

LU3EE104 : Réseaux électriques et Electronique de puissance

VII. PERTES DANS LES COMPOSANTS ET CALCULS THERMIQUES

Pertes dans les composants et calculs thermiques

- Pertes par conduction, pertes par commutation
- Pertes dans une cellule de commutation
- Notions de thermique
- Dimensionnement d'un dissipateur

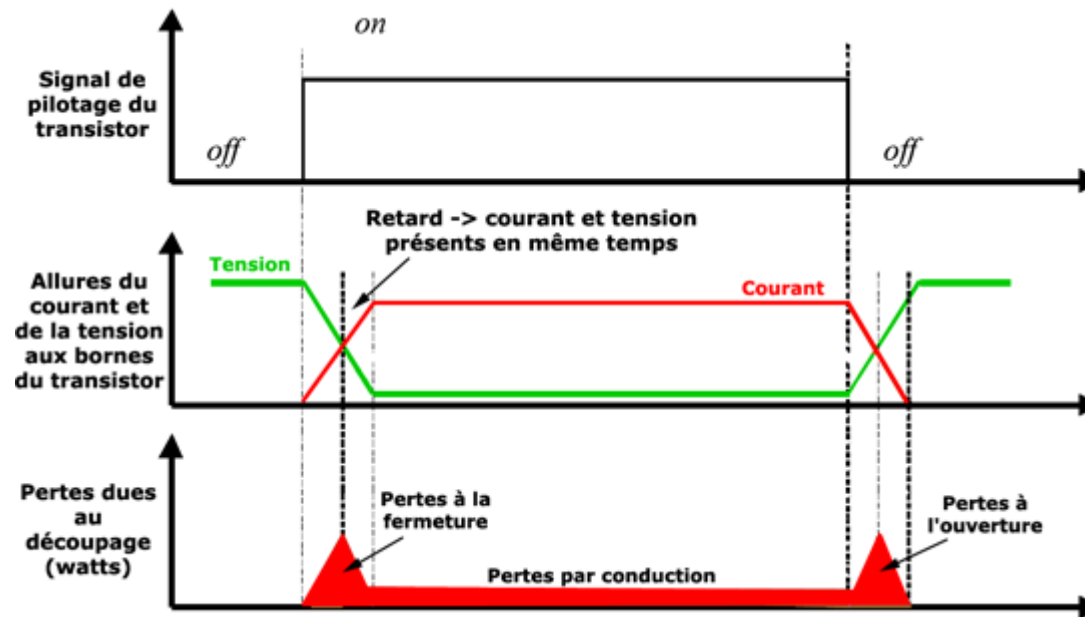
Ouvrage de référence :

Electronique de puissance, 2^e édition - Luc Lasne

Editions Dunod - ISBN 978-2-10-072135-1

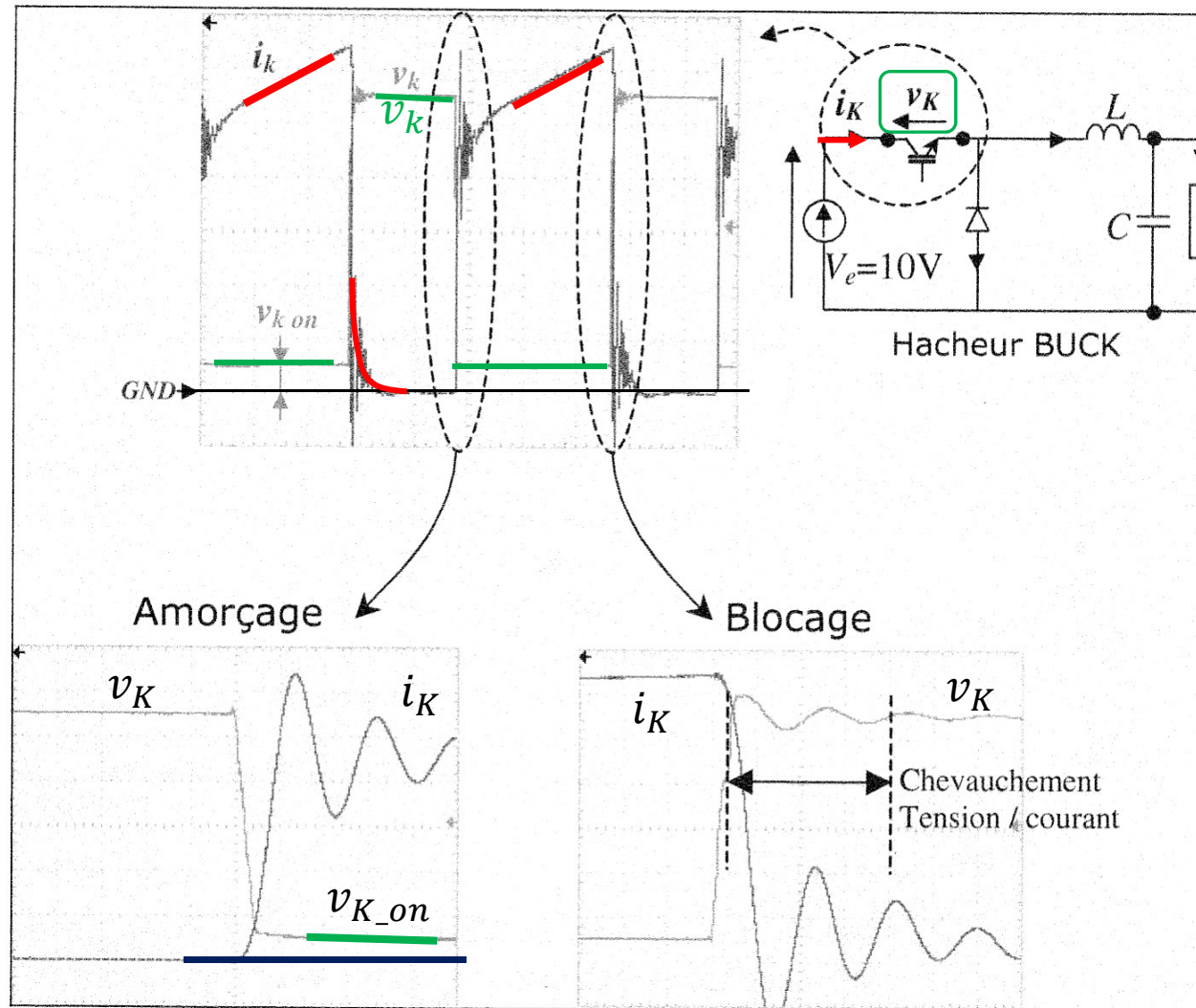
Les interrupteurs ne sont pas parfaits

- **Commutation non instantanée**
- **Tension résiduelle à l'état passant**



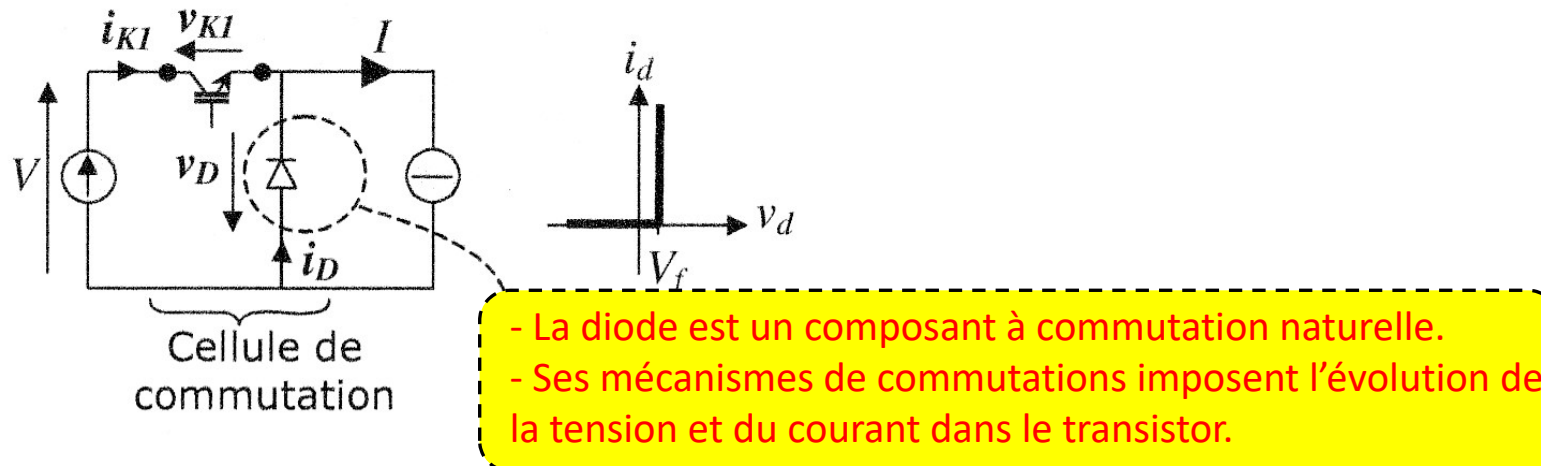
[Figure extraite de « Electronique de puissance », 2^e édition - Luc Lasne]

Exemple de signaux mesurés



Pertes associées à une cellule de commutation

Ex : hacheur BUCK sur charge I parfaitement lissée



A chaque instant :

- $i_{K1}(t) = I - i_D(t)$
- $v_{K1}(t) = V + v_D(t)$

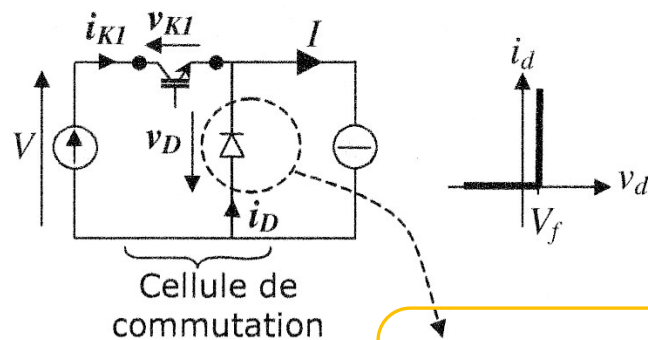


Les dynamiques de i_D et v_D contrôlent celles de i_{K1} et v_{K1} .

[Figure extraite de « Electronique de puissance », 2^e édition - Luc Lasne]

Pertes associées à une cellule de commutation

Ex : hacheur BUCK

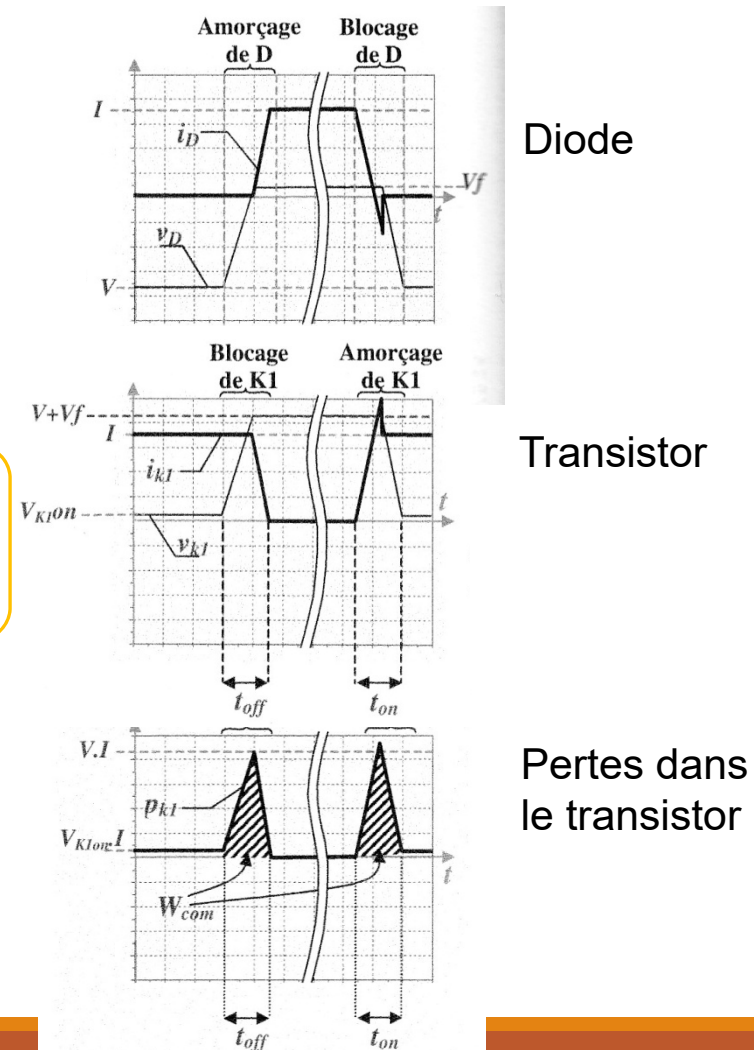


les commutations de la diode régissent celle du transistor

A chaque instant :

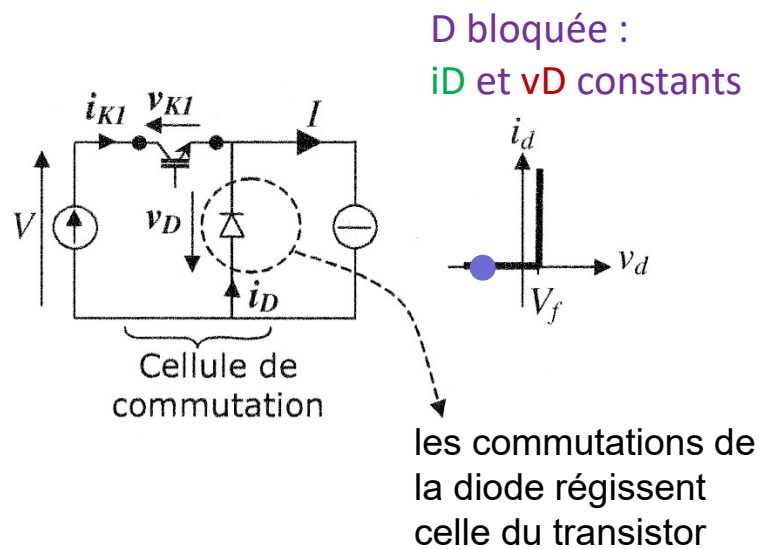
- $i_{K1}(t) = I - i_D(t)$
- $v_{K1}(t) = V + v_D(t)$

[Figure extraite de « Electronique de puissance »,
2^e édition - Luc Lasne]



Pertes associées à une cellule de commutation

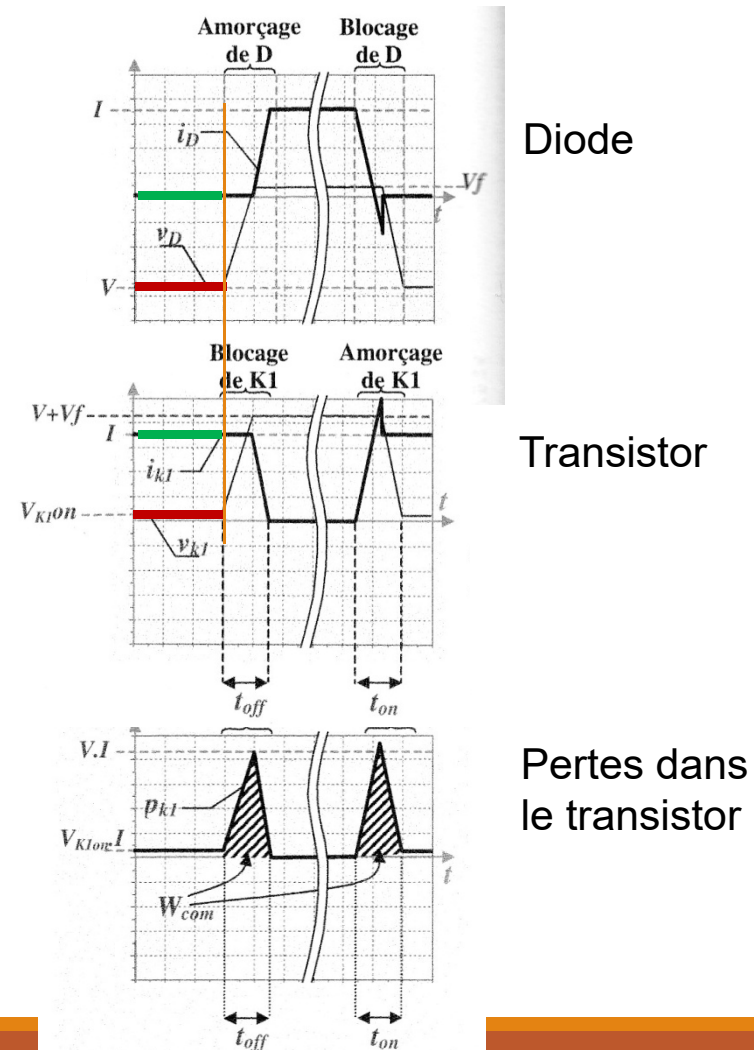
Ex : hacheur BUCK



A chaque instant :

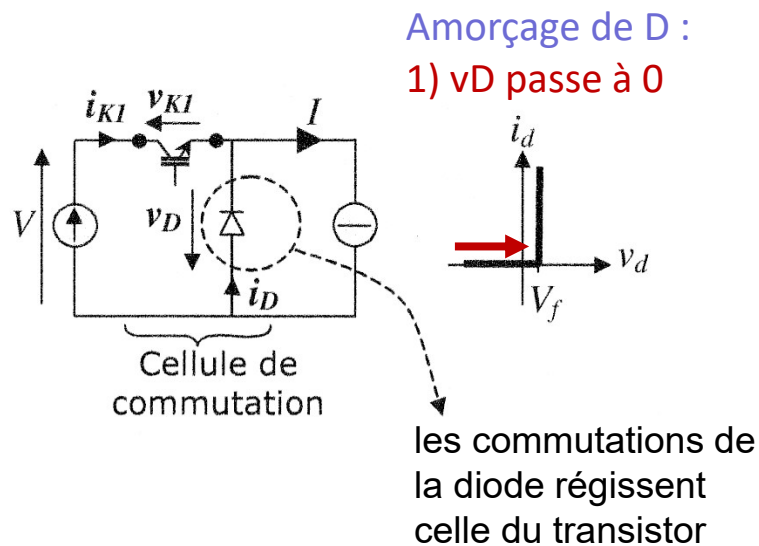
- $i_{K1}(t) = I - i_D(t)$
- $v_{K1}(t) = V + v_D(t)$

[Figure extraite de « Electronique de puissance »,
 2^e édition - Luc Lasne]



Pertes associées à une cellule de commutation

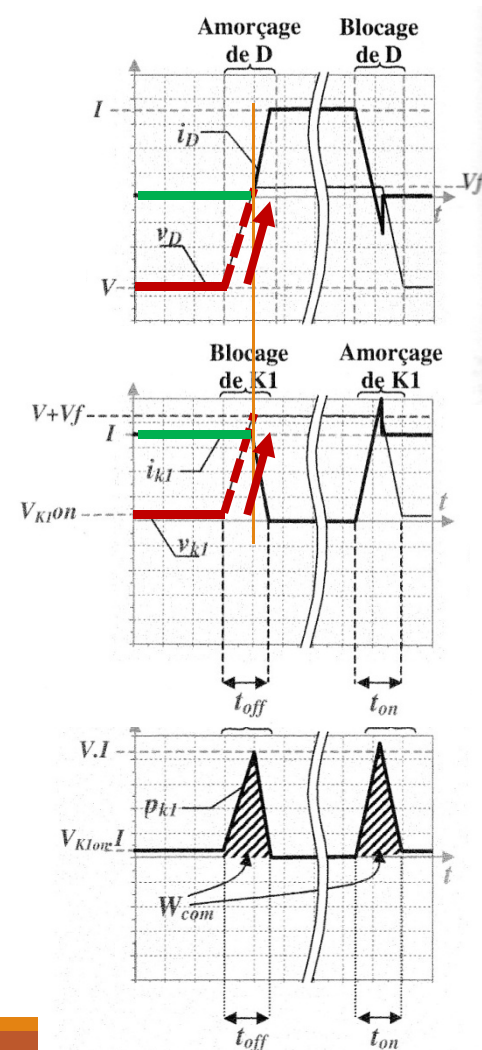
Ex : hacheur BUCK



A chaque instant :

- $i_{K1}(t) = I - i_D(t)$
- $v_{K1}(t) = V + v_D(t)$

[Figure extraite de « Electronique de puissance »,
2^e édition - Luc Lasne]



Diode

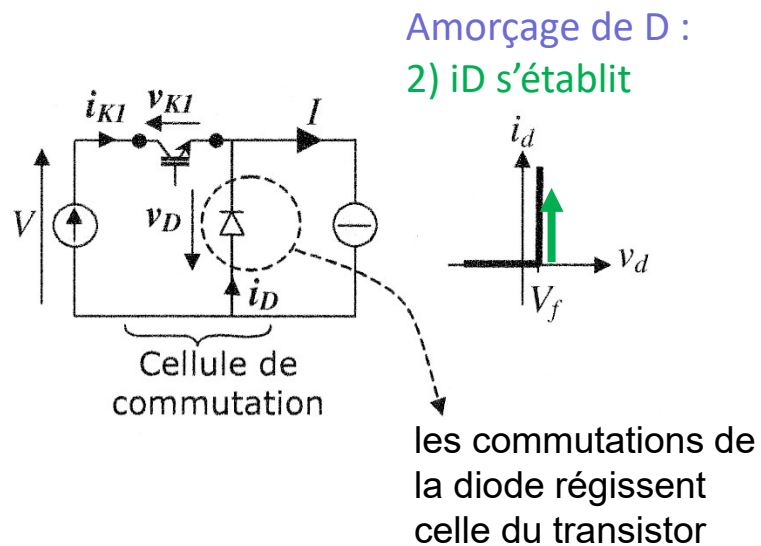
Transistor

Conséquence :
1) v_{K1} s'établit

Pertes dans
le transistor

Pertes associées à une cellule de commutation

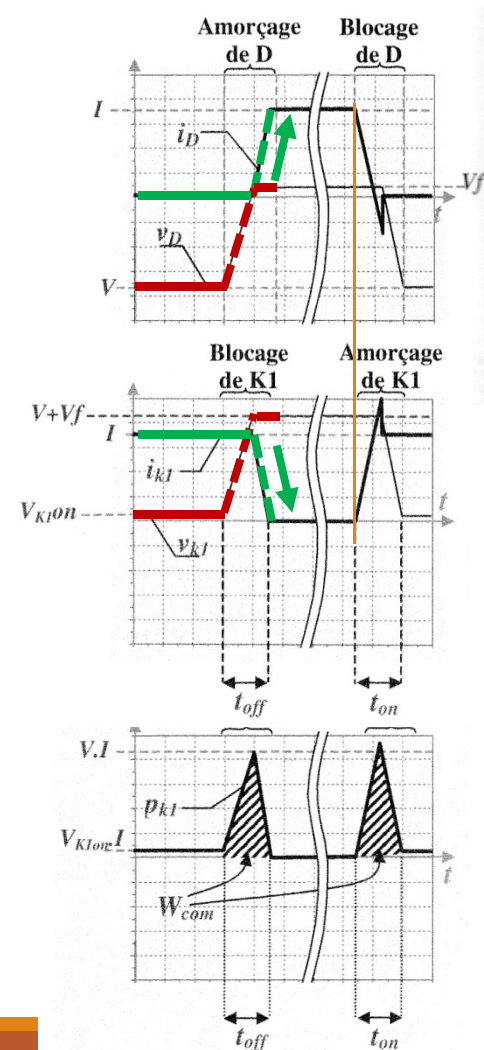
Ex : hacheur BUCK



A chaque instant :

- $i_{K1}(t) = I - i_D(t)$
- $v_{K1}(t) = V + v_D(t)$

[Figure extraite de « Electronique de puissance »,
2^e édition - Luc Lasne]



Diode

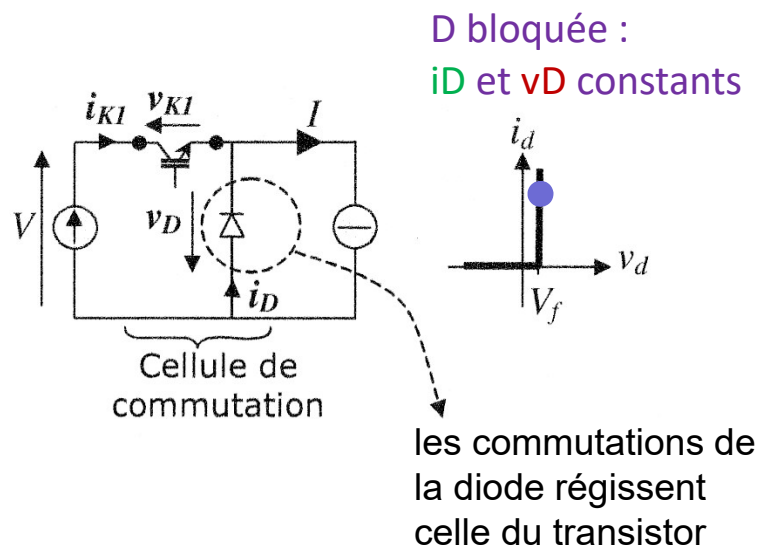
Transistor

Conséquence :
2) i_{K1} passe à 0

Pertes dans
le transistor

Pertes associées à une cellule de commutation

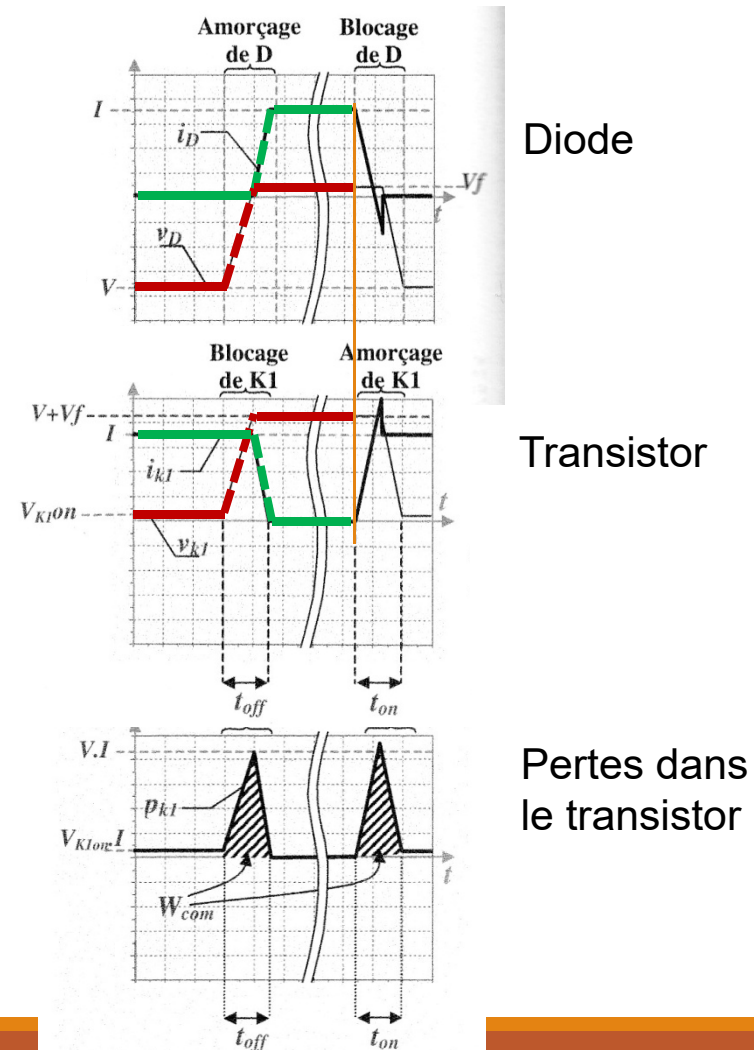
Ex : hacheur BUCK



A chaque instant :

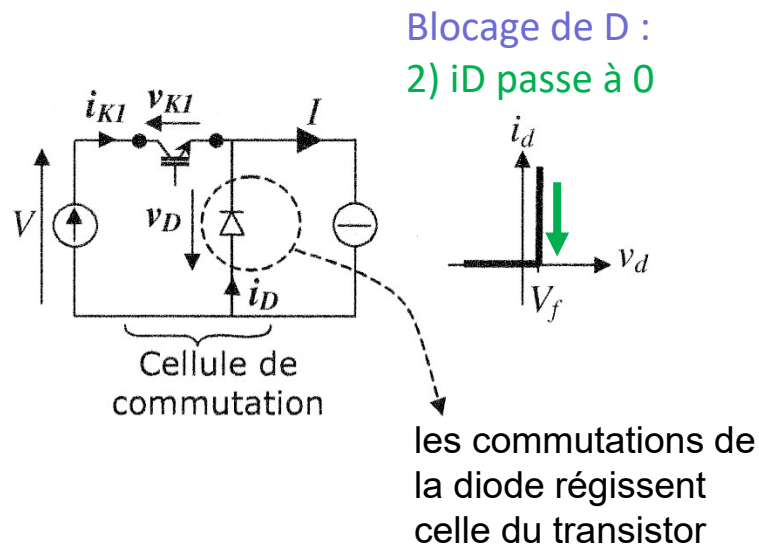
- $i_{K1}(t) = I - i_D(t)$
- $v_{K1}(t) = V + v_D(t)$

[Figure extraite de « Electronique de puissance »,
 2^e édition - Luc Lasne]



Pertes associées à une cellule de commutation

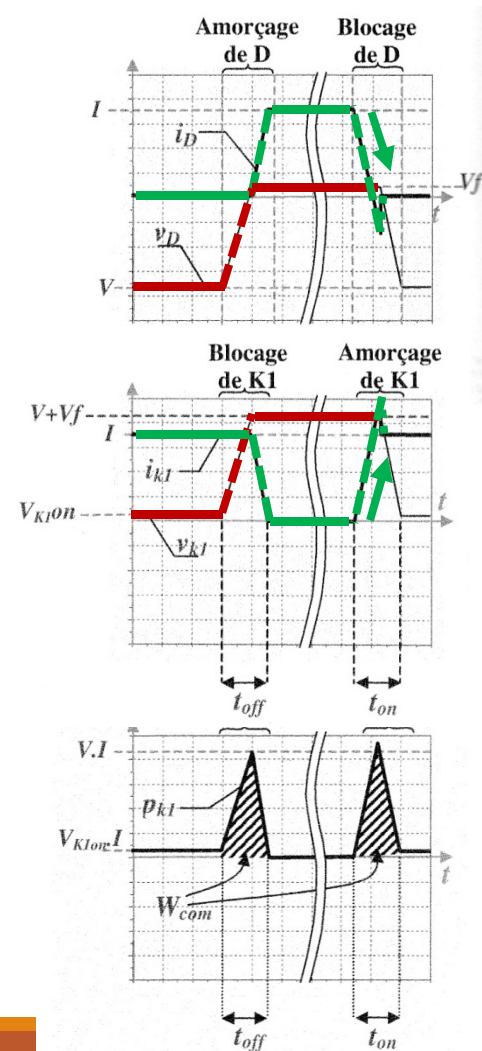
Ex : hacheur BUCK



A chaque instant :

- $i_{K1}(t) = I - i_D(t)$
- $v_{K1}(t) = V + v_D(t)$

[Figure extraite de « Electronique de puissance »,
2^e édition - Luc Lasne]



Diode

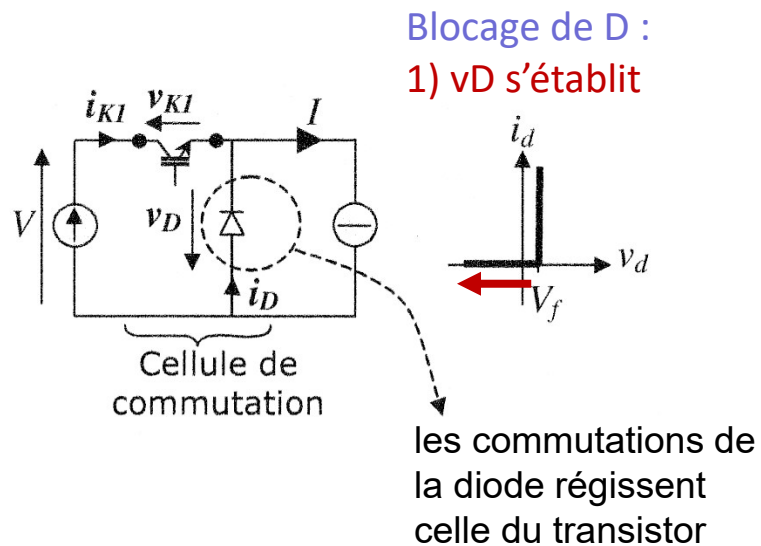
Transistor

Conséquence :
2) i_{K1} s'établit

Pertes dans
le transistor

Pertes associées à une cellule de commutation

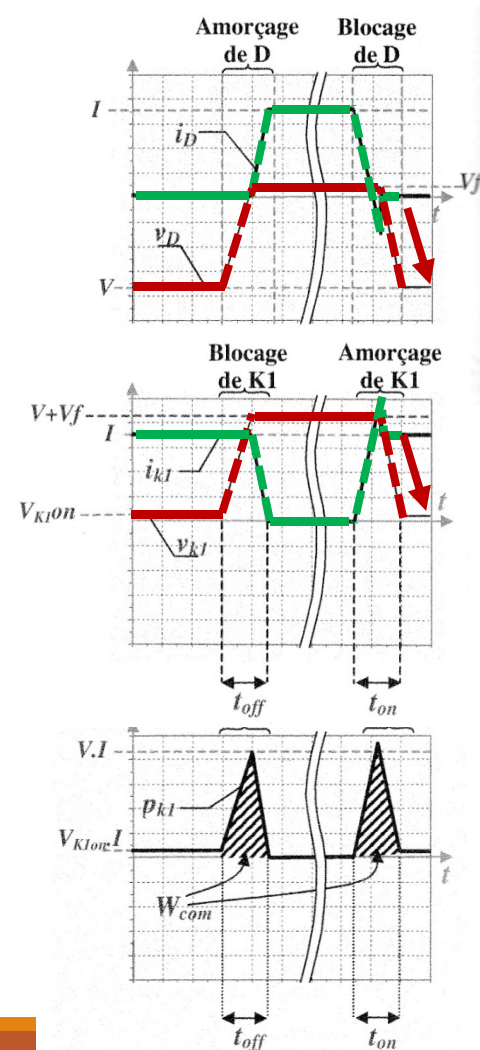
Ex : hacheur BUCK



A chaque instant :

- $i_{K1}(t) = I - i_D(t)$
- $v_{K1}(t) = V + v_D(t)$

[Figure extraite de « Electronique de puissance »,
2^e édition - Luc Lasne]



Diode

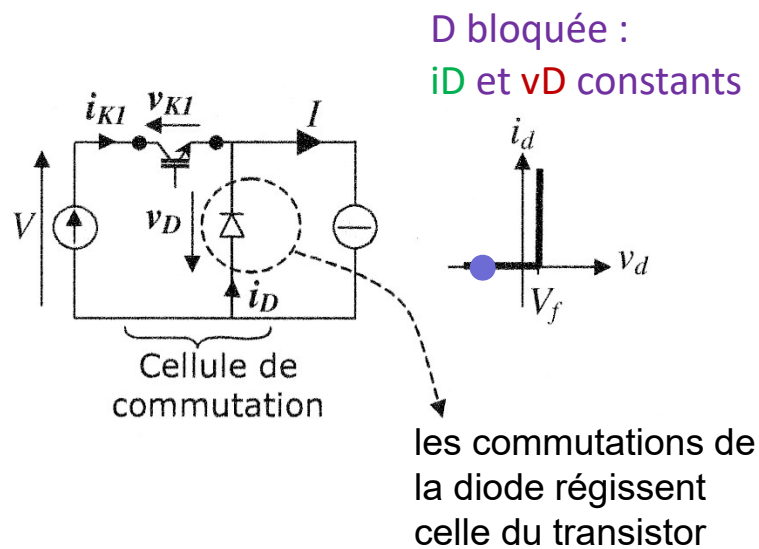
Transistor

Conséquence :
1) v_{K1} passe à 0

Pertes dans
le transistor

Pertes associées à une cellule de commutation

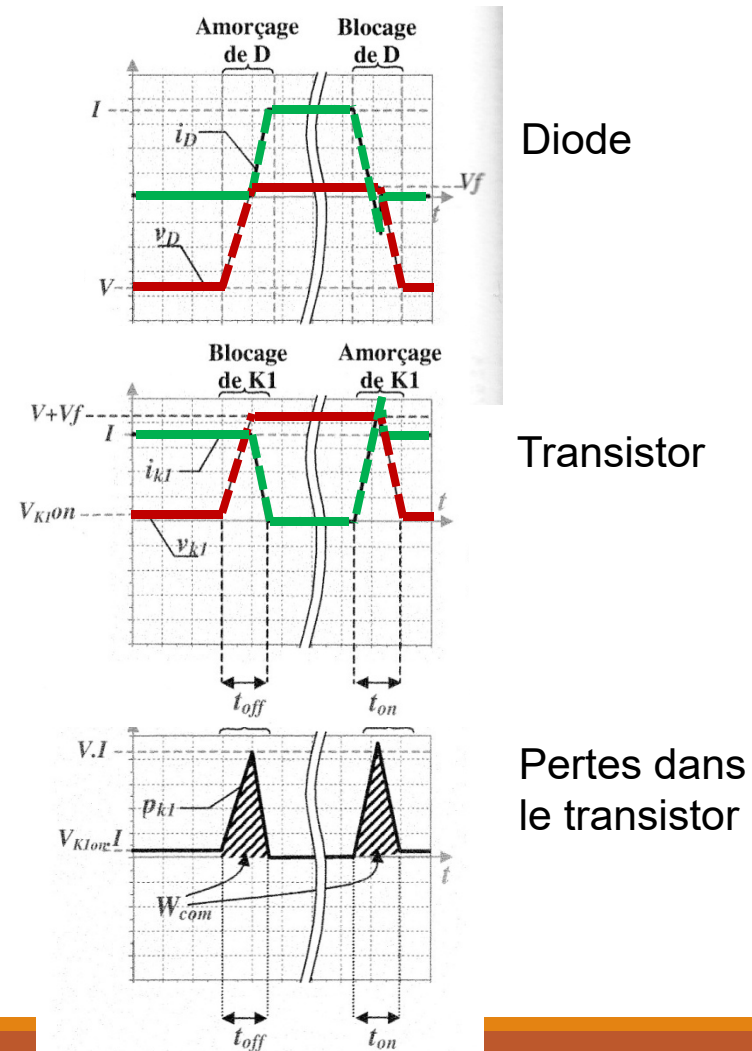
Ex : hacheur BUCK



A chaque instant :

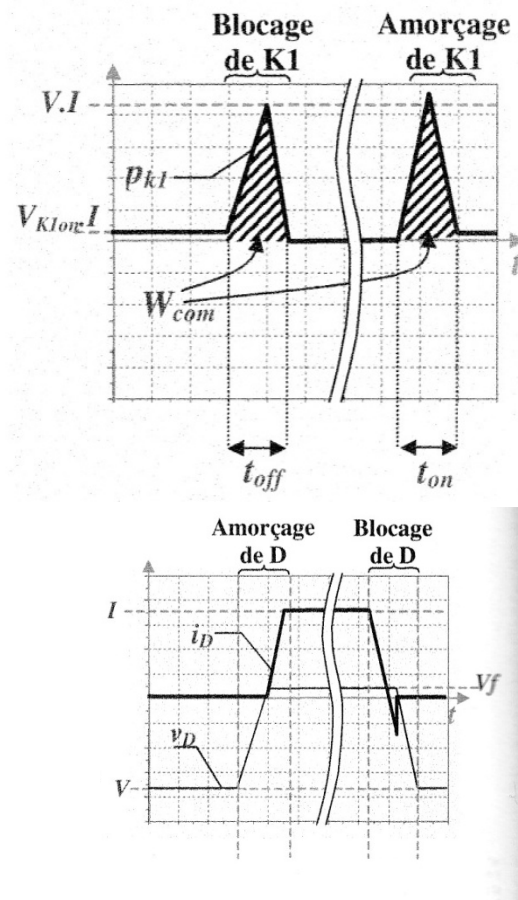
- $i_{K1}(t) = I - i_D(t)$
- $v_{K1}(t) = V + v_D(t)$

[Figure extraite de « Electronique de puissance »,
 2^e édition - Luc Lasne]



Pertes associées à une cellule de commutation

Ex : hacheur BUCK



BILAN :

Pertes dans la cellule :

- Par commutation : transistor uniquement

$$W_{com} = \frac{1}{2} \cdot V \cdot I \cdot (t_{on} + t_{off})$$

$$P_{com} = f \cdot W_{com}$$

- Par conduction : transistor et diode

$$P_{cond} = V_{K1-ON} \cdot \langle i_{k1} \rangle + V_{D-ON} \cdot \langle i_D \rangle$$

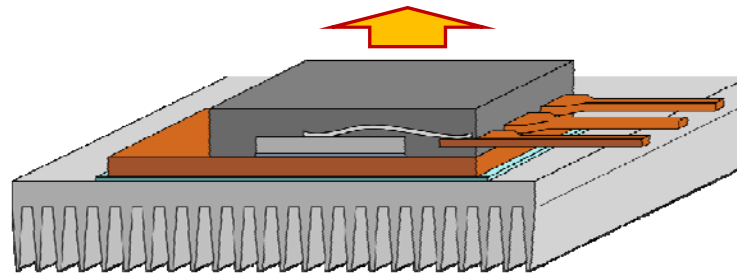
- Calcul à partir des datasheets

[Figure extraite de « Electronique de puissance », 2^e édition - Luc Lasne]

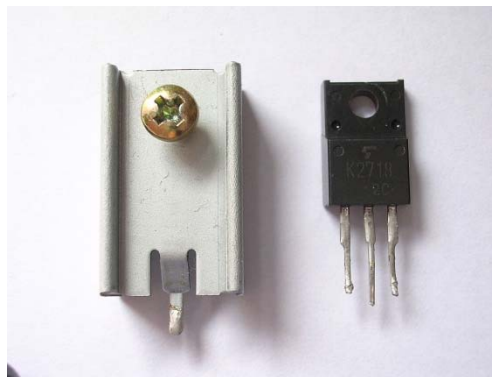
Dissipation thermique dans les composants

Composant de puissance monté sur un radiateur

Pertes = puissance thermique => ça chauffe !



Transistor en boîtier plastique et dissipateur adapté ; le transistor est accolé au dissipateur grâce à la vis



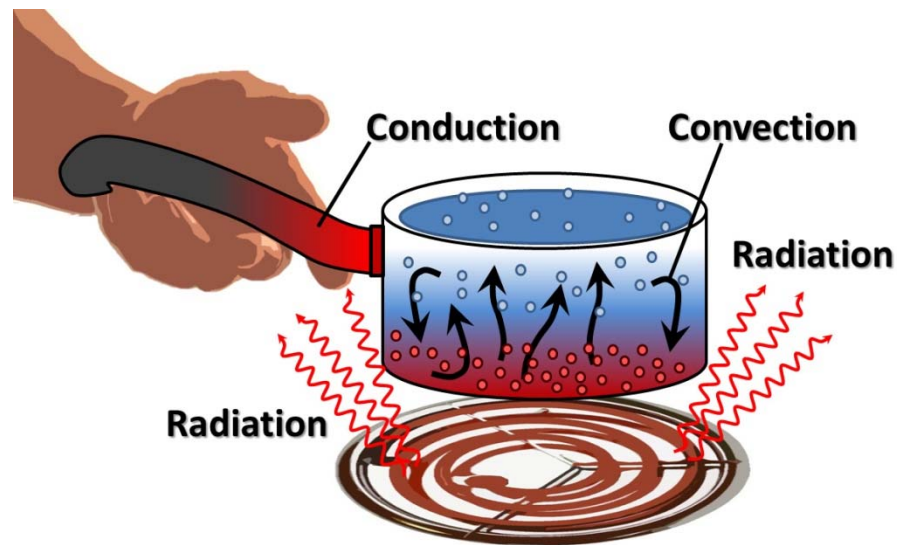
Notions de thermique générale

Température :

- Mesure du degré d'agitation thermique des atomes et molécules d'un corps, et donc de l'énergie interne

Chaleur ou « énergie thermique »

- Deux corps de températures différentes échangent de l'énergie thermique, appelée chaleur, avec 3 phénomènes possibles.



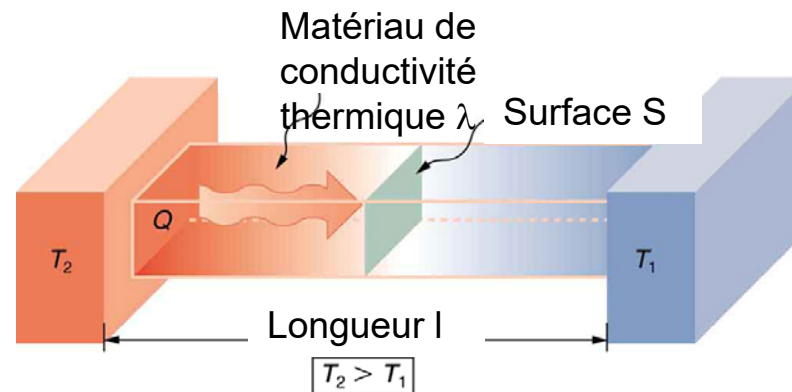
Conduction thermique

Notion de flux Φ ou de puissance thermique P_{th} :

- Soit une surface isotherme S traversée par l'énergie thermique Q
- On définit le flux (ou puissance thermique) par : $\Phi = P_{th} = \frac{dQ}{dt} [W]$

Loi de Fourier :

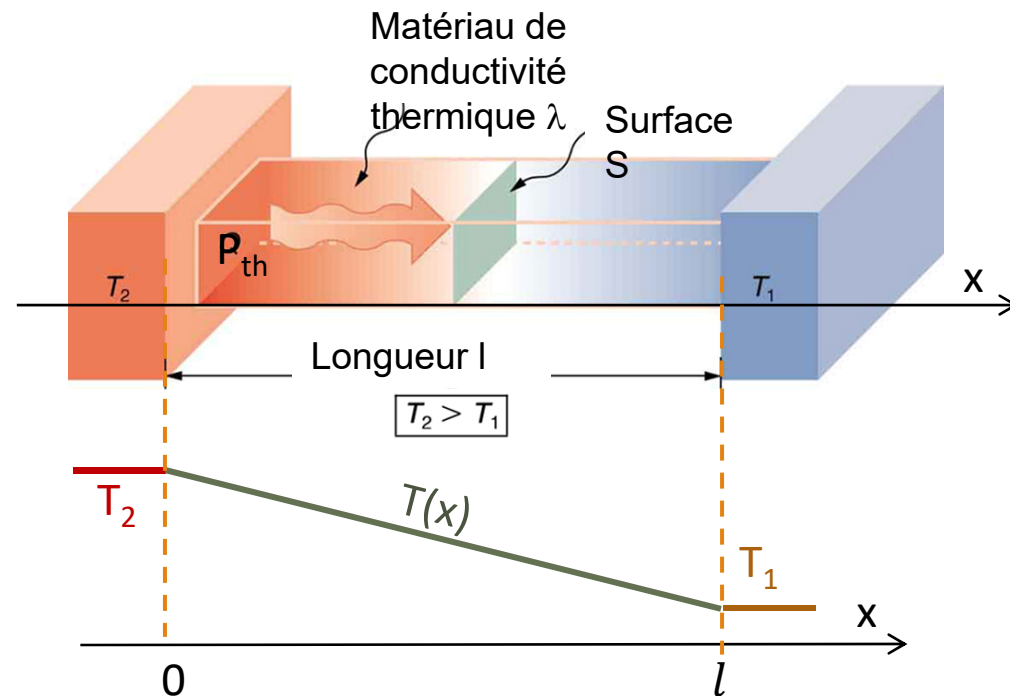
- L'énergie thermique va « du chaud vers le froid »
- λ : conductivité thermique et \vec{j} : densité surfacique de flux thermique
- Equation du phénomène de *conduction* : $\vec{j} = -\lambda \cdot \overrightarrow{\text{grad}T}$



Résistance thermique

Conduction unidirectionnelle :

$$\begin{aligned} \vec{j} &= -\lambda \cdot \overrightarrow{\text{grad } T} \\ \downarrow & \quad \downarrow \\ \frac{P_{th}}{S} \vec{e}_x &= -\lambda \cdot \frac{dT}{dx} \vec{e}_x \\ \downarrow & \\ T(x) &= -\frac{P_{th}}{\lambda S} \cdot x + T(0) \\ \downarrow & \\ T_1 &= T_2 - \frac{P_{th}}{\lambda S} \cdot l \end{aligned}$$



$$T_2 - T_1 = R_{th} \cdot P_{th} \text{ avec } R_{th} = \frac{l}{\lambda S}$$

R_{th} : résistance thermique

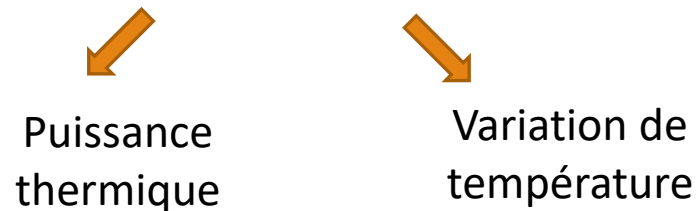
Capacité thermique

Capacité thermique d'un corps :

- Aptitude à stocker de l'énergie thermique Q
- On définit la capacité thermique par : $C_{th} = \frac{dQ}{dT} \quad \left[\frac{J}{K} \right]$
(relation entre l'énergie stockée et l'élévation de température associée)

- Lien avec la puissance thermique :

$$C_{th} = \frac{dQ}{dt} \cdot \frac{dt}{dT} \quad \Rightarrow \quad P_{th \text{ stockée}} = C_{th} \cdot \frac{dT}{dt}$$



Equation d'évolution de la température

Situation :

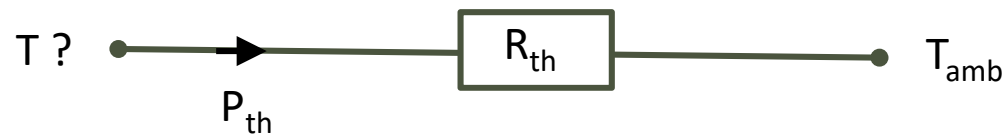
- Corps de capacité C_{th} , contenant une source de chaleur P_{th}
- Échange par conduction avec l'environnement de température T_{amb}
- Température du corps T ?

□ Équation de bilan thermique :

$$P_{th} = C_{th} \cdot \frac{dT}{dt} + \frac{1}{R_{th}} \cdot (T - T_{amb})$$

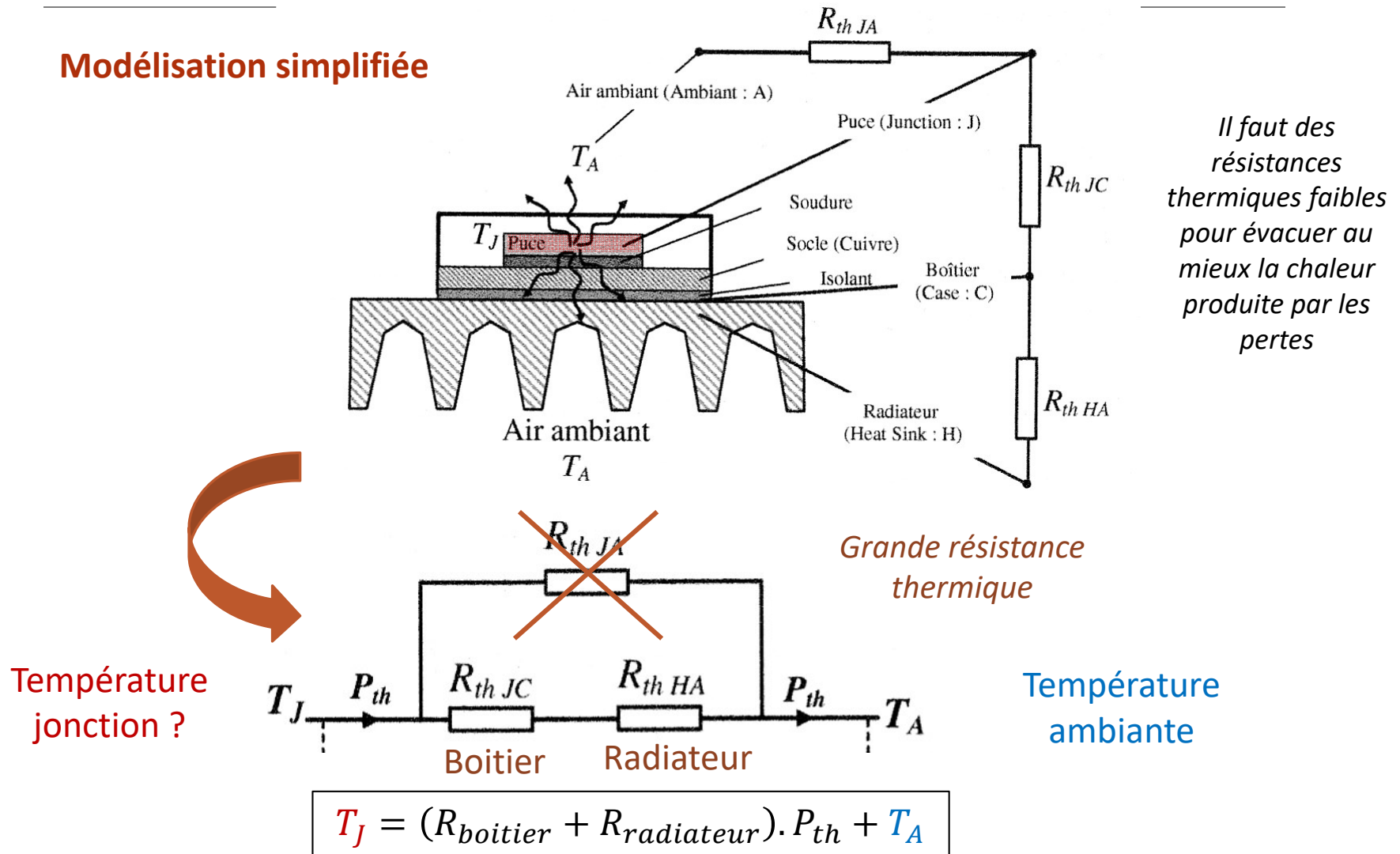
stockée évacuée

En régime permanent : $P_{th} = \frac{1}{R_{th}} \cdot (T - T_{amb})$, d'où : $T = T_{amb} + R_{th} \cdot P_{th}$



Dissipation thermique dans les composants

Modélisation simplifiée

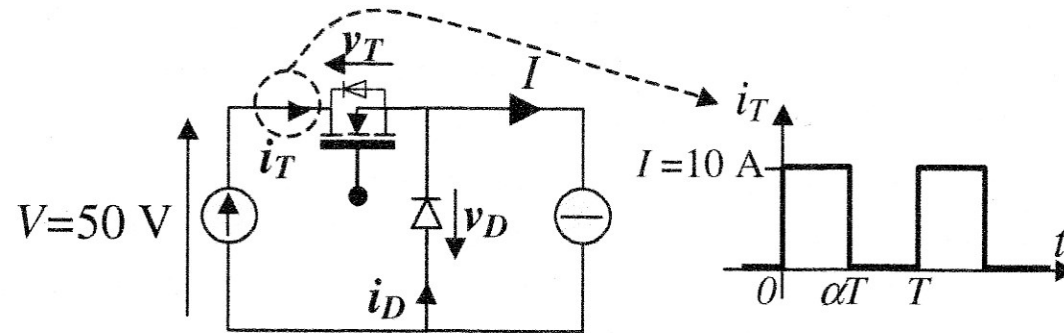


Exemple de dimensionnement d'un dissipateur

[extrait de « Electronique de puissance », 2^e édition - Luc Lasne]

Hacheur BUCK :

- $f_d = 100 \text{ kHz}$
- $\alpha = 0,5$



Données constructeur

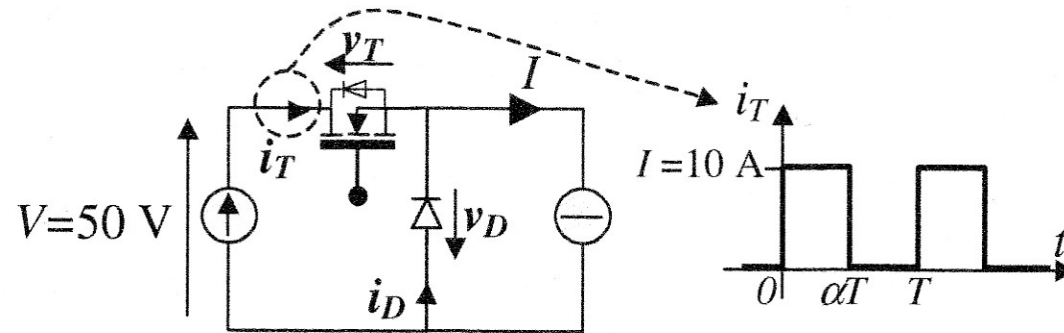
- $V_{D-ON} = 0.7 \text{ V}$
- $R_{K-ON} = 0,052 \text{ W}$
- $t_{ON} = 47 \text{ ns}$ et $t_{OFF} = 77 \text{ ns}$
- $R_{boitier} = 2,8 \text{ °C/W}$
- $T_A = 25 \text{ °C}$
- On veut $T_J < 100 \text{ °C}$, que doit valoir $R_{radiateur}$?

Exemple de dimensionnement d'un dissipateur

[extrait de « Electronique de puissance », 2^e édition - Luc Lasne]

Hacheur BUCK :

- $f_d = 100 \text{ kHz}$
- $\alpha = 0,5$



Données constructeur

- $V_{D-ON} = 0.7 \text{ V}$
- $R_{K-ON} = 0,052 \text{ W}$
- $t_{ON} = 47 \text{ ns}$ et $t_{OFF} = 77 \text{ ns}$
- $R_{boitier} = 2,8 \text{ °C/W}$
- $T_A = 25\text{°C}$
- On veut $T_J < 100\text{°C}$

Pertes par conduction dans la diode :

$$P_{cond} = V_{D-ON} \times i_D \times \alpha$$

$$P_{cond} = 0,7 \times 10 \times 0,5$$

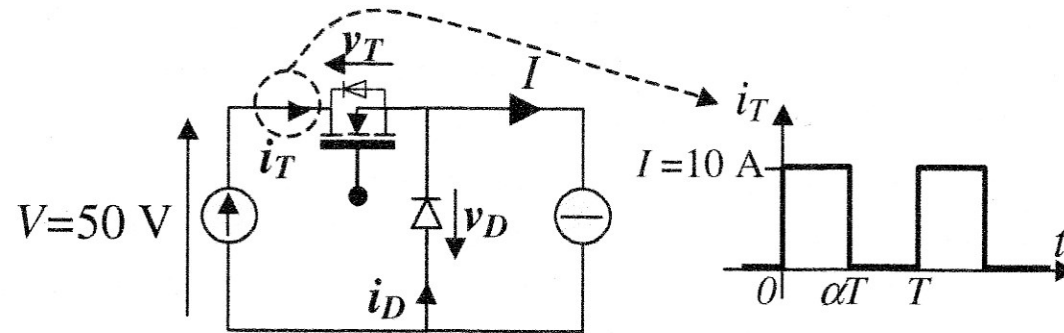
$$P_{cond} = 3,5 \text{ W}$$

Exemple de dimensionnement d'un dissipateur

[extrait de « Electronique de puissance », 2^e édition - Luc Lasne]

Hacheur BUCK :

- $f_d = 100 \text{ kHz}$
- $\alpha = 0,5$



Données constructeur

- $V_{D-ON} = 0.7 \text{ V}$
- $R_{K-ON} = 0,052 \text{ W}$
- $t_{ON} = 47 \text{ ns}$ et $t_{OFF} = 77 \text{ ns}$
- $R_{boitier} = 2,8 \text{ }^\circ\text{C/W}$
- $T_A = 25^\circ\text{C}$
- On veut $T_J < 100^\circ\text{C}$

Pertes par conduction dans le transistor :

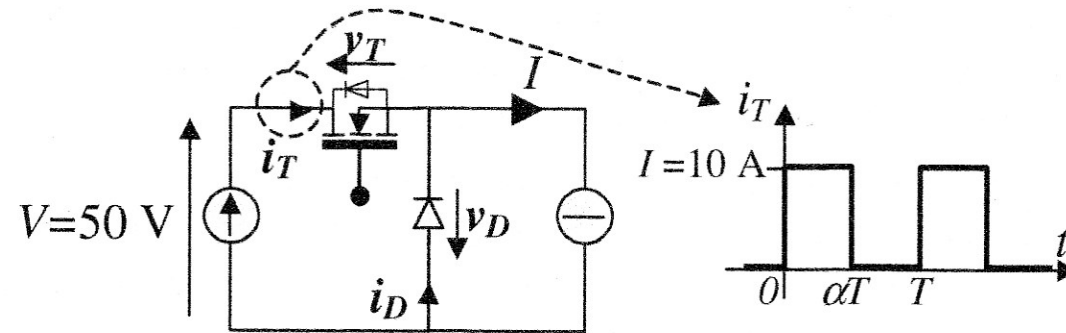
$$\begin{aligned} P_{cond} &= R_{K-ON} \times i_T^2 \times \alpha \\ P_{cond} &= 0,052 \times 10^2 \times 0,5 \\ P_{cond} &= 2,6 \text{ W} \end{aligned}$$

Exemple de dimensionnement d'un dissipateur

[extrait de « Electronique de puissance », 2^e édition - Luc Lasne]

Hacheur BUCK :

- $f_d = 100 \text{ kHz}$
- $\alpha = 0,5$



Données constructeur

- $V_{D-ON} = 0.7 \text{ V}$
- $R_{K-ON} = 0,052 \text{ W}$
- $t_{ON} = 47 \text{ ns}$ et $t_{OFF} = 77 \text{ ns}$
- $R_{boitier} = 2,8 \text{ }^\circ\text{C/W}$
- $T_A = 25^\circ\text{C}$
- On veut $T_J < 100^\circ\text{C}$

Pertes par commutation dans le transistor :

$$P_{com} = \frac{1}{2} v_T i_T \times (t_{ON} + t_{OFF}) \times f$$

$$P_{com} = \frac{1}{2} 50 \times 10 \times (47 + 77) \times 10^{-9} \times 10^5$$

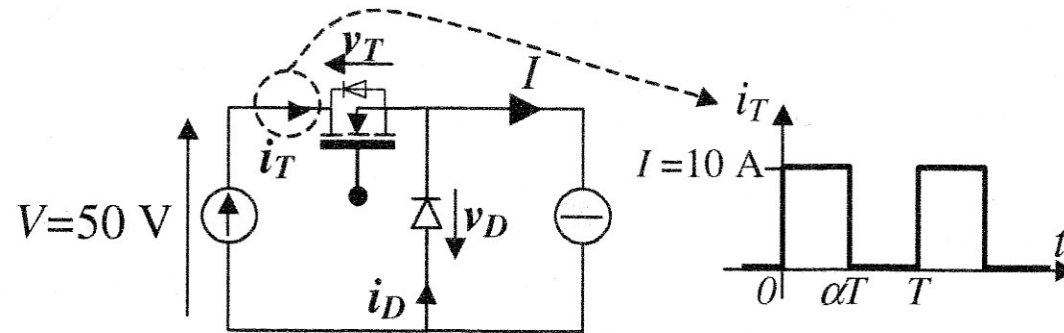
$$P_{com} = 3,1 \text{ W}$$

Exemple de dimensionnement d'un dissipateur

[extrait de « Electronique de puissance », 2^e édition - Luc Lasne]

Hacheur BUCK :

- $f_d = 100 \text{ kHz}$
- $\alpha = 0,5$



Données constructeur

- $V_{D-ON} = 0.7 \text{ V}$
- $R_{K-ON} = 0,052 \text{ W}$
- $t_{ON} = 47 \text{ ns}$ et $t_{OFF} = 77 \text{ ns}$
- $R_{boitier} = 2,8 \text{ }^\circ\text{C/W}$
- $T_A = 25^\circ\text{C}$
- On veut $T_J < 100^\circ\text{C}$

Pertes totales :

$$P_{total} = P_{com} + P_{cond}$$

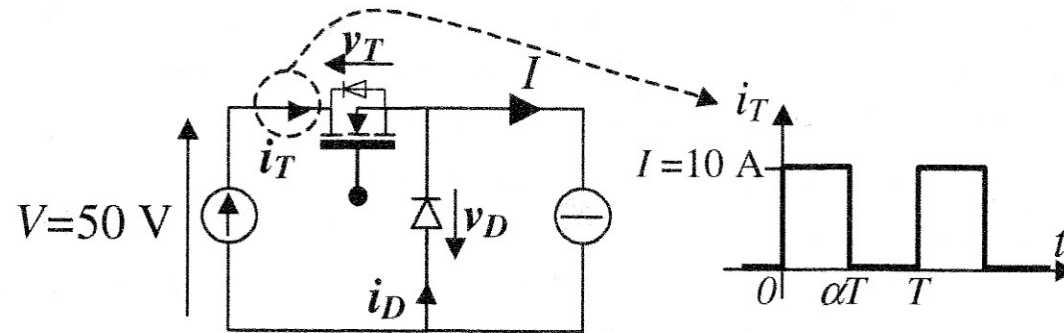
$$P_{total} = 3,5 + 2,6 + 3,1 = 9,2 \text{ W}$$

Exemple de dimensionnement d'un dissipateur

[extrait de « Electronique de puissance », 2^e édition - Luc Lasne]

Hacheur BUCK :

- $f_d = 100 \text{ kHz}$
- $\alpha = 0,5$



Données constructeur

- $V_{D-ON} = 0.7 \text{ V}$
- $R_{K-ON} = 0,052 \text{ W}$
- $t_{ON} = 47 \text{ ns}$ et $t_{OFF} = 77 \text{ ns}$
- $R_{boitier} = 2,8 \text{ °C/W}$
- $T_A = 25\text{°C}$
- On veut $T_J < 100\text{°C}$

Relation température/puissance :

$$T_J - T_A = R_{th} \times P_{totale}$$

On veut : $T_J < 100\text{°C}$, donc $R_{th} < \frac{100 - T_A}{P_{totale}}$

Par ailleurs $R_{th} \approx R_{boitier} + R_{radiateur}$

*Il faut donc : $R_{radiateur} < \frac{100 - 25}{9,2} - 2,8$
 $\Rightarrow R_{radiateur} < 5,3 \text{ °C/W}$*