

# Réalité Augmentée : Un Retour sur Expérience pour des étudiants en Bachelor Universitaire de Technologie (GEII)

Pascal VRIGNAT<sup>1</sup>, Manuel AVILA<sup>1</sup>, Jérôme FABRE<sup>1</sup>, Stéphane BEGOT<sup>1</sup>,  
Florent DUCULTY<sup>1</sup>, Jean-Christophe BARDET<sup>1</sup>, Bernard ROBLES<sup>1</sup>

Édité le  
30/03/2026

<sup>1</sup> Université d'Orléans - Institut Universitaire de Technologie de l'Indre - Laboratoire PRISME  
2 av. François Mitterrand - 36000 Châteauroux (France) - pascal.vrignat@univ-orleans.fr

*Cette ressource fait partie du N° 119 de La Revue 3EI du 2<sup>ème</sup> trimestre 2026.*

La Réalité Augmentée (RA) est une technologie qui permet d'intégrer des éléments numériques – images, sons, textes ou animations – dans notre environnement réel. Contrairement à la réalité virtuelle, elle ne remplace pas le monde physique, mais l'enrichit en y ajoutant des informations interactives. Ses applications sont aujourd'hui nombreuses : essai virtuel de lunettes ou de vêtements, visualisation en trois dimensions d'un bâtiment sur un terrain vierge, affichage de données de conduite sur certain pare-brise, ou encore assistance à la maintenance industrielle et à la conduite de lignes de production.

Cet article présente un retour d'expérience issu d'un projet mené avec des étudiants de troisième année de Bachelor Universitaire de Technologie (Génie Electrique et Informatique Industrielle (GEII)), dans le cadre d'une pédagogie par projet. Afin de favoriser leur immersion dans le monde professionnel et d'assurer la réussite du dispositif, plusieurs partenariats industriels ont été intégrés à cette démarche. Le travail s'appuyait notamment sur un système réel de régulation du niveau de liquide, équipé de différents actionneurs et relié à une architecture de contrôle-commande ouverte à l'Internet des objets, permettant aux étudiants de confronter leurs apprentissages à des situations concrètes et innovantes.

## 1 - Introduction

Dans un contexte marqué par la transformation numérique des systèmes industriels et de leur environnement, la réalité augmentée s'impose progressivement comme un outil innovant au service de la supervision, de la maintenance et de la formation. En superposant des informations numériques à l'environnement réel, cette solution technologique permet d'améliorer la compréhension des processus complexes et de faciliter la prise de décision pour les conducteurs de lignes de production... C'est dans ce contexte qu'un projet a été mené avec trois étudiants de troisième année de Bachelor Universitaire de Technologie en Génie Électrique et Informatique Industrielle, parcours Automatismes et Informatique Industrielle. L'objectif principal consistait à concevoir une application de Réalité Augmentée (RA) capable d'afficher, en temps réel, les données issues d'un système de régulation de niveau, directement sur l'image captée par un smartphone ou une tablette. Adossé à un dispositif expérimental réel composé de deux cuves et intégré dans une architecture de communication industrielle ouverte (OPC-UA, [1]), ce projet a permis aux étudiants de mobiliser et de renforcer leurs compétences scientifiques et techniques en automatisme, réseaux, supervision et développement logiciel. Il s'est inscrit également dans une démarche de pédagogie par projet en association avec trois partenaires industriels (Phoenix Contact [2], Skkynet [3] et VEGA [4]), favorisant l'autonomie, le travail collaboratif et l'immersion

dans des problématiques très proches du monde professionnel [5]. Cet article propose ainsi un retour d'expérience sur la mise en œuvre de cette démarche pédagogique et technique. Il présente les choix méthodologiques, les solutions retenues, les difficultés rencontrées, ainsi que les résultats obtenus. À travers ce travail, il s'agit de mettre en évidence l'apport de la RA dans un contexte industriel réel et son potentiel en tant qu'outil de formation et d'innovation (Figure 1).

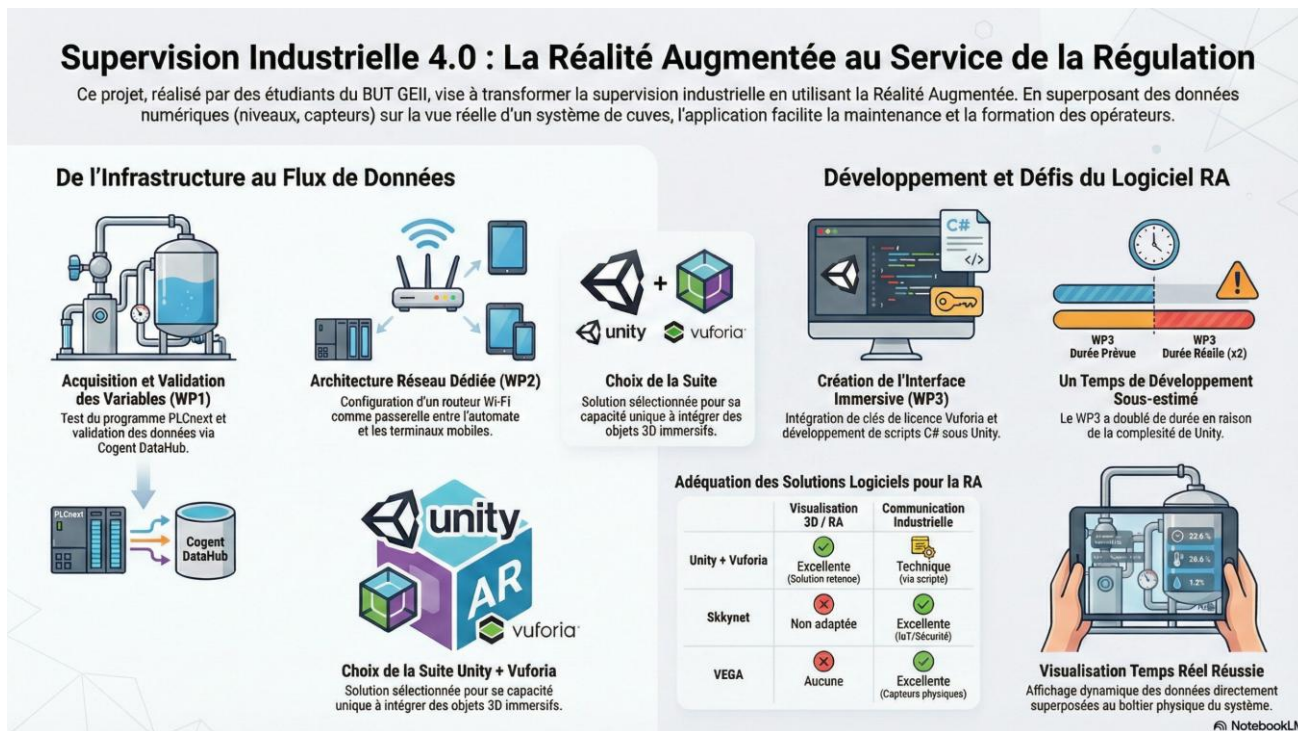


Figure 1 : L'envergure du projet interprétée selon NotebookLM

## 2 - Réalité Augmentée vs Réalité Virtuelle

Avec le développement rapide des nouvelles technologies, la RA et la Réalité Virtuelle (RV) occupent aujourd'hui une place importante dans de nombreux domaines, comme les jeux vidéo, l'éducation, la médecine, la mobilité ou encore le commerce. Bien qu'elles soient souvent confondues, ces deux technologies sont très différentes dans leur fonctionnement et dans l'expérience qu'elles offrent à l'utilisateur. La RA consiste à ajouter des éléments virtuels au monde réel. Elle permet d'enrichir notre environnement en y intégrant des images, des sons ou des informations numériques. Par exemple, lorsqu'une application affiche des meubles virtuels dans un salon à travers un téléphone, ou quand un jeu fait apparaître des personnages dans la rue, il s'agit de réalité augmentée. Dans ce cas, l'utilisateur reste connecté à la réalité, mais celle-ci est complétée par des éléments numériques. La RV est généralement accessible à l'aide d'un smartphone, d'une tablette ou de lunettes spéciales, ce qui la rend facile à utiliser au quotidien [6], [7], [8]. La RV, quant à elle, plonge l'utilisateur dans un univers entièrement numérique. Grâce à un casque spécial, la personne ne voit plus le monde réel et se retrouve dans un environnement créé par ordinateur. Elle peut, par exemple, visiter un musée, jouer à un jeu immersif ou s'entraîner dans un simulateur. Contrairement à la réalité augmentée, la réalité virtuelle isole totalement l'utilisateur de son environnement. L'objectif principal est de lui donner l'impression d'être réellement présent dans un autre monde [9], [10].

La principale différence entre ces deux technologies réside donc dans leur rapport à la réalité. La réalité augmentée conserve le monde réel et y ajoute des éléments virtuels, tandis que la réalité virtuelle remplace complètement ce monde par un univers artificiel. De plus, le niveau d'immersion est plus élevé en réalité virtuelle, car l'utilisateur est totalement plongé dans l'expérience, alors qu'en réalité augmentée, il reste conscient de ce qui l'entoure. Ces deux technologies présentent

de nombreux avantages. La réalité augmentée est très utile pour l'apprentissage, la navigation ou le commerce, car elle fournit des informations directement dans notre champ de vision. La réalité virtuelle, de son côté, est particulièrement efficace pour la formation, les simulations et les loisirs, car elle permet de vivre des expériences impossibles dans un environnement réel. La RA et la RV sont deux technologies innovantes qui transforment notre façon d'interagir avec le numérique. La première enrichit le monde réel, tandis que la seconde crée un monde totalement immersif. Bien qu'elles soient différentes, elles sont complémentaires et jouent un rôle de plus en plus important dans notre société moderne (Figure 2).



Figure 2 : RA vs RV (2 exemples concrets)

### 3 - Le contexte universitaire du travail

Les projets tutorés dans la formation Bachelor Universitaire de Technologie (BUT), d'une durée totale de 300 heures sur les 6 semestres, ont pour objectif de placer les étudiants en situation d'autonomie et d'apprentissage (validation de compétences). Les sujets des projets peuvent être proposés par le département de formation, une entreprise ou une collectivité locale. Ils ont souvent pour thèmes une étude ayant trait aux disciplines de la spécialité sans qu'il s'agisse d'une obligation. En particulier, une partie des projets tutorés peut prolonger l'enseignement des modules Études et Réalisations (ER). Ces projets doivent permettre l'apprentissage de la méthodologie de conduite de projet (travail en groupe, gestion du temps de travail, respect des délais, réalisation d'un cahier des charges, etc.), la mise en pratique des savoirs et savoir-faire (recherche documentaire, proposition de solutions, réalisation d'un rapport, etc.), l'apprentissage de l'autonomie et le décloisonnement des disciplines. Dans ce contexte, trois étudiants en 3<sup>ème</sup> année ont accepté de travailler pour le projet nommé 'Réalité Augmentée', le principe étant présenté dans la Figure 3.



Figure 3 : Le principe du projet RA pour le système 'Régulation de niveau d'un liquide'

### 3.1 - Présentation du système réel mis à disposition

Le système étudié est destiné à assurer la régulation automatique du niveau de liquide dans une cuve de 100 litres. Il repose sur une architecture de contrôle-commande numérique intégrant des capteurs, des actionneurs et un Automate Programmable Industriel (API) de type PLCNext du constructeur Phoenix Contact. La cuve est équipée d'un capteur de niveau permettant de mesurer en continu la hauteur du liquide (constructeur VEGA). Ce capteur fournit un signal analogique proportionnel au niveau mesuré, transmis à l'automate via une entrée analogique [0-10v]. Ce signal constitue la variable de retour du système, indispensable au fonctionnement de la boucle de régulation (Figure 4).

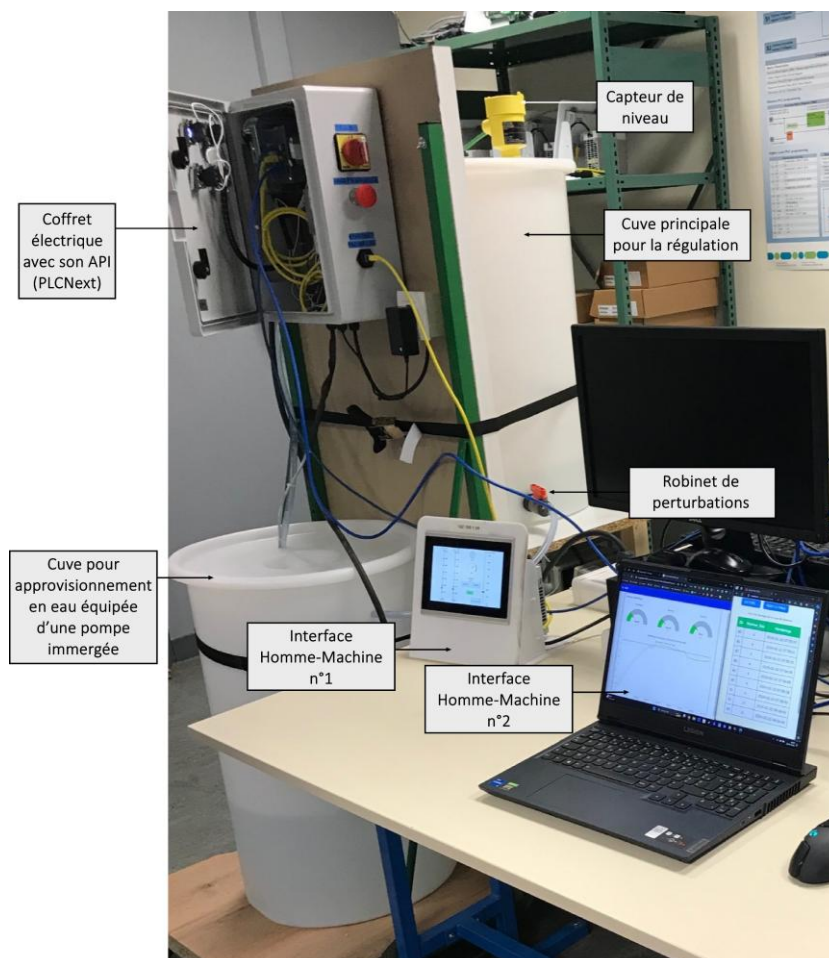


Figure 4 : Le système à base de 2 cuves

L'alimentation de la cuve est assurée par un actionneur hydraulique pilotable commandé par une sortie de l'API [0-10v]. Cet actionneur permet de contrôler le débit entrant. La vidange, et donc la perturbation, est assurée par un robinet manuel. Le cœur du système est constitué d'un régulateur numérique implémenté dans l'automate. Celui-ci repose sur un algorithme de type Proportionnel-Intégral-Dérivé (PID, Figure 5 (b)). La consigne de niveau, définie par l'opérateur via une interface Homme-Machine est comparée en permanence à la valeur mesurée. L'écart obtenu constitue l'erreur de régulation. Cette erreur est traitée par les trois composantes du correcteur (action proportionnelle, qui réagit instantanément à l'erreur, action intégrale corrige les écarts persistants et l'action dérivée anticipe les variations rapides). La combinaison de ces actions permet de générer un signal de commande optimisé, envoyé aux actionneurs afin de stabiliser le niveau autour de la consigne. Le programme de régulation est développé en langage structuré sur la plateforme PLCNext. Il assure le calcul cyclique du correcteur, la gestion des entrées-sorties et le traitement des sécurités. Un jumeau numérique concernant le comportement de la cuve est également disponible (développement dans le logiciel FACTORY I-O [11], Figure 5 (a)).

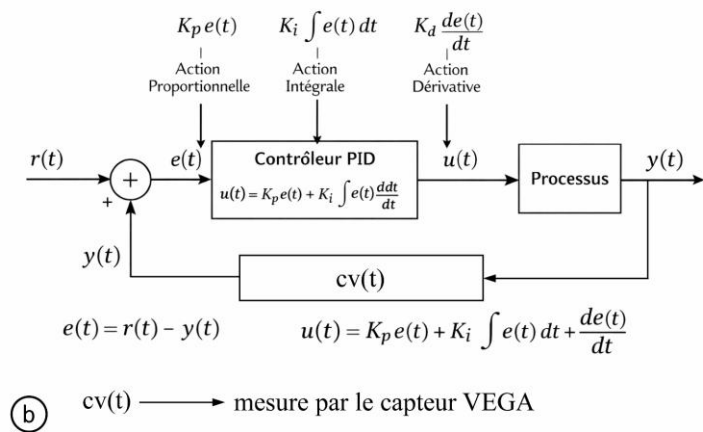


Figure 5 : Jumeau numérique et structure du PID de la régulation

Des fonctions de supervision sont également intégrées afin de détecter les dépassements de seuil, les défauts capteurs ou les anomalies de fonctionnement. Les données de fonctionnement (niveau, consigne, débits, états des actionneurs) sont transmises par le protocole OPC UA vers des outils de supervision et de visualisation. Ces informations sont exploitées par des interfaces développées avec Node-RED<sup>1</sup> et Web serveur (hébergé dans l'API), permettant un suivi en temps réel, l'historisation des données et la commande à distance [12]. Le système peut fonctionner en mode automatique ou manuel. En mode automatique, la régulation PID pilote entièrement le procédé. En mode manuel, l'opérateur peut agir directement sur les actionneurs pour effectuer des opérations de maintenance, de remplissage ou de vidange. L'ensemble du dispositif assure ainsi une régulation précise, stable et robuste du niveau de la cuve, tout en offrant des possibilités avancées de supervision, de traçabilité et d'intégration dans un environnement industriel connecté. Le développement et la mise en œuvre de ce système sont détaillés dans [13]. Le système étant connecté au réseau informatique de l'Université et pour des contraintes de sécurité, les adresses IP-statiques allouées aux différents matériels du projet ne sont pas communiquées dans cet article.

### 3.2 - Les éléments phares du projet qui ont permis d'apporter des solutions et des résultats techniques pour la RA

#### Présentation générale de l'architecture

La Figure 6 illustre l'architecture logicielle et matérielle mise en place pour la communication entre le système automatisé et l'application RA. Cette architecture repose sur l'utilisation du protocole OPC UA comme interface centrale d'échange de données, assurant l'interopérabilité entre les équipements industriels, les plateformes logicielles et les outils de visualisation. L'objectif principal de ce système est de collecter, structurer et transmettre les données issues du procédé industriel afin de les exploiter dans une application de réalité augmentée destinée à l'utilisateur final.

#### Acquisition des données

À la base de l'architecture se trouve l'API PLCNext, qui pilote le procédé et gère les entrées et sorties analogiques et numériques. Ces entrées/sorties permettent de mesurer et de commander

<sup>1</sup> Traitement et transformation des données : Node-RED fournit une variété de nœuds intégrés pour le traitement et la transformation des données. Vous pouvez manipuler des flux de données, effectuer des calculs, filtrer des données, et plus encore, facilement dans l'éditeur visuel.

différents paramètres physiques (niveau d'eau, consignes, états du système, etc.). Le PLCNext intègre également un objet IoT ainsi qu'un serveur Web, ce qui facilite la connectivité réseau et l'accès aux données via des services standards. Les données de process sont ainsi collectées en temps réel et mises à disposition pour les autres composants du système. La communication entre le PLCNext et le reste de l'architecture s'effectue via le protocole OPC UA. Celui-ci assure un échange bidirectionnel sécurisé et normalisé des données.

### Rôle central du protocole OPC UA

Le serveur OPC UA constitue le cœur du système d'échange d'informations. Il centralise les données issues du procédé et les expose sous forme de nœuds identifiés par des NodeID. Chaque variable (paramètres ou états du système) est ainsi représentée de manière structurée et accessible aux clients autorisés. Grâce à OPC UA, plusieurs applications peuvent simultanément consulter, analyser ou exploiter les données sans perturber le fonctionnement du système.

### Intégration avec la plateforme Cogent DataHub

La plateforme Skynet Cogent DataHub agit comme un serveur-client intermédiaire. Elle se connecte au serveur OPC UA afin de récupérer les données industrielles, puis les redistribue vers différents services et protocoles. Cogent DataHub permet notamment : la connexion à des bases de données, l'intégration avec des services cloud (Azure, AWS, Google), l'utilisation de protocoles de communication comme MQTT ou Modbus, la mise à disposition d'interfaces HMI Web, l'exportation vers des outils bureautiques (Excel), La gestion des alarmes et notifications. Les propriétés des données, identifiées par leurs NodeID, sont conservées afin d'assurer la cohérence des informations tout au long de la chaîne. Cette plateforme joue donc un rôle essentiel dans la transformation des données en informations exploitables par divers systèmes.

### Supervision avec UA-Expert

L'outil UA-Expert de Unified Automation est utilisé comme client OPC UA pour la supervision et le diagnostic. Il permet de visualiser en temps réel l'arborescence des nœuds, les valeurs des variables et leurs propriétés. Grâce à cet outil, les développeurs et les ingénieurs peuvent vérifier le bon fonctionnement du serveur OPC UA, tester les échanges de données et analyser les NodeID. Il constitue un support important pour la validation et le débogage du système.

### Développement de l'application RA

La partie centrale inférieure de l'architecture correspond au développement du projet de réalité augmentée. Celui-ci repose principalement sur : Unity, moteur de développement 3D, Vuforia pour la reconnaissance d'images et le suivi d'objets, Visual Studio pour la programmation et le débogage. Ces outils permettent de concevoir une application capable d'intégrer les données industrielles dans un environnement virtuel ou augmenté. Les propriétés du projet RA sont définies en fonction des informations reçues via OPC UA. Les données du procédé sont ainsi traduites en éléments visuels interactifs : jauges, graphiques, alertes, animations ou superpositions d'informations sur les équipements réels.

### Déploiement et utilisation finale

Une fois développée, l'application de RA est compilée vers les plateformes cibles, notamment les smartphones ou tablettes connectés en Wifi. Ces terminaux communiquent avec le système via le réseau pour accéder aux données en temps réel. L'utilisateur final peut alors visualiser les informations du procédé directement sur site, en superposition avec l'environnement réel. Cette approche facilite la maintenance, le diagnostic et l'aide à la décision.

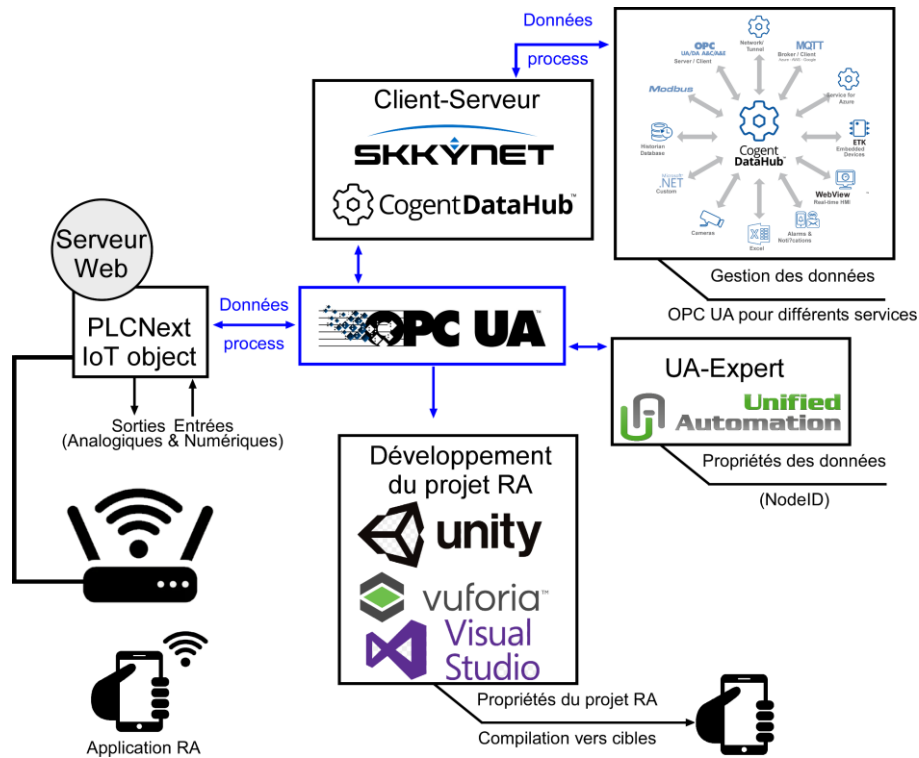


Figure 6 : Environnements de développements nécessaires

### 3.3 - Des éléments lors de la phase de développement de la solution RA

#### Développement n° 1

Des nombreuses ressources efficaces sont disponibles pouvant aider au développement de la solution RA [14], [15], [16] et [17]. Le premier essai de validation du concept a consisté à intégrer un objet 3D dans les propriétés d'une image reconnue par la solution RA (un livre dans la scène de la vidéo captée, Figure 7). Le personnage 3D dans la scène peut s'incliner en fonction de l'inclinaison de l'image et donc du livre.

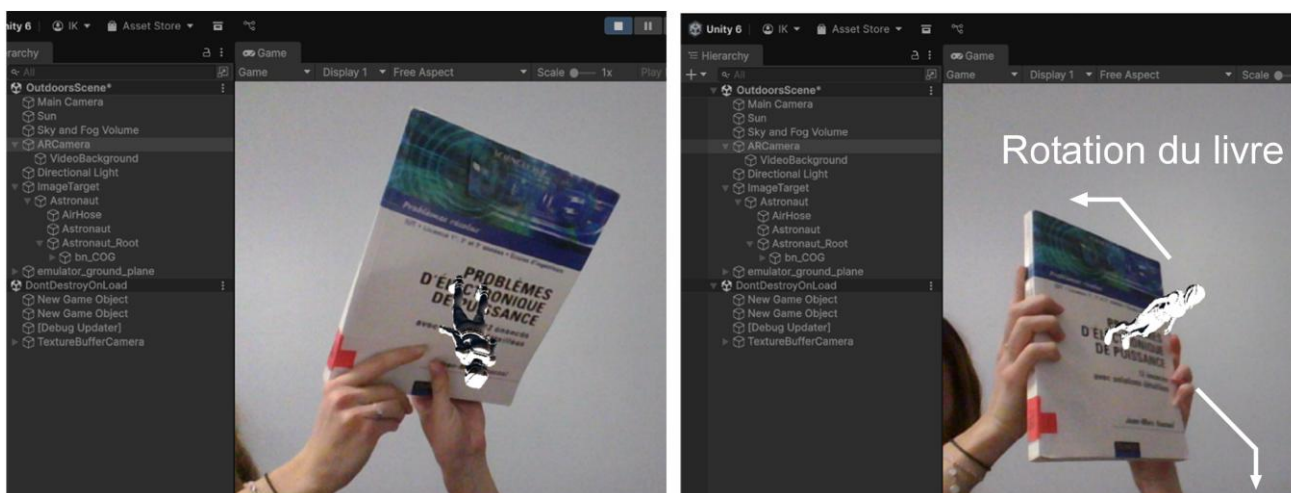


Figure 7 : Premier test de validation

#### Développement n° 2

L'étape suivante a consisté à intégrer les premiers éléments du système comme le coffret électrique (propriété de la scène à traiter), (Figure 4). L'application RA est ensuite déposée dans un Smartphone (Figure 8 et Figure 9).

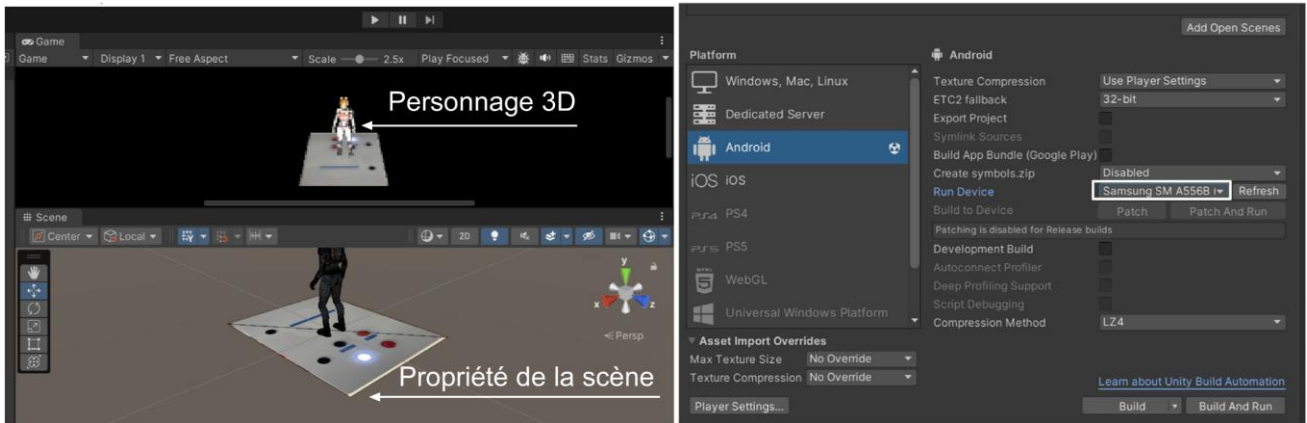


Figure 8 : Intégration du personnage 3D dans la scène du coffret du système

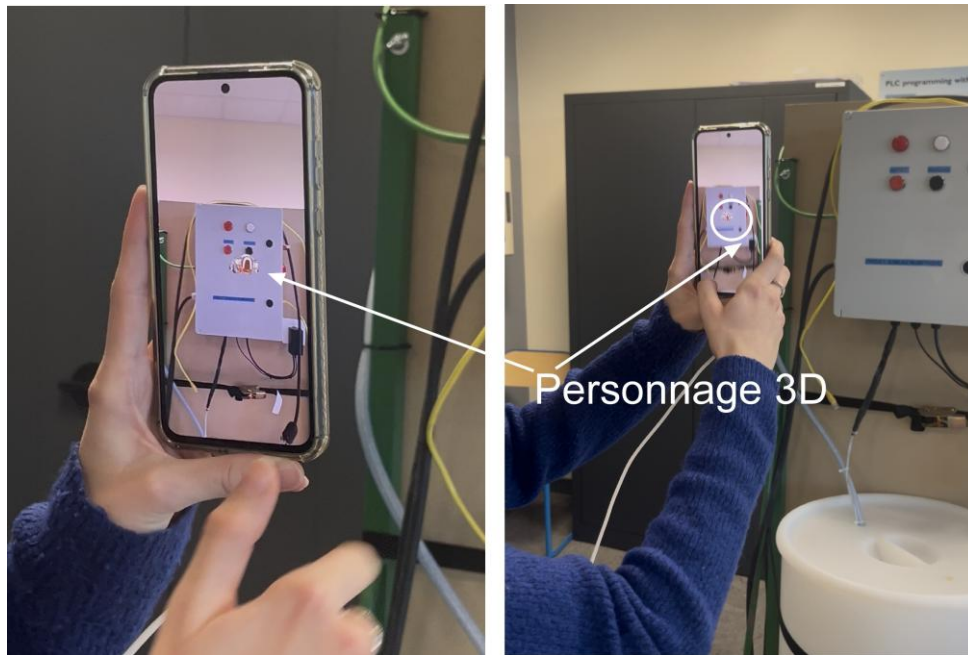


Figure 9 : Validation de l'objet 3D dans la scène du coffret du système

### Développement n° 3

Le développement n° 3 a consisté à valider le principe de la RA proposé dans la Figure 3. L'ensemble des résultats présentés ci-après sont relatifs aux variables suivantes : Consigne\_Cuve et mesure par le capteur de niveau VEGA (Vega\_liter). Le serveur Web (Figure 6) permet avec son interface Homme-machine de gérer la régulation du système (Figure 10). Le défi consistait à pouvoir afficher dans une scène du système préalablement choisie (toujours le coffret) différentes informations mises à disposition par le PLCNext. Le premier travail consiste à récupérer les données nécessaires dans le canal de communication OPC-UA (Figure 6). Pour cela différents environnements logiciels sont utilisables. L'utilisation du logiciel UA-Expert (Figure 6) est indispensable pour pouvoir disposer de l'ensemble des informations nécessaires notamment, les 'Nodeld' des différentes variables. Nous pouvons retrouver ces mêmes exigences dans le cadre d'un développement avec Node-RED [12], [18]. Un autre environnement logiciel est également disponible pour intercepter les données OPC-UA. Il a un rôle de Client/Serveur (Cogent DataHub, Figure 6). Dans ce cadre, les résultats pour nos essais et paramétrages sont présentés dans la Figure 11 et la Figure 12. La hauteur d'eau dans la cuve après demande de remplissage (CF régulation) a atteint la consigne demandée (20).

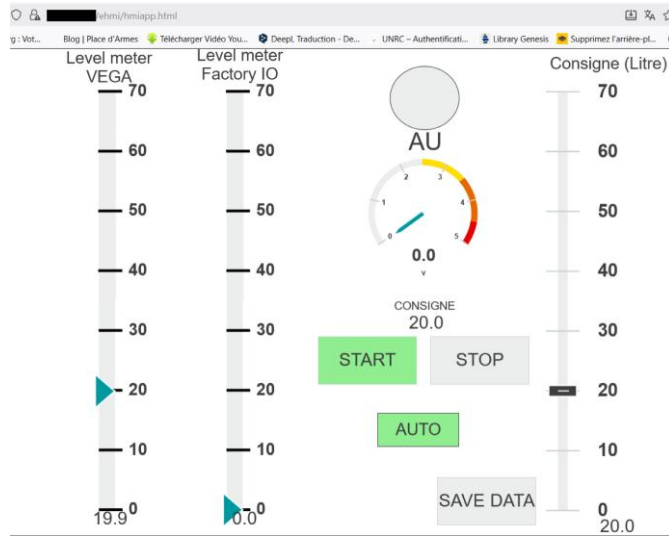


Figure 10 : Gestion de la régulation par le serveur Web (Consigne = 20, fin du remplissage avec la mesure = 20)

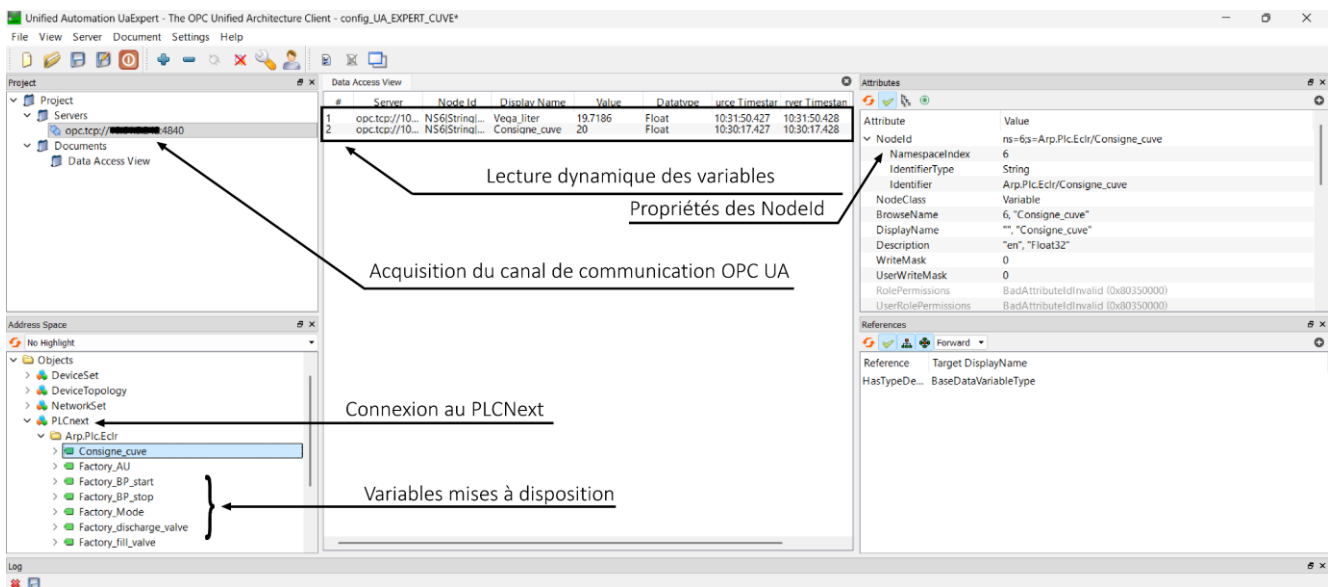


Figure 11 : Utilisation du logiciel UA-Expert

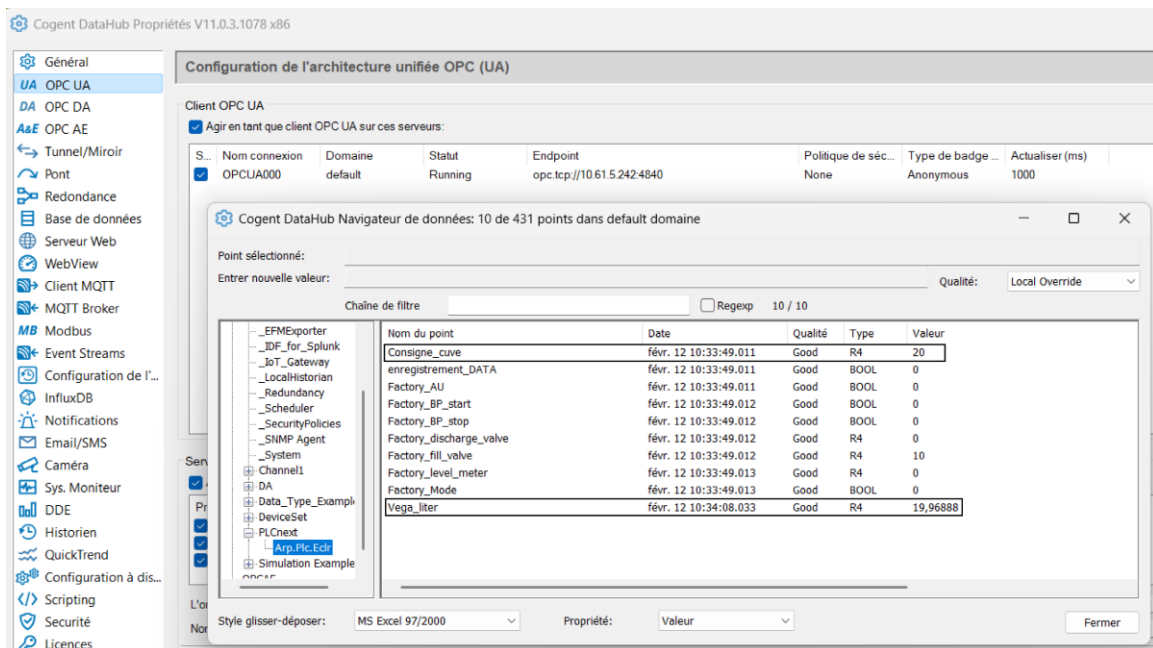


Figure 12 : Utilisation du logiciel Cogent DataHub

La suite du développement consiste à déclarer différents paramètres dans l'environnement de développement de la solution RA (Unity, (Figure 6)). Ces paramètres essentiels sont reliés aux caractéristiques des différents 'NodeId' (Figure 13).

The figure shows two parts of the development process. On the left, the Unity 'Attributes' window displays two 'NodeId' entries. The first entry is for 'Consigne\_cuve' with a namespace of 'ns=6;s=Arp.Plc.Eclr/Consigne\_cuve'. The second entry is for 'Vega\_liter' with a namespace of 'ns=6;s=Arp.Plc.Eclr/Vega\_liter'. On the right, the Visual Studio script 'DataHub Connector (Script)' shows the configuration of these parameters. The script includes headers for 'Configuration DataHub' and 'Nom des points OPC UA exposés par DataHub', and defines public fields for 'dataHubHost', 'dataHubPort', 'pointConsigne', and 'pointVega'.

Attribute	Value
NodeId	ns=6;s=Arp.Plc.Eclr/Consigne_cuve
NamespaceIndex	6
IdentifierType	String
Identifier	Arp.Plc.Eclr/Consigne_cuve
NodeClass	Variable
BrowseName	6, "Consigne_cuve"
DisplayName	"", "Consigne_cuve"
Description	"en", "Float32"
WriteMask	0
UserWriteMask	0

```

using UnityEngine;
using UnityEngine.Networking;
using System.Collections;

0 references
public class DataHubConnector : MonoBehaviour
{
    [Header("configuration DataHub")]
    1 reference
    public string dataHubHost = " "; // IP du PC
    1 reference
    public int dataHubPort = 4502; // Port REST

    [Header("Nom des points OPC UA exposés par DataHub")]
    1 reference
    public string pointConsigne = "Arp.Plc.Eclr/Consigne_cuve";
    1 reference
    public string pointVega = "Arp.Plc.Eclr/Vega_liter";
}
    
```

Figure 13 : Paramétrages dans Unity

Un script spécifique pour l'application a été développé dans l'environnement Visual Studio (Figure 6). Quelques éléments sont montrés dans la Figure 13. La compilation générale du projet sous l'environnement Unity permet de pouvoir disposer alors des résultats (Figure 14). La cuve est en cours de remplissage avec la consigne qui est fixée à la valeur de 20. Le capteur VEGA retourne une valeur de 14,24. L'utilisateur final pourra ensuite dans la compilation choisir sa cible en matière de technologie de Smartphone ou de tablette. La Figure 15 présente également d'autres résultats avec des informations complémentaires qui ont été rajoutées dans la scène.

The figure shows the Unity game view with a 3D model of a tank control panel. Two text overlays are visible: 'Consigne de la cuve : 20,00' and 'Mesure capteur vega (en litre) : 14,24'. The Inspector window on the right shows the 'PLC Reader (Mono Script)' component with its 'Imported Object' set to 'PLC Reader (Mono Script)'. The script code is visible in the bottom right corner.

```

using UnityEngine;
using UnityEngine.Networking;
using TMPro;
using System.Collections;
using System.Globalization;

public class PLCReaderHTTP : MonoBehaviour
{
    [Header("Serveur OPC -> Flask")]
    public string serverIP = "127.0.0.1"; // PC où tourne opc_to_unity.py
    public int serverPort = 5000;
    public float updateInterval = 0.5f;

    [Header("UI - TextMeshPro")]
    public TextMeshProUGUI consigneText;
    public TextMeshProUGUI vegaText;
    public TextMeshProUGUI statusText;

    void Start()
    {
        StartCoroutine(ReadLoop());
    }

    IEnumerator ReadLoop()
    }
}
    
```

Figure 14 : Résultats après compilation

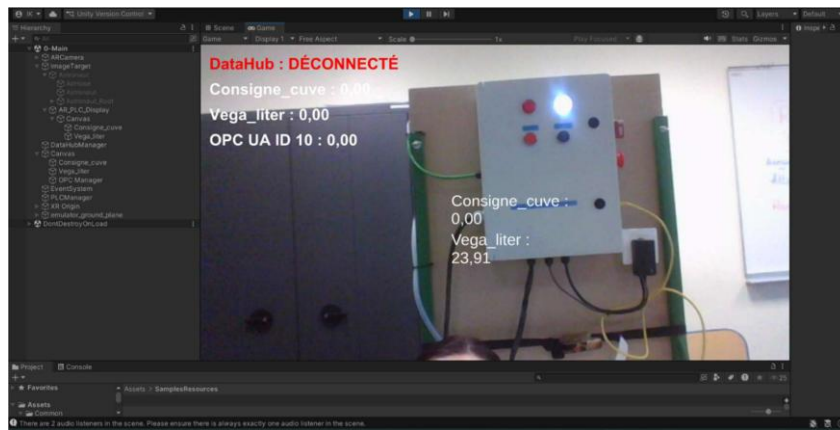


Figure 15 : Résultats après compilation

## 4 - Conclusion

Ce projet de RA appliqué à un système réel de régulation de niveau a permis de démontrer concrètement l'intérêt de ces technologies immersives dans un contexte de formation universitaire professionnalisante. À travers la conception et le déploiement d'une application intégrant des données issues d'une architecture industrielle connectée, les étudiants ont été confrontés à des problématiques similaires de celles rencontrées dans le monde professionnel, tant sur le plan technique qu'organisationnel. La réalisation du projet a mobilisé un large éventail de compétences : automatisme, instrumentation, réseaux industriels, protocoles de communication, supervision, développement logiciel et conception d'interfaces immersives. Cette transversalité a conduit les étudiants à dépasser le cadre strict de leur spécialité initiale pour s'approprier des méthodes et des outils issus de l'informatique et des technologies numériques avancées. Elle a également renforcé leur capacité d'analyse, d'adaptation et de résolution de problèmes complexes, compétences aujourd'hui essentielles dans le contexte de l'industrie 4.0. Sur le plan pédagogique, cet apprentissage par projet, soutenue par des partenariats industriels, a favorisé l'autonomie, le travail collaboratif et la responsabilisation des étudiants. L'implication dans un projet concret, adossé à un système réel et à des contraintes techniques a constitué un levier important de motivation et d'engagement. Elle a permis de donner du sens aux apprentissages théoriques en les reliant directement à des applications pratiques et innovantes. D'un point de vue technologique, les résultats obtenus montrent que l'intégration de la RA dans un environnement industriel est non seulement réalisable, mais également pertinente pour l'aide à la supervision, à la maintenance. La visualisation contextualisée des données de procédé, directement sur les équipements physiques, améliore la compréhension des phénomènes en cours et facilite la prise de décision. Cette approche ouvre ainsi des perspectives intéressantes pour la formation, la maintenance assistée, le transfert de compétences et l'accompagnement des opérateurs. Toutefois, ce travail met également en évidence certaines limites, notamment en termes d'ergonomie, de performance des terminaux mobiles, de stabilité des connexions réseau et de temps de développement. Ces contraintes constituent autant de pistes d'amélioration pour les futurs projets. Des efforts restent à mener pour optimiser l'interface utilisateur, renforcer la robustesse du système et simplifier le déploiement sur différents supports matériels.

À court terme, les perspectives d'évolution concernent notamment l'amélioration du design graphique, l'enrichissement des fonctionnalités interactives, l'intégration d'outils d'aide à la maintenance prédictive, ainsi que le couplage avec des systèmes d'intelligence artificielle pour l'analyse des données. À plus long terme, ce type de dispositif pourrait être étendu à d'autres procédés industriels et intégré de manière plus systématique dans les parcours de formation.

En résumé, ce retour d'expérience confirme que la RA constitue un outil pertinent et prometteur pour l'enseignement des systèmes industriels connectés. Elle favorise une pédagogie active,

contextualisée et innovante, tout en préparant efficacement les étudiants aux évolutions technologiques du secteur. Ce projet illustre ainsi le potentiel de convergence entre formation, recherche appliquée et partenariat industriel au service de l'innovation pédagogique et technologique.

## Références :

- [1] A. Busboom, "Automated generation of OPC UA information models—A review and outlook," *Journal of Industrial Information Integration*, vol. 39, p. 100602, 2024.
- [2] <https://www.phoenixcontact.com/>
- [3] <https://skkynet.com/>
- [4] <https://vega-france.com/>
- [5] P. Vrignat, M. Avila, F. Duculty, J.C Bardet, S. Begot, and P. Marangé, "Integrating Serious Games into Project-Based Learning: An Embezzlement Technique for Teaching RFID Applications in the Context of Industry 4.0," *Education Sciences*, pp. 1-18, 2025, <https://doi.org/10.3390/educsci15080953>
- [6] B. Arnaldi, P. Guitton, and G. Moreau, *Réalité virtuelle et réalité augmentée: Mythes et réalités*. ISTE Group, 2018.
- [7] J. Martin, "L'apprentissage immersif par technologies (Réalité virtuelle et augmentée), des langues et cultures étrangères dans les recherches scientifiques," *Enseignement immersif des langues étrangères au moyen des technologies virtuelles*, p. 23, 2022.
- [8] H. Ichou, "Intégration de la réalité augmentée et la réalité virtuelle dans le domaine de la maintenance industrielle des systèmes électromécaniques," Université du Québec à Rimouski, 2023.
- [9] R. Dörner, W. Broll, P. Grimm, and B. Jung, "Virtual Reality und Augmented Reality (VR/AR) Auf dem Weg von der Nische zum Massenmarkt," *Informatik-Spektrum*, vol. 39, no. 1, pp. 30-37, 2016.
- [10] A. D. Kaplan, J. Cruit, M. Endsley, S. M. Beers, B. D. Sawyer, and P. A. Hancock, "The effects of virtual reality, augmented reality, and mixed reality as training enhancement methods: A meta-analysis," *Human factors*, vol. 63, no. 4, pp. 706-726, 2021.
- [11] B. Salah, A. M. Alsamhan, W. Saleem, R. Khan, and A. T. A. Soliman, "3D simulation of a yogurt filling machine using Grafacet Studio and Factory IO: realization of Industry 4.0," *Transactions of FAMENA*, vol. 47, no. 3, pp. 15-30, 2023.
- [12] M. Lekić and G. Gardašević, "IoT sensor integration to Node-RED platform," in *2018 17th International Symposium Infoteh-Jahorina (Infoteh)*, 2018, pp. 1-5: IEEE.
- [13] P. Vrignat and F. Kratz, "Setting up International Certification to Support Industry 4.0," in *Online Laboratories in Engineering and Technology Education: State of the Art and Trends for the Future*: Springer, 2025, pp. 481-497.
- [14] <https://www.youtube.com/watch?v=j7-xqwW6Xqc>
- [15] <https://www.youtube.com/watch?v=CmcKLto17K0>
- [16] <https://www.youtube.com/watch?v=0uErb9NSLU5>
- [17] [https://www.youtube.com/watch?v=j4esG\\_OKZnE](https://www.youtube.com/watch?v=j4esG_OKZnE)
- [18] D. Clerissi, M. Leotta, G. Reggio, and F. Ricca, "Towards an approach for developing and testing Node-RED IoT systems," in *Proceedings of the 1st ACM SIGSOFT International Workshop on Ensemble-Based Software Engineering*, 2018, pp. 1-8.

Ressource publiée sur Culture Sciences de l'Ingénieur : <https://sti.eduscol.education.fr/si-ens-paris-saclay>