

DINGER Serhat



Gestion de l'énergie - P9

Conception de la partie puissance du projet parking
automatisé

Table des matières

1	Introduction	2
2	Analyse des besoins énergétiques	2
2.1	Équipements à alimenter	2
2.2	Bilan de puissance (Power Budget)	2
3	Architecture globale de la chaîne de puissance	3
3.1	Principe général	3
3.2	Sources d'énergie : Stratégie du prototype	4
4	Système de stockage : Batterie de secours	4
4.1	Dimensionnement de la batterie	4
4.2	Principe de fonctionnement détaillé du BMS	4
4.3	Évolution de la conception (Du BMS Custom au Commercial)	5
5	Intégration du panneau photovoltaïque (Modélisation)	6
5.1	Modélisation de la chaîne solaire	6
5.2	Résultats de simulation	7
6	Conversion DC/DC : De la théorie à la pratique	7
6.1	Étude théorique et Simulation (LTSpice)	7
6.2	Réalisation physique : Intégration d'un module commercial	8
7	Sécurité et fiabilité du système	8
8	Conclusion	9

1 Introduction

Dans un parking automatisé, la fiabilité du système de commande est critique. Ce rapport présente l'étude complète de la chaîne de puissance, depuis la modélisation des sources jusqu'au dimensionnement des convertisseurs.

Compte tenu des contraintes temporelles strictes du projet, l'approche adoptée se divise en deux volets :

1. **Une phase de conception théorique et simulation** (validant les choix technologiques pour le solaire et le convertisseur Buck).
2. **Une phase de réalisation pragmatique** pour le prototype final, privilégiant l'utilisation de modules commerciaux et d'une alimentation sur batterie autonome pour garantir la robustesse lors de la démonstration.

2 Analyse des besoins énergétiques

2.1 Équipements à alimenter

Le système de commande du parking automatisé repose sur plusieurs cartes électroniques aux rôles complémentaires :

- **FPGA** : Utilisée pour le traitement temps réel, la gestion des entrées/sorties et certaines fonctions critiques nécessitant une faible latence.
- **BeagleBone (Beagle Y)** : Plateforme embarquée destinée aux traitements de plus haut niveau, à la communication et à la supervision du système.
- **Microcontrôleur STM32** : Chargé des tâches embarquées locales, de la gestion de capteurs et d'actionneurs, ainsi que de fonctions de sécurité.

2.2 Bilan de puissance (Power Budget)

Les différents éléments présentent des besoins en tension hétérogènes (5 V et 12 V). Un bilan précis a été établi pour dimensionner les étages de conversion et le stockage :

Équipement	Tension (V)	Courant Max (A)	Puissance Max (W)
FPGA	5.0	3.0	15.0
Beagle Y	5.0	1.0	5.0
STM32	5.0	0.5	2.5
Servomoteurs (x2)	5.0	1.2 (total)	6.0
<i>Sous-total Rail 5V</i>		<i>5.7 A</i>	<i>28.5 W</i>
Ascenseur (Moteur)	12.0	1.2	14.4
TOTAL SYSTÈME		≈ 6.9 A	≈ 43 W

TABLE 1 – Bilan de puissance du système

L'analyse de ce bilan met en évidence deux caractéristiques majeures. D'une part, l'ascenseur représente à lui seul un tiers de la puissance (sur le 12 V). D'autre part, le rail 5 V cumule une demande de courant critique de **5,7 A** (FPGA + Beagle Y + Servos). Cette forte intensité dépasse les capacités d'un convertisseur standard, imposant une stratégie de conversion spécifique détaillée en section 6.

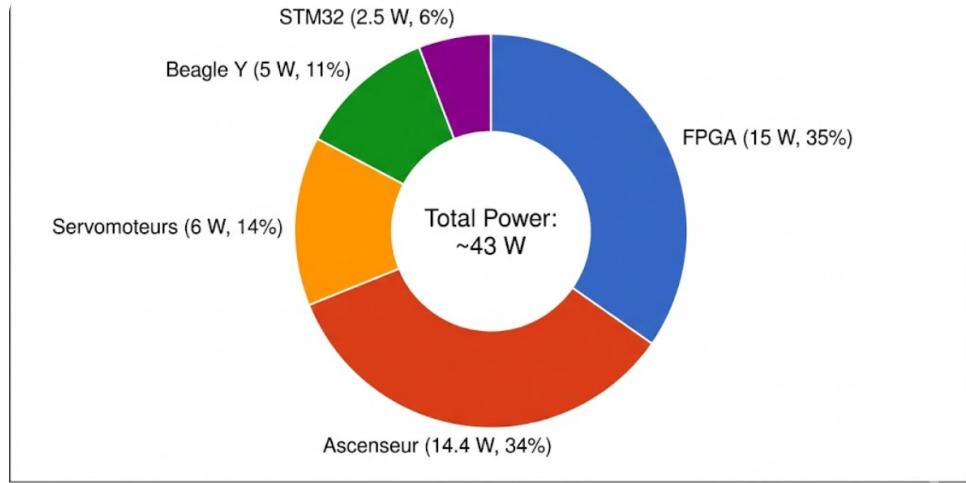


FIGURE 1 – Répartition globale de la puissance

3 Architecture globale de la chaîne de puissance

3.1 Principe général

L'architecture retenue repose sur un **bus continu central de 12 V**. Ce choix de tension intermédiaire permet d'alimenter directement l'ascenseur (gros consommateur de puissance) et sert de base commune pour les convertisseurs abaisseurs (Buck) vers le 5 V.

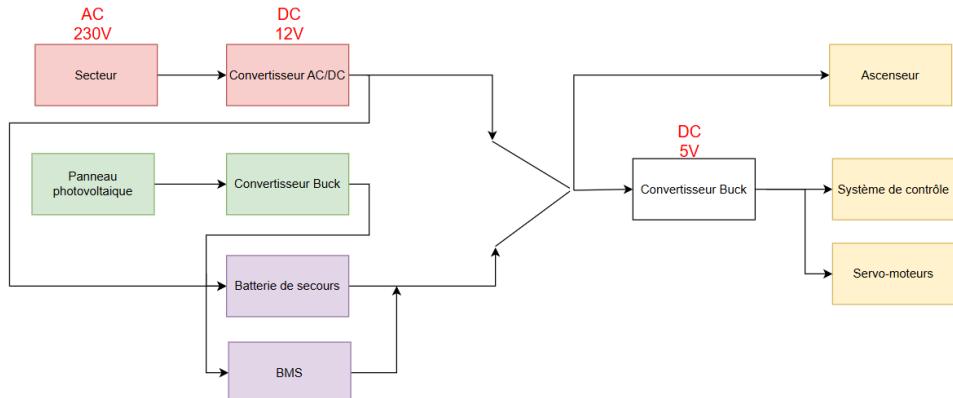


FIGURE 2 – Schéma synoptique complet de l'architecture de puissance

3.2 Sources d'énergie : Stratégie du prototype

Bien que l'étude théorique intègre le réseau (AC/DC) et le solaire (PV), le prototype physique présenté a été simplifié pour fonctionner en **totale autonomie sur batterie**.

- **Source unique** : Batterie 12 V (rechargée extérnément avant utilisation).
- **Avantage** : Cette simplification élimine les risques liés au bruit du secteur et isole galvaniquement le système de commande pour la démonstration.

4 Système de stockage : Batterie de secours

4.1 Dimensionnement de la batterie

Le bilan énergétique a établi une consommation globale du système de **43 W** en fonctionnement simultané. Cependant, la présence de charges inductives (moteur d'ascenseur et servomoteurs) implique des appels de courant transitoires importants lors des phases de démarrage.

Pour garantir la stabilité du bus 12 V et éviter toute chute de tension critique lors de ces pics, le dimensionnement de la source de secours a été effectué avec une marge de sécurité significative, visant une capacité de puissance instantanée d'environ **90 W** (soit 7,5 A sous 12 V).

Le choix s'est porté sur une batterie **12 V / 6 Ah**. Ce dimensionnement offre deux avantages :

- **Tenue en puissance** : Une batterie de 6 Ah est capable de délivrer des courants de décharge bien supérieurs à 1C (6 A), couvrant ainsi aisément les pics de 90 W (7,5 A) sans s'effondrer.
- **Autonomie** : Avec une consommation moyenne de 43 W (environ 3,6 A), l'autonomie théorique dépasse **1h30**, ce qui est largement suffisant pour terminer les cycles en cours et mettre le système en sécurité.

4.2 Principe de fonctionnement détaillé du BMS

La technologie des batteries (LiFePO₄ ou Plomb) nécessite une gestion stricte pour garantir la sécurité et la durée de vie des cellules. Le BMS (*Battery Management System*) agit comme un système de contrôle intelligent intercalé entre les cellules chimiques et le bus de puissance 12 V.

Son fonctionnement repose sur une boucle de surveillance continue assurant trois missions techniques :

1. Maintien dans la zone de sécurité (SOA)

Chaque cellule possède une “Zone de Fonctionnement Sûre” (*Safe Operating Area*). Le BMS mesure en temps réel la tension de chaque cellule (précision de l'ordre du mV), le courant global et la température.

- **Action** : Si une grandeur sort des limites (ex : tension > 3.65 V ou < 2.5 V pour du LiFePO₄), le BMS pilote l'ouverture de **transistors de puissance (MOSFETs)** placés en série sur la ligne de puissance. Ces interrupteurs électroniques isolent la batterie quasi-instantanément pour éviter tout risque thermique ou chimique.

2. Gestion de l'équilibre (Balancing)

Une batterie 12 V est constituée de plusieurs cellules en série (ex : 4 ou 6). En raison de minuscules différences de résistance interne, certaines cellules se chargent plus vite que d'autres.

- **Mécanisme :** Le BMS utilise une technique d'**équilibrage passif**. Lorsqu'il détecte qu'une cellule atteint son seuil de tension maximale avant les autres, il active un petit circuit de dérivation (résistance de *bypass*) parallèle à cette cellule. Le surplus de courant est dissipé sous forme de chaleur, permettant aux autres cellules de continuer à charger jusqu'à ce que le pack entier soit parfaitement égalisé.

3. Estimation de l'état (SOC)

Au-delà de la protection, le BMS sert d'instrument de mesure. En intégrant le courant entrant et sortant en fonction du temps (méthode du *Coulomb Counting*), il estime l'État de Charge (**SOC** - *State of Charge*) et l'État de Santé (**SOH** - *State of Health*) de la batterie, fournissant une information fiable sur l'autonomie restante au système de supervision.

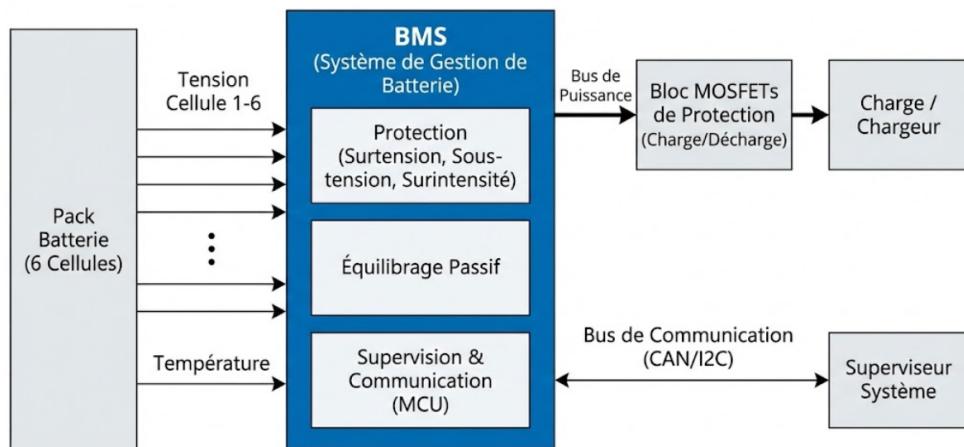


FIGURE 3 – Schéma fonctionnel théorique d'un BMS

4.3 Évolution de la conception (Du BMS Custom au Commercial)

La stratégie d'intégration du BMS a suivi une démarche itérative, passant d'une conception sur mesure à une solution industrielle pour des raisons de sécurité et de planning.

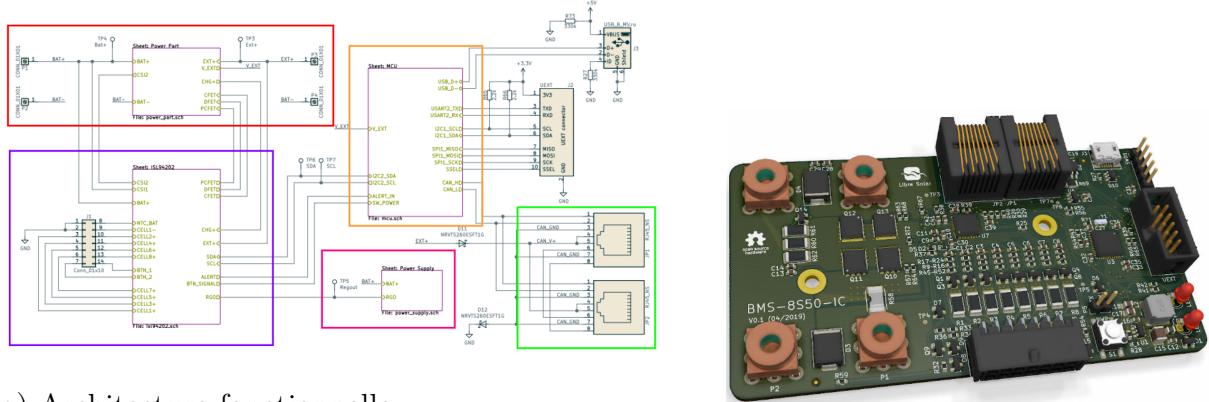
Phase 1 : Conception et apprentissage sous KiCad

Dans un premier temps, une étude approfondie a été menée pour concevoir un BMS sur mesure, basé sur l'architecture open-source *LibreSolar*. Le circuit a été saisi et routé sous le logiciel **KiCad**. La Figure 4 ci-dessous illustre cette conception :

- **Architecture (Fig. 4a) :** Le schéma fonctionnel met en évidence la modularité du système. Le cœur de la sécurité est assuré par le composant spécialisé **ISL94202**

(Zone Violette) qui surveille les tensions et pilote l'étage de puissance (Zone Rouge). La supervision intelligente est déléguée à un microcontrôleur STM32 (Zone Orange), communiquant avec l'extérieur via un Bus CAN (Zone Verte).

- **Réalisation (Fig. 4b)** : La vue 3D valide l'implantation physique et l'encombrement des composants de puissance.



a) Architecture fonctionnelle :

Violet : Gestionnaire (ISL94202)

Rouge : Étage de Puissance

Orange : Microcontrôleur (MCU)

Vert : Bus CAN

Rose : Alimentation interne

b) Vue 3D du routage

FIGURE 4 – Conception du BMS sous KiCad : Vue schématique par blocs et réalisation 3D

Phase 2 : Analyse industrielle et Réorientation

L'extraction de la BOM (*Bill of Materials*) issue de KiCad a permis une analyse technico-économique. Il est apparu que le coût de fabrication unitaire pour un prototype unique était élevé et que l'approvisionnement de certains composants spécifiques (comme l'ISL94202) présentait des risques de délais incompatibles avec la date de rendu du projet.

Phase 3 : Solution Finale

Afin de garantir la fiabilité absolue du prototype final et de sécuriser le planning, la décision a été prise d'intégrer une batterie 12 V équipée d'un **BMS commercial** intégré. Ce choix pragmatique a permis de valider la fonction "Stockage" immédiatement, permettant à l'équipe de se concentrer sur le développement de la partie commande et supervision.

5 Intégration du panneau photovoltaïque (Modélisation)

5.1 Modélisation de la chaîne solaire

L'intégration d'une source solaire a été traitée sous l'angle de la modélisation, faute de temps pour l'intégration physique. Le comportement du panneau et du convertisseur

associé a été simulé sous **MATLAB/Simulink**.

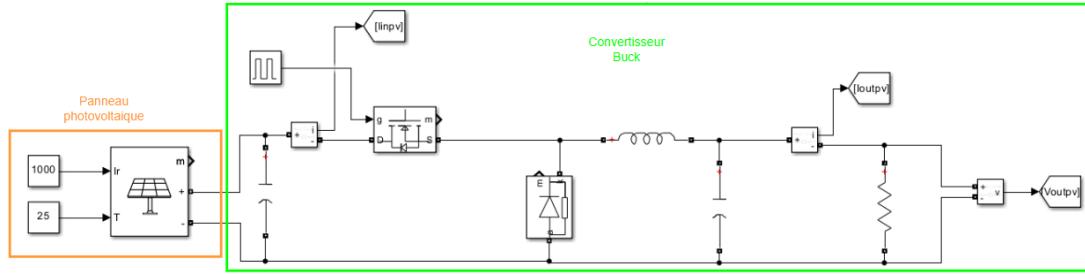


FIGURE 5 – Schéma de modélisation Panneau Solaire + Convertisseur (MATLAB)

5.2 Résultats de simulation

Les simulations ont permis de valider les courbes caractéristiques (Courant-Tension et Puissance-Tension) et d'estimer la puissance récupérable en fonction de l'ensoleillement pour soulager l'alimentation principale.

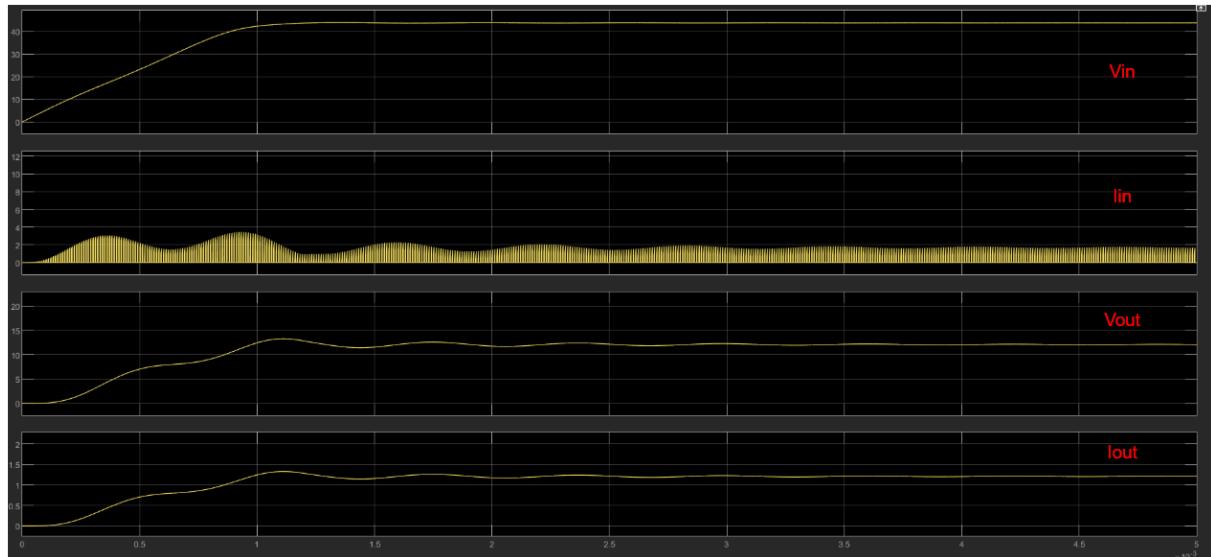


FIGURE 6 – Résultats de simulation : Réponse temporelle du convertisseur PV (Stabilisation des tensions et courants V_{in} , I_{in} , V_{out} , I_{out})

6 Conversion DC/DC : De la théorie à la pratique

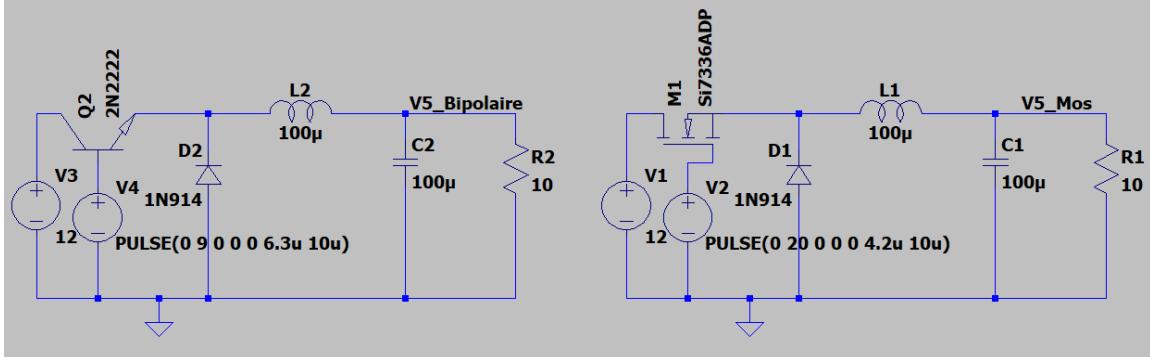
Le système nécessite un rail 5 V stable capable de fournir 5,7 A (FPGA + Beagle Y + Servos).

6.1 Étude théorique et Simulation (LTSpice)

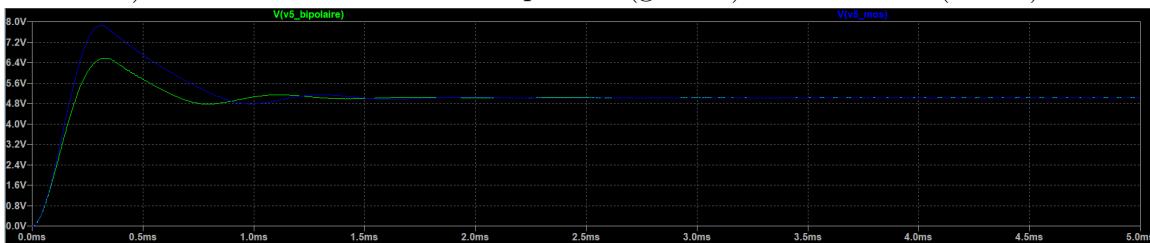
Avant toute intégration, nous avons dimensionné et simulé notre propre convertisseur abaisseur (Buck) pour valider les choix technologiques (notamment le transistor de

commutation).

Deux architectures ont été comparées sous LTSpice : Bipolaire vs MOSFET.



a) Schémas de simulation : Bipolaire (gauche) vs MOSFET (droite)



b) Réponse indicielle : Le MOSFET (Bleu) offre une meilleure dynamique.

FIGURE 7 – Simulation théorique validant l'architecture à base de MOSFET

L'analyse des résultats (Fig. 7) a démontré la supériorité théorique du MOSFET pour son rendement et sa stabilité.

6.2 Réalisation physique : Intégration d'un module commercial

Bien que la simulation ait validé notre design, la réalisation d'un PCB de puissance "maison" comporte des risques importants (parasites, chauffe, délais de fabrication).

Par manque de temps pour itérer sur un prototype de PCB, et pour garantir une alimentation **sans faille** à la carte FPGA (qui est très sensible aux variations de tension), nous avons opté pour l'intégration d'un ****convertisseur Buck commercial**** pour le prototype final. Ce choix assure :

- Une tension de 5 V parfaitement régulée.
- Une protection intégrée contre les courts-circuits et la surchauffe.
- Une mise en œuvre rapide permettant de se concentrer sur la partie logicielle du projet.

7 Sécurité et fiabilité du système

La chaîne de puissance intègre plusieurs niveaux de protection pour assurer la sécurité du matériel et des personnes :

- **Protection électrique** : Fusibles en entrée et protection contre les courts-circuits intégrée aux convertisseurs DC/DC.
- **Sécurité Batterie** : Le BMS protège contre les risques chimiques et thermiques.
- **Robustesse Architecturelle** : Le bus 12 V secouru garantit que le système de contrôle reste opérationnel même en cas de perturbations.

8 Conclusion

La conception de la partie puissance de ce parking automatisé a permis de confronter la théorie aux contraintes réelles d'un projet.

L'étude approfondie via simulations (**MATLAB** pour le solaire, **LTS spice** pour le convertisseur DC/DC) a permis de valider le dimensionnement des composants et de comprendre les phénomènes physiques en jeu. Pour la réalisation finale, une approche pragmatique a été privilégiée : l'utilisation exclusive de la batterie 12 V et l'intégration de modules de conversion commerciaux ont permis de livrer un prototype fonctionnel et fiable dans les délais impartis.