

Un challenge pour des élèves ingénieurs dans le contexte de l'industrie du futur

Pascal Vrignat¹, Estelle Courtial²
pascal.vrignat@univ-orleans.fr

¹ Univ. Orléans, PRISME, EA 4229, F45072, Orléans, France

IUT de l'Indre, Département GEII, 2 Avenue François Mitterrand 36000 CHATEAUROUX

² Univ. Orléans, PRISME, EA 4229, F45072, Polytech Orleans, 8 Rue Léonard de Vinci, 45100 ORLEANS

RESUME : Parmi les nombreuses stratégies pédagogiques permettant d'améliorer la motivation, le savoir-faire et le savoir-être des élèves, la pédagogie par projet est souvent citée comme exemple. Pour renforcer l'esprit d'équipe et maintenir la motivation tout au long du projet, rien de tel qu'un challenge entre équipes pour créer de l'émulation. C'est dans ce contexte qu'un challenge intitulé « *De nouveaux procédés numériques au service de l'usine du futur* » a été mis en place pour des élèves ingénieurs en apprentissage de Polytech Orléans. Deux équipes tirées au sort et constituées d'élèves en 5^{ème} année de la spécialité « Management de la production » ont participé à ce challenge. Les objectifs scientifiques du challenge étaient nombreux et répondaient à certains besoins et services liés aux enjeux de l'industrie digitale ou industrie 4.0. Cet article détaille la stratégie pédagogique adoptée, le cahier des charges technique ainsi que l'organisation générale du projet. Les résultats obtenus tant du point de vue technique que pédagogique ont montré les bénéfices de ce challenge pour les étudiants et ont permis d'affiner notre stratégie pédagogique par le retour sur expérience.

Mots clés : industrie du futur, réseau Edunet, Skynet, Phoenix Contact, pédagogie par projet, challenge digital, internet des objets.

1 INTRODUCTION

Parmi les nombreuses stratégies pédagogiques permettant d'améliorer la motivation, le savoir-être et le savoir-faire des élèves (jeux sérieux, classes inversées, pédagogies inclusives... [12]), la pédagogie par projet (PPP) est souvent citée comme exemple depuis plusieurs décennies [1]. Largement utilisée dans l'enseignement professionnel, elle est de plus en plus adoptée dans l'enseignement supérieur [9], [10]. Cette pédagogie repose sur plusieurs piliers fondateurs :

- ✓ Les compétences des élèves sont suffisamment développées pour mener des travaux où la réponse n'est pas connue forcément à l'avance par l'enseignant (existence de plusieurs solutions et pas d'une unique solution donnée par l'enseignant).
- ✓ Les élèves sont capables de mener à bien des projets de longue durée dans des contextes où ils sont plus autonomes.
- ✓ La professionnalisation de l'enseignement supérieur doit privilégier des collaborations avec des industriels.

Une des caractéristiques essentielles des projets ou des challenges est leur durée, relativement longue, dans tous les cas, plus longue que les activités pédagogiques habituelles. Cependant, la durée d'un projet est clairement bornée par une fin annoncée au préalable. Entre le début et la fin du projet, se déploie un processus d'apprentissage que Midler [5] décrit comme « *une dynamique irréversible où l'on passe d'une situation où l'on ne sait rien ou pas grand-chose mais où tout est possible, à une autre où, au contraire, le niveau de connaissances a atteint son maximum mais où toutes les marges de manœuvre ont été utilisées* ». La fig. 1 est une illustration possible de cette situation.

Cette durée « finie » impose une cohérence dans l'action et dans la réflexion, avec une gestion

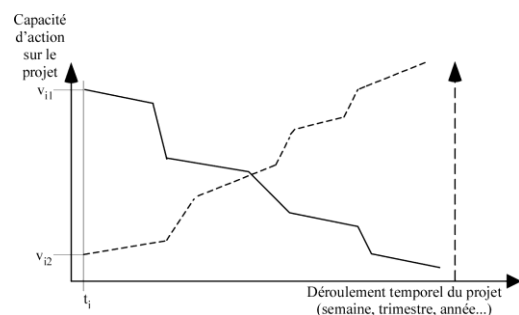


fig. 1 : Représentation de la dynamique de « projet » [5]

organisationnelle du groupe ou des groupes de travail. Il faut alors être vigilant et anticiper certaines actions pour éviter les possibles dérives concernant la PPP (fig. 2).

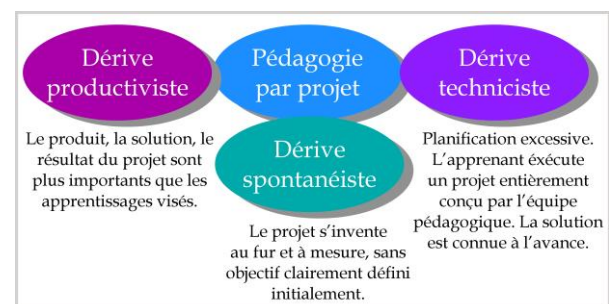


fig. 2 : les dérives possibles de la pédagogie par projet

En tant qu'enseignants, nous avons pu remarquer qu'il y a peu d'engouement de la part des apprenants sur un sujet, si le sujet n'est pas à la fois, motivant, attractif, relevant de l'actualité, ludique et démonstratif. Le

thème choisi pour cette expérience était de facto, tout trouvé compte tenu des enjeux industriels actuels. En effet, les filières de formations et de recherche technologique française sont fondamentales pour le développement de l'industrie et de notre pays. Elles doivent attirer vers elles les meilleurs éléments et former les acteurs utiles au développement des entreprises pour des secteurs d'activités variés tout en leur permettant également d'innover [4], [7]. La France doit jouer un rôle majeur dans le développement de l'Industrie du Futur aussi bien au niveau européen que mondial [6]. Notre pays regroupe, en effet, un certain nombre d'entreprises et de start-up portées par l'innovation. Processus continu, le développement de l'industrie du futur ne pourra se concrétiser qu'avec l'émergence de nouveaux talents. C'est pour cela que les industriels et l'enseignement supérieur doivent travailler main dans la main. Ces changements profonds dans l'industrie soulèvent également de nombreuses questions liées aux contenus des formations :

- ✓ Quels contenus faut-il développer notamment en termes de compétences ?
- ✓ Sur quels niveaux de formation l'effort doit-il se porter ?
- ✓ Comment structurer l'offre de formation ?
- ✓ Comment enseigner ?
- ✓ Les pédagogies doivent-elles évoluer ?
- ✓ Quels sont les équipements et les infrastructures nécessaires pour enseigner ces nouveaux champs disciplinaires ?

L'enseignement supérieur technique, technologique et scientifique apporte déjà des éléments de réponse en proposant des formations adéquates sur de nombreuses thématiques liées à l'industrie du futur. Le besoin de compétences est cependant tel, qu'il est nécessaire de multiplier rapidement des parcours adaptés de formations.

Dans cet article, nous présentons le challenge scientifique dans la thématique de l'industrie du futur proposé aux étudiants. Il fait suite à des travaux scientifiques débutés précédemment [13], [14]. La démarche pédagogique est détaillée en présentant les outils utilisés pour éviter les dérives inhérentes à la pédagogie par projet et pour maintenir l'engagement et la motivation des équipes tout au long du projet. Les résultats tant scientifiques que pédagogiques sont discutés.

Dans la section 2, nous présentons le contexte scientifique et technique du challenge ainsi que les deux partenaires industriels. La section 3 décrit la démarche pédagogique de travail qui a été adoptée avec les élèves. La section 4 présente les résultats techniques du challenge et la section 5 propose un bilan des stratégies pédagogiques à l'issue du challenge. Nous terminons nos propos par une conclusion.

2 LE CONTEXTE DU CHALLENGE

2.1 Contexte scientifique et technique

Le challenge proposé aux étudiants consiste à mettre en place une structure opérationnelle s'appuyant sur une architecture industrielle communicante dans une démarche de suivi de production. A partir des informations émanant du processus étudié, les différents équipes doivent développer plusieurs solutions à implémenter afin d'effectuer un large panel de tests et utiliser plusieurs clients informatiques dans une démarche SCADA¹ [11]. Pour cela, les données sont centralisées dans un serveur OPC DA² et mises à disposition vers différents clients OPC (fig. 3). L'ensemble de la solution doit également permettre de suivre en temps réel un certain nombre de contenus de variables (Items³) associés à la qualité des produits fabriqués. Les états de fonctionnement et de dysfonctionnement du système doivent également faire l'objet d'une étude pour un management visuel du processus. Les informations sensibles liées à la production doivent être envoyées à un destinataire (responsable de la maintenance ou de la production) par le biais de deux stratégies d'émissions :

- ✓ SMS avec un message associé sur un téléphone mobile,
- ✓ Mail avec un message associé sur une boîte de messagerie.

La fig. 4 présente en détail les différentes contraintes techniques (matérielles et logicielles) que doivent gérer les élèves. L'administration du réseau est également un défi technologique à relever. Ils doivent sélectionner les informations sur un processus qu'ils jugent pertinentes pour assurer un suivi efficace de la production (un taux de rendement synthétique -TRS- par exemple) tout en étant alertés en cas de dépassement de seuils ou dérives. Ils doivent choisir les différents moyens d'information (information détecteur, information boutonnerie, information pré-actionneur, information élément de sécurité, information capteur ...) sans perturber le fonctionnement du système de production.

¹ SCADA : Supervisory Control and Data Acquisition. L'objectif d'un environnement SCADA est de mener une conduite réactive d'un processus. Un environnement SCADA comprend 4 sous-ensembles : la fonction acquisition, la fonction commande, la fonction surveillance et la fonction supervision.

² La spécification d'accès aux données OPC est la première d'un groupe de spécifications connues sous le nom de spécifications OPC classiques. OPC Data Access est un groupe de normes client-serveur qui fournit des spécifications pour la communication de données en temps réel à partir de dispositifs d'acquisition de données tels que les Automates Programmables Industriels (API) vers des dispositifs d'affichage et d'interface comme les Interfaces Homme-Machine (IHM), les systèmes SCADA ainsi que les systèmes ERP/MES (Enterprise Resource Planning/Manufacturing Execution System).

³ Item : désignation d'un objet associé à une variable permettant d'être traité par le serveur OPC et les clients potentiels.

Considérons l'exemple du processus industriel décrit fig. 3. Les étudiants peuvent choisir de suivre le TRS et la température s'ils pensent que cette dernière grandeur a un rôle majeur dans la qualité du produit fini.

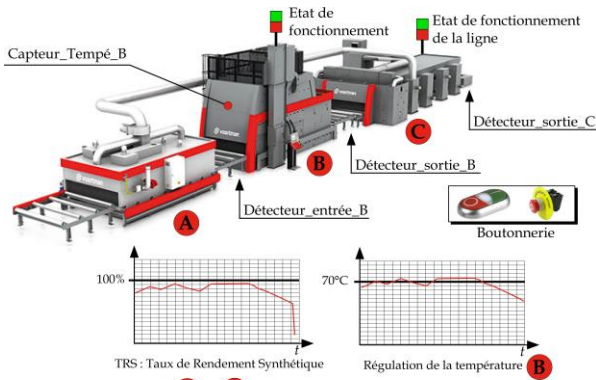


fig.3 : Une ligne de peinture automatisée simplifiée

2.2 Les collaborations industrielles

L'automate industriel utilisé est un API du constructeur Phoenix Contact (ILC 151 GSM/GPRS). La plateforme permet de traiter à la demande les informations souhaitées par les différents clients (fig. 4). Des plateformes logicielles ont été mises en place. Il s'agit de : AutomationWorx 2018, Cogent DataHub V9, et une suite bureautique (Office ou autre (> 2010)). Les solutions matérielles doivent s'insérer bien évidemment dans un contexte où les communications numériques sans-fil étendent leur influence [2].

Avec l'aide du réseau universitaire international EduNet, Phoenix Contact encourage l'échange et la collaboration entre diverses universités œuvrant avec le tissu professionnel dans le domaine de l'automatisation

des processus ainsi qu'en Recherche et Développement [8]. A ce jour, ce réseau international de contacts et de compétences regroupe 110 établissements (lycées et Universités), localisés dans 30 pays. Les structures de formations partenaires conçoivent leurs enseignements grâce au matériel Phoenix Contact offert par cette convention. En échange, elles doivent laisser à disposition de la communauté inscrite sur la plateforme Internet EduNet, leurs supports pédagogiques et expériences. Des laboratoires « Phoenix Contact » sont initiés au sein d'Universités de manière collaborative facilitant ainsi l'entrée des élèves dans le monde professionnel.

En juillet 2017, l'Université d'Orléans avec l'IUT de l'Indre signaient la première convention pour la France avec ce réseau. Cette collaboration étroite depuis cette date nous a permis d'intégrer de nouvelles technologies pour le challenge avec des tarifs négociés d'achats de matériels et de logiciels. Une plateforme logicielle (PC Worx, fig. 5) mise à disposition permet de configurer, de programmer et de diagnostiquer l'API.

La deuxième collaboration nous a permis d'intégrer un éditeur international de logiciels : Skkynet [3]. Nous travaillons depuis 3 ans avec cet éditeur de logiciels qui commercialise un environnement nommé Cogent DataHub. Cogent DataHub (fig. 6) est un outil unique qui permet de connecter, de concentrer, d'intégrer et de redistribuer des données en temps réel entre différents dispositifs (API, tablettes, smartphones, ...) et utilisateurs (applications de supervision, base de données, ...). L'éditeur a accepté de nous fournir les licences nécessaires pour le challenge afin que les élèves puissent utiliser cette plateforme sur leur ordinateur personnel ou les ordinateurs de l'école.

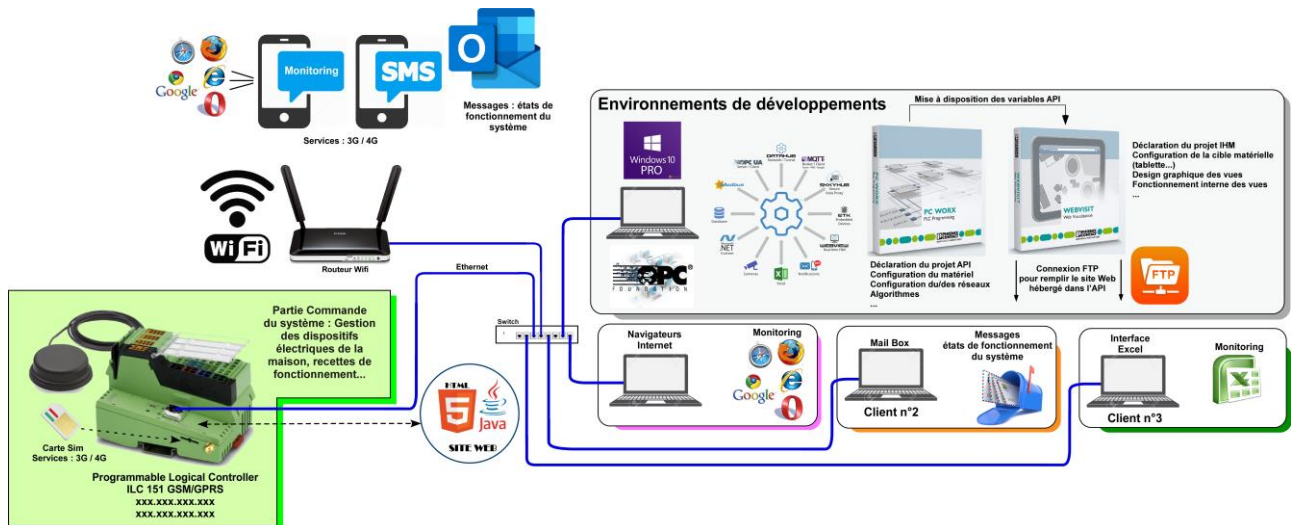


fig. 4 : Architecture matérielle et logicielle du challenge

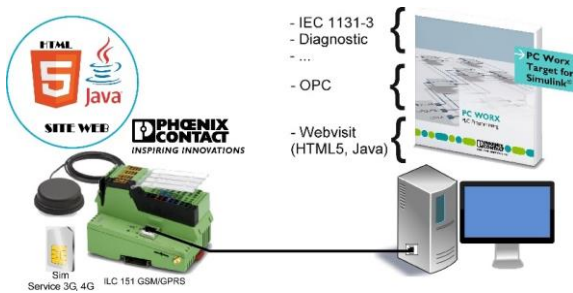


fig. 5 : Plateforme de développement PC Worx

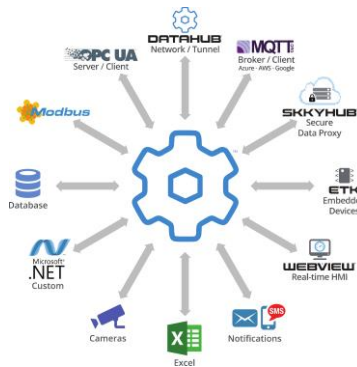


fig. 6 : Cogent DataHub produit par Skynet

3 LA DEMARCHE PEDAGOGIQUE DE TRAVAIL ADOPTEE POUR LE CHALLENGE

Depuis quelques années, nous constatons tous à l'Université que les modalités et stratégies pédagogiques doivent évoluer compte tenu des nouveaux apprenants. L'enseignement du module de « Supervision » était jusqu'à présent dispensé sous forme de cours magistraux et travaux dirigés (11h75 CM et 11h75 TD). Nous avons décidé d'adopter cette année une stratégie d'enseignement par projet, validant ainsi des compétences et des niveaux importants d'implications individuelles et collectives. Les heures ont été redistribuées de la façon suivante : 7h30 (2 séances de 3h45) ont été consacrées en amont pour apporter les éléments théoriques, 12h sur 1,5 jour ont été dédiées au développement d'une solution, et enfin 2h30 pour la présentation des résultats et la restitution du travail. A cela, il faut ajouter 15h00 de PEA (Période d'Enseignement en Autonomie) fléchées dans les emplois du temps des élèves. Toutes les ressources nécessaires étaient disponibles sur l'environnement numérique de l'Université d'Orléans (CELENE) : documents techniques, exemples de programmes pour débiter, vidéo de présentation du challenge... Pour exemple, la fig. 7 permet d'accéder à une ressource importante nommée « La Cagnotte de Pascal ». Pour l'organisation du challenge, une première étape a été de constituer les deux équipes. Nous avons testé, dans d'autres modules de la formation, des équipes constituées par affinités ou des équipes créées en fonction des compétences des différentes personnes. Fort de cette expérience, nous avons opté pour un tirage au sort

des étudiants (pas d'affinité préalable). Deux groupes de neuf étudiants ont été désignés et ont concouru au même moment, sur une période bornée et encadrée (fig. 9). La répartition des différentes tâches à mener à bien dans le challenge était sous la responsabilité d'un/chef d'équipe. Toutes les ressources matérielles mises à disposition étaient identiques aux deux groupes. Chaque élève disposait de l'ensemble des logiciels nécessaires sur son ordinateur personnel. Il pouvait donc travailler à son rythme.

A l'issue du challenge, chaque groupe devait présenter son travail en anglais sous une modalité « Mon projet en 180 secondes », et à partir d'une vidéo ludique illustrant les résultats techniques du challenge.



fig. 7 : Un démonstrateur ludique pour débiter le challenge (https://www.youtube.com/watch?v=3dnSCP0a_ZM)

D'un point de vue pédagogique, nous avons associé une pédagogie par projet et une pédagogie dite « active ». Cette dernière permet de valider la capacité de restitutions/transmissions des informations, du chef d'équipe vers les autres participants du groupe (fig. 8, a) et de certains élèves vers d'autres élèves (fig. 8, b).

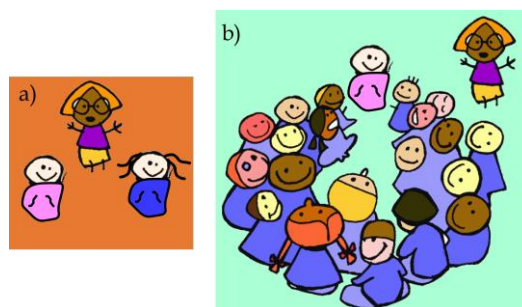


fig. 8 : Principe de la classe inversée

Compte tenu des nombreuses tâches à traiter, cette stratégie a permis également de ne pas mobiliser toutes les ressources humaines au même moment avec l'enseignant. Les apports de connaissances spécifiques sur les différents environnements logiciels ont été diffusés uniquement aux chefs d'équipe (fig. 8, a). Les chefs d'équipe devaient ensuite restituer, en fonction des besoins, les connaissances qu'ils avaient acquises préalablement (fig.8, b). Etalés sur plusieurs semaines, les apports de connaissances et de compétences ont permis une diffusion lente individuelle et collective (fig. 9).

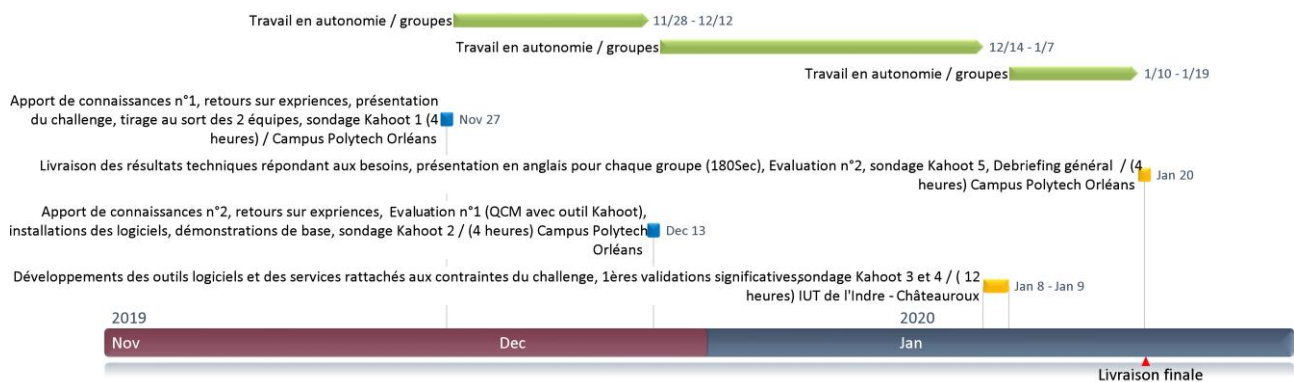


fig. 9 : Organisation temporelle du challenge

4 LES RESULTATS

La répartition des différentes tâches a été actée à l'initiative du chef d'équipe de chaque groupe. Il est à souligner que l'ensemble des élèves ne disposait d'aucune compétence préalable vis-à-vis des différents outils logiciels et matériels. Même si les stratégies de gestion de projet (management des Hommes) ont été différentes, les deux groupes ont mené à bien les nombreux défis technologiques à relever. Un groupe a fixé des objectifs finaux par tâches ce qui a permis une plus grande autonomie des participants. L'autre groupe a établi des jalons temporels pour que l'avancement des tâches soit synchronisé. Ce choix a permis une plus grande entraide entre les participants du groupe. La vidéo (fig. 10) présente un scénario et les résultats obtenus par l'équipe n°1. On pourra souligner certaines imperfections dans le film. Les exigences demandées aux étudiants n'étaient pas d'obtenir un film aussi abouti que pourrait réaliser un professionnel cinéaste (12 jours entre la période de développement et celle de restitution).

(<https://www.youtube.com/watch?v=nrqTaGCqYNI&feature=youtu.be>).



fig. 10 : Des résultats significatifs obtenus par l'équipe n°1

Le debriefing général mené le 20 janvier 2020 auprès des deux chefs d'équipe est retranscrit dans les deux interviews ci-contre (fig. 11). Ces interviews reflètent les inquiétudes préalables et les satisfactions obtenues pendant et à l'issue du challenge. Les résultats techniques obtenus par les 2 équipes étaient proches.

<https://www.youtube.com/watch?v=520fBYu7aZQ&fe>

https://www.youtube.com/watch?v=IWS_X49fdZI&feature=youtu.be ou https://www.youtube.com/watch?v=IWS_X49fdZI&feature=youtu.be

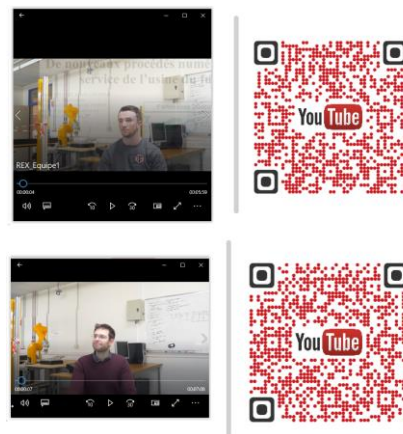


fig. 11: Les interviews des deux chefs d'équipe

5 BILAN DES STRATEGIES PEDAGOGIQUES

Ce projet a permis de conforter notre engagement dans la nécessité de transformer nos stratégies d'enseignements et de transmission de compétences. A la fin de chaque demi-journée de travail, un quizz avec l'environnement Kahoot⁴ était proposé à l'ensemble des élèves afin de mesurer leur niveau de motivation, d'implication, de coordination, de compétences. Les résultats des différents sondages sont présentés fig. 12. Nous pouvons constater une motivation forte des équipes au début du challenge. Ce degré était à 3.18 au début et termine à 3.6 (4 étant la note maximum). Nous avons noté une baisse à mi-parcours sur ce critère compte tenu des verrous technologiques qui devaient être ouverts. Les élèves ont largement augmenté leurs connaissances et compétences tout au long du challenge : d'un niveau 2 au début du challenge, ils atteignent un niveau 4 à la fin. Également interrogés sur

⁴ <https://kahoot.com/>. Kahoot est un système de quizz en ligne simple à utiliser et stimulant pour les participants.

leur niveau individuel de connaissances préalables, les résultats présentés sont significatifs. Nous montrons également que le degré de capacité d'action sur le challenge a été très important au début pour décliner au fur et à mesure de l'état d'avancement du travail.

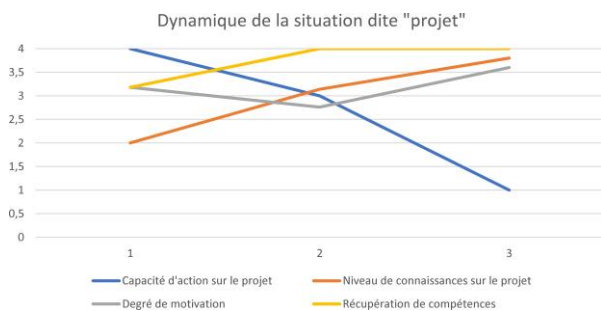


fig. 12 : Résultats obtenus pour le challenge

Un mot de M. Louis PARENT (Responsable Commercial et Marketing Automation / Phoenix Contact - France) : «A travers le Réseau Universitaire International EduNet, nous encourageons l'échange et la collaboration entre diverses universités par la mise en place de projets communs de recherche et de formation. Nous favorisons l'enseignement des dernières avancées technologiques par des conférences spécialisées sur des thèmes d'actualité dans le domaine de la technique d'automatisation (PLCnext Technology). Nous mettons en place des laboratoires d'automatisation, avec des programmes orientés sur la pratique. Enfin, les enseignants développent des documents d'apprentissage communs qu'ils échangent entre partenaires universitaires, ce qui facilite l'entrée des étudiants dans le monde du travail. C'est par cet engagement, en France et à travers le monde, que Phoenix Contact contribue à l'amélioration des pratiques et des besoins». Un mot de M. Paul THOMAS, Président de Skkynet : «Skkynet est heureux de constater l'usage des différentes possibilités proposées par Cogent DataHub. Nous sommes toujours prêts à contribuer à former les étudiants sur le thème de l'industrie du futur».

6 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Ce challenge très diversifié sur le plan technologique a permis aux élèves d'acquérir de nouvelles compétences indispensables pour le développement de l'industrie du futur. Les deux équipes ont travaillé avec professionnalisme pour aboutir à des résultats significatifs. Ils ont dû ouvrir de nombreux verrous techniques et notamment digitaux en utilisant les produits commercialisés par les deux partenaires industriels. La pédagogie par projet et la liberté d'organisation au sein de chaque équipe ont permis de conforter leurs compétences en management de projet et management humain (autonomie, communication, entraide). Une valorisation de ce travail va être également menée par les deux partenaires industriels par le biais de publications internes et

externes. Le réseau Edunet sera également enrichi par notre contribution.

Bibliographie

- [1] P. C. BLUMENFELD, E. SOLOWAY, R. W. MARX, J. S. KRAJCIK, M. GUZDIAL and A. PALINCSAR, Motivating project-based learning: Sustaining the doing, supporting the learning, Educational psychologist, 26 (1991), pp. 369-398.
- [2] COMMUNICATION RADIO, Le sans-fil étend son influence, Mesures 843, 843 (2012), pp. 22-26.
- [3] [HTTPS://SKKYNET.COM/](https://skkynet.com/).
- [4] L. CHAMPANEY, Pas d'industrie du Futur sans coopération entre industriels et enseignement supérieur, La Tribune (2017).
- [5] C. MIDLER, L'auto qui n'existait pas, Management des projets et transformation de (1993).
- [6] O. LLUANSI and A. GALLONI, Croire en l'Industrie du futur et au futur de l'industrie, Ernst & Young Advisory (2017), pp. 1-45.
- [7] P. DARMAYAN, Révolution humaine ? Un nouveau rôle pour les hommes et les femmes de l'industrie du futur, Livre blanc de l'Agora Industrie (2018), pp. 1-56.
- [8] PHOENIX CONTACT, Update 2|17, Le magazine client de Phoenix Contact (2017), pp. 1-28.
- [9] J. PROULX, L'apprentissage par projet, PUQ, 2004.
- [10] C. REVERDY, Des projets pour mieux apprendre?, Institut Française de l'Éducation, 82 (2013), pp. 1-24.
- [11] B. RIERA, F. GELLOT, O. DUBOIS, J. CHEMLA and S. TRIKI, L'utilisation pédagogique et l'enseignement des TIC dans les automatismes, J3eA, 4 (2005), pp. 013.
- [12] F. VANDERHAEGEN, C. MAAOUI, M. SALLAK and D. BERDJAG, Défis de l'automatisation des systèmes sociotechniques, ISTE Group, 2019.
- [13] P. VRIGNAT, M. AVILA, F. DUCULTY, S. BEGOT and J. F. MILLET, Utilisation d'une architecture logicielle dans le cadre d'une mise en place d'une solution multi-clients via un serveur OPC, Gesi n°77, Revue des Départements : Génie Electrique et Informatique Industrielle en IUT, 2012.
- [14] P. VRIGNAT, J.-F. MILLET, F. DUCULTY, S. BEGOT and M. AVILA, Développement et utilisation d'applications complémentaires dans une approche SCADA: retour sur expérience avec des étudiants Bac+ 2 et Bac+ 5, CETSIS, Colloque sur l'Enseignement des Technologies et des Sciences de l'Information et des Systèmes, 11ème Edition, Besançon, France, (2014), pp. 76-81.