



Premiers retours d'expérience de Travaux Pratiques FPGA en distanciel*

Michael Canu¹, Michael Bressan², Thierry Talbert², Frederik Thiery²

¹ Service PLATINUM, Université de Perpignan Via Domitia, 52 av. Paul Alduy, 66000 Perpignan

² Laboratoire PROMES-CNRS, Université de Perpignan Via Domitia, 52 av. Paul Alduy, 66000 Perpignan

*Auteur de correspondance : talbert@univ-perp.fr

Résumé : Cet article présente les premiers retours d'expérience sur l'intégration de travaux pratiques (TP) à distance en FPGA pour les étudiants en alternance de la licence Sciences Pour l'Ingénieur (SPI) à l'Université de Perpignan Via Domitia. En partenariat avec l'Université de Nîmes, le projet PROMÉTHÉE a permis de développer des TP en distanciel via la plateforme LabsLand, visant à aider les étudiants alternants souvent confrontés à une charge de travail élevée. Les TP FPGA, réalisés avec des cartes Altera DE1, ont été conçus pour introduire la programmation VHDL aux étudiants de troisième année. Les retours des étudiants montrent majoritairement un intérêt pour ce format d'enseignement.

Mots clés : TP à distance ; étudiants en alternance ; informatique ; programmation ; FPGA ; VHDL

Abstract: Article title translated in English

This article presents initial feedback on the integration of remote practical work (TP) in FPGA for work-study students enrolled in the Bachelor's degree program in Engineering Sciences (SPI) at the University of Perpignan Via Domitia. In partnership with the University of Nîmes, the PROMÉTHÉE project has developed remote practical work via the LabsLand platform, aimed at helping work-study students who often face a heavy workload. The FPGA practical work, carried out using Altera DE1 cards, was designed to introduce third-year students to VHDL

* Note de bas de page liée au titre de l'article.

programming. Feedback from students shows that the majority are interested in this teaching format.

Keywords: Remote practical work; work-study students; computer science; programming; FPGA; VHDL

1. Introduction

Depuis 2019, Sciences Pour l'Ingénieur (SPI) est en constante évolution, entre autres par l'introduction de la transversalité, de nouvelles pédagogies et des compétences dans le contenu pédagogique [1], [2], [3], [4]. Dans le cadre des ouvertures à d'autres publics, la licence SPI de l'Université de Perpignan Via Domitia, s'est aussi ouverte à l'alternance en 2019. La licence SPI possède deux parcours « *Électronique, Énergie Électrique, Automatique* » et « *Énergie et Matériaux* », et ces deux parcours sont ouverts à l'alternance et la formation continue à partir de la deuxième année. L'objectif est d'offrir aux étudiants qui le désirent, une expérience professionnelle sans que celle-ci les limite pour une éventuelle poursuite d'étude en master ou école d'ingénieur. Sur les cinq dernières années, cela représente environ entre trois et cinq étudiants qui sont en alternance chaque année. La structure pédagogique de la formation a été modifiée afin de permettre une alternance entre présence en centre et en entreprise. Ce qui donne une organisation de trois semaines de cours suivie de une semaine en entreprise, puis trois semaines de cours suivie de deux semaines en entreprise. Et ainsi de suite jusqu'aux vacances de pâques pour une période non stop en entreprise jusqu'à fin août. Le retour des alternants a montré que la quasi-totalité des alternants trouvent la charge de travail bien plus importante que les étudiants de la formation initiale. Le suivi des alternants sur ces dernières années a permis d'identifier, entre autre, une charge de travail bien supérieur aux autres étudiants. Et surtout que la charge de travail concernant la formation n'était pas toujours « *synchrone* » avec le temps de préparation nécessaire, par exemple pour les travaux pratiques et la préparation du compte-rendu qui se fait en amont et pour lequel les alternants sont en entreprise.

La discussion s'est donc engagée pour apporter une aide à nos étudiants. Quel type de pédagogie, si elle existe peut « *aider* » nos étudiants alternants ?

En juin 2020, le Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation lançait un appel à projets « *hybridation des formations d'enseignement supérieur* ». 35 projets ont été lauréats de cet appel à projets. Parmi eux, l'Université de Perpignan Via Domitia, en partenariat avec l'Université de Nîmes, se sont vus attribués 1 000 000 d'euros pour leur projet, PROMÉTHÉE (PaRcOurs Mutualisés ET Hybrides entre Etablissements d'Equilibre). Le projet Prométhée est né de la volonté d'expérimenter de nouvelles méthodes d'enseignement pour favoriser la réussite des étudiants et pour développer les compétences pédagogiques et numériques des enseignants.

Le projet Prométhée a été mené et développé pendant deux ans et demi pour et avec les enseignants de l'enseignement supérieur. Des actions, des outils et des ressources ont été réalisés pour toute la communauté universitaire. La numérisation de travaux pratiques via des plateformes dédiées telles que LabsLand a été expérimentée dans plusieurs formations (Staps, SEE, Sup'EnR). Cette innovation permet ainsi l'acquisition ou l'approfondissement de compétences pratiques en autonomie par l'étudiant ou accompagné de l'enseignant.

Le projet PROMÉTHÉE des universités de Perpignan et de Nîmes, nous a semblé être un début de solution à étudier, par l'utilisation de travaux pratique en distanciel [5], [6].

2. Les Travaux Pratiques

2.1. Réflexion

La première interrogation a été de savoir quelle(s) matière(s) est/sont susceptible(s) pour proposer des travaux pratiques en distanciel et quel niveau de la formation et parcours de la licence SPI, nous semblait le plus apte à « *tester* » cette solution.

Avec l'aide du service PLATINUM de l'UPVD et à la lecture des TPs à distances déjà disponibles sur la plateforme LabsLand [5], [6], notre choix s'est naturellement orienté vers des travaux pratiques d'informatique. La licence SPI et en particulier le parcours EEA possède quatre matières du domaine de l'informatique/électronique. Deux matières en deuxième année qui ont pour objectif de donner les bases de la programmation à nos étudiants. Et deux matières en troisième année qui sont applicatifs orientés microcontrôleurs et processeurs. Chacun des quatre modules correspond à 30 h équivalent TD de travaux pratiques. Sachant que nous sommes en position de l'évaluation de travaux pratiques à distance, notre objectif a été de compléter et non pas de remplacer tout un contenu pédagogique. Il a été décidé de changer un TP de la matière processeur en troisième année en mode TP à distance. Ainsi en cas d'échec, il n'y aura pas d'impact notable sur l'apprentissage de nos étudiants.

2.2. Travaux Pratiques FPGA

Notre choix définitif s'est porté sur un TP nouveau que nous n'avions pas, un TP FPGA. L'idée était de clôturer l'ensemble des enseignements du domaine de l'informatique/électronique par un TP FPGA. L'objectif pour nous est ici simple, finaliser la programmation avec une introduction aux FPGA.

2.2.1. Construction du TP

La version TP FPGA de l'UPVD est une version entièrement made in UPVD, mais en suivant les recommandations LabsLand afin de pouvoir s'intégrer naturellement sur le réseau international fait par LabsLand.

Le principe de base est le suivant, pour accéder à un TP, vous devez :

1. vous connecter sur votre cours moodle, ou sur le site de LabsLand. Dans le cas de moodle, le plugin se connecte directement sur un TP du site LabsLand.
2. Pour un TP donné, vous pouvez avoir plusieurs lieux sur la planète pour faire votre TP. Le serveur choisi un site, puis vous connecte directement à votre TP.
3. Vous disposez alors d'une interface, pour configurer et visualiser les résultats de votre configuration.

Le principe de connexion aux TPs est représenté sur les figures 1 et 2.

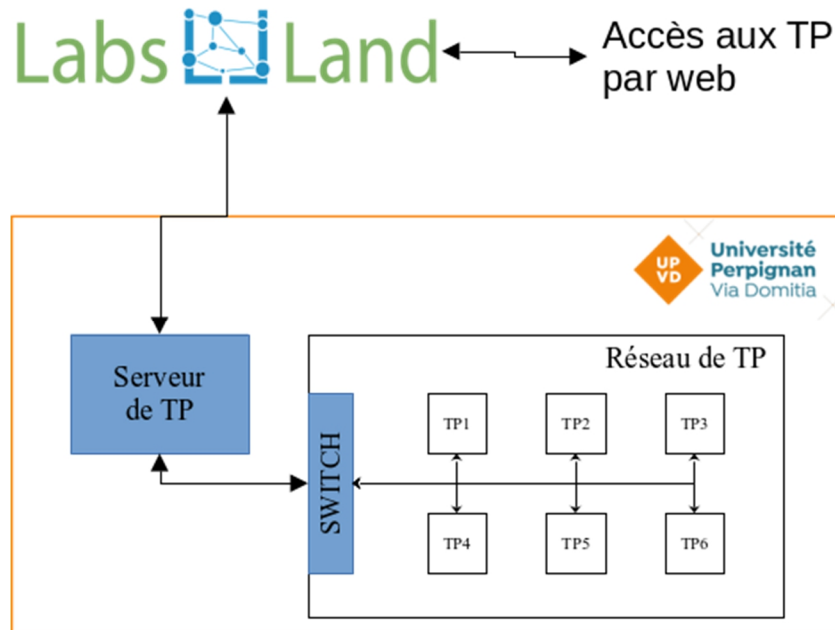


Figure 1. Connexion aux TP depuis l'extérieur

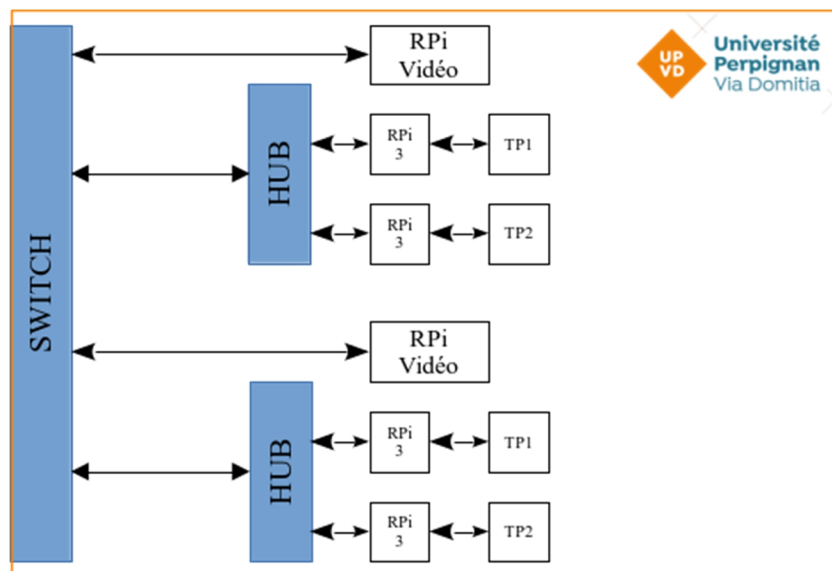


Figure 2. Interconnexion interne entre les différents éléments (switch, hub, Raspberry et les TP).

Comme nous pouvons le voir sur la figure 1, il n'y a aucun accès direct depuis l'extérieur au système de TP. Nous devons obligatoirement passer, par les serveurs LabsLand, qui nous connectent sur un serveur local qui est lui-même connecté à l'ensemble des TP qui sont mis à disposition pour les étudiants.

Cette solution possède de nombreux avantages comme :

- la sécurisation : il est impératif d'être identifié pour pouvoir accéder aux serveurs LabsLand.
- Les possibilités d'extension puisqu'il suffit d'interconnecter les nouveaux TP directement au switch général.

La figure 2 détaille, un peu plus la configuration interne. Comme on peut le voir, le réseau interne comporte :

- des RPi 3 qui servent d'interface pour chacun des TPs. Ils peuvent envoyer des informations à celui-ci pour le configurer. Ils peuvent aussi collecter des mesures afin de les afficher sur l'interface web de l'étudiant, voir même servir d'informations pour le calcul, etc.
- Des RPi connectés à une webcam, qui permettent d'avoir un retour d'information, pour que l'étudiant puisse observer le fonctionnement de son TP.

Concernant le matériel utilisé, nous disposons de 8 TPs FPGA accessibles :

- 8 cartes Altera DE1 ;
 - Cyclone V SoC 5CSEMA5F31C6, ARM Cortex-A9 double cœur (HPS), Eléments logiques programmables 85 K, Mémoire intégrée de 4,450 Kbits, 6 PLL fractionnaires
 - Mémoire : 64 Mo (32 Mo x 16) de SDRAM sur FPGA, 1 Go (2 x 256 Mo x 16) de SDRAM DDR3 sur HPS
 - Connecteurs : RCA, VGA,
- 8 RPi3 pour la configuration et la collecte d'informations ;
- 2 RPi4 qui sont connectés à une webcam, et renvoient le fonctionnement du Tp ;
- 2 oscilloscopes numériques ADALM2000 : pour l'acquisition de signaux sur les différents TPs (2 entrées analogiques et 16 numériques) ;
- Les différentes alimentations pour les DE1, les RPi 3&4 et les hubs ;
- 2 hubs ;
- 1 switch configurable ;
- 1 serveur qui va filtrer toutes les entrées et orienter vers le bon TP ;
- 1 onduleur de secours pour éviter tout problème de coupure de courant ;
- Une baie de brassage installée en salle de TP qui contient la totalité des travaux pratiques et qui permet d'isoler les TPs des étudiants de la salle.

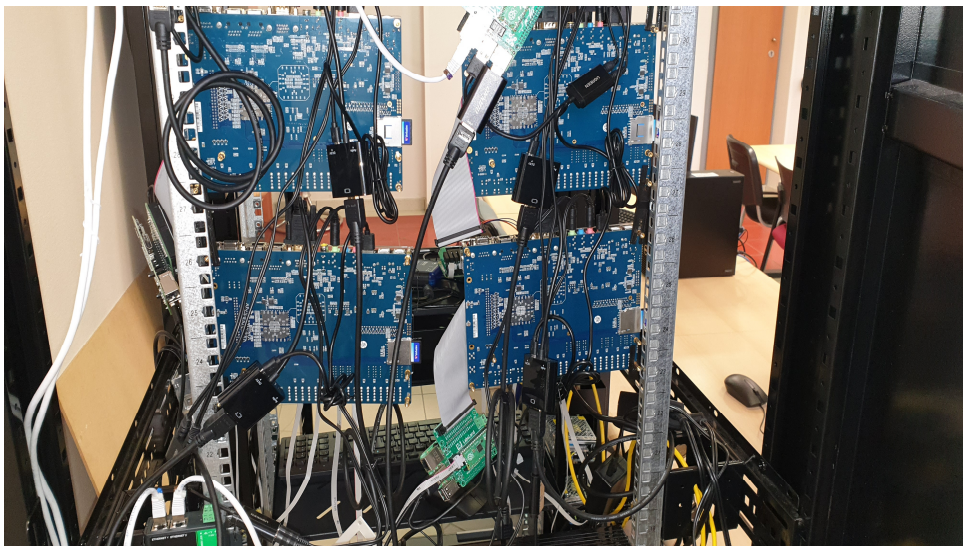


Figure 3. Partie arrière des cartes DE1 avec l'ensemble des connecteurs.

La figure 4 présente la vue avant de la baie de brassage. Les 8 cartes ont été regroupées par groupe de 4 pour être associé à chacun aux RPi vidéos. Chaque RPi4 va gérer le flux vidéo de 4 cartes DE1 et découpera l'image pour le TP de chaque étudiant qui sera connecté.

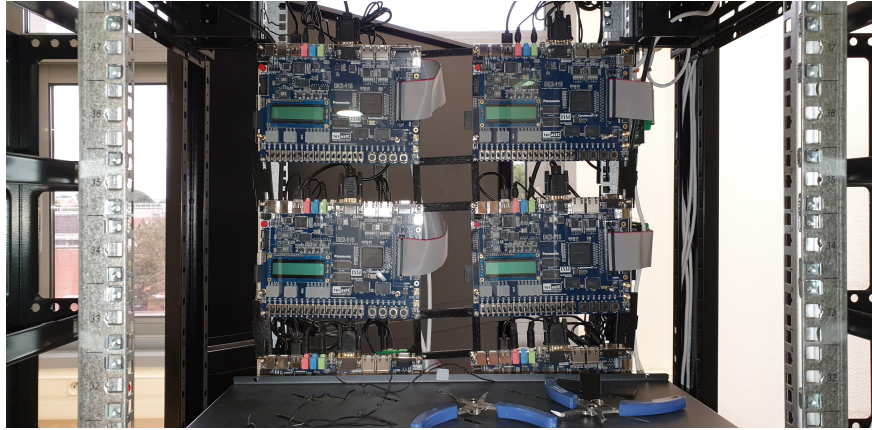


Figure 4. Partie avant de la baie de brassage.

La figure 5 présente la baie de brassage complètement montée. Nous retrouvons sur la partie haute, l'ensemble des 8 cartes DE1 (donc des 8 TPs), au centre la connectique réseau et en bas de la baie le serveur et son onduleur. Certains éléments ne sont pas visibles, comme les webcams, le système d'éclairage interne et les différentes alimentations [7].



Figure 5. Baie de brassage qui contient les 8 TPs FPGA qui sont accessibles à tous nos étudiants.

2.2.2. Tests et vérifications

Après les tests classiques électriques et la configuration réseau effectuée avec les services techniques de LabsLand et de l'UPVD, nous pouvons évaluer le fonctionnement du TP.

Voici l'introduction du TP FPGA qui est donnée à nos étudiants :

Dans ce laboratoire, vous pouvez apprendre à programmer en utilisant deux langages de conception de matériel : VHDL ou Verilog, et tester votre code sur l'une de nos multiples cartes disponibles. Chaque FPGA possède un ensemble de composants déjà en place, tels que 10 LEDs, 6 affichages à 7 segments ou plusieurs horloges. De plus, vous aurez accès à 10 interrupteurs virtuels et 4 boutons virtuels que vous pouvez utiliser dans votre conception et que vous verrez lorsque vous interagirez avec le matériel réel.

Chaque fois que vous synthétisez votre code, vous serez attribué à une carte particulière (telle que Terasic DE2-115 ou Terasic DE1-SoC ou autres), et vous pourrez envoyer votre code à l'une des cartes disponibles et allumer et éteindre les interrupteurs ou appuyer sur les boutons et voir comment votre conception se comporte. Les cartes sont situées dans différentes universités, comme vous le verrez lors de l'utilisation de chaque carte.

D'une manière générale, le TP est un TP d'introduction aux FPGA et à la programmation VHDL. Nous utilisons donc le fait, que la carte DE1 est une carte de développement et que de nombreux interrupteurs, boutons poussoirs, leds et afficheurs 7 segments sont déjà pré-cablés, tel que schématisés sur la figure 6. Cette figure, donnée dans le sujet de TP, fournit un certain nombre d'information d'aide à la programmation.

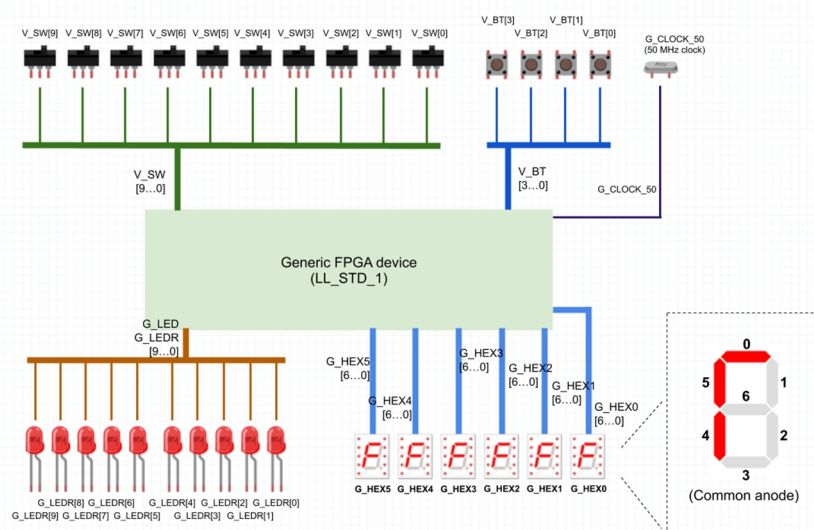


Figure 6. Schéma interne de la carte Altera DE1.

La programmation en licence SPI est basée principalement sur le langage C. Il s'avère donc que nos étudiants n'ont jamais fait de VHDL. Par conséquent, de nombreux exemples de codes ont été fournis dans le sujet de TP. La programmation de code se fait directement en ligne dans une interface dédiée (Figure 7). Cette interface est sommaire, mais parfaitement organisée. Sur la gauche, nous retrouvons les projets en cours ainsi qu'une zone documentation et exemple. La partie droite contient le code de l'étudiant et la console qui donne les informations du résultat de la compilation.

Trois boutons se trouvent sur la partie droite, un bouton concernant les informations du code, un bouton de « compilation » et un troisième qui transfère le code directement dans le FPGA. Une fois le code envoyé au FPGA, nous sommes transféré sur la page d'exécution.



Figure 7. Interface de programmation en ligne.

La figure 8 présente la zone d'exécution. Cette page contient : en haut à gauche la durée de la session pour le test du code (ici trois minutes), au milieu une image en temps réel de la carte de développement, en bas le type de carte utilisée par l'étudiant et sur le côté droit les différents interrupteurs et boutons poussoirs qui peuvent être utilisés dans le TP. Les étudiants peuvent donc visualiser en temps réel le résultat de leur programme.

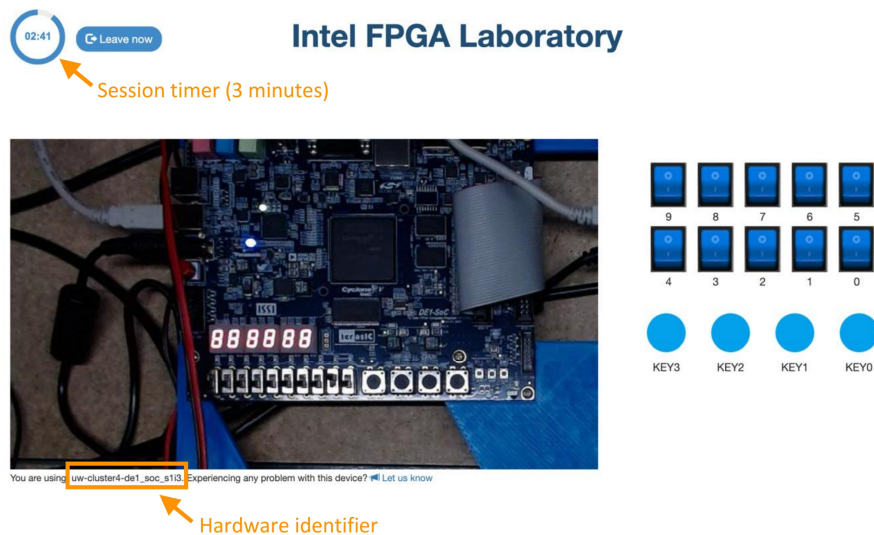


Figure 8. Vue une fois que le programme a été lancé.

3. Retour des étudiants

4 questions ont été posées à nos étudiants en 2023/2024 :

- Ces TP sont-ils intéressants ou pas ? Réponse : majoritairement à plus de 70 % OUI.
- Si vous aviez le même TP en réel, quel serait votre choix : distanciel ou présentiel ? Réponse : distanciel à 40 %, dont 30 % ne savent pas.
- Êtes-vous en mesure à partir uniquement du TP en distanciel de réaliser le circuit électrique du TP ? Réponse : ne se prononcent pas à un peu moins de 50 %.
- Un TP en distanciel peut-il être un gain de temps pour vos études ? Réponse : OUI à 70 % avec comme commentaire « *Oui car on a plus les montages à faire* ».

Ces résultats sont à prendre avec les précautions habituelles car ils ne représentent qu'une seule promotion de 25 étudiants avec 3 alternants. La promotion 2024/2025 ne répondra au questionnaire qu'à l'issue de cet article.

4. Conclusion

Cette expérience concernant les TP à distance, a été pour l'équipe pédagogique un apprentissage particulièrement riche. Notre première idée étant une aide pour les alternants, ne semble clairement pas la solution. Cependant les TP à distance ouvrent des perspectives intéressantes concernant :

- La formation continue, car cela va nous permettre de valider certaines bases de compétences sur certains domaines (informatique, domaine de l'embarqué dans une première étape).
- Il en est de même pour les VAE, lorsqu'elles sont incomplètes.
- L'hybridation des TPs, dans le cadre de la préparation des TPs il pourrait être intéressant que cela se fasse en distanciel et la réalisation en salle.

La prochaine étape de nos travaux sera de réorganiser le contenu des TP des matières de L3 Microcontrôleurs et Processeurs en introduisant dans la partie préparation les TPs à distance. En parallèle, nous allons évaluer sur les TPs des matières de l'électronique, l'énergie électrique et l'automatique qui pourraient mettre en place une partie ou tout le TP à distance.

Références

- [1] T. Talbert, F. Thiery, O. Fruchier, M. Almerge. *Mise En Place d'un Enseignement Transversal – Ou Comment Éviter Qu'un Apprentissage Par Problèmes Tourne Au Fiasco* –. J3eA, 2022, 21, pp.2043. {10.1051/j3ea/20222043}.
- [2] O. Fruchier, P. Egea, T. Talbert, D. Gachon. *Retour sur le jeu sérieux : Initiation à la sécurité informatique des objets connectés*. CETSIS2021, Juin 2021, Valenciennes, France.
- [3] F. Chirat, Conférence et atelier, *L'évaluation des acquis des étudiants*, 17 nov. 2016, UPVD.
- [4] S. Lédé, Conférence partage d'expérience et atelier, *La pédagogie par projet*, 10 janv. 2019, UPVD.
- [5] Laurent Gallon, Angel Abénia, Samia Bachir. *Système cyber-physique éducatif pour réaliser des Travaux Pratiques en comodalité synchrone*. CNRIUT2022, ADIUT, Jun 2022, Roanne, France.
- [6] LabsLand : <https://labsland.com/fr>
- [7] Projet Prométhée : innover par la numérisation de travaux pratiques, <https://www.youtube.com/watch?v=pr6VEEoMHKI>.

Biographie des auteurs

Michael Canu : Docteur en Didactique de la Physique (Paris 7) et membre associé du laboratoire de didactique André Revuz (UR4434). Après avoir été professeur associé en automatique et électronique à la faculté d'ingénierie de l'université de Los Andes et El Bosque en Colombie, et responsable du groupe de recherche GIIE STEM+B, exerce comme conseiller pédagogique à l'université Perpignan Via Domitia.

Michael Bressan a obtenu son doctorat en génie électrique à l'Université de Perpignan, France, en 2014. Il est actuellement maître de conférences à l'Université de Perpignan, où il enseigne et mène des recherches dans les domaines du génie électrique et des systèmes d'énergie renouvelable. Il a auparavant occupé le poste de professeur assistant à l'Universidad de los Andes, à Bogotá (Colombie), où il a dirigé le projet KIOSOL sur le développement d'un prototype de micro-réseau urbain intelligent à petite échelle. Ses travaux de recherche antérieurs incluent une activité au LAAS-CNRS de Toulouse sur la modélisation de l'énergie solaire et la gestion optimale des flux énergétiques, ainsi que des recherches appliquées sur les systèmes embarqués avec PulsarInnovation. Ses intérêts de recherche actuels portent sur les outils pédagogiques pour l'enseignement des énergies renouvelables, les applications de l'apprentissage automatique à la performance des systèmes photovoltaïques, l'électronique de puissance pour les infrastructures de recharge de véhicules électriques, ainsi que la simulation et le déploiement de micro-réseaux en courant continu hors réseau dans les zones rurales

Thierry Talbert a obtenu son doctorat en génie électrique à l'Université de Montpellier, France, en 2001. Il est actuellement maître de conférences, habilité à diriger les recherches au laboratoire PROMES-CNRS / Université de Perpignan Via Domitia. Il enseigne et mène des recherches dans les domaines de l'électronique de puissance et des systèmes à énergie renouvelable. Il est responsable de la licence E.E.A. de l'Université de Perpignan Via Domitia depuis 2004 et responsable de l'équipe de recherche « *SIRE-Systèmes d'Interconnexion au Réseau Électrique* » depuis 2016. Ses activités de recherche portent principalement sur les structures de conversion de l'électricité, la modélisation des réseaux d'énergie, l'architecture des réseaux électriques incluant le MVDC mais aussi l'apprentissage par projet et par problèmes en enseignement.

Frederik Thiery est diplômé en 2003 en électronique, énergie électrique et automatique de l'Université des Sciences de Montpellier et a obtenu en 2006 un doctorat en sciences de l'ingénieur à l'Université de Perpignan. Actuellement maître de conférences au laboratoire PROMES du CNRS, il occupe également depuis 2021 le poste de doyen de la Faculté des Sciences Exactes et Expérimentales de l'Université de Perpignan Via Domitia (UPVD). Ses enseignements portent principalement sur l'automatique, les capteurs et l'électronique numérique. Ses recherches concernent le contrôle, la modélisation, la supervision et la détection de défauts, avec un intérêt particulier pour l'application de techniques d'intelligence artificielle, comme la logique floue, aux problématiques environnementales, ainsi que pour le traitement d'images appliqué à l'estimation et à la prévision de l'irradiance solaire. Il développe également des algorithmes de contrôle pour la gestion des sources d'énergie dans les réseaux intelligents.