

L'INDUSTRIE DU FUTUR, L'INTERNET DES OBJETS, C'EST MAINTENANT !

Challenge industrie du futur – Université d'Orléans – IUT de l'Indre – Châteauroux

Formation L3 : Supervision des Automatismes et des Réseaux

Internet des objets industriels

Pascal VRIGNAT*

*Maître de Conférences, Laboratoire de Recherche PRISME (EA 4229), Université d'Orléans, IUT de l'Indre - site de Châteauroux, France.

(Tél : +33(2) 54082550; e-mail: pascal.vrignat@univ-orleans.fr)

<http://pascal.ajoux.free.fr/>

Mots clés : suivi de production, industrie du futur, monitoring, SMS, messagerie industrielle, OPC DA, clients OPC, Scada, Phoenix Contact, Edunet, Licence L3, pédagogie innovante.

RESUME : Depuis quelques années, une des thématiques de recherche développée dans le laboratoire PRISME en collaboration avec des partenaires industriels locaux concerne l'estimation du niveau de dégradation d'un processus à l'aide d'un Modèle de Markov Caché (MMC) à partir des informations issues du service de maintenance. Pour cela, l'accès aux données associées à un processus en ligne, à un instant "souhaité", et la sélection des informations les plus pertinentes dans un volume toujours plus important sont nécessaires et utiles pour le développement d'une entreprise. Dans le cadre de la collecte des informations à partir d'un réseau informatique industriel multicouches et de l'utilisation d'outils logiciels appropriés, nous avons mis en place au sein de nos formations un module intitulé "Supervision & Internet des objets". Ce module aborde entre autres, les problèmes rencontrés autour d'un serveur OPC¹ et la connexion au processus à surveiller par différents utilisateurs à partir de technologies diverses. Ce mini-projet propose de nombreuses pistes de travail dans le concept de l'usine du futur ou industriel 4.0.

1. INTRODUCTION

Dans le contexte économique actuel, les entreprises de biens et de services essayent d'apporter des solutions en matière de prospection autour de leurs outils de production. Certaines entreprises comme par exemple, EDF, Total, Michelin, Orange ou la SNCF tentent de se fédérer afin de mener ensemble, une réflexion prospectiviste. A ce titre, nous pouvons citer EXERA (Association des Exploitants d'Equipements de Mesure, de Régulation et d'Automatisme) qui depuis sa création en 1974 par le ministère de l'industrie, regroupe des industriels de domaines variés (énergie, transport...). Cette

¹ OPC : [6] OPCFOUNDATION., <https://opcfoundation.org/> : OPC est similaire à DDE (Dynamic Data Exchange) dans l'objectif de faire communiquer de façon transparente différents systèmes ou applications. Dans ses performances, OPC surclasse de loin DDE (contrôle de la qualité des échanges, gestion des erreurs de communication...) qui n'a jamais connu de véritable essor dans le monde industriel. De plus, OPC permet de gérer de façon simple des architectures réseau "Client-Serveur" grâce à des mécanismes natifs dans Windows 95/98/NT : OLE (Object Linking and Embedding), COM (Component Object Model), DCOM (Distributed Component Object Model).

association apporte à ses membres, une aide pratique concernant par exemple, des orientations de solutions techniques à adopter en fonction d'un besoin spécifique. D'autres entreprises mènent cette réflexion en interne. Bonduelle, par exemple, a mis en place une réflexion sur ce que sera l'alimentation végétale en 2025. De nombreux indicateurs nous montrent que nous sommes à l'aube d'une révolution majeure, porteuse de nombreuses innovations et créatrice d'une nouvelle dynamique de marché. Plusieurs termes peuvent nommer cette révolution [9] : "Cyber-Usine", "Usine digitale", "Integrated Industry", "Innovative Factory" ou "Industrie 4.0". Le moyen pour y parvenir impliquera obligatoirement les technologies de l'Internet dans un processus de fabrication [11] (Fig. 1). Des objets communicants et autonomes viendront se greffer à la "toile" pour créer un écosystème informationnel utilisant le concept de l'"Internet des objets" ou "Internet of Things (IoT)".

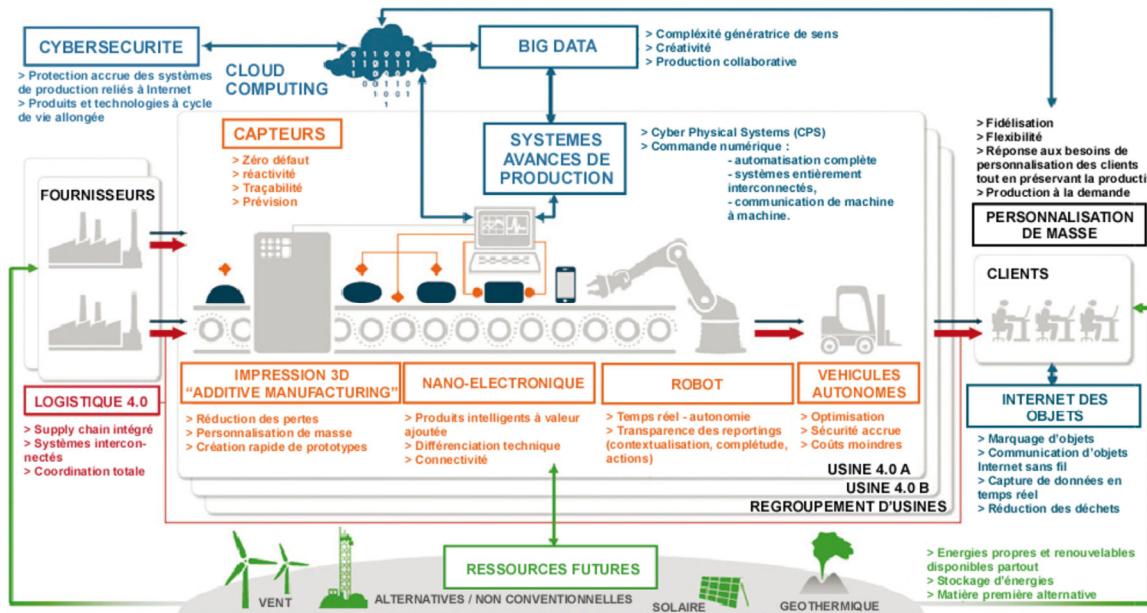


Fig. 1 : Les évolutions qui vont progressivement conduire à l'émergence de l'industrie 4.0

Cette révolution technologique n'est pas sans impact sur nos modèles de pensée et les enseignements que nous devons distiller devant des étudiants de licence de deuxième année à master deuxième année. Ce document se décompose en deux sections. Dans la première section, je propose un rapide historique concernant l'évolution de l'industrie pour aboutir à l'industrie 4.0. Dans la seconde section, je vous propose quel sera l'objet de votre mission.

2. LES REVOLUTIONS INDUSTRIELLES

La première révolution industrielle repose sur le charbon, la métallurgie, le textile et la machine à vapeur. A la fin du XVIII^{ème} siècle (début du XIX^{ème} siècle), arrivent la première machine à tisser mécanique avec moteur hydraulique, le premier essai d'une locomotive à vapeur (1804)... La deuxième révolution industrielle a démarré à la fin du XIX^{ème} siècle. Elle trouve ses fondements dans l'électricité, la mécanique, le pétrole, les premiers moyens de communication : le télégraphe et le téléphone. Parallèlement à cette époque, Frederick Taylor invente en 1911, le taylorisme, et Henry Ford instaure le montage à la chaîne sur les lignes de production. La troisième révolution industrielle se produit au milieu du XX^{ème} siècle, avec une dynamique liée à l'électronique, les télécommunications et l'informatique. Avec l'électronique, c'est l'arrivée du transistor et du microprocesseur. A cette période, deux produits ont impacté la production industrielle : le robot (1959) et l'automate programmable industriel (1968). Ces deux technologies ont été créées par des Américains (Georges Devol et Joseph Engelberger pour le

robot, Richard Morley pour l'Automate Programmable Industriel (API)). La quatrième révolution industrielle prend forme sous nos yeux [4], (Fig. 2). Nous pouvons la résumer par la numérisation poussée à l'extrême dans “un monde technologique intelligent : The Smart World”. Le terme “Smart” sera employé dans tous les domaines : production énergétique, véhicule, bâtiment... Avec l'industrie 4.0, il y aura une interaction entre les produits fabriqués et les machines. Cette interaction sera d'autant plus opérationnelle et fiable, que l'acquisition des données provenant du terrain en temps réel sera robuste.

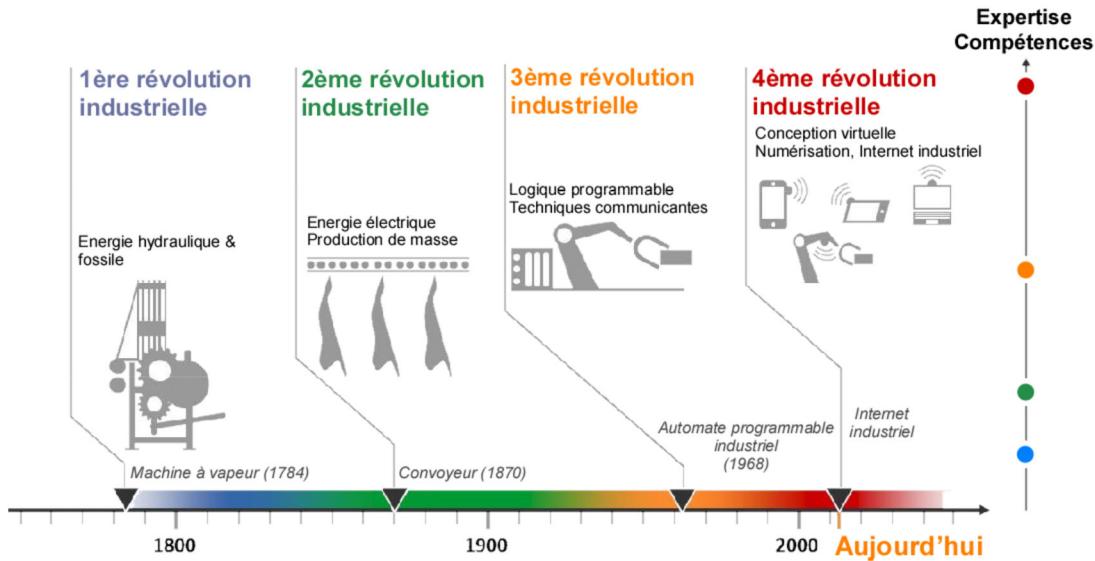


Fig. 2 : Evolution des révolutions industrielles à horizon 2020

Notre environnement deviendra “cliquable” dans un système global interconnecté (concept M2M²). Un produit vendu sera personnalisable. Il pourra communiquer avec les machines dans sa phase de réalisation avec des étiquettes électroniques. Cette rupture organisationnelle consistera à façonner des unités de production autonomes et intelligentes. Les capacités de décision et l'intelligence des processus de production seront déportées.

Nous vivons une expansion des capacités technologiques depuis 20 ans. Ce constat n'est pas sans impact sur les enseignements scientifiques et technologiques que nous devons apporter auprès de nos étudiants (expertise & compétences : Fig. 2). Ces évolutions technologiques ont été guidées d'une part, par la volonté de suivre l'évolution des technologies et des sciences (vitrine technologique) et d'autre part, par la volonté de collaborer avec le tissu industriel de notre région. Les grands sauts technologiques ont été réalisés en corrélation directe avec les projets tuteurés que nous menons avec les étudiants depuis la création de notre Institut Universitaire de Technologie dans l'Indre. Depuis quelques années, nos enseignements dans différentes écoles d'ingénieurs (HEI Campus Centre, Polytech'Orléans, INSA Centre val de Loire) et nos travaux de recherche ont également contribué à cette évolution (Laboratoire PRISME³, Pôle IRAus⁴).

3. STRUCTURE PYRAMIDALE D'UNE ENTREPRISE EN LIAISON AVEC DES BESOINS EN INFORMATIQUE INDUSTRIELLE

Dans le monde exigeant du contrôle-commande de processus, l'accès à des données de processus et/ou d'usine en ligne et en temps “souhaité” est crucial. La croissance d'une entreprise se traduit par

² M2M: Machine to Machine, Machine to Man

³ PRISME : Pluridisciplinaire de Recherche en Ingénierie des Systèmes, Mécanique et Energétique

⁴ IRAus : Images, Robotiques, Automatique et Signal

une croissance parallèle du volume des données issues du processus et de la demande de traduction en informations pertinentes pour les équipes d'exploitation et de direction [5]. Souvent, les personnes qui ont en charge un système d'information doivent s'attacher à connecter et récupérer les informations pertinentes de leur usine via leur système informatique [3]. Lorsque cela fonctionne, les personnes concernées ne peuvent souvent pas utiliser efficacement et rapidement les données brutes issues de la production et pourtant essentielles pour le contrôle des coûts d'exploitation (Fig. 3(a)).

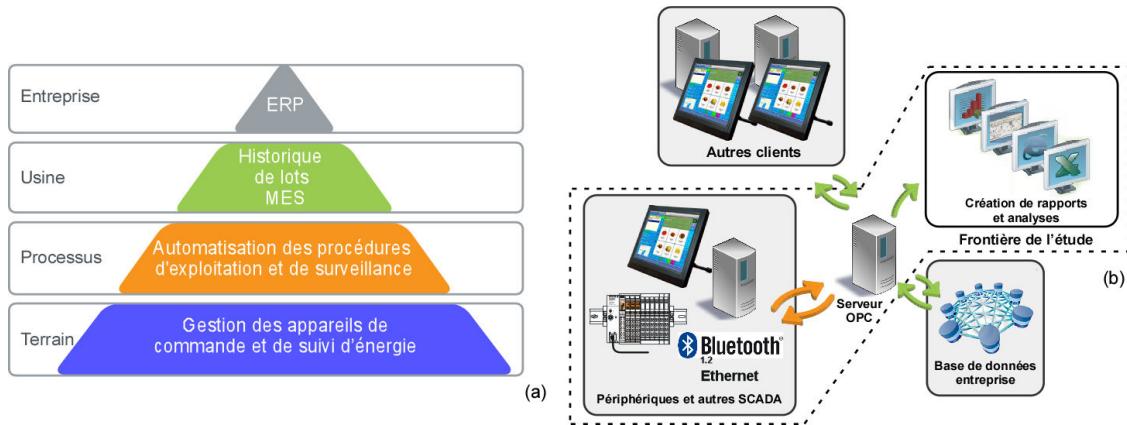


Fig. 3 : Architecture pyramidale dans le Concept CIM⁵

Le travail proposé consiste à mettre en place une structure opérationnelle montrant les fondements d'une architecture industrielle communicante dans une démarche de monitoring (Fig. 3). Il apporte un grand nombre de compléments d'information par rapport aux articles [1], [7], [10], [13]. A partir des informations émanant du processus, on souhaite développer et utiliser plusieurs clients dans une démarche SCADA⁶ [8]. Il faudra montrer dans ce travail plusieurs solutions à implémenter afin d'effectuer un large panel de tests. Pour cela, les données sont centralisées dans un serveur OPC DA et mises à disposition vers différents clients OPC, l'ensemble permettant de suivre "en ligne", un certain nombre de contenus de variables (Items⁷).

Les états de bon fonctionnement et de dysfonctionnement du système feront l'objet d'un travail tout particulier. Ce travail pourra s'appuyer sur les travaux présentés dans [12].

Ces informations sensibles seront envoyées à un destinataire par le biais de deux stratégies d'émissions :

- SMS avec un message associé sur un téléphone mobile (responsable de la maintenance),
- Mail avec un message associé sur une boîte Mail (responsable de la maintenance).

3.1 Détail de l'application à traiter dans une démarche SCADA

L'environnement architectural de travail est présenté Fig. 4. Il reprend le concept présenté Fig. 3(b). Le processus est piloté par une partie commande sur laquelle est implantée une application d'automatisme répondant par exemple, à une recette de fabrication (ligne de conditionnement de bouteilles en verre, Gestion Technique d'un bâtiment...). Le travail va consister à développer l'application hébergée dans le PLC capable, de gérer la fonction contrôle-commande du processus choisi ainsi que, les autres services périphériques à l'installation globale (Fig. 4). Un certain nombre de

⁵ CIM: Computer Integrated Manufacturing

⁶ 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 3 sous-ensembles : la fonction commande, la fonction surveillance et la fonction supervision.

⁷ Item : désignation d'un objet associé à une variable à déclarer permettant d'être traitée par le serveur OPC et les clients potentiels.

logiciels devront également être installés sur l'ordinateur qui sera relié au réseau VLan⁸ du département de formation (Fig. 4). Les solutions hardware utilisées s'insèrent bien évidemment, dans un contexte où les communications numériques sans-fil étendent leur influence [2]. Six plateformes identiques seront mises à disposition afin que les différents groupes puissent travailler en toute autonomie et donc sur différents cas de processus.

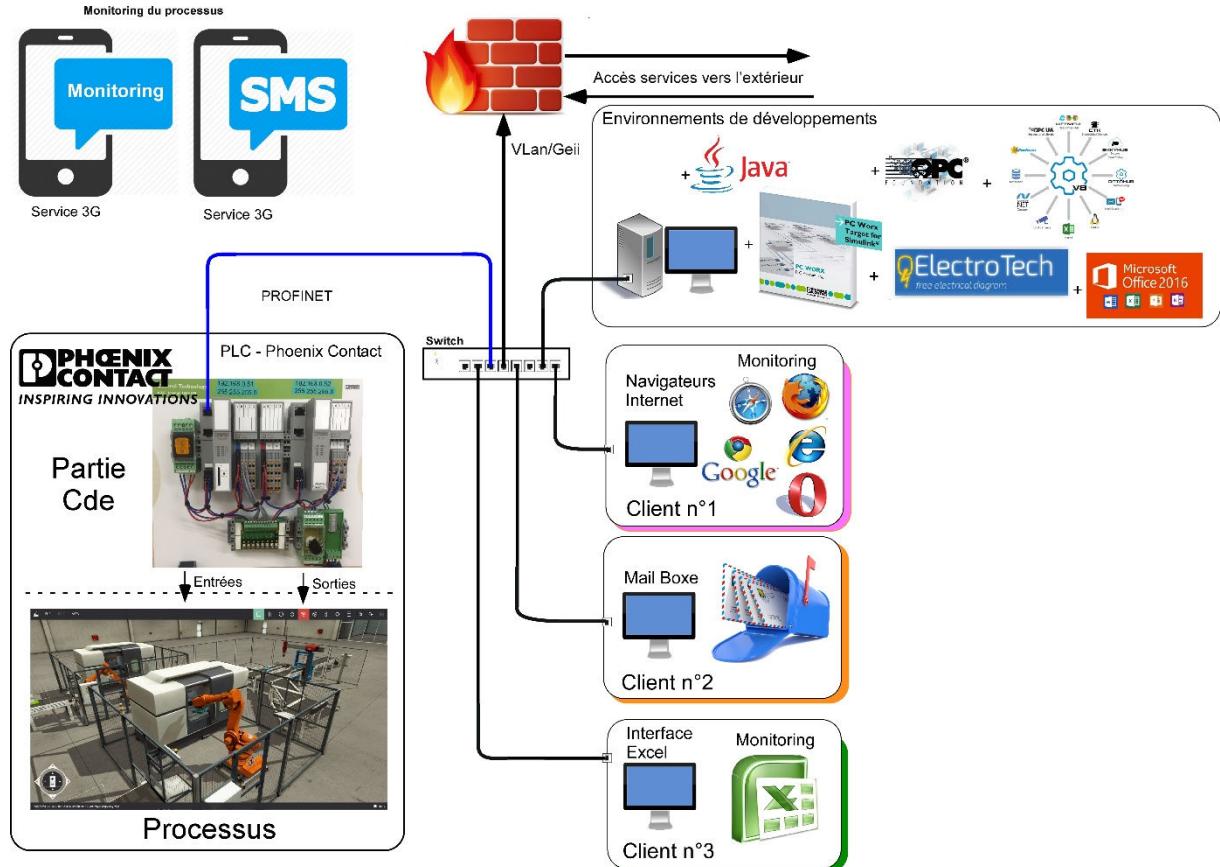


Fig. 4 : Architecture de l'installation à mettre en œuvre

4. ORGANISATION DU TRAVAIL, RESULTATS ATTENDUS & EVALUATION

La constitution des groupes fera l'objet d'un tirage au sort préalable (pas d'affinité préalable possible, Fig. 6). Les différents groupes pourront travailler en parallèle sans que cela ne pose de difficulté. L'ensemble du matériel et logiciels sont mis à disposition. Les différentes notices techniques et d'utilisations sont également disponibles. Le planning général de travail est présenté dans la Fig. 5.

La plateforme CELENE de l'Université d'Orléans devra être utilisée afin de travailler dans le cadre d'un partage de connaissances, de documents, de compétences, de valorisation du travail pour la communauté...

L'évaluation du travail individuel et collectif seront effectués en respectant la démarche liée à la validation de compétences attendues dans le module concerné par cette formation universitaire.

Le meilleur projet fera l'objet d'une dépose de résultats sur la plateforme collaborative Edunet.

https://www.phoenixcontact.com/online/portal/pc?1dmy&urile=wcm:path:/pcen/web/corporate/company/subcategory_pages/EduNet_international_education_network/cced6ca6-cf5a-44fd-8391-0e0d7a6f5c8a

⁸ LAN: Local Area Network

L'INDUSTRIE DU FUTUR, L'INTERNET DES OBJETS, C'EST MAINTENANT !
Challenge industrie du futur - Université d'Orléans - IUT de l'Indre - Châteauroux
Formation L3 : Supervision des Automatismes et des Réseaux
Internet des objets industriels

Pascal VRIGNAT*

*Maître de Conférences, Laboratoire de Recherche PRISME (IA 4229), Université d'Orléans, IUT de l'Indre - site de Châteauroux, France.
(Tel : +33(2) 34082530 e-mail: pascal.vrignat@univ-orleans.fr)
(<http://pascal.vrignat.free.fr/>)

Nov 14 ▶ Placement des ressources sur CELENE / Université D'Orléans

Nov 20 ▶ Présentation globale du challenge devant les étudiants

Nov 22 ▶ Sondage n°1 concernant le degré de motivation individuelle pour le challenge / Kahoot

Dec 7 ▶ Tirage au sort des équipes & répartition des tâches par équipes

Dec 7 ▶ Installation des logiciels

Dec 12 ▶ Etude de l'ensemble des documents avec un code source PLC

Dec 12 ▶ Câblage réseau + vérification des services réseau

Dec 12 ▶ Sondage n°2 concernant le degré de motivation pour chaque équipe / Kahoot

Dec 14 ▶ Rédaction des algorithmes et réalisation des schémas électriques de raccordements

Dec 14 ▶ Programmation et tests unitaires des fonctions principales à traiter

Dec 14 ▶ Tests client n°1 - Tests client n°2 - Tests client n°3

Dec 15 - Feb 1

Travail en autonomie

Dec 21 - Jan 7 Vacances de Noël

Feb 5 - Feb 8 ▶ Validation finale du prototype - livraison au client

▶ Rédaction d'un rapport de projet avec notices d'utilisations

Feb 7 ▶ Sondage n°3 concernant le degré de motivation pour chaque équipe / Kahoot

▶ Soutenance en anglais "Mon projet en 180 secondes" / groupes de travail / implication des étudiants sur l'évaluation

Feb 8 ▶ Débriefing final sur le challenge

2018 Nov Dec Jan Feb 2019 2019

Today

APPEL A PROJET INNOVATION PEDAGOGIQUE 2019 UNIVERSITE D'ORLEANS
Fig. 5 : Planning prévisionnel de travail

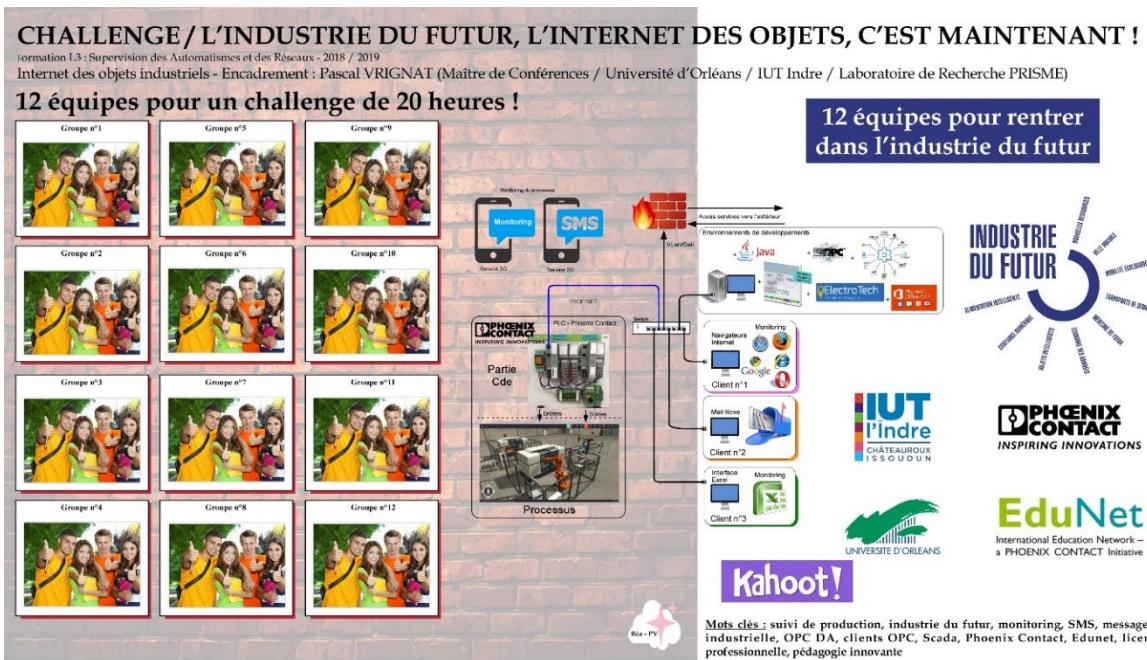


Fig. 6 : 12 groupes d'étudiants en L3 pour un challenge digital

5. Résultats

Les résultats obtenus par les étudiants sont tout à fait corrects. Certains groupes se sont détachés dans le travail à effectuer dans le temps imparti. Les étudiants découvraient tous, des nouveaux matériels et logiciels répondant au thème de l'industrie du futur. Après un débriefing général

effectué par groupe à l'issue de la présentation en anglais du projet, il en ressort au-delà des tableaux ci-dessous que :

- ✓ Ce type de pédagogie par projet est à renouveler,
- ✓ Plus d'heures pourraient être consacrées à ce type de challenge,
- ✓ Le mois complet consacré au travail en autonomie n'a pas été utilisé,
- ✓ Les deux dernières séances encadrées ne doivent pas être consécutives,
- ✓ Certains groupes n'ont pas validé toutes les étapes à partir d'un exemple très simple qu'il fallait mener avant de développer le projet dans sa globalité,
- ✓ L'usage d'outils de description a été positif,
- ✓ Les étudiants ont apprécié de participer à l'évaluation de la présentation orale en anglais,
- ✓ Le planning n'a pas été respecté en totalité pour certains groupes.

La Fig. 7 décrit l'évolution des motivations concernant les différents groupes sur la période du challenge. Les valeurs 2, 3 et 4 pouvant correspondre aux critères : motivé, très motivé, très très motivé, on peut dans ces conditions, retenir que les étudiants s'étaient bien accaparés le sujet. On note une hausse (11,5%) du critère 1 lors du dernier sondage. Ce chiffre montre certainement le retard qu'avait pris certains groupes.

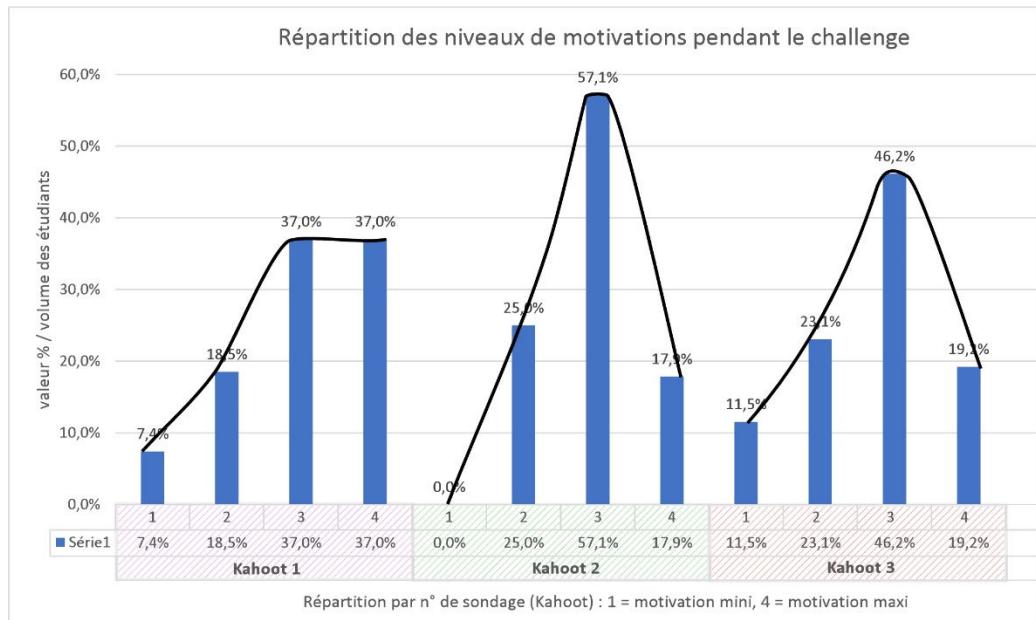


Fig. 7 : Evolution de la motivation des étudiants au cours du temps

La Fig. 8 montre différents pourcentages conformément aux questions proposées. Les différents sondages ont été menés en respectant le planning présenté Fig. 5. Le fonctionnement sous la formule de challenge a laissé perplexe au début certains étudiants (40,7% / Non). 81,5% des étudiants pensaient mettre à profit le temps consacré au travail en autonomie.

La Fig. 9 montre que 89,3% ont apprécié consulter les différentes ressources mises à disposition sous CELENE. 96,4% ont apprécié la possibilité de pouvoir installer l'ensemble des logiciels sur leur ordinateur personnel. Cette possibilité non négligeable avait été négociée en amont avec les différents éditeurs de logiciels. Au total, ce n'est pas moins de 6000€ par poste qui n'ont pas été dépensés pour le challenge.

La Fig. 10 (résultats du dernier sondage) montre que la coupure CF planning n'a pas été mise à profit par les étudiants (76,9%). 76,9% des étudiants pensent avoir récupéré dans compétences dans ce domaine d'activité. Ce chiffre mériterait d'être plus finement détaillé. La présentation en 180 Sec du projet était un facteur de stress pour environ 50% des étudiants.

Progression concernant le degré de motivation / Kahoot n°1	Oui	Non
Pensez-vous que le travail en groupe va être profitable ?	81,5%	18,5%
Pensez-vous intégrer de nouvelles compétences indispensables pour votre futur métier ?	85,2%	14,8%
Le fonctionnement du projet par un challenge est-il une motivation particulière ?	59,3%	40,7%
Le rendu oral en anglais (180 sec) est-il une contrainte forte pour vous ?	51,9%	48,1%
La planification proposée vous semble t-elle profitable pour votre organisation ?	55,6%	44,4%
La connaissance du sujet bien avant son démarrage était-elle profitable ?	77,8%	22,2%
Afin d'échanger efficacement, pensez-vous utiliser une plateforme collaborative ?	88,9%	11,1%
Travailler sur une mission qui fera l'objet de communications, une motivation supplémentaire ?	59,3%	40,7%
Pensez-vous avoir les compétences de base pour pouvoir débuter correctement le challenge ?	59,3%	40,7%
Pensez-vous mettre à profit le temps consacré au travail en autonomie ?	81,5%	18,5%

Fig. 8 : Résultats du sondage Kahoot n°1

Progression concernant le degré de motivation / Kahoot n°2	Oui	Non
Avez-vous apprécié la possibilité de consulter les ressources sur CELENE ?	89,3%	10,7%
Pensez vous tenir les délais ?	78,6%	21,4%
Le choix du système a-t-il été difficile ?	17,9%	82,1%
Pouvoir travailler sur vos propres ordinateurs, une bonne mesure !?	96,4%	3,6%
Avez-vous récupérer de nombreuses compétences ?	71,4%	28,6%

Fig. 9 : Résultats du sondage Kahoot n°2

Progression concernant le degré de motivation / Kahoot n°3	Oui	Non
La coupure de quelques semaines a t-elle été bénéfique ?	23,1%	76,9%
Pensez-vous avoir récupéré des compétences dans le domaine ?	76,9%	23,1%
Avez-vous bien géré pour le moment la gestion du temps ?	34,6%	65,4%
180 Sec pour présenté votre projet, du stress ?	53,8%	46,2%
Ce projet vous a t-il donné des idées pour la suite ?	30,8%	69,2%

Fig. 10 : Résultats du sondage Kahoot n°3

La Fig. 11 présente la répartition des notes attribuées par groupe de travail. La moyenne obtenue est à 14,2/20. Ce résultat est tout à fait positif. La note mini est de 10/20. La note maxi est de 18/20. Ces huit points d'écart sont justifiés pour différents aspects : implication, avancement dans le travail, résultats obtenus, qualité du compte rendu d'activité, présentation en Anglais. Dans le cadre d'une validation par compétences et non sommative, l'ensemble des étudiants aurait validé ce module d'enseignement.

Un exemple de résultats est disponible sur : <https://youtu.be/SW0RjypAWi4>

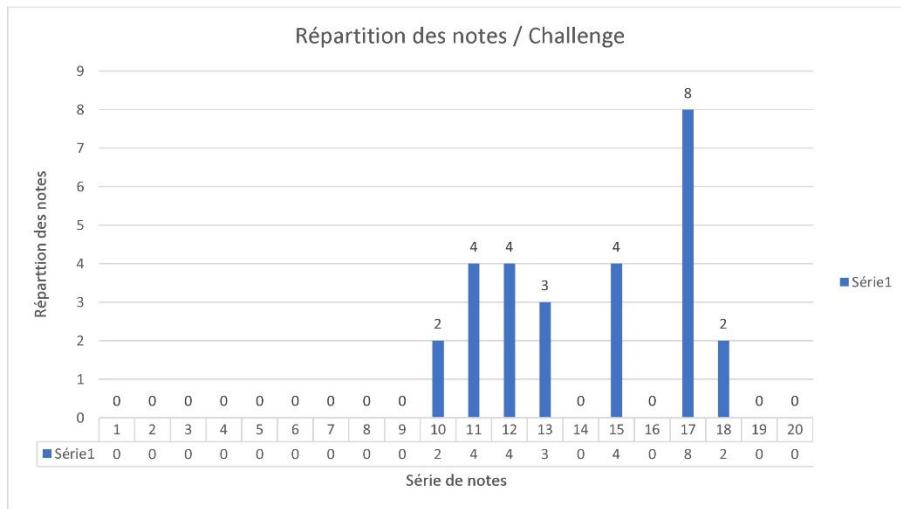


Fig. 11 : Répartition des notes

6. La suite pour 2020

Le challenge va être complété l'année prochaine sur différents aspects :

- ✓ Il y aura deux autres services qui seront rajoutés à la Fig. 4. Un service d'administration d'un routeur Wifi pour une consultation du site Internet hébergé de l'application dans le PLC avec une tablette ou un Smartphone. L'initiation d'une base de données avec la plateforme Cogent V9 fera également l'objet d'un travail à mener.
- ✓ Huit heures de travail seront rajoutées au challenge. Trois heures seront consacrées en amont du challenge pour une formation logicielle complète concernant les différentes plateformes. Un exemple typique simple fera l'objet de différents tests préalables au challenge.

7. Bibliographie

- [1] J.-P. CHEMLA and B. RIERA, *Programmation objet pour une domotique réalisée avec un API*, Actes du 10ème Colloque sur l'Enseignement des Technologies et des Sciences de l'Information et des Systèmes (CESTIS-EEA '13), Caen, 2013, pp. 78-80.
- [2] COMMUNICATION RADIO, *Le sans-fil étend son influence*, Mesures 843, 843 (2012), pp. 22-26.
- [3] J. DEPREZ, J.L. BIANCHI, J. MAILLEFERT and A. JUTON, *Bus de terrain et supervision*, Société de l'électricité, de l'électronique et des technologies de l'information et de la communication, 3EI 2010-60, n°60, 2010.
- [4] M. BLANCHET and R. BERGERIED., *Industrie 4.0 - Les leviers de la transformation*, Gimélec (2014), pp. 8-11.
- [5] MESURES., *Communications radio : les industriels misent sur le sans fil*, mesures, 805 (2008), pp. 27-40.
- [6] OPCFOUNDATION., <https://opcfoundation.org/>.
- [7] 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.
- [8] 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.

- [9] L. SIEGFRIED, *Industrie 4.0—L'usine connectée-Executive summary*, Gimélec, 2013.
- [10] P. VRIGNAT, M. AVILA, J.-F. MILLET, B. ROBLÈS, F. DUCULTY, S. BEGOT, C. BARDET, D. DELOUCHE, T. AGGAB and J. THUILLIER, *DES EXEMPLES DE BRIQUES TECHNOLOGIQUES DANS LE CADRE D'UNE APPLICATION POUR L'INDUSTRIE DU FUTUR*, 3EI (2018).
- [11] P. VRIGNAT, F. DUCULTY, M. AVILA, S. BEGOT, T. AGGAB, J.-F. MILLET, D. DELOUCHE and F. KRATZ, *Développement et utilisation d'applications complémentaires dans une approche SCADA avec une solution communicante Bluetooth*, J3eA, 15 (2016), pp. 0005.
- [12] P. VRIGNAT, F. DUCULTY and S. LIMOUSIN, *Suivi d'une campagne d'irrigation par un enrouleur d'arrosage via un SmartPhone*, La Revue 3E. I (SEE) (2017), pp. 41-50.
- [13] 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.

Nota : ne sont pas référencés dans ce chapitre, l'ensemble des documents techniques du processus. Ils sont bien évidemment mis à disposition pour ce travail au format .pdf, .docx, .pptx, .mp4... Vous retrouverez cette mise à disposition sur la plateforme CELENE hébergée par l'Université d'Orléans.