

Mise en place d'une SAÉ de ventilation solaire autonome à base de panneaux photovoltaïques

Marouane Frini¹, Loïc Theolier¹, François Augereau¹, Marie Gueunier-Farret¹
Marouane.frini@u-bordeaux.fr, loic.theolier@u-bordeaux.fr, francois.augereau@u-bordeaux.fr, marie.gueunier-farret@u-bordeaux.fr

¹Département GEII, IUT de Bordeaux, 15 Rue de Naudet, CS 10207, 33175 Gradignan

RESUMÉ : L'article présente la mise en place d'une Situation d'Apprentissage et d'Évaluation (SAÉ) articulée autour de ventilation solaire autonome (VSA) à base de panneaux photovoltaïques. Cette activité concerne essentiellement les étudiants en BUT 2^{ème} année GEII parcours EME de l'IUT de Bordeaux. D'une part, l'objectif pédagogique de cette initiative est de mettre les étudiants dans un cadre authentique s'apparentant au contexte industriel qui favorise leur initiation à des compétences spécifiques et l'évaluation de leurs acquis via une méthode analytique et intégrée. D'autre part, l'objectif technique de cette proposition est de sensibiliser les étudiants au potentiel des énergies renouvelables au sein du contexte énergétique actuel. Ainsi, cet article détaille la démarche pédagogique de la mise en place de cette SAÉ et présente l'implémentation technique d'un projet de ventilation domestique pour extraire l'air chaud des habitations à confort modéré basé sur des panneaux solaires, un étage de protection électrique et un étage de conversion d'énergie via un hacheur 'Buck'.

Mots clés : SAÉ, approche par compétence, énergie photovoltaïque, hacheur Buck.

1 INTRODUCTION

Afin d'asseoir pleinement la mission de professionnalisation dans les IUT, le Bachelor Universitaire de Technologie (BUT) a été déployé à l'échelle nationale depuis le 1^{er} septembre 2021 pour articuler la formation autour des besoins des milieux socio-économiques actuels ainsi que pour favoriser une plus grande interaction entre les contenus de formation et le monde professionnel. La particularité phare de cette réforme est le fait qu'elle s'appuie grandement sur l'Approche Par Compétences (APC). Ainsi, chaque Unité d'Enseignement (UE) est construite autour de ressources (connaissances et méthodes) et de Situations d'Apprentissages et d'Évaluation (SAÉ) relatives à des mises en situation professionnelle en lien avec les compétences visées.

Le BUT au sein du département Génie Électrique et Informatique Industrielle (GEII) de l'IUT de Bordeaux a pour objectif de former les étudiants au métier de technicien supérieur (électronicien, automatisien, technicien de maintenance, chargé d'essai) dans des entreprises de télécommunications, électronique, production et distribution d'énergie dans des secteurs variés (aéronautique, santé, transports, microélectronique...). Grâce à une coloration dans le domaine de la gestion de l'énergie, le BUT 2^{ème} année GEII parcours Électricité et Maîtrise de l'Énergie (EME), vise à rendre les étudiants aptes à encadrer des équipes de techniciens et à travailler en collaboration avec les ingénieurs sur les différentes phases d'étude, d'essai et d'installation, à suivre la production des systèmes de conversion de l'énergie électrique et à intervenir dans les processus de maintenance.

Dans ce contexte, on s'est proposé de mettre en place une nouvelle SAÉ qui s'imbrique simultanément dans les thématiques de prédilection du BUT2 GEII parcours EME et dans les préoccupations pédagogiques de l'APC. Plus concrètement, cette SAÉ s'articule autour de la conception, de l'intégration, de la vérification et de la maintenance de ventilation solaire autonome. Ce projet s'inscrit dans la volonté de sensibiliser les étudiants aux enjeux énergétiques actuels et aux potentialités prometteuses de l'énergie renouvelable. Il s'agit dès lors de l'exploitation de l'énergie solaire photovoltaïque (PV) pour extraire l'air chaud des habitations à confort modéré. En effet, en période estivale, et encore en raison du réchauffement climatique, les habitations nomades (chalet, mobil-home, camping-car, van aménagé, ...) ont un degré de confort très modéré. L'exposition solaire chauffe énormément leur toiture. Et la température de l'air à l'intérieur de ces habitations finit par être bien supérieure à la température extérieure. Les étudiants sont alors chargés de caractériser et dimensionner les panneaux PV à utiliser ainsi que d'assurer la protection électrique de l'installation. En outre, ils ont à concevoir et à installer l'étage de conversion DC-DC à base d'un hacheur dévolteur 'Buck' permettant d'alimenter l'étage de ventilation avec une tension continue stable. Enfin, ils sont évalués sur le protocole de maintenance dans le cas d'un dysfonctionnement. On s'intéresse alors dans ce travail à passer en revue le cheminement pédagogique (sections 2, 3 et 4) et technique (sections 5, 6, 7 et 8) qui ont mené à la mise en place de cette SAÉ à partir de la phase de réflexion préparatoire jusqu'à la phase d'évaluation.

1.1 L'APPROCHE PAR COMPÉTENCES

L'Approche Par Compétences (APC) propose de fonder la pédagogie sur les compétences nécessaires dans le cadre de la réalisation d'activités professionnelles concrètes. Par définition, une compétence est un savoir-agir complexe prenant appui sur la mobilisation des ressources internes (savoirs, savoir-faire et savoir-être) et des ressources externes dans un contexte transposable [1]. L'APC est ainsi une approche intégrée qui consiste à s'appuyer sur les réalités du terrain pour identifier les compétences essentielles à acquérir en vue de l'exercice d'une activité professionnelle donnée. Elle permet ainsi d'articuler les compétences transversales et les compétences métiers/disciplinaires afin de donner plus de sens aux compétences transversales. Elle incite aussi les étudiants à une démarche réflexive sur la progression de leurs compétences et la mobilisation de leurs acquis en situation authentique [1].

Comme le montre la figure 1, cette architecture repose d'abord sur les compétences identifiées à partir des composantes essentielles qui caractérisent la façon dont doit idéalement être mise en œuvre la compétence et participent donc à son évaluation. Ces composantes viseront à retranscrire des situations professionnelles en suivant une progression sous forme d'étapes qui sont les niveaux de développement [2]. Ensuite, les Apprentissages Critiques (AC) sont rattachés à un niveau de développement de la compétence. Ce sont des apprentissages incontournables qui décrivent ce que l'étudiant doit effectivement maîtriser pour passer d'un niveau de développement et qui ne sont pas uniquement basés sur les savoirs ou les disciplines brutes. Cependant, l'APC n'exclut pas la transmission des savoirs via les ressources mais elle l'intègre en soutien aux Situations d'Apprentissage et d'Évaluation sur lesquelles elle s'articule [2].

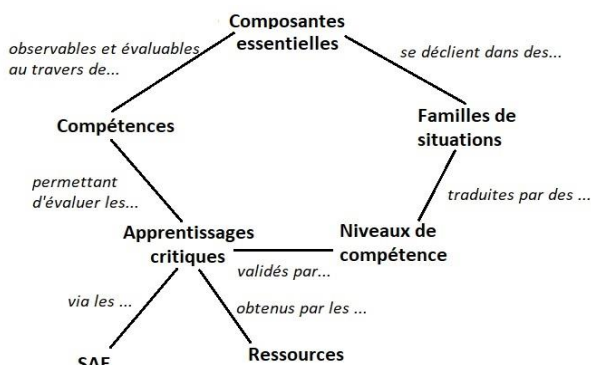


fig. 1 : Approche systémique de l'APC

1.2 LES SITUATIONS D'APPRENTISSAGE ET D'ÉVALUATION

Les Situations d'Apprentissage et d'Évaluation (SAÉ) sont intégrées dans le système global de l'APC et marquent un changement de paradigme pédagogique. Comme le montre la figure 2, une SAÉ est par définition une mise en situation professionnelle authentique de l'étudiant qui permet de donner du sens à ses apprentissages, d'acquérir ou de consolider les compétences et de les évaluer. La compétence devient alors le cœur du système pédagogique et les SAÉ permettent de s'exercer ainsi que d'être évalués sur la dite-compétence. Les enjeux de la SAÉ sont importants, puisqu'elle peut représenter jusqu'à 60% de la moyenne globale du semestre de l'étudiant [3].

Concrètement, une SAÉ est :

- * Un ensemble de tâches complexes.
 - Qui visent la mobilisation des ressources (Cours Magistraux, Travaux Dirigés, Travaux Pratiques, Heures tutorées, ...).
 - Qui sollicitent l'ensemble de la compétence (composantes et critères).
 - Qui permettent d'acquérir de nouvelles connaissances.
- * Des activités liées à la métacognition.
 - Qui sollicitent le recueil de traces des choix sélectionnés.
 - Qui permettent à l'étudiant de comprendre le dispositif d'enseignement.
 - Qui visent à organiser le recul réflexif de l'étudiant.
- * Des méthodes d'évaluation.
 - Qui se basent sur une approche analytique (par critère)
 - Qui favorisent la régulation ciblée afin de contrôler comment l'étudiant mobilise ses ressources et dans quelle mesure il arrive à assimiler les différents objectifs d'apprentissage.
 - Qui demande à l'intervenant de penser ses évaluations d'une manière globale, intégrée et en soutien aux apprentissages des étudiants.
- * Un format spécifique et original.
 - Elle propose des activités diversifiées (du point de vue des situations en jeu, de la nature des productions, de la nature des ressources internes et de la variété des ressources externes mobilisées...)
 - Elle peut s'inscrire sur une longue période (plusieurs séances).
 - Elle est englobante : elle peut viser des compétences disciplinaires et transversales [5].

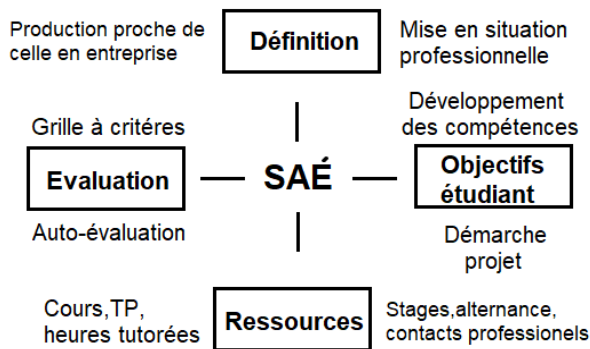


fig 2 : Interactions des SAÉ

1.3 MISE EN PLACE DE LA SAÉ

Afin de construire la SAÉ de la ventilation solaire autonome que nous proposons, il s'impose d'établir une méthodologie pour l'aligner aux préoccupations pédagogiques et techniques attendues. Ainsi, pour créer cette SAÉ, il faut respecter un cheminement propice à l'instauration d'une démarche qui considère les compétences attendues comme des points de repère et qui les contextualise à notre parcours de formation.

Cette démarche commence par la consultation du référentiel de compétences du Programme Pédagogique National (PPN). Ce dernier comprend non seulement les composantes essentielles des compétences visées, mais aussi le descriptif explicite des niveaux de développement attendus. Nous détaillerons donc ci-dessous les étapes qui ont été réalisées dans une démarche itérative [6].

1.4 Choix de la SAÉ

Dans cette étape, il s'agit d'imaginer et de proposer le projet que les étudiants vont devoir réaliser pour développer les compétences visées et être évalués dessus. Les composantes essentielles du parcours EME sont ; concevoir, vérifier, maintenir et installer. L'objectif général de la SAÉ est de dimensionner un système de production, de stockage ou de distribution de l'énergie électrique et de mettre en service et de vérifier que le choix des appareils et le réglage des dispositifs de protection répondent aux exigences de protection.

Après la concertation de l'équipe d'intervenants pour aboutir sur une proposition qui traite de ces compétences, qui s'intègre bien aux préoccupations industrielles actuelles et qui correspond aux réalités des volumes horaires ainsi que les ressources à disposition, le choix s'est finalement porté sur le projet de ventilation solaire autonome à base de panneaux photovoltaïques.

1.5 Détermination des livrables

Il est question ici de spécifier les supports qui seront à prendre en considération pour illustrer tangiblement si les étudiants ont développé les compétences au niveau attendu. Comme le montre la figure 3, pour se rapprocher du modèle de projet appliqué en industrie conformément à la norme de qualité ISO 9001 nous avons adopté la structure du cycle en V dont les étapes correspondent aux 4 compétences à mobiliser. Nous avons donc établi un cahier des charges explicitant les exigences client de la ventilation solaire autonome et nous l'avons communiqué aux étudiants.

Ainsi, les livrables évalués sont le dossier de conception (DDC), le dossier d'installation (DDI), le dossier de vérification (DDV), le prototype de la ventilation solaire autonome et le dossier de maintenance (DDM). Pour finir, la dernière évaluation est effectuée sous forme d'une soutenance orale individuelle qui est clôturée par des questions orientées sur les AC traités.

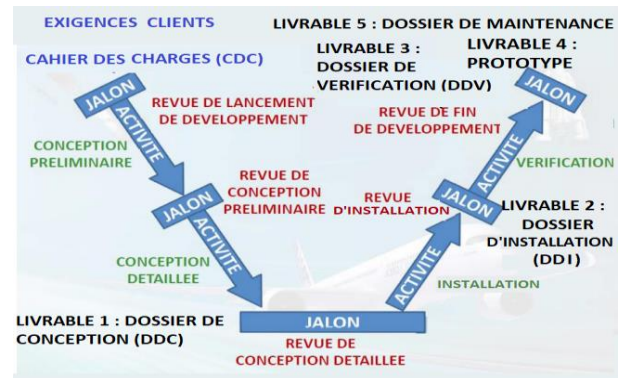


fig 3 : Structure du cycle en V

1.6 Repérage des transformations attendues

Il s'agit là d'établir les éléments qui vont structurer et jaloner la progression des prises de conscience des étudiants au cours de cette SAÉ. Cette étape consiste alors à lister les acquis des étudiants à travers les différents apprentissages critiques associés à l'activité. Ceci nous permet d'établir qu'à travers le projet proposé, l'étudiant appréhende les différentes AC associées aux compétences.

1.7 Cartographie des ressources

Dans cette étape, on cartographie les ressources à combiner et à mobiliser pour mener à bien cette SAÉ. Les ressources nécessaires pour ce projet sont :

- * R4.01 : Anglais
- * R4.02 : Culture et Communication
- * R4.03 : Vie de l'Entreprise : Droit du travail, propriété industrielle, économie numérique, protection des données
- * R4.05 : Projet Personnel et Professionnel
- * R4.EME.07 : Energie spécialisée

1.8 Scénarisation de l'activité

Pour finir, scénariser la SAÉ revient à inscrire comment elle va se dérouler dans le temps afin d'articuler son déroulement en cohérence avec les ressources du programme du semestre, à la fois pour les étudiants et les enseignants. Concrètement, comme le montre la figure 4, on propose un Planning Prévisionnel de Projet (PDP) articulé autour de jalons pendant 36 heures (24h équivalent TD, donc 100.32 heures de travail effectif pour chacun des 2 intervenants SAÉ) que des équipes de 6 à 8 étudiants (3 équipes par groupe) devront respecter. Les étudiants sont encouragés à se cantonner à ce volume horaire pour travailler afin de se rapprocher des conditions professionnelles. En revanche, si jamais ils prennent du retard, il est possible de se réorganiser pour qu'ils travaillent leur projet lors des séances d'heures tutorées (HTUT) avec le soutien d'un intervenant SAÉ. Ainsi, pour garantir le bon déroulé du projet, les intervenants se doivent de suivre chaque équipe de près en faisant le point au début de chaque séance pour voir ce qui est fait et ce qui reste à faire. Si toutefois, on constate que toutes les équipes se retrouvent dépassées par l'envergure du projet, il reste la possibilité de réviser le cahier de charge et revoir certaines exigences à la baisse pour que le projet arrive à terme.

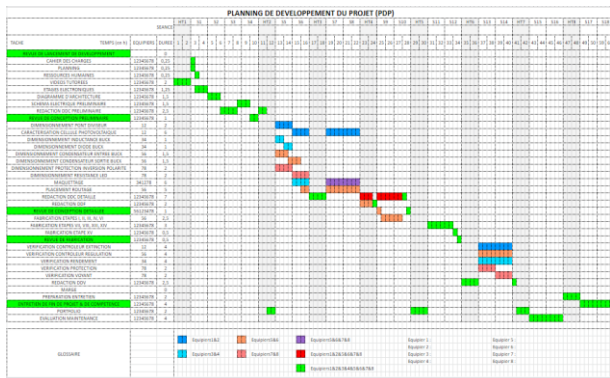


fig 4 : Planning Prévisionnel du Projet

2 CONCEPTION

Dans cette première phase, les équipes d'étudiants appréhendent rigoureusement le cahier des charges et assimilent l'ensemble des exigences auxquelles le produit final doit répondre. Ces exigences sont présentées de manière concise et non ambiguë afin d'être vérifiables explicitement par les intervenants. Elles peuvent être d'ordre technique (exemple : EXIG_CONTROLEUR : Le produit dispose d'un contrôleur de conversion DC/DC qui a pour objectif de réguler l'étage de conversion DC/DC afin de générer une tension continue acceptable par le ventilateur ayant une ondulation inférieure à 1% et éteindre l'étage de conversion DC/DC si la tension mesurée de la cellule photovoltaïque devient inférieure au seuil de 8V

[+0,5V]) ou opérationnelle (exemple : estimation des coûts, délais, format des livrables, etc...).

La première partie de la conception représente la conception préliminaire du produit où les étudiants doivent se prononcer sur l'ossature globale du système et le choix autonome des composants associés à travers l'étude des documents constructeur (datasheets). Les étudiants ont une totale liberté de mouvement quant au choix de la plupart des composants. Ils peuvent demander à en faire la commande, du moment qu'ils respectent le cahier de charge, le budget alloué, la disponibilité et le planning.

De l'autre côté, même s'ils gardent la solution préparée à l'esprit, les intervenants n'imposent aucun choix à aucun moment mais ils se permettent parfois de questionner indirectement les étudiants sur la faisabilité des solutions risquées provoquant ainsi une remise en question spontanée. Enfin, cette phase se clôture par la rédaction d'un DDC préliminaire et une revue de conception préliminaire avec les intervenants.

Ainsi, à l'issue de cette partie préliminaire les étudiants proposent un schéma synoptique structurant les différents blocs architecturaux d'un point de vue électronique (acquisition, traitement, action et énergie) et mentionnant les références des composants qu'ils ont sélectionnés pour satisfaire les besoins client. La figure 5 montre une proposition parmi plusieurs possibles d'un schéma synoptique de ventilation solaire autonome. Ceci permet ainsi de valider l'AC 11.01 : Produire l'analyse fonctionnelle d'un système GEII et l'AC 21.01 : Proposer des solutions techniques liées à l'analyse fonctionnelle.

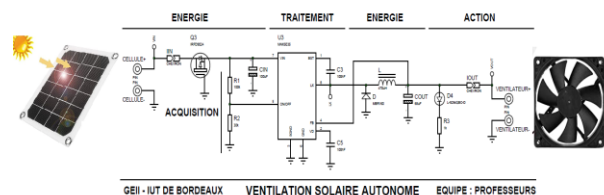


fig 5 : Schéma synoptique du projet

La seconde partie est la phase de conception détaillée. Les différents blocs fonctionnels du produit sont étudiés dans le détail et leurs composants dimensionnés. Cette partie apporte la preuve de la faisabilité du produit conformément aux exigences client.

Cette phase présente aussi l'ensemble des simulations réalisées au cours de la conception. Elle permet ainsi de confirmer la justesse des résultats issus de la conception.

Les étudiants commencent par étudier les panneaux photovoltaïques. Cette étude permet de dégager que le générateur PV est constitué de plusieurs cellules PV qui sont connectées en série ou/et en parallèle afin de produire le courant et la tension attendus. Ils prennent vite conscience que malgré le fait qu'elle soit prometteuse, l'énergie photovoltaïque reste moins rentable, à cause de la fluctuation de sa production, qui est le résultat de la non-linéarité de l'irradiance exprimée en Watt/m² et la température. Ainsi, les étudiants ont à caractériser les panneaux solaires disponibles avec une charge numérique variable et simuler le fonctionnement du panneau photovoltaïque sur le logiciel Proteus ISIS. Comme le montre la figure 6, la courbe simulée de la puissance du PV en fonction de la tension avec différents niveaux d'irradiance et à température constante de 25° fait apparaître le point de puissance maximale.

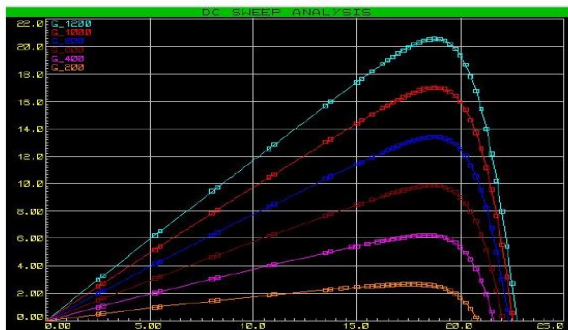


fig 6 : Courbe de P(V) en fonction de l'irradiance

Ensuite, les étudiants s'intéressent à l'étage du hacheur. Le hacheur Buck ou hacheur dévolteur est un convertisseur DC/DC qui commande le débit d'une source de tension dans une charge de courant. Il permet de convertir la tension d'entrée en une tension de sortie inférieure. Il possède un fort rendement (jusqu'à 95%) et offre la possibilité de réguler la tension de sortie. Il est par conséquent particulièrement adapté pour les applications d'électronique de puissance.

Comme schématisé dans la figure 5, le cycle de fonctionnement du hacheur Buck, de période de hachage T, comporte deux étapes générées par la commande MLI :

*Lors de la première étape, la commande est assimilée à un interrupteur fermé et la diode, polarisée en inverse, est bloquée. La source fournit de l'énergie à la charge et à l'inductance. Cette phase dure de 0 à αT , avec α le rapport cyclique compris entre 0 et 1.

*Lors de la seconde étape, l'interrupteur est ouvert. La diode devient passante afin d'assurer la continuité du courant dans l'inductance. Ainsi, l'énergie emmagasinée dans l'inductance commande la circulation du courant dans la diode de roue libre D. Cette phase dure de αT à T.

Les étudiants procèdent alors au dimensionnement de la bobine, des condensateurs d'entrée/sortie et de la diode à utiliser dans cet étage afin de récupérer la tension (5V) et le courant (0.28A) nécessaires pour

alimenter la ventilation et un voyant de signalisation à base d'une LED bleue. Ils doivent aussi choisir un appareil de protection pour garantir la sûreté de l'installation et de l'utilisateur en environnement humide. Ils peuvent ainsi proposer l'utilisation d'un fusible réarmable avec un calibre adéquat ou un transistor MOSFET canal P pour protéger contre l'inversion de polarité. En outre, ils ont à simuler le fonctionnement de cet étage sur le logiciel Proteus ISIS pour appuyer leur choix. Comme le montre la figure 7, ils font aussi le dérisquage de chaque étage sur plaque à essai (breadboard) pour confirmer le bon fonctionnement. Ensuite, ils documentent leurs résultats, leurs calculs et leur choix techniques dans le DDC. Enfin, ils entament la rédaction du DDI qui regroupe les typons de la carte électronique et les instructions d'installation du projet. Ceci permet de valider les AC11.02 (Réaliser un prototype pour des solutions techniques matériel et logiciel), AC11.03 (Rédiger un dossier de fabrication à partir d'un dossier de conception) et AC21.02 (Dérivier les solutions techniques).

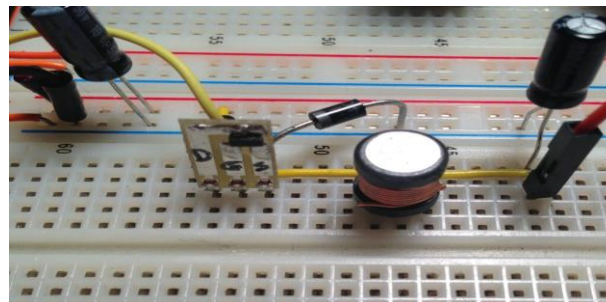


fig 7 : Dérisquage sur breadboard

3 INSTALLATION

La première partie de la phase d'installation consiste à fabriquer la carte électronique qui regroupe les borniers d'entrée, le fusible réarmable, le hacheur Buck et la sortie USB. Il s'agit alors pour les étudiants de suivre une procédure d'installation qui leur permet d'imprimer le circuit à partir des typons du DDI et de procéder ensuite au soudage par réfuson des composants. Les étudiants doivent alors effectuer une inspection de l'état de la carte et un contrôle de conformité croisé pour valider que les étapes de la procédure ont bien été respectées comme montré sur la figure 8.

	ETAPES A REALISER	A Faire (voir plan)	Ref (référence)
I	TYPONS & PLANS	OUI	
II	INSULATION	OUI	
III	GRAVURE	OUI	
IV	RE-INSULATION	OUI	
V	DECOURAGE	OUI	
VI	PERCAGE	NON	
VII	TEST DE CONTINUITÉ	OUI	
VIII	SOUDEGE DES VIAS A RIVET	NON	
IX	POSE DE LA PATE A BRASER (SMD)	OUI	
X	POSE DES COMPOSANTS (SMD)	OUI	
XI	ALIGNEMENT DES COMPOSANTS (SMD)	OUI	
XII	REFUSION (SMD)	OUI	
XIII	SOUDEGE (THD)	NON	
XIV	INSPECTION (THD & SMD)	OUI	
XV	CONTROLE DE CONFORMITE	OUI	

fig 8 : Procédure d'installation de la ventilation solaire autonome

La deuxième étape consiste à installer les panneaux PV en les reliant avec la carte électronique du hacheur afin de préparer la première mise en service selon les normes NF C 15-100. Les étudiants doivent suivre une procédure de mise en service qui comprend une inspection visuelle, le contrôle des protections électriques, la vérification l'isolement des circuits et de l'absence de court-circuit. Ceci permet de valider les AC24.01EME (Appliquer la procédure d'installation d'un système) et AC24.02EME (Exécuter la mise en service d'un système en respectant la procédure.)

4 VERIFICATION

La phase de vérification du prototype de la ventilation solaire autonome consiste à demander aux étudiants de réaliser la validation du fonctionnement et de fournir des preuves concrètes quant au respect de toutes les exigences du CDC. Ils doivent donc mettre en place une campagne d'essai permettant de valider les valeurs attendues en utilisant l'appareillage de mesure. Ils doivent ainsi repérer les éventuels dysfonctionnements et certifier la conformité aux besoins client en livrant un DDV documenté. Cette phase permet alors de valider les AC12.01 (Appliquer une procédure d'essais), AC12.02 (Identifier un dysfonctionnement), AC12.03 (Décrire un dysfonctionnement), AC22.01 (Identifier les tests à mettre en place pour valider le fonctionnement) et AC22.02 (Certifier le fonctionnement d'un nouvel équipement installé).

5 MAINTENANCE

Cette dernière étape consiste à mettre en place une procédure de maintenance corrective selon la norme CEN 319-003 que les étudiants doivent suivre. Les intervenants introduisent alors des défauts dans la ventilation solaire autonome (faux contact, court-circuit, mise à la masse, ...) et les étudiants exécutent les opérations de dépannage et documentent leur intervention dans un dossier de maintenance (DDM). Ceci valide les AC23.01 (Exécuter l'entretien en respectant une procédure), AC23.02 (Exécuter une opération de maintenance), AC23.03 (Diagnostiquer un défaut) et AC23.04 (Identifier la cause racine du défaut).

6 RETOUR D'EXPERIENCE ETUDIANTS

Globalement, les retours des étudiants étaient positifs et toutes les équipes ont finalisé leurs projets dans les délais. Ils ont trouvé l'exploitation des panneaux PV intéressante mais ils étaient quand même étonnés du faible rendement obtenu. Certains étudiants ont été frustrés quant à l'aspect intermittent de cette source d'énergie quand ils ont voulu faire des tests en temps nuageux. Aussi, certains ont émis le souhait d'avoir à fabriquer le boîtier en plastique pour le projet pour le rendre crédible en tant que produit commercialisable. Enfin, quelques-uns ont critiqué le volume documentaire conséquent et chronophage des livrables.

7 CONCLUSION

L'article a présenté la mise en place d'une SAÉ de ventilation solaire autonome (VSA) à base de panneaux photovoltaïques. Cette proposition est destinée aux étudiants en BUT 2ème année GEII parcours EME de l'IUT de Bordeaux. On a d'abord contextualisé la SAÉ dans son panorama pédagogique de l'APC. Ensuite, on a détaillé le cheminement pédagogique de la mise en place de la SAÉ permettant de déterminer ses livrables, les AC qui lui sont rattachés et les ressources associées. Enfin, on a détaillé les étapes clés de son élaboration qui sont en l'occurrence la conception, l'installation, la vérification et la maintenance qui ont menés les étudiants à la réalisation et à l'évaluation de la SAÉ.

La SAÉ proposée demeure ouverte à la possibilité d'amélioration. En effet, elle pourrait éventuellement faire l'objet de développements ultérieurs, notamment l'implémentation d'un régulateur Maximum Power Point Tracking (MPPT). En effet, afin de maximiser le rendement photoélectrique jusqu'à 30%, l'utilisation d'un régulateur MPPT est envisageable. La commande MPPT fait varier le rapport cyclique du convertisseur DC/DC à sa sortie en fonction de l'évolution du courant I et la tension V à son entrée afin de rapprocher le fonctionnement au point maximum de puissance (MPP) que le panneau PV peut fournir. Pour ce faire, l'algorithme Perturbe et Observe (P&O) est le plus couramment utilisé mais il existe une autre méthode dite méthode de conductance incrémentale. Il serait alors intéressant de comparer les deux algorithmes en termes de rapidité en régime transitoire et de stabilité en régime permanent. Enfin, il est envisagé qu'un prolongement, confié à des étudiants en projets tutorés consistera, à équiper en plus le panneau PV d'une carte avec transmetteur wifi pour suivre l'évolution de sa production sur smartphone.

Bibliographie

- [1] Poumay M., Tardif J., Georges F., « Organiser la formation à partir des compétences, un pari gagnant pour l'apprentissage dans le supérieur », *Pédagogies en développement, De Boeck supérieur*, (2017).
- [2] V. Frick et B. Boyer, « Conception de système sur cible FPGA : une approche par compétences », *J3eA 21*, 1022 (2022)
- [3] P.Mabilleau, « Le développement de compétences en systèmes embarqués via l'apprentissage par problèmes et par projets », *J3eA 7*,1018 (2008).
- [4] Georget J.P. et Thémines J.F., « Une étude des évolutions pédagogiques et didactiques dans les colloques CET-SIS », *Colloque d'enseignement des technologies et des sciences de l'information et des systèmes – CET-SIS 14, Besançon* (2014).
- [5] M. Avila, J.C. Bardet, S. B. N. Stride, "La pédagogie par projets", *Colloque sur l'Enseignement des Technologies et des Sciences de l'Information et des Systèmes- CET-SIS, Nancy* (2005).
- [6] T. Talbert, F. Thiery, O. Fruchier, et M. Almerge. « Mise en place d'un enseignement transversal à comment éviter qu'un apprentissage par problèmes tourne au fiasco », *J3eA 21*, 2043 (2022).