



POLYTECH.MONS

TRAVAIL DE FIN D'ETUDES

« Etude comparative de deux convertisseurs à commutation douce pour engin de traction ferroviaire »

Moretti Adriano

ALSTOM | Transport

Promoteur : Dr. Ir. O. Deblecker

Co-promoteur : Prof. C. Broche

23/03/2006

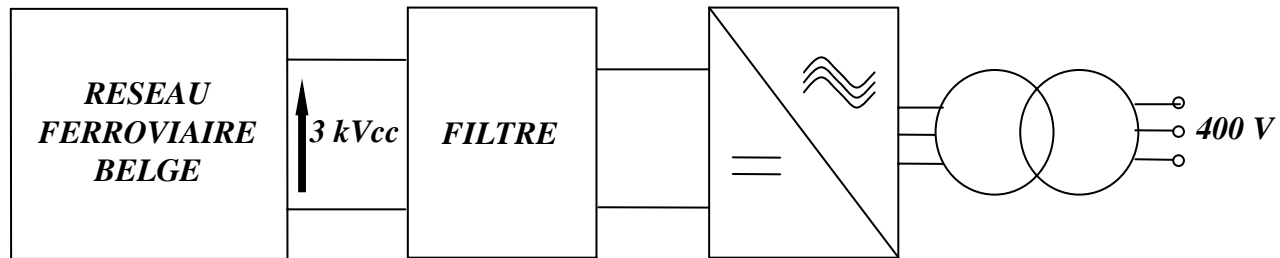
FACULTÉ POLYTECHNIQUE DE MONS



ACADÉMIE
UNIVERSITAIRE
WALLONIE-
BRUXELLES

CONTEXTE DE L'ETUDE

- Au niveau des engins de traction, des convertisseurs auxiliaires sont utilisés afin d'alimenter en énergie les divers consommateurs d'électricité. Ces convertisseurs doivent délivrer une tension de 400 V à $\pm 10\%$ triphasée (50 Hz).

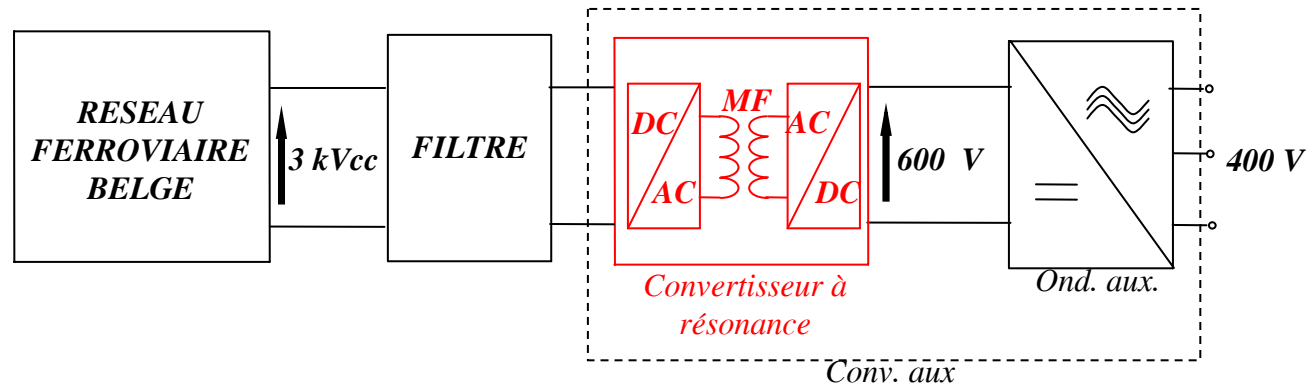


- Inconvénient : composants passifs (filtres et transformateurs) à basse fréquence relativement volumineux, lourds et donc coûteux.

→ **AUGMENTATION DE LA FREQUENCE DE TRAVAIL**

CONTEXTE DE L'ETUDE

- Utilisation de convertisseur à résonance



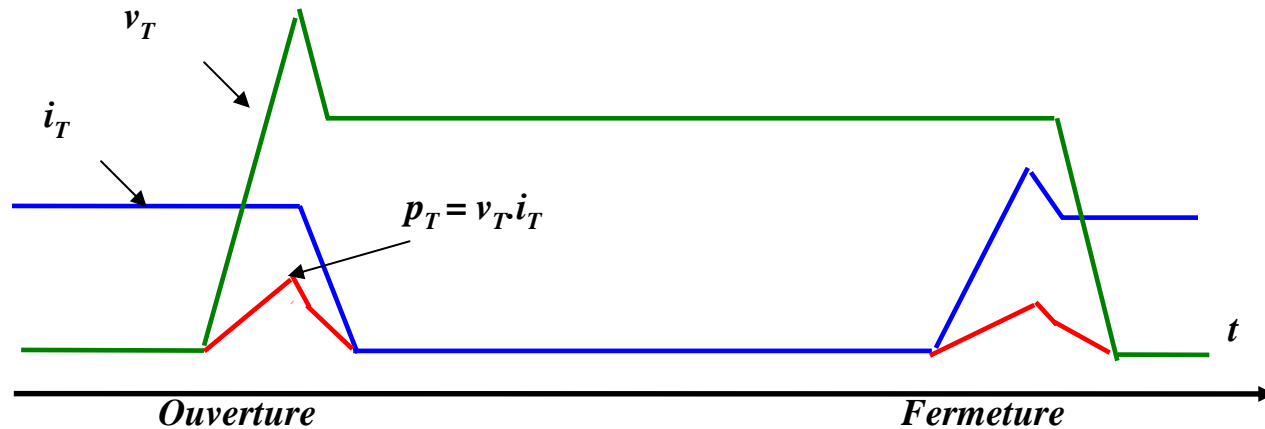
- Transformation indirecte **continu – alternatif / alternatif – continu**
 - Transformateur moyenne fréquence
 - Commutation douce
- Etude comparative de deux topologies de convertisseur à résonance

PLAN DE L'EXPOSE

- ❑ Introduction de la notion de commutation douce
- ❑ Cahier des charges
- ❑ Etude de la première topologie
- ❑ Etude de la deuxième topologie
- ❑ Comparaison des deux topologies de convertisseur à résonance
- ❑ Conclusions

COMMUTATION DURE

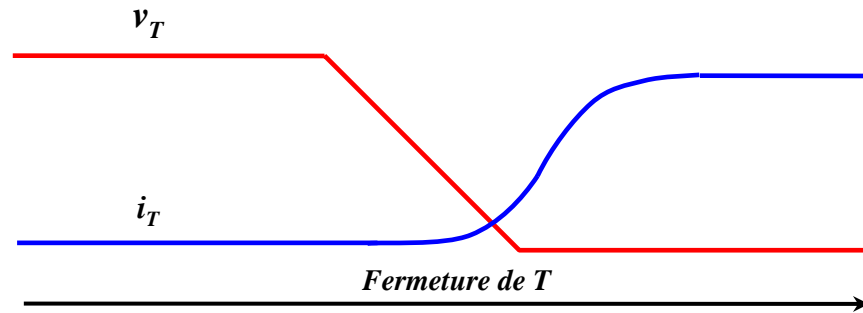
- Formes d'ondes idéalisées lors de commutations dures d'un interrupteur T



→ pertes en commutation proportionnelles à la fréquence de commutation

COMMUTATION DOUCE

- **But** : empêcher la présence simultanée de tension et courant importants dans le composant au moment des transitions



- **ZCS (Zero Current Switching)** : commutation, à l'ouverture comme à la fermeture, lorsque le composant n'est pas traversé par du courant.
- **Convertisseur à résonance** : commutation ZCS réalisée par l'intermédiaire de circuit L-C.

PLAN DE L'EXPOSE

- ❑ Introduction de la commutation douce
- ❑ *Cahier des charges*
- ❑ Etude de la première topologie
- ❑ Etude de la deuxième topologie
- ❑ Comparaison des deux topologies
- ❑ Conclusions

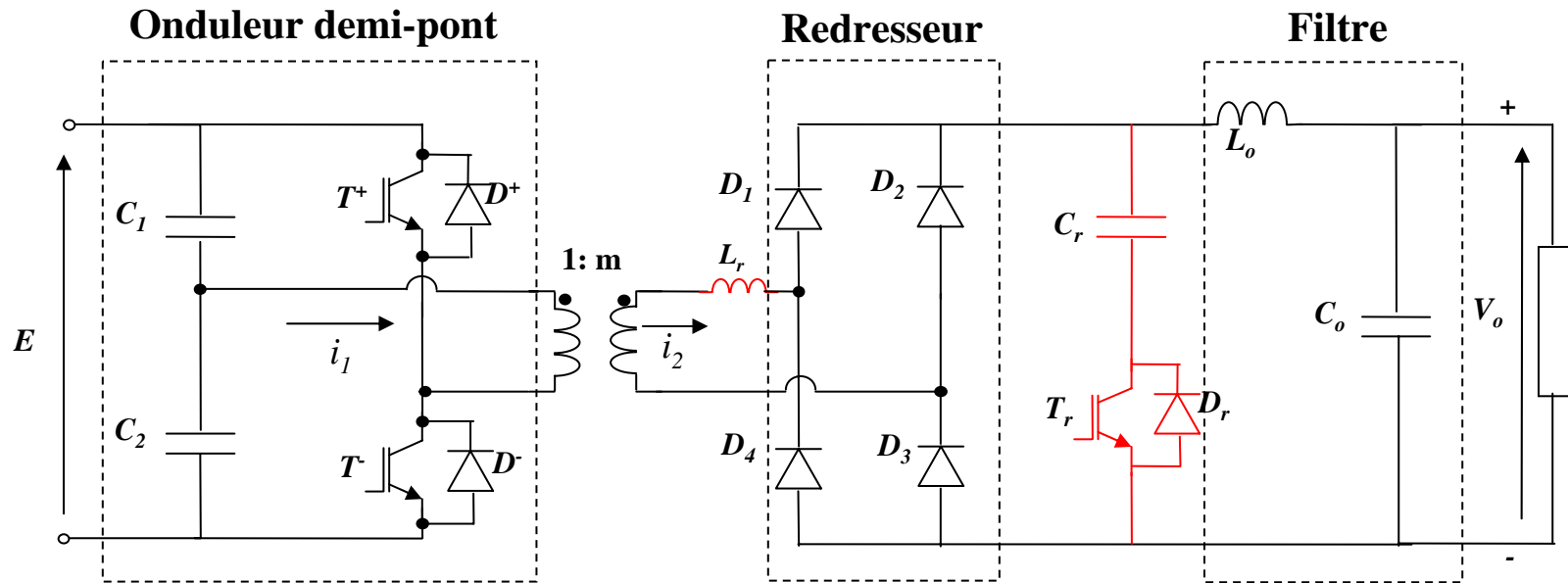
CAHIER DES CHARGES

Grandeur	Valeur	Remarque
Puissance nominale	100 kW	
Tension d'entrée	3 kV _{cc} ±30%	Tolérance de ±30% afin de considérer les fluctuations de tension de la caténaire.
Tension de sortie	600 V _{cc} régulée	A vide ou en charge.
Calibre maximum en tension des IGBT	6,5 kV	

PLAN DE L'EXPOSE

- ❑ Introduction de la commutation douce
- ❑ Cahier des charges
- ❑ *Etude de la première topologie*
- ❑ Etude de la deuxième topologie
- ❑ Comparaison des deux topologies
- ❑ Conclusions

PRESENTATION DE LA PREMIERE TOPOLOGIE



- ❑ T^+ et T^- commutent à la fréquence de 4 kHz
- ❑ T_r commutent à la fréquence de 8 kHz

CARACTERISTIQUES DE SORTIE

- V_o est la tension aux bornes du pont redresseur filtrée :

$$V_o = \frac{1}{T} \int_0^T u_{PN} dt$$

- En utilisant les grandeurs normalisées :

$$x \leftrightarrow I_o$$

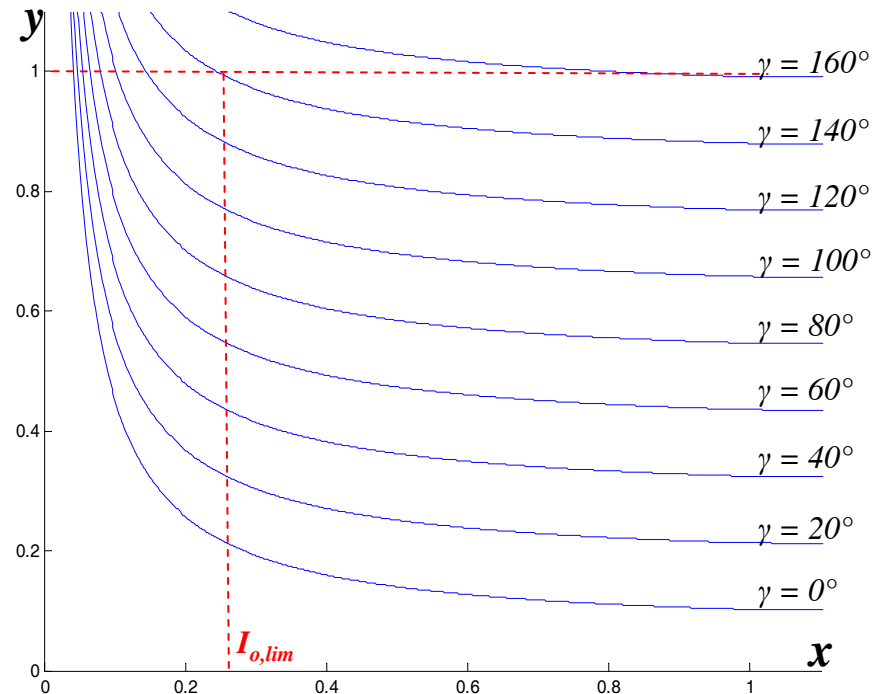
$$y \leftrightarrow V_o$$

$$k_f = \frac{f}{f_o} = \frac{\text{fréquence de fonctionnement}}{\text{fréquence de résonance}}$$

la caractéristique de sortie s'écrit :

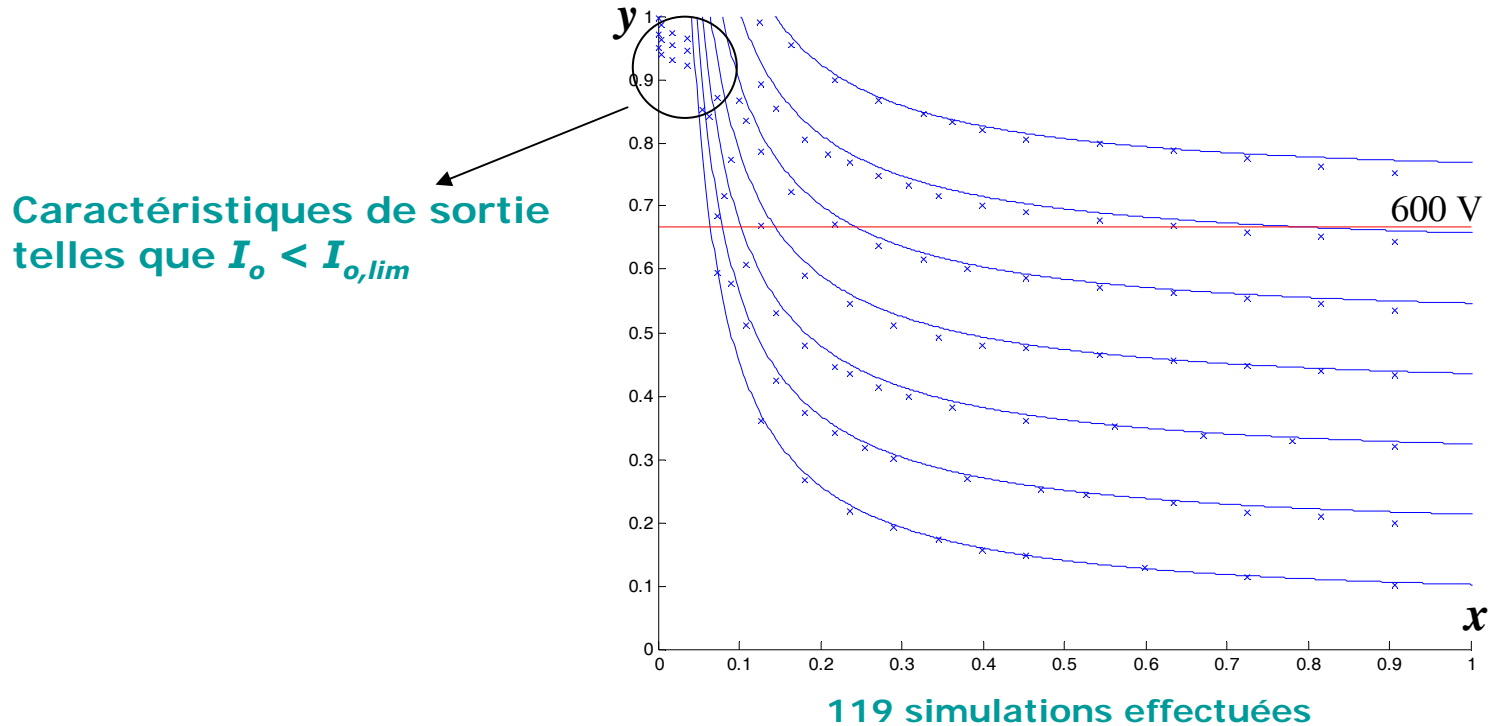
$$y = \frac{\gamma}{\pi} + \frac{k_f}{\pi} \arcsin(-x) + \frac{k_f \cdot x}{\pi} + \frac{k_f}{2\pi} \cdot \frac{1}{x} \cdot [1 - \cos(\arcsin(-x))]^2$$

- Expression valable dans le cas où C_r a terminé sa décharge avant $t=T/2$



SIMULATIONS

- Simulations effectuées avec le logiciel SABER©

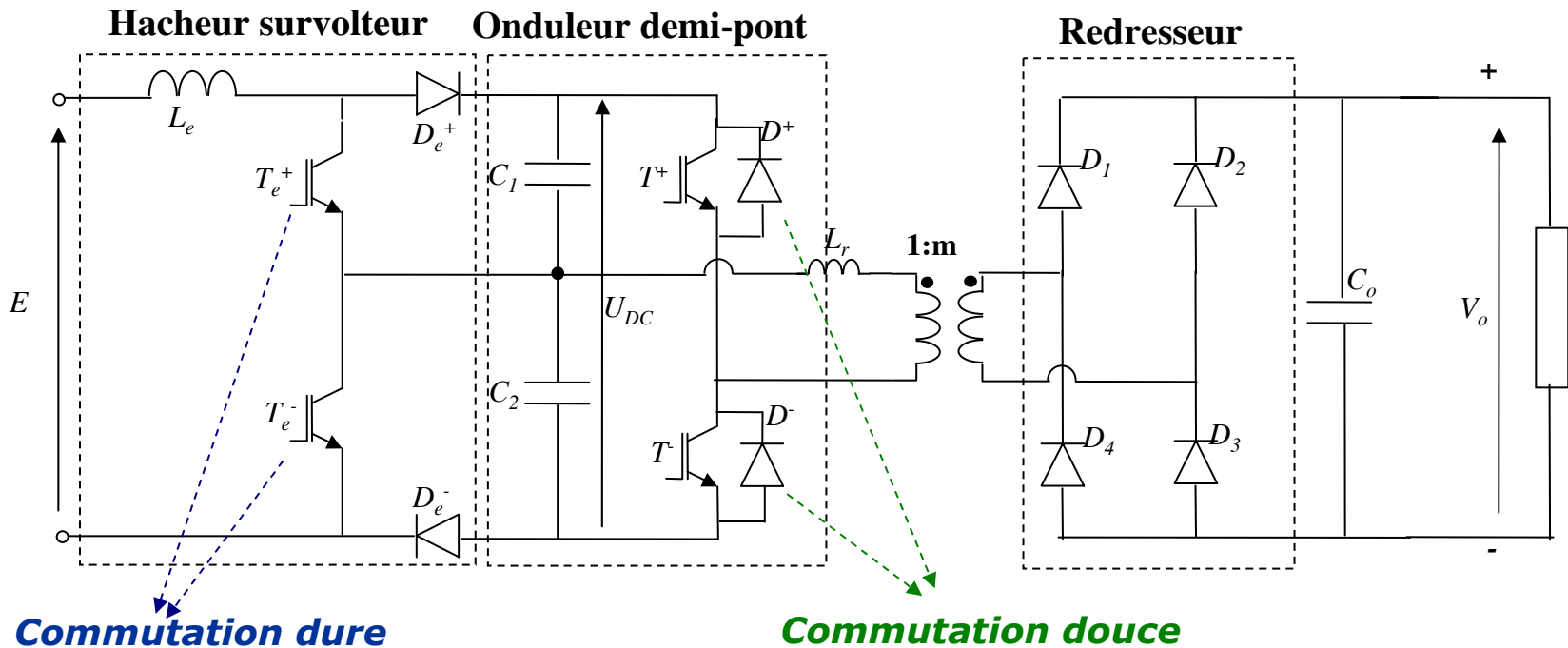


- Fonctionnement à vide impossible
- Solution : rendre le bras constitué de T_r et C_r inopérant, commutation dure de T^+ et T^-

PLAN DE L'EXPOSE

- ❑ Introduction de la commutation douce
- ❑ Cahier des charges
- ❑ Etude de la première topologie
- ❑ *Etude de la deuxième topologie*
- ❑ Comparaison des deux topologies
- ❑ Conclusions

PRESENTATION DE LA DEUXIEME TOPOLOGIE



- ❑ Tous les interrupteurs commutent à la fréquence de 4 kHz
- ❑ On utilise le rapport cyclique $\delta = t_f/T$ pour caractériser le temps de conduction t_f des interrupteurs T_e^+ et T_e^-

MODES DE FONCTIONNEMENT DU CONVERTISSEUR

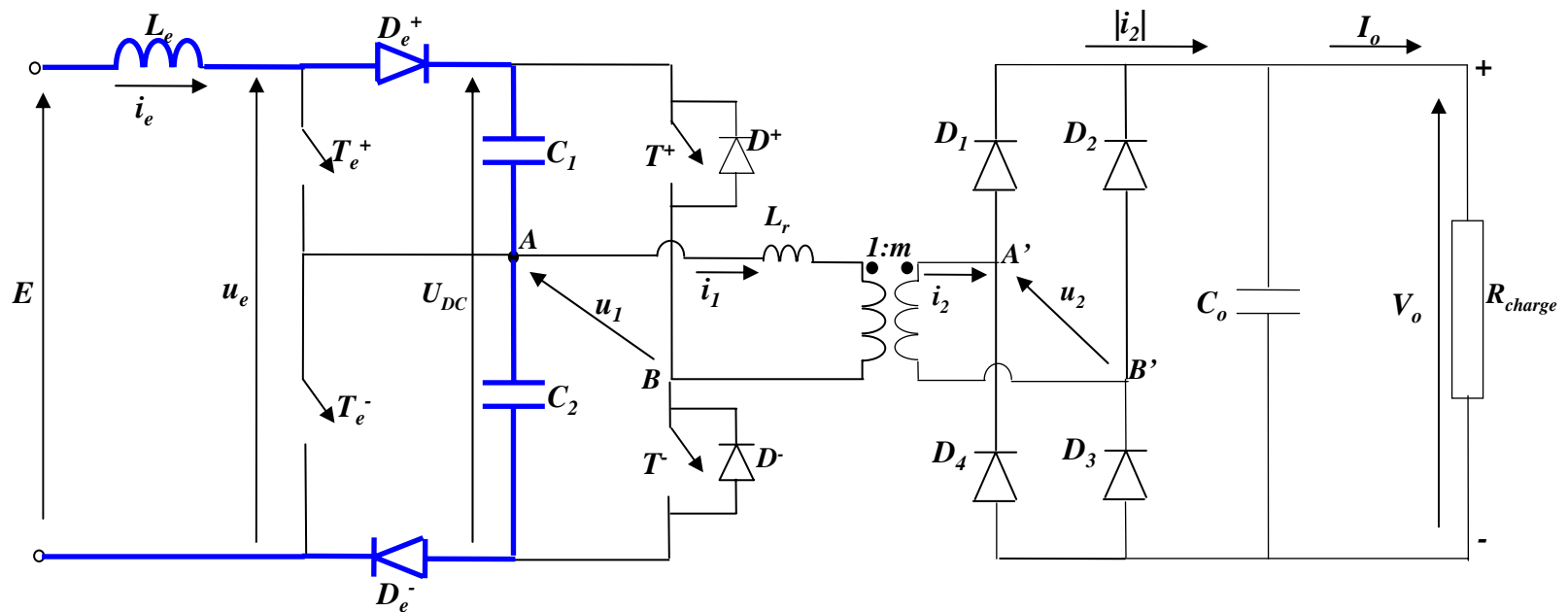
- ❑ Conduction *continue* de l'inductance d'entrée L_e

- ❑ Conduction *discontinue* ou *lacunaire*

ETUDE DU FONCTIONNEMENT DE LA TOPOLOGIE 2

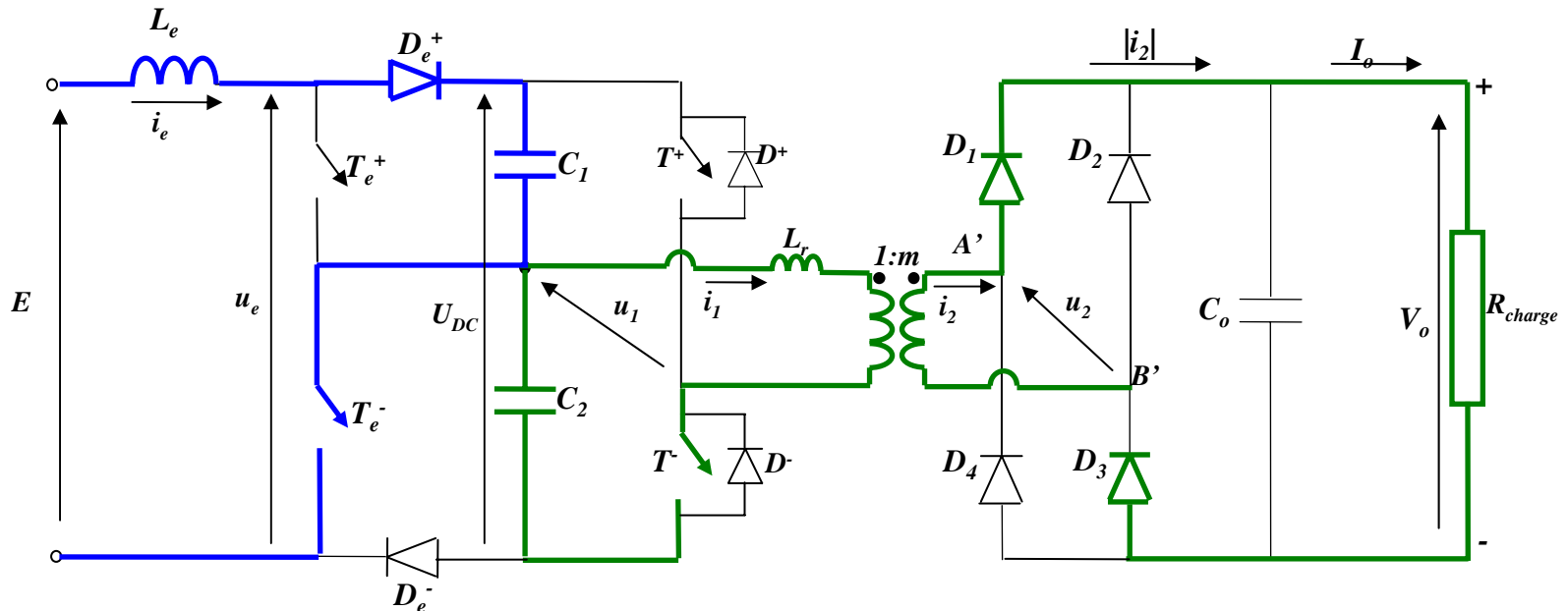
Avant l'instant t_1 :

- ❑ Interrupteurs ouverts
- ❑ $u_1 = u_2 = i_1 = i_2 = 0$
- ❑ C_1 et C_2 se chargent



Phase 1 : $t_1 \leq t \leq t_2$

□ Fermetures simultanées de T_e^- et T^-

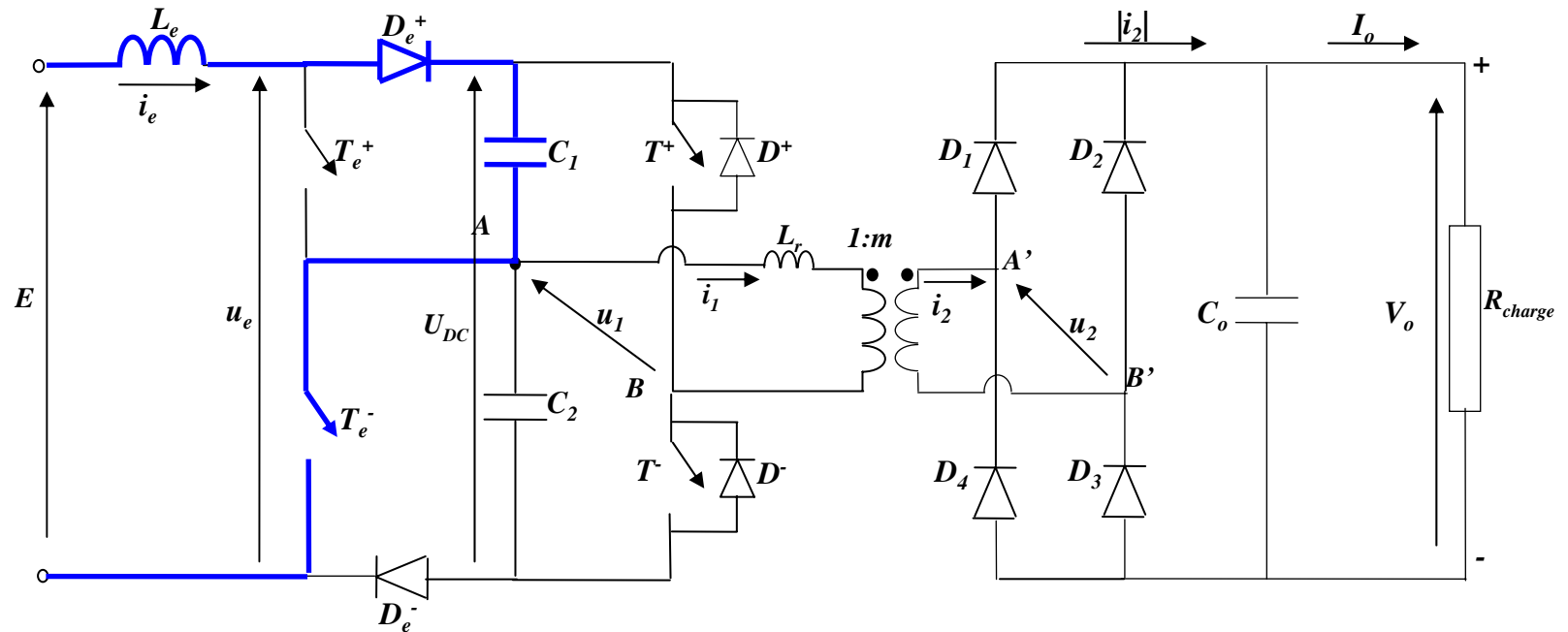


- C_1 se charge
- C_2 se décharge dans le primaire du transformateur
- D_1 et D_3 passantes $\rightarrow u_2 = V_o/m$
- Ogive positive de courant primaire
- i_e croît linéairement

$$i_1(t) = \left(\frac{v_{c_2}(t_1) - \frac{V_o}{m}}{Z_o} \right) \sin(\omega_o(t - t_1))$$

Phase 2 : $t_2 \leq t \leq t_3$

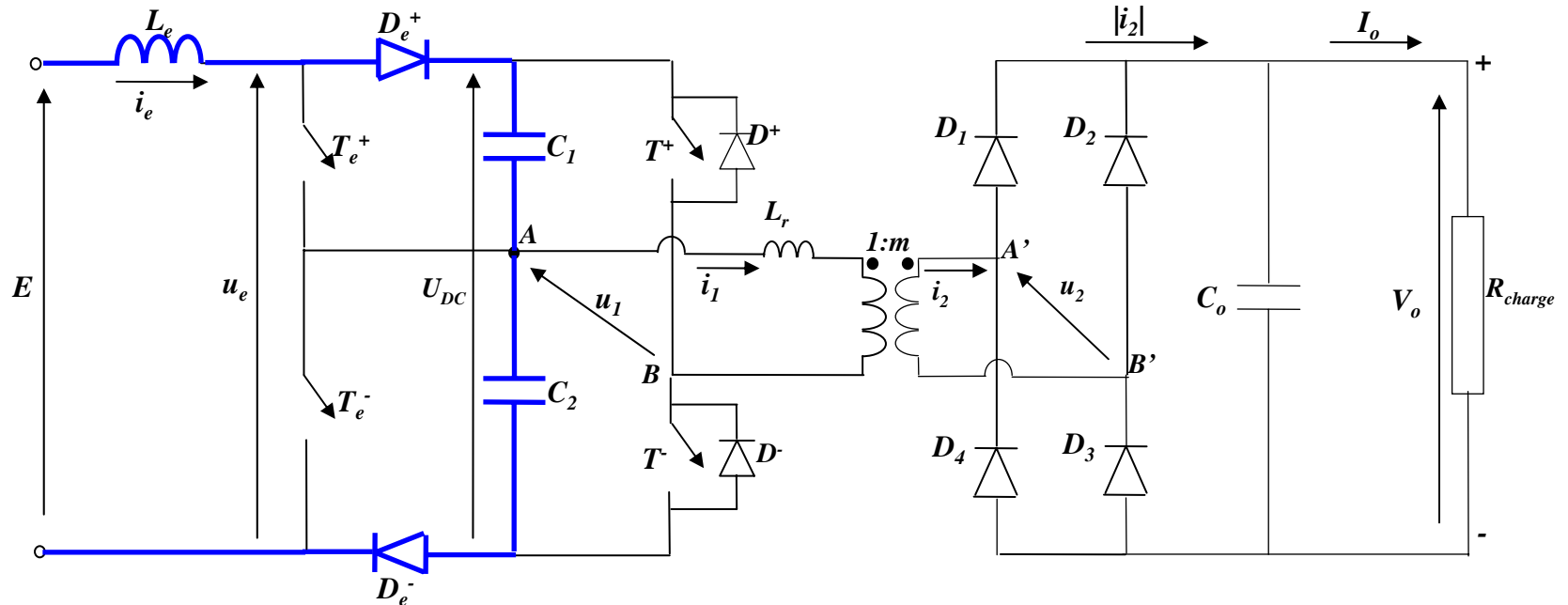
□ En t_2 , le courant i_1 s'annule, on ouvre T^- (commutation ZCS)



- C_1 se charge
- C_2 ne peut plus se décharger ; sa tension reste constante
- $u_1 = u_2 = i_1 = i_2 = 0$
- i_e croît linéairement

Phase 3 : $t_3 \leq t \leq t_4$

□ En t_3 , on ouvre T_e^- (commutation dure)



- Tous les interrupteurs sont ouverts
- i_e décroît linéairement
- C_1 et C_2 se chargent
- $u_1 = u_2 = i_1 = i_2 = 0$

CARACTERISTIQUES DE SORTIE

- Le courant de charge I_o est la composante moyenne du courant redressé $|i_2|$:

$$I_o = \frac{1}{T} \int_0^T |i_2| dt$$

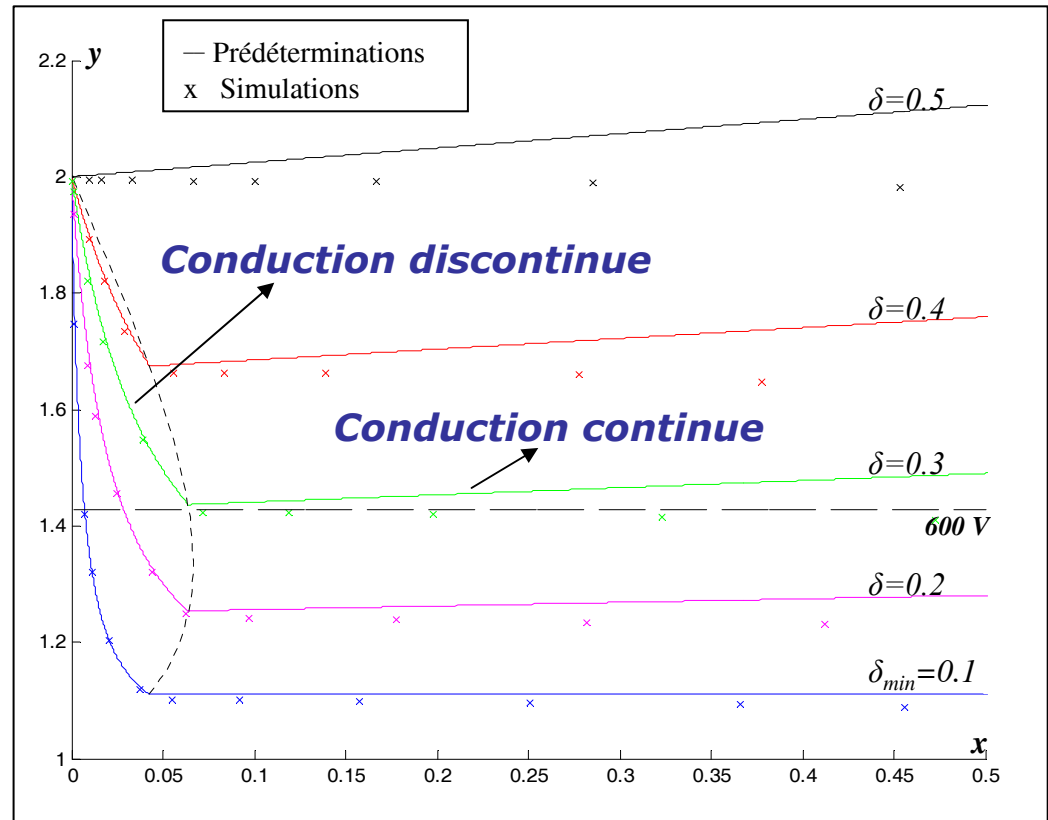
- En posant

$$x \leftrightarrow I_o$$

$$y \leftrightarrow V_o$$

la caractéristique de sortie en conduction continue s'écrit :

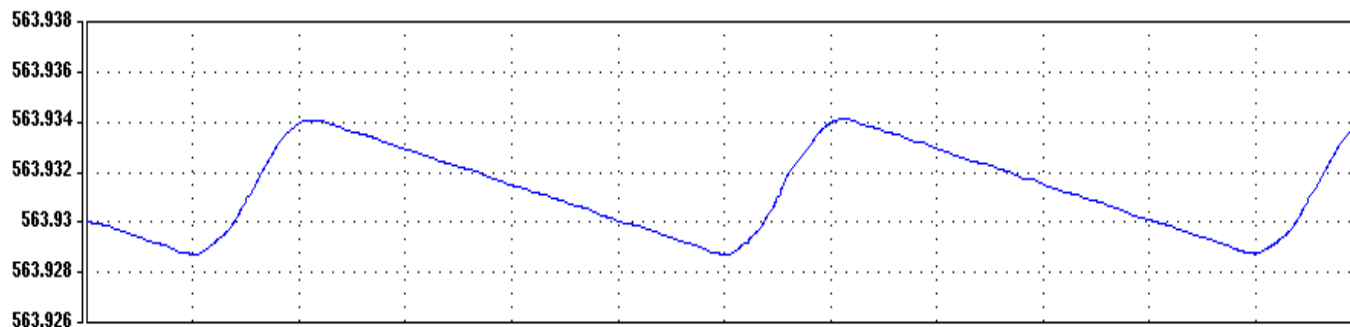
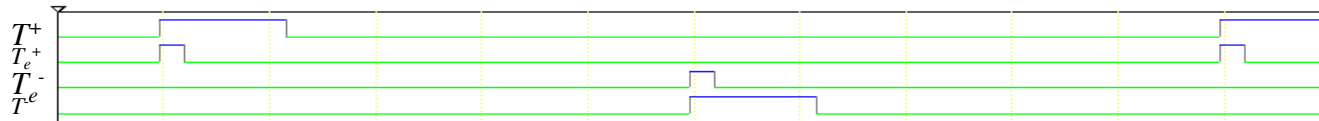
$$y = \frac{1}{(1-\delta)} + m^2 \omega_o \frac{\delta - \delta_{\min}}{4f} x$$



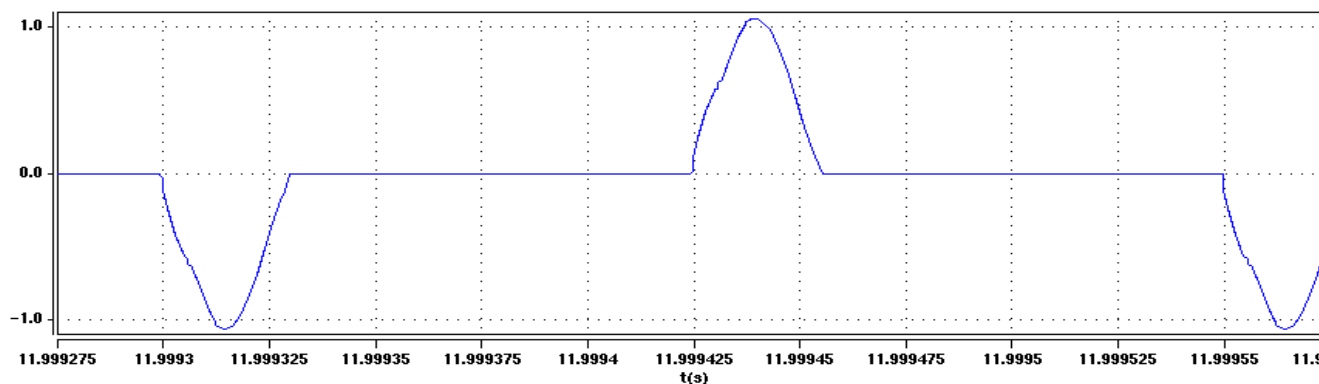
- Expression valable dans le cas où T_e^+ et T_e^- conduisent plus longtemps que T^+ et $T^- \rightarrow \delta_{\min}$

FONCTIONNEMENT A VIDE

- *Fonctionnement à vide traité par simulation (conduction discontinue, $\delta < \delta_{min}$: T_e^+ et T_e^- conduisent moins longtemps que T^+ et T^-)*



Tension de sortie (V)



i_1 (A)

PLAN DE L'EXPOSE

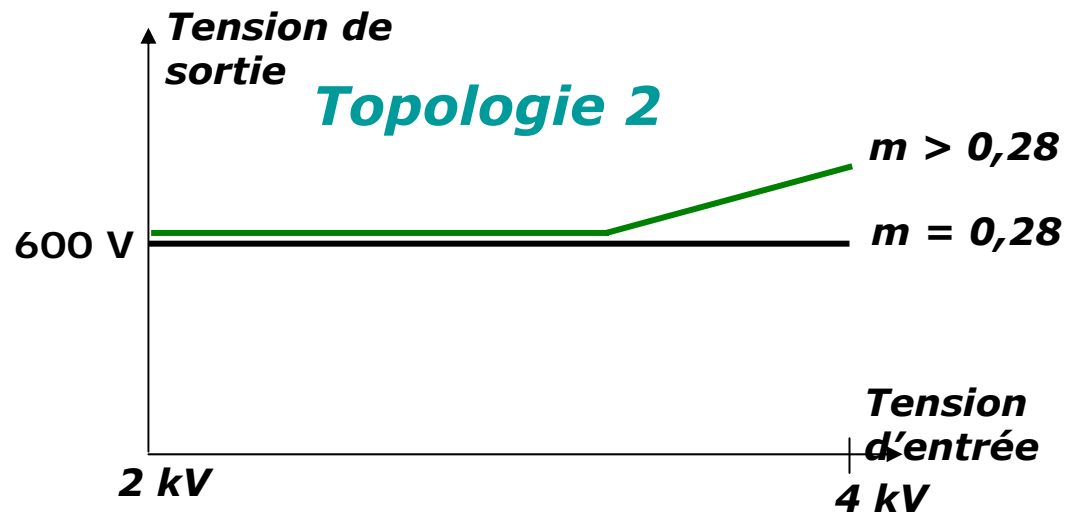
- ❑ Introduction de la commutation douce
- ❑ Cahier des charges
- ❑ Etude de la première topologie
- ❑ Etude de la deuxième topologie
- ❑ ***Comparaison des deux topologies***
- ❑ ***Conclusions***

CRITERES DE COMPARAISON

- Fonctionnement à vide
- Fonctionnement correct à $\pm 30\%$ de la tension nominale d'entrée
- Réduction de poids
- Pertes dissipées dans les composants à semi-conducteur en fonctionnement nominal
- Sollicitations des composants à semi-conducteur

COMPARAISON

- ❑ Seule la deuxième topologie permet de fonctionner à vide sans modification de sa commande.
- ❑ Fonctionnement correct à $\pm 30\%$ de la tension nominale d'entrée



COMPARAISON

❑ Réduction de poids

A l'exception du transformateur, les éléments passifs de la deuxième topologie sont moins lourds

VALEURS EFFICACES MAXIMALES		
	TOPOLOGIE 1	TOPOLOGIE 2
i_1	167,13 A	241,48 A
u_1	1300,6 V	1019,9 V
i_2	278,56 A	862,42 A
u_2	829,8 V	281,66 V

→ *La deuxième topologie réalise le gain le plus important*

COMPARAISON

- ❑ Pertes dissipées dans les composants à semi-conducteur en fonctionnement nominal

	<i>PERTES TOTALES</i>
<i>TOPOLOGIE 1</i>	1159,694 W
<i>TOPOLOGIE 2</i>	3337,68 W

→ Rendement plus élevé pour la topologie 1

- ❑ Calibres des composants à semi-conducteur plus importants pour la deuxième topologie

RESUME DE L'ETUDE REALISEE

□ Etude théorique

- Formes d'ondes des principales grandeurs électriques
- Caractéristiques de sortie

□ Simulations avec le logiciel **SABER**©

- Vérification des formes d'ondes
- Validation des caractéristiques de sortie
- Compléter l'étude du fonctionnement

CONCLUSIONS

❑ Comparaison

	<i>TOPOLOGIE 1</i>	<i>TOPOLOGIE 2</i>
Simplicité de la construction		•
Sollicitations des composants à semi-conducteur (critère de moindre coût)		•
Fonctionnement correct à $\pm 30\%$ de la tension nominale d'entrée	•	
Fonctionnement correct dans toute la gamme de courants de charge	•	•
Moindres pertes dans les composants à semi-conducteur	•	
Plus grande réduction de masse		•

• *Point fort*

❑ Expérience personnelle doublement enrichissante