

SATIE

ENS
C A C H A N

cnrs
Organisation de la Recherche Scientifique

Il Crum
UNIVERSITÉ
de Cergy-Pontoise

La Spinale, 1967 - Germaine Richier

Alimentations à base de transformateurs piézoélectriques

Dejan Vasic

SATIE (CNRS, UMR 8029), Université de Cergy-Pontoise

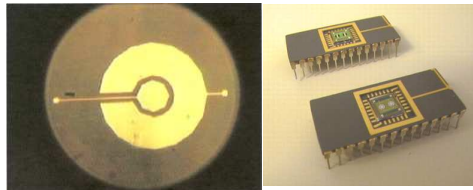
Equipe IPEM, axe convertisseurs et générateurs piézoélectriques

Objectif : Intégration des matériaux piézoélectriques en électronique de puissance

- Réalisation d'alimentation DC/DC avec transformateur piézoélectrique intégré.

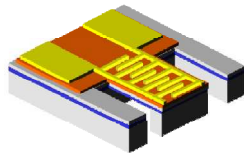


Dimensionnement de Transformateur (Ex 10W diamètre 26mm)

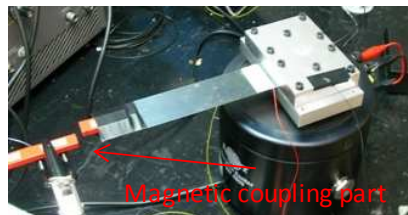
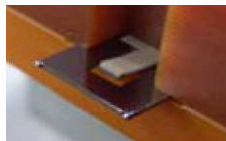


μTransformateur puissance qlqs μW

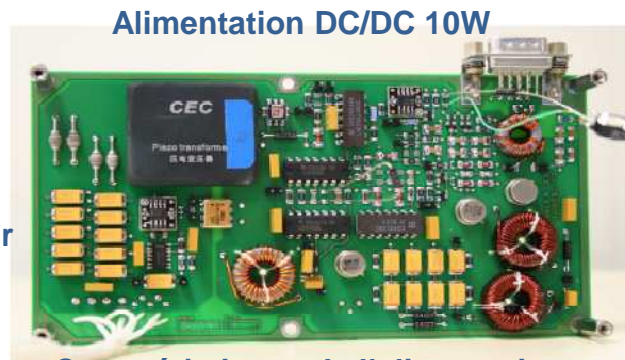
- Récupération d'énergie mécanique de vibration



μPoutre piézoélectrique intégrée sur silicium (longueur 1500μm)



Dispositifs non linéaire



Alimentation DC/DC 10W

Caractéristiques de l'alimentation

- Faible puissance
- Grand rendement >70%
- Forte isolation galvanique
- Amélioration de la CEM

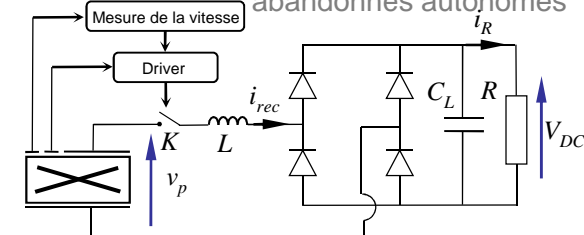
Alimentation de lampe CCFL



- Dimensionnement du TP Rosen
- Fréquence fixe

Caractéristiques & Applications

- Puissance de l'ordre du μW
- Intégré sur silicium
- Alimentation de capteurs abandonnés autonomes



Interfaces SSHI auto-alimentées

Transformateur piézoélectrique

Pourquoi un transformateur piézoélectrique ?

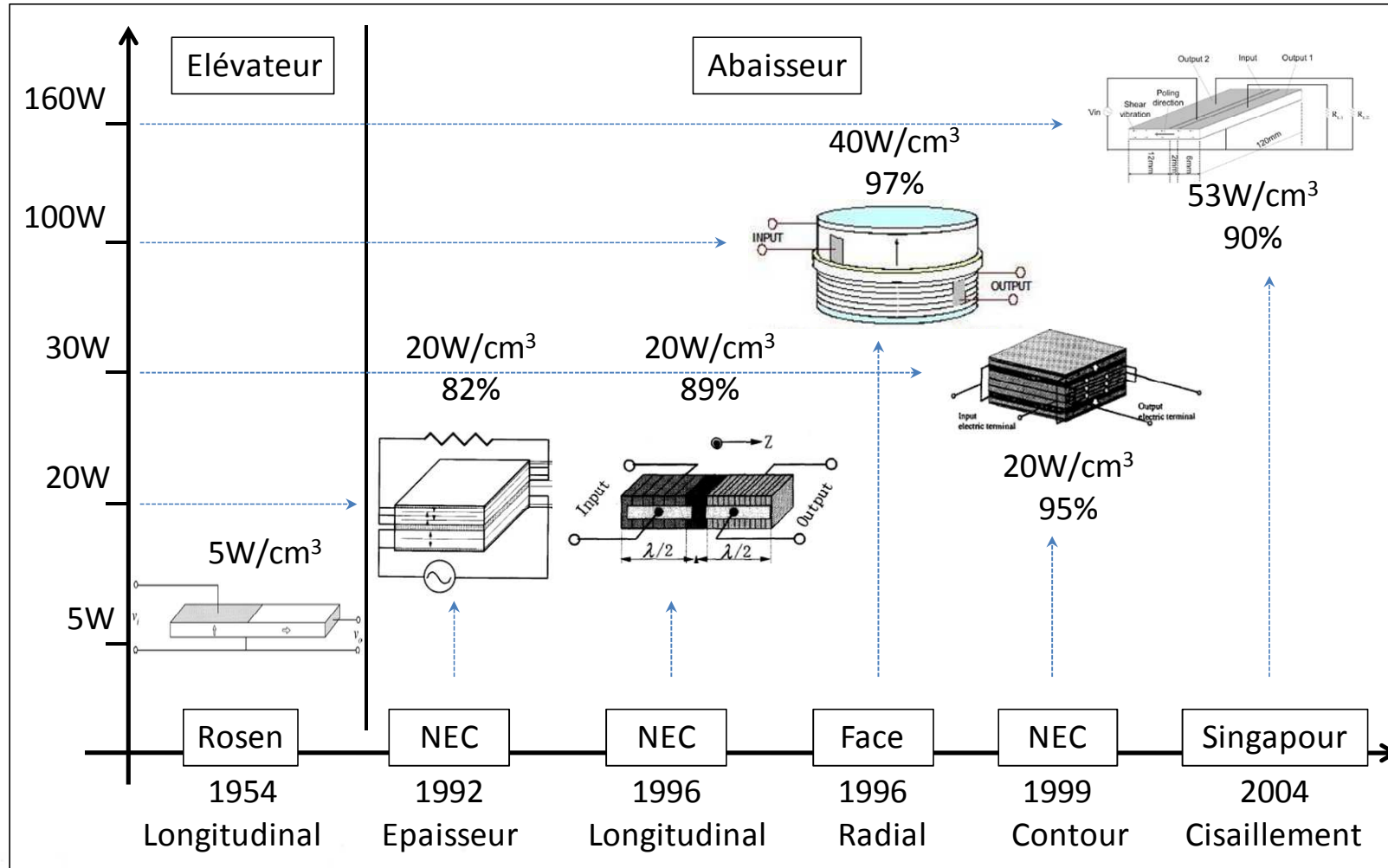


- Structure monobloc, facilement industrialisable
- Faible encombrement
- Forte densité de puissance ($35\text{W}/\text{cm}^3$)
- Rendement : Q_m élevé \rightarrow rendement (95%)
- Faible élévation de température : 20°C .
- Sécurité : Non inflammable, ne craint pas les surcharges et les courts-circuits
- CEM : Pas de rayonnement électromagnétique

Plan

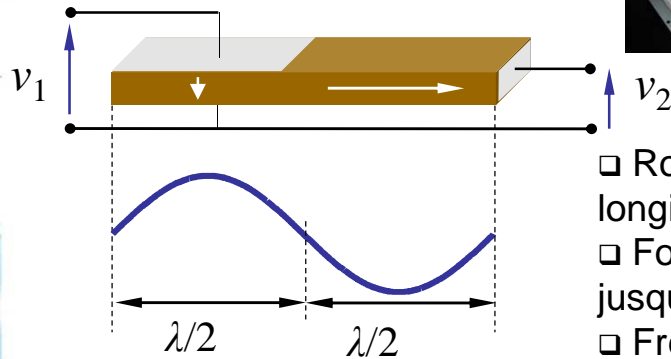
- Les transformateurs piézoélectriques
- Topologies des convertisseurs à base de transformateur piézoélectrique
- L'étage d'entrée et de sortie
- Exemple de convertisseur DC/DC piézoélectrique pour des applications spatiales
- Performances en CEM
- Conclusion

Historique du développement des transformateurs piézoélectriques



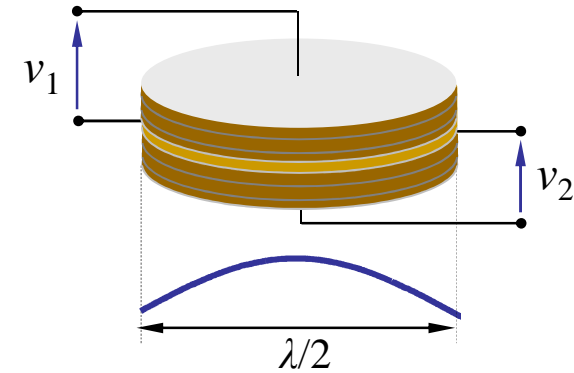
Les différentes structures de Transformateurs Piézoélectriques

Pour les lampes CCFL



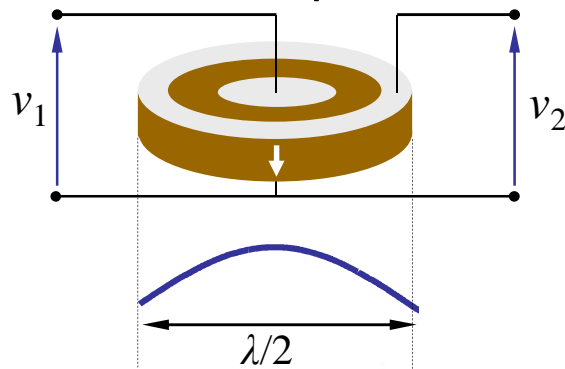
- Rosen, modes de couplage longitudinal / transversal
- Forte gain en tension, jusqu'à 1000
- Fréquences de résonance entre 50 et 70 KHz

Pour les convertisseurs DC/DC



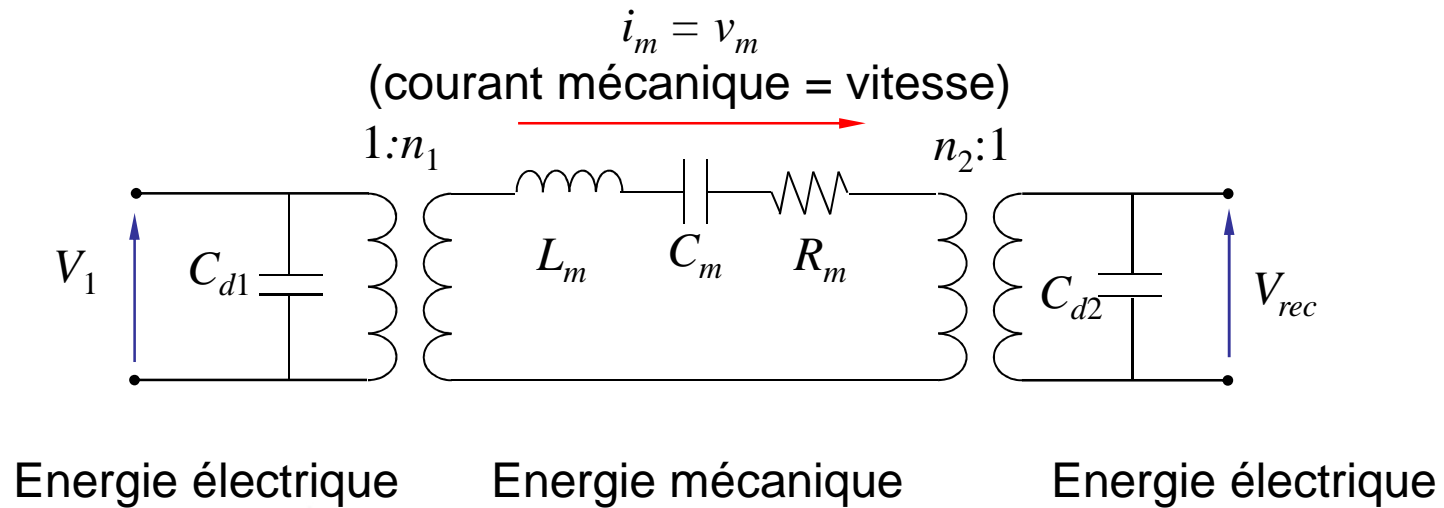
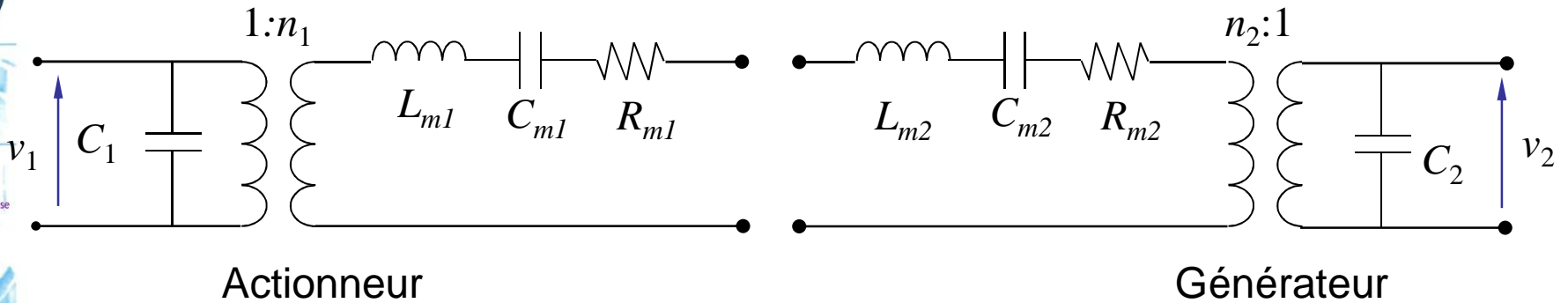
- Mode radial
- Structure multicouche
- Fonctionne en abaisseur
- Fréquences de résonance entre 80 et 150 KHz

Pour les lampes T5 / T8

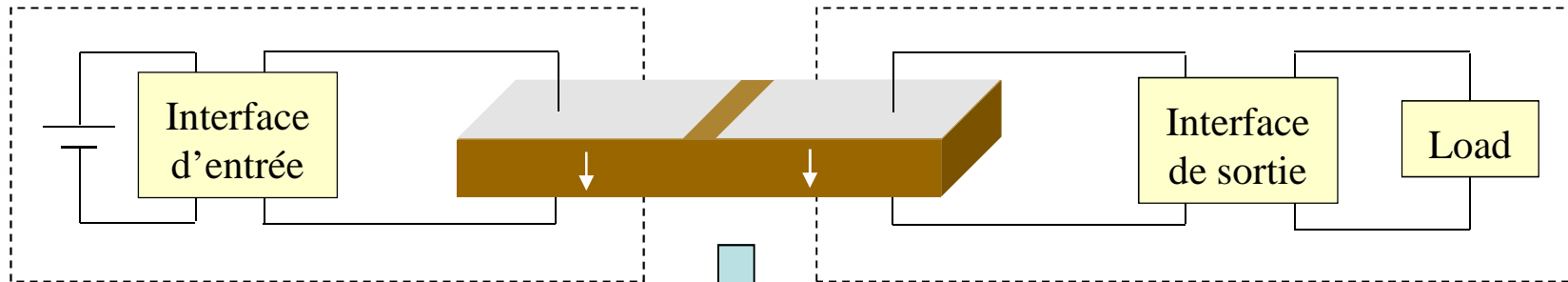


- Mode radial
- Electrodes co-centriques
- Fonctionne en éleveur (faible gain)
- Fréquences de résonance entre 50 et 70 KHz

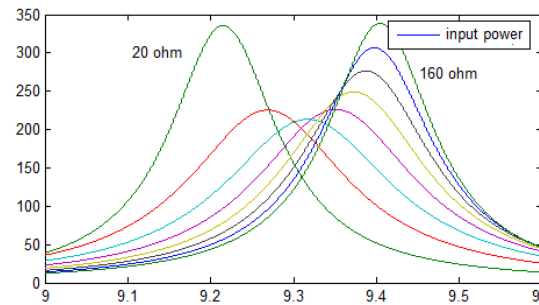
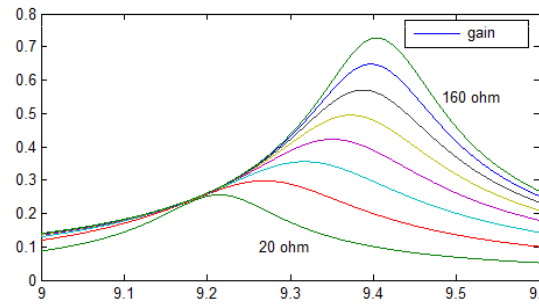
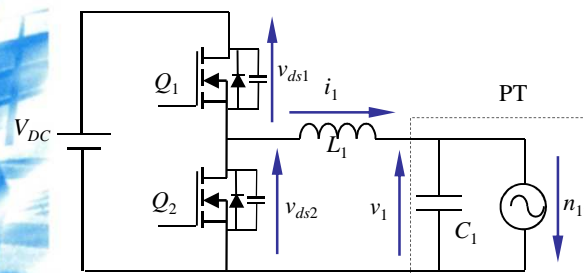
Schéma électrique équivalent



Topologies des convertisseurs à transformateurs piézoélectriques



Conversion DC / AC
Ex : Demi-pont à résonance

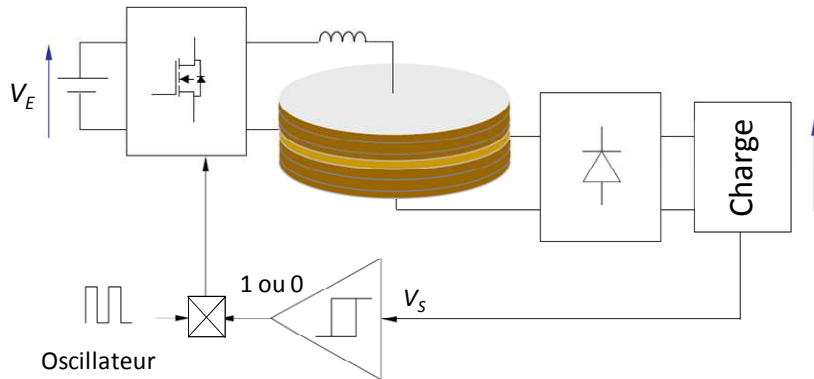


Gain et puissance en fonction de la fréquence $\times 10^4$

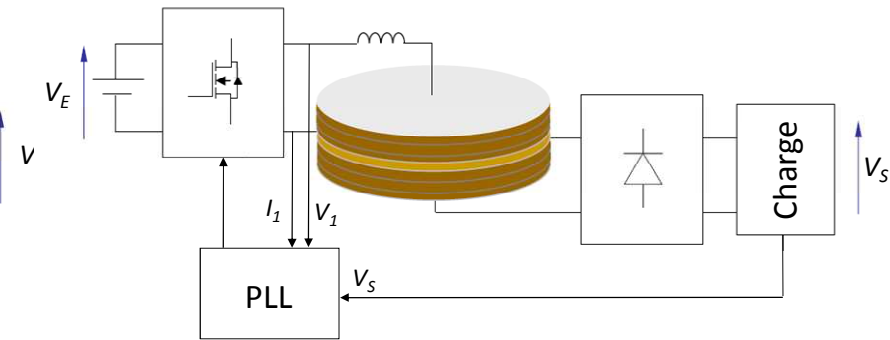
Dépend de l'application
Lampe Fluorescente :
résistance
Convertisseur DC/DC :
redresseur

Alimentation DC/DC

Régulation de la tension de sortie par MLI, par hystérésis ou par PLL



Régulation par hystérésis



Régulation par variation de la fréquence

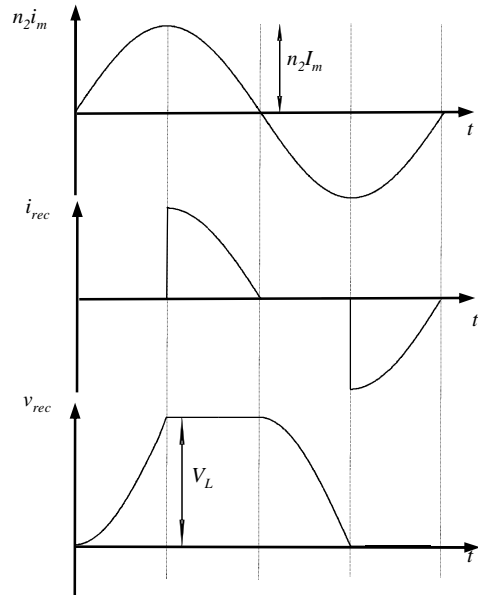
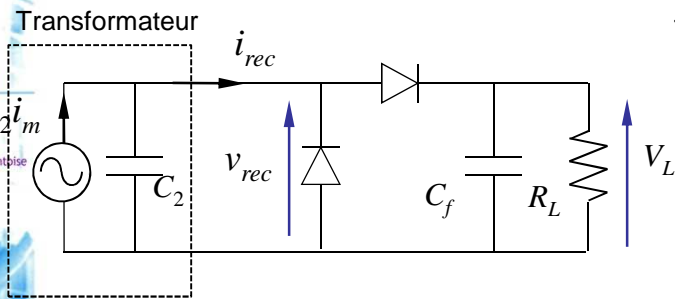
	Régulation par MLI	Régulation par variation de la fréquence	Régulation par hystérésis tout ou rien
Rendement	Mauvais	Moyen	Bon
Ondulation de la tension de sortie	Faible	Faible	Très faible
Dynamique	Bonne	Bonne	Très bonne
Conditions ZVS	Petite plage	Plage assez grande	Toujours
Bruit	Faible	Moyen	Elevé

Comparaison de 2 étages d'entrée

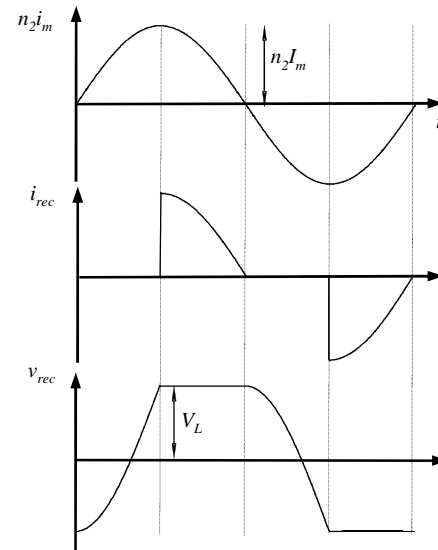
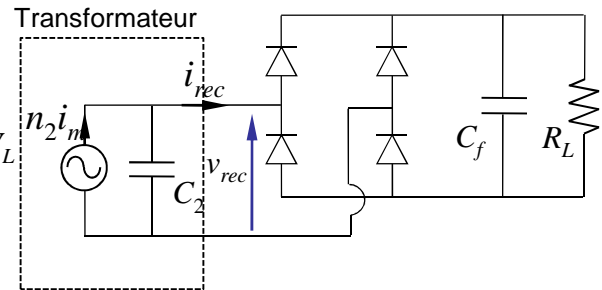
	Demi-pont à résonance	Demi-Push-Pull en courant
Topologies		
Formes d'onde		
Composants	2 interrupteurs et 1 inductance	1 interrupteur et 1 inductance
Commande	<ol style="list-style-type: none"> 1. MLI avec rapport cyclique de 0 à 50% 2. Modulation de fréquence 	Modulation de fréquence
Conditions de ZVS	Facile à réaliser dans une large gamme de variation de la charge	Sensible à la variation de charge

Etage de sortie, alimentation DC / DC

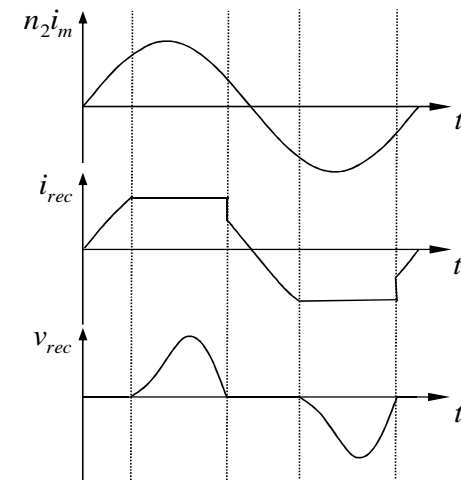
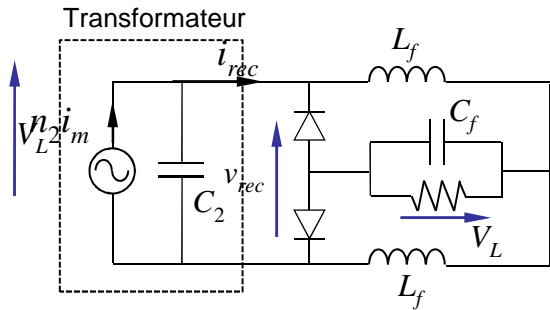
Doubleur de tension



Pont complet



Doubleur de courant

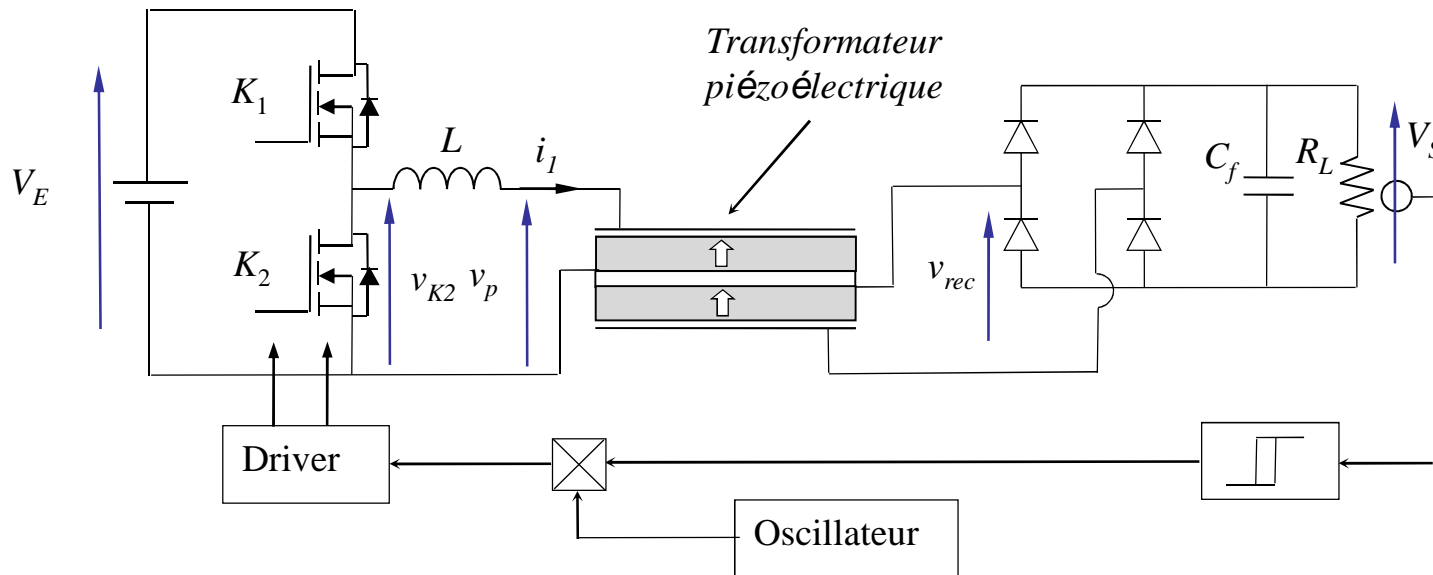


Comparaison des 3 étages de sortie

	Redresseur pont complet	Doubleur de tension	Doubleur de courant
Courant dans la charge pour un même fonctionnement du transformateur	moyen	faible	élevé
Taille du transformateur pour une même charge	moyen	élevé	petit
Chute de tension dans les diodes	2	1	1
Courant dans les diodes	1 fois	2 fois	2 fois
Inductance	non	non	2
Pertes dans le redresseur	faibles	faibles	élevés à cause des inductances

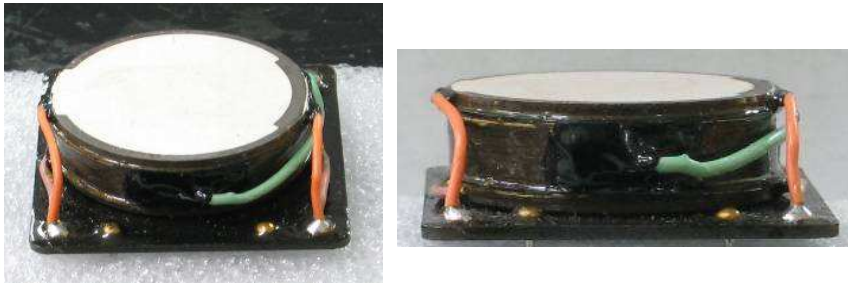
Exemple : alimentation DC/DC pour le spatial 28V / 15V – 10W

- Etage d'entrée : demi-pont à résonance
- Etage de sortie : pont redresseur complet
- Asservissement par hystérésis en mode tout ou rien



Résultats expérimentaux

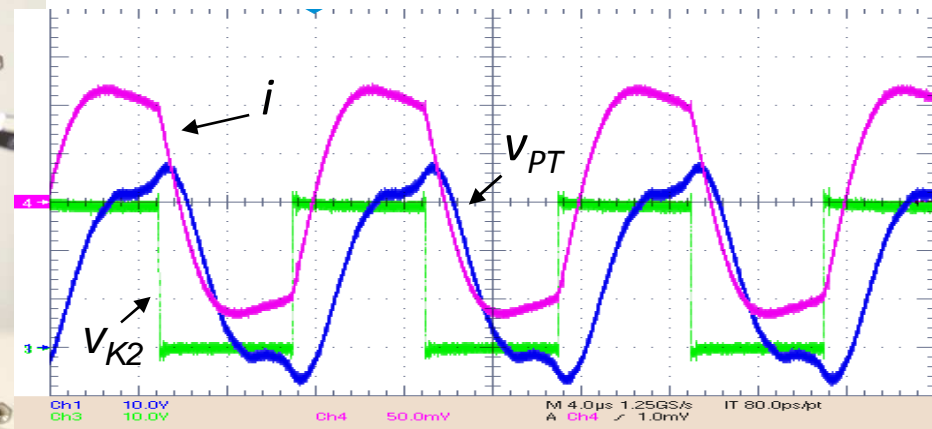
Transformateur Piézoélectrique



	Number of layers	Thickness	Radius
Input section	4	0.61mm	13mm
Output section	4	0.61 mm	13mm
Insulation	2	0.41mm	13mm

Dimensions of the transformer

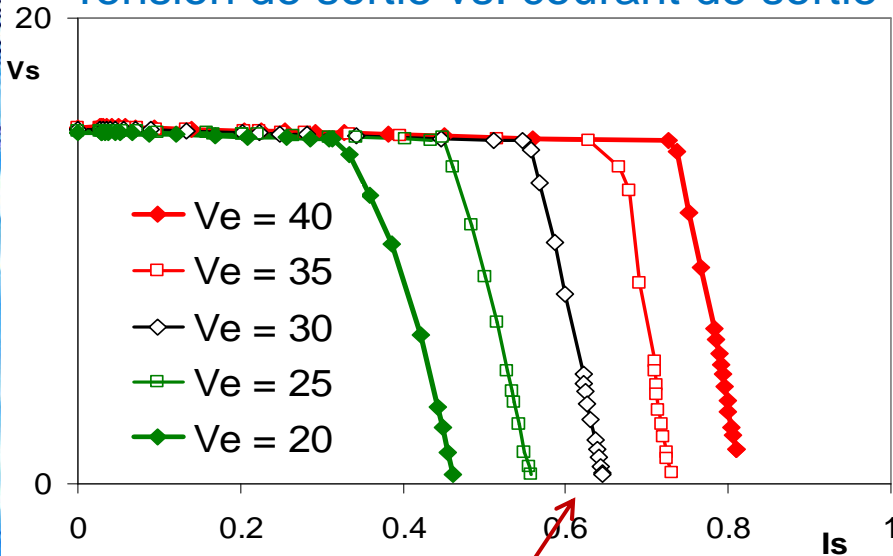
Convertisseur



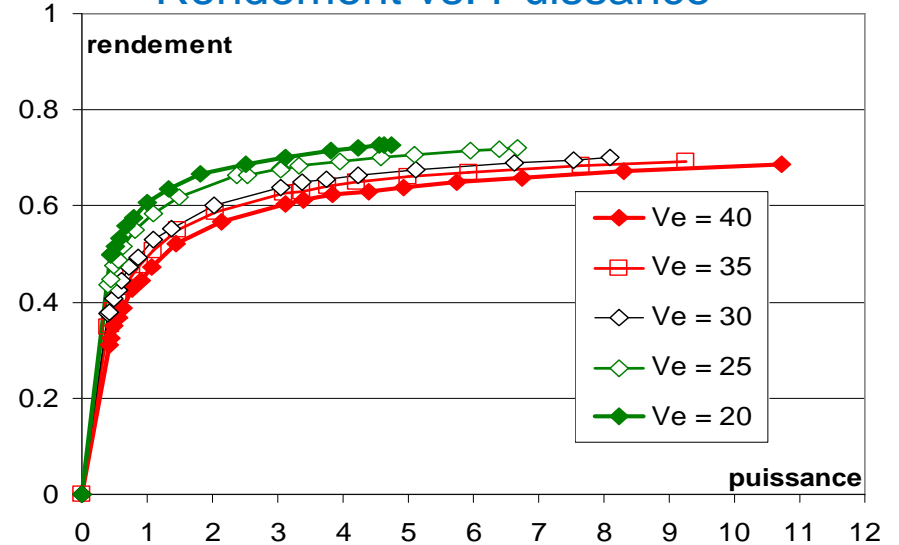
Résultats expérimentaux

- Tension de sortie et rendement en fonction de la tension de sortie

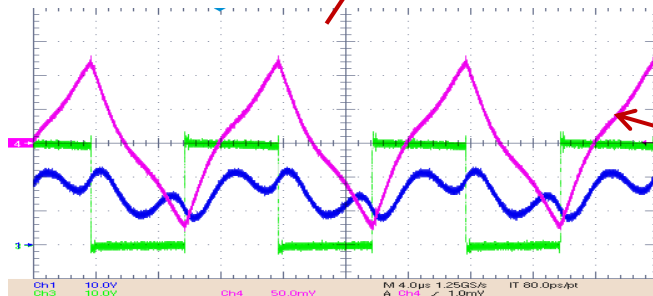
Tension de sortie vs. courant de sortie



Rendement vs. Puissance



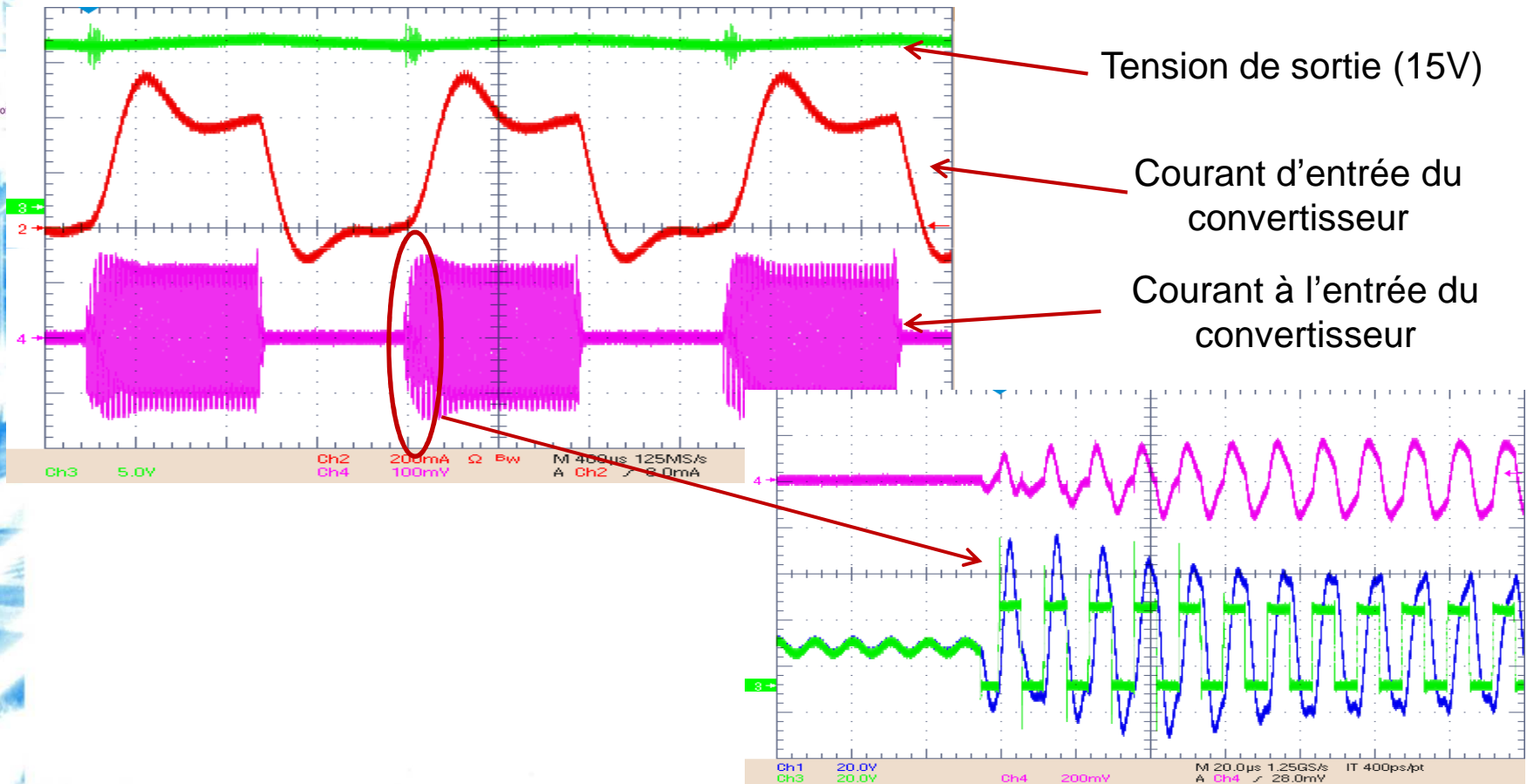
- Comportement remarquable du convertisseur lors de court-circuit



Courant à l'entrée du transformateur avec la sortie en court-circuit (0,5 A/div)

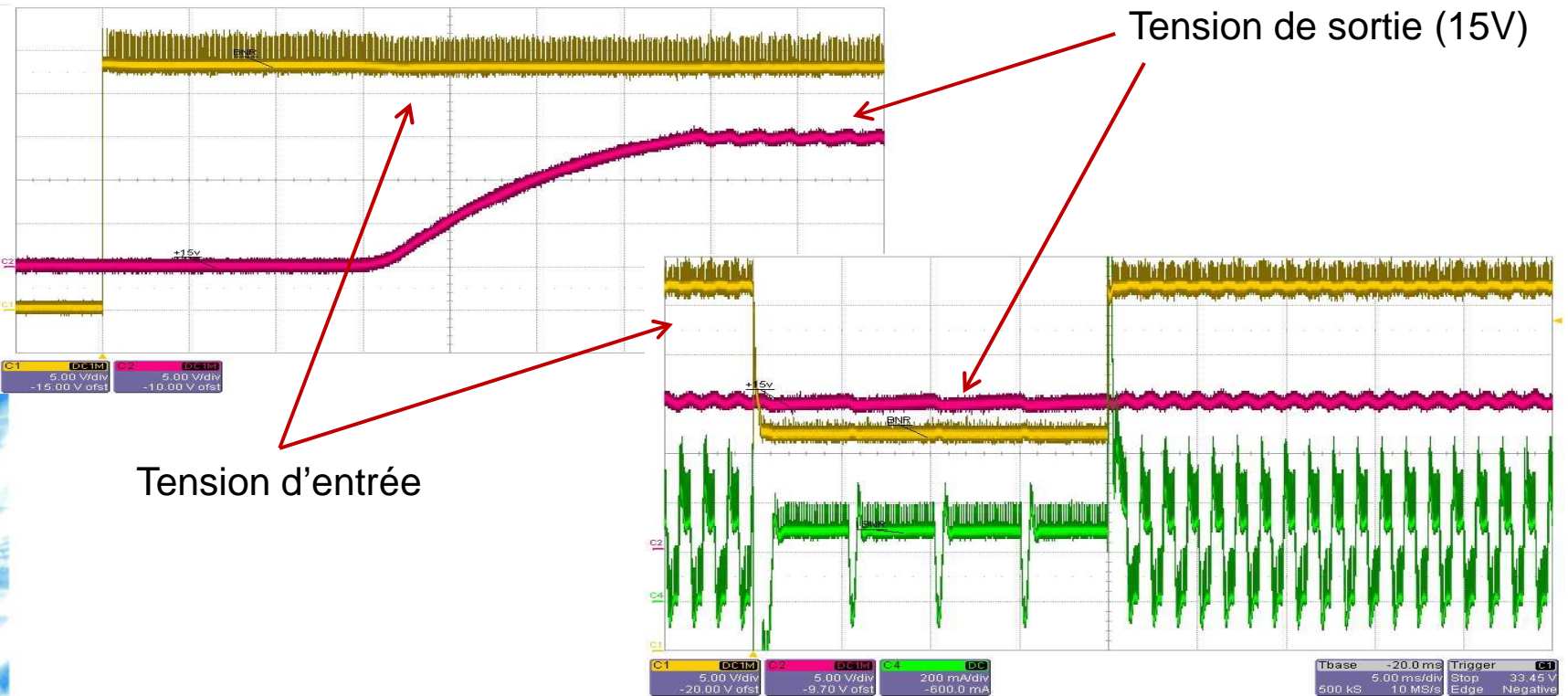
- Regulation frequency: 700Hz

Performances de la régulation



Performances de la régulation

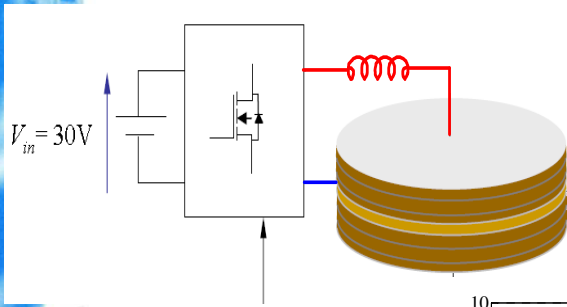
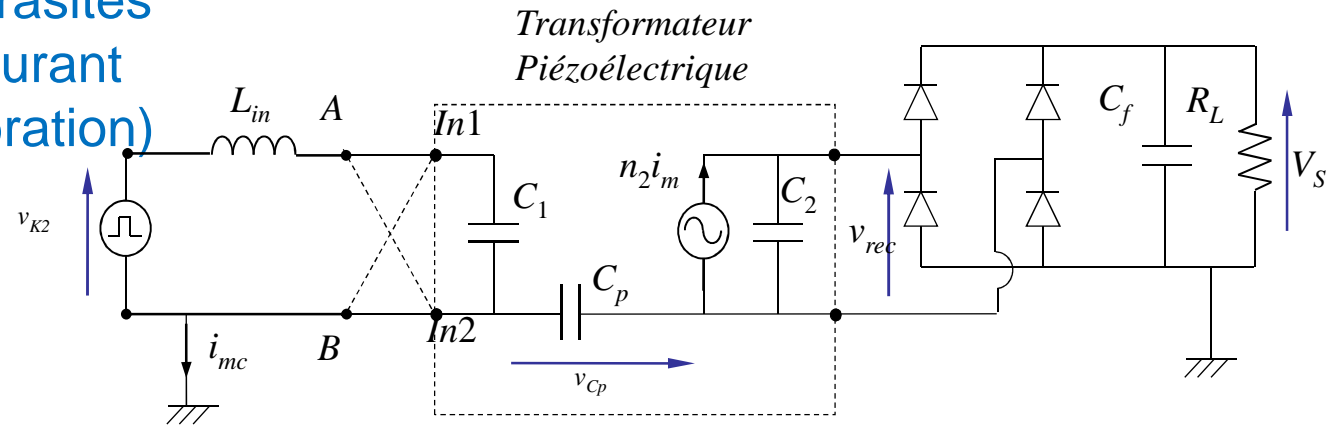
Influence de la tension d'entrée sur la régulation



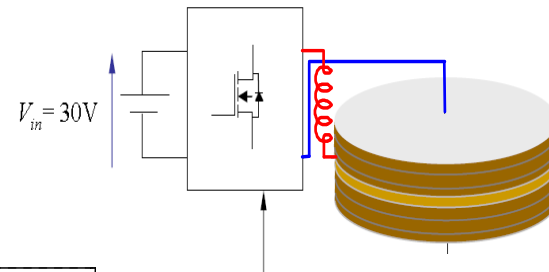
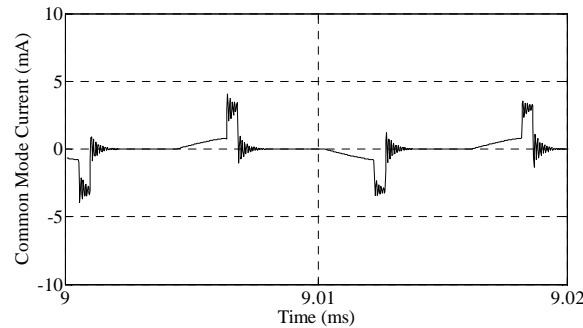
Performances CEM

Modèle mode commun du transformateur :

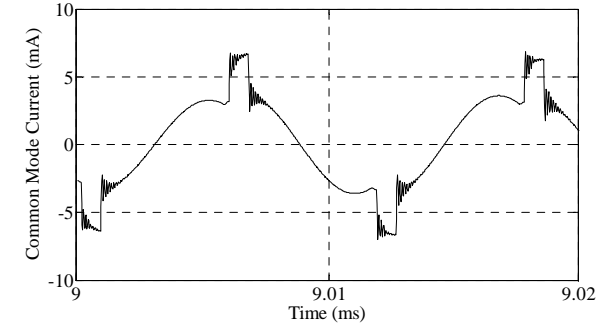
- 3 capacités parasites
- 1 source de courant (vitesse de vibration)



Cas 1



Cas 2



Conclusion

- Difficulté de mettre en œuvre un transformateur dans un convertisseur DC / DC pour les raisons suivantes :
 - Le transformateur ne transmet de la puissance qu'autour de la résonance
 - Son gain et son rendement dépendent fortement de la charge
- Conséquences vis-à-vis des structures de conversions :
 - Changement de la nature de la source (ajout d'inductance)
 - Fonctionnement à fréquence fixe pour maintenir le mode ZVS
- Comparé au transformateur électromagnétique, performances intéressantes pour de faibles puissances