



UNIVERSITÉ DE  
**SHERBROOKE**

## PPPPP02

Comment concevoir un  
Power Delivery Network?

Pascal-Emmanuel Lachance

# Comment protéger une alimentation?

## 1 Comment protéger une alimentation?

- Protection antistatique
- Protection de tension inverse
- Protection de court-circuit
- Protection de inrush current
- Undervoltage Lockout
- Protection complète
- 120V

## 2 Quels sont les types de régulateurs?

## 3 Comment filtrer une alimentation?

## 4 Comment concevoir un arbre d'alimentation?

# Comment protéger une alimentation?

## 1 Comment protéger une alimentation?

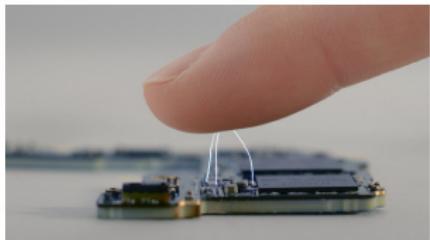
- Protection antistatique
- Protection de tension inverse
- Protection de court-circuit
- Protection de inrush current
- Undervoltage Lockout
- Protection complète
- 120V

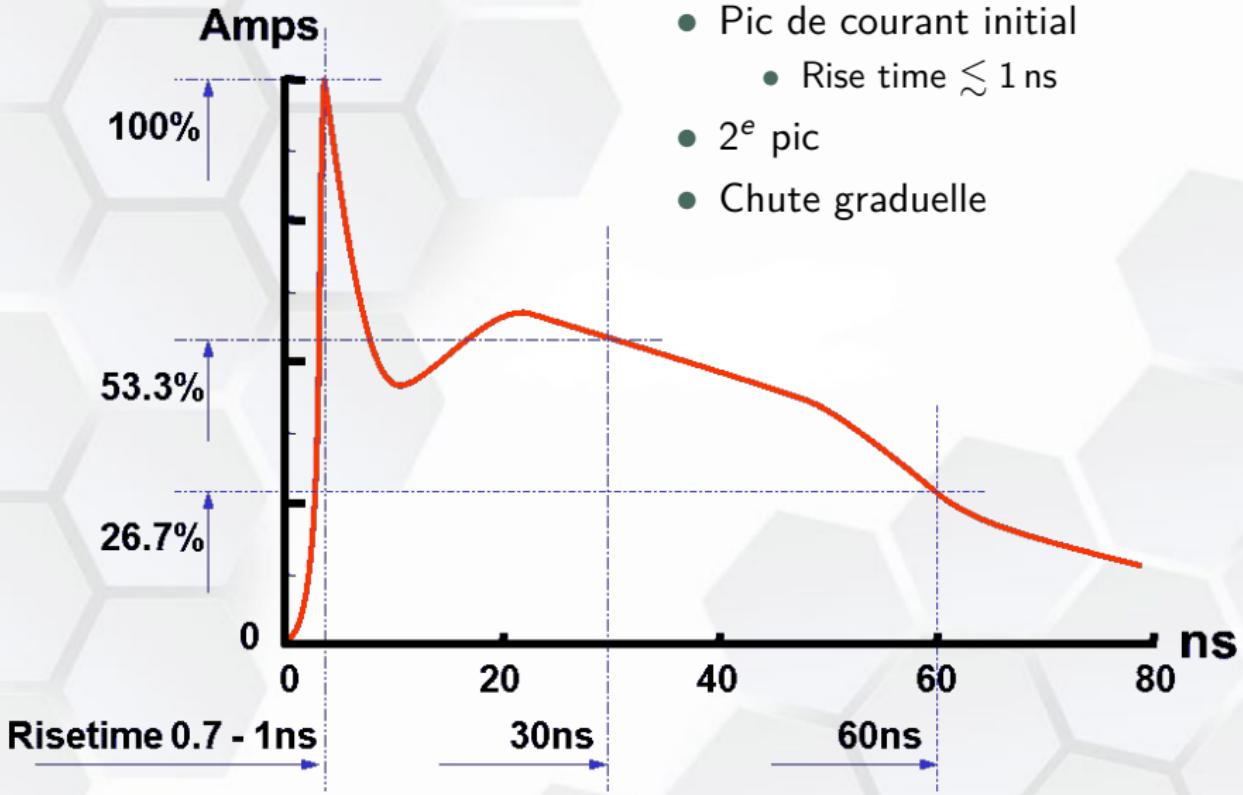
## 2 Quels sont les types de régulateurs?

## 3 Comment filtrer une alimentation?

## 4 Comment concevoir un arbre d'alimentation?

- Norme IEC-61000-4-2
  - Types de décharges
  - Méthodologies de tests & certification
  - 4 catégories de produits
  - Jusqu'à  $\pm 8 \text{ kV}$  /  $\pm 15 \text{ kV}$
- Deux types de chocs statiques
  - **Contact Discharge** - Toucher directement chaque pin avec un ESD gun
  - **Air Discharge** - ESD gun proche du DUT jusqu'à décharge

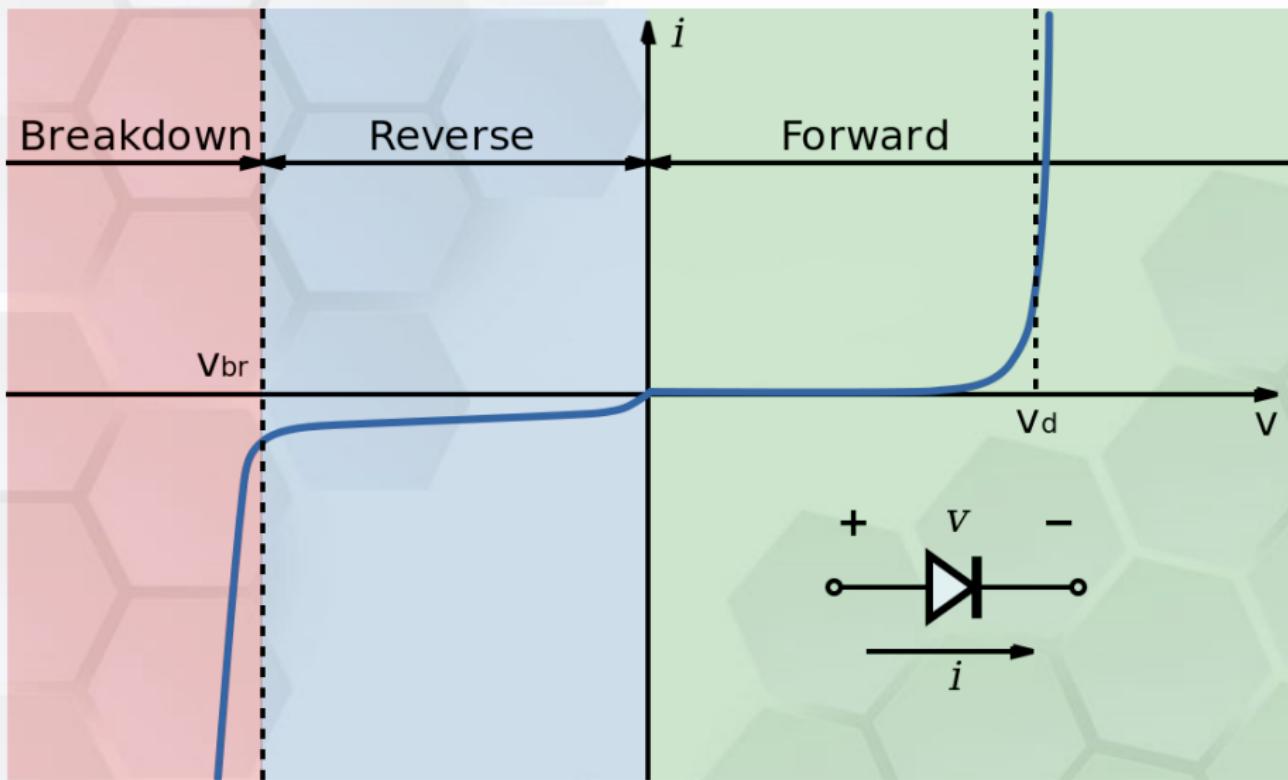




  $i_{\text{ESD}}(t) \rightarrow 8 \text{ kV}$

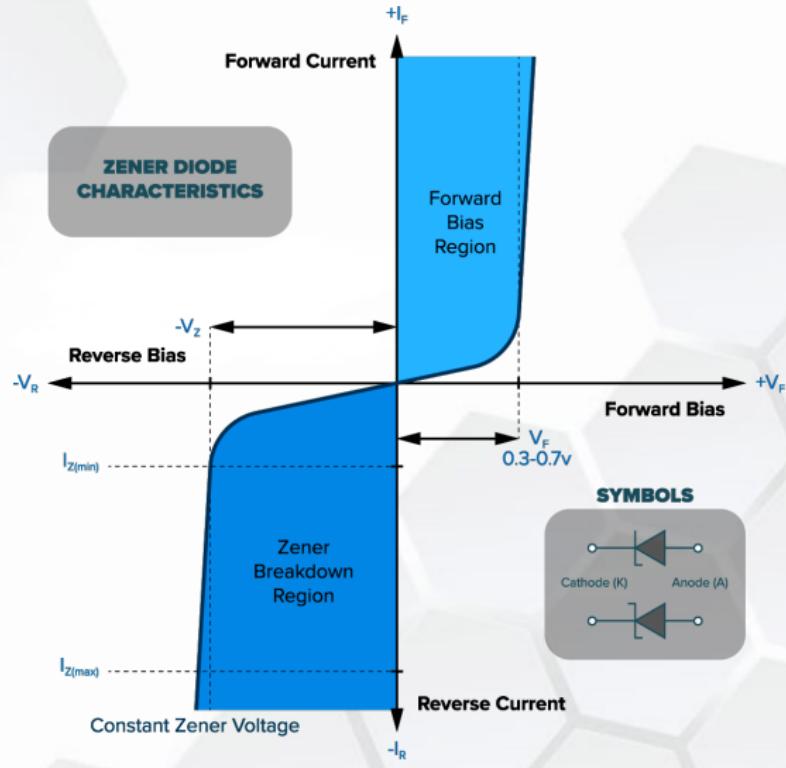


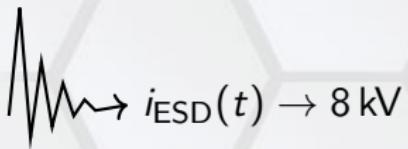
# Diode Normale - IV Curve



- Faite pour être mise à l'envers!

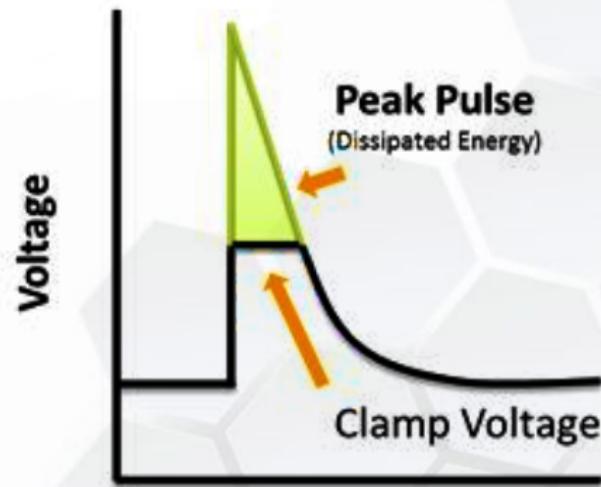
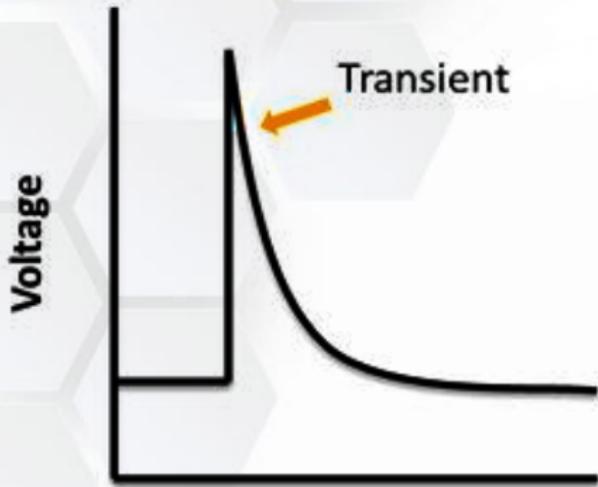
- $V_Z$  contrôlé
- Beaucoup de courant en avalanche
- N'endommage pas la diode
- Utilisé dans des références de tension
- Utilisé comme protection antistatique



 $i_{\text{ESD}}(t) \rightarrow 8 \text{ kV}$



- Clamp le pulse à  $V_Z$
- Protège les dispositifs par apprès
- Pas l'option la plus rapide
- Ne protège pas contre un pulse négatif



# Circuit protégé antistatiquement - TVS

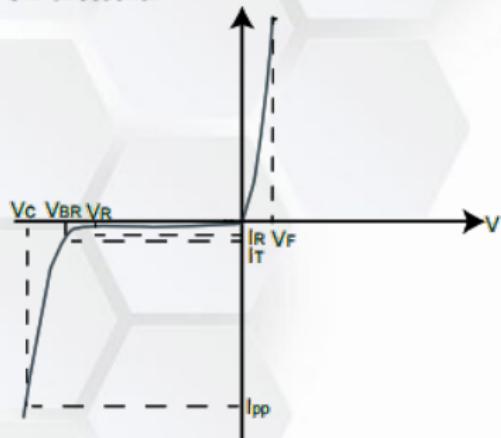


$i_{\text{ESD}}(t) \rightarrow \pm 8 \text{ kV}$



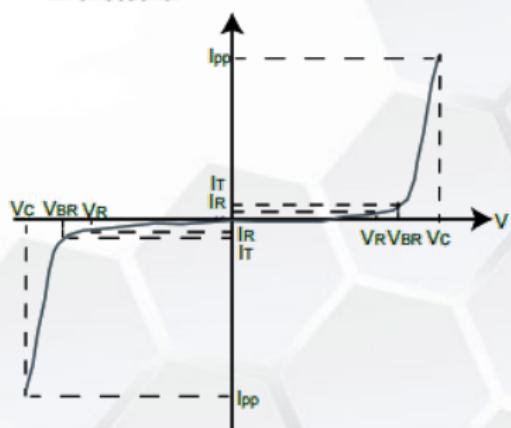
- Faite pour protection antistatique!
- Bidirectionnel!!

Uni-directional



- Deux diodes Zener qui se font face
- $iv$  curve symétrique

Bi-directional



  $i_{\text{ESD}}(t) \rightarrow \pm 8 \text{ kV}$



# Comment protéger une alimentation?

## 1 Comment protéger une alimentation?

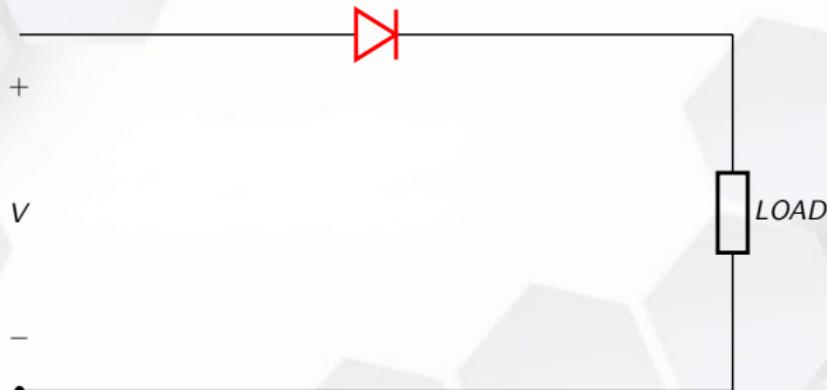
- Protection antistatique
- **Protection de tension inverse**
- Protection de court-circuit
- Protection de inrush current
- Undervoltage Lockout
- Protection complète
- 120V

## 2 Quels sont les types de régulateurs?

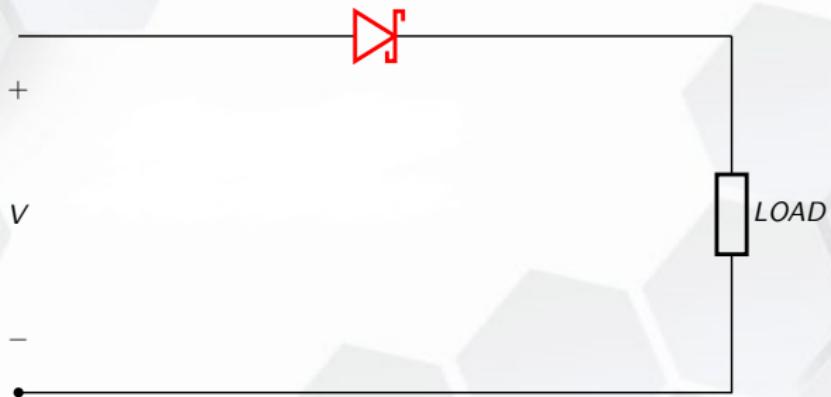
## 3 Comment filtrer une alimentation?

## 4 Comment concevoir un arbre d'alimentation?

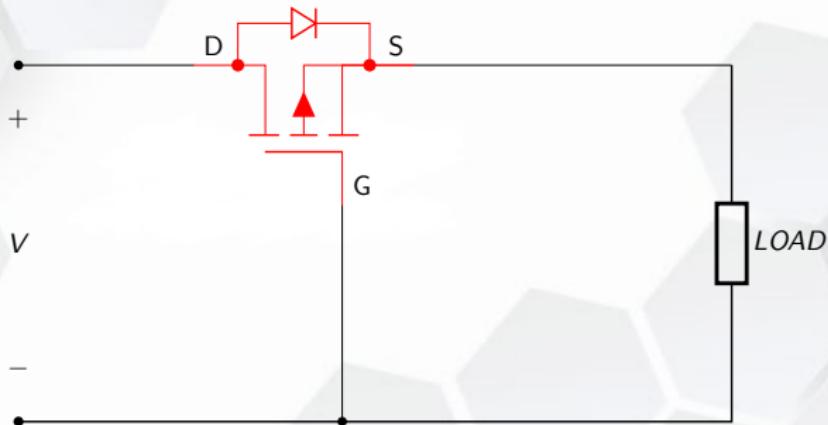
- Ne conduit que dans un sens
- Drop de tension  $V_f$
- $P = I \cdot V_f$



- Ne conduit que dans un sens
- Drop de tension  $V_f$  plus petite
- $P = I \cdot V_f$
- Plus cher pour même rating de courant



- Ne conduit que dans un sens
- Drop de tension vraiment plus petite ( $R_{ds_{on}} \cdot I$ )
- Tension maximale supportée



# Transistor MOSFET P-Channel (PMOS)



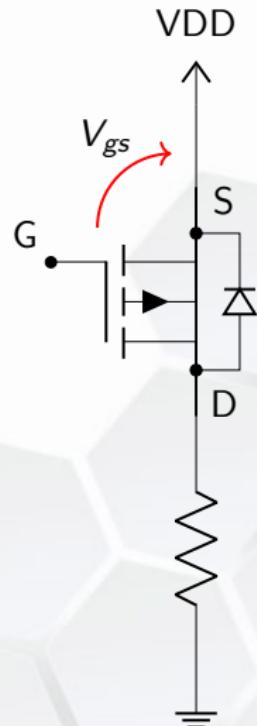
$V_{gs}$  négatif!

$$V_{gs} < -V_t$$

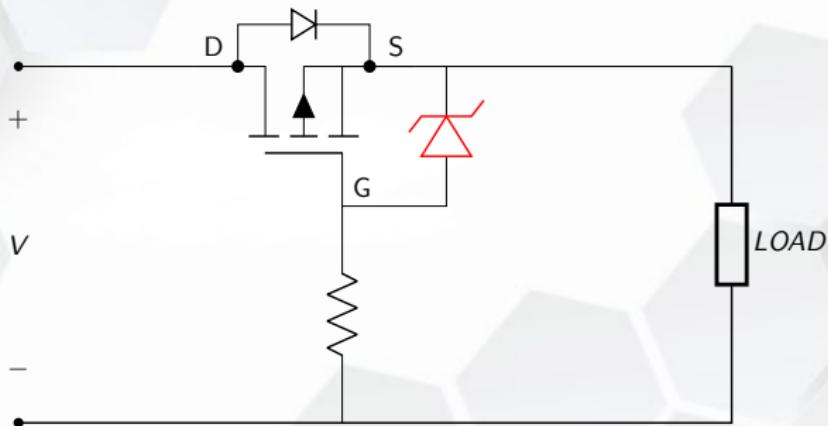
Faire attention au  $V_{gsmax}$

- $V_G = 0 \text{ V}$
- $V_{gs} = -VDD$
- $-VDD < -V_t$
- Conduit!

- $V_G = VDD$
- $V_{gs} = 0 \text{ V}$
- $0 \text{ V} > -V_t$
- Ne conduit pas



- Ne conduit que dans un sens
- Drop de tension vraiment plus petite ( $R_{ds_{on}} \cdot I$ )
- Supporte toutes les tensions!



# Comment protéger une alimentation?

## 1 Comment protéger une alimentation?

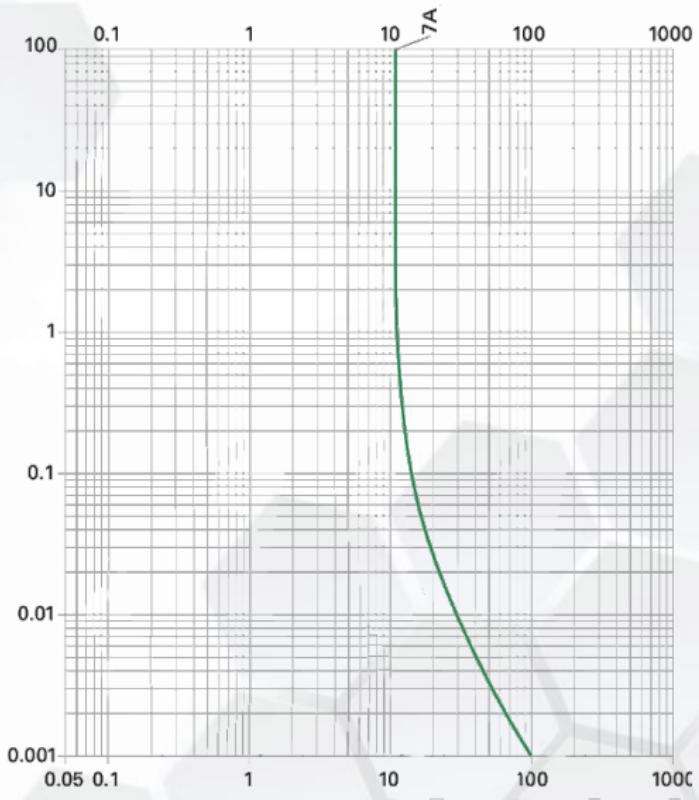
- Protection antistatique
- Protection de tension inverse
- **Protection de court-circuit**
- Protection de inrush current
- Undervoltage Lockout
- Protection complète
- 120V

## 2 Quels sont les types de régulateurs?

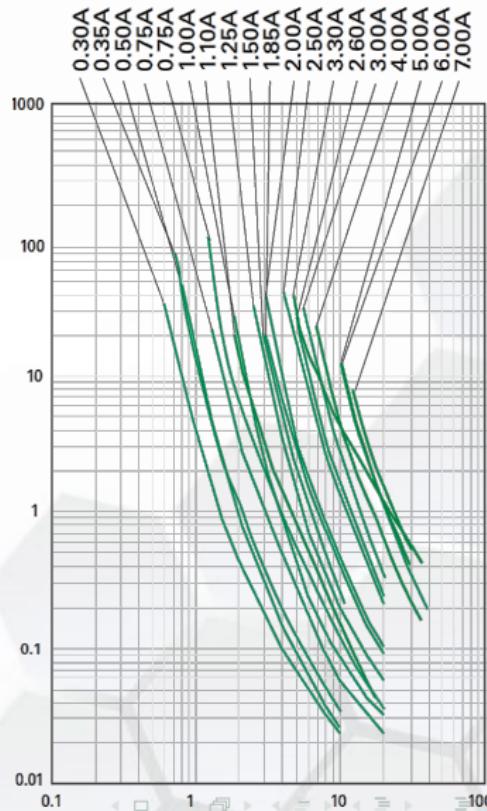
## 3 Comment filtrer une alimentation?

## 4 Comment concevoir un arbre d'alimentation?

- Chauffage d'un filament central
- Coupe un circuit lorsque trop de courant passe
- Usage unique
- Lent à agir



- *Positive Temperature Coefficient*
- Augmente sa résistance alors qu'il chauffe
- Utilisé comme thermistor
- Usage multiple
- Lent à agir
- Prend du temps à se self-reset



# Comment protéger une alimentation?

## 1 Comment protéger une alimentation?

- Protection antistatique
- Protection de tension inverse
- Protection de court-circuit
- **Protection de inrush current**
- Undervoltage Lockout
- Protection complète
- 120V

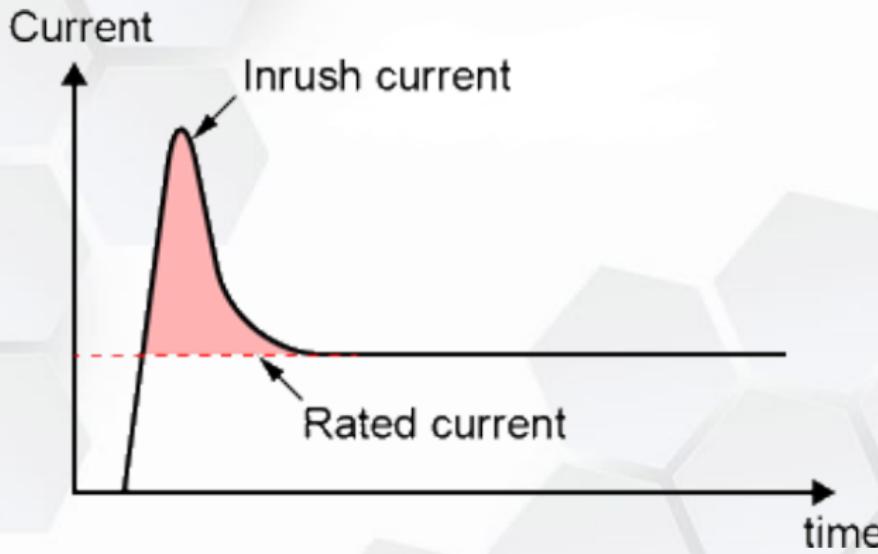
## 2 Quels sont les types de régulateurs?

## 3 Comment filtrer une alimentation?

## 4 Comment concevoir un arbre d'alimentation?

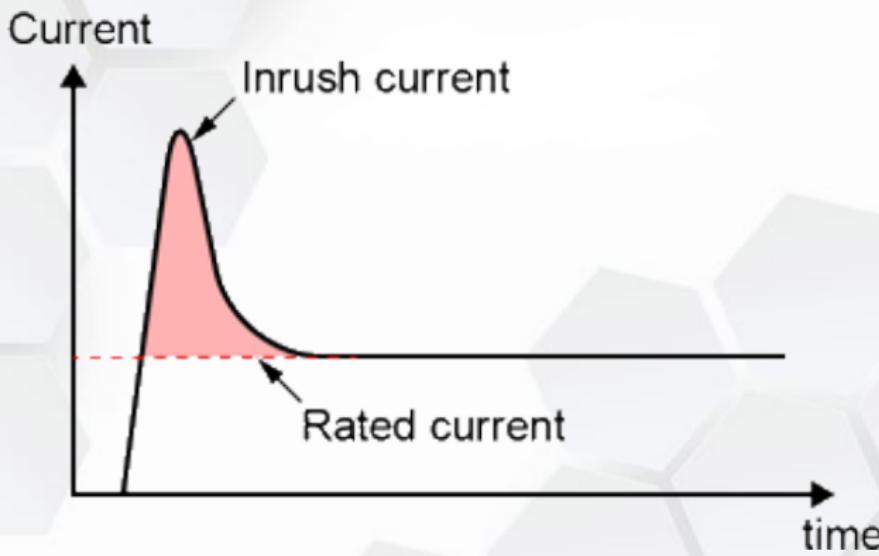
# Inrush Current

- Tous les condensateurs d'un circuit sont des court-circuits
- Courant qui dépasse les spécifications pour charger les condensateurs



# Inrush Current

- Tous les condensateurs d'un circuit sont des court-circuits
- Courant qui dépasse les spécifications pour charger les condensateurs
- Spécification USB 2.0:  $10 \mu\text{F}$



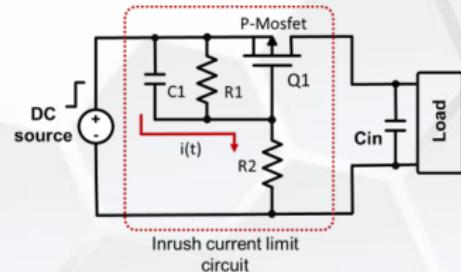
## Comment limiter la surge initiale?

- NTP
  - *Negative Temperature Coefficient*
  - Conduit de plus en plus alors qu'il chauffe!



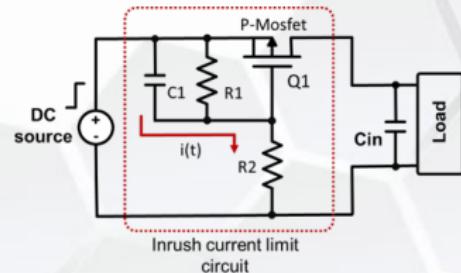
## Comment limiter la surge initiale?

- NTP
  - *Negative Temperature Coefficient*
  - Conduit de plus en plus alors qu'il chauffe!
- Circuit de MOSFET
  - Charge d'un condensateur à la gate
  - Laisse passer de plus en plus de courant

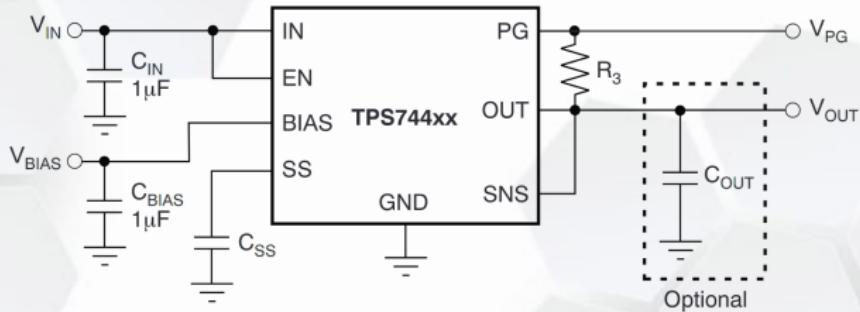
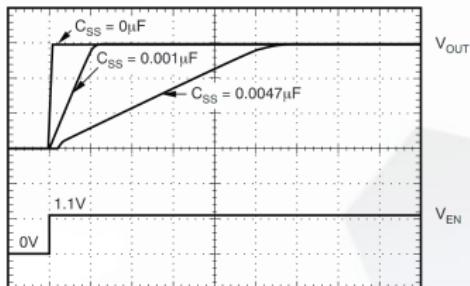


## Comment limiter la surge initiale?

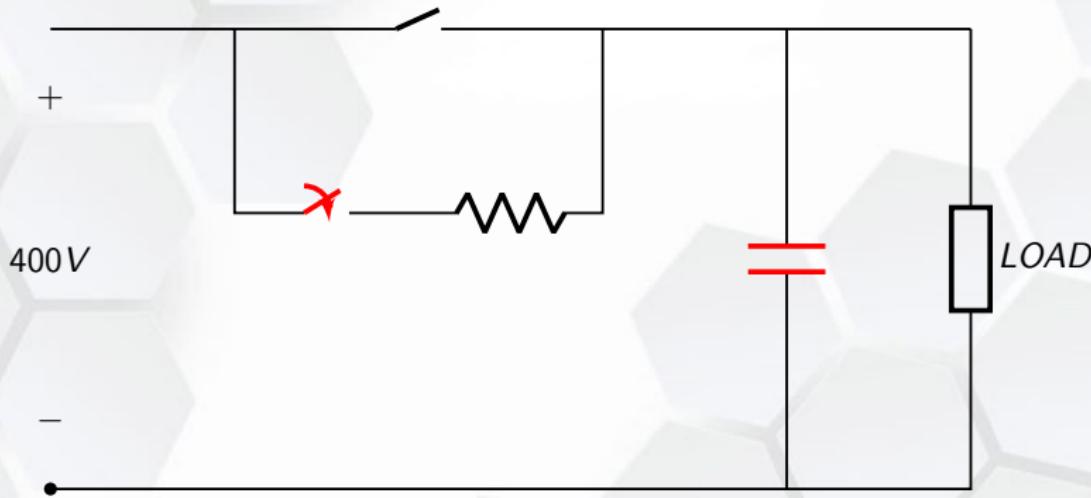
- NTP
  - *Negative Temperature Coefficient*
  - Conduit de plus en plus alors qu'il chauffe!
- Circuit de MOSFET
  - Charge d'un condensateur à la gate
  - Laisse passer de plus en plus de courant
- *Soft-Start*
- *Pre-Charge*



- Fonctionnalité de certains régulateurs de tension
- Pente de la tension de sortie
- Ajustée avec un condensateur  $C_{SS}$



- Pour les systèmes haut-voltage
- Contacteur avec une limite de courant
- Permet de charger les condensateurs
- Activation du contacteur principal après



# Comment protéger une alimentation?

## 1 Comment protéger une alimentation?

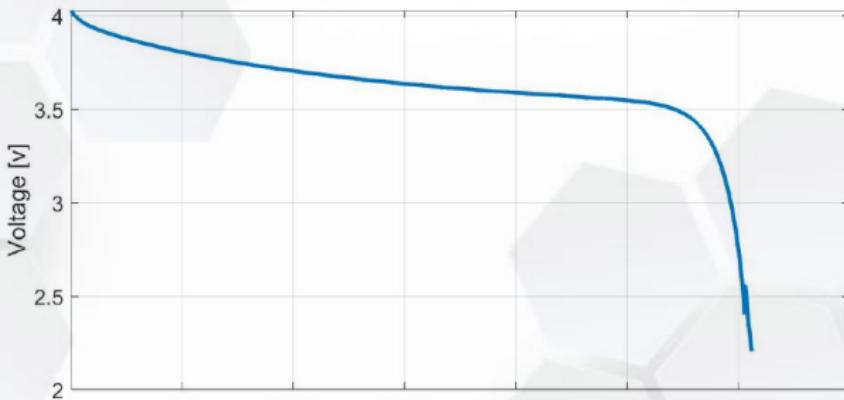
- Protection antistatique
- Protection de tension inverse
- Protection de court-circuit
- Protection de inrush current
- **Undervoltage Lockout**
- Protection complète
- 120V

## 2 Quels sont les types de régulateurs?

## 3 Comment filtrer une alimentation?

## 4 Comment concevoir un arbre d'alimentation?

- 💡 Couper l'alimentation si entrée trop faible
- 🔋 Protection de batterie
- % Efficacité
- ✓ Garantie de fonctionnement
- ⚡ Du OVP (*Overvoltage Protection*) ça existe aussi



# Undervoltage Lockout (UVLO) - Enable

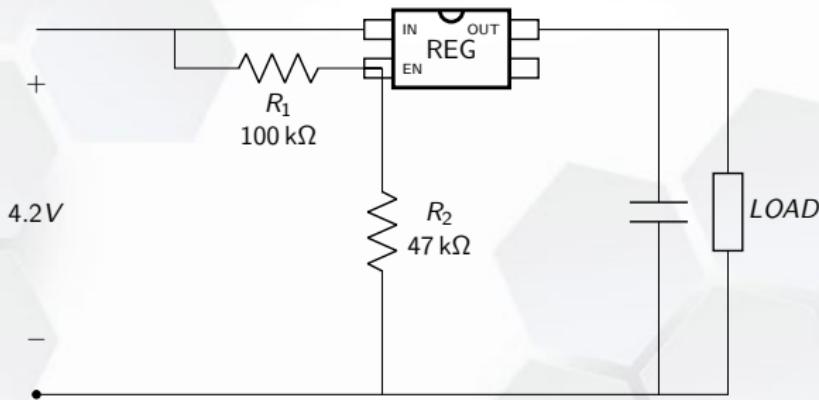


- Batterie  $V_{max} = 4.2\text{ V}$
- Batterie  $V_{min} = 3.7\text{ V}$
- Tension EN  $V_{ref} = 1.2\text{ V}$

Poser  $R_2 = 47\text{ k}\Omega$

$$V_{ref} = V_{min} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$R_1 = 100\text{ k}\Omega$$



# Comment protéger une alimentation?

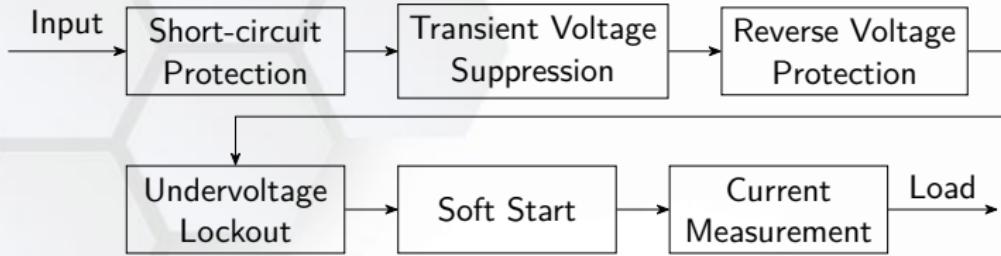
## 1 Comment protéger une alimentation?

- Protection antistatique
- Protection de tension inverse
- Protection de court-circuit
- Protection de inrush current
- Undervoltage Lockout
- **Protection complète**
- 120V

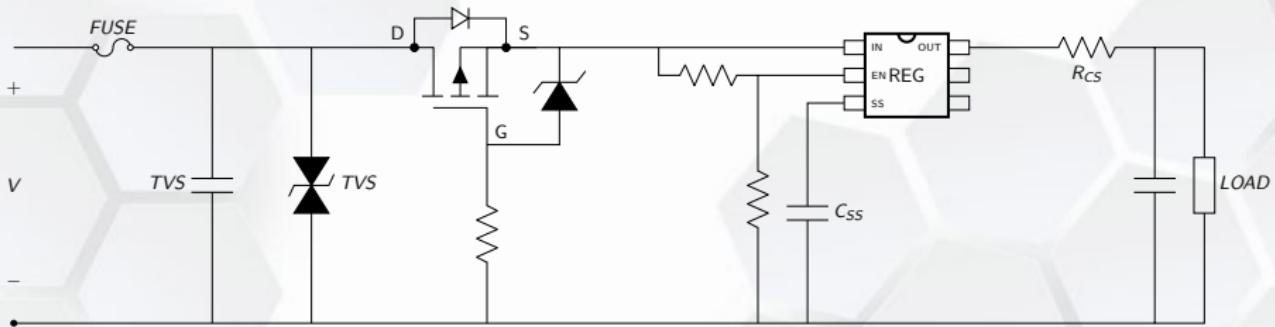
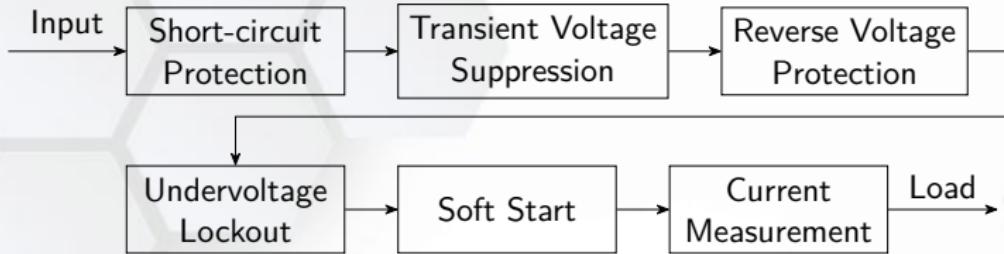
## 2 Quels sont les types de régulateurs?

## 3 Comment filtrer une alimentation?

## 4 Comment concevoir un arbre d'alimentation?



# Protection complète - Circuit électrique



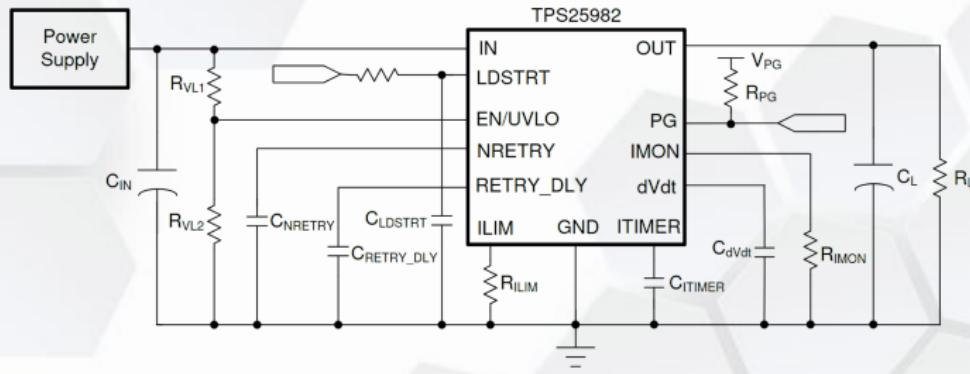
## Catégorie de device:

- *eFuse*
- *Load Switch*
- *Ideal Diode*

## Une seule chip qui:

Catégorie de device:

- eFuse
- Load Switch
- Ideal Diode
- RVP
- TVS
- Short-Circuit
- Current Limit
- Current Monitoring
- Soft-Start
- UVLO / OVP
- Très faibles pertes
- Température



# Comment protéger une alimentation?

## 1 Comment protéger une alimentation?

- Protection antistatique
- Protection de tension inverse
- Protection de court-circuit
- Protection de inrush current
- Undervoltage Lockout
- Protection complète
- 120V

## 2 Quels sont les types de régulateurs?

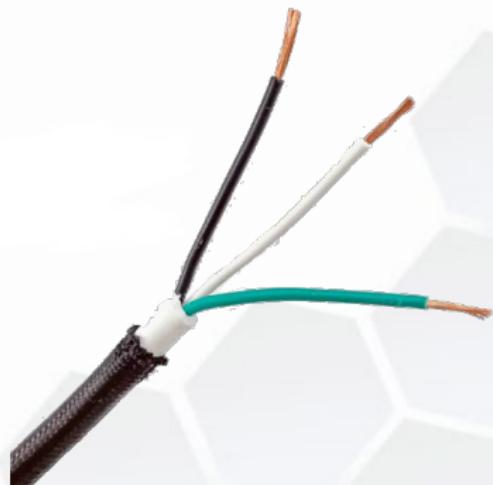
## 3 Comment filtrer une alimentation?

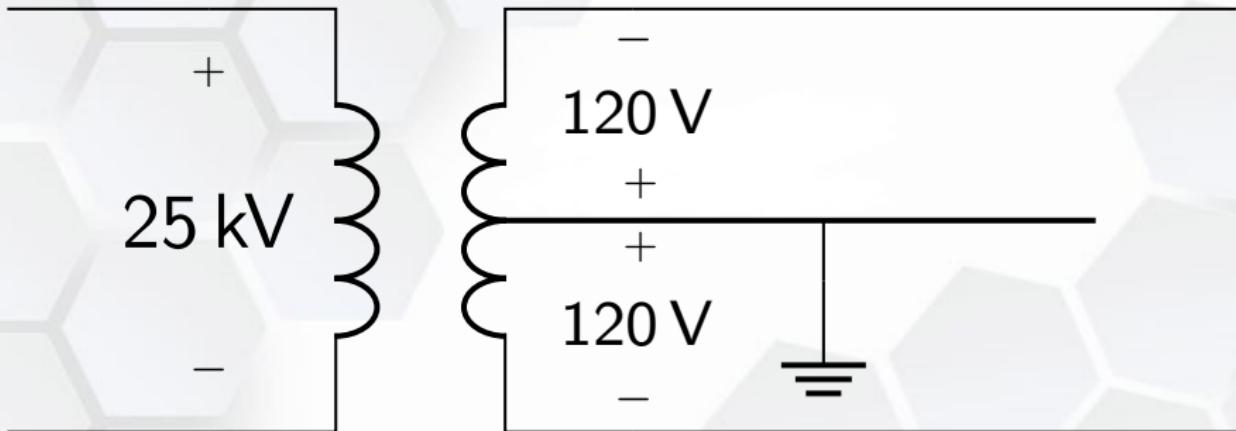
## 4 Comment concevoir un arbre d'alimentation?

- Vivant (*Live*)
- Neutre (*Neutral*)
- Masse (*Ground*)

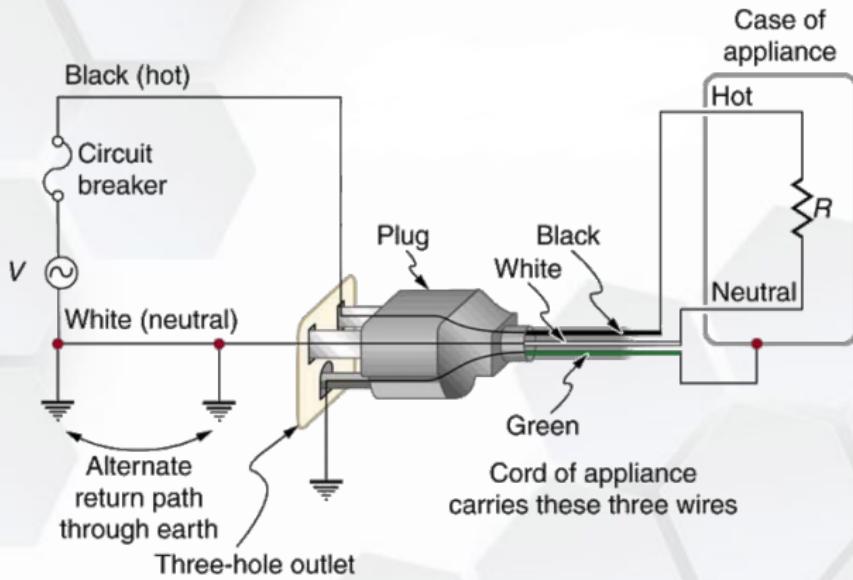


- Vivant (*Live*)
  - Neutre (*Neutral*)
  - Masse (*Ground*)
- 
- Pas le même GND que dans ton circuit
  - GND du circuit provient du Neutre!
  - **NE PAS CONNECTER ENSEMBLE**

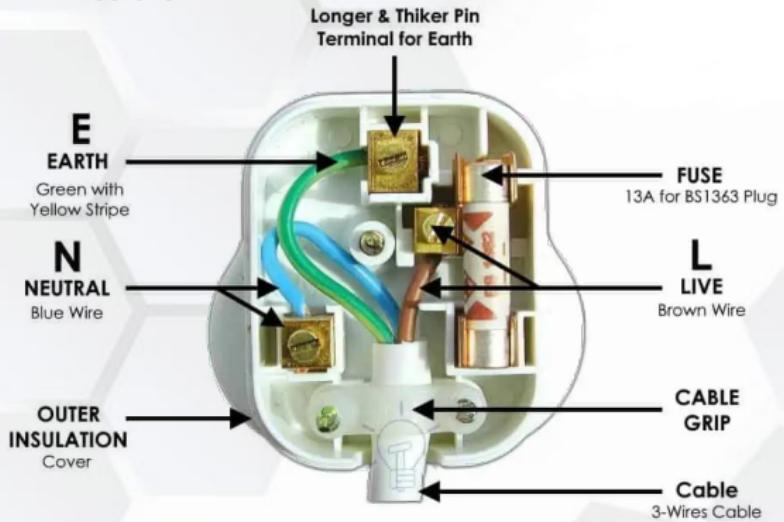




- Grounder les châssis des appareils
- Permet d'éviter d'avoir un châssis connecté au Live
- Retourne se connecter au panneau électrique
- Wiré séparément au Neutre

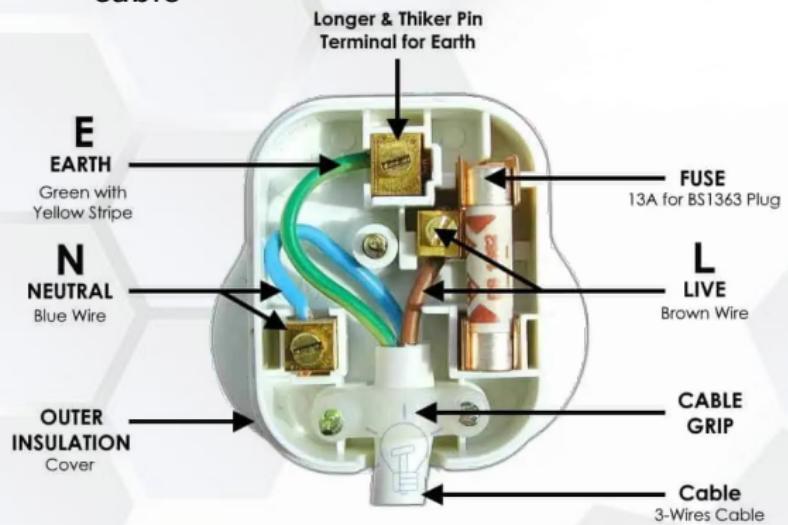


- Garder le fil de GND plus long que les autres
- Mettre le LIVE plus court que les autres
- Toujours mettre du strain relief sur un câble



- Garder le fil de GND plus long que les autres
- Mettre le LIVE plus court que les autres
- Toujours mettre du strain relief sur un câble

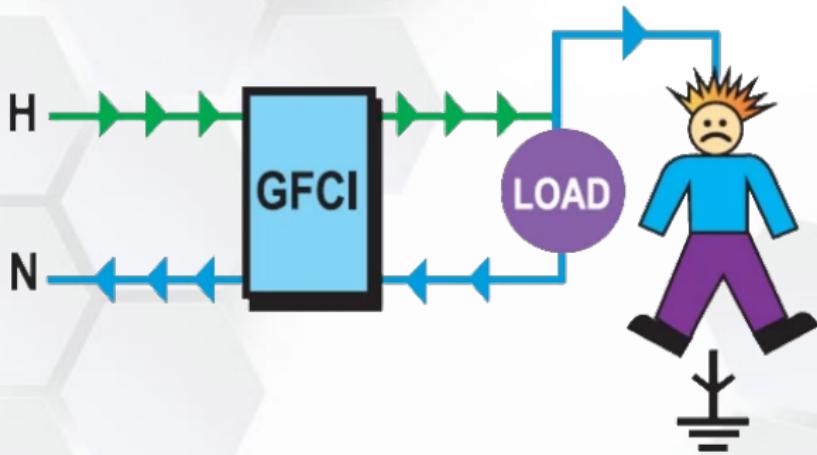
- Grounder toutes les parties d'un boîtier
- Busbar de GND



# Ground Fault Circuit Interrupter



- Mesure le courant qui passe par Live & Neutral
- Coupe dès que  $V_{in} \neq V_{out}$



# Quels sont les types de régulateurs?

1 Comment protéger une alimentation?

2 Quels sont les types de régulateurs?

- Régulateurs Linéaires
- Régulateurs *Switching*

3 Comment filtrer une alimentation?

4 Comment concevoir un arbre d'alimentation?

☰	Critère	Régulateur Linéaire	Régulateur Switching
\$	Coût	Faible ✓	Moyen à Élevé ✗
🧩	Complexité	Faible ✓	Moyen à Élevé ✗
〽️	Bruit	Faible ✓	Moyen à Élevé ✗
%	Efficacité	Faible ✗	Très Efficace ✓
☒	$V_{out}$	$V_{out} < V_{in}$ ✗	$V_{out} \subseteq \mathbb{R}$ ✓
🔗	Isolation	Non ✗	Possible ✓
🌡️	Température	Élevée ✗	Faible à Moyenne ✓
⚡	Courant	Faible à Moyen ✗	Moyen à Élevé ✓

# Quels sont les types de régulateurs?

1 Comment protéger une alimentation?

2 Quels sont les types de régulateurs?

- Régulateurs Linéaires
- Régulateurs *Switching*

3 Comment filtrer une alimentation?

4 Comment concevoir un arbre d'alimentation?

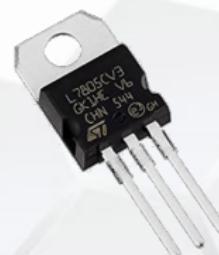
- Régulateur très simple
  - IC
  - Pièces autours

☰	Régulateur Linéaire
\$	Faible ✓
igsaw	Faible ✓



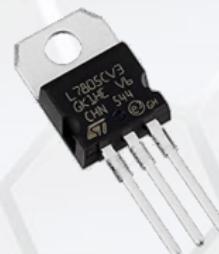
- Régulateur très simple
  - IC
  - Pièces autours
- Output très stable
  - PSRR

☰	Régulateur Linéaire
\$	Faible ✓
igsaw	Faible ✓
wavy line	Faible ✓



- Régulateur très simple
  - IC
  - Pièces autours
- Output très stable
  - PSRR
- $V_{in} - 0.3\text{ V} > V_{out}$
- Isolation impossible

Régulateur Linéaire	
\$	Faible ✓
✚	Faible ✓
✚	Faible ✓
☒	$V_{out} < V_{in}$ ✗
☒	Non ✗



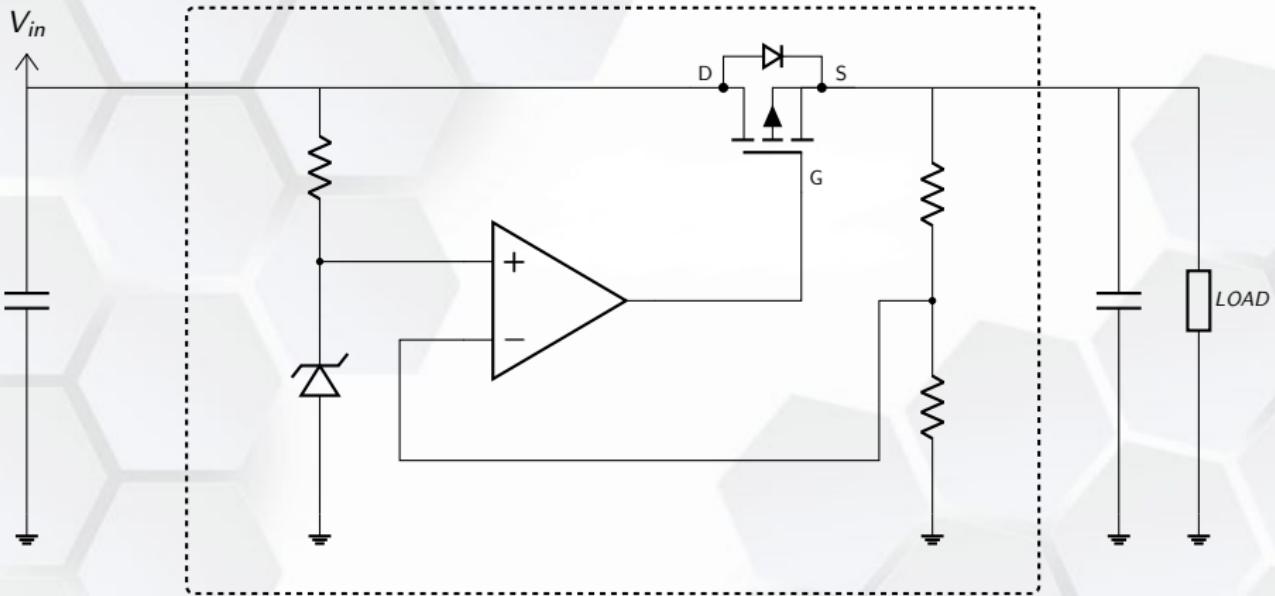
- Régulateur très simple
  - IC
  - Pièces autours
- Output très stable
  - PSRR
- $V_{in} - 0.3\text{ V} > V_{out}$
- Isolation impossible
- Très peu efficace
  - $I_{in} = I_{out}$
  - $\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{V_{out}}{V_{in}}$

	Régulateur Linéaire
\$	Faible ✓
榫	Faible ✓
〽	Faible ✓
☒	$V_{out} < V_{in}$ ✗
✖	Non ✗
%	Faible ✗

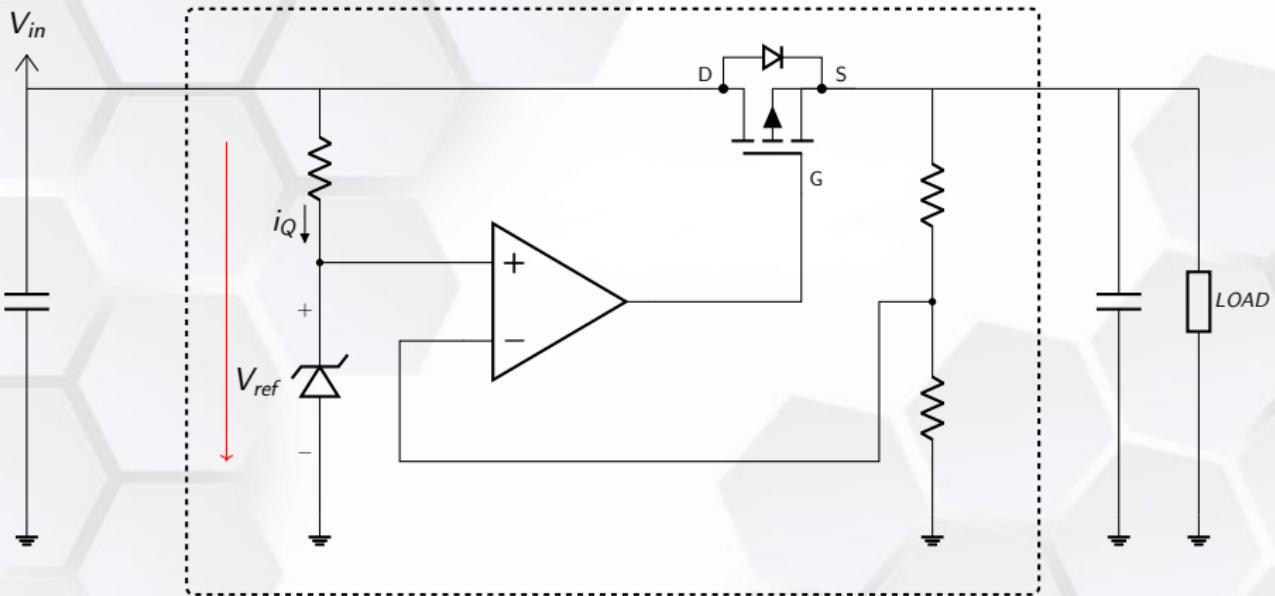
- Régulateur très simple
  - IC
  - Pièces autours
- Output très stable
  - PSRR
- $V_{in} - 0.3\text{ V} > V_{out}$
- Isolation impossible
- Très peu efficace
  - $I_{in} = I_{out}$
  - $\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{V_{out}}{V_{in}}$
- Power dissipée en chaleur!
- Limite le courant

	Régulateur Linéaire
	Faible ✓
	Faible ✓
	Faible ✓
	$V_{out} < V_{in}$ ✗
	Non ✗
	Faible ✗
	Élevée ✗
	Faible à Moyen ✗

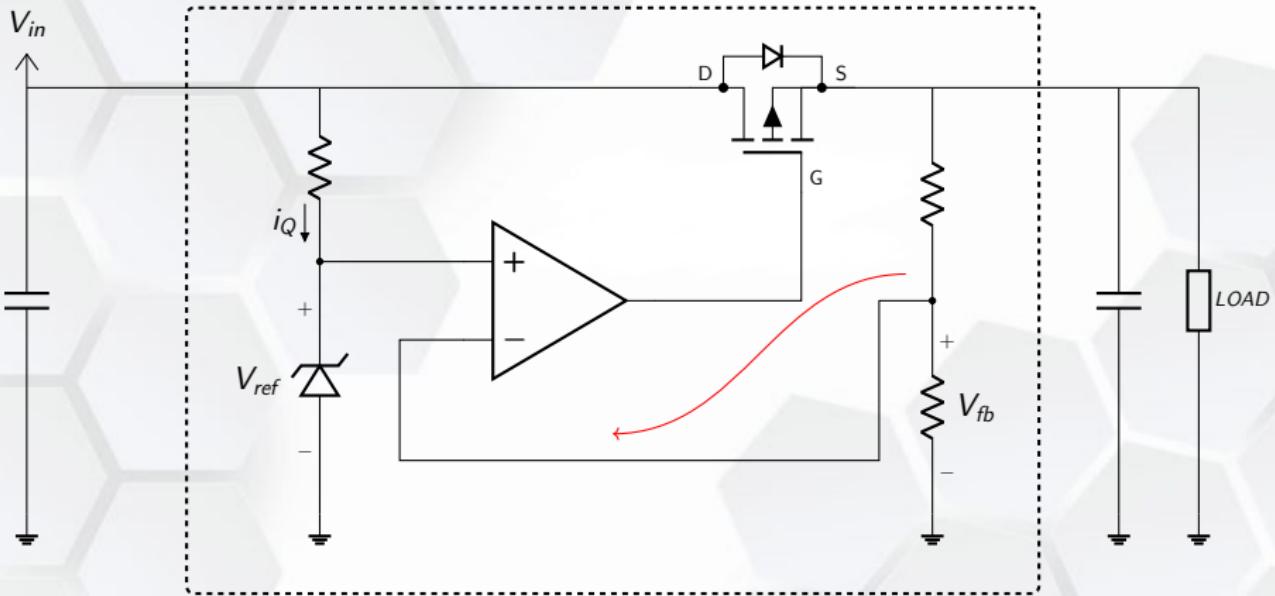
# Régulateur Linéaire - Fonctionnement



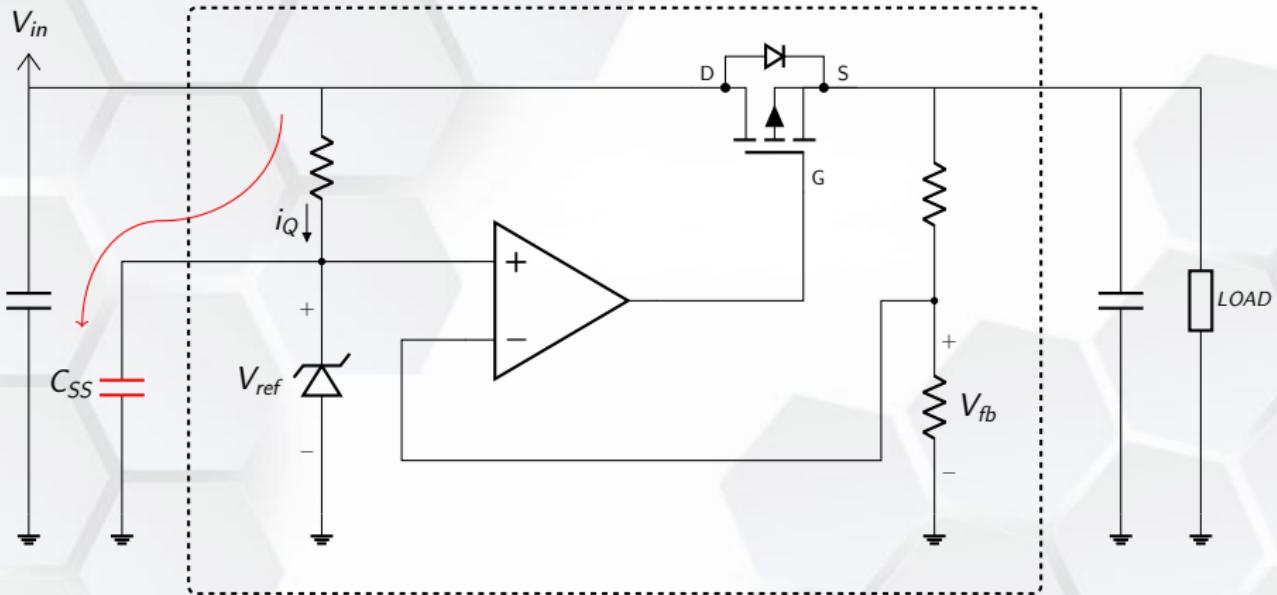
# Régulateur Linéaire - Fonctionnement



# Régulateur Linéaire - Fonctionnement



# Régulateur Linéaire - Fonctionnement



$$PSRR = \frac{\Delta V_{in}}{\Delta V_{out}}$$

$$PSRR(dB) = -20 \log \left( \frac{\Delta V_{in}}{\Delta V_{out}} \right)$$

- Réduction du bruit
- À une fréquence

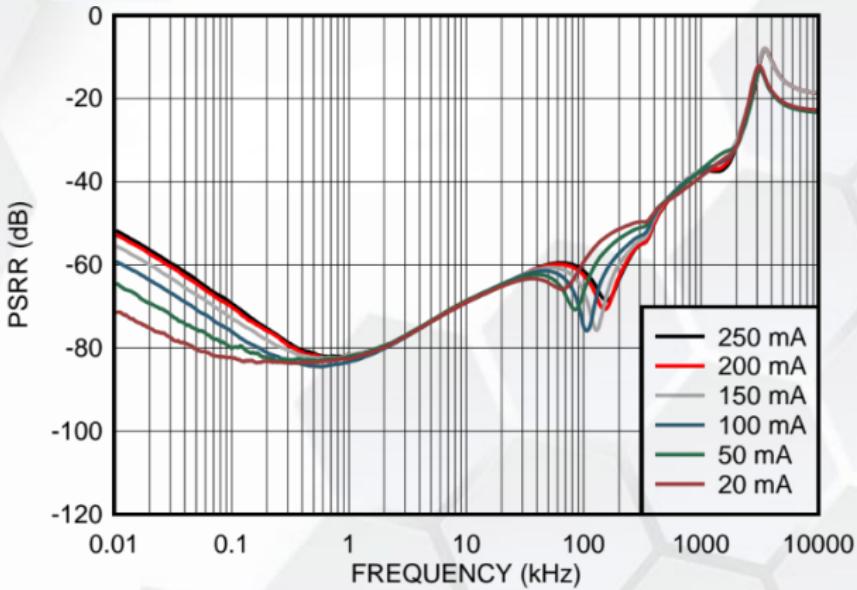
# Power Supply Ripple Reduction



$$PSRR = \frac{\Delta V_{in}}{\Delta V_{out}}$$

$$PSRR(dB) = -20 \log \left( \frac{\Delta V_{in}}{\Delta V_{out}} \right)$$

- Réduction du bruit
- À une fréquence
- Graphique PSRR
- Dépend du courant



- \$ Low-Cost
- ⚡ Peu de courant
- 📐 Peu d'espace
- 〽 Bruit très important
- % Efficacité peu importante
- 💡 Utiliser avec des régulateurs switching!

# Quels sont les types de régulateurs?

1 Comment protéger une alimentation?

2 Quels sont les types de régulateurs?

- Régulateurs Linéaires
- Régulateurs *Switching*

3 Comment filtrer une alimentation?

4 Comment concevoir un arbre d'alimentation?

- Régulateur plus complexe
  - IC
  - Condensateurs & bobines
  - Transistors et diodes
- Topologies

	Régulateur Linéaire
\$	Moyen à Élevé ✕
igsaw	Moyen à Élevé ✕



- Régulateur plus complexe
  - IC
  - Condensateurs & bobines
  - Transistors et diodes
- Topologies
- Rajoute du bruit au circuit
  - Fréquence de *switching*

Régulateur Linéaire	
\$	Moyen à Élevé X
+	Moyen à Élevé X
L	Moyen à Élevé X



- Régulateur plus complexe
  - IC
  - Condensateurs & bobines
  - Transistors et diodes
- Topologies
- Rajoute du bruit au circuit
  - Fréquence de *switching*
- Output très grande selon topologie
  - $V_{out} > V_{in}$
  - $V_{out} < 0V$
  - *Sortie isolée possible*

	Régulateur Linéaire
\$	Moyen à Élevé ✗
█	Moyen à Élevé ✗
─	Moyen à Élevé ✗
☒	$V_{out} \subseteq \mathbb{R}$ ✓
☒	Possible ✓



- Régulateur plus complexe
  - IC
  - Condensateurs & bobines
  - Transistors et diodes
- Topologies
- Rajoute du bruit au circuit
  - Fréquence de *switching*
- Output très grande selon topologie
  - $V_{out} > V_{in}$
  - $V_{out} < 0V$
- Extrêmement efficace
  - 80% - 90%
  - *Courant & Tension scale selon demande*

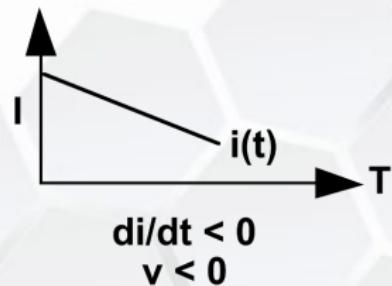
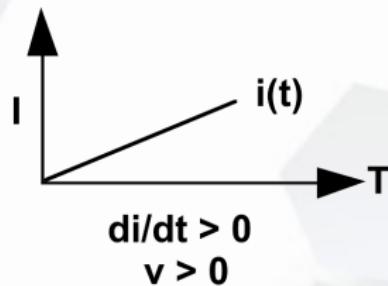
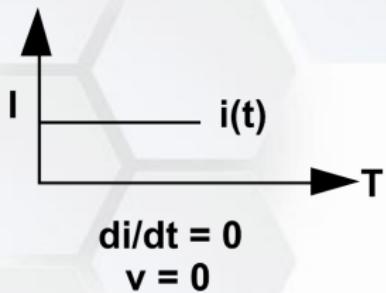
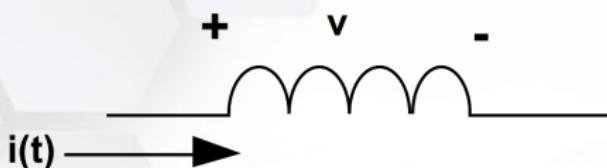
Régulateur Linéaire	
\$	Moyen à Élevé ✗
?	Moyen à Élevé ✗
?	Moyen à Élevé ✗
☒	$V_{out} \subseteq \mathbb{R}$ ✓
☒	Possible ✓
%	Très Efficace ✓

- Régulateur plus complexe
  - IC
  - Condensateurs & bobines
  - Transistors et diodes
- Topologies
- Rajoute du bruit au circuit
  - Fréquence de switching
- Output très grande selon topologie
  - $V_{out} > V_{in}$
  - $V_{out} < 0V$
- Extrêmement efficace
  - 80% - 90%
- Bonne gestion thermique
  - Selon topologie
- Gros courants

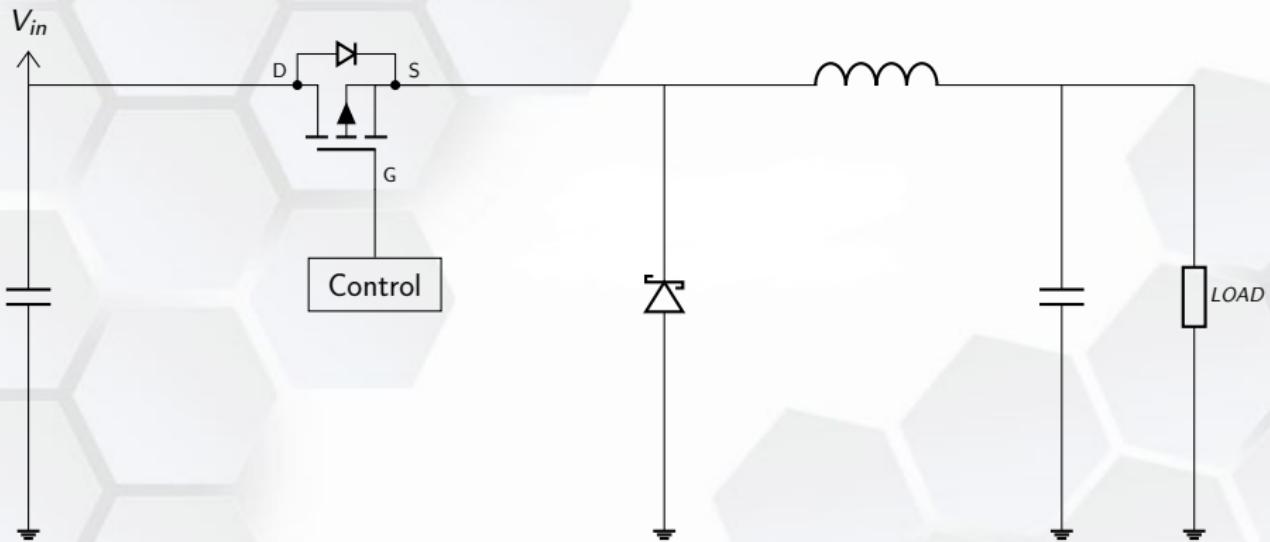
	Régulateur Linéaire
\$	Moyen à Élevé ✗
+	Moyen à Élevé ✗
L	Moyen à Élevé ✗
☒	$V_{out} \subseteq \mathbb{R}$ ✓
♾	Possible ✓
%	Très Efficace ✓
🌡	Faible à Moyenne ✓
⚡	Moyen à Élevé ✓

Topologie	$V_{out}$	Isolation
↓ Buck	$V_{out} < V_{in}$	✗
↑ Boost	$V_{out} > V_{in}$	✗
↔ Buck-Boost	$V_{out} \subseteq \mathbb{R}$	✗
⇄ SEPIC	$V_{out} \geq 0 \text{ V}$	✗
□ Flyback	$V_{out} \subseteq \mathbb{R}$	✓

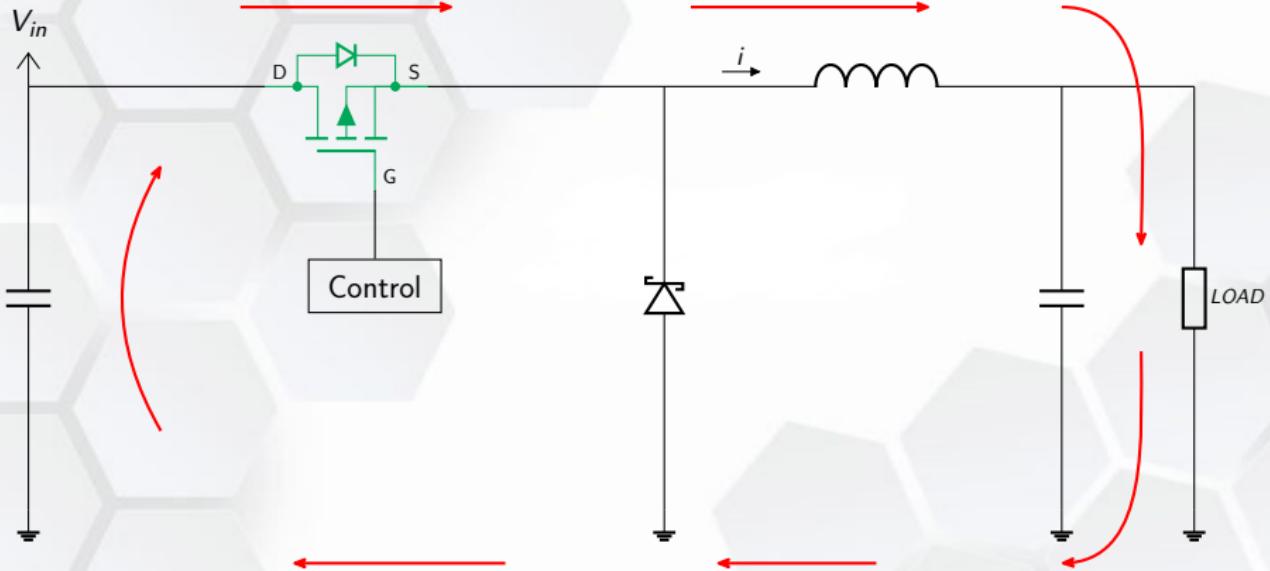
- Une bobine s'oppose aux changements de courant



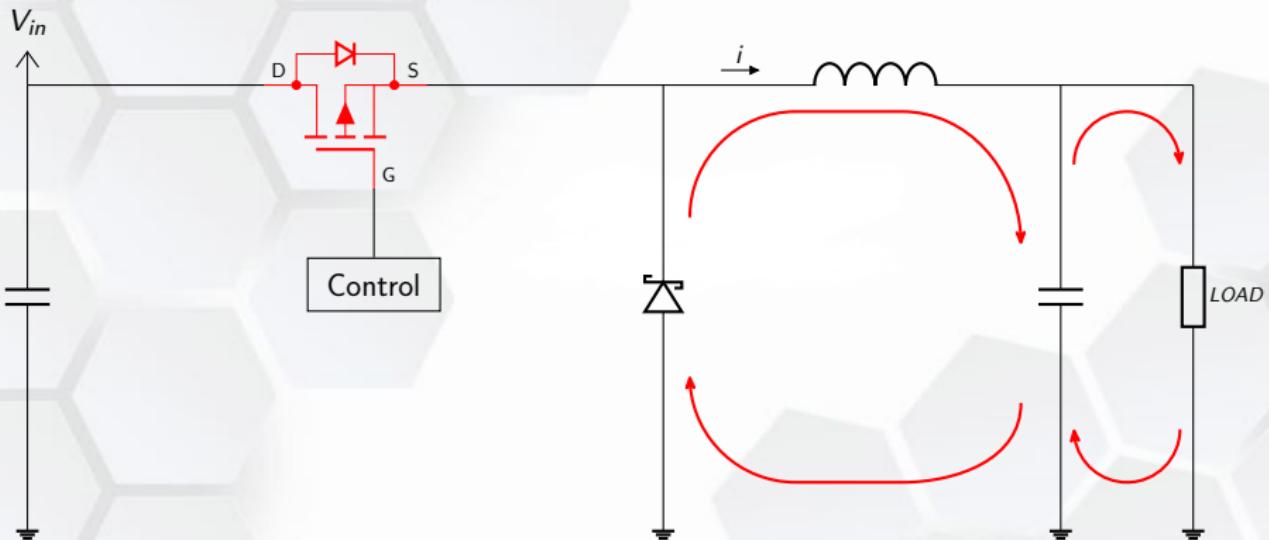
# Régulateur Switching - Buck - Fonctionnement



# Régulateur Switching - Buck - Fonctionnement



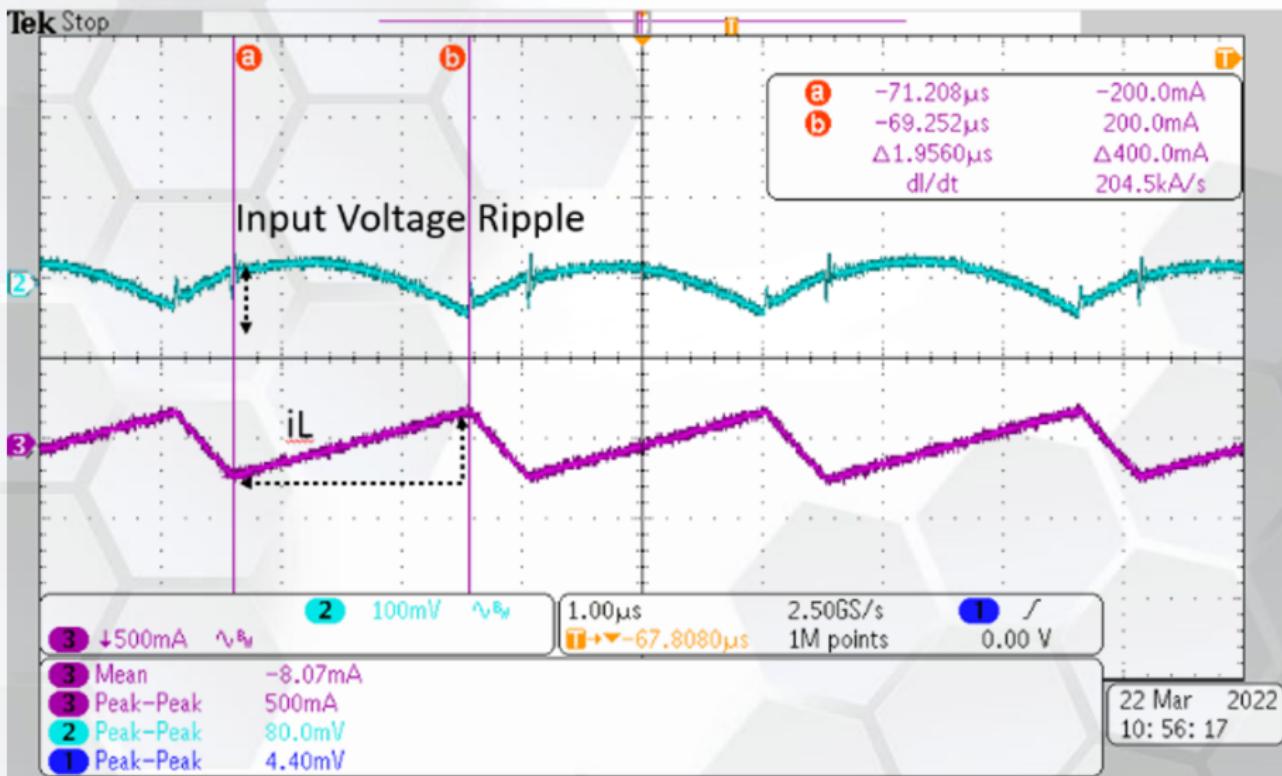
# Régulateur Switching - Buck - Fonctionnement



- Le courant augmente tranquillement
- Le courant descend
- ↔ Il y a toujours du courant qui s'en va vers la load
- 🚫 Il n'y a pas toujours du courant qui sort de la source
- 📈  $I_{out} > I_{in}$



# Régulateur Switching - Buck - Waveform



# Comment filtrer une alimentation?

1 Comment protéger une alimentation?

2 Quels sont les types de régulateurs?

3 Comment filtrer une alimentation?

- Filtrer l'entrée
- Filtrer la sortie d'un régulateur
- Filtrer au IC

4 Comment concevoir un arbre d'alimentation?

# Comment filtrer une alimentation?

- 1 Comment protéger une alimentation?
- 2 Quels sont les types de régulateurs?
- 3 Comment filtrer une alimentation?
  - Filtrer l'entrée
  - Filtrer la sortie d'un régulateur
  - Filtrer au IC
- 4 Comment concevoir un arbre d'alimentation?

# Comment filtrer une alimentation?

1 Comment protéger une alimentation?

2 Quels sont les types de régulateurs?

3 Comment filtrer une alimentation?

- Filtrer l'entrée
- **Filtrer la sortie d'un régulateur**
- Filtrer au IC

4 Comment concevoir un arbre d'alimentation?

# Comment filtrer une alimentation?

1 Comment protéger une alimentation?

2 Quels sont les types de régulateurs?

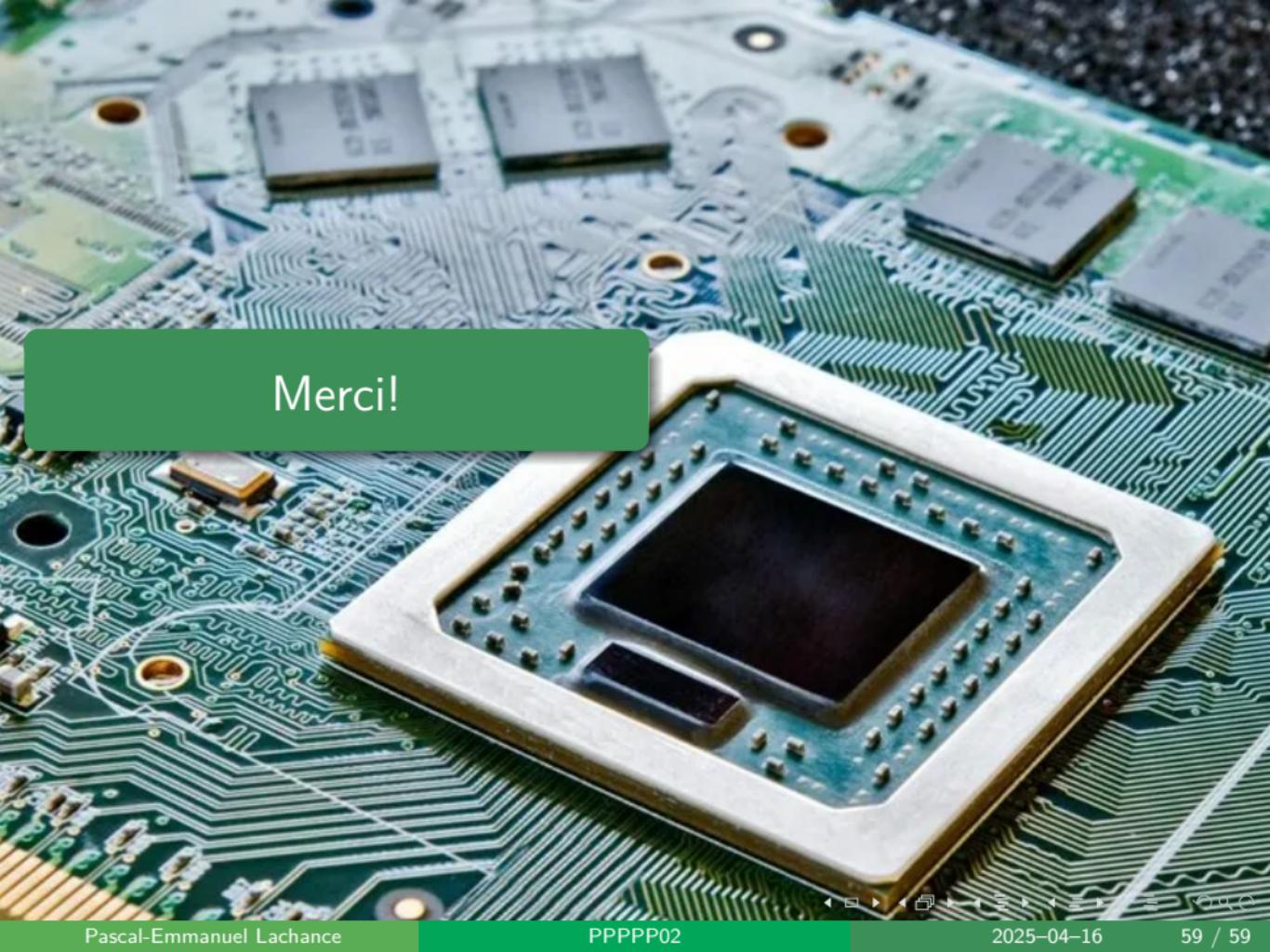
3 Comment filtrer une alimentation?

- Filtrer l'entrée
- Filtrer la sortie d'un régulateur
- Filtrer au IC**

4 Comment concevoir un arbre d'alimentation?

# Comment concevoir un arbre d'alimentation?

- 1 Comment protéger une alimentation?
- 2 Quels sont les types de régulateurs?
- 3 Comment filtrer une alimentation?
- 4 Comment concevoir un arbre d'alimentation?



Merci!