

numériser une ferme verticale

Contribution de Würth Elektronik eiSos

La population mondiale croît, et avec elle les besoins en nourriture. L'agriculture verticale est une réponse prometteuse à ce défi. L'optimisation des facteurs de croissance des plantes permet en effet d'obtenir des produits de qualité et un rendement élevé. Cet article présente un prototype de mini-serre relié à l'IdO.

Selon l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), il faudrait augmenter de 50 % la production agricole mondiale d'ici 2050 pour être en mesure de nourrir les 10 milliards d'habitants que comptera alors notre planète. Les terres cultivables n'ont cependant pas un potentiel infini. Leur surface a même diminué au cours des dernières décennies, passant de près de 40 % de la surface terrestre en 1991 à seulement 37 % en 2018 [1].

La surface des terres agricoles était estimée à 4,7 milliards d'hectares en 2020, soit environ un tiers des terres émergées. Un tiers de cette surface comprend des terres cultivées (environ 1,6 milliards d'ha), les deux autres tiers étant des prairies et pâturages permanents (environ 3,2 milliards d'ha) [2]. 1,6 milliards d'ha représentent 12 % des terres émergées. Ces chiffres n'ont guère évolué depuis 2000. La population mondiale est quant à elle passée

de 6,15 milliards d'habitants en 2000 à 7,91 milliards en 2021, soit une augmentation de près de 30 %. Cette croissance se poursuit.

Des techniques novatrices comme les fermes verticales devraient permettre d'accroître la production agricole et ainsi répondre aux besoins en nourriture, être sources d'aliments frais et nutritifs pour des milliards de personnes, et aussi réduire l'impact environnemental de l'agriculture conventionnelle. Ces exploitations numériques ne pourront prospérer que si elles sont reconnues et soutenues par une réglementation appropriée, et si elles recourent à des systèmes d'éclairage et de surveillance à la pointe de la technologie.

Le but de cet article est de montrer le rôle clé de l'éclairage artificiel et des systèmes de contrôle à distance pour l'agriculture verticale, et comment vous pourriez, de façon rapide et économique, mettre en œuvre une

ferme verticale à l'aide d'outils de prototypage adaptés.

Qu'est-ce que l'agriculture numérique ?

« L'agriculture numérique est l'intégration des technologies numériques dans les processus tels que la gestion du bétail et des cultures. Elle offre aux exploitants la possibilité d'accroître leur production, de réduire leurs coûts d'exploitation à long terme, et d'éliminer les aléas. » [3]

Cette approche peut s'appliquer aux terres agricoles actuellement disponibles, mais aussi aux zones urbaines denses n'offrant que peu de surfaces exploitables. Les cultures en intérieur présentent plusieurs avantages. Vous pouvez choisir votre propre semis, maîtriser les facteurs environnementaux, obtenir des produits de qualité, et minimiser les émissions de carbone. Quant aux fermes verticales, leur bénéfice premier est bien sûr celui de l'espace, puisque par définition elles permettent de démultiplier la production d'une surface de sol donnée.

L'agriculture verticale numérique pose toutefois quelques problèmes. Le principal est le coût de l'électricité nécessaire aux nombreuses LED qu'exigent de telles installations. Il est possible d'utiliser des LED ne produisant que la partie du spectre lumineux utile à la croissance des plantes, mais optimiser des conditions d'éclairage à grande échelle tout en cherchant à minimiser leur coût reste difficile.

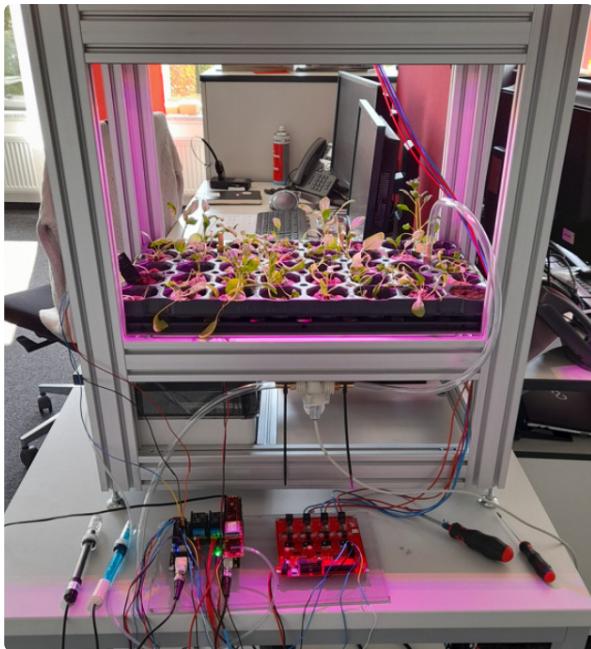


Figure 1. Prototype de culture d'intérieur.
(Source : Würth Elektronik eiSos)

De plus, les conditions environnementales à maîtriser dépendent à la fois de la nature de la plante et de sa phase de croissance. Or il est très difficile de surveiller, modifier et optimiser dynamiquement et manuellement des facteurs tels que la température, l'hygrométrie et l'humidité du sol.

L'IdO comme solution d'automatisation

Cet article propose une solution à base d'IdO pour relever ces défis et automatiser une ferme verticale. Le terme *Internet des Objets* (IdO) décrit l'ensemble des technolo-

gies qui permettent de connecter plusieurs dispositifs entre eux et de les faire interagir. L'interconnexion de dispositifs produisant des données a conduit à un grand nombre d'applications et progrès dans les domaines de l'automatisation industrielle, de la santé, de la domotique, ou encore des villes, exploitations agricoles et réseaux électriques dits « intelligents ».

Considéré comme la « quatrième révolution industrielle », aussi appelé l'industrie 4.0, l'*Internet Industriel des Objets* (IIoT) représente quant à lui la numérisa-

tion des ressources et procédés reliant les machines, services et sites de production à leurs travailleurs, gestionnaires et partenaires. Une interconnexion plus dense du monde numérique et du monde physique peut améliorer productivité, sécurité, rentabilité et durabilité.

L'IIoT crée un univers de capteurs qui accélère l'apprentissage profond des opérations existantes, d'où une contextualisation et une détection rapides et automatiques des modèles et tendances. Cette saisie quantitative d'opérations qualitatives conduit notamment à une meilleure qualité, à plus d'efficacité, à une sécurité accrue et à une réduction des coûts.

La solution présentée ici permet d'automatiser et commander l'éclairage, l'irrigation et l'environnement d'une ferme verticale. Elle repose sur des outils de prototypage rapide et d'analyse des données en nuage. La **figure 1** montre un prototype de mini-serre réalisé avec ces outils.

Implantation des cartes « Feather »

Toute solution à IdO récupère des données, puis les envoie vers le cloud pour les analyser et en tirer la valeur ajoutée souhaitée.

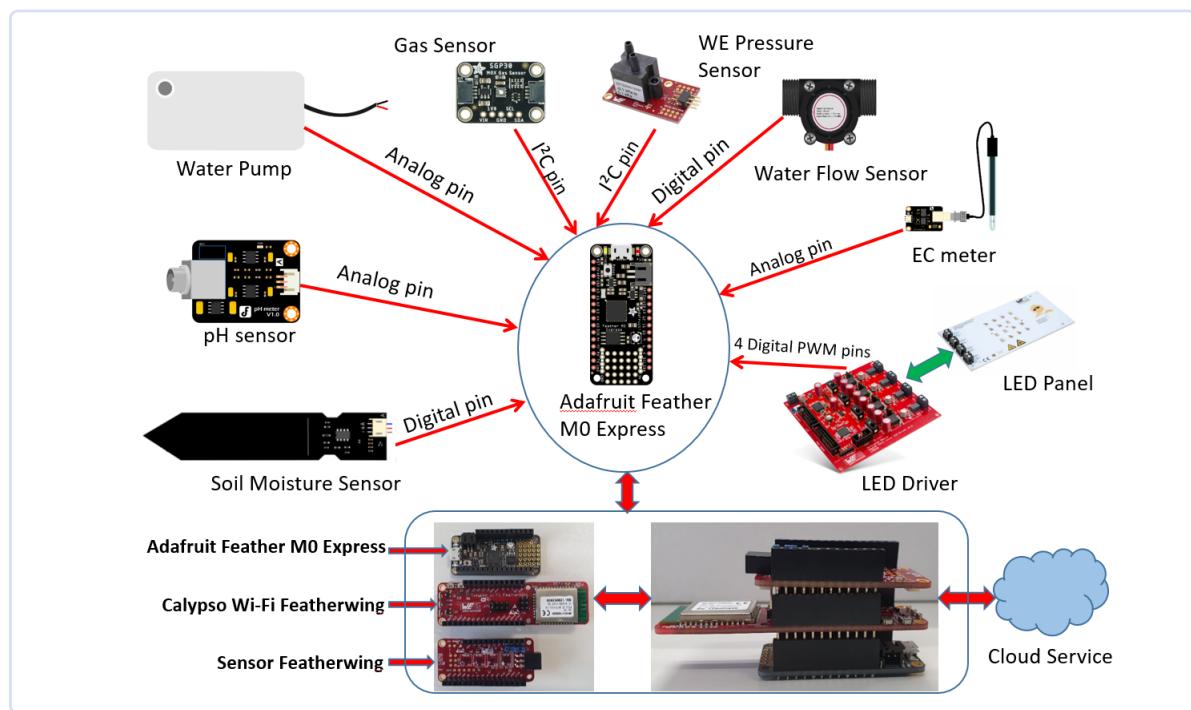


Figure 2. Les cartes au format Feather utilisées pour notre prototype à IdO.
(Source : Würth Elektronik eiSos)

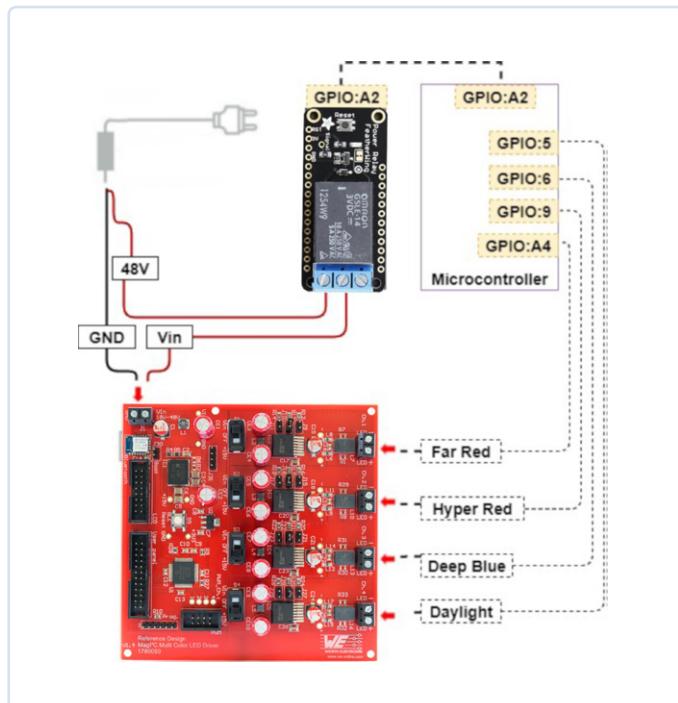


Figure 3. Le système d'éclairage horticole comprend une matrice de LED monocouleurs et un pilote de LED. (Source : Würth Elektronik eisSos)

La solution présentée ici repose sur du matériel open source et des écosystèmes logiciels, plus précisément sur des cartes *FeatherWing* de Würth Elektronik, la carte *M0 Express Feather* d'Adafruit, nos LED horticoles, leurs pilotes, et divers capteurs et composants (fig. 2).

L'idée était de créer un système en optimisant d'un côté la croissance, de l'autre les consommations d'eau et d'électricité.

Irrigation et éclairage

Notre système est constitué d'un support pour le sol et d'un éclairage assuré par un kit comprenant un panneau de LED RVBB (le dernier B pour Blanc) et sa carte de commande à 4 canaux. Ce kit d'éclairage permet de combiner des couleurs RVBB en fonction de l'éclairage souhaité, de stimuler la croissance de plantes, ou encore de créer un éclairage dit « axé sur l'humain ». Le système d'irrigation et le réservoir d'eau utilisent de l'eau recyclée dont le pH et la conductivité électrique sont mesurés et contrôlés. Les valeurs mesurées sont envoyées dans le cloud au moyen de modules de connexion de Würth Elektronik.

Un capteur surveille l'humidité du sol, de l'eau étant apportée au besoin à l'aide d'une petite pompe. Le reste de l'eau est collecté et filtré avant de retourner à un réservoir. Au centre du système se trouvent les

cartes *Feather M0 Express* et *Power Relay* d'Adafruit. Les modules *FeatherWing* servent de commutateurs. Les données sont envoyées dans le cloud puis traitées, analysées et utilisées pour le contrôle du système d'irrigation.

Système d'éclairage adaptatif

Le système d'éclairage (fig. 3) repose sur deux cartes : un panneau à LED horticoles monochromatiques doté de 4 canaux séparés, et le pilote de LED multicolores *MagI3C* ; ces deux cartes font partie du *Lighting Development Kit* de WE [4], un kit conçu pour favoriser la croissance des plantes. Un module *MagI3C LED Step Down High Current* permet de définir individuellement l'intensité et la couleur des 4 bandes de LED en fonction de la plante. Le panneau à LED horticoles comprend 16 LED à boîtier en céramique, dont 6 LED *Hyper Red* (660 nm), 4 *Far Red* (730 nm), 2 *Deep Blue* (450 nm), et 4 LED blanches. Le système se commande par Bluetooth, WiFi ou connexion cellulaire. La solution cloud décrite ici se veut générale.

Système d'irrigation

Le niveau d'eau du réservoir est mesuré par un module *WSEN-PDUS*, un capteur de pression différentielle très précis, à microsystème électromécanique et piézo-résistif (fig. 4). L'eau enrichie en nutriments est envoyée dans l'égouttoir par une pompe de 12 V couplée à un débitmètre.

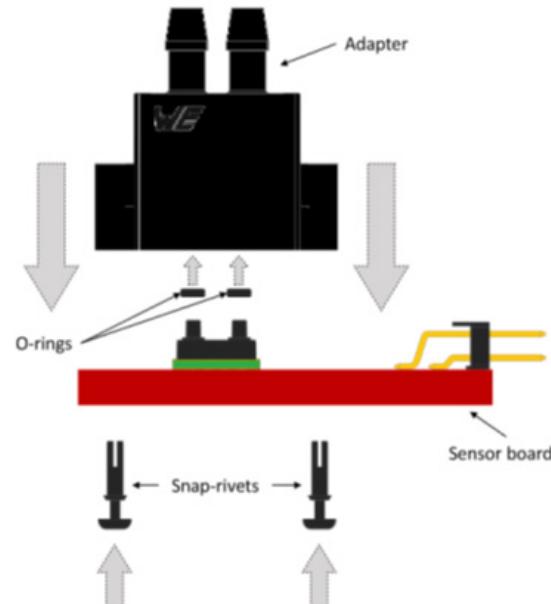


Figure 4. Le capteur de pression différentielle *WSEN-PDUS* est très précis, à système MEMS et piézo-résistif. (Source : Würth Elektronik eisSos)

La qualité de l'eau est surveillée à l'aide des modules *DFR-05874* (pH) et *DFR0300* (conductivité) de *DFRobotGravity*.

La plupart des eaux naturelles ont un pH compris entre 5 et 8. Pour les eaux d'irrigation, un pH compris entre 5,5 et 7,5 est généralement recommandé, mais nous avons obtenu nos meilleurs résultats avec un pH compris entre 5,5 et 7. Une eau dont le pH est dans cet intervalle maintient l'équilibre des nutriments, assure une désinfection chimique efficace, et empêche la formation de tartre [5].

La « fertigation », mot-valise formé à partir des mots fertilisation et irrigation, consiste à ajouter des fertilisants à l'eau d'irrigation. Elle est nécessaire ici en raison de la faible surface du substrat de culture. Un conductimètre détecte tout excès ou manque d'engrais dans l'eau – la conductivité de l'eau dépend de sa concentration en ions ; plus une eau est pure, plus faible est sa conductivité.

L'humidité du sol est mesurée par le capteur capacitif *STEMMA Soil Sensor* d'Adafruit. Il n'a qu'une seule sonde, n'expose aucune partie métallique – donc ne s'oxyde pas – et n'introduit pas de courant continu dans les plantes. La pompe est commandée depuis le nuage. Sa durée d'activation dépend du nombre de plantes, du niveau d'humidité du sol requis, et du débit de la pompe (fig. 5).

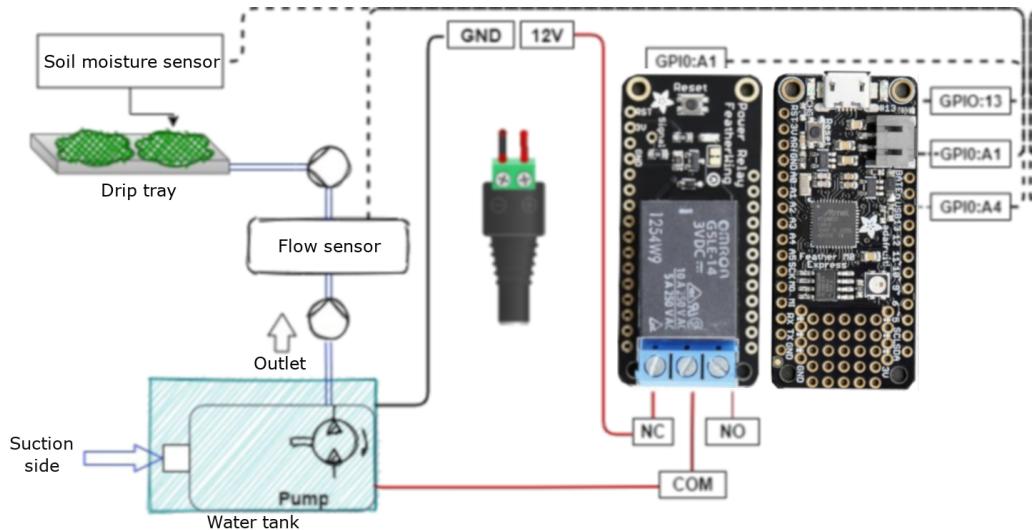


Figure 5. Le réservoir d'eau, les capteurs, la pompe et les cartes de commande du système d'irrigation. (Source: Würth Elektronik eiSos)

Facteurs environnementaux

Un capteur mesure une condition environnementale sous forme de valeur analogique ou numérique, tandis qu'un actionneur la modifie au besoin. Les progrès réalisés dans le domaine de l'électronique, en particulier dans celui des semi-conducteurs, ont permis de créer un vaste éventail de tels capteurs et actionneurs, à la fois efficaces et compacts.

Bon nombre de procédés d'enrichissement et d'extraction reposent sur le dioxyde de carbone. Le CO₂ accélère la croissance des plantes, mais peut aussi servir de fumigant. On utilise généralement un niveau de concentration de CO₂ de 800 à 1500 ppm durant la phase d'enrichissement pour accroître la photosynthèse de 20 à 30 %.

L'augmentation du métabolisme global aide les plantes à résister aux effets de la chaleur. Des plantes plus grandes, plus saines et plus robustes supportent mieux les conditions environnementales extrêmes. Une plante dont le métabolisme est accru nécessite cependant plus d'eau et de nutriments, et aussi une ventilation supplémentaire.

Les niveaux de CO₂ sont mesurés et surveillés à distance avec le capteur de qualité de l'air SPG30 d'Adafruit, module lui-même relié au capteur FeatherWing de Würth Elektronik. Notez que le capteur mesure « l'équivalent CO₂ » et que cette valeur est calculée d'après la concentration en H₂ – ce n'est donc pas un « vrai » capteur de CO₂ de laboratoire. L'étape suivante sera l'enrichissement.

Les plantes passent par plusieurs stades de croissance, chacun nécessitant des conditions thermiques et d'éclairage différentes. La majorité des plantes tolèrent des fluctuations de température non-extrêmes. Les conditions thermiques optimales de croissance peuvent varier selon le stade de croissance, mais aussi au cours de la journée. L'optimisation peut se faire par adaptation du cycle diurne, et en baissant la température de quelques degrés lorsque l'éclairage est coupé.

L'humidité atmosphérique est exprimée en pourcentage d'humidité de l'air. Là encore le niveau d'humidité optimal dépend du stade de croissance de la plante. Un environnement trop humide peut favoriser la propagation de maladies. Humidité et température sont surveillées par le capteur FeatherWing de WE.

Connexion à l'IdO

Capteurs et actionneurs logent en général dans des dispositifs n'ayant qu'un accès limité au monde numérique, d'où l'intérêt des modules à connexion sans fil. Nous disposons à cet effet d'un grand nombre de normes et protocoles, ainsi que d'une grande variété de solutions propriétaires. Le choix d'une solution sans fil dépend de nombreux facteurs : portée, débit, réglementation (notamment pour le spectre utilisé), budget...

Notre système repose sur deux cartes : la Calypso Wi-Fi FeatherWing (fig. 6) pour les environnements disposant d'un réseau wifi,

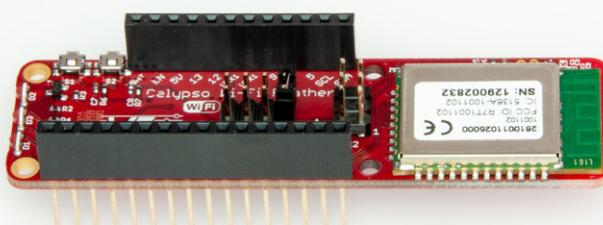


Figure 6: La carte Calypso FeatherWing assure la connexion des environnements disposant d'un réseau wifi. (Source : Würth Elektronik eiSos)

la *Adrastea-I FeatherWing* (fig. 7) pour les lieux dépourvus d'un tel réseau. Ces deux cartes sont reliées au reste du système via la carte M0 Express Feather d'Adafruit.

Calypso est un module Wi-Fi compact, basé sur IEEE 802.11 b/g/n (2,4 GHz), à pile TCP/IP intégrée et à protocole MQTT natif. *Adrastea-I* est un module cellulaire compact à protocoles LTE-M/NB-IoT, à GNSS intégré et soutenu par un processeur ARM Cortex-M4 capable de faire tourner toute application de l'IdO.

Ces deux modules peuvent être connectés facilement et de façon sécurisée à n'importe quel *cloud*. Nous avons opté pour un processeur M0 externe et la plate-forme *IoT Central* de Microsoft, une PaaS (plateforme en tant que service) simple et facile à utiliser. Elle fournit une interface utilisateur et une API pour la connexion et l'exploitation des dispositifs de l'IdO. Sa télémétrie et ses fonctions nous ont servi à surveiller et contrôler tous les aspects de notre min-serre.

Recours à l'IA

Il est possible de recourir à l'IA pour détecter des motifs et créer des profils de plantes dans le nuage, puis de les utiliser pour définir automatiquement des paramètres tels que la valeur des LED, la température et l'humidité afin d'optimiser les conditions de croissance.

L'agriculture verticale ne nourrira pas seule la planète, mais fournira des produits frais à plus de personnes. L'approche décrite ici nous a permis de construire une ferme verticale miniature adaptée à la cuisine d'un logement. Fut une époque où ce genre de système était appelé une jardinière. ▶

230077-04 — VF : Hervé Moreau



Figure 7: La carte *Adrastea-I* est un module cellulaire LTE-M/NB-IoT compact doté d'un processeur ARM Cortex-M4 et d'un système GNSS. (Source : Würth Elektronik eiSos)

À propos des auteurs



Miroslav Adamov a étudié la physique et l'informatique à l'université serbe de Belgrade. Il a ensuite été chercheur à l'université technique et à l'institut WIAS de Berlin, à l'université Friedrich-Alexander d'Erlangen-Nuremberg, et au Center of Private Equity Research de Munich. Après quelques années passées dans la finance quantitative, il rejoint Würth Elektronik en 2015 en tant qu'analyste d'affaires. Depuis 2007 il est architecte principal des solutions IdO et IIdO.



Adithya Madanahalli a obtenu un master en ingénierie de l'information à l'université technique de Munich. Il a travaillé plusieurs années comme ingénieur logiciel dans le domaine des communications et capteurs sans fil. Adithya est depuis 2022 ingénieur en IdO à l'unité Wireless Connectivity and Sensors de Würth Elektronik eiSos. Il conçoit des solutions IdO dont il a en charge le matériel, les logiciels embarqués et la sécurité de bout en bout.

LIENS

- [1] Le futur de l'alimentation et de l'agriculture, tendances et défis, rapport de la FAO, 2017 [PDF en anglais] :
<https://fao.org/3/a-i6583e.pdf>
- [2] Statistiques de l'utilisation des sols, indicateurs et tendances 2000-2020, rapport de la FAO [PDF en anglais] :
<https://fao.org/3/cc0963en/cc0963en.pdf>
- [3] E. Ambrose, "Digital agriculture: Why the future is now." : <https://ag.purdue.edu/stories/digital-agriculture-why-the-future-is-now/>
- [4] Kit de développement d'éclairage de Würth Elektronik :
https://we-online.com/en/components/products/LIGHTING_DEVELOPMENT_KIT
- [5] V. Brunton, "Irrigation water quality" [PDF] : https://dpi.nsw.gov.au/__data/assets/pdf_file/0005/433643/Irrigation-water-quality.pdf