

# Retour d'expérience et applications pédagogiques innovantes avec HOME I/O

Bernard Riera<sup>1</sup>, Tom Ranger<sup>1</sup>, Ramla Saddam<sup>1</sup>, Fabien Emprin<sup>2</sup>, Jean-Paul Chemla<sup>3</sup>, Alexandre Philippot<sup>1</sup>  
bernard.riera@univ-reims.fr

<sup>1</sup> CReSTIC (EA 3804), UFR des Sciences Exactes et Naturelles, Université de Reims Champagne-Ardenne, Moulin de la Housse, BP 1039, 51687 Reims, France

<sup>2</sup> CEREP (EA 4692), Université de Reims Champagne-Ardenne, 23 rue Clément Ader 51100 Reims, France  
<sup>3</sup> Polytech Tours, Université François Rabelais de Tours, 7 avenue Marcel Dassault, 37200 Tours -France.

**RESUME :** Lors du CETSIS en 2017, HOME I/O a été présenté comme un outil pédagogique innovant. Ce logiciel est le résultat d'un projet de R&D entre le laboratoire CReSTIC de l'Université de Reims Champagne-Ardenne (URCA) et Real Games, partiellement financé par le Ministère de l'Éducation Nationale. L'objectif était de concevoir une maison virtuelle pour l'enseignement des STEM (Sciences, Technologies, Ingénierie et Mathématiques). L'idée principale, dès le début du projet, a été d'amener une maison virtuelle dans la salle de classe, adaptée aux apprenants et aux enseignants et utilisable du collège à l'université. HOME I/O est fourni avec CONNECT I/O, automate logiciel pouvant également servir de passerelle pour se connecter à des équipements externes (API, microcontrôleur, Matlab, Labview...) au moyen des protocoles Modbus TCP, OPC DA, OPC UA... Dans le monde entier, environ 800 collèges, lycées et universités utilisent HOME I/O. Les retours des enseignants et des étudiants ont été pris en compte en mettant régulièrement à jour HOME I/O avec de nouveaux modules et de nouvelles fonctionnalités comme l'intégration de Scratch 2.0 (2017) et l'intégration de Python 3.x (2019). Cet article présente ces nouvelles fonctionnalités et une sélection d'applications pédagogiques innovantes réalisées par des enseignants de collège, lycée, université et même d'école primaire ! HOME I/O semble prouver qu'il est possible de disposer d'un seul outil de simulation adapté à différents niveaux de formation et permettant des approches pédagogiques originales : classe inversée, jumeau numérique pédagogique, apprentissage par l'erreur, projets...

**Mots clés :** simulation de partie opérative, automatique, approches pédagogiques innovantes, STEM, maison virtuelle, jumeau numérique, retour d'expérience.

## 1 INTRODUCTION

Le logiciel HOME I/O (Riera et al., 2017) est le résultat d'un projet de R&D entre le CReSTIC de l'Université de Reims Champagne-Ardenne (URCA) et Real Games dont l'objectif était de concevoir une maison virtuelle pour l'enseignement des STEM (Sciences, Technologies, Ingénierie et Mathématiques). L'idée principale, dès le départ, a été d'amener une maison virtuelle dans la salle de classe, adaptée aux apprenants et aux enseignants, utilisable du collège à l'université. HOME I/O est fourni avec CONNECT I/O, qui est un automate logiciel pouvant également servir de passerelle pour se connecter à des équipements externes (API, microcontrôleur, Matlab, Labview... au moyen des protocoles Modbus TCP, OPC DA, OPC UA...). Dans le monde entier (mais principalement en France), environ 800 collèges, lycées et universités utilisent HOME I/O. Les retours et commentaires des enseignants et des étudiants ont été pris en compte et permis de mettre régulièrement à jour HOME I/O avec de nouveaux modules et de nouvelles fonctionnalités comme : un système de licence plus simple (2016), l'intégration de Scratch 2.0 (2017) et l'intégration de Python 3.x (2019). Cet article présente ces nouvelles fonctionnalités et plusieurs applications pédagogiques innovantes, réalisées par des enseignants de collège, lycée, université, et ... même d'école primaire ! La première et la deuxième partie de l'article traitent d'une courte présentation de HOME I/O et de CONNECT I/O. La troisième partie de l'article présente les mises à jour et les add-ons de HOME I/O depuis la première

version. La dernière partie de l'article présente plusieurs applications pédagogiques innovantes comme la classe inversée.

## 2 HOME I/O : LA MAISON VIRTUELLE

HOME I/O (<https://realgames.co/home-io/>) est le résultat de "DOMUS" (2011-2014), un projet de recherche et développement de 3 ans entre le laboratoire CReSTIC de l'Université de Reims Champagne-Ardenne et Real Games, une société portugaise, qui a été partiellement fondée par le ministère français de l'éducation nationale. HOME I/O est un logiciel de simulation FPS (First Person Shooter) en temps réel (figure 1) d'une maison intelligente et de son environnement. Ce logiciel a été conçu dès le départ pour couvrir un large éventail d'applications pédagogiques dans le domaine de la technologie et des sciences de l'ingénieur (Riera et al., 2017). Plus qu'un simulateur, HOME I/O a été conçu pour être un environnement d'apprentissage, d'expérimentation et de développement de projets dédié aux étudiants des collèges, des lycées et des universités. Tous les objets contrôlables peuvent être utilisés selon trois modes : câblé (figure 2.a), console (figure 2.b) ou externe (figure 2.c).

En mode filaire, la maison n'est pas automatisée. Il s'agit d'une installation électrique classique où tous les appareils sont câblés. C'est le mode par défaut lorsque vous démarrez HOME I/O. Ce mode permet de découvrir une maison virtuelle "non intelligente". En mode console, les objets contrôlables sont programmables par le logiciel du boîtier domotique en définissant des scénarios (éclairage, moteur, chauffage, sécurité anti-

intrusion et sécurité domestique). Ce mode a été initialement conçu pour le collège car l'aspect fonctionnel de la maison intelligente peut être facilement expliqué et compris par les enfants, sans entrer dans des considérations trop techniques. En mode externe, les entrées et sorties de chaque objet peuvent être utilisées par le biais du SDK HOME I/O qui est constitué d'un assemblage .NET 2.0 (EngineIO.dll). HOME I/O SDK ouvre le champ d'application de HOME I/O. Cela permet (et c'est simple) par exemple de contrôler la température d'une pièce avec LabView (Riera, 2017) ou MATLAB. Ainsi, il devient facile pour les étudiants de comprendre le fonctionnement d'un régulateur PID, par exemple. Le mode externe a été conçu initialement pour le lycée et l'enseignement supérieur. Ces 3 modes permettent de modifier le niveau d'automatisation et offrent une large gamme d'applications adaptées au collège, au lycée et à l'université. De plus, HOME I/O est fourni avec un automate logiciel gratuit appelé CONNECT I/O qui utilise le SDK HOME I/O.

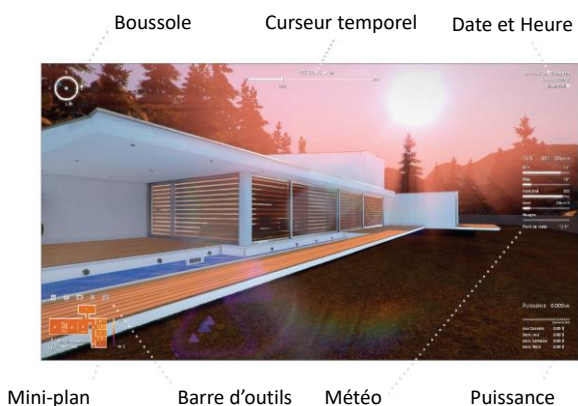


fig 1 : HOME I/O

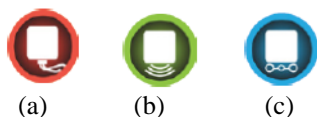


Fig. 2. Modes câblé, console et externe

### 3 CONNECT I/O

CONNECT I/O permet d'intégrer facilement HOME I/O aux technologies d'automatisation. Avec CONNECT I/O (figure 3), plusieurs fonctionnalités peuvent être mises en œuvre en dessinant un diagramme avec des nœuds et en les reliant entre eux. Fondamentalement, CONNECT I/O peut être utilisé à trois fins différentes :

- Contrôler HOME I/O en concevant un contrôleur logiciel avec des blocs de fonctions.
- Connecter HOME I/O à des technologies d'automatisation externes (par exemple, PLC, Modbus, microcontrôleurs...). Dans ce cas, CONNECT I/O peut être considéré comme une passerelle entre les technologies externes et la simulation.

- Effectuer l'acquisition et l'analyse des données provenant de HOME I/O.

Toutes ces fonctionnalités peuvent être utilisées en même temps et même étendues par le développement de plugins.

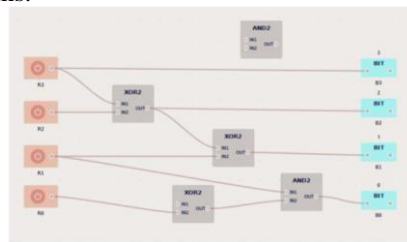


fig 3 : CONNECT I/O : un automate logiciel pour HOME I/O

CONNECT I/O possède cinq types de nœuds différents, à savoir les entrées, les sorties, les mémoires, les sources et les nœuds :

- Entrées : valeurs lues à partir de HOME I/O (par exemple, l'interrupteur d'éclairage est enclenché ou non).
- Sorties : valeurs écrites dans HOME I/O (par exemple, allumer ou éteindre une lumière).
- Mémoires : valeurs génériques échangées avec la simulation (lecture/écriture). Par exemple, si la simulation est en cours, la date et l'heure de la simulation actuelle, etc.
- Sources : nœuds permettant de générer des valeurs (par exemple un booléen, un entier, un flottant, une chaîne de caractères, etc.)
- Nœuds : nœuds fournissant des fonctionnalités.

En effet, les nœuds fonctionnels offrent un large éventail de fonctionnalités, telles que la connectivité avec les automates, les cartes d'interface, la prise en charge de protocoles et même d'opérations logiques et arithmétiques. Les principaux nœuds fonctionnels et leurs fonctionnalités sont :

- Les nœuds fournis par les blocs fonctionnels permettent d'utiliser CONNECT I/O comme un PLC logiciel et sont conformes à la norme CEI 61131-3.
- Les nœuds Advantech USB 4750 et USB 4704 fournissent respectivement la connectivité avec une carte d'interface Advantech USB 4750 ou une carte d'interface Advantech USB 4704. Ils peuvent être utilisés pour le câblage d'automates ou de tout type de matériel avec des E/S numériques ou analogiques.
- L'analyse des données avec le nœud Live-Graph permet de tracer les données en temps réel avec LiveGraph (<http://live-graph.sourceforge.net/>).
- Le nœud OPC DA Client met en œuvre un accès aux données du client OPC.
- Les nœuds client Modbus TCP/IP et serveur Modbus TCP/IP mettent en œuvre respectivement un client Modbus TCP/IP et un serveur Modbus TCP/IP.
- Les nœuds PICAXE assurent la connectivité avec un microcontrôleur PICAXE-20X2, 28X2 ou 40X2 simulé sur l'éditeur PICAXE.
- Les nœuds SIEMENS fournissent une connectivité avec le Siemens PLC LOGO ! 0BA7, LOGO !

0BA8, S7-300, S7-400, S7-1200 et S7-1500 par Ethernet. Le nœud S7-PLCSIM (V5.4/5.5) fournit la connectivité avec le simulateur d'API Siemens S7-PLCSIM (v5.4/5.5).

Un plugin est un fichier DLL d'assemblage .NET qui permet de créer et d'ajouter de nouveaux nœuds à CONNECT I/O. Pour chaque nœud, l'utilisateur définit les entrées, les sorties et ajoute des fonctionnalités grâce au code de Microsoft Visual Studio. Ces plugins peuvent aller d'une simple logique à des opérations complexes telles que l'interfaçage avec du matériel ou des logiciels tiers. Plusieurs plugins ont été développés et sont mis à la disposition de la communauté sur le site web <https://teachathomeio.com/>.

#### 4 MISES A JOUR DE HOME I/O

Plusieurs changements dans les programmes pédagogiques des collèges et des lycées sont apparus en France depuis 2016. La nouvelle stratégie pédagogique et l'apprentissage de la programmation deviennent très importants. Par conséquent, il a été nécessaire de mettre à jour HOME I/O avec un nouveau système de licence et 2 nouvelles fonctionnalités liées aux langages de programmation : Scratch 2.0 pour les collèges et Python 3.x pour les lycées.

##### 4.1 Système de licence simplifié

Aujourd'hui, l'éducation promeut une nouvelle stratégie d'enseignement comme la classe inversée. La classe inversée modifie intentionnellement l'enseignement en faveur d'un modèle centré sur l'apprenant, dans lequel le temps passé en classe est utilisé pour explorer des sujets plus en profondeur et créer des possibilités d'apprentissage significatives, tandis que les élèves sont initialement initiés à de nouveaux sujets en dehors de la classe. Dans une classe inversée, la "transmission de contenu" peut prendre différentes formes. Souvent, des leçons vidéo préparées par l'enseignant ou des tiers sont utilisées pour diffuser le contenu, bien que des discussions collaboratives en ligne, des recherches numériques et des lectures de textes puissent être utilisées. Par conséquent, il est important de donner aux apprenants des outils numériques pour effectuer des travaux pratiques à domicile. C'est pourquoi, un mode démo de 30 jours de HOME I/O et un système de licence simple (juste un fichier, qui peut être donné à l'apprenant, indiquant sur HOME I/O l'école qui possède la licence) ont été réalisés en 2016.

##### 4.2 HOME I/O et Scratch 2.0

Dans le cadre de la réforme du collège et des nouveaux programmes de mathématiques et de technologie, Scratch est aujourd'hui le logiciel qui est recommandé par l'Inspection Générale de l'Education Nationale française. Par conséquent, en 2017 (Riera et al., 2019), une connexion native à Scratch 2.0, utilisant un serveur web, a été mise en place dans HOME I/O. Cette mise à jour a permis d'étendre les possibilités pédagogiques de HOME I/O, en particulier pour les élèves des collèges, mais pas seulement (cf. paragraphe 5.3). HOME I/O

peut être utilisé avec Scratch 2.0 grâce à des extensions scratch. L'échange de données entre Scratch 2.0 et HOME I/O se fait par l'intermédiaire d'un serveur web intégré dans HOME I/O qui est à l'écoute sur le port 9797. L'utilisateur peut désactiver le serveur web ou définir un port d'écoute différent. Un fichier modèle Scratch 2.0 comprend les blocs d'extension HOME I/O nécessaires. Après l'ouverture de ce fichier dans Scratch, d'autres blocs sont disponibles. Pour pouvoir utiliser les périphériques HOME I/O dans Scratch 2.0, ils doivent d'abord être mis en mode externe. Une connexion réussie entre Scratch et HOME I/O est indiquée par un voyant vert à côté de l'extension HOME I/O (figure 4).

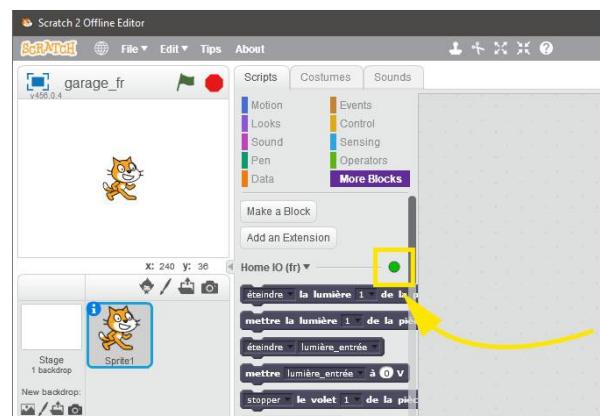


fig 4 : Blocs HOME I/O dans Scratch 2

On peut remarquer que le mode externe, initialement conçu pour le lycée et l'université, est maintenant utile pour le collège. L'intégration de Scratch 2.0 est un grand succès, et bien apprécié par les enseignants du collège.

##### 4.3 HOME I/O et Python 3.x

Le choix de Python 3.x pour l'apprentissage de la programmation dans les lycées français a été décidé par l'Inspection Générale de l'Education Nationale en 2017. Python permet aux élèves de se confronter à la précision et à la rigidité d'une syntaxe proche de celle des expressions mathématiques. HOME I/O peut être utilisé avec Python 3.x. L'intégration de Python permet d'écrire des programmes Python pour interagir avec des périphériques de HOME I/O. Cela signifie qu'il est possible de lire et d'écrire sur des périphériques des points d'E/S à partir de programmes Python. Afin d'accéder aux points d'E/S depuis Python, les appareils doivent d'abord être réglés en mode externe. L'intégration de HOME I/O / Python a été développée au moyen de pythonnet (Python pour .NET) qui permet une intégration presque parfaite avec le CLR (Common Language Runtime) de .NET 4.0+ sous Windows. Python pour .NET fournit un puissant outil de script d'application pour les développeurs .NET. Cet outil permet de créer des applications .NET ou des applications complètes en Python, en utilisant des composants .NET écrits dans n'importe quel langage qui cible le CLR (C#, VB.NET, F#, C++/CLI). Python pour .NET est

actuellement compatible et testé avec les versions 2.7 et 3.5-3.7 de Python. Les versions actuelles sont disponibles sur le site web de Python for .NET : <http://pythonnet.github.io>.

HOME I/O est une application 32 bits, il faut donc utiliser une version 32 bits de Python, même si HOME I/O fonctionne sur un système d'exploitation 64 bits. Il est important de noter que les fichiers créés pour la version majeure spécifique de Python installée dans le PC doivent être utilisés. Par exemple, si Python 3.7.x est utilisé, les fichiers construits spécifiquement pour cette version majeure (3.7) doivent être utilisés.

La figure 5 propose un exemple de code Python pour faire clignoter 5 fois la lumière dans le salon. Avec pythonnet, il est possible d'utiliser simplement et facilement le HOME I/O SDK avec Python, comme se fait en C# par exemple. Cette fonctionnalité était très demandée par les lycées français.

```

import sys
import time
import clr

clr.AddReference('EngineIO')
from EngineIO import *

print("Home I/O & Python are such good friends thanks to pythonnet!")
livingRoomLight = MemoryMap.Instance.GetBit(0, MemoryType.Output)
for i in range(5):
    livingRoomLight.Value = not livingRoomLight.Value
    # When using a memory value before calling the
    # Update method we are using a cached value.
    print("Light is on" if livingRoomLight.Value)
    # Calling the Update method will write the livingRoomLight.Value to the memory map.
    MemoryMap.Instance.Update()
    time.sleep(1)
# When we no longer need the MemoryMap we should call the
# Dispose method to release all the allocated resources.
MemoryMap.Instance.Dispose()
print("Done!")

```

fig 5 : HOME I/O avec Python 3.x

Le rectorat de Reims en France a décidé en 2019 de promouvoir cette fonctionnalité en fournissant HOME I/O aux enseignants des lycées référents qui vont proposer des activités pédagogiques pour le nouveau cours "Systèmes et Technologies Numériques".

Dans la suite de l'article, plusieurs contributions pédagogiques innovantes réalisées par des enseignants sont présentées. L'idée est de montrer des applications qui n'ont pas été imaginées lors de la conception de HOME I/O.

## 5 CONTRIBUTIONS PÉDAGOGIQUES INNOVANTES AVEC HOME I/O

Certaines des contributions présentées peuvent être consultées sur le site web <https://teachathomeio.com/>.

### 5.1 HOME I/O au Collège

En France, plusieurs professeurs de collège utilisent HOME I/O dans une approche pluridisciplinaire. Par exemple, les élèves doivent réaliser un modèle de la maison de HOME I/O avec le logiciel 3D SketchUp (figure 6) à partir des plans.

Certains enseignants utilisent également HOME I/O en mélangeant les mondes virtuels et réels. L'idée principale est de suivre le concept du STEM (Gonzalez et Kuenzi, 2012) (Corlu et al., 2014) qui est basé sur des applications du monde réel.

Trois applications dans ce domaine sont originales :

- une carte DAQ bon marché,
- une maquette de maison HOME I/O à l'échelle 1/10,
- une maquette de la porte de garage HOME I/O.

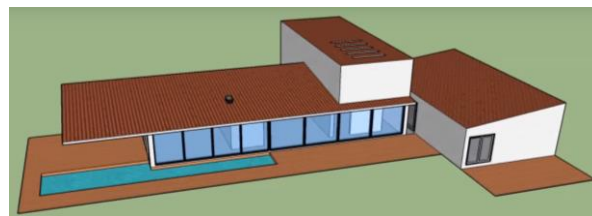


fig 6 : Maquette HOME I/O avec 3D SketchUp

a) Pour que les entrées/sorties de HOME I/O et le monde réel interagissent ensemble, il est nécessaire d'utiliser une carte d'acquisition de données. Les cartes Advantech avec les plugins CONNECT I/O correspondants initialement inclus peuvent être utilisées. Cependant, le coût de la carte d'acquisition Advantech pour un collège français est élevé. L'idée est donc d'utiliser une ARDUINO Uno comme carte DAQ numérique et analogique bon marché avec de nouveaux plugins dédiés dans CONNECT I/O. Le principe est d'utiliser un programme d'analyse syntaxique dans l'Arduino pour échanger des données entre l'Arduino Uno et CONNECT I/O via le port USB. Grâce à ces nouveaux plugins CONNECT I/O, il est donc possible d'interfacer à moindre coût HOME I/O avec :

- de véritables capteurs ou actionneurs (LED, boutons, interrupteurs, capteurs de température...),
  - du matériel externe (PLC, microcontrôleur...).
- Ces plugins sont un succès et largement utilisés dans les collèges.

b) Il est important de travailler avec des systèmes réels. C'est pourquoi, dans un collège de Normandie, un enseignant a fait un projet avec toute sa classe de 3ème pour construire une maquette de maison HOME I/O à l'échelle 1/10, entièrement instrumentée avec des cartes Arduino et des modules Grove (figure 7).

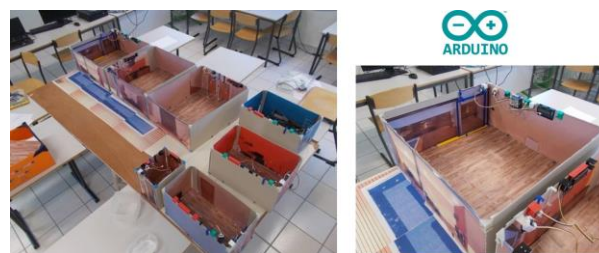


fig 7 : Maquette de maison HOME I/O à l'échelle 1/10

c) Partant de la même idée d'utiliser des systèmes réels complémentaires à HOME I/O, un enseignant de collège de la région Centre a conçu un modèle de porte de garage HOME I/O (figure 8) réalisé avec une imprimante 3D. La maquette est contrôlée par un Arduino. Les élèves utilisent d'abord HOME I/O, avec 2 cartes Arduino Uno, l'une comme DAQ, l'autre comme con-

trôleur. Ainsi, ils peuvent tester le contrôleur et, lorsqu'il fonctionne, ils le valident sur la "vraie" porte de garage. On peut remarquer une méthodologie de "mise en service virtuelle", utilisant un jumeau numérique, comme il est recommandé aujourd'hui dans le cadre de l'Industrie 4.0.

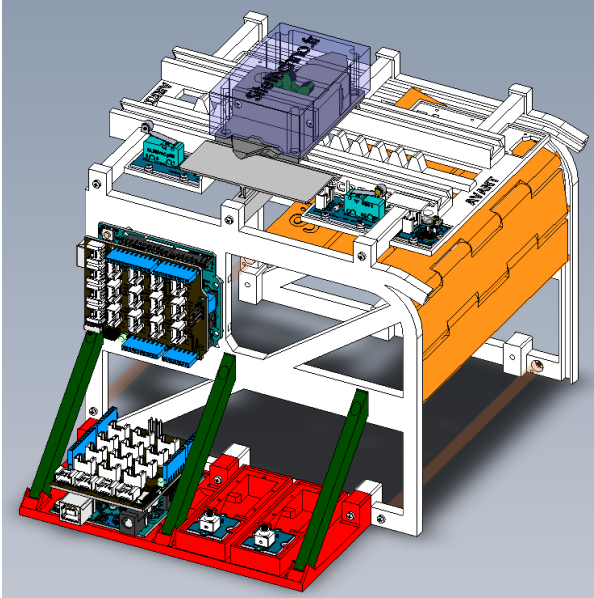


fig 8 : Maquette de de la porte de garage de HOME I/O

## 5.2 HOME I/O au Lycée

Dans les collèges, CONNECT I/O est utilisé principalement comme une passerelle entre HOME I/O et d'autres technologies comme Arduino. Dans les lycées, CONNECT I/O peut être utilisé pour initier les élèves à la logique booléenne et à la conception de contrôleurs. Plusieurs enseignants utilisent également CONNECT I/O (plugins Modbus TCP) et HOME I/O avec Wireshark pour initier les élèves à l'analyse des protocoles réseau. Deux applications pédagogiques intéressantes ont été réalisées par un enseignant parisien en CPGE. La première utilise MIT App Inventor pour proposer aux étudiants de développer une application mobile simple pour contrôler les entrées/sorties de HOME I/O (figure 9). Pour cela, le serveur Http, développé initialement pour Scratch 2.0, inclus maintenant dans HOME I/O, est utilisé. MIT App Inventor est un environnement de programmation visuel et intuitif qui permet à tout le monde - même aux enfants - de créer des applications entièrement fonctionnelles pour les smartphones et les tablettes. L'outil, basé sur des blocs, facilite la création d'applications complexes et à fort impact en beaucoup moins de temps que les environnements de programmation traditionnels. Le projet MIT App Inventor vise à démocratiser le développement de logiciels en donnant à tous, et en particulier aux jeunes, les moyens de passer de la consommation à la création de technologies. C'est une façon motivante d'initier et de former les étudiants à la programmation.

La deuxième application concerne un cours pratique sur les systèmes à événements discrets (SED) utilisant

Matlab et Stateflow. Une bibliothèque Matlab utilisant le SDK HOME I/O et contenant tous les capteurs et actionneurs de HOME I/O a été conçue (figure 10). Il devient ainsi facile de concevoir un contrôleur en utilisant les machines à états de Matlab connectées aux entrées et sorties de HOME I/O.

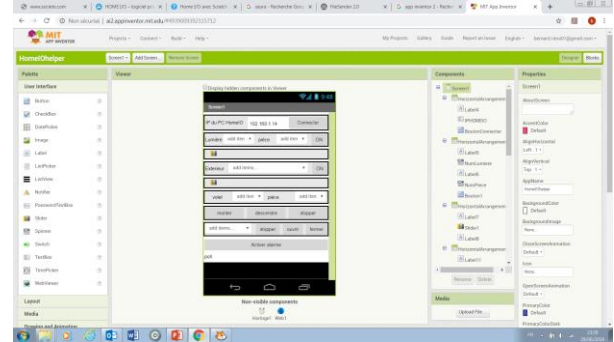


fig 9 : Application de pilotage de HOME I/O pour smartphone avec MIT App Inventor

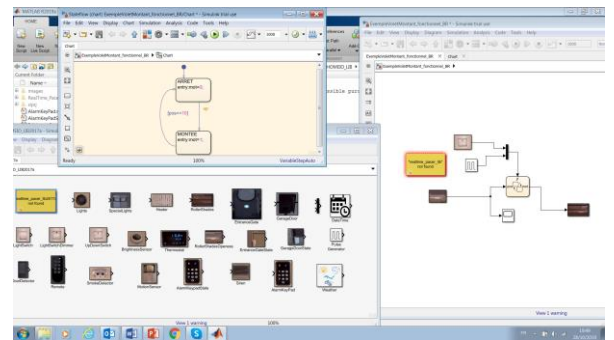


fig 10 : HOME I/O avec Matlab Stateflow

## 5.3 HOME I/O à l'Université

HOME I/O est également utilisé dans plusieurs universités françaises pour initier les étudiants à la commande continue (avec Labview par exemple) et à la commande séquentielle et au SCADA (souvent avec CONNECT I/O). On note également depuis 1 an une utilisation de HOME I/O pour la formation à l'IoT (MQTT, Node-RED...). HOME I/O est utilisé pendant les cours magistraux, les travaux dirigés, les travaux pratiques ou les projets, permettant ainsi d'élaborer de nouvelles stratégies d'enseignement. Par exemple, à Polytech Tours, HOME I/O et CONNECT I/O sont utilisés ensemble pour former les étudiants au langage de programmation FBD. De plus, chaque année, des projets avec HOME I/O sont proposés aux étudiants, parmi lesquels :

- HOME IO contrôlé par un Raspberry Pi avec un runtime Codesys et un iPad (utilisation de HMI Draw) comme système SCADA ;
- Proposition d'une méthodologie pour concevoir une maison intelligente et utilisation de HOME I/O comme jumeau numérique (Chemla et Riera, 2017) ;
- Domotique pour HOME I/O en utilisant l'iPad, HMI Draw et la communication Modbus TCP.

- Utilisation d'un assistant vocal pour contrôler la maison de HOME I/O et de Node-RED via le serveur web intégré à Home IO.

À l'UTT (Université technologique de Troyes), plusieurs cours pratiques sur la logique booléenne combinatoire et séquentielle associent HOME I/O et du matériel réel. Le but est par exemple d'afficher le pourcentage d'ouverture d'un volet sur un écran à 7 segments de type HDSP-5503 (par exemple, "5" signifie que le volet est à moitié ouvert). La connexion à CONNECT I/O est réalisée via une carte DAQ Advantech 4704 I/O. Le nouveau système de licence HOME I/O permet aux étudiants de préparer chez eux les travaux pratiques. À l'université de Reims Champagne-Ardenne, HOME I/O et Scratch 2.0 ont été utilisés pour un premier et unique cours de contrôle logique en deuxième année de DUT informatique (Riera et al., 2019). Une stratégie pédagogique d'apprentissage à partir des erreurs (Wernecke et al., 2018) (Pappas, 2016) a été mise en place pour que les étudiants ressentent et comprennent les spécificités de la logique de commande, sans avoir à traiter de l'automate programmable. Les problèmes de commande proposés sont simples, comme le langage de programmation (Scratch 2.0), mais sans spécification formelle (GRAFSET) et sans méthodologie, le travail n'est pas aussi simple qu'il paraît (Pichard et al., 2018). L'utilisation de HOME I/O comme jumeau numérique pédagogique permet facilement une pédagogie d'apprentissage par l'erreur. Ce cours est un succès depuis 2 ans, les étudiants sont intéressés et motivés comme le prouvent les réponses des étudiants aux questionnaires d'évaluation de cet enseignement.

#### 5.4 HOME I/O à l'école primaire !

Nous avons constaté une utilisation de HOME I/O dans une école primaire avec des élèves de 8 ans (figure 11). Dans l'enseignement "Questionner le monde", les élèves doivent mettre en pratique les premières notions d'économie d'énergie (éclairage, chauffage...) et comprendre et s'exprimer en utilisant le langage mathématique, scientifique et informatique. HOME I/O est utilisé dans ce contexte comme un lieu de découverte : le chauffage est en marche mais la consommation d'énergie est nulle. Comment est-ce possible ? C'est aussi un lieu d'expérimentation et de test d'hypothèse : "vaut-il mieux ouvrir les volets pendant la journée pour consommer moins ? ». Pour tester leurs hypothèses, les élèves peuvent utiliser la tablette virtuelle en mode console pour créer leurs premiers programmes informatiques.



fig 11 : HOME I/O à l'école primaire

## 6 CONCLUSION

Après 4 ans, et les mises à jour et les ajouts, HOME I/O semble être un outil de simulation intéressant pour les STEM et l'apprentissage de l'automatique, du collège à l'université. Ce projet de R&D porté par l'Université de Reims Champagne-Ardenne et le CReSTIC a prouvé qu'il était possible de concevoir un jumeau numérique pédagogique adapté à différents niveaux de formation et permettant des approches pédagogiques originales comme la classe inversée, le jumeau numérique pédagogique, l'apprentissage à partir d'erreurs, les projets... L'objectif est maintenant de promouvoir HOME I/O dans le monde entier.

## REMERCIEMENTS

Merci aux enseignants (et à leurs élèves) qui ont accepté de partager leur travail, en particulier Michel Quiqueret, Nicolas Daligault, Richard Martinez, Eric Mont et David Violeau. Une partie des travaux présentés dans cet article sont réalisés dans le cadre du programme de recherche DUNE EOIE, financé par l'ANR "Agence Nationale de la Recherche".

## Bibliographie

- [1] Chemla, J.-P., Riera, B. (2017). Home automation with a PLC : from requirement to commissioning", *Informatika Scientific Review of the Gabor College, No. 45-2017, Pages 12-18, ISSN 1419-2527*.
- [2] Corlu, M. S., Capraro, R. M., & Capraro, M. M. (2014). Introducing STEM education: Implications for educating our teachers in the age of innovation. *Education and Science, 39(171), 74-85*.
- [3] Gonzalez H.B., Kuenzi J.J. (2012). Science, technology, engineering and mathematics (STEM) education: A primer Congressional Research Service, Washington: DC (2012).
- [4] Pappas, C. (2016). Les 7 avantages de la pédagogie de l'erreur en eLearning, <https://elearningindustry.fr/pedagogie-de-lerreur-avantages>
- [5] Pichard, R., Philippot, A., Saddem, R., Riera, B. (2018). Safety of Manufacturing Systems Controllers by Logical Constraints With Safety Filter. *IEEE Transactions on Control Systems Technology:1 - 9, 2018, 10.1109/TCST.2018.2827329*.
- [6] Riera, B. Pichard, R., Philippot, A., Saddem, R., Gellot, F., Annebicque, D., Emprin, F. (2017). HOME I/O et FACTORY I/O : 2 logiciels innovants de simulation de PO pour la formation à l'automatique, *12ème Conférence CETSIS. Le Mans, France (mai 2017)*.
- [7] Riera, B., Vigario, B. (2017). "HOME I/O and FACTORY I/O: a virtual house and a virtual plant for control education", *IFAC-PapersOnLine, Volume 50, Issue 1, 2017, Pages 9144-9149, ISSN 2405-8963*.
- [8] Riera, B. Philippot, A., Annebicque, D. (2019). « Teaching the first and only logic control course with HOME I/O and Scratch 2.0 », *IFAC-PapersOnLine, Volume 52, Issue 9, 2019, Pages 109-114, ISSN 2405-8963*.
- [9] Wernecke, U., Schütte, K., Schwanewedel, J., Harms, U. (2018). "Enhancing Conceptual Knowledge of Energy in Biology with Incorrect Representations". *CBE Life Sci Educ. 2018 Spring;17(1). pii: ar5. doi: 10.1187/cbe.17-07-0133*.