

# Étude technique du filtrage d'un onduleur monophasé SiC

DUBOIS SYLVAIN

Candidat n° 02340298142



# Sommaire

---

## OwnTech

- L'entreprise OwnTech
- Produits et systèmes

## Étude Technique

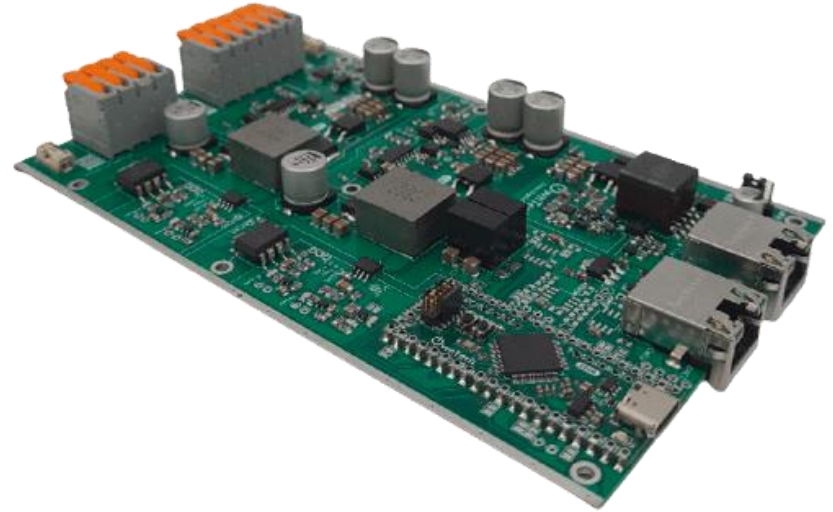
- Caractérisation bobines
- Modélisation
- Simulation

## Développements pédagogiques

- Pertinence du support
- Séquence en BUT GEII
- Séquence en terminale STI2D

## Conclusion

- Étude technique
- Applications pédagogiques



# Owntech

---

ENTREPRISE OWNTECH  
PRODUITS ET SYSTÈMES  
CHOIX DU SUJET

# L'entreprise OwnTech

## Histoire :

- Association et fondation Owntech créées en 2021
- Startup créée fin 2023 pour commercialisation

produits



Recherche et développement

Fabrication et commercialisation



## Prévisions :

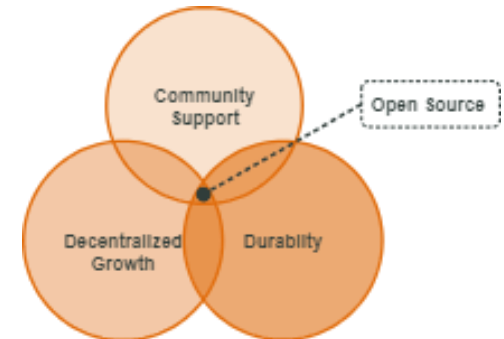
60 cartes en 2023

1000 cartes en 2024



100% Français

## Principe fondamental : l'Open Source

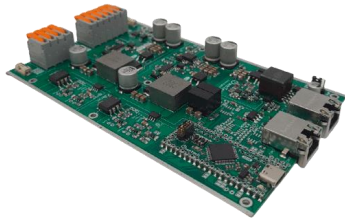


# Owntech : produits -> topologie complète

Topologie permettant conversions bidirectionnelles de puissance :  
injection réseau à partir de sources à basse tension telles que des batteries



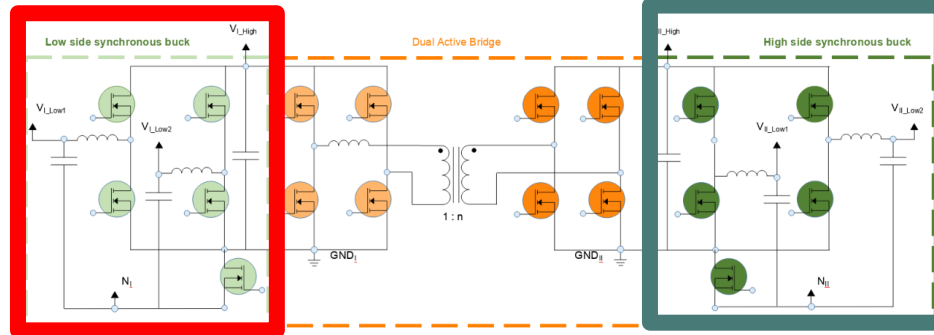
Carte de contrôle : Spin



Applis péda :  
TWIST

3 sous-systèmes

Technique :  
Swirl



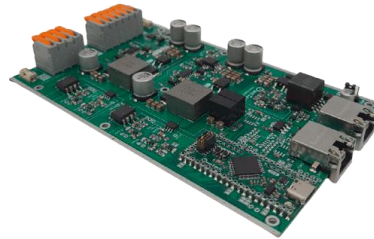
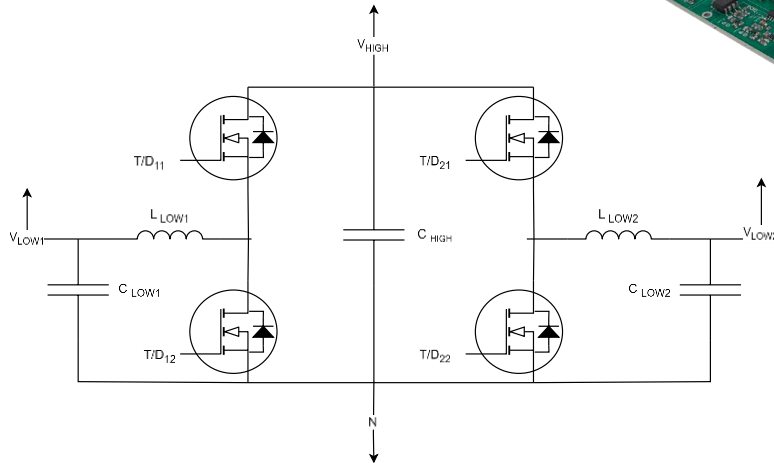
Carte TWIST :  
onduleur **Si**  
High : **100V**  
réalisé en SMC

Carte SWIRL :  
onduleur **SiC**  
High : **650V**  
réalisé en SMC

# Choix du sujet : pertinence pédagogique

Applis péda :  
TWIST

Schéma électrique carte Twist :



Sécurité



Autonomie



Applications

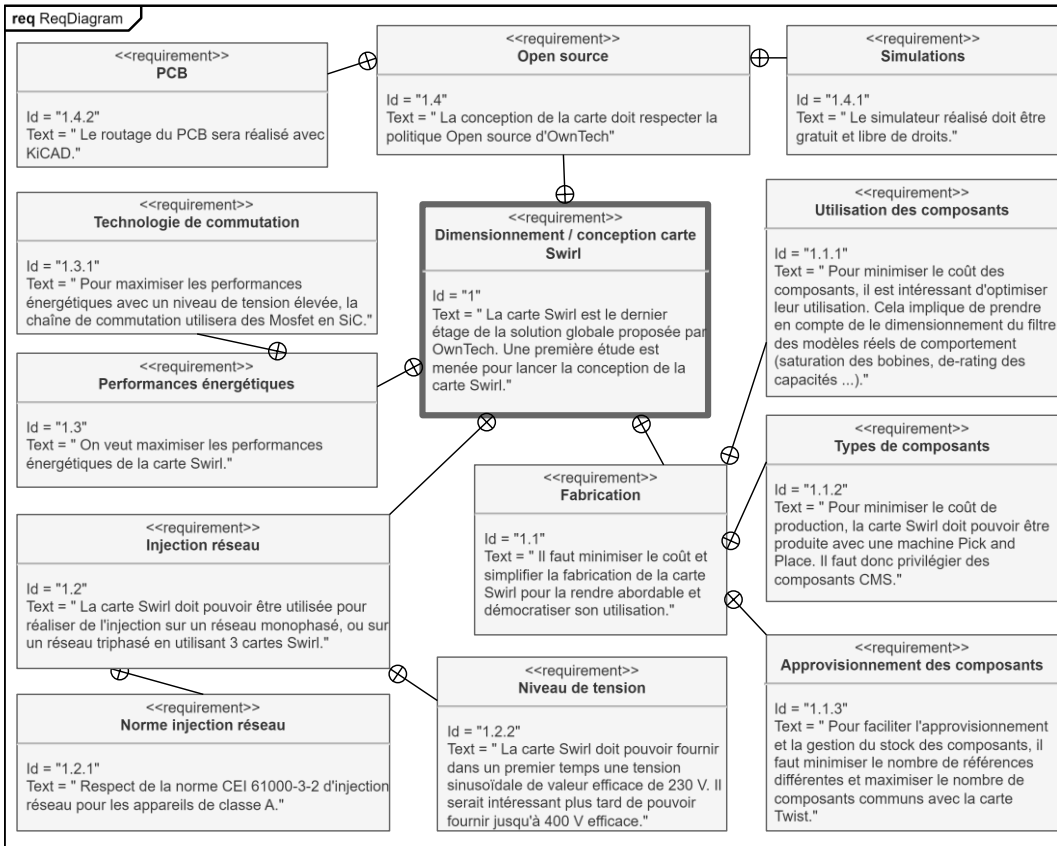


330 euros

Tension : 100 V  
Puissance : 300 W

# Choix du sujet : problématique technique

Technique :  
Swirl



Caractérisation  
expérimentale

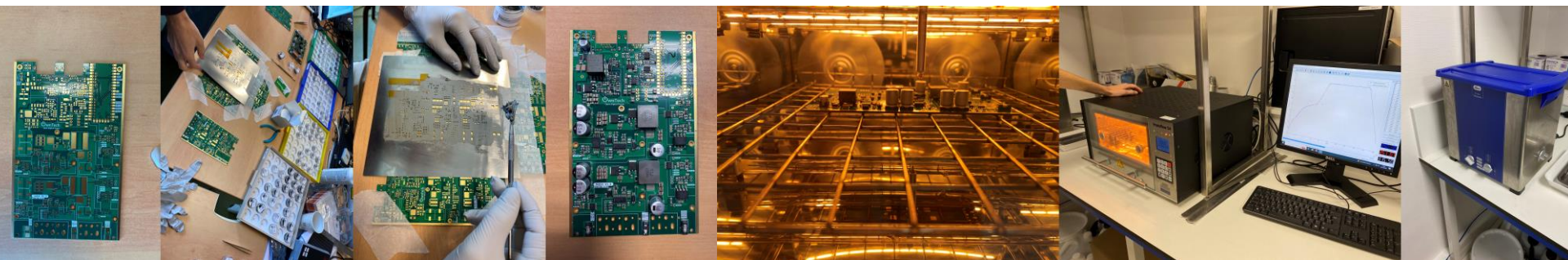
- Choix bobine
- Caractérisation

Modélisation  
et Simulation

- Modélisation
- Norme injection réseau
- Commande onduleur

Conclusion

- Résultats simulations
- Conclusion étude technique



# Étude technique

---

CARACTÉRISATION BOBINES

MODÉLISATION

SIMULATION

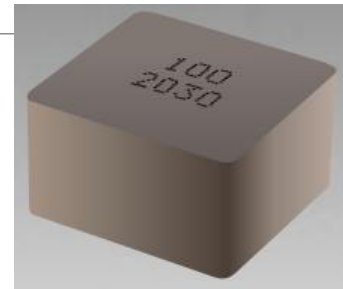
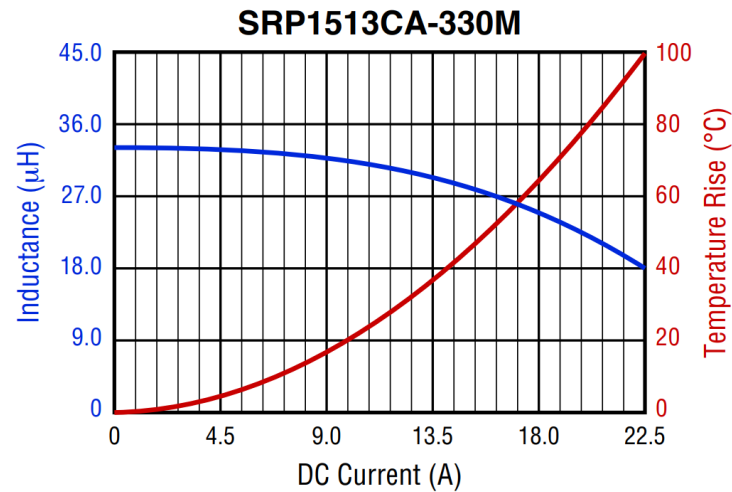


# Caractérisation saturation

Datasheet bobines Bourns à caractériser :

Electrical Specifications @ 25 °C

Bourns Part Number	Inductance @ 100 KHz / 0.1 V		Q Typ. @ 100 kHz / 0.1 V	SRF (MHz) Typ.	DCR (mΩ) Typ.	DCR (mΩ) Max.	I <sub>rms</sub> (A) Typ.		Isat (A) Typ.
	L (μH)	Tol. (%)					20 °C Temp. Rise	40 °C Temp. Rise	
SRP1513CA-4R7M	4.7	20	40	13	3.0	3.3	23	31	44
SRP1513CA-5R6M	5.6	20	40	11	3.5	3.9	22	29	40
SRP1513CA-6R8M	6.8	20	40	10	3.8	4.2	21	27	37
SRP1513CA-8R2M	8.2	20	40	9	5.1	5.74	20	26	33
SRP1513CA-100M	10	20	40	8	6.3	7	19	25	30
SRP1513CA-150M	15	20	40	7	6.8	7.5	16	22	25.5
SRP1513CA-220M	22	20	40	6	12.6	13.86	12	17	22
<b>SRP1513CA-330M</b>	<b>33</b>	<b>20</b>	<b>40</b>	<b>5</b>	<b>18.5</b>	<b>22.2</b>	<b>9</b>	<b>14</b>	<b>19</b>



Bobine Twist et Swirl

Intensité saturation trop élevée pour les moyens actuels de caractérisation

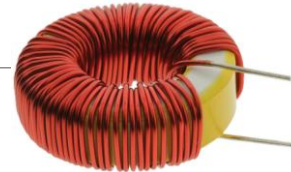


Chaîne de commutation de la Swirl n'est pas prête



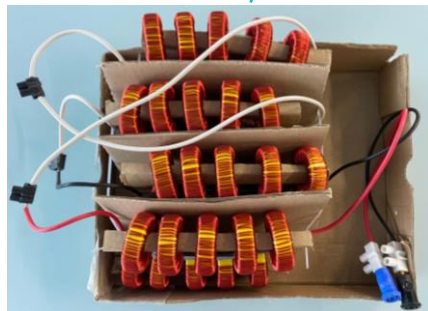
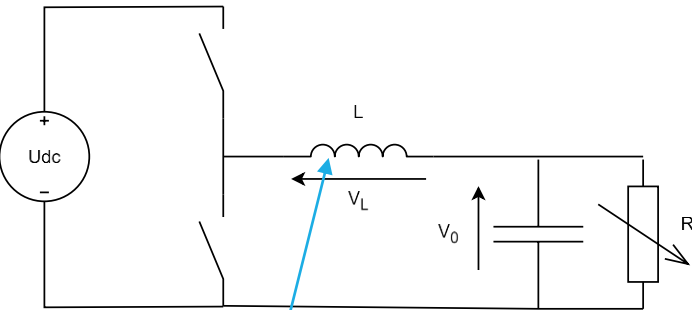
- Test du protocole avec bobine analogue (Isat inf)
- Interpolation de la datasheet pour cette bobine

# Caractérisation : expérimentale



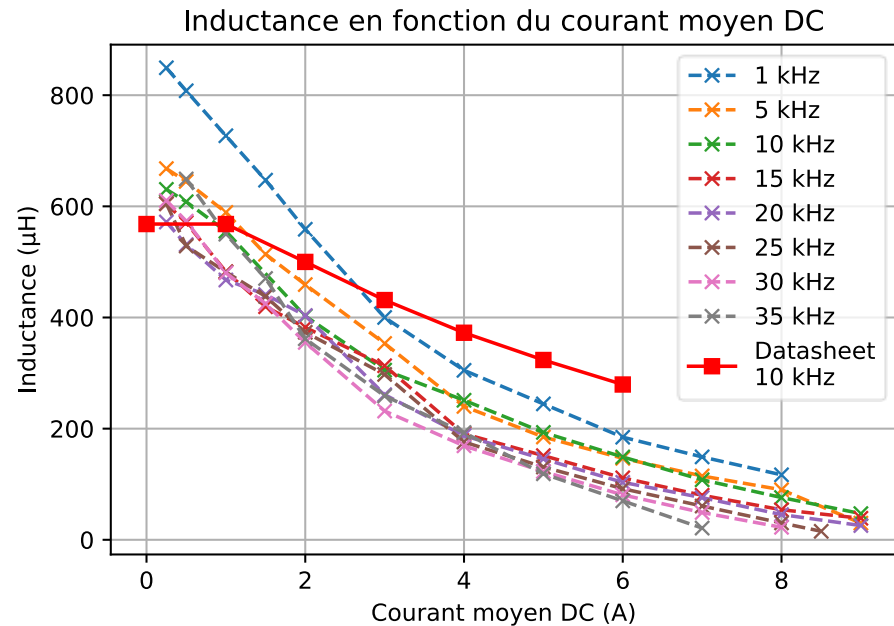
Bobine analogue

Schéma électrique de la caractérisation :

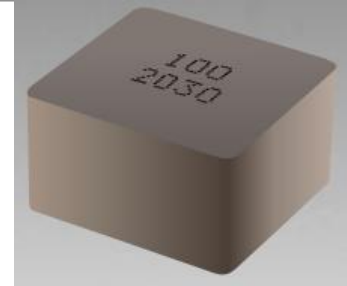


40 bobines et  
rapport cyclique  
de 0,5 pour  
minimiser l'erreur  
de mesure

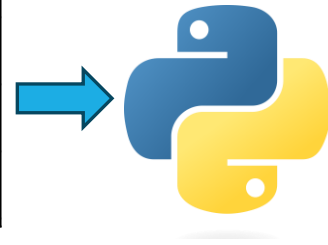
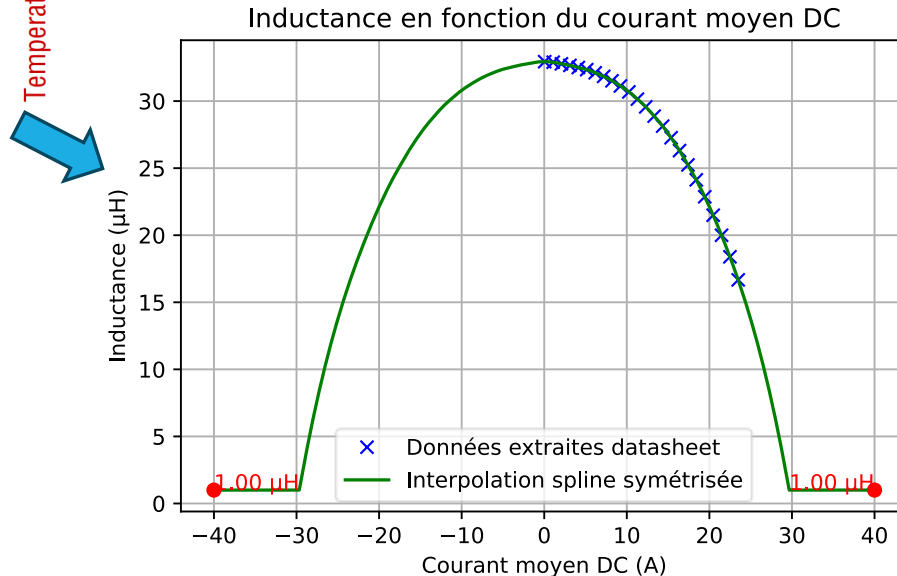
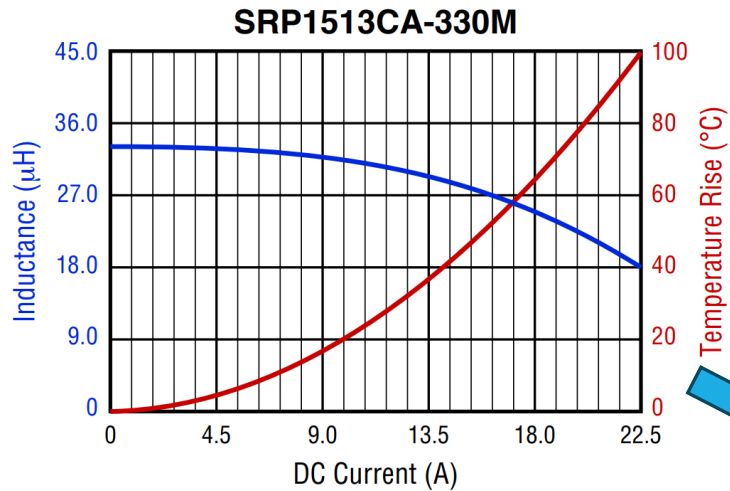
Résultats :



# Caractérisation : interpolation

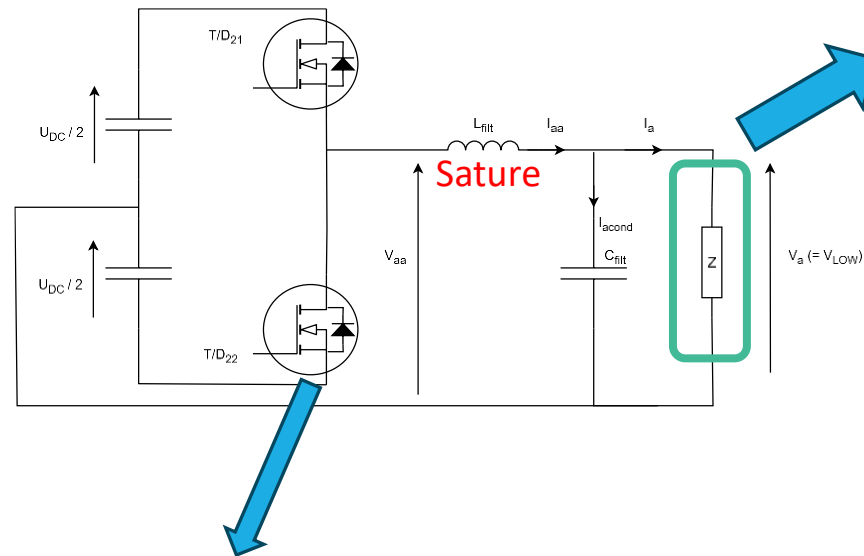


Bobine Twist et Swirl



# Simulation : modélisation

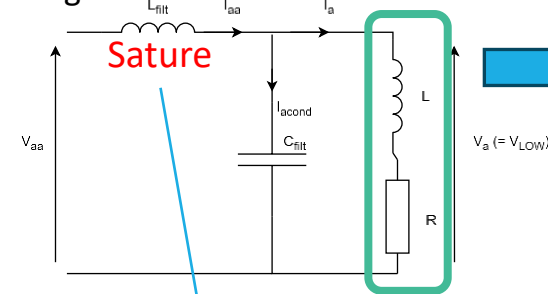
Schéma électrique global de la simulation :



Commande en boucle ouverte :

$$\alpha(t) = \frac{1}{2} + \frac{\sqrt{2} \cdot V_{eff}}{U_{DC}} \cdot \sin(\omega t)$$

Charge RL série :



Modèle Bobine  
(expérimental ou  
interpolation)

Schéma Euler

$$V_{aa}^n = A_0 \cdot V_a^n + A_1 \cdot V_a^{n-1} + A_2 \cdot V_a^{n-2} + B_1 \cdot I_a^{n-1}$$

$$A_0 = + \left[ 1 + \frac{L_{filt}}{\delta t} \cdot \frac{1}{R + \frac{L}{\delta t}} + \frac{L_{filt} \cdot C_{filt}}{\delta t^2} \right]$$

$$A_1 = - \left[ 2 \cdot \frac{L_{filt} \cdot C_{filt}}{\delta t^2} \right]$$

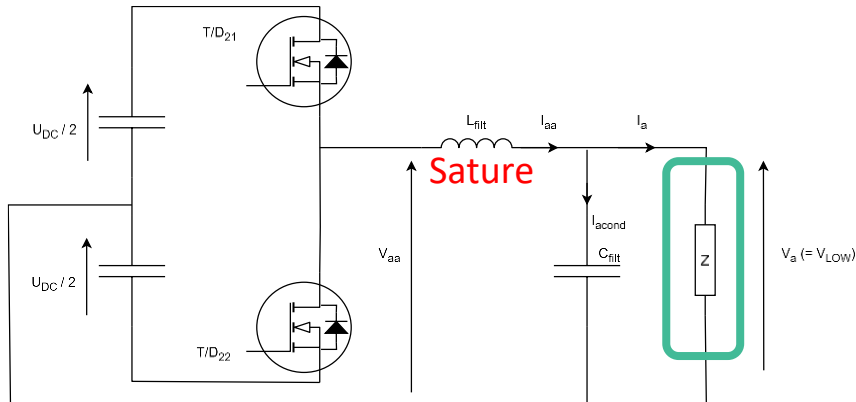
$$A_2 = + \left[ \frac{L_{filt} \cdot C_{filt}}{\delta t^2} \right]$$

$$B_1 = - \left[ \frac{L_{filt}}{\delta t + \frac{L}{R}} \right]$$

```
def calc_Va_RL_serie(Vaanew, Vaold1, Vaold2, Ia_old1, L_filt):
    A_0 = 1 + L_filt / (R * Te + L) + L_filt * C_filt / (Te ** 2)
    A_1 = -2 * L_filt * C_filt / (Te ** 2)
    A_2 = L_filt * C_filt / (Te ** 2)
    B_1 = -L_filt / (Te + L / R)
    return (Vaanew - A_1 * Vaold1 - A_2 * Vaold2 - B_1 * Ia_old1) / A_0
```

# Simulation : modélisation

Schéma électrique global de la simulation :



Paramètres de simulation :

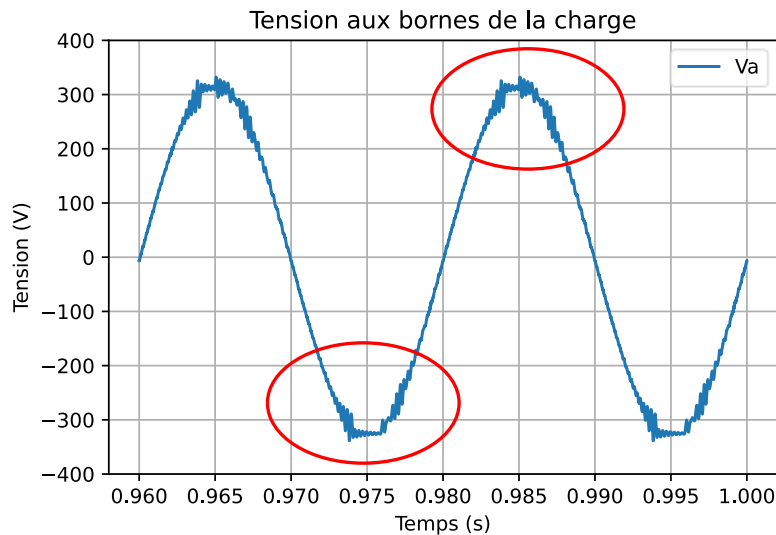
Symbole	Description	Valeur
$U_{dc}$	Tension du bus DC en entrée du circuit	650.5 V
$F_d$	Fréquence de découpage du hacheur	200 kHz
$F_s$	Fréquence du signal de sortie	50 Hz
$T_e$	Pas de temps de simulation en secondes	$1 \times 10^{-7}$ s
$T_h$	Durée de la simulation en secondes	1 s
$C_{filt}$	Capacité du filtre	50 $\mu$ F
$R$	Résistance	10 $\Omega$
$L$	Inductance de la charge	16.5 $\mu$ H
$L_{filt}$	Inductance du filtre non saturée	33 $\mu$ H

Norme injection CEI 61000-3-2 appareil classe A :

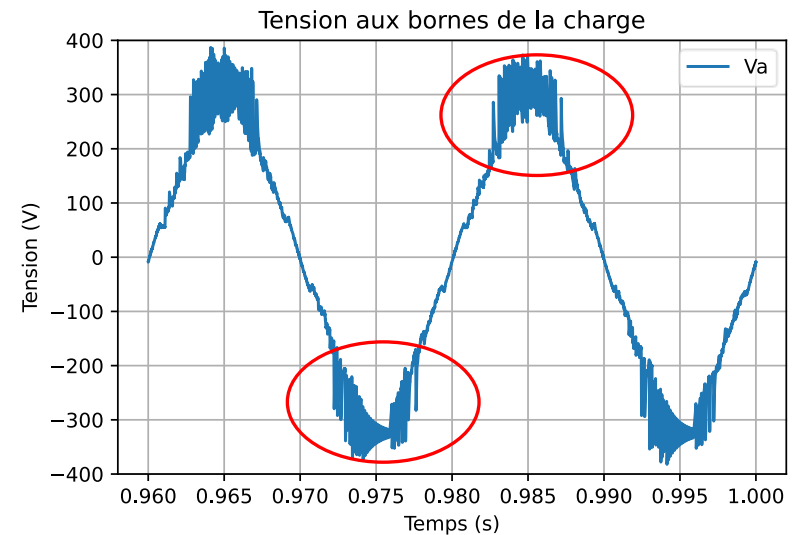
Rang harmonique n	Courant harmonique maximal autorisé A
<b>Harmoniques impairs</b>	
3	2,30
5	1,14
7	0,77
9	0,40
11	0,33
13	0,21
$15 \leq n \leq 39$	$0,15 \frac{15}{n}$
<b>Harmoniques pairs</b>	
2	1,08
4	0,43
6	0,30
$8 \leq n \leq 40$	$0,23 \frac{8}{n}$

# Simulation : résultats forme tension/intensité

Bobine idéale (sans saturation)

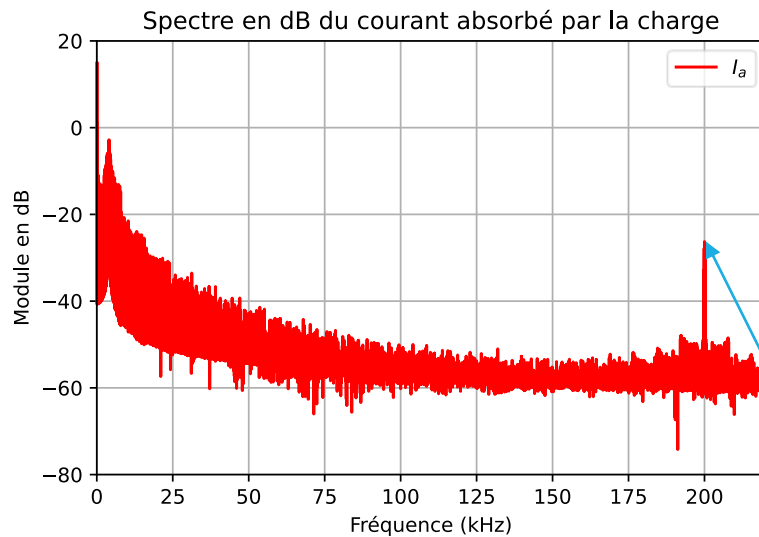


Bobine avec saturation

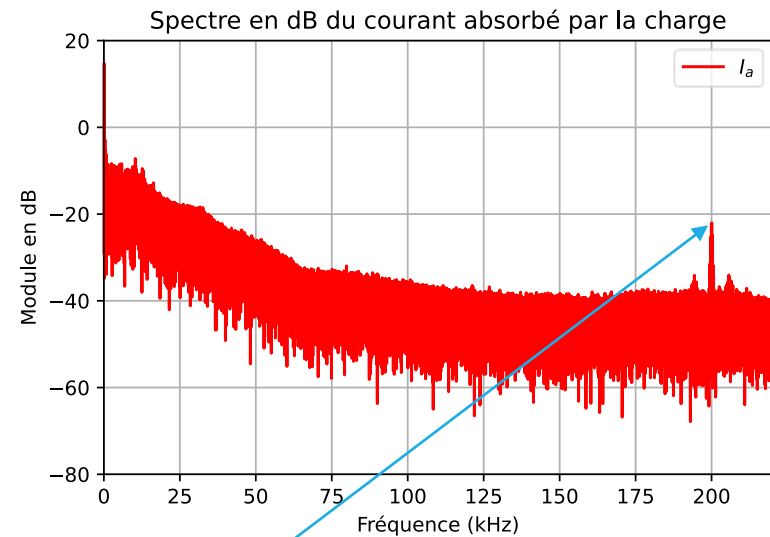


# Simulation : modélisation

Bobine idéale (sans saturation)



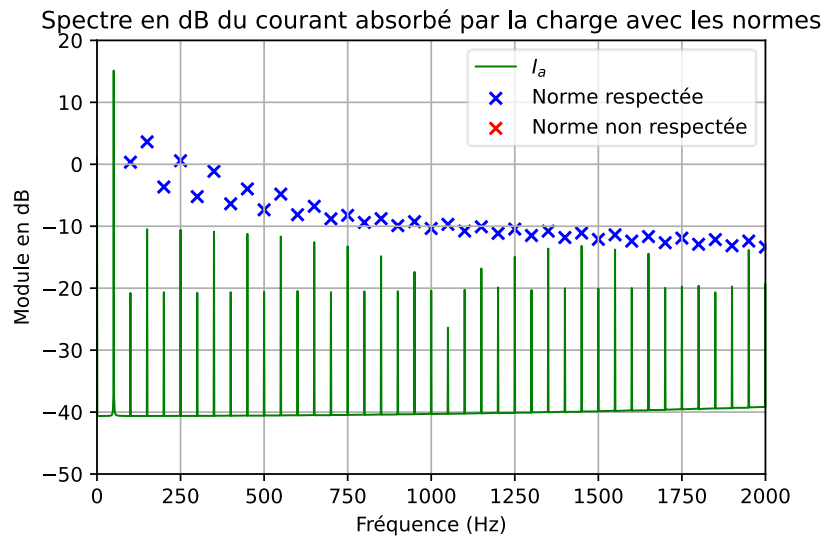
Bobine avec saturation



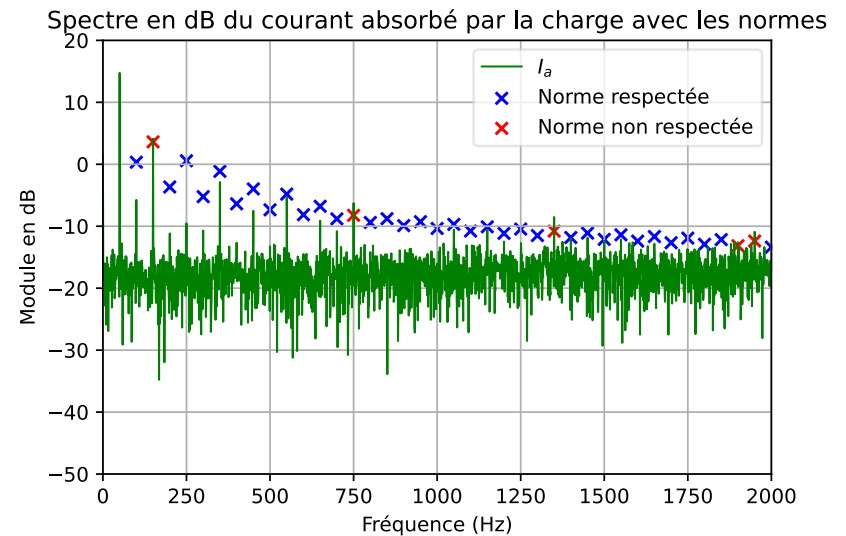
Fd = 200 kHz

# Simulation : résultats conformité norme

Bobine idéale (sans saturation)

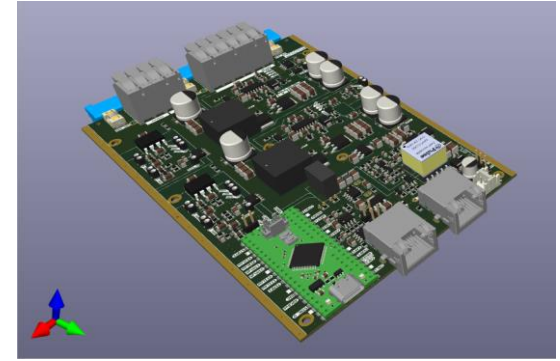


Bobine avec saturation



Importance de prendre en compte la saturation des bobines





# Développements pédagogiques

---

PERTINENCE DU SUPPORT

SÉQUENCE EN BUT GEII

SÉQUENCE EN TERMINALE STI2D

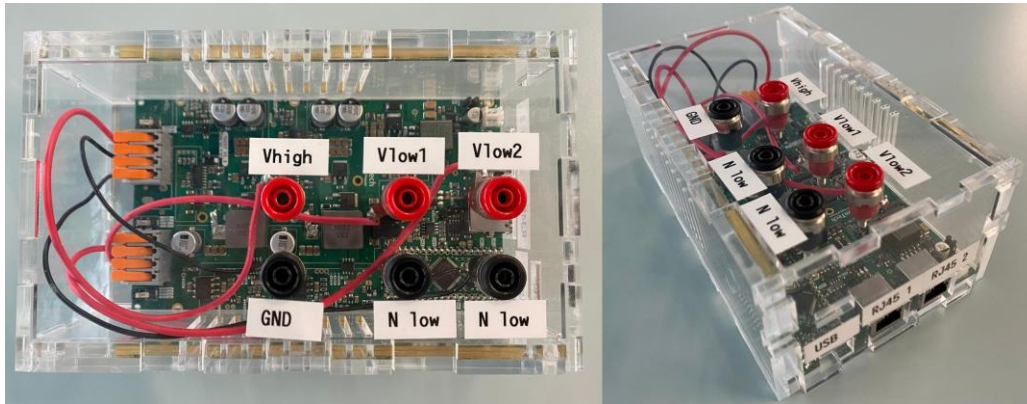
# Support didactique

Une maquette sur table pour manipuler en toute sécurité (100V, 300W )

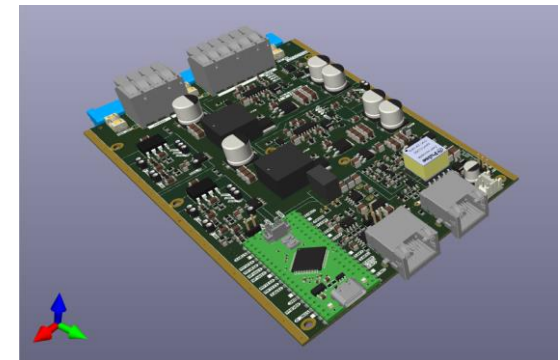
Nombreuses applications en conversion statique : Buck, Boost, Onduleur, Redresseur actif ...

Open-source -> nombreuses ressources disponibles

Maquette réalisée en PMMA pour utilisation en TP :



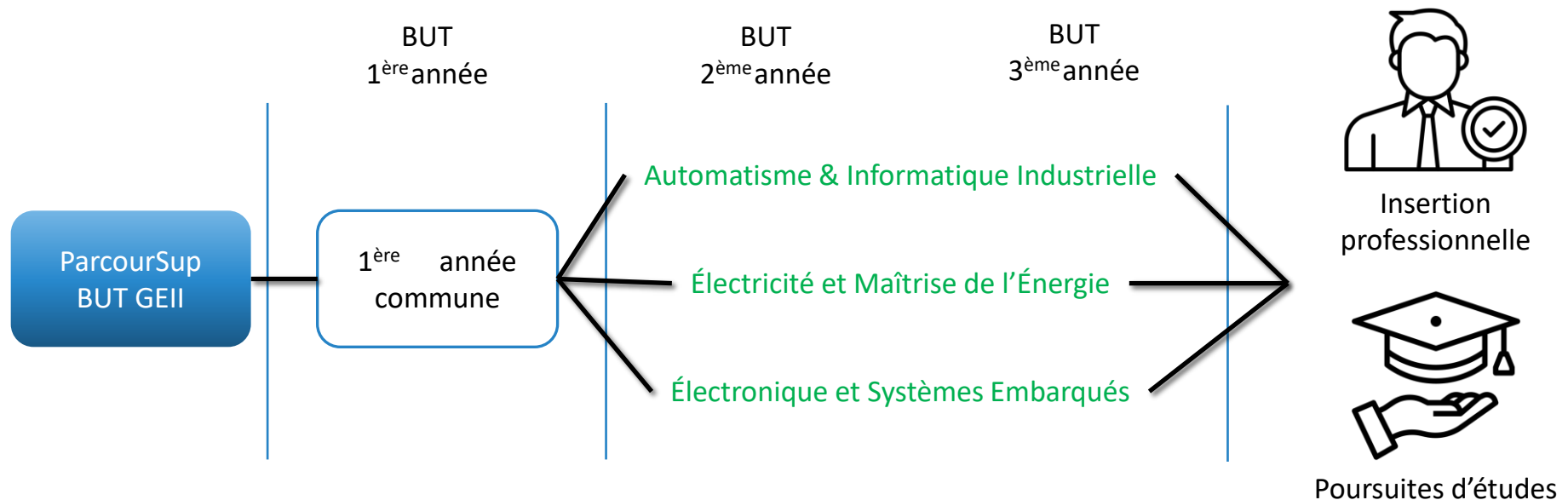
Modèle 3D Twist :



# Séquence BUT GEII – la filière

**GEII :** Génie Électrique et Informatique Industrielle

**Objectif :** former des cadres intermédiaires pluri-techniques



# Séquence BUT GEl – Ressource et compétences

1<sup>ère</sup> année S2

R2.08 : Énergie



Portfolio



SAÉ 2.01 : Conception et vérification d'un prototype à partir d'un cahier des charges

	AC	SAÉ 2.01 Conception et vérification d'un prototype à partir d'un cahier des charges	PORTFOLIO Portfolio	R2.09 Energie
Concevoir	AC11.01	X	X	X
	AC11.02	X	X	X
	AC11.03	X	X	
Vérifier	AC12.01	X	X	
	AC12.02	X	X	X
	AC12.03	X	X	X
Volume total				54
Dont TP				30
Adaptation Locale (SAÉ)		70		
Adaptation Locale (Ressources ou SAÉ)				
TP Adaptation locale				

**AC11.01** : Produire une analyse fonctionnelle d'un système simple

**AC11.02** : Réaliser un prototype pour des solutions techniques matériel et/ou logiciel

**AC12.02** : Identifier un dysfonctionnement

**AC12.03** : Décrire un dysfonctionnement

Longue ressource -> divisée en 3 séquences

# Séquence BUT GEI – Choix pédagogiques

## Choix pédagogiques

- Démarche de projet avec pédagogie spiralaire
- Groupes de 2 en travaux pratiques
- Organisation logique des notions abordées
- Ressource divisée en 3 séquences

## Démarche inductive

- Les travaux pratiques permettent aux élèves d'identifier les notions
- Le projet est découpé pour traiter progressivement toutes les notions de la séquence
- Le cours est formalisé en travaux dirigés sur les dernières séances

## Moyens de remédiation

- Remédiation en travaux pratiques sur les fins des séances
- Séance de remédiation à la fin de la séquence 1
- Remédiation avec du recul lors de la reprise du projet en séquence 3 (post correction des comptes rendus)



Promo de 72 élèves

24

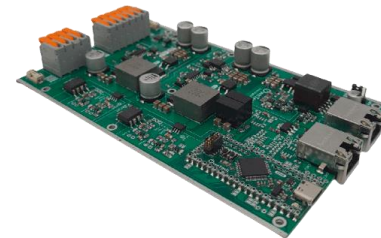
24

24

1 1  
2 2

1 1  
2 2

1 1  
2 2



Dualité : expérimental / simulation

# Séquence BUT GEII – Prérequis et séquence

## Prérequis :

### R1.09 Électronique

- alimentation continue, GBF, multimètre, oscilloscope, mesures de puissances...
- composants électroniques de base (résistance – capacité – diode – transistor – AOP – comparateur. . . )
- grandes fonctions en énergie électrique : production, stockage, transformations électromécaniques...

### Manipulation

- habilitation niveau B1V au premier semestre

## Ressource / séquences :



# Séquence BUT GEl – Modalités d'évaluation

---

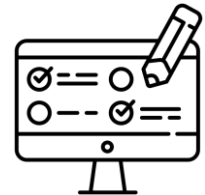
## Diagnostic :

- En début de séquence 1 pour vérifier les prérequis



## Diagnostic / Formative :

- Un compte rendu du premier travail pratique en deux séances pour identifier les lacunes.



## Formative :

- les élèves peuvent réviser et s'entraîner avec des exercices en ligne qui reprennent les principales notions abordées dans cette ressource

## Sommative :

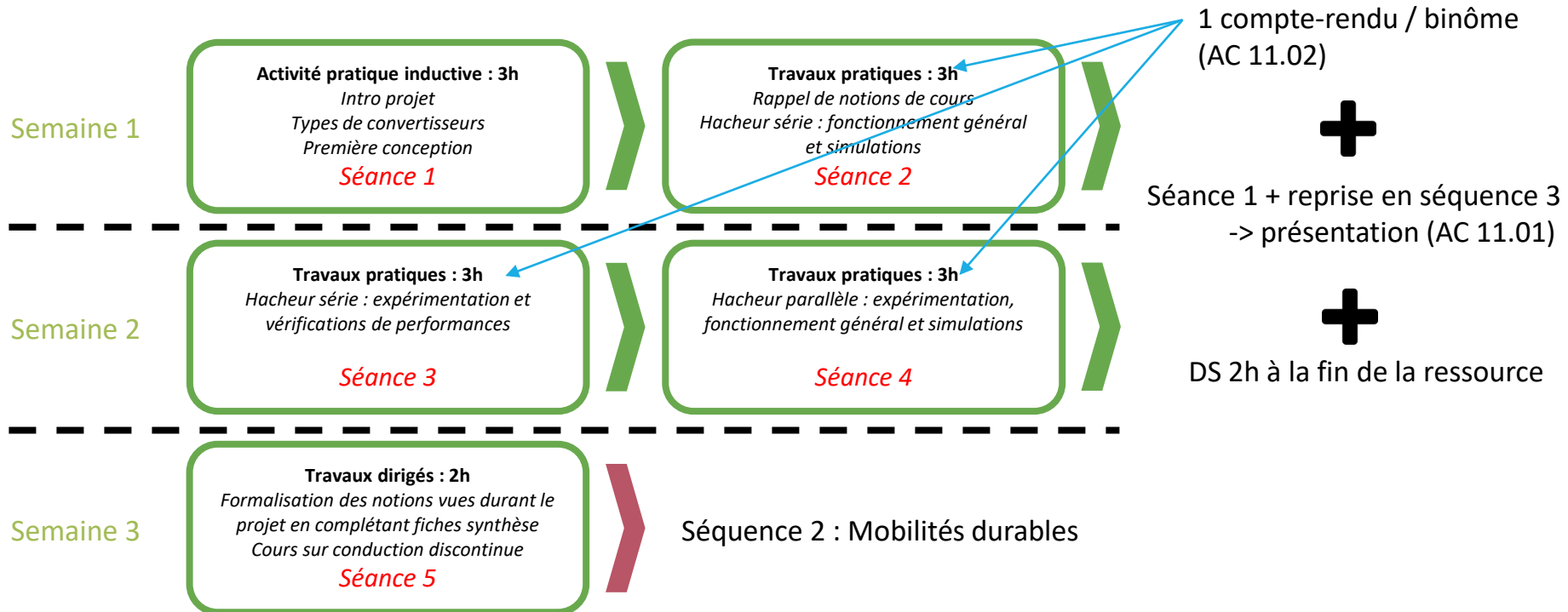
- 1 compte rendu de travaux pratiques en fin de séquence 1
- 1 devoir de 2h sur table en fin de ressource pour s'assurer de la bonne compréhension et de la maîtrise des principales notions



# Séquence BUT GEII – Organisation séquence

Séquence sous forme d'un projet :

Évaluation séquence :

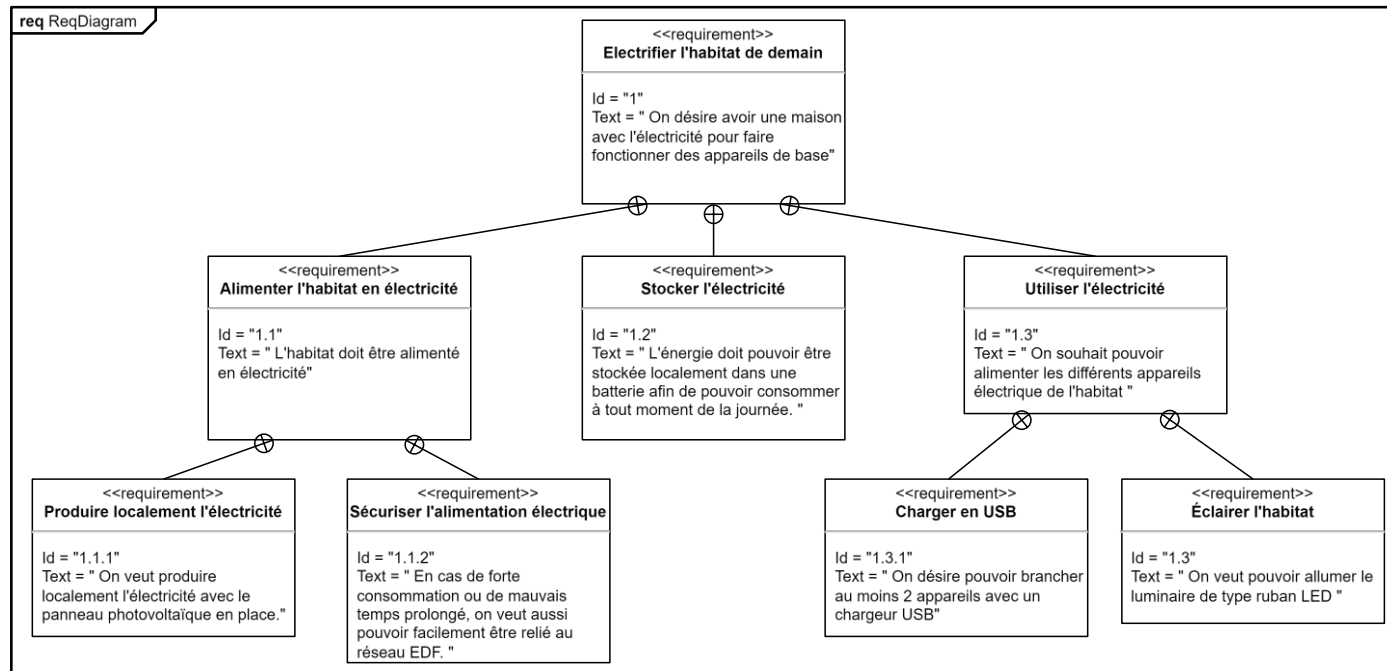




# Séquence BUT GEII – Séance 1

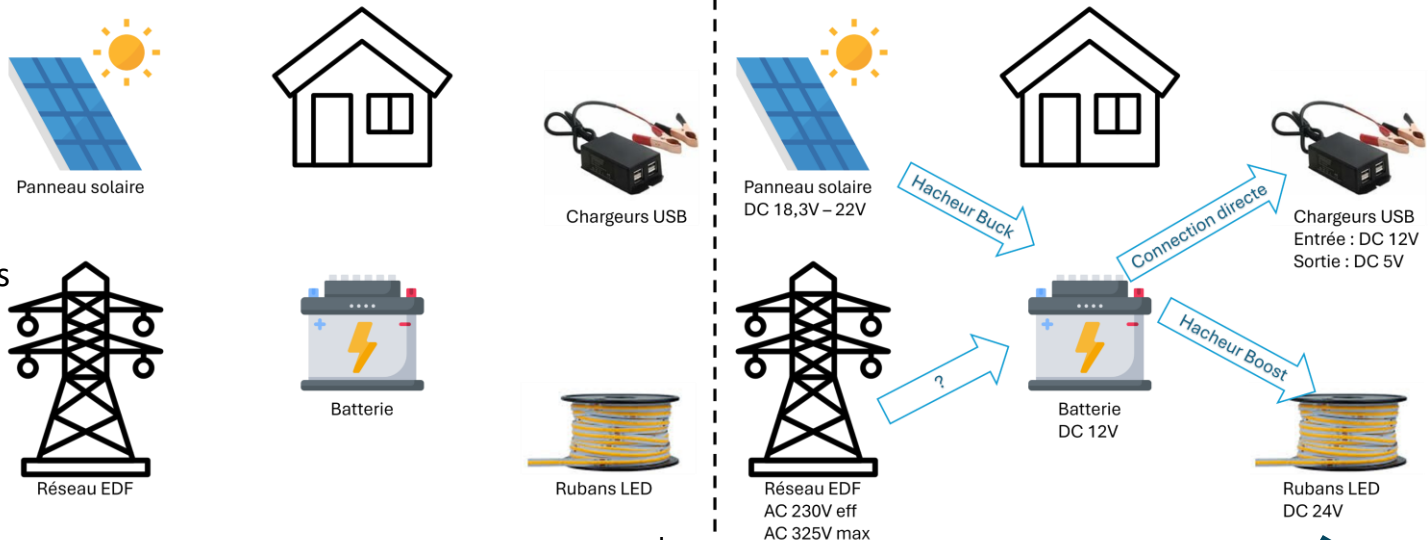
Séance inductive, introduction du projet de conversion statique (3h)

Contenu développé : Analyse fonctionnelle - types de convertisseurs

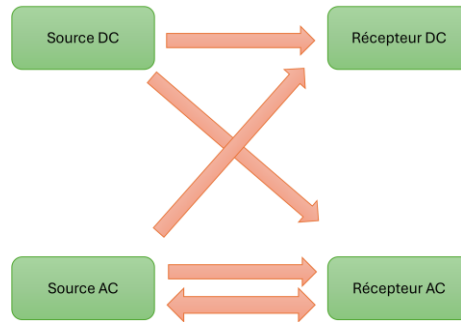


# Séquence BUT GEII – Séance 1

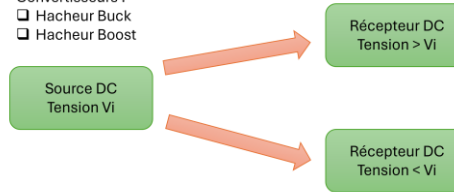
Identification  
expérimentale des  
constituants :  
mesures de tensions



Convertisseurs :  
☐ Transformateur  
☐ Onduleur  
☐ Hacheur  
☐ Redresseur  
☐ Gradateur



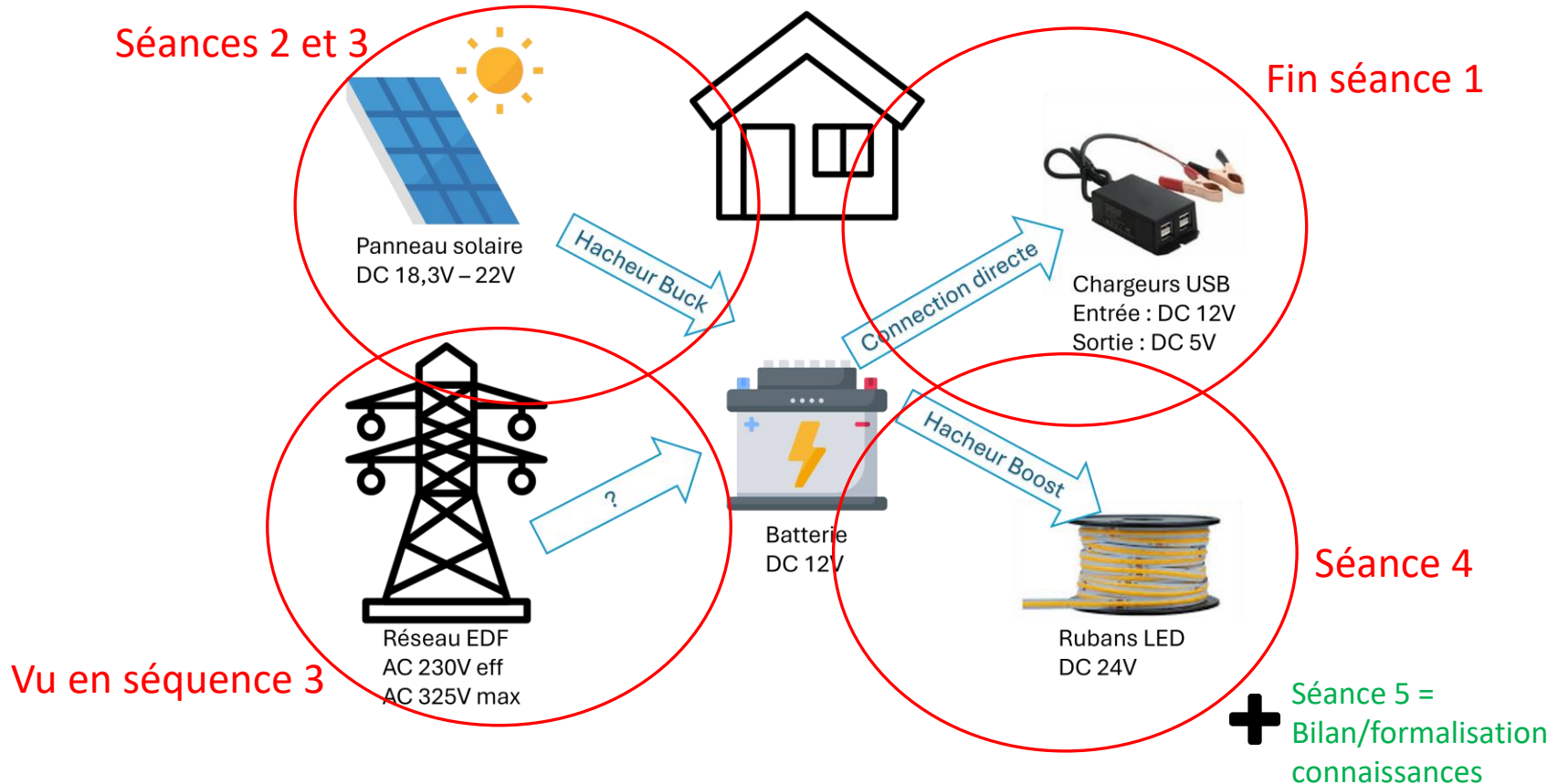
Convertisseurs :  
☐ Hacheur Buck  
☐ Hacheur Boost



1<sup>ère</sup> conception  
GEII

Recherche dans  
ressources les types  
de convertisseurs :

# Séquence BUT GEII – Fin de séance 1



# Séquence BUT GEI – Séance 2

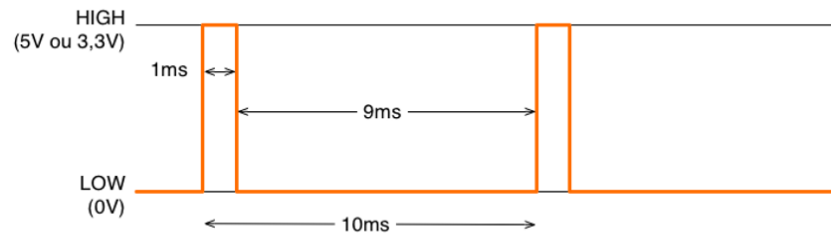
Travaux pratiques, fonctionnement simulé du hacheur série (3h).

Contenu développé : Rapport cyclique - Hacheur série en conduction continue - filtre

## I. Évaluation diagnostique / formative: rapport cyclique

Définition : le rapport cyclique d'un signal périodique à deux états est le rapport entre la durée de l'état actif et la période du signal.

Exemple :



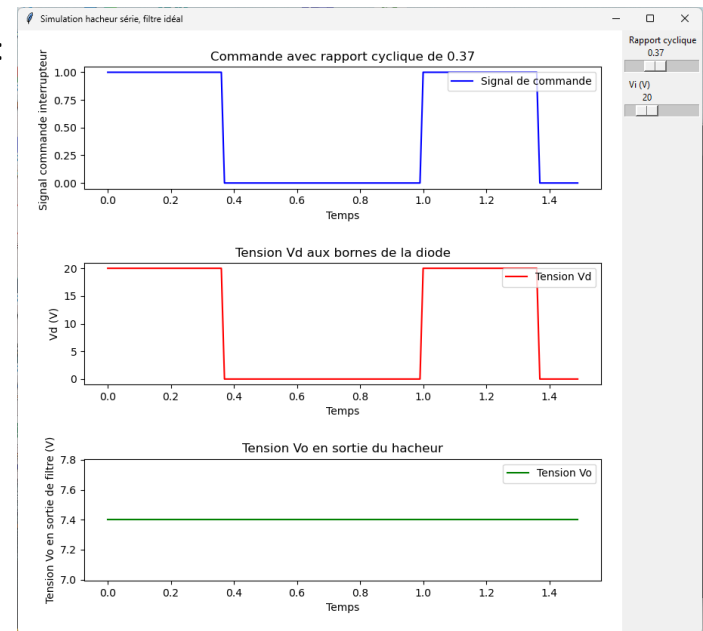
Ici le rapport cyclique :  $\alpha = \frac{1}{10} = 0.1 = 10\%$

Exercice application :

Pour un signal périodique à deux états  $V_{high}$  et  $V_{low}$ , la valeur moyenne du signal peut s'exprimer en fonction du rapport cyclique :  $\langle V \rangle = V_{low} \cdot \alpha + V_{high} \cdot (1 - \alpha)$

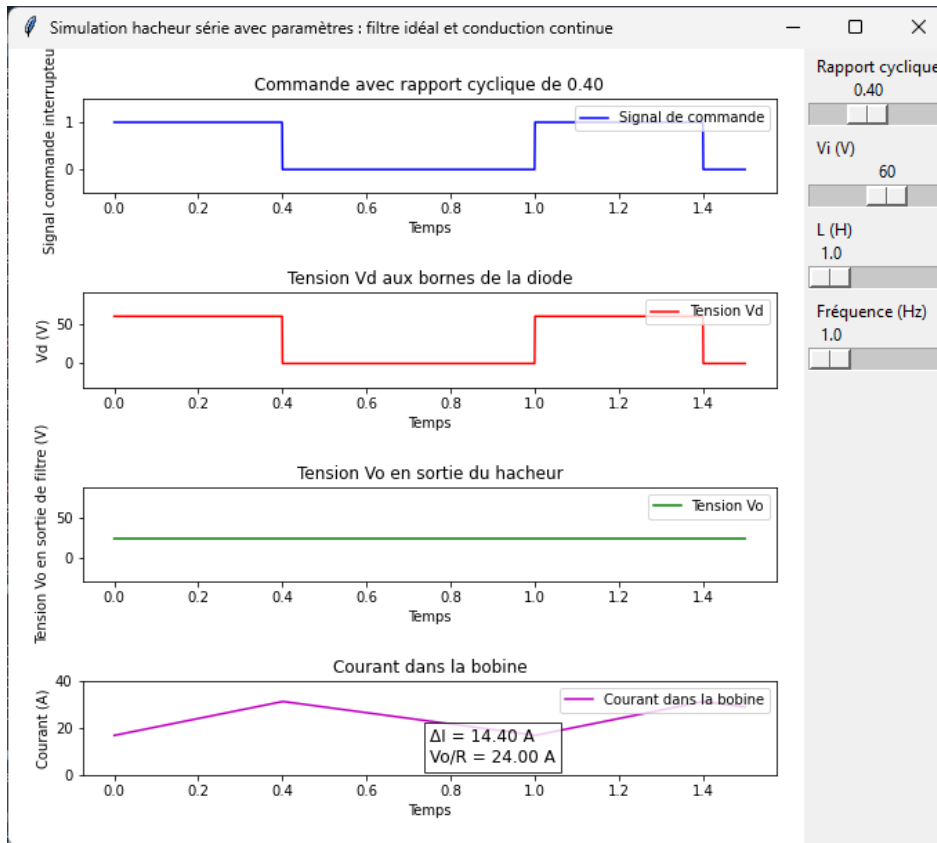
## II. Hacheur série : fonctionnement général et simulations

Tensions :



# Séquence BUT GEI – Séance 2

Ajout du filtre :



Les élèves caractérisent le hacheur série via la simulation

# Séquence BUT GEII – Séance 3

---

Travaux pratiques, mise en place d'un hacheur buck pour la recharge solaire (3h).

Contenu développé : Hacheur série en conduction continue - Puissance - Performances énergétiques / rendement

## Conception

- Conception chargeur solaire de batterie
- Réglage théorique du hacheur à partir de la caractérisation de la SIMULATION

## Vérification

- Protocole
- Caractérisation EXPERIMENTALE du hacheur série

## Validation conception et évaluation performances

- Réalisation partie GEII du système
- Évaluation performances énergétiques

# Séquence BUT GEII – Séance 4

Travaux pratiques, mise en place et caractérisation d'un hacheur boost pour alimenter un éclairage LED (3h).

Hacheur parallèle en conduction continue - Valeur moyenne d'un signal et de sa dérivée

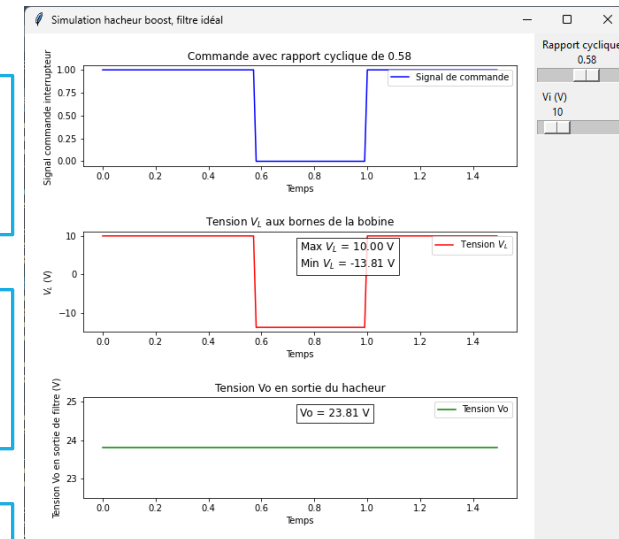
## Expérimentation

- Caractérisation expérimentale du hacheur
- Réalisation partie GEII du système

## Hacheur parallèle : fonctionnement général et simulations

- Schémas électriques
- Tension aux bornes de la bobine en conduction continue (SIMULATEUR)

## Signaux d'un hacheur : généralités sur la valeur moyenne



# Séquence BUT GEII – Séance 5 et Conclusion

## Travaux dirigés, formalisation des notions et fiches de synthèses (2h).

### I. Mathématiques

#### Signal périodique:

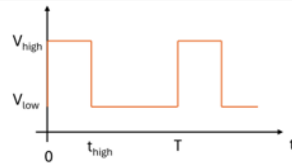
Un signal  $S(t)$  est dit périodique de période  $T$  si pour chaque instant  $t$  :

$$S(t) = S(t + k \cdot T) \text{ avec } k \text{ un entier}$$

#### Rapport cyclique:

Le rapport cyclique  $\alpha$  d'un signal  $S(t)$  T-périodique ayant un état haut  $V_{high}$  est défini :

$$\alpha = \frac{t_{high}}{T}$$



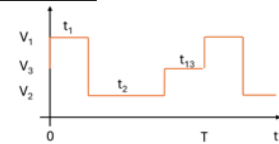
#### Valeur moyenne:

La valeur moyenne d'un signal  $x(t)$  T-périodique est définie :

$$\langle x(t) \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) \cdot dt$$

On notera que si  $S(t)$  est un signal T-périodique, alors :  $\left\langle \frac{dS(t)}{dt} \right\rangle = 0$

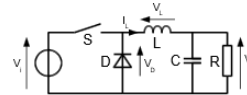
Cas particulier d'un signal en escaliers :



$$\langle x(t) \rangle = \frac{1}{T} (V_1 \cdot t_1 + V_2 \cdot t_2 + V_3 \cdot t_3)$$

### II. Hacheur série (Buck) :

Schéma électrique:

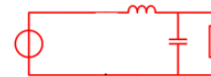


Le rapport cyclique général du hacheur  $\alpha$  est défini avec le signal de commande de l'interrupteur. Ainsi, l'interrupteur  $S$  est fermé et conduit lorsque  $0 < t < \alpha \cdot T$  et est ouvert et ne conduit pas lorsque  $\alpha \cdot T < t < T$ .

Le condensateur  $C$  permet de lisser la tension et on supposera  $V_0$  constante.

Attention, l'intensité dans la diode ne peut pas être négative ! C'est pourquoi lorsque l'interrupteur est ouvert, si l'intensité dans la bobine diminue jusqu'à s'annuler alors la diode va cesser de conduire le courant, il y aura donc une troisième phase de conduction.

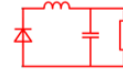
$0 \leq t < \alpha T$  :



Loi des mailles :  $V_L = V_1 - V_0$

Tension dans une bobine :  $V_L = L \frac{di_L}{dt} \Rightarrow V_1 - V_0 = L \frac{\Delta I}{\alpha T}$  et donc :  $\Delta I = \alpha \frac{V_1 - V_0}{L \cdot T}$

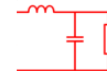
$\alpha T \leq t < (\alpha + \beta) T$  :



Loi des mailles :  $V_L = -V_0$

Tension dans une bobine :  $V_L = L \frac{di_L}{dt} \Rightarrow -V_0 = L \frac{-\Delta I}{\beta T}$  et donc :  $\Delta I = \beta \frac{V_0}{L \cdot T}$

$(\alpha + \beta) T \leq t < T$  :



Loi des mailles :  $V_L = 0$

Bilan :

Valeur moyenne de la tension de la bobine :  $\langle V_L \rangle = 0 \Leftrightarrow V_0 = \frac{\alpha}{\alpha + \beta} \cdot V_1$

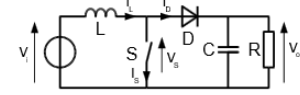
En conduction continue :  $\alpha + \beta = 1 \Rightarrow V_0 = \alpha \cdot V_1$

En conduction discontinue :  $\alpha + \beta < 1$

Aussi on observe que pour minimiser l'ondulation de courant dans la bobine on peut augmenter l'inductance et la fréquence de découpage.

### III. Hacheur parallèle (Boost) :

Schéma électrique:

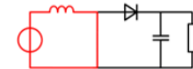


Le rapport cyclique général du hacheur  $\alpha$  est défini avec le signal de commande de l'interrupteur. Ainsi, l'interrupteur  $S$  est fermé et conduit lorsque  $0 < t < \alpha \cdot T$  et est ouvert et ne conduit pas lorsque  $\alpha \cdot T < t < T$ .

Le condensateur  $C$  permet de lisser la tension et on supposera  $V_0$  constante.

Attention, l'intensité dans la diode ne peut pas être négative ! C'est pourquoi lorsque l'interrupteur est ouvert, si l'intensité dans la bobine diminue jusqu'à s'annuler alors la diode va cesser de conduire le courant, il y aura donc une troisième phase de conduction.

$0 \leq t < \alpha T$  :



Loi des mailles :  $V_L = V_1$

Tension dans une bobine :  $V_L = L \frac{di_L}{dt} \Rightarrow V_1 = L \frac{\Delta I}{\alpha T}$  et donc :  $\Delta I = \alpha \frac{V_1}{L \cdot T}$

$\alpha T \leq t < (\alpha + \beta) T$  :



Loi des mailles :  $V_L = V_1 - V_0$

Tension dans une bobine :  $V_L = L \frac{di_L}{dt} \Rightarrow V_1 - V_0 = L \frac{-\Delta I}{\beta T}$  et donc :  $\Delta I = \beta \frac{V_0 - V_1}{L \cdot T}$

$(\alpha + \beta) T \leq t < T$  :



Loi des mailles :  $V_L = 0$

Bilan :

Valeur moyenne de la tension de la bobine :  $\langle V_L \rangle = 0 \Leftrightarrow V_0 = \frac{\alpha + \beta}{\beta} \cdot V_1$

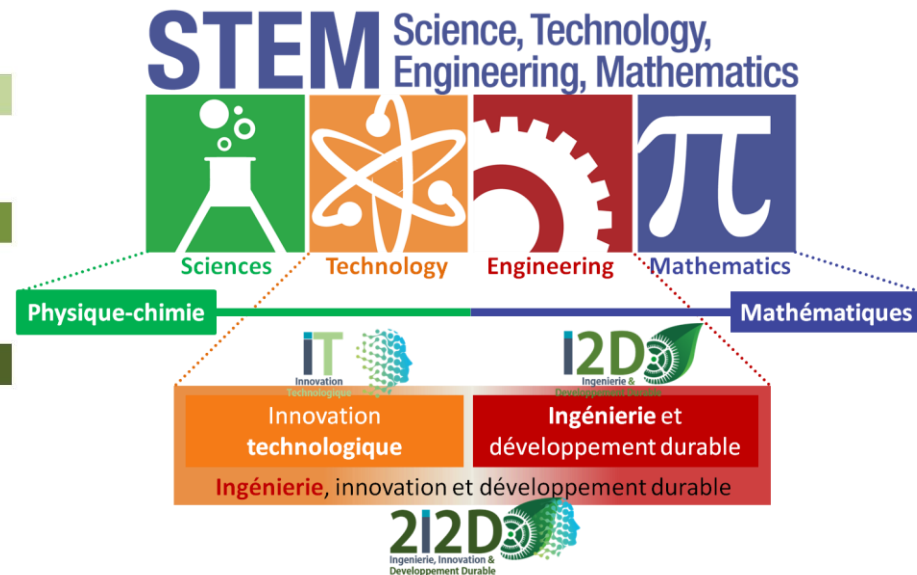
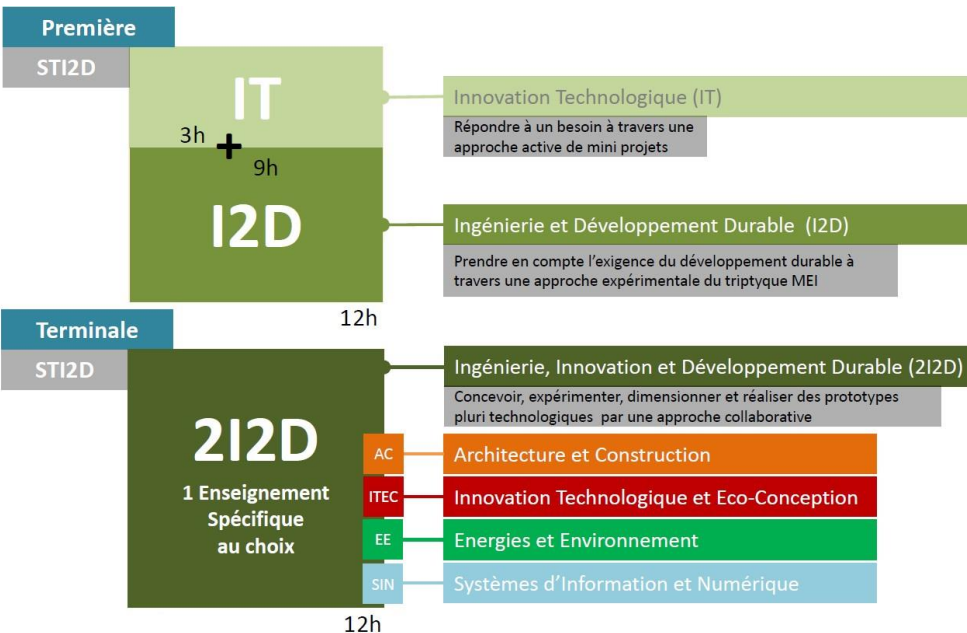
En conduction continue :  $\alpha + \beta = 1 \Rightarrow V_0 = \frac{1}{1 - \alpha} \cdot V_1$

En conduction discontinue :  $\alpha + \beta < 1$

Aussi on observe que pour minimiser l'ondulation de courant dans la bobine on peut augmenter l'inductance et la fréquence de découpage.



# Séquence terminale STI2D – la filière



Promo  
de 30  
élèves



5



- 2 EE
- 2 ITEC
- 2 SIN

# Séquence terminale STI2D – Compétence BO

Objectifs de formation		Compétences développées	Connaissances abordées
Dimension scientifique et technique	O3 - Analyser l'organisation fonctionnelle et structurelle d'un produit.	CO3.4. Identifier et caractériser des solutions techniques.	1.2.2 - Ingénierie système : analyse du besoin
	O4 - Communiquer une idée, un principe ou une solution technique, un projet, y compris en langue étrangère.	CO4.1. Décrire une idée, un principe, une solution, un projet en utilisant des outils de représentation adaptés.	1.1 - La démarche de projet 4.1.2 - Schéma architectural (mécanique, énergétique, informationnel)
Dimension ingénierie design	O5 - Imaginer une solution, répondre à un besoin.	CO5.1. S'impliquer dans une démarche de projet menée en groupe. CO5.3. Mettre en évidence les constituants d'un produit à partir des diagrammes pertinents. CO5.5. Proposer des solutions à un problème technique identifié en participant à des démarches de créativité, choisir et justifier la solution retenue. CO5.8. Concevoir :	6.1 - Prototypage de pièces et de la chaîne d'information
		EE1 : Définir (ou modifier) la structure, les choix de constituants, les paramètres de fonctionnement d'une chaîne d'énergie afin de répondre à un cahier des charges ou à son évolution. ITEC1 : Définir à l'aide d'un modèleur numérique, les formes et dimensions d'une pièce d'un produit à partir des contraintes fonctionnelles, de son procédé de réalisation et de son matériau. ITEC2 : Définir, à l'aide d'un modèleur numérique, les modifications d'un sous-ensemble mécanique à partir des contraintes fonctionnelles. SIN1 : Proposer/choisir l'architecture d'une solution logicielle et matérielle au regard de la définition d'un produit. SIN2 : Rechercher et écrire l'algorithme de fonctionnement puis programmer la réponse logicielle relative au traitement d'une problématique posée.	3.3 - Comportement énergétique des produits 4.1.2 - Schéma électrique 5.2 - Constituants de puissance 4.3.4 - Conception numérique d'une pièce
Dimension d'ingénierie design	O7 - Expérimenter et réaliser des prototypes ou des maquettes.	CO7.6. Expérimenter	6.2 - Expérimentations et essais : de constituants de la chaîne de puissance
		EE1 : Des procédés de stockage, de production, de transformation, de récupération d'énergie pour aider à la conception d'une chaîne de puissance. EE2 : Tout ou partie d'une chaîne de puissance associée à son système de gestion dans l'objectif d'en relever les performances énergétiques et d'en optimiser le fonctionnement. ITEC1 : Des procédés de réalisation pour caractériser les paramètres de transformation de la matière et leurs conséquences sur la définition et l'obtention de pièces. SIN1 : Des moyens matériels d'acquisition, de traitement, de stockage et de restitution de l'information pour aider à la conception d'une chaîne d'information. SIN2 : Des architectures matérielles et logicielles en réponse à une problématique posée.	6.2 - Expérimentations et essais : de procédés 6.2 - Expérimentations et essais : de constituants de la chaîne d'information

## Choix pédagogiques :

- Démarche majoritairement inductive
- Projet pluridisciplinaire
- Groupes de 2 x 3

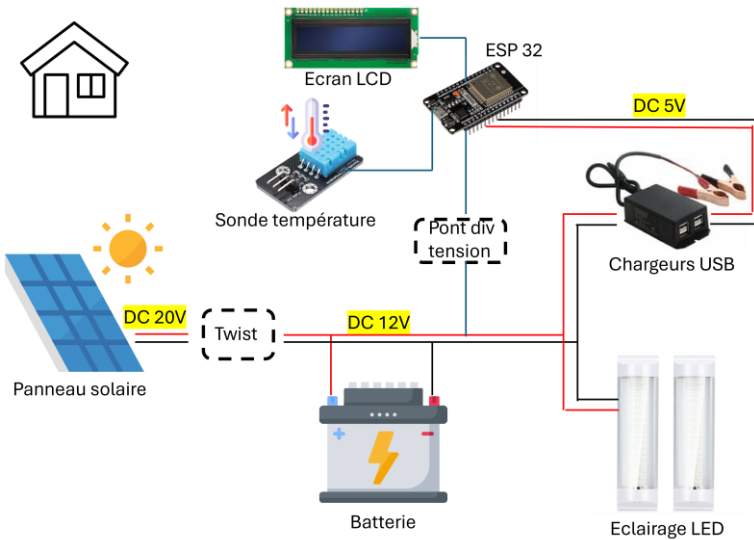
## Évaluations :

- Diagnostique / formative : comptes rendus d'activité pratique en enseignement spécifique
- Sommative : Compte rendu en binômes activité commune S2 + présentation orale en anglais : 10 min + 5 min question (prof + 1 groupe)

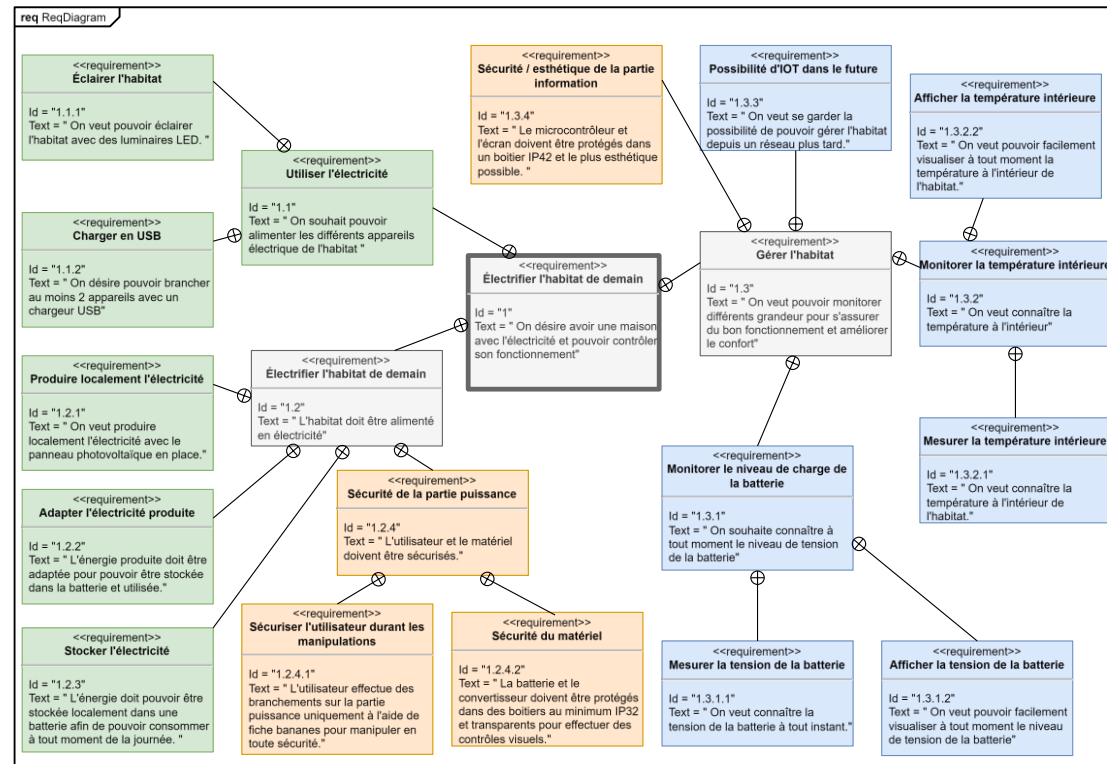
## Remédiation continue :

- 15 dernières min séances d'activité pratique d'enseignement spécifique (2/semaine)
- Dernière séance = 1h30 présentations + 1h30 remédiation en classe entière


# Séquence terminale STI2D – Projet



EE : Chargeur solaire de batterie  
ITEC : CAO et fabrication des boîtiers  
SIN : Chaîne d'information de l'habitat



# Séquence terminale STI2D – Emploi du temps

Sem	Séance commune (1h)	Activité pratique commune (3h)	Séance d'enseignement spécifique (2h)	Activité pratique d'enseignement spécifique (3h)	Activité pratique d'enseignement spécifique (3h)	ETLV (1h)
N° séance		1	2	3	4	5
1		Introduction du projet, analyse fonctionnelle, répartition des tâches, identification des constituants	Types de modulation commandée et adaptation de puissance Utilisation du pied à coulisse et TP rappels utilisation Solidworks Constituants de l'information	Caractérisation électrique des constituants Mesures dimensions et modélisation Solidworks Mesure de tension avec ESP32 et nécessité pont diviseur de tension	Dimensionnement électrique de la chaîne de puissance Modélisation Solidworks du boîtier Fonctionnement pont diviseur de tension, câblage et mise en évidence pb résolution	Préparation de la présentation (notamment le schéma architectural global)
N° séance	6	7	8	9	10	11
2	Cours prototypage	TP prototypage / procédés de fabrications	Schéma électriques et flux de puissance Représentation de plans et obtention depuis différents assemblages. Conditions géométriques et cotations. Convertisseurs CAN et résolution	Branchement et validation du cahier des charges Fabrication du boîtier et reprise Solidworks Ajout d'une sonde de température	Mesure et analyse des performances énergétiques Fabrication du boîtier et validation cahier des charges Ajout écran LCD et validation cahier des charges	Préparation de l'oral de la présentation finale
N° séance		12				
3		1h30 = 10 min présentation en anglais et 5 min de questions (par le prof et un autre groupe) puis 1h30 de reprise et de remédiation	<div style="text-align: center;">  <p>Enseignements spécifiques détaillés avec ressources dans dépôt GitHub</p> </div>			

# Séquence STI2 : Séance et activité commune S2

Séance commune et activité commune semaine 2 :  
Cours et activité pratique sur le prototypage (45min + 3h15)

Cours sur les procédés de fabrications

Activité pratique :

Procédés de fabrication pour le prototypage

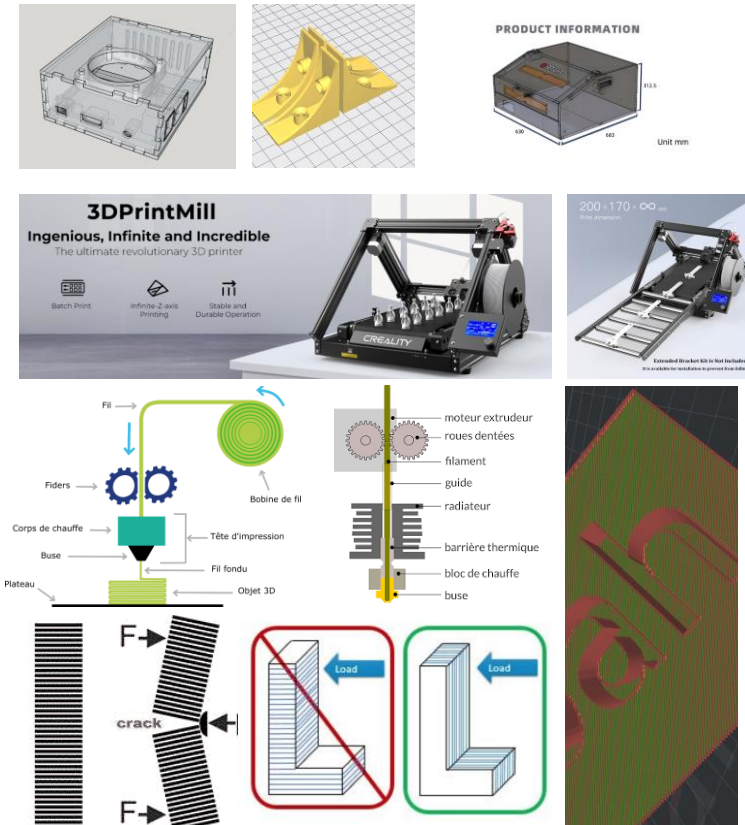
L'imprimante 3D au service de la production petite série

Cinématique permettant l'alimentation en plastique de l'imprimante

Finition de surface et surface utile

Contrainte mécanique

Bonus : G-code



# Conclusion

---

## ÉTUDE TECHNIQUE :

Protocole de caractérisation expérimentale  
Modélisations de plusieurs cas  
Normes d'injection réseau  
Simulateur python fonctionnel (avec saturation des bobines)

## APPLICATIONS PÉDAGOGIQUES :

Support à très fort intérêt didactique  
Au cœur des enjeux de demain  
Applications très nombreuses : manip de conversion de puissance, STI2D, CPGE, BUT, BTS...

Codes et ressources de ce dossier industriel disponibles :

[https://github.com/SylvainDubois92/dossier\\_industriel](https://github.com/SylvainDubois92/dossier_industriel)







# Merci de votre attention !

Photo : à gauche Luiz Fernando Lavado Villa co-fondateur de la start-up OwnTech, président de la foundation Owntech

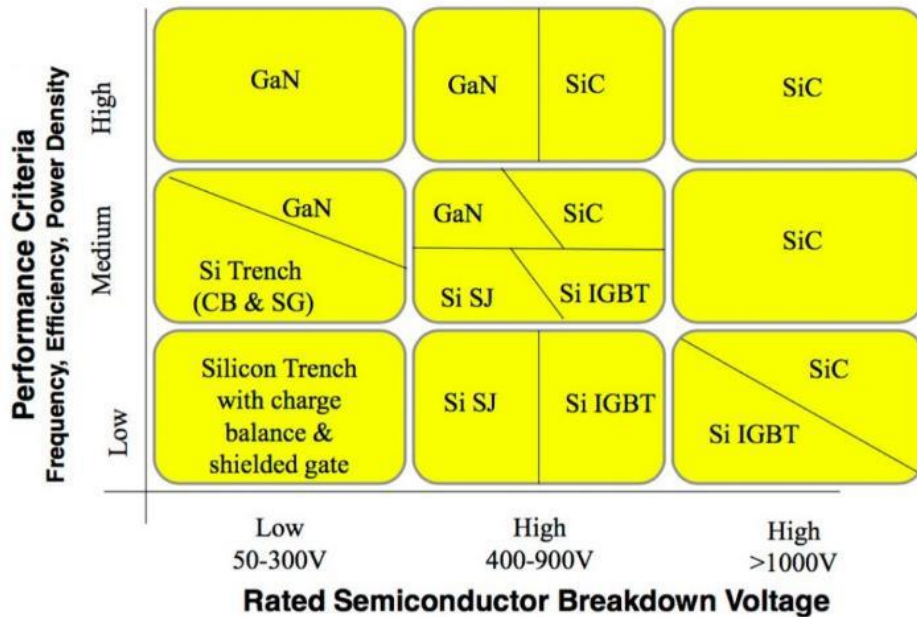
Au centre Ayoub, ingénieur développement chez Owntech et sur la droite Sylvain Dubois

# Annexes : Synthèse séquence STI2D

Séance n°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Connaissance abordées	Activité pratique commune (3h)	Séance d'enseignement spécifique (2h)	Activité pratique d'enseignement spécifique (3h)	Activité pratique d'enseignement spécifique (3h)	ETLV (1h)	Séance commune (1h)	Activité pratique commune (3h)	Séance d'enseignement spécifique (2h)	Activité pratique d'enseignement spécifique (3h)	Activité pratique d'enseignement spécifique (3h)	ETLV (1h)	Activité pratique commune (3h)
1.2.2 - Ingénierie système : analyse du besoin	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1.1 - La démarche de projet	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X
4.1.2 - Schéma architectural (mécanique, énergétique, informationnel)	X				X						X	X
6.1 - Prototypage de pièces et de la chaîne						X	X	X	X	X	X	X
3.3 - Comportement énergétique des produits	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X
5.2 - Constituants de puissance		X		X	X			X	X	X	X	X
4.1.2 - Schéma électrique								X	X	X	X	X
6.2 - Expérimentations et essais : de constituants de la chaîne de puissance			X	X					X	X		
4.3.4 - Conception numérique d'une pièce		X	X	X	X			X	X	X	X	X
6.2 - Expérimentations et essais : de procédés									X	X		
5.3 - Constituants de l'information (Capteurs, conditionneurs, IHM)	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X
6.2 - Expérimentations et essais : de constituants de la chaîne d'information			X	X					X	X		



# Annexes : Technologie commutation



•**Haute tension de blocage** : Les MOSFET en SiC peuvent supporter des tensions plus élevées que les dispositifs en silicium traditionnels, ce qui permet de réduire le besoin de connecter plusieurs appareils en série pour atteindre des niveaux de tension élevés.

•**Vitesse de commutation rapide** : Les dispositifs en SiC offrent des vitesses de commutation supérieures, ce qui améliore l'efficacité globale du système en réduisant les pertes énergétiques.

•**Efficacité améliorée** : Grâce à leurs pertes modérées à l'état passant et à leur capacité de conduction inverse, les dispositifs en SiC augmentent l'efficacité des systèmes de conversion de puissance.

•**Simplicité de pilotage** : Les MOSFET en SiC sont plus simples à piloter, ce qui simplifie la conception des circuits de commande.

•**Réduction de la taille et du poids** : Les propriétés électriques supérieures du SiC permettent de concevoir des systèmes plus compacts et plus légers, ce qui est crucial pour les applications où l'espace et le poids sont des facteurs limitants.

•**Fiabilité accrue** : Les dispositifs en SiC sont particulièrement prometteurs pour les applications à haute température et haute tension, offrant une fiabilité supérieure par rapport aux dispositifs en silicium.