



**HAL**  
open science

# Enseignements hybrides basés sur des grains pour le développement de scénarios individualisés pour la remise à niveau en électronique

Alexis Landrault, Christophe Pasquier, Omar Elmazria, Hamid M'jahed, Frédéric Sarry, Lakhdar Zaid

## ► To cite this version:

Alexis Landrault, Christophe Pasquier, Omar Elmazria, Hamid M'jahed, Frédéric Sarry, et al.. Enseignements hybrides basés sur des grains pour le développement de scénarios individualisés pour la remise à niveau en électronique. Journal sur l'enseignement des sciences et technologies de l'information et des systèmes, 2023, 22, pp.1012. 10.1051/j3ea/20231012 . hal-04342982

**HAL Id: hal-04342982**

**<https://uca.hal.science/hal-04342982v1>**

Submitted on 15 Mar 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

# Enseignements hybrides basés sur des grains pour le développement de scénarios individualisés pour la remise à niveau en électronique

Alexis Landrault<sup>1</sup>, Christophe Pasquier<sup>1</sup>, Omar Elmazria<sup>2</sup>, Hamid M'Jahed<sup>2</sup>, Frédéric Sarry<sup>2</sup>, Lakhdar Zaid<sup>3</sup>

Adresses : <sup>1</sup>UCA - Clermont Auvergne INP/Polytech Clermont - Institut Pascal UMR6602 UCA/CNRS

<sup>2</sup>Université de Lorraine, Polytech Nancy, CNRS, Institut Jean Lamour, F-54000 Nancy, France

<sup>3</sup>Université d'Aix-Marseille, Polytech Marseille, IM2NP, F-13003 Marseille, France

mél : [alexis.landrault@uca.fr](mailto:alexis.landrault@uca.fr)

**RESUME** : Cet article présente le contenu et les objectifs d'une approche originale dans le domaine de l'innovation pédagogique numérique dans un enjeu de mutualisation, d'échanges et d'actions en faveur de la réussite des étudiants. Cette approche a été développée dans le cadre du projet OpenING (Ouverture du cycle Préparatoire aux Enseignements Numériques en écoles d'INGénieurs) porté par la Fondation partenariale Polytech au nom des écoles du réseau Polytech et retenue par le Ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation dans le cadre d'un appel à projets lancé par l'ANR. Ce projet se veut être un véritable accélérateur pour l'enseignement hybride au sein des écoles du réseau Polytech. La motivation de la démarche proposée est de produire des grains pédagogiques dans différentes disciplines et notamment en électronique pour la remise à niveau (à minima) des primo-arrivants en étude supérieure. À l'aide de ces grains, l'apprenant pourra revoir des bases de la matière et s'autoévaluer, l'objectif final étant de permettre aux étudiants de se familiariser aux pratiques de formation en ligne "autonomes" par l'acquisition de notions, la proposition de quiz et d'exercices ciblés. L'originalité de ce projet est de permettre aux apprenants en plus de suivre des grains théoriques, de réaliser des travaux pratiques en ligne en utilisant les principaux appareils d'instrumentation et de mesure. Un retour des premiers apprenants est proposé en fin d'article.

**Mots clés** : Grains pédagogiques, mise à niveau, parcours de formation, apprentissage en autonomie.

## 1 INTRODUCTION

La maîtrise des concepts de base en électronique est centrale dans les filières d'élèves-ingénieurs et de master traitant de l'électronique, la microélectronique, les systèmes embarqués ou l'énergie. En particulier, il est apparu nécessaire de mettre en place un dispositif à la fois souple et personnalisé afin de faciliter l'accompagnement et la préparation des nouveaux bacheliers aux études supérieures dans le domaine de l'électronique. En effet, le contexte très particulier de ces dernières années (crise sanitaire, réforme du lycée) a accéléré le besoin en module d'enseignement de remise à niveau individualisée pour les primo-arrivants en étude supérieure et c'est dans ce cadre que s'inscrit le projet OpenING qui a été le cadre de ces travaux. Dans l'enseignement hybride décrit dans ce papier, les modules de remise à niveau se découperont en grain (petit élément de cours) permettant à l'apprenant un apprentissage en autonomie à la fois sur des éléments théoriques (grands théorèmes de la théorie des circuits) et sur les aspects plus applicatifs de l'électronique (simulation de circuits ou sensibilisation aux éléments d'instrumentation de mesures).

La seconde section de ce papier présente le contexte du travail présenté. Elle permet notamment d'introduire les motivations de l'approche et le cadre de ce projet puis de définir le concept de grain pédagogique. La section trois décrit en détail les différents grains qui ont été implantés dans ce projet, en détaillant leur contenu, leurs attendus et leur objectif. La section quatre présentera les premiers retours issus d'étudiants sur ce nouvel outil avant une conclusion synthétique.

## 2 CONTEXTE

### 2.1 Motivations et enjeux de l'approche

Le réseau Polytech donne une place à l'innovation, notamment dans le domaine du numérique au sein des pratiques pédagogiques dans un enjeu de mutualisation, d'échanges et d'actions en faveur de la réussite des élèves. Le retour rapide d'expériences des écoles pendant la crise sanitaire et le partage constant des pratiques dans ce contexte ont permis de montrer l'importance de la transformation pédagogique par l'accélération des actions déjà engagées et l'émergence de nouvelles approches pédagogique.

A cela s'ajoute la mise en œuvre à la rentrée 2019 dans les lycées de la réforme établissant la suppression des filières au profit d'un enseignement de tronc commun assorti de trois enseignements de spécialité aux choix parmi douze. Cette situation a induit des parcours différents selon les spécialités choisies au bac et a mis en évidence des socles de connaissances hétérogènes.

C'est dans ce contexte qu'est né le projet OpenING [1] qui vise donc à accompagner en priorité les élèves de premier cycle. Choisi comme 18 autres projets innovants en plus des 15 lauréats retenus par le Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation dans le cadre d'un appel à projets lancé par l'ANR, le projet OpenING a vocation à produire des grains pédagogiques pour les disciplines fondamentales du socle commun du PeiP, le cursus préparatoire intégré des écoles Polytech.

C'est dans le cadre de ce projet que se sont développés des grains pour la matière électronique fondamentale dans les filières d'élèves-ingénieurs et de master traitant de l'électronique, la microélectronique, les systèmes embarqués ou l'énergie. Ces grains sont des petites unités d'enseignements permettant de faire le point sur une (ou quelques) notion(s). Les primo-arrivants en étude supérieure ont souvent besoin de consolider des bases de théories des circuits (théorèmes généraux), d'asseoir leurs connaissances en mathématiques appliquées pour l'électronique ou de reprendre des notions fondamentales comme la modélisation ou la simulation de circuits électronique.

De façon plus large, les enjeux liés à la création de ces nouveaux grains pédagogiques et de parcours de remise à niveau sont multiples :

- Inciter et accompagner les enseignants à la transformation de leurs enseignements vers une pédagogie hybride ;
- Consolider les connaissances des élèves primo-arrivants en cycle préparatoire (PeiP) ;
- Familiariser les étudiants aux pratiques innovantes de suivi de parcours de formation en ligne "autonomes" par l'acquisition de notions, la proposition de quiz et d'exercices ciblés.

Cet article se concentre sur la matière électronique, mais le projet OpenING couvre un large spectre de matières scientifiques (6 au total comme indiqué dans la figure ci-dessous) auquel ont participé les enseignants des écoles Polytech inscrits dans cette démarche de conception et de mise en place d'une pédagogie hybride.



Fig. 1 : Matières thématiques du projet OpenING

## 2.2 Quel est le public cible ?

Ce projet vise prioritairement les étudiants des classes préparatoires en première année des écoles du réseau Polytech (autrement appelées PeiP), les étudiants issus de parcours spécifiques (médecine, sciences et techniques) et/ou en situation particulière (artistes et sportifs de hauts niveaux, étudiants internationaux, étudiants handicapés).

Toutefois, certains élèves ingénieurs peuvent aussi être concernés par les dispositifs soit pour une remise à niveau soit, de par leur cursus pré-école d'ingénieur, pour

se former sur un point prérequis par la formation et qui pourrait manquer à son bagage scientifique.

La formation est accessible via E.planet [2] qui est la plateforme de formation du réseau Polytech. On y trouve l'ensemble des ressources OpenING comme illustré à la figure ci-dessous et on peut y accéder directement à partir d'un compte universitaire.

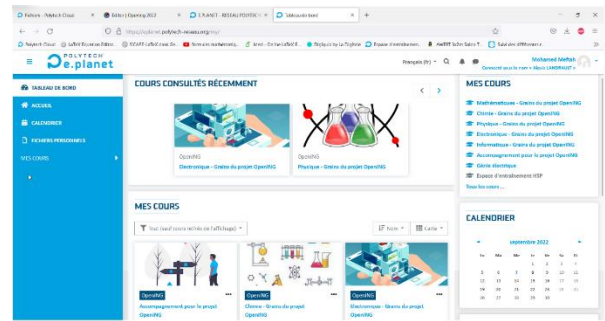


Fig. 2 : Page d'accueil de E.planet et accès aux cours (grains) du projet OpenING

## 2.3 La notion de grain pédagogique

Un grain pédagogique est la plus petite unité pédagogique d'un programme, correspondant à un (ou quelques) objectif(s) bien identifié(s). Il constitue une entité autonome, mais pouvant s'intégrer dans différents parcours.

Exemple : On peut imaginer un grain pédagogique sur les règles de calcul avec des puissances. Ce grain pourra donc facilement s'intégrer dans plusieurs chapitres de mathématiques au collège comme au lycée (en prérequis pour l'étude de suites géométriques par exemple), mais également dans d'autres disciplines, comme les sciences physiques (pour l'écriture scientifique, etc).

Il est composé de l'ensemble des contenus nécessaires pour atteindre l'objectif, et pour évaluer la réussite de cet objectif.

Un grain pédagogique contient donc des éléments multimédias (textes, images, vidéos...), mais également des exercices interactifs, dont certains permettant l'(auto)évaluation, pour attester de la réussite de l'objectif visé.

La durée d'un grain pédagogique est variable en fonction de l'objectif recherché, mais est relativement courte (disons de 30 minutes à 2h).

## 2.4 La création de parcours

L'objectif final est de créer des parcours pour l'apprentissage autonome de l'apprenant. On parle aussi de granularisation d'un enseignement lorsque l'on découpe le contenu de ce cours en de nombreux items (appelés

grains) afin de pouvoir les combiner dans des parcours pédagogiques différents.

La granularisation permet donc de générer des parcours individualisés pour les apprenants, en fonction de leurs acquis ou non et/ou de leurs attentes.

Concrètement, un parcours de remise à niveau regroupe les grains d'une matière et permet une formation en ligne autonome, afin de favoriser la révision ou l'acquisition de notions par les étudiants comme illustré à la figure ci-dessous :



Fig. 3 : Exemple de parcours de remise à niveau

On voit apparaître sur cette figure la scénarisation d'un parcours de remise à niveau (pour l'exemple ici dans la matière physique) qui typiquement est constitué des étapes suivantes : après une présentation de l'équipe (étape 1) pédagogique, une description du parcours (étape 2) est faite à l'apprenant. Ensuite, un test en amont (étape 3), aussi appelé test d'auto-positionnement, est proposé dès le début de la formation : celui-ci permet à l'apprenant de situer ses connaissances par rapport au niveau attendu en fin de formation, selon des objectifs pédagogiques bien définis. Cela offre la possibilité de mesurer le niveau de compétences de l'apprenant pour lui proposer un plan de parcours personnalisé (étape 4).

Enfin une évaluation en aval (étape 5) permet de mesurer le delta de progression de l'apprenant. Les résultats de celui-ci permettent de conclure (étape 6) sur les acquis de l'apprenant et de le conseiller si certains attendus et aspects de la formation ont besoin d'être consolidés.

### 3 LES GRAINS DE LA MATIÈRE ÉLECTRONIQUE

#### 3.1 Les outils

Dans le cadre du projet OpenING, il a été décidé d'utiliser le logiciel libre de création de contenu interactif H5P [3] (abréviation de HTML5 Package). H5P est une plateforme en ligne entièrement gratuite permettant de créer de nombreuses activités pédagogiques numériques en HTML5 sans avoir besoin de connaître le codage informatique.

À proprement parler, H5P n'est pas un outil, mais une boîte à outils regroupant quantité de logiciels qui permettent d'intégrer du contenu (vidéo, quizz, exercices, « memory », etc) à un enseignement numérique statique usuel. H5P sera donc très pratique pour créer les grains et y insérer (par exemple) des QCM pour les apprenants. Afin d'assembler des grains et de créer des parcours, il a été choisi de s'appuyer sur Genially [4]. C'est un outil web qui permet de créer des infographies animées, des présentations interactives et même des « escape-games » (jeux d'évasion). Genially permet de soigner l'esthétique d'un contenu pédagogique et de le présenter aux étudiants de façon ludique. Genially est un logiciel disponible en ligne en version gratuite.

L'importance du volet expérimental en électronique nous a conduit à envisager la mise en place d'une plateforme de travaux pratiques accessibles à distance. Après une première étude comparative des plateformes existantes, nous nous sommes orientés vers la solution proposée par Keysight et qui répond parfaitement à notre problématique. La solution Keysight permet en utilisant le système de commutation à distance U3900DAQ [5] de contrôler plusieurs équipements d'instrumentation (oscilloscope, générateur de signaux, multimètres, matrice de relais, alimentation, ...). Un élève qui dispose des droits requis, peut en passant par un système de réservation réaliser un TP en distanciel. La matrice des relais permet de sélectionner un TP parmi plusieurs à sa disposition.

Cette plateforme expérimentale de « Travaux Pratiques en distanciel » est composée de 9 postes de travail répartis sur 3 écoles du réseau Polytech (Clermont-Ferrand, Marseille et Nancy). Chaque poste dispose de 40 relais DC et de 6 relais RF (radio fréquence) ce qui permet de réaliser jusqu'à 6 TP différents.

Des séries de TP en lien avec les grains pédagogiques réalisés dans le projet OpenING sont actuellement réalisés ou en cours de réalisation. Avant de suivre un TP en distanciel, l'étudiant aura déjà suivi le ou les grains théorique(s) correspondant(s) ainsi que le TP de simulation réalisé sur le logiciel libre LT-Spice.

Exemple de TP :

- Circuits simples permettant la validation des théorèmes généraux en étude statique.
- TP en lien avec des circuits passifs de type RC, CR, RLC ... qui seront étudiés en régime transitoire et harmonique.
- TP en lien avec des circuits actifs utilisant des amplificateurs.

#### 3.2 Le choix des grains de la matière électronique

Le choix des grains de la matière électronique a été guidé par l'objectif commun des enseignants en électronique du réseau Polytech (quelle que soit leur école de



rattachement) d'homogénéiser le socle de connaissances en électronique des primo-arrivants en étude supérieure. L'hétérogénéité du socle de connaissances dans cette matière devient de plus en plus prégnante dans le contexte de la réforme des lycées (socle scientifique et technologique en fonction des spécialités suivies par le lycéen).

Dans ce contexte, il nous a semblé important de reprendre les bases de la matière sur plusieurs aspects comme indiqué à la figure 4 : les théorèmes généraux de l'électronique, les outils mathématiques associés à l'étude des circuits, les notions cruciales de modélisation et de simulation et finalement des éléments instrumentations (pour les aspects pratiques).



Fig. 4 : Les grains de la matière électronique

### 3.3 Théorèmes généraux (partie 1 et 2)

Une première partie a pour objectif de familiariser l'apprenant avec les outils les plus fondamentaux, dans le cadre du régime de fonctionnement le plus simple : le régime continu. Tous les circuits électriques et électroniques obéissent aux mêmes conventions et lois qui doivent être maîtrisées et appliquées avec efficacité. Les notions de tension, courant, dipôle, de branche, de maille etc ... sont définies. Des lois essentielles comme la loi d'Ohm doivent être connues et utilisées par les étudiants : des exercices tests et d'autoévaluation sont proposés.

La deuxième partie sur les théorèmes généraux aborde un certain nombre de théorèmes ou outils puissants comme les classiques lois de Kirchhoff, le diviseur de tension et diviseur de courant, les théorèmes de Thévenin et de Norton, le théorème de Millman. Tous ces points sont organisés en grain avec partie cours, exemple puis auto-évaluation. Ils sont essentiels car ils permettent d'alléger considérablement des calculs fastidieux et limitent les risques d'erreurs.

### 3.4 Mathématiques appliquées pour l'électronique

Le grain principal de cette partie traite du populaire diagramme de Bode qui est un outil permettant de représenter la réponse en fréquence d'un système électronique. Le choix a été fait de mixer cours, vidéos et exercices d'applications pour aborder ces notions.

### 3.5 Éléments d'instrumentation et de mesures

Le constat a été fait que les différents appareils de mesure nécessaires en électronique étaient peu voire complètement méconnus des étudiants entrant en cycle préparatoire. Il nous est alors paru essentiel de préparer plusieurs grains pour présenter certains des principaux appareils utilisés en électronique lors des travaux pratiques pour apprendre aux étudiants à bien les utiliser. Les appareils qui ont été retenus sont le voltmètre, l'ampèremètre, le multimètre, l'oscilloscope et le générateur basse fréquence.

Du fait de la diversité des équipements disponibles, il a été choisi de présenter les fonctions de bases de chaque famille d'appareil à partir d'équipements simples qui ne proposent pas de fonctions trop évoluées dans le but de ne pas perdre les étudiants dans de multiples possibilités de réglages. Le but étant bien de donner à l'étudiant les clés pour maîtriser les manipulations basiques de chaque type d'appareil. Chaque grain comportera cependant quelques photos de différents équipements pour montrer la diversité possible des appareils rencontrés.

Les grains commencent par présenter la ou les fonctions des appareils, puis à l'aide de photos et vidéos illustrent différents modes opératoires pour réaliser des manipulations basiques. Des questions simples et de petits exercices sont placés pour vérifier que l'étudiant a bien acquis les concepts de bases. Afin de prévenir quelques erreurs typiques que l'on peut souvent observer en salle de travaux pratiques, celles-ci sont soit directement présentées, soit incluses dans de petits exercices. La figure 5 illustre la philosophie de ce grain qui permet à l'apprenant à l'aide d'élément interactif (ici les bulles « point d'interrogation ») de se former à l'utilisation d'un oscilloscope.

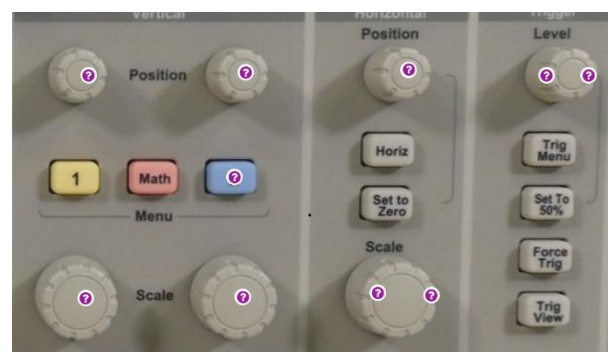


fig 5 : Capture d'élément interactif du grain sur l'oscilloscope

Les grains proposés sont inclus dans le parcours électronique en préambule à la réalisation des manipulations à distance.

Des grains « avancés » pourront par la suite compléter l'utilisation de certains appareils comme l'oscilloscope

pour amener l'apprenant à utiliser des fonctionnements plus complexes.

### 3.6 Simulation de circuits électroniques avec le logiciel LTspice

Il n'est pas toujours évident pour un étudiant de pouvoir prédire le comportement des composants seuls et encore plus quand ils sont utilisés dans un environnement avec d'autres composants (dans un circuit complexe). Cette problématique se pose également pour les professionnels de l'électronique. Ainsi, pour réduire les coûts de fabrication et limiter le « time to market » (le temps de mise sur le marché d'un nouveau produit), les outils de simulation sont devenus indispensables.

En période d'apprentissage, la simulation aide à affiner la compréhension des phénomènes étudiés en fixant ou en changeant les paramètres du logiciel de simulation (par exemple en faisant varier la valeur d'une résistance ou la valeur de la source de tension).

Que ce soit à des fins économiques ou pédagogiques, la simulation est devenue une étape indispensable du flot de conception des circuits électroniques. Le futur ingénieur, chercheur ou technicien en électronique se doit donc de maîtriser un outil de simulation. Dans le cadre de grain pédagogique, le choix s'est porté sur le simulateur gratuit LTspice [6] basé sur le simulateur de circuit électronique SPICE (fameux moteur de simulation remontant aux années 70 pour les premières versions et issu de l'université de Berkeley en Californie). Deux des raisons du succès de LTspice (que ce soit dans le monde industriel ou académique) sont que contrairement à nombre de logiciels de simulation gratuits, il n'est pas bridé en nombre maximum de nœuds du circuit à simuler et de plus il est multiplateforme (construit initialement pour Windows mais disponible pour Mac et facilement portable sur Linux via un logiciel comme Wine). Après une aide à l'installation de l'outil et à sa prise en main, le grain propose d'accompagner l'apprenant vers la simulation de circuits en régime continu puis en régime harmonique pour finir par des montages un peu plus complexes introduisant des circuits intégrés (type amplificateur opérationnel).

### 3.7 Modélisation d'un réseau linéaire du premier ordre - Le circuit RC

L'idée dans ce grain a été de décomposer l'approche en deux parties, d'une part l'approche mathématique et d'autre part son utilisation dans le cas d'un circuit RC. Pour cela nous avons donc procédé à la description d'une équation différentielle du premier ordre, à sa résolution en prenant en compte la solution sans second membre et à la solution particulière.

$$\tau \frac{df(t)}{dt} + f(t) = e(t)$$

Nous avons montré ensuite en quoi ce modèle pouvait s'appliquer au circuit électrique. Nous avons pour cela établi l'équation de la maille afin d'aboutir à son équation :

$$RC \frac{dV_S(t)}{dt} + V_S(t) = E(t)$$

Il a ainsi été possible de transposer la solution mathématique au modèle électrique

$$V_S(t) = E \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

Cette approche vise aussi à mettre en évidence les liens qui existent entre différents enseignements et en quoi les compétences acquises peuvent être utiles.

## 4 LE RETOUR DES ETUDIANTS

Sur l'ensemble de toutes les matières du projet OpenING, ce sont des dizaines de ressources de type « grains » numériques sur les prérequis avant entrée en classe préparatoire qui ont été développées.

Au regard du programme des classes préparatoires en première année des écoles du réseau Polytech (PeiP), ce sont 26 UE (unité d'enseignement) qui sont concernées. Même si les grains sont encore en cours de développement (fin du projet prévu pour l'été 2023), c'est déjà plus de 1800 étudiants des classes préparatoires du réseau Polytech qui bénéficient déjà de ce programme. Les avis de premiers étudiants « testeurs » (quelques dizaines) ont été recueillis à l'aide d'une fiche/formulaire de testeur évoluant :

- Niveau de maîtrise (de l'apprenant testeur) de la notion avant le test du grain
- Compréhension à la fin du grain
- Ergonomie du grain
- Zones d'expression libre sur ce qui a été le plus apprécié dans le grain et inversement ce qui a posé le plus de difficultés
- Idées d'améliorations que propose l'apprenant

Ce formulaire testeur s'inscrit dans une démarche d'amélioration continue du programme qui permet aux créateurs des grains d'ajuster le contenu de ceux-ci en s'appuyant sur ces retours. Par exemple sur le grain « théorèmes généraux », on a vu apparaître un tel retour : « plus d'exercices, et plus d'explications sur certaines notions dont vous parlez, je pense à l'aspect de polarisation d'un dipôle qui m'est flou même après ce grain » de la part d'un apprenant testeur s'estimant a priori comme ayant une maîtrise moyenne à faible de ces notions-là. Ceci a permis aux créateurs de cours d'enrichir le contenu d'exercices et d'exemples précisant cette notion de polarisation de dipôle.

## 5 CONCLUSION

Dans cet article, nous avons présenté un contenu pédagogique hybride en électronique constituant une série de grains pédagogiques qui permet de familiariser les étudiants aux pratiques innovantes de suivi de parcours de formation en ligne "autonomes" par l'acquisition de notions, la proposition de quiz et d'exercices ciblés. L'objectif de cet enseignement est de permettre à des étudiants pré-filières d'élèves-ingénieurs ou de master nécessitant des bases solides en électronique de se remettre à niveau en autonomie.

Conçues pour les élèves de 1er cycle, ces ressources développées dans le cadre du projet OpenING (Ouverture du cycle Préparatoire aux Enseignements Numériques en écoles d'INGénieurs) sont sous Licence Creative Commons [7] et donc accessibles à tous.

## Bibliographie

- [1] Document de référence : Lettre de mission GT Matières OpenING, <https://cloud.polytech-reseau.org/index.php/s/FBA4rSdna5sHFpC>. Consulté le 11 février 2023
- [2] Site de la plateforme de formation du réseau Polytech E.planet, <https://eplanet.polytech-reseau.org>. Consulté le 11 février 2023
- [3] Site officiel de H5P, <https://h5p.org/>. Consulté le 11 février 2023
- [4] Site officiel de Genially, <https://genial.ly/>. Consulté le 11 février 2023
- [5] Fiche technique officiel Keysight du U3900DAQ, <https://www.keysight.com/us/en/assets/3120-1519/datasheets/U3900DAQ-Switching-System-for-Education-Lab.pdf>. Consulté le 11 février 2023
- [6] Site de téléchargement du logiciel LTspice, <https://www.analog.com/en/design-center/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator.html/>. Consulté le 11 février 2023
- [7] Site de creative commons sur la licence CC BY NC SA (Ressources téléchargeables et modifiables en dehors de toute contre partie commerciale), <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.0/fr/>. Consulté le 11 février 2023