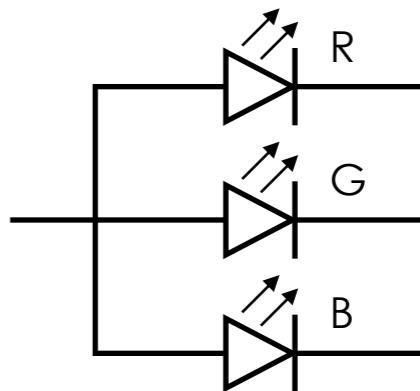
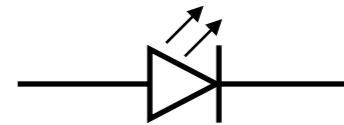


LED

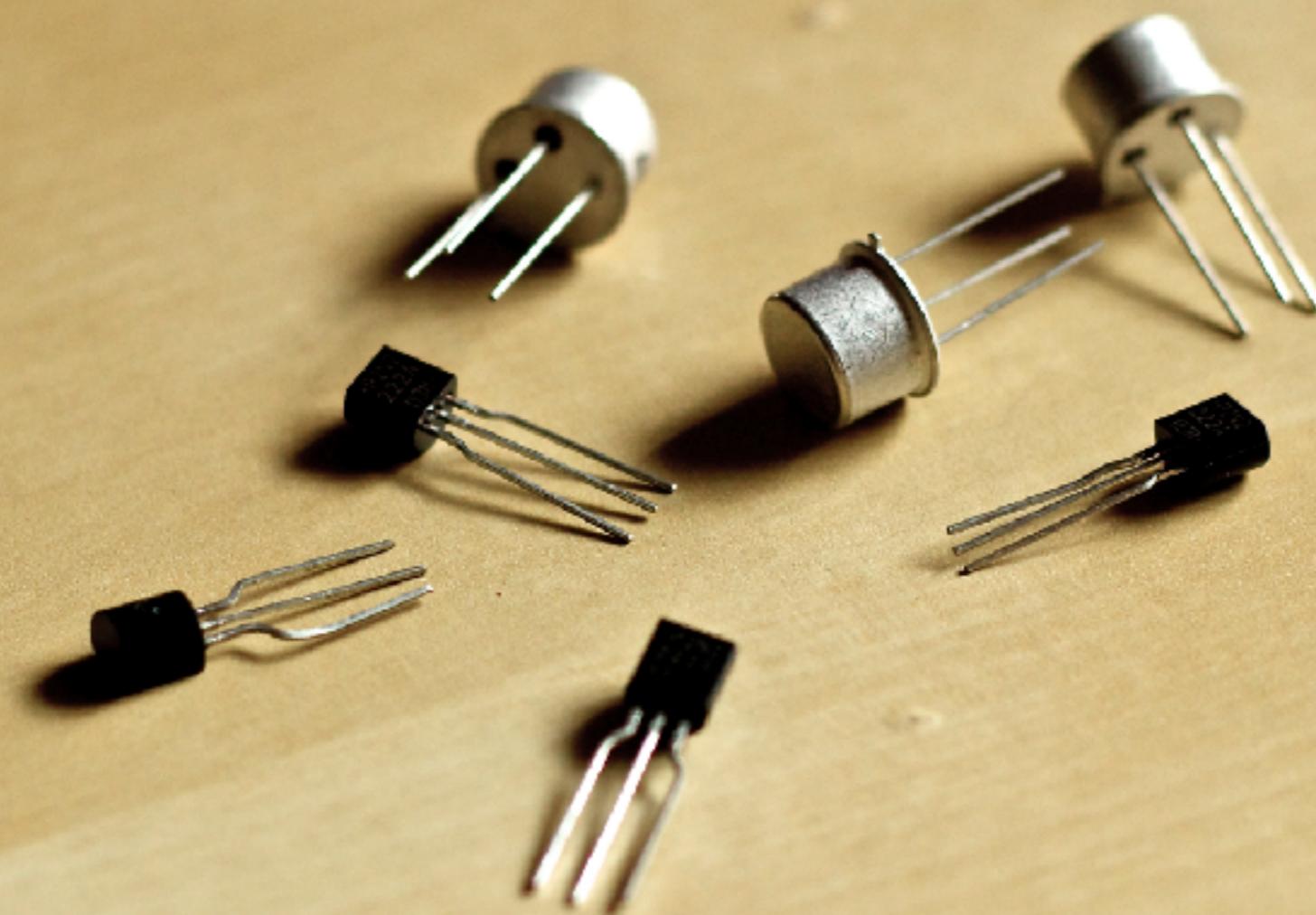


LED

- ◆ Diode qui émet de la lumière dans le sens passant
- ◆ Nombreuses couleurs disponibles
- ◆ Infra-rouge/Ultra-violet
- ◆ RGB

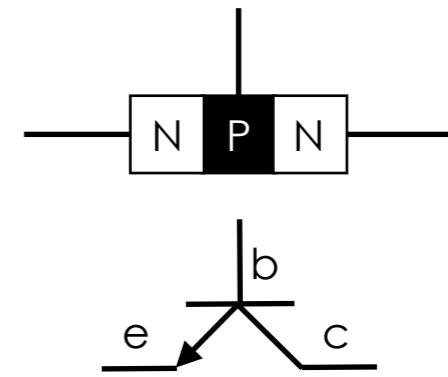


Transistor

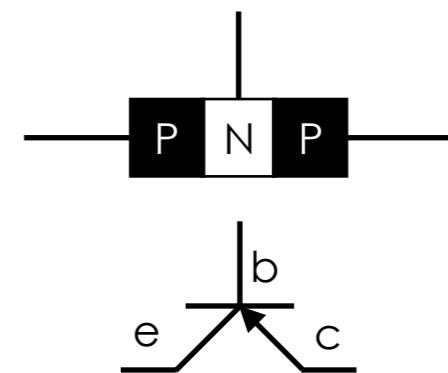


Transistor

- ◆ Assemblage de trois semi-conducteurs
- ◆ Activation : **courant** à la base
- ◆ **NPN** : base N, collecteur et émetteur P



- ◆ Activé quand la base est plus positive que l'émetteur
- ◆ **PNP** : base P, collecteur et émetteur N
- ◆ Activé quand la base est plus négative que l'émetteur

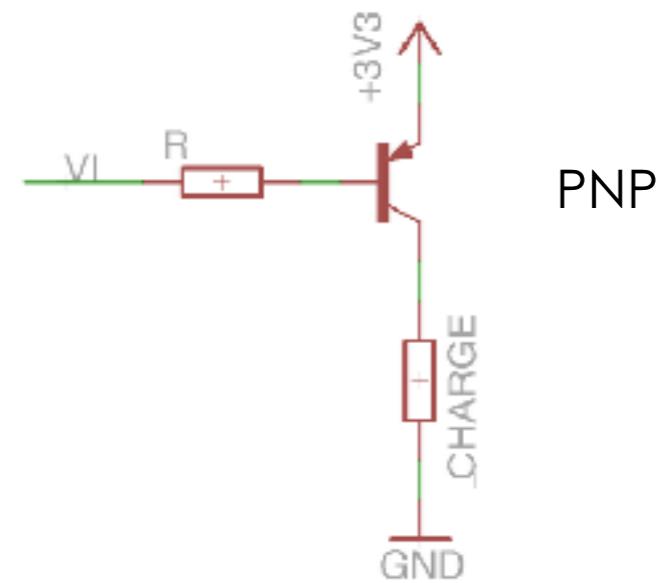
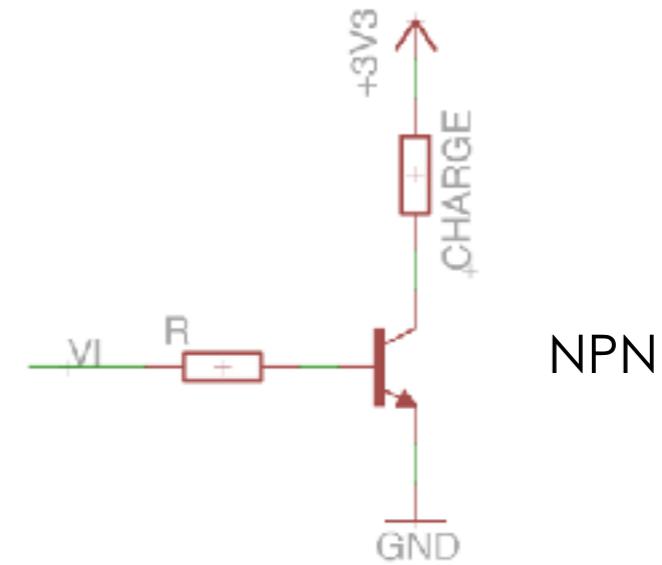


FET

- ♦ Transistor à effet de champ
- ♦ Activation : **tension** à la base
 - + Pas besoin de courant pour activer la porte
 - Plus fragiles que les transistors
- ♦ Type N / Type P
 - ♦ Base \Rightarrow grille
 - ♦ Collecteur \Rightarrow source
 - ♦ Émetteur \Rightarrow drain

Applications

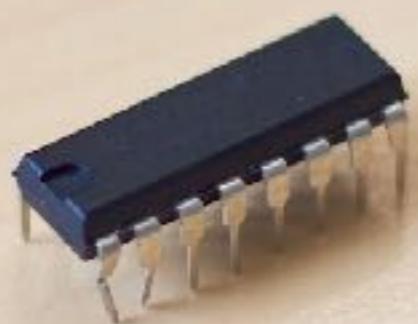
- ◆ Interrupteur programmable
 - ◆ Transistor en mode saturé
 - ◆ Contrôler un circuit de puissance avec un circuit logique
- ◆ Amplificateur linéaire
 - ◆ i_{ce} proportionnel à i_b



Portes logiques

- ◆ Fonction définie
 - ◆ ET, NON ET, OU, NON OU, XOR, NON XOR
- ◆ Circuits logiques programmables
 - ◆ FPGA, PAL, PLA, etc.

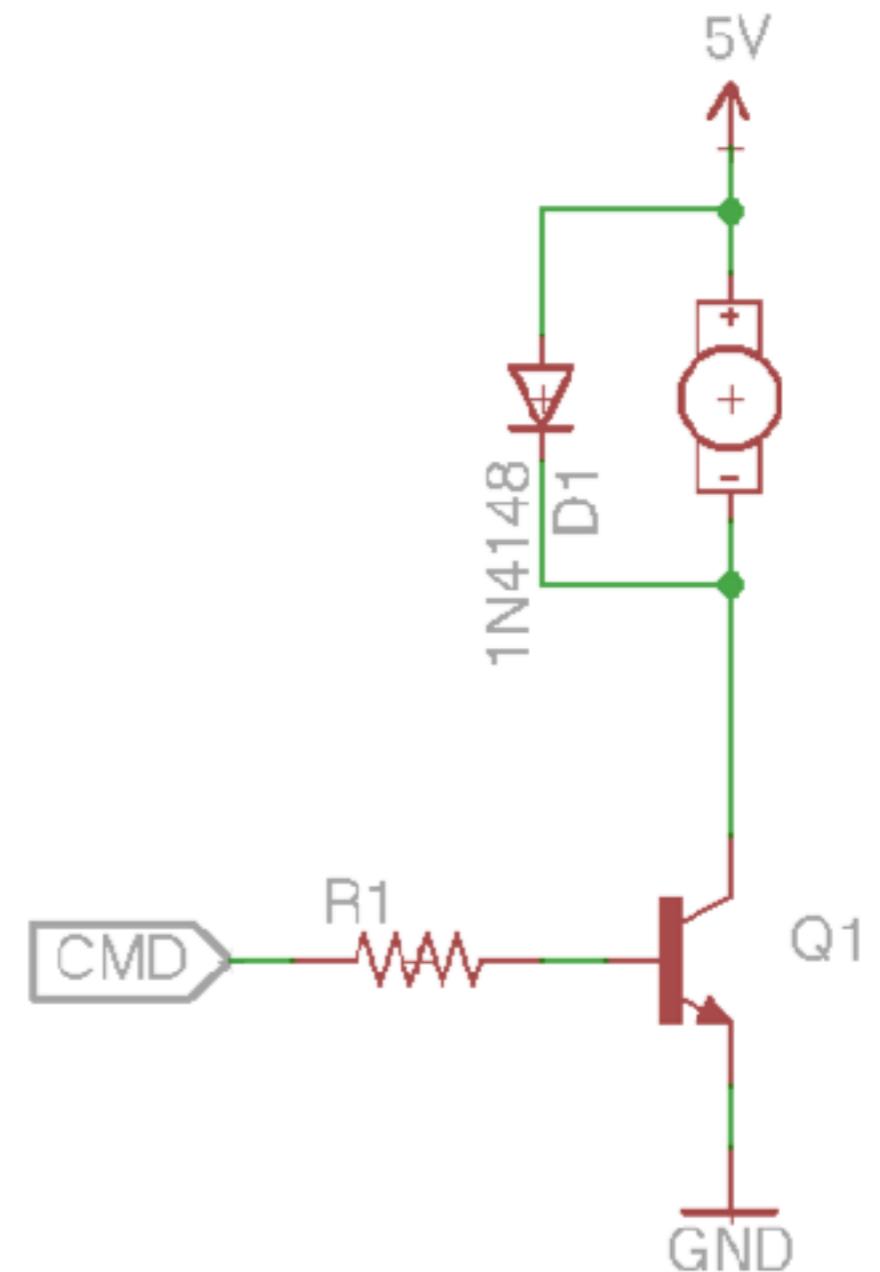
Porte H



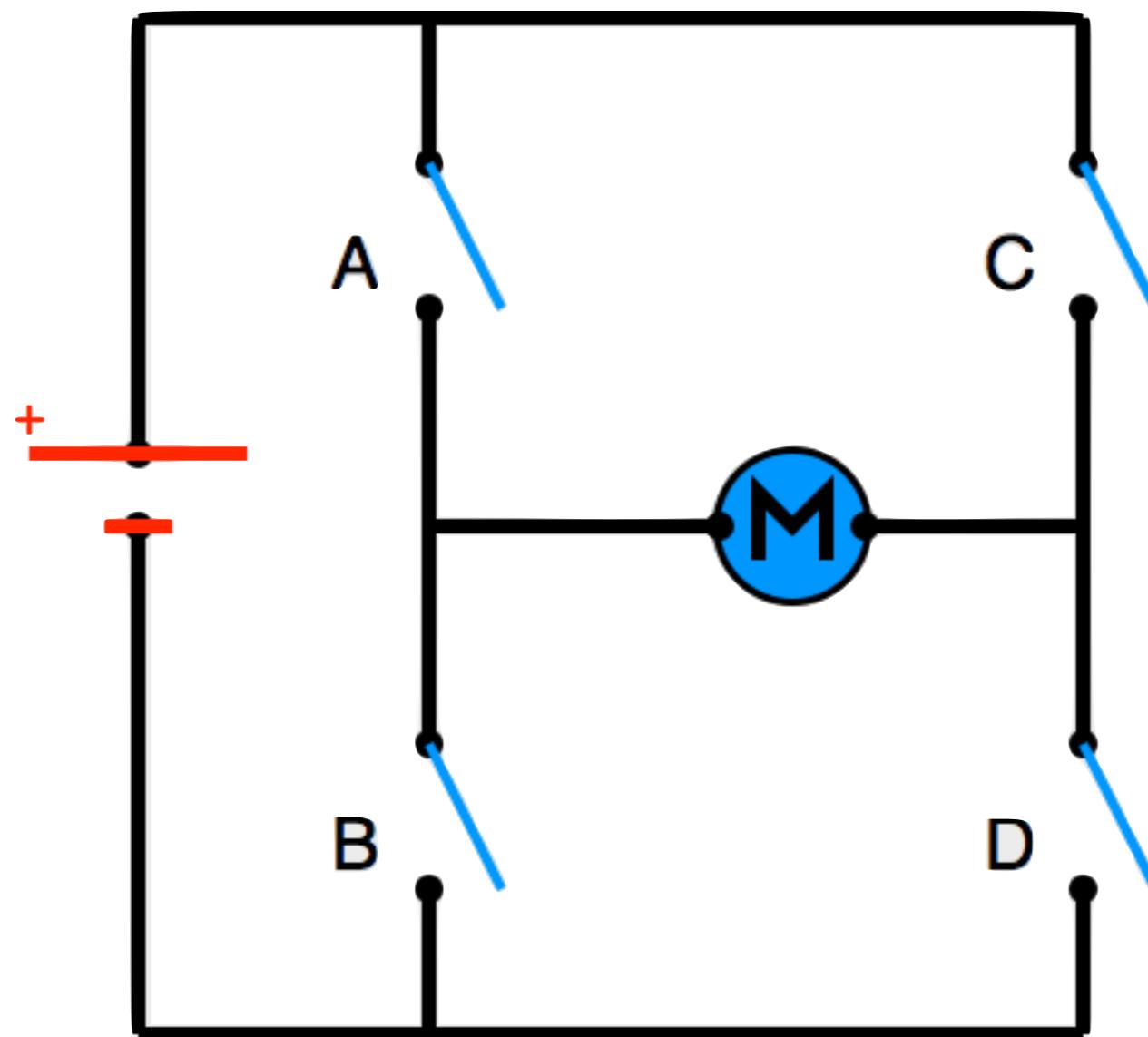
Commander un moteur

Simple

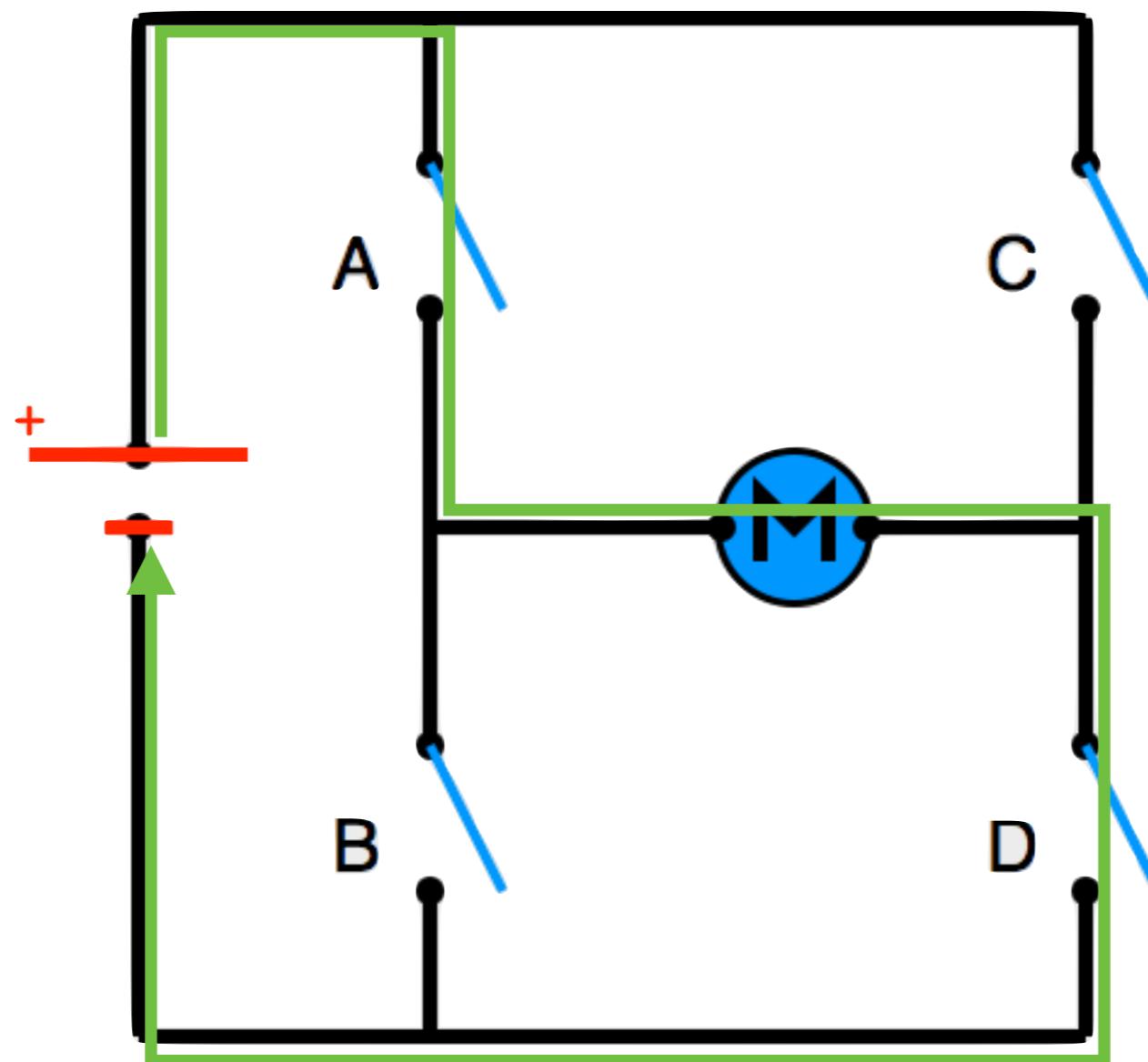
Un seul sens



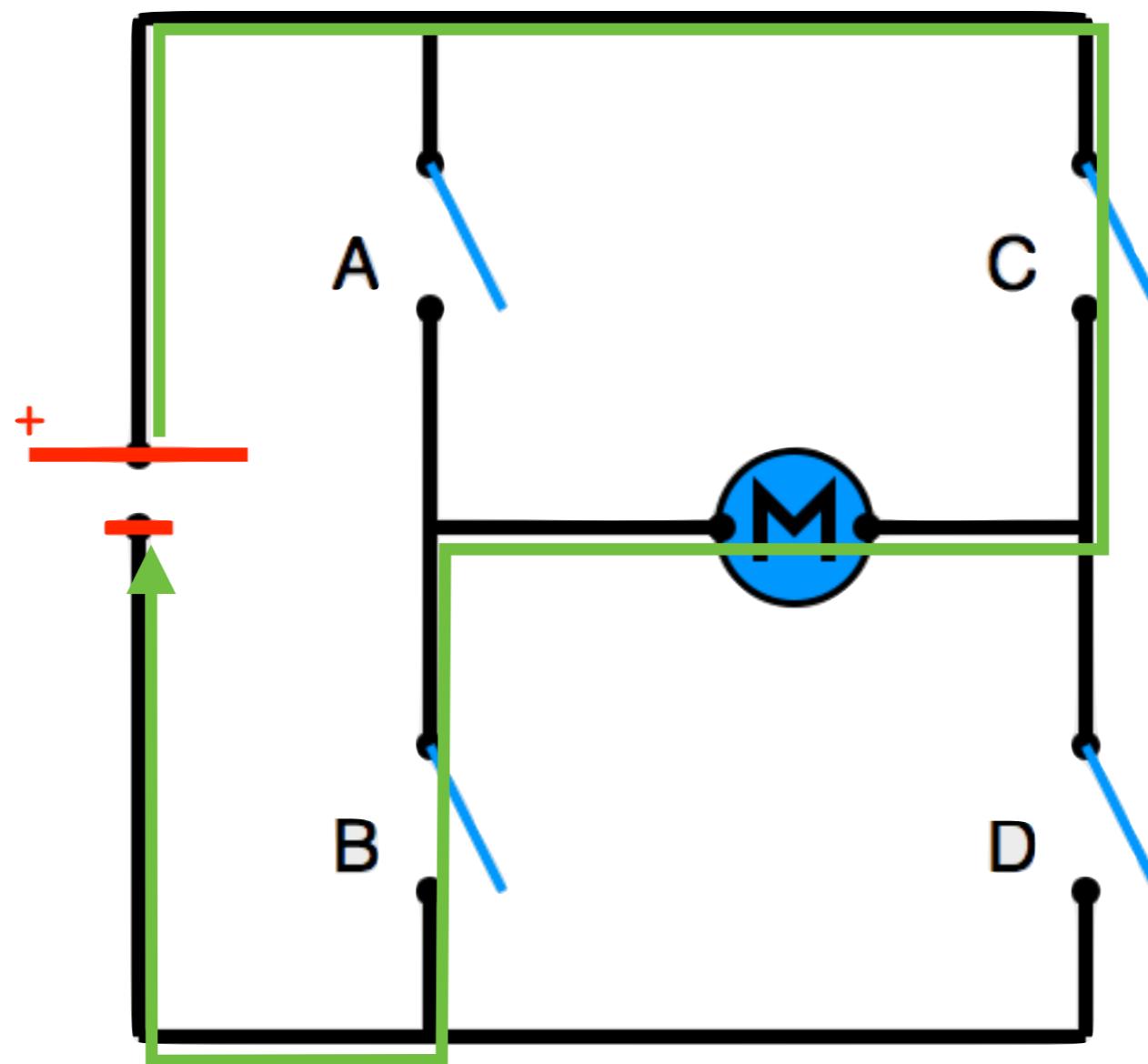
Porte en H



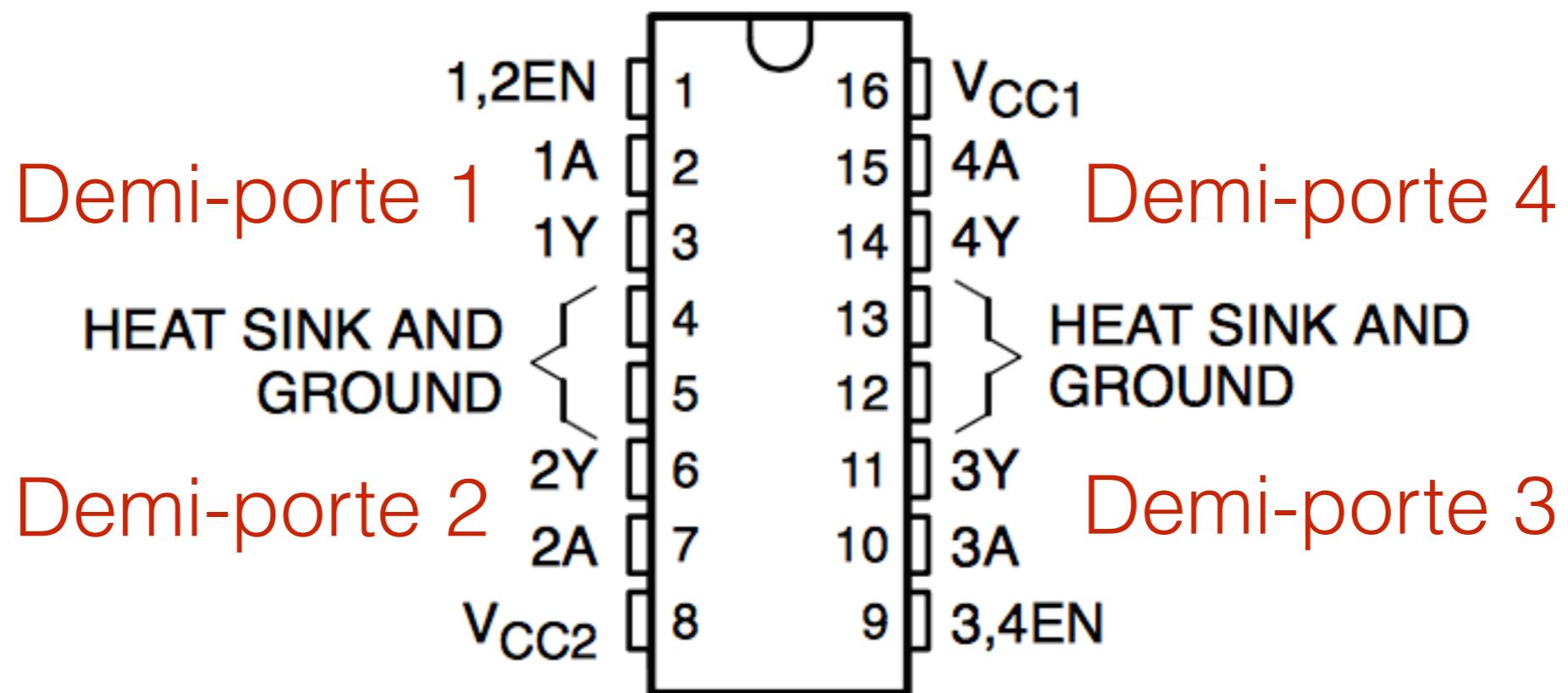
Porte en H



Porte en H

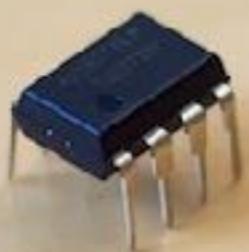


Porte en H

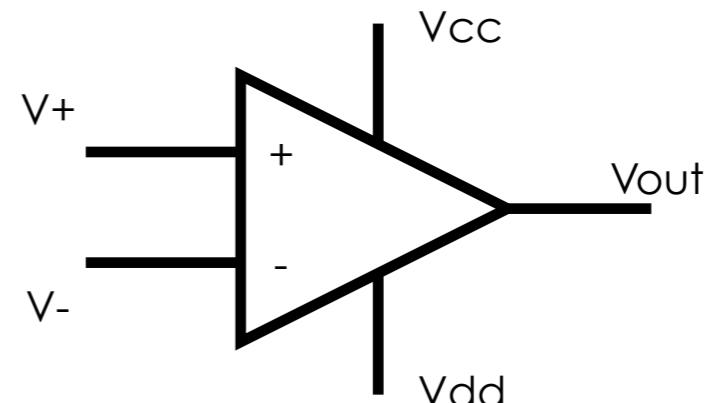


L293

Ampli op



Ampli op



Couteau suisse de l'électronique

Amplification

Régulation de tension

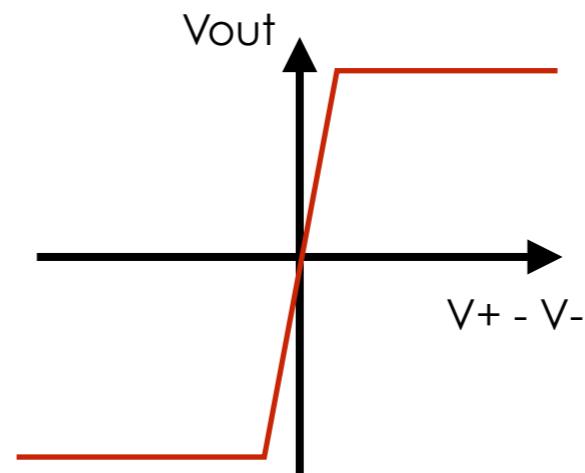
Comparateur

...

$$i_+ = i_- = 0$$

$$V_{out} = A(V_+ - V_-)$$

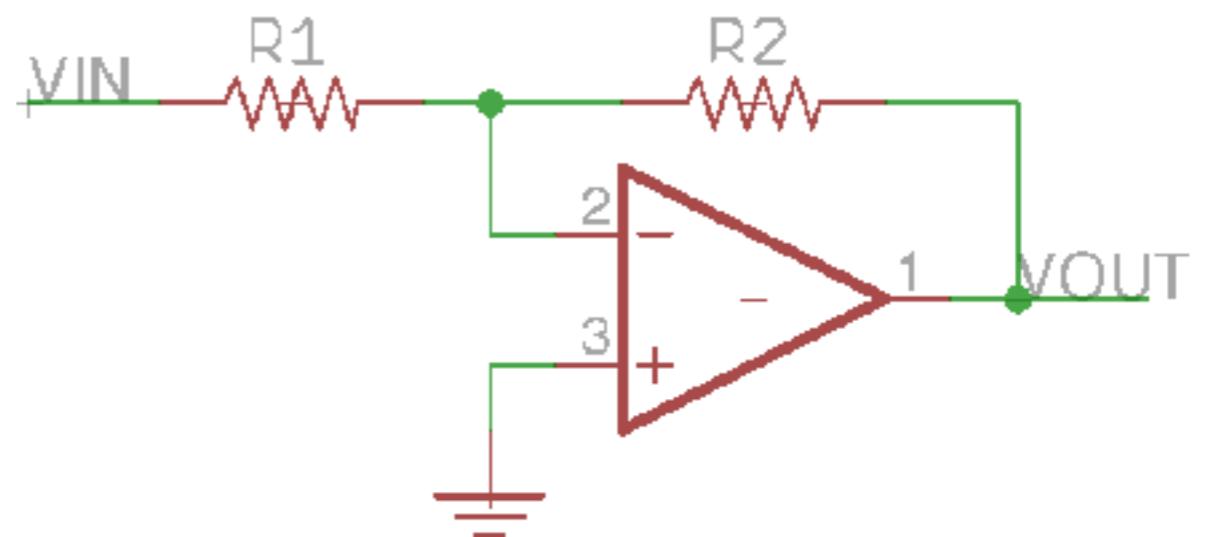
A très très grand



Ampli inverseur

Negative feedback

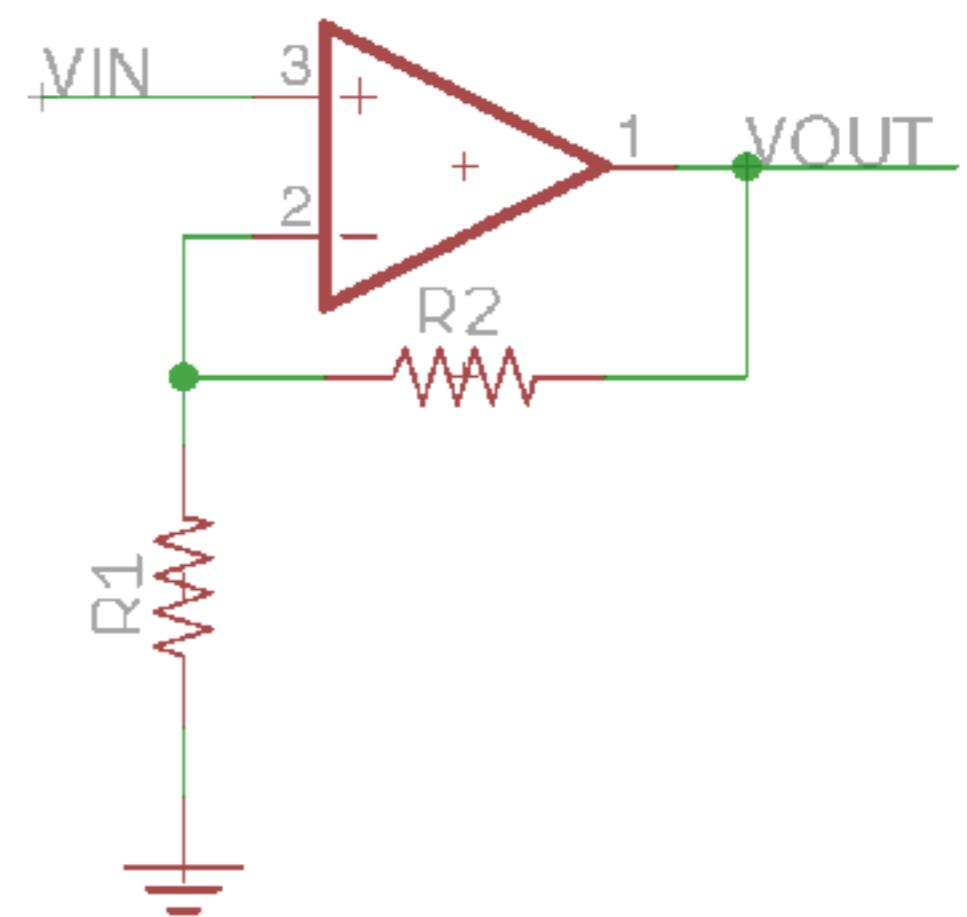
$$V_{out} = -V_{in} \frac{R_2}{R_1}$$



Ampli non inverseur

Negative feedback

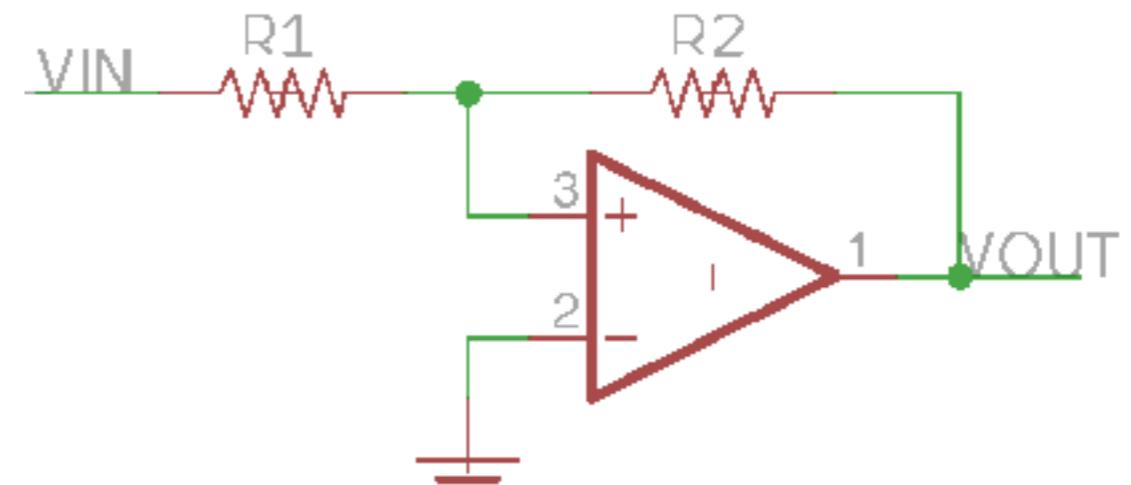
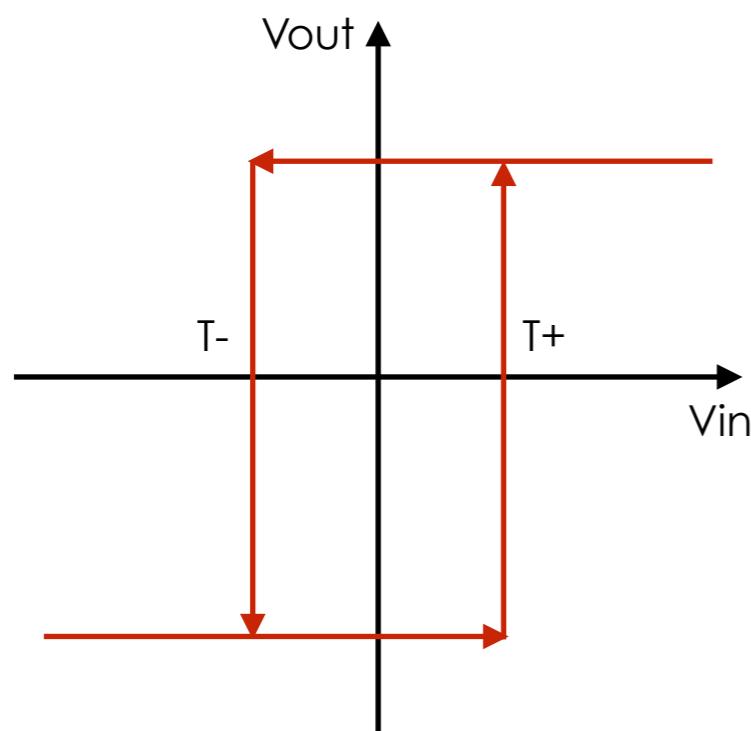
$$V_{out} = V_{in} \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$



Trigger de Schmitt

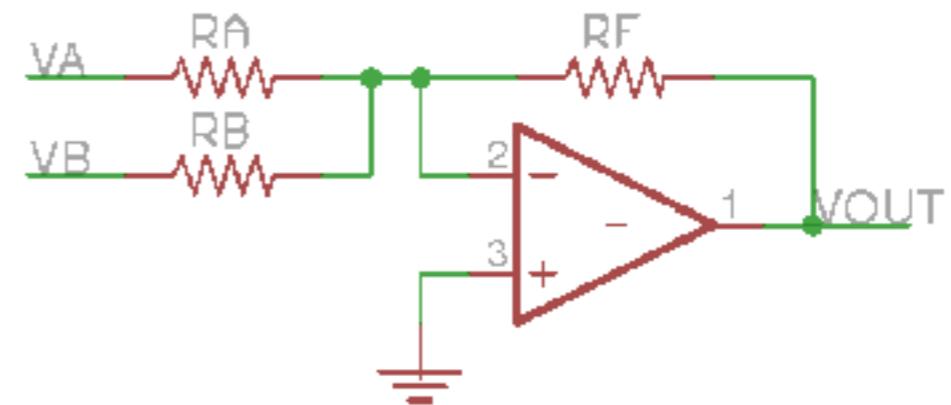
$$V_{T+} = V_{cc} \frac{R_1}{R_2}$$

$$V_{T-} = -V_{cc} \frac{R_1}{R_2}$$



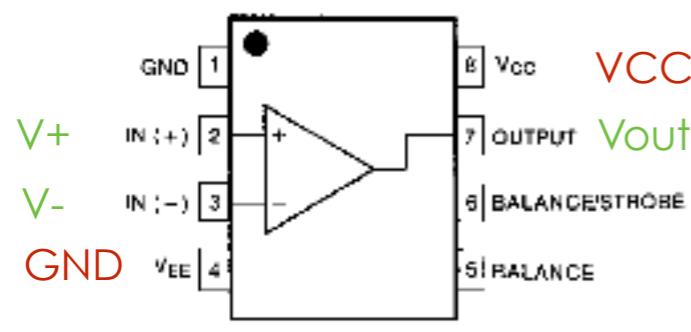
Trigger de Schmitt

$$V_{out} = -\left(\frac{R_f}{R_a}V_a + \frac{R_f}{R_b}V_b\right)$$

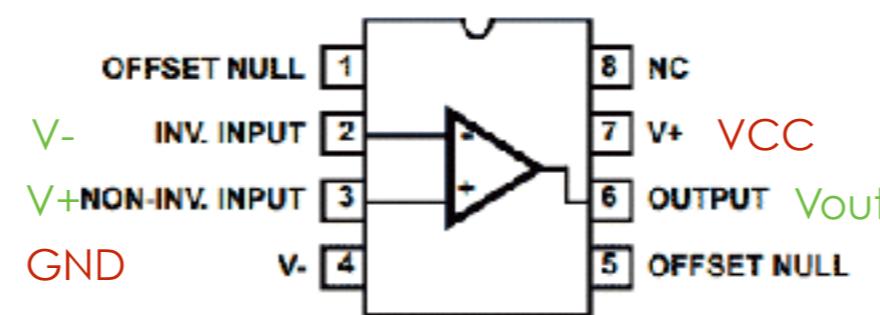


Ampli op

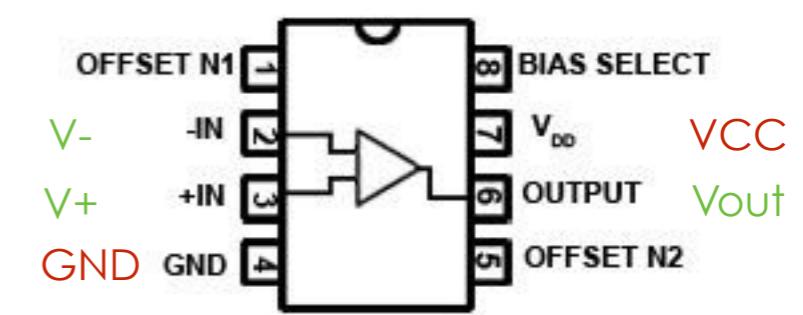
LM311



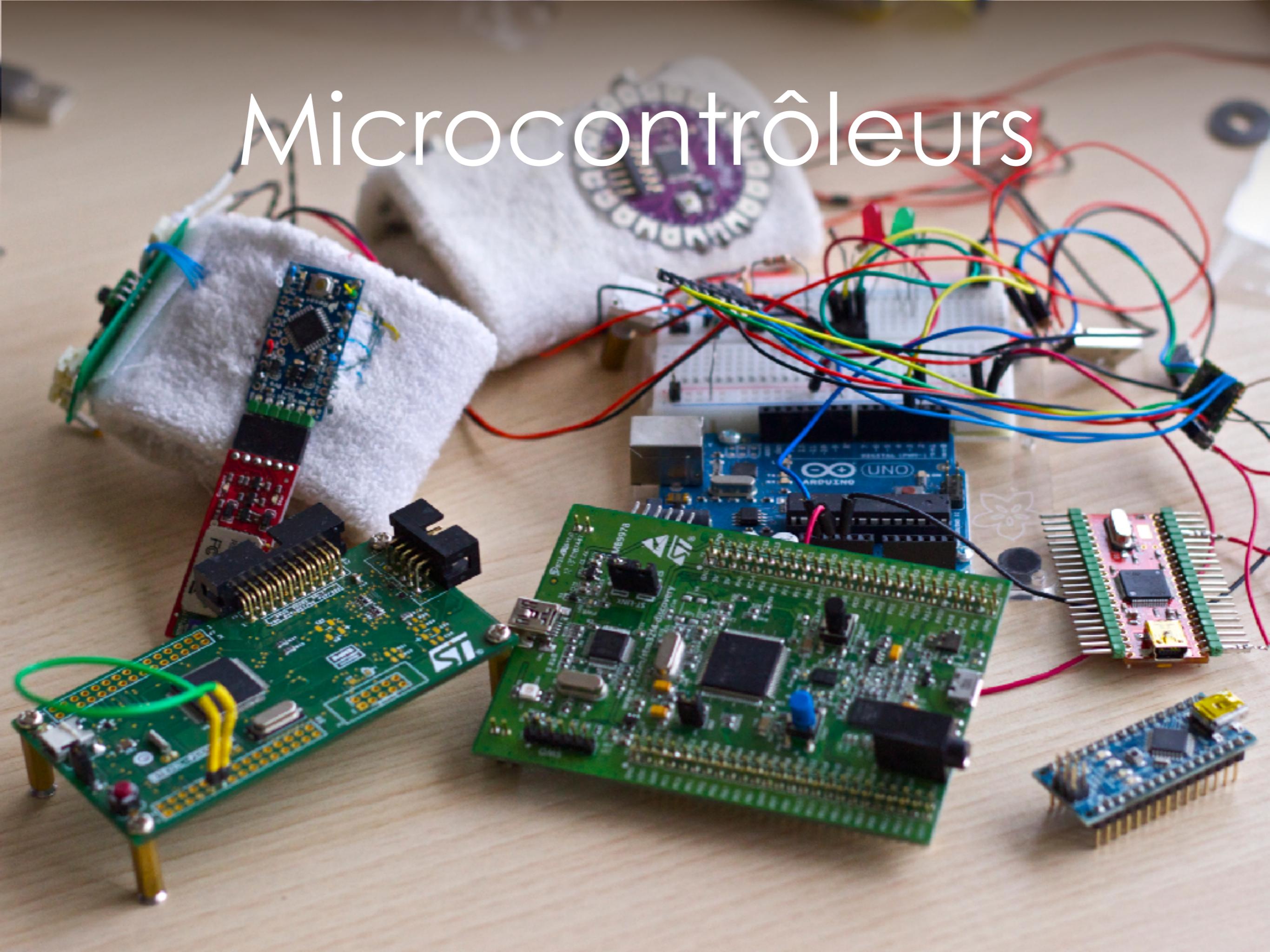
LM741

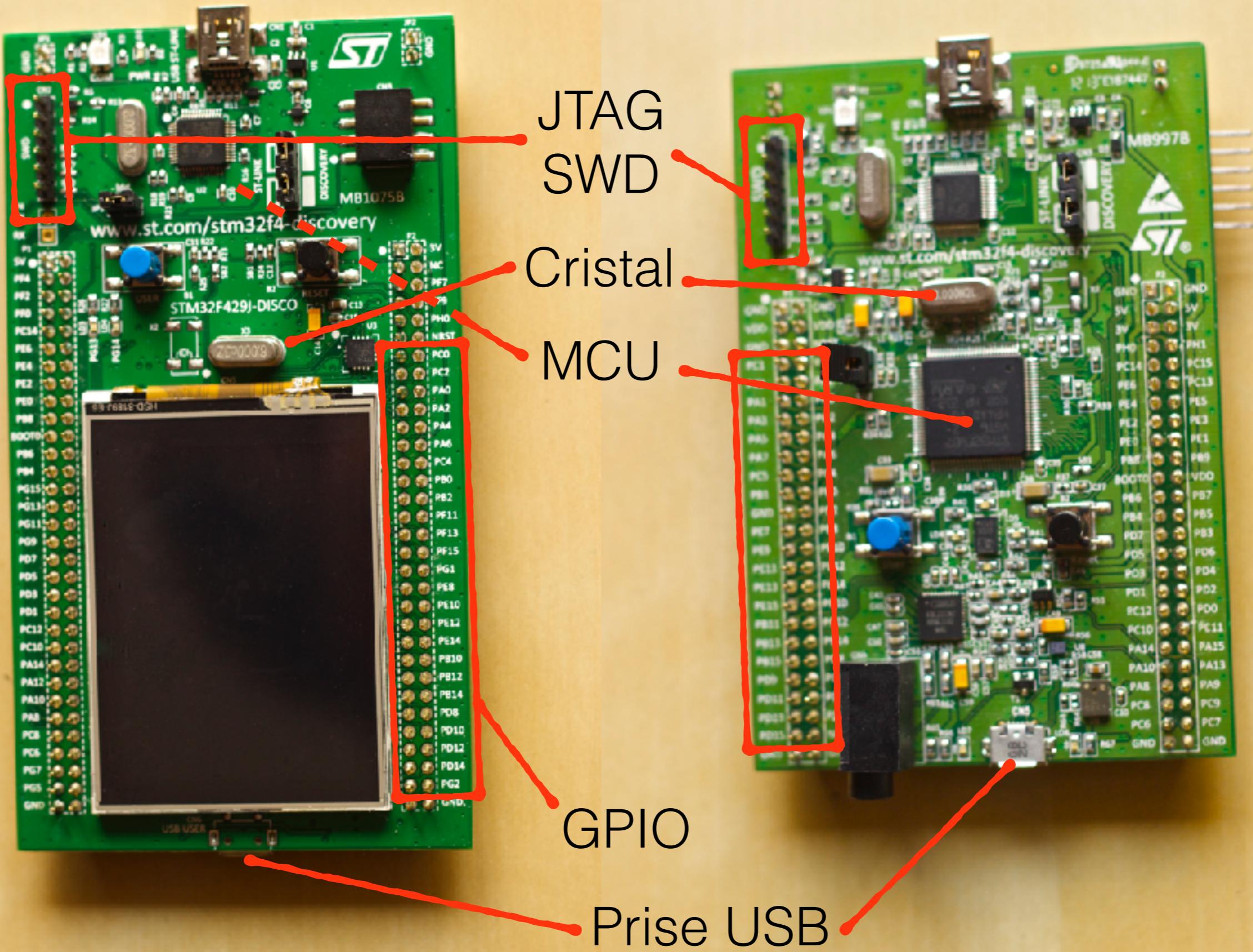


TLC271



Microcontrôleurs





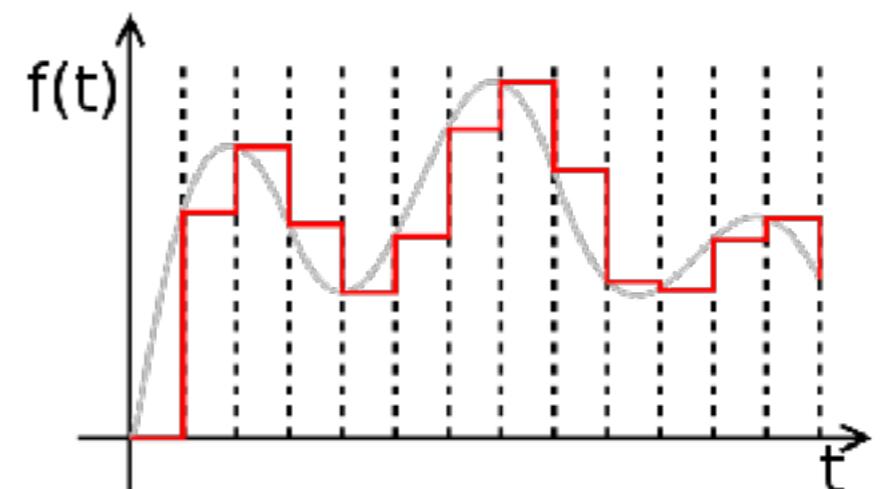
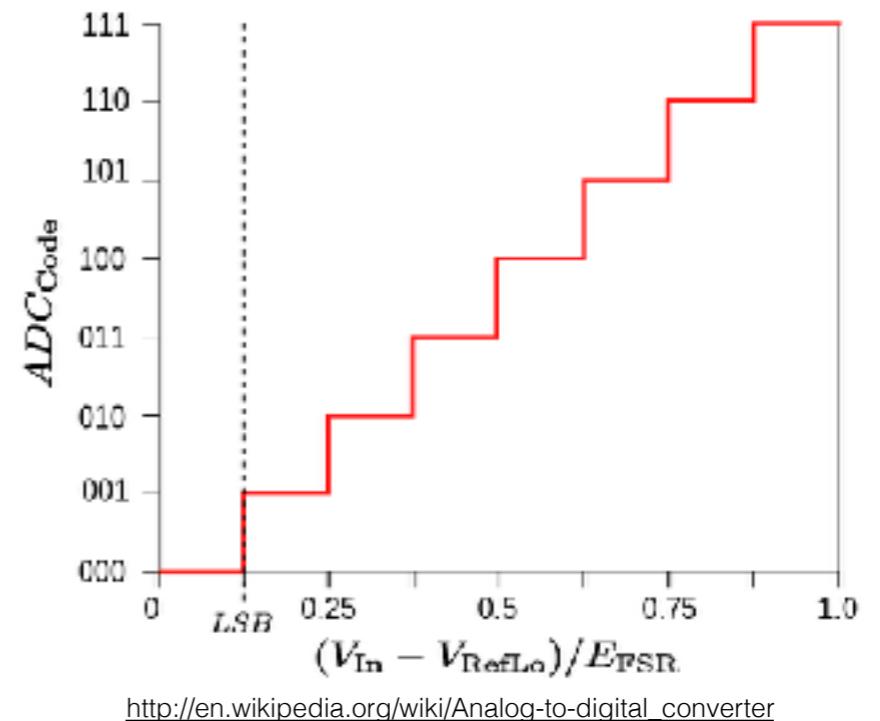
Pins

- ◆ VCC, VDD, V+ : alimentation (+)
- ◆ VEE, VSS, V-, GND : alimentation (-) ou masse
- ◆ BOOT0 : sélection de zone de démarrage
- ◆ RESET/NRESET : reset du circuit
- ◆ PXN (X = lettre, N = chiffre) : GPIO

GPIO

- ◆ General purpose Input Output
- ◆ **Digital** : bit en *Input* ou *Output*
- ◆ **Analogique** :

- ◆ Input : ADC
- ◆ Output : DAC



Timers

- ◆ Compteurs sous forme de registre
 - ◆ Fréquence (fixe)
 - ◆ Pre-scale
 - ◆ Taille de registre : propre à chaque timer
- ◆ Usages :
 - ◆ PWM : générer un signal sur un pin
 - ◆ Output compare : programmer des actions

Timers

$$F = \frac{F_T}{\text{prescale} \times (\text{count} + 1)}$$

- ◆ Chaque signal de clock incrémente le compteur de prescale
- ◆ Si le compte est atteint, retour à 0 et incrémentation du count
- ◆ Si le compte est atteint, retour à 0, interruptions, etc.

Prescale = 2, count = 4

Clock	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Prescale	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
Count	0	0	1	1	2	2	3	3	4	4	0	0	1	1	2	2	3

Timers

$$F = \frac{F_T}{\text{prescale} \times (\text{count} + 1)}$$

Exemple

$F_T = 180\text{MHz}$

Taille de registre 16 bits :

count max : 65535

prescale max : 65535

On veut 10Hz

Timers

$$F = \frac{F_T}{\text{prescale} \times (\text{count} + 1)}$$

Exemple

$$\text{prescale} \geq \frac{180 \cdot 10^6}{10 \times 2^{16}}$$

$$\text{prescale} \simeq 300$$

$$\text{count} = \frac{180 \cdot 10^6}{300 \times 10} - 1$$

$$\text{count} = 59999$$

$F_T = 180\text{MHz}$

Taille de registre 16 bits :

count max : 65535

prescale max : 65535

On veut 10Hz

Timers

$$F = \frac{F_T}{\text{prescale} \times (\text{count} + 1)}$$

Exemple

$F_T = 180\text{MHz}$

Taille de registre 16 bits :

count max : 65535

prescale max : 65535

$$\text{prescale} \geq \frac{180 \cdot 10^6}{10 \times 2^{16}}$$

$$\text{prescale} \simeq 300$$

$$\text{count} = \frac{180 \cdot 10^6}{300 \times 10} - 1$$

$$\text{count} = 59999$$

On veut 10Hz

$$\text{prescale} = 300, \text{count} = 59999$$

OU

$$\text{prescale} = 600, \text{count} = 29999$$

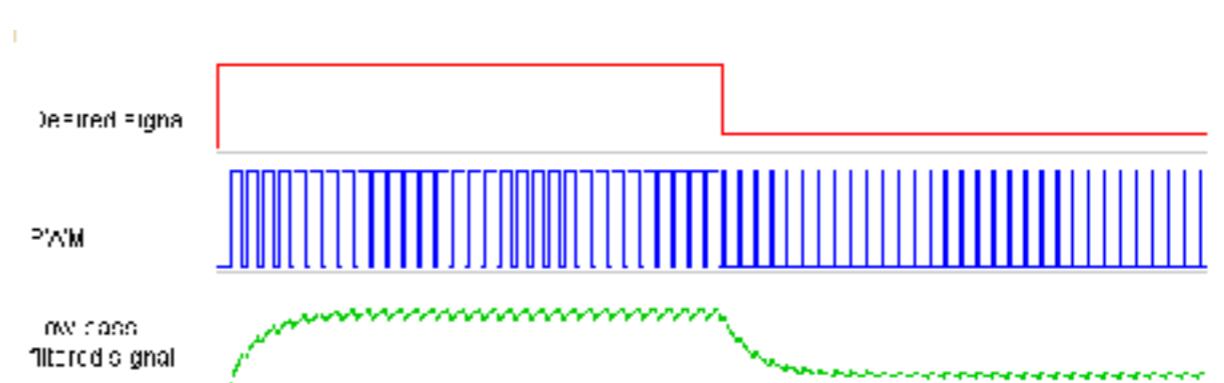
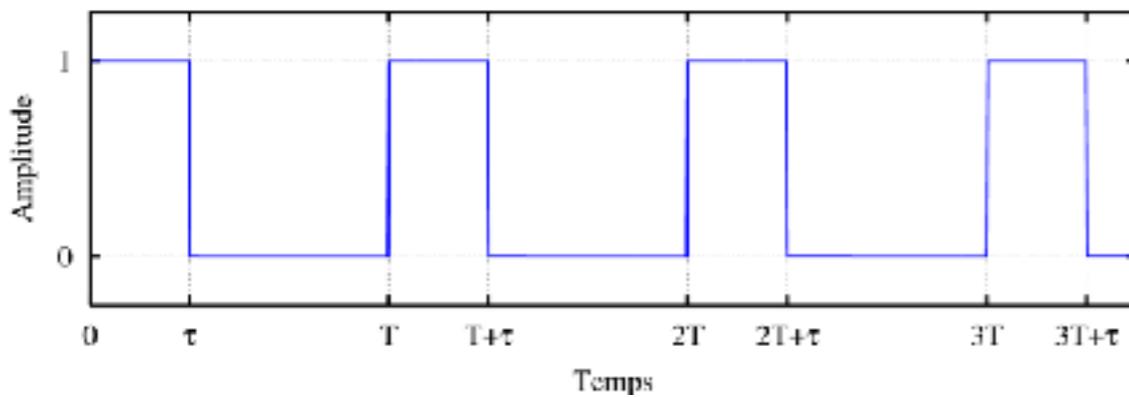
OU

$$\text{prescale} = 1200, \text{count} = 14999$$

...

PWM

- ◆ Pulse-Width Modulation (Modulation de Largeur d'Impulsion)
- ◆ Rapport cyclique : ON / (ON + OFF)
- ◆ DAC en ajoutant un filtre passe-bas
 - ◆ un haut parleur a une impédance suffisante pour se passer de filtre passe-bas



http://fr.wikipedia.org/wiki/Rapport_cyclique

Fast PWM

OCRnA/OCRnB

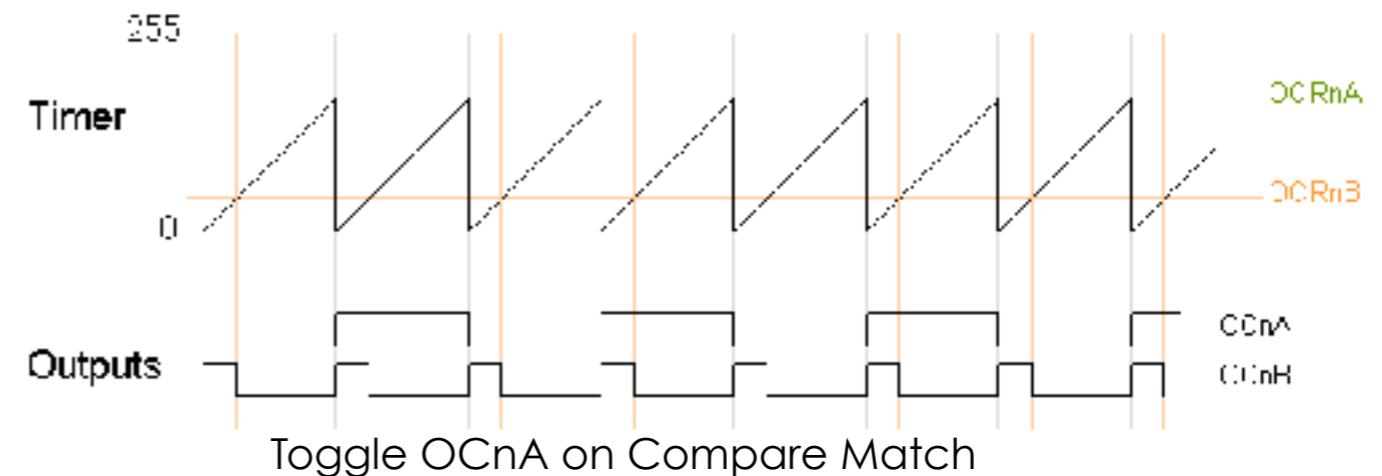
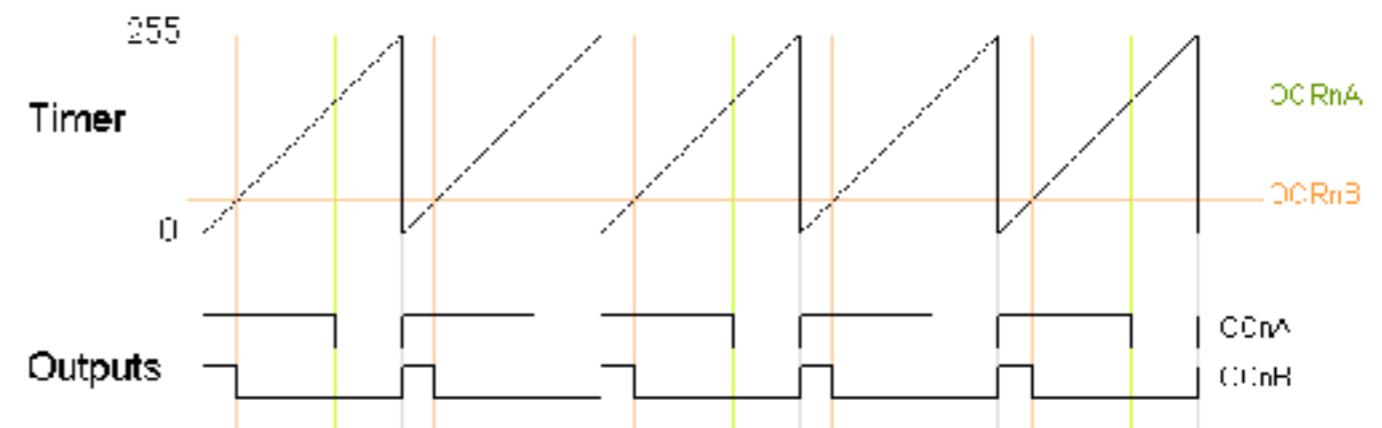
registres de comparaison

OCnA/OCnB

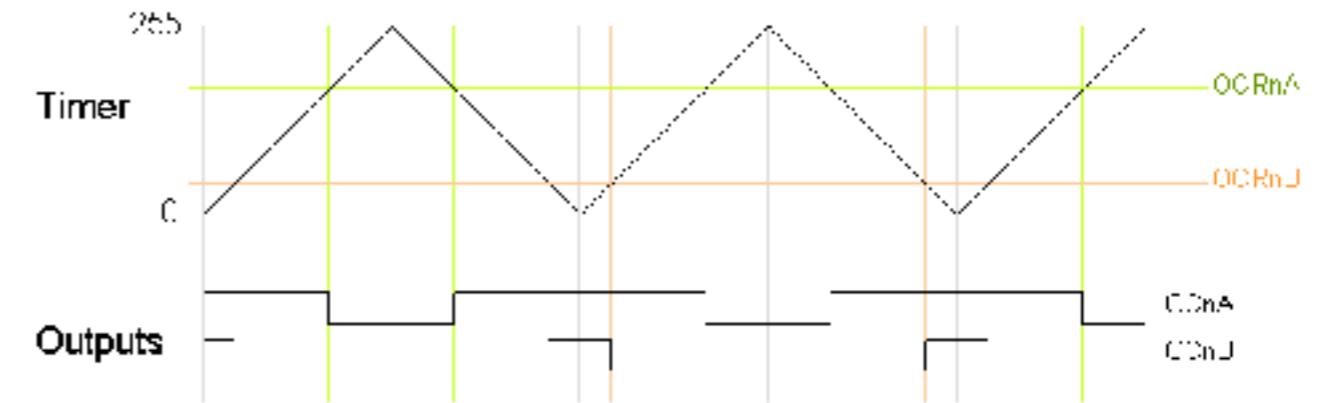
sorties

Rapide

La phase varie

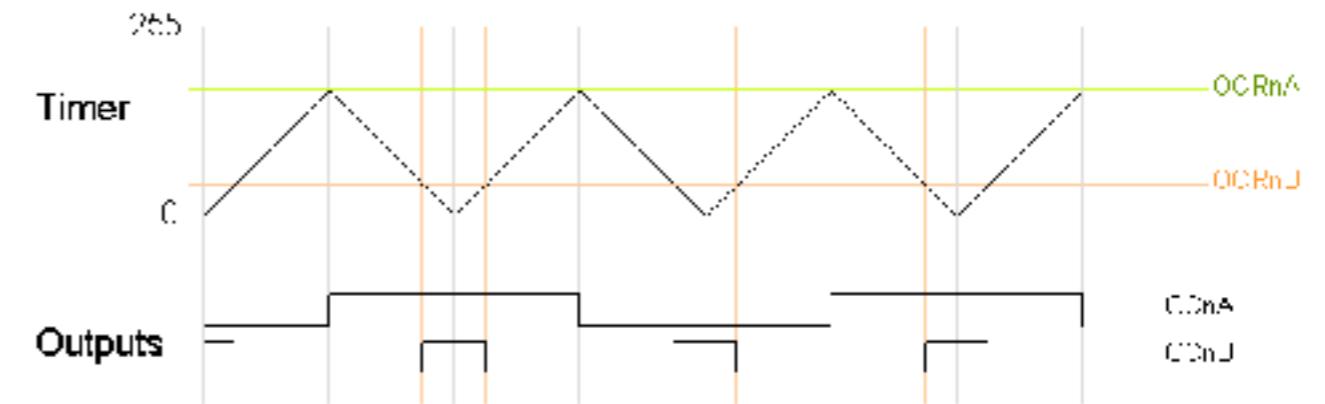


Phase correct PWM



Plus lent

La période est fixe



Bus

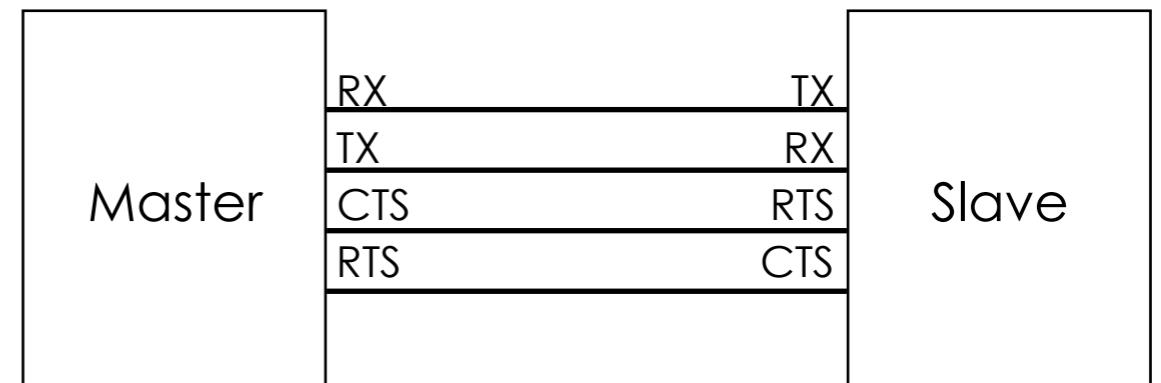
- ◆ Communication entre MCU
- ◆ Communication avec un PC
- ◆ Sérialisation / parallélisation

UART/USART

Universal (Synchronous/)Asynchronous Receiver Transceiver

Protocole RS 232 (port série PC)

- ◆ RX : réception
- ◆ TX : transmission
- ◆ RTS : prêt à écouter
- ◆ CTS : horloge



RTS/CTS optionnels

Le maître et l'esclave doivent être configurées de la même façon

SPI

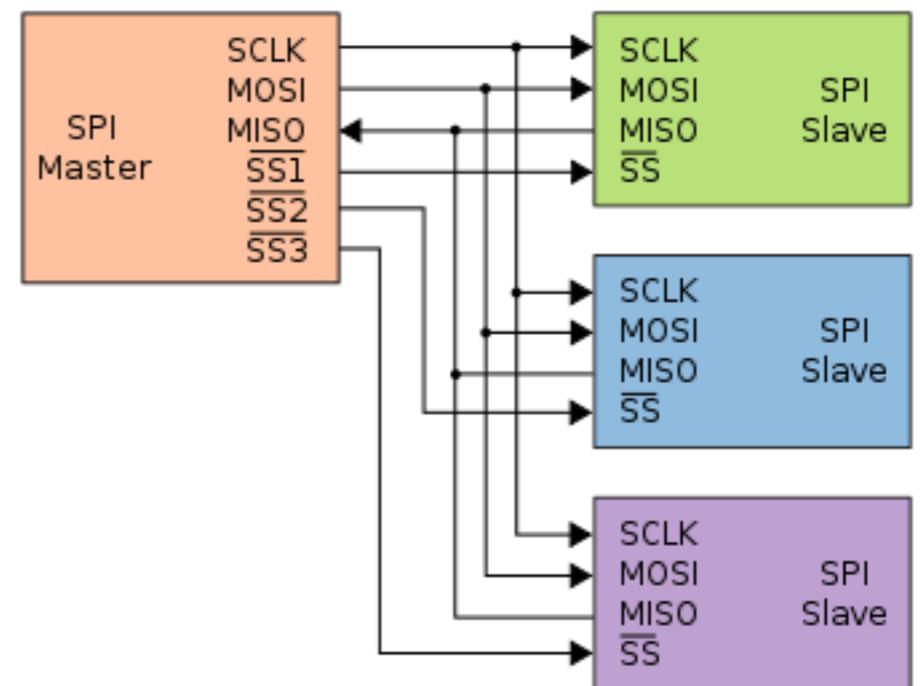
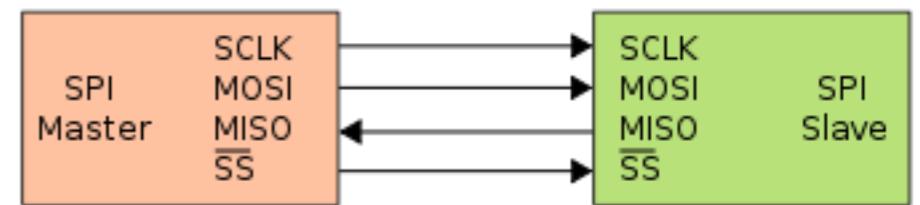
Serial Peripheral Interface

- ◆ SS/CS : slave select
- ◆ SCK : horloge
- ◆ MISO/SDO : multiple in, single out/serial data out
- ◆ MOSI/SDI multiple out, single in/serial data in

Rapide

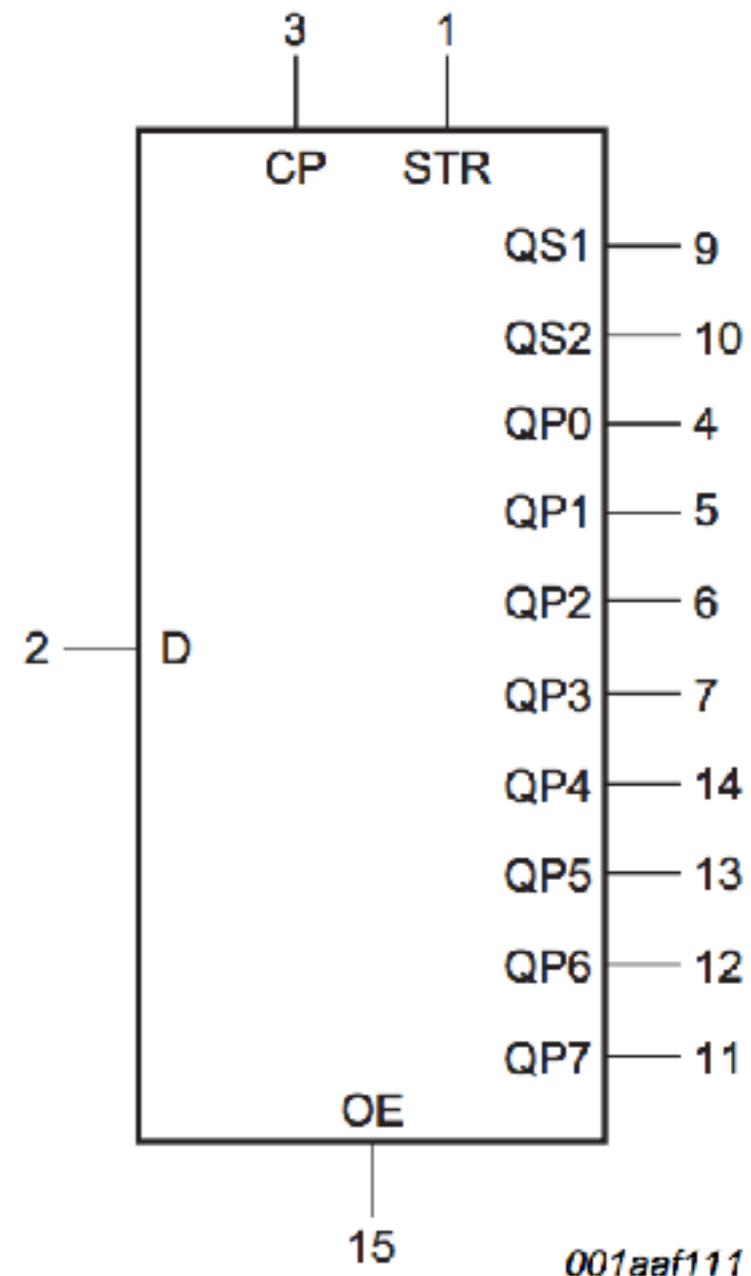
Bi-directionnel

Petites distances



Registre à décalage

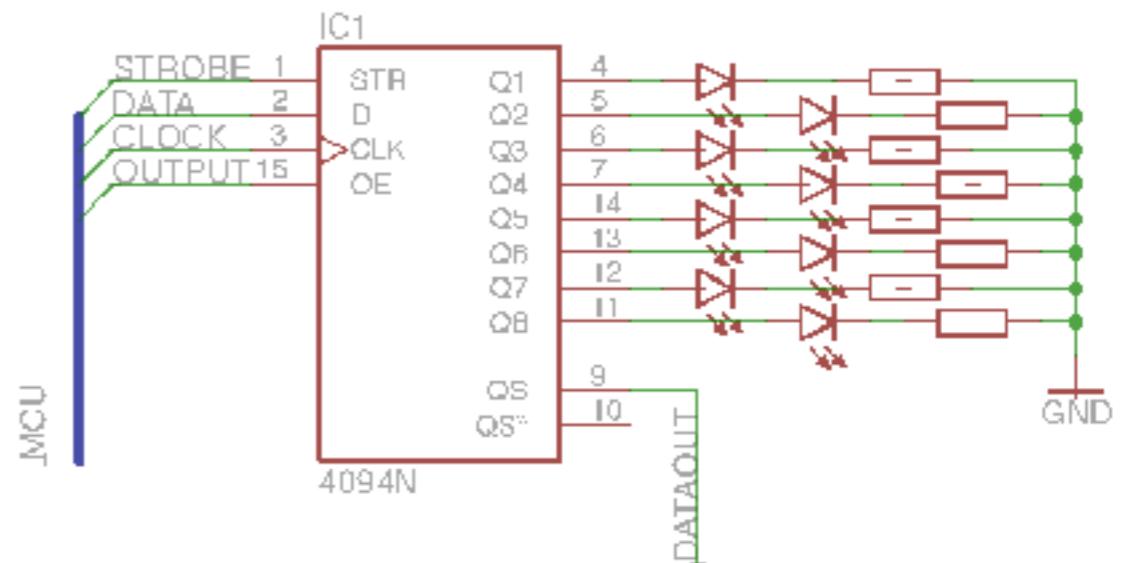
- ◆ CP : horloge
- ◆ D : données (en série)
- ◆ STR : enregistrement dans un registre
- ◆ OE : valeur du registre aux sorties parallèles
- ◆ QP0 - QP7 : sorties parallèles
- ◆ QS1, QS2 : sorties série
- ◆ + / - : alimentation



Registre à décalage

- ◆ Strobe, data, clock, output : du MCU

- ◆ Data : MOSI (SPI)
- ◆ $Q_1 \Rightarrow Q_8$: sorties
- ◆ Q_S : ajouter des sorties
 - ◆ Remplacer data par Q_S
 - ◆ Ajouter Strobe clock et output



Multiplexeur

8 entrées pour contrôler 16 sorties

Registres à décalage

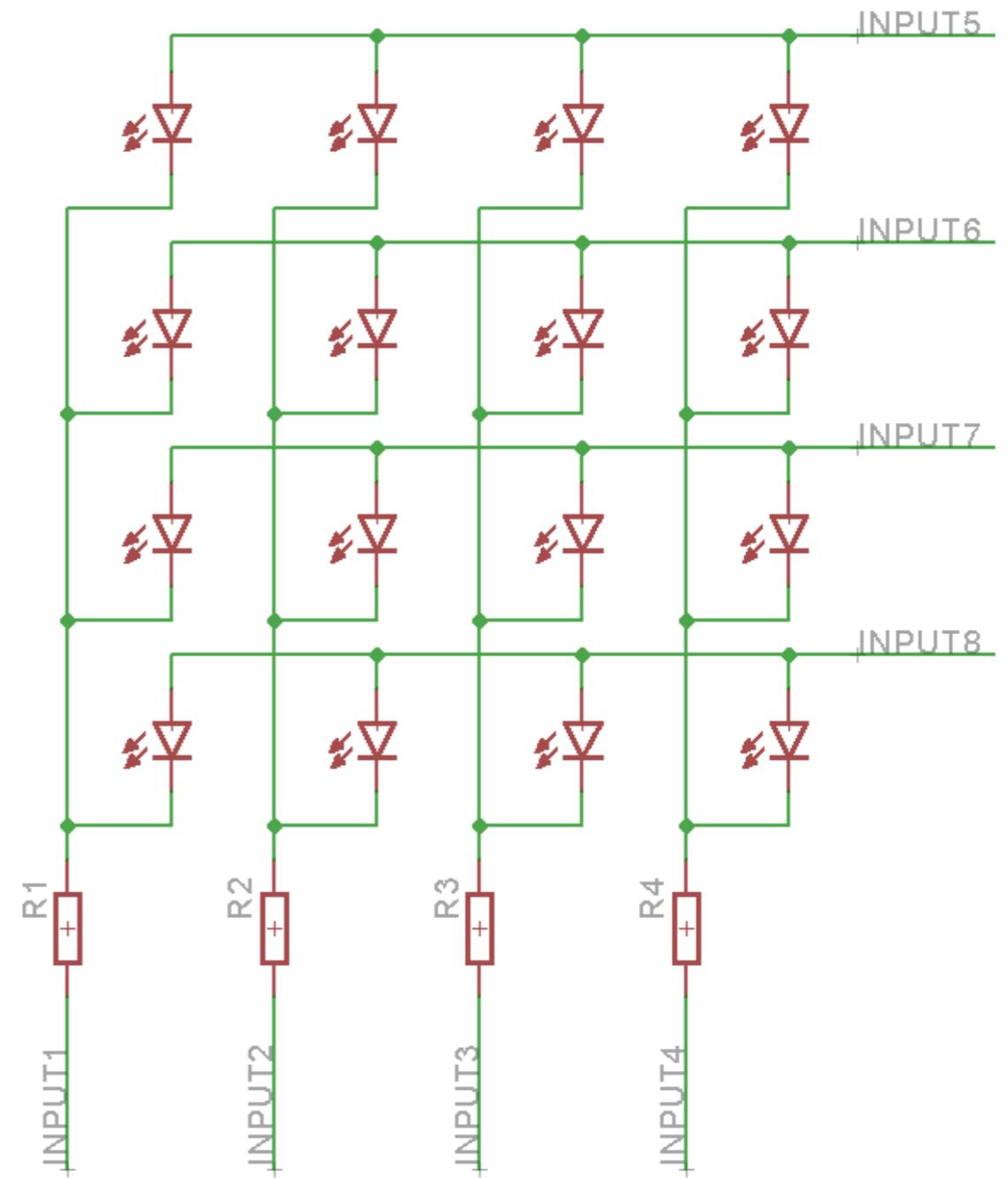
Choix de la led :

Ligne HIGH, colonne LOW

Autres lignes LOW, autres colonnes HIGH

Plusieurs LEDs

Persistante rétinienne



I2C

Inter Integrated Circuit

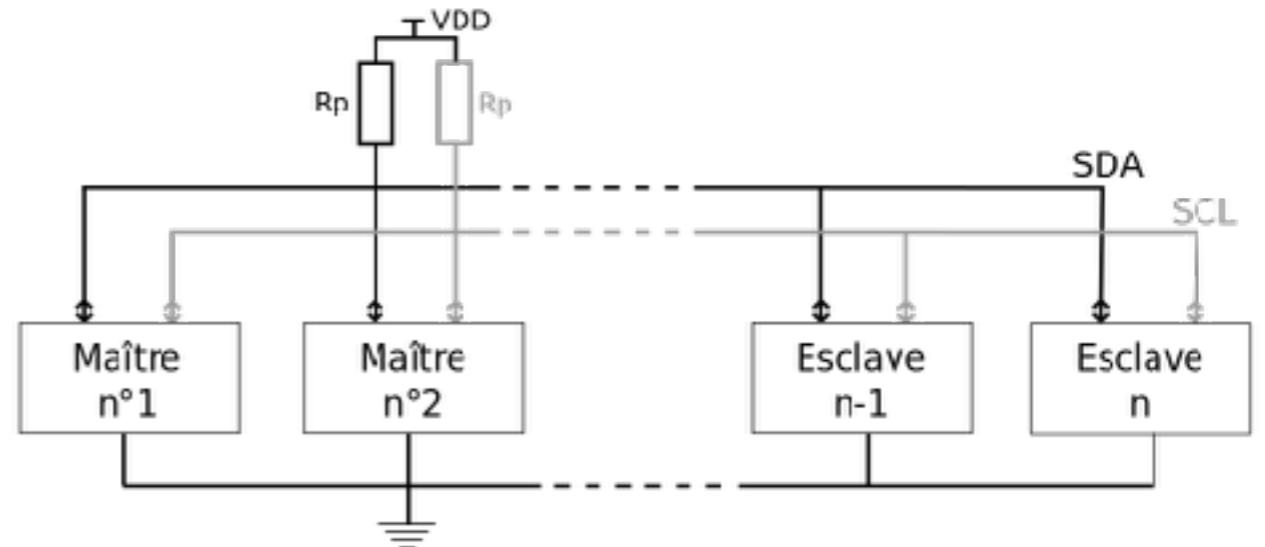
- ◆ SDA : données
- ◆ SCL : horloge

Masse commune

Plus lent que SPI

Peu de fils

Jusqu'à 256 périphérique par bus



<http://fr.wikipedia.org/wiki/I2C>

USB

Universal Serial Bus

- ◆ VCC
- ◆ GND
- ◆ D+
- ◆ D-

Classes

Mass storage

Media Transfer Protocol

Human Interface Devices (HID) : claviers, souris, joysticks, etc.

JTAG/SWD



- ◆ Programmation
- ◆ Débogage pas à pas

