

# Smart Greenhouse

INF6405 – Systèmes Informatiques Mobiles, Automne 2022

1<sup>st</sup> Lespérance Renaud

2<sup>nd</sup> Sautieres Jason

## I. INTRODUCTION

Avec la population terrestre grandissante, il faut nourrir de plus en plus de personnes. L'ONU estime à 9.7 et 10.8 milliards la population en 2050 et 2100 respectivement [1]. L'étalement urbain et les changements climatiques diminuent, à chaque année, les surfaces cultivables disponibles. Il est donc crucial d'optimiser l'agriculture afin de pouvoir supporter cette croissance explosive. Une méthode de plus en plus courante pour contrôler la croissance des légumes et rapprocher la production des lieux de consommation afin de réduire la dépendance des pays au marché international est l'utilisation de serres [2, 3]. En regardant les données historiques de Statistique Canada, on voit que le nombre de mètre carré de serres au Canada est passé de 14 592 933 à 17 613 713 entre 2015 et 2019 [4].

L'idée d'avoir des serres automatisées n'est pas nouvelle et est déjà présente depuis l'agriculture 3.0. Cependant, les systèmes de gestion et d'automatisation à distance des serres connectées ont été introduits dans l'agriculture 4.0. Cette tendance vers une agriculture dense en environnement contrôlé demande de plus en plus de capteurs et de systèmes de contrôle. L'agriculture 4.0 inclut maintenant l'Internet des Objets (IoT), le Big Data et les services d'information nuagique [5, 6, 7]. De nombreuses solutions commerciales existent pour répondre à ces besoins technologiques de l'agriculture moderne. Certaines d'entre-elles servent uniquement à la prise de mesures, d'autres permettent de contrôler l'état de la serre alors que d'autres sont hybrides et intègrent ces deux aspects.

## II. REVUE DE LITTÉRATURE

De nombreuses solutions sont actuellement disponibles pour faciliter la gestion et le suivi de l'état des serres. Parmi les offres sur le marché, nous avons trouvé trois compagnies proposant une panoplie de capteurs et de composants pour gérer la tenue de l'état des serres. Anciennement nommée Hydropods, l'entreprise américaine Growlink [8], fondée en 2016, a pour but d'aider les agriculteurs à simplifier leurs exploitations tout en produisant les plus grosses récoltes possibles. L'entreprise néo-zélandaise Autogrow [9], fondée initialement en 1994 puis rachetée par Bluelab en 2022, propose des solutions d'automatisation et de contrôle pour faire pousser n'importe quelle culture à partir de n'importe où. La troisième entreprise se nomme Growtronix [10], elle a été fondée aux États-Unis et propose des solutions modulaires et flexibles permettant de surveiller tous les aspects d'un jardin. Les solutions proposées par ces 3 entreprises ont les mêmes objectifs et présentent donc des similarités tant sur le matériel utilisé que sur l'intégration dans l'environnement. Tout d'abord, l'utilisation de capteurs de température, d'humidité, de dioxyde de carbone ou encore de pH permet de suivre l'état de l'environnement et de prendre des décisions sur des actions potentielles à réaliser. Suivant les mesures relevées par ces capteurs, certaines actions peuvent être déclenchées. Parmi elles, l'arrosage des zones cultivables de manière automatisée et autonome tout en adaptant le microdosage de la solution d'arrosage utilisée. De même, la ventilation peut également être ajustée de manière optimale suivant l'état du milieu en temps réel. Ces offres possèdent également des dissemblances ce qui permet aux fournisseurs de se différencier. Growlink et Growtronix proposent un système d'irrigation avec un contrôle centralisé tandis que celui proposé par Autogrow est distribué et relié par câble. De plus, tous les capteurs proposés par ces compagnies sont déployés de manière distribuée afin de surveiller les zones sous tous les angles possibles, cependant ils sont connectés différemment. En effet, les capteurs sont respectivement connectés avec des câbles classiques, des câbles coaxiaux et des câbles Ethernet chez Growlink, Autogrow et Growtronix. L'utilisation des nouvelles technologies n'est pas limitée aux serres, ces changements impactent aussi l'agriculture traditionnelle. Nous chercherons donc à explorer certaines technologies utilisées en grande culture et voir comment elles pourraient être utiles pour la culture en serre.

L'utilisation de caméras installées sur des drones, contrôlés manuellement ou automatiquement, est en train de devenir courante dans le domaine de l'agriculture à grande échelle [11, 12]. Il existe de nombreuses solutions sur le marché pour ce qui est des drones agricoles. Celles-ci vont de l'utilisation de drones grand public à plusieurs hélices à l'utilisation de drones spécialisés s'apparentant plus à des petits planeurs munis d'une hélice [13]. L'idée est d'utiliser des caméras traditionnelles ou infrarouges afin d'effectuer le suivi de terres agricoles et de rendre possible une agriculture de précision [14, 15]. Ces types de suivi permettent de consulter l'état de santé des plantes, d'aider les agronomes à développer des plans personnalisés liés à la réalité du terrain, vérifier rapidement de grandes surfaces, identifier les problèmes de croissance et le niveau d'irrigation des champs [16]. Afin de récolter les images les plus pertinentes pour ce domaine, le type de caméra infrarouge utilisé correspond aux caméras "Normalized Difference Vegetation Index" (NDVI) qui combinent les informations du spectre infrarouge proche

---

(NIR) et du canal rouge d'une image prise dans le spectre visible [17]. Les plantes en bonne santé et ne manquant pas d'eau ont tendance à avoir plus de chlorophylles et réfléchir plus dans le spectre NIR [16, 17, 18]. Bien que l'on soit tenté de considérer ce type de caméra comme un miracle pour l'agriculture moderne, il faut cependant être conscient des limitations de cette technologie. La présence de nuages lors de capture à haute altitude ou tout simplement l'humidité dans l'air à un impact sur la réflexion de la lumière et donc peut potentiellement fausser les conclusions tirées des images [19]. Un phénomène de saturation peut aussi poser problème au ratio NDVI lorsque la croissance des plantes atteint un niveau où les NIR continuent à croître mais que le canal rouge du spectre visible est toujours autant absorbé. Par conséquent, cela impacte la précision de prédiction du niveau de santé des plantes [18]. Une méthode utilisée pour diminuer l'impact de ces limitations est de créer des cartes NDVI composées de données capturées sur des périodes de plusieurs jours ou semaines ou encore d'utiliser d'autres indices de croissance en parallèle [19, 18].

Une autre approche avec les caméras est d'utiliser des méthodes de vision par ordinateur pour effectuer le suivi de l'état de santé des plantes, aider le contrôle des ravageurs, automatiser les récoltes, s'assurer de la qualité des produits ou encore permettre l'automatisation des fermes modernes. Une large gamme de méthodes peuvent être utilisées, allant de la segmentation par seuil à l'utilisation de réseaux de neurones à convolution profonde (Deep - CNN). Chacune de ces méthodes comporte ses avantages et ses faiblesses et c'est ce large éventail de solutions qui permet à la vision par ordinateur d'être utilisée dans diverses applications [20, 21].

Enfin, d'autres solutions innovantes apparaissent notamment avec l'utilisation de micro-ordinateurs tels que des Raspberry Pi (RPI). L'université de l'Ohio propose en 2019 une preuve de concept permettant de faire le suivi d'une serre avec un système composé d'un RPI et de caméras permettant de visualiser l'état de l'environnement sur une application mobile [22]. D'autres solutions utilisant un RPI comme contrôleur permettent la gestion de l'irrigation et de la ventilation en fonction de l'humidité de et la température mesurée [23, 24].

### III. PROBLÉMATIQUE

D'après les sujets abordés dans la section précédente, la plupart des composants sont reliés par des liaisons filaires ce qui les rend difficile à intégrer dans les serres existantes. De plus, cette contrainte physique tend à rendre le système statique et peut donc compliquer le changement de type de culture ou la réorganisation des serres. L'utilisation d'une approche mobile pour les capteurs et les actionneurs semble inexistante pour ce domaine d'application. Même si certaines offres commerciales pourraient permettre un contrôle des serres à distance, le manque d'utilisation de caméras dans les systèmes proposés rend les gestionnaires aveugles et totalement dépendant du réseau de capteurs. Pour les applications proposées utilisant uniquement des caméras, le suivi peut manquer de connexions avec l'environnement des serres étant donné qu'aucun capteur n'est présent. Une lacune de ces propositions est l'absence de caméras NDVI pour le suivi de cultures en serre. De plus, utiliser des méthodes de vision par ordinateur avec ce type de caméras pourrait s'avérer prometteur dans notre domaine d'application.

### IV. SOLUTION

#### A. Architecture générale

Afin de répondre au besoin de l'industrie de l'agriculture en serre, nous proposons une solution composée d'un réseau de capteurs distribués, de caméras NDVI combinées avec des caméras standards et d'un contrôle à distance avec une application web. Les noeuds centraux du réseau permettant de faire le lien entre le réseau de capteurs et l'entité où l'information sera traitée sont des sink. Pour ces noeuds là, nous utilisons des Raspberry Pi 4 [25, 26] configuré en mode routeur WiFi [27, 28, 29]. Les caméras utilisées seront directement connectées aux sink. Concernant les modèles choisis, nous avons décidé d'adopter les modèles proposés par la Raspberry Pi Foundation, soit la "Raspberry Pi Camera V2 - 8MP" [30] pour les caméras standards et la "Raspberry Pi Camera NoIR V2 - 8MP" [31] pour les cameras NDVI. Afin de diminuer les contraintes de bande passante et de consommation d'énergie, les sink seront reliés par un câble Ethernet et pourront être Power over Ethernet (PoE) [26]. Pour faciliter le suivi des plantes dans la serre, le client pourra aussi choisir une option avec un modèle de détection d'objet Yolo [32] implémenté directement sur le RPI [33, 34]. Le réseau de capteurs, pour sa part, sera formé de modules ESP32 [35] utilisant la bande WiFi 2.4 GHz pour communiquer entre eux et avec les sink en utilisant le protocole painlessMesh [36, 37]. De plus, le suivi des serres sera effectué au travers d'une application Web développée en JavaScript avec le framework ReactJS.

#### B. Prototype

Lors du lancement de l'application, une interface de connexion permet à l'utilisateur de se connecter et accéder à l'ensemble de ses services, voir Figure 1. Par la suite, l'utilisateur voit une carte des serres, sous la forme de Google Map, dans laquelle il peut sélectionner ou ajouter une serre selon la position géographique, voir Figure 2. Une fois la serre sélectionnée, il arrive sur le panneau de contrôle de celle-ci et voit l'état actuel ou les états historiques du dernier jour ou de la dernière semaine, voir

Figure 3. De plus, sur ce panneau de contrôle, il peut naviguer vers les caméras, les informations des capteurs ou encore la topologie du réseau. Dans l'onglet Caméras, il peut ajouter de nouvelles caméras ou sélectionner une caméra existante pour voir le flux vidéo de la caméra standard ou NDVI, voir Figure 4. Dans l'onglet Capteurs, l'utilisateur peut visualiser les informations de tous les capteurs installés ainsi qu'une estimation de leur durée de vie restante, voir Figure 5. Dans le dernier onglet nommé Topologie, l'utilisateur peut avoir une vue globale de tous les systèmes installés dans sa serre avec le choix d'option d'affichage, voir Figure 6. L'ensemble du code de l'application est disponible à l'adresse [https://github.com/renaudlesperance/inf6405\\_projet](https://github.com/renaudlesperance/inf6405_projet).

## V. RENTABILITÉ

De nombreux avantages s'offrent au client lorsqu'il souhaite collaborer avec Smart Greenhouse. Tout d'abord, notre solution apporte un important gain en production étant donné que le micro dosage et l'arrosage sont gérés de manière optimale pour apporter ce dont les plantes ont besoin. De même, avec la robustesse et l'autonomie de notre solution, une économie d'argent sur la main d'oeuvre est possible car il y aura moins de salariés nécessaires pour gérer la serre. Enfin, la perte de produit sera diminuée car notre solution propose un meilleur suivi de l'état de santé des plantes.

Pour fixer nos prix de vente, on a estimé le prix de chaque module avec leurs composants principaux (voir Table I) puis nous avons appliqué un pourcentage sur le prix total afin d'être rentable avec chaque plan proposé (voir Table III).

	$\mu$ C/CPU	Capteurs/Caméras/Accessoires				Prix total
Sink	RPB 4 Model B 1Gb [38] : 48.95 \$	RPB Camera V2 [30] : 35.95\$	RPB Camera NoIR V2 [31] : 35.95\$	Module Bi-Cameras [39] : 40.10\$	PoE Hat [40] : 27.95\$	188.90 \$
Capteur température + humidité (CTH)	ESP32 [41] : 4.08\$	AM2320 (I2C) [42] : 6.18 \$		Régulateur 3.3v; Support 4xAAA; 4x Batterie AAA [43] : 0.67\$ + [44] : 2.90\$ + [45] : 4x 0.88\$		17.35 \$
Capteur $CO_2$ (CC)	ESP32 [41] : 4.08\$	U91010001 (I2C) [46] : 48.08\$		Régulateur 3.3v; Support 4xAAA; 4x Batterie AAA [43] : 0.67\$ + [44] : 2.90\$ + [45] : 4x 0.88\$		59.25 \$
Capteur luminosité (CL)	ESP32 [41] : 4.08\$	VTP9812FH [47] 1.05\$		Régulateur 3.3v; Support 4xAAA; 4x Batterie AAA [43] : 0.67\$ + [44] : 2.90\$ + [45] : 4x 0.88\$		12.22 \$
Capteur pH (CP)	ESP32 [41] : 4.08\$	PH-4502C [48] : 26.95\$		Régulateur 3.3v; Support 4xAAA; 4x Batterie AAA [43] : 0.67\$ + [44] : 2.90\$ + [45] : 4x 0.88\$		38.12 \$
Contrôle pour 8 valves (CV)	ESP32 [41] : 4.08\$	8x Valve Solenoid [49] : 8x 10.89\$	2x Module 4 relais 12v [50] : 2x 32.28\$	Rég. 3.3v; Support 4xAAA; 4x Batt. AAA [43] : 0.67\$ + [44] : 2.90\$ + [45] : 4x 0.88\$		162.85 \$

TABLE I: Estimation du prix de chaque module

Nous proposons 3 offres différentes (voir Table II) afin de répondre au mieux aux besoins des clients. Une première solution de base permet au client de recevoir l'ensemble des composants et un accès à l'application. Dans ce plan, le client est en charge de l'installation et de la configuration du matériel. La seconde offre est plus flexible et permet au client de sélectionner les modules qu'il souhaite que ce soit une partie du matériel, l'installation ou encore la maintenance. Enfin, l'offre extra donne au client les mêmes avantages que l'offre de base en y incluant l'installation, la maintenance et la modernisation lors de nouvelles mises à jour.

Plan	Contenus	Prix	Profit
Base	2 sinks + 8 CTH + 2 CC + 4 CL + 4 CP + 4 CV	2300 + Tx\$	812 \$
Flexible	sinks : 300\$ ; CTH : 40 \$ ; CC : 100 \$ ; CL : 40\$ ; CP : 80 \$ ; CV : 300\$ ; Installation/Modernisation (2 techniciens): 150\$/h ; Maintenance : 75\$/h/technicien	NA	NA
Extra	2 sinks + 8 CTH + 2 CC + 4 CL + 4 CP + 4 CV + Installation/Modernisation + Maintenance : 75\$/h/technicien	2900 + Tx\$	1052 \$

TABLE II: Offre proposées

Les prix proposés pour acquérir notre solution restent très compétitifs. À titre de comparaison, le prix de notre sink à 300\$ équivaut au prix d'une caméra NDVI de base sur le marché [51, 52].

## VI. CONCLUSION

Avec le nombre grandissant de serres présentes au Canada, il devient de plus en plus crucial d'intégrer plus d'intelligence dans leur gestion afin d'augmenter leur productivité. Dans la revue de littérature, il a été remarqué que beaucoup de produits existent mais ne sont pas combinés ensemble et donc cela entraîne une intégration coûteuse et laborieuse. Notre solution propose une interface conviviale permettant un suivi et une gestion centralisée à un prix compétitif. Les avantages et économies pour les clients permettent de rendre l'écosystème de Smart Greenhouse lucratif autant pour les utilisateurs que pour l'entreprise.

---

## VII. BIBLIOGRAPHIE

- [1] *Population mondiale*. In: *Wikipédia*. Page Version ID: 198512457. Nov. 9, 2022. URL: [https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Population\\_mondiale&oldid=198512457#cite\\_note-Rev2019-18](https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Population_mondiale&oldid=198512457#cite_note-Rev2019-18) (visited on 11/09/2022).
- [2] Ethan FBC. *Learning About Canadian Greenhouse Growing*. Food Bloggers of Canada. URL: <https://www.foodbloggersofcanada.com/learning-about-canadian-greenhouse-growing/> (visited on 11/09/2022).
- [3] Ontario Greenhouse Vegetable Growers. *Ontario's Greenhouse Vegetable Farmers Are Growing Food for Canada's Future*. Innovating Canada. June 24, 2021. URL: <https://www.innovatingcanada.ca/industry/ontarios-greenhouse-vegetable-farmers-are-growing-food-for-canadas-future/> (visited on 11/09/2022).
- [4] Statistics Canada. *Statistical Overview of the Canadian Greenhouse Vegetable Industry, 2019*. Agriculture Canada. Last Modified: 2020-12-30. Dec. 30, 2020. URL: <https://agriculture.canada.ca/en/canadas-agriculture-sectors/horticulture/horticulture-sector-reports/statistical-overview-canadian-greenhouse-vegetable-industry-2019> (visited on 11/09/2022).
- [5] *Agriculture 4.0: what is it and what are its tools and benefits?* McCormick. Nov. 24, 2021. URL: <https://www.mccormick.it/en/agriculture-4-0-what-is-it-and-what-are-its-tools-and-benefits/> (visited on 11/09/2022).
- [6] Konstantina Ragazou et al. "Agriculture 5.0: A New Strategic Management Mode for a Cut Cost and an Energy Efficient Agriculture Sector". In: *Energies* (Apr. 24, 2022), p. 17. DOI: 10.3390/en15093113.
- [7] *The Industrial Revolution from Industry 1.0 to 5.0! Supply Chain Game Changer™*. Oct. 16, 2022. URL: <https://supplychaingamechanger.com/the-industrial-revolution-from-industry-1-0-to-industry-5-0/> (visited on 11/09/2022).
- [8] *Growlink Smart Irrigation System — Fertigation — Cultivation Technology*. Growlink. URL: <https://www.growlink.com> (visited on 11/14/2022).
- [9] *Grow Room & Greenhouse Monitoring Products & Solutions*. Autogrow. URL: <https://autogrow.com/our-products-solutions/all-products> (visited on 11/14/2022).
- [10] *Growtronix Base System - Growtronix*. URL: <https://www.growtronix.com/cart/home/1-growtronix-base-system.html> (visited on 11/14/2022).
- [11] Heidi Vella. *How the Use of Drones in Agriculture can help with Precision Farming*. Verizon Enterprise. URL: <https://enterprise.verizon.com/resources/articles/s/how-the-use-of-drones-in-agriculture-can-help-with-precision-farming/> (visited on 11/14/2022).
- [12] *The Use of Drones in Agriculture Today*. DJI Enterprise. Sept. 18, 2021. URL: <https://enterprise-insights.dji.com/blog/drones-in-agriculture> (visited on 11/14/2022).
- [13] Amy. *5 Best Drones for Agriculture in 2022 – Buying Guide for Beginners*. DronesWatch. Section: Reviews. Feb. 6, 2020. URL: <https://dronewatch.org/drones-for-agriculture/> (visited on 11/14/2022).
- [14] Dipali Chaudhari. *Uses of Drones in Agriculture — Features of Agricultural UAV*. DipsLab.com. July 22, 2021. URL: <https://dipslab.com/uses-drone-agriculture/> (visited on 11/14/2022).
- [15] . *Drones In Agriculture — Uses of Drone Technology in Agriculture in 2022*. Section: Guides. Jan. 7, 2022. URL: <https://dronesuggest.com/drones-in-agriculture/> (visited on 11/14/2022).
- [16] Cropin. *NDVI and Its Practical Uses in Agriculture*. Cropin. Dec. 17, 2021. URL: <https://www.cropin.com/blogs/ndvi-in-agriculture> (visited on 11/14/2022).
- [17] GISGeography. *What is NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)?* GIS Geography. May 9, 2017. URL: <https://gisgeography.com/ndvi-normalized-difference-vegetation-index/> (visited on 11/14/2022).
- [18] *NDVI: Normalized Difference Vegetation Index*. EOS Data Analytics. July 26, 2022. URL: <https://eos.com/make-an-analysis/ndvi/> (visited on 11/14/2022).
- [19] Joseph Flynt. *NDVI Cameras for Drones*. 3D Insider. Dec. 14, 2018. URL: <https://3dinsider.com/ndvi-drone-cameras/> (visited on 11/14/2022).
- [20] Product Fingerprint. *Computer Vision in Agriculture*. The Startup. Feb. 16, 2021. URL: <https://medium.com/swlh/computer-vision-in-agriculture-d84b69c6858e> (visited on 11/16/2022).
- [21] Hongkun Tian et al. "Computer vision technology in agricultural automation —A review". In: *Information Processing in Agriculture* 7.1 (Mar. 1, 2020), pp. 1–19. ISSN: 2214-3173. DOI: 10.1016/j.inpa.2019.09.006. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214317319301751> (visited on 11/16/2022).
- [22] Matt Clellan. *Monitor plant quality with next-gen sensors*. Greenhouse Management. June 14, 2019. URL: <https://www.greenhousemag.com/article/cultivate-krishna-nemali-next-gen-sensors/> (visited on 11/14/2022).
- [23] Steven Dufresne. *Raspberry Pi Is The Brains Behind Automated Greenhouse*. Hackaday. Aug. 26, 2017. URL: <https://hackaday.com/2017/08/26/raspberry-pi-is-the-brains-behind-automated-greenhouse/> (visited on 11/15/2022).
- [24] Eric MudPi. *Automated Garden System Built on Raspberry Pi for Outdoors or Indoors*. Instructables. 2021. URL: <https://www.instructables.com/Automated-Garden-System-Built-on-RaspberryPi-for-O/> (visited on 11/15/2022).
- [25] Raspberry Pi Ltd. *Buy a Raspberry Pi 4 Model B*. Raspberry Pi. URL: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/> (visited on 11/16/2022).

- 
- [26] Raspberry Pi Ltd. *Raspberry Pi 4 Model B specifications*. Raspberry Pi. URL: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/specifications/> (visited on 11/16/2022).
  - [27] Soren. *How-To: Turn a Raspberry Pi into a WiFi router*. Raspberry Pi HQ. Dec. 5, 2013. URL: <https://raspberrypihq.com/how-to-turn-a-raspberry-pi-into-a-wifi-router/> (visited on 11/16/2022).
  - [28] kcschenk01. *Raspberry Pi As Completely Wireless Router*. Instructables circuits. 2018. URL: <https://www.instructables.com/Raspberry-Pi-As-Completely-Wireless-Router/> (visited on 11/16/2022).
  - [29] Matt Mills. *How to Configure a Raspberry Pi or Linux System as a WiFi Router*. ITIGIC. Jan. 15, 2021. URL: <https://itigic.com/configure-raspberry-pi-or-linux-system-as-wifi-router/> (visited on 11/16/2022).
  - [30] *Raspberry Pi Camera V2 - 8MP*. PiShop.ca. URL: <https://www.pishop.ca/product/raspberry-pi-8mp-camera-board-v2/> (visited on 11/16/2022).
  - [31] *Raspberry Pi Camera NoIR V2 - 8MP*. PiShop.ca. URL: <https://www.pishop.ca/product/raspberry-pi-noir-camera-module-v2-8mp/> (visited on 11/16/2022).
  - [32] Abi Aggarwal. *YOLO Explained. What is YOLO?* Medium. Dec. 27, 2020. URL: <https://medium.com/analyticsvidhya/yolo-explained-5b6f4564f31> (visited on 11/16/2022).
  - [33] Jordan Johnston. *Tutorial: Running YOLOv5 Machine Learning Detection on a Raspberry Pi 4*. Medium. Apr. 8, 2021. URL: <https://jordan-johnston271.medium.com/tutorial-running-yolov5-machine-learning-detection-on-a-raspberry-pi-4-3938add0f719> (visited on 11/16/2022).
  - [34] Adrian Rosebrock. *YOLO and Tiny-YOLO object detection on the Raspberry Pi and Movidius NCS*. PyImageSearch. Jan. 27, 2020. URL: <https://pyimagesearch.com/2020/01/27/yolo-and-tiny-yolo-object-detection-on-the-raspberry-pi-and-movidius-ncs/> (visited on 11/16/2022).
  - [35] *ESP32 Wi-Fi & Bluetooth Modules I Espressif*. URL: <https://www.espressif.com/en/products/modules/esp32> (visited on 11/16/2022).
  - [36] *painlessMesh*. GitLab. URL: <https://gitlab.com/painlessMesh/painlessMesh> (visited on 11/16/2022).
  - [37] . *ESP-MESH with ESP32 and ESP8266: Getting Started — Random Nerd Tutorials*. Nov. 18, 2020. URL: <https://randomnerdtutorials.com/esp-mesh-esp32-esp8266-painlessmesh/> (visited on 11/16/2022).
  - [38] *Raspberry Pi 4 Model B/1GB*. PiShop.ca. URL: <https://www.pishop.ca/product/raspberry-pi-4-model-b-1gb/> (visited on 11/16/2022).
  - [39] *Arducam Multi Camera Adapter Doubleplexer Stereo Module V2 for Raspberry Pi Zero, Pi 3/3 b+, 4b*. UCTRONICS. URL: <https://www.uctronics.com/arducam-multi-camera-adapter-doubleplexer-stereo-module-v2-for-raspberry-pi-zero-pi-3-3-b-4b.html> (visited on 11/18/2022).
  - [40] *Power over Ethernet HAT (B) for Raspberry Pi 3B+/4B and 802.3af PoE network*. PiShop.ca. URL: <https://www.pishop.ca/product/power-over-ethernet-hat-b-for-raspberry-pi-3b-4b-and-802-3af-poe-network/> (visited on 11/18/2022).
  - [41] *ESP32-WROOM-32D-N4*. Digi-Key Electronics. URL: <https://www.digikey.ca/en/products/detail/espressif-systems/ESP32-WROOM-32D-N4/9381716> (visited on 11/18/2022).
  - [42] *COM1700*. Digi-Key Electronics. URL: <https://www.digikey.ca/en/products/detail/pimoroni-ltd/COM1700/8126047> (visited on 11/18/2022).
  - [43] *AP62200WU-7*. Digi-Key Electronics. URL: <https://www.digikey.ca/en/products/detail/diodes-incorporated/AP62200WU-7/10491524> (visited on 11/18/2022).
  - [44] *2481 - BATTERY HOLDER AAA 4 CELL*. Digi-Key Electronics. URL: <https://www.digikey.ca/en/products/detail/keystone-electronics/2481/303826> (visited on 11/18/2022).
  - [45] *PX2400*. Digi-Key Electronics. URL: <https://www.digikey.ca/en/products/detail/duracell-industrial-operations-inc/PX2400/16344172> (visited on 11/18/2022).
  - [46] *U91010001*. Digi-Key Electronics. URL: <https://www.digikey.ca/en/products/detail/unitense/U91010001/16633593> (visited on 11/18/2022).
  - [47] *VTP9812FH*. Digi-Key Electronics. URL: <https://www.digikey.ca/en/products/detail/excelitas-technologies/VTP9812FH/5885875> (visited on 11/18/2022).
  - [48] *Capteur de PH PH-4502C*. URL: [https://jcinfotr.com/index.php?route=product/product&product\\_id=1857](https://jcinfotr.com/index.php?route=product/product&product_id=1857) (visited on 11/18/2022).
  - [49] *997 - PLASTIC WATER SOLENOID VALVE - 1*. Digi-Key Electronics. URL: <https://www.digikey.ca/en/products/detail/adafruit-industries-llc/997/6827136> (visited on 11/18/2022).
  - [50] *103030009 - MOD RELAY SHIELD V3.0*. Digi-Key Electronics. URL: <https://www.digikey.ca/en/products/detail/seeed-technology-co-ltd/103030009/5774758> (visited on 11/18/2022).
  - [51] *Cameras*. MAPIR CAMERA. URL: <https://www.mapir.camera/pages/cameras> (visited on 11/19/2022).
  - [52] Norward Expert LLC. *BASE LINE Single camera NDVI analysis*. AgroCam. URL: <https://www.agrocam.eu/products> (visited on 11/19/2022).

---

## ANNEXE

Module	Coût	Prix (Base, Extra)	Profit (Base, Extra)	Prix (Flexible)	Profit (Flexible)
Sink	188.90 \$	280 \$	91.10 \$	300 \$	111.10 \$
CTH	17.35 \$	30 \$	12.65 \$	40 \$	22.65 \$
CC	59.25 \$	80 \$	20.75 \$	100 \$	40.75 \$
CL	12.22 \$	30 \$	17.78 \$	40 \$	27.78 \$
CP	38.12 \$	60 \$	21.88 \$	80 \$	41.88 \$
CV	162.85 \$	250 \$	87.15 \$	300 \$	137.15 \$

TABLE III: Détails sur les profits par module

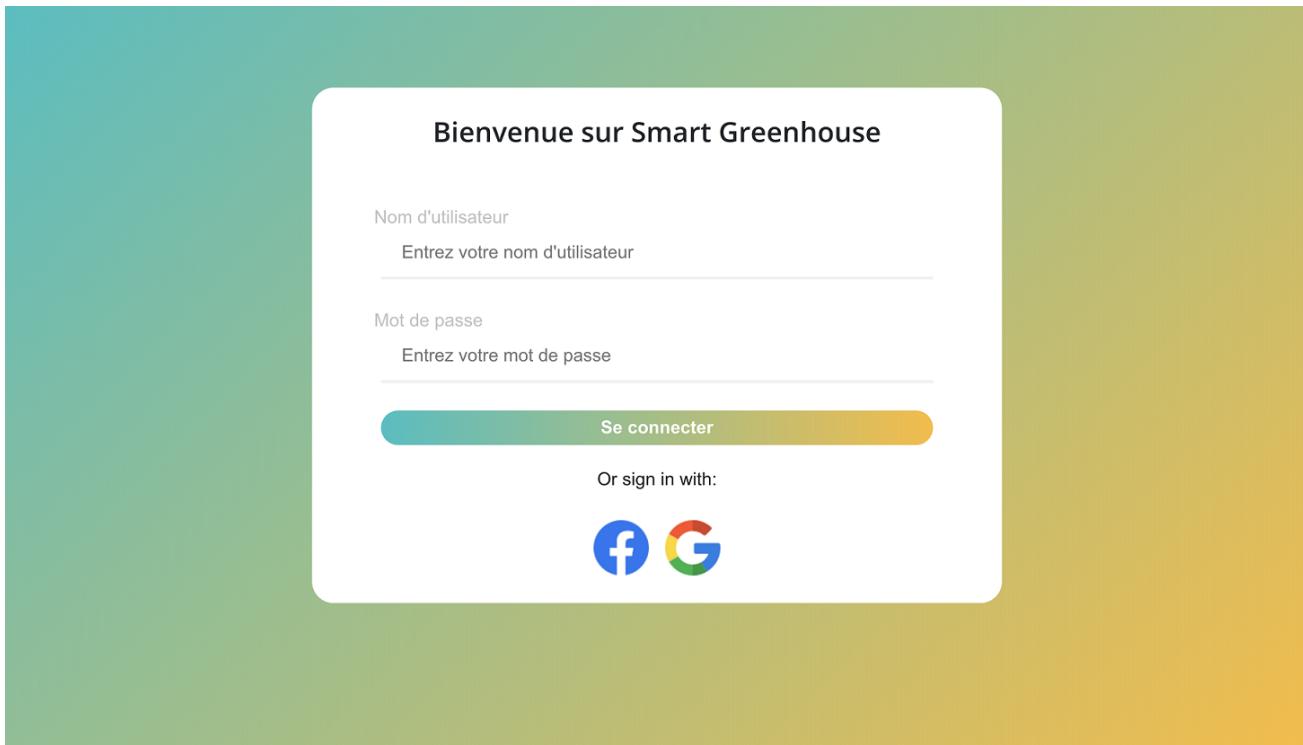
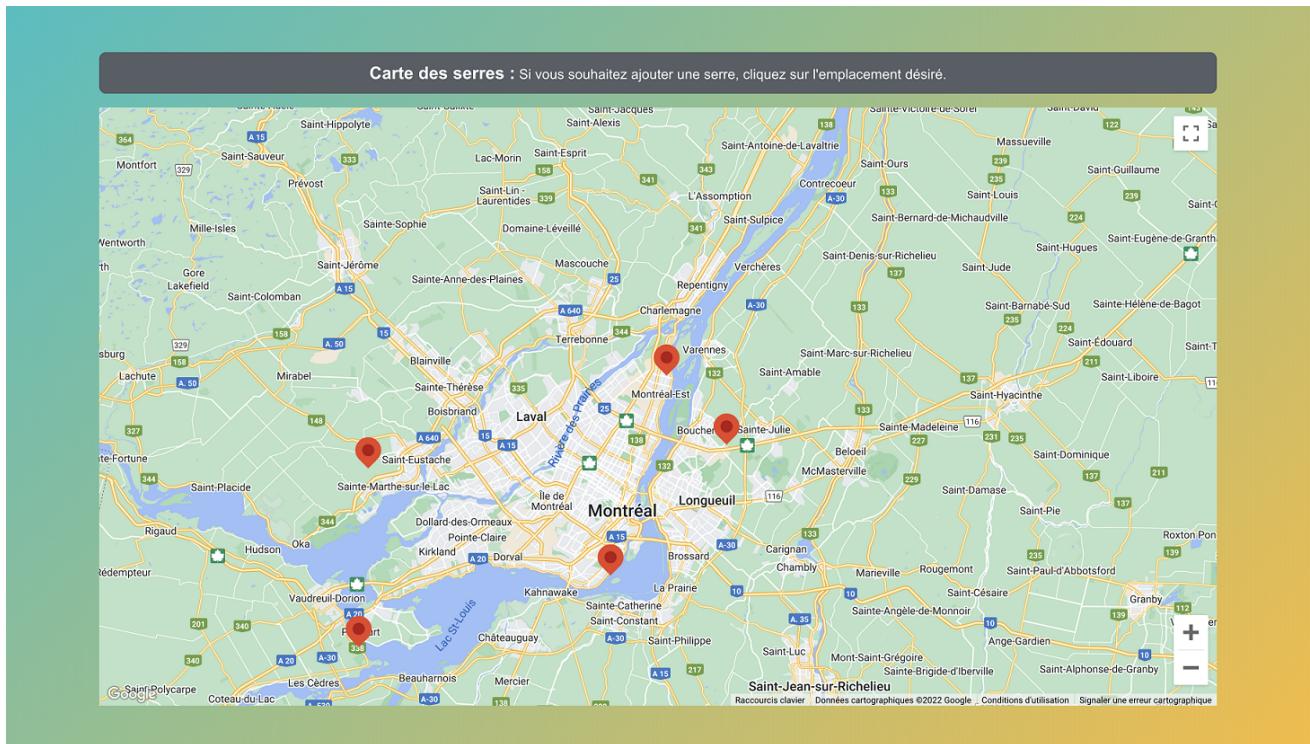
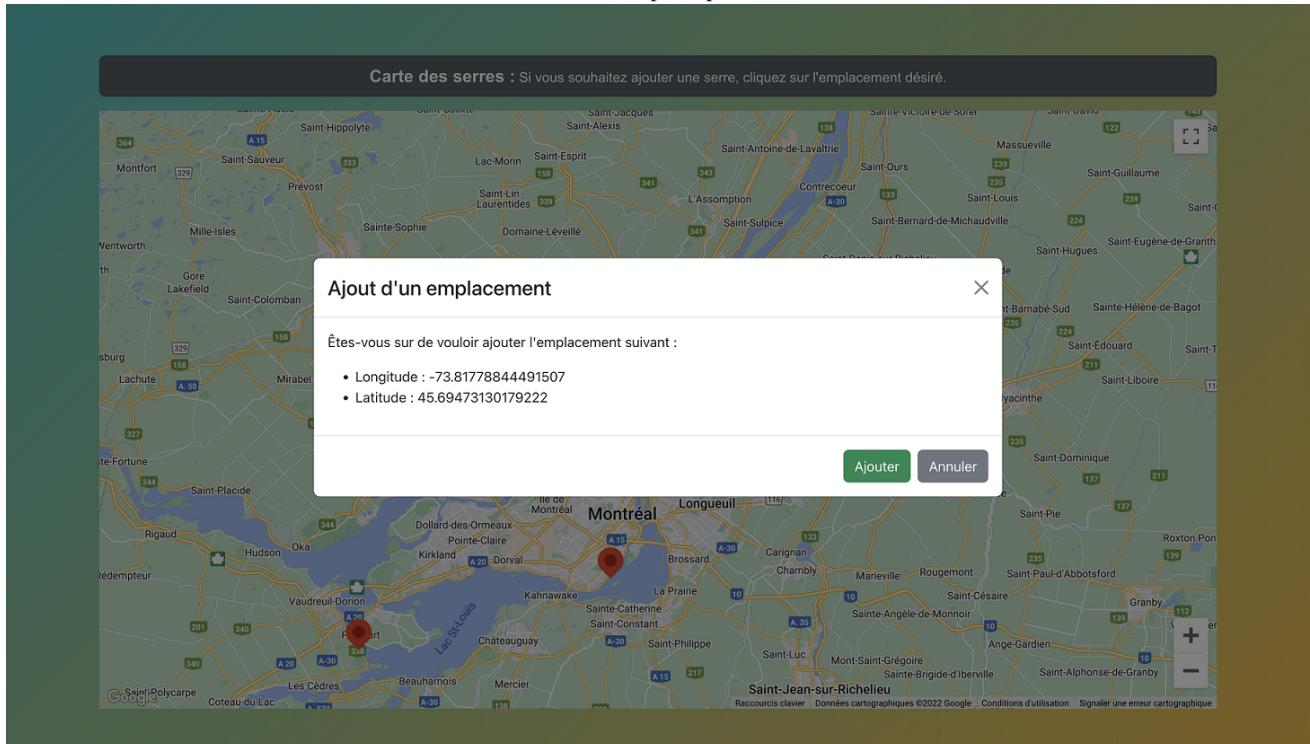


Fig. 1: Page de connexion

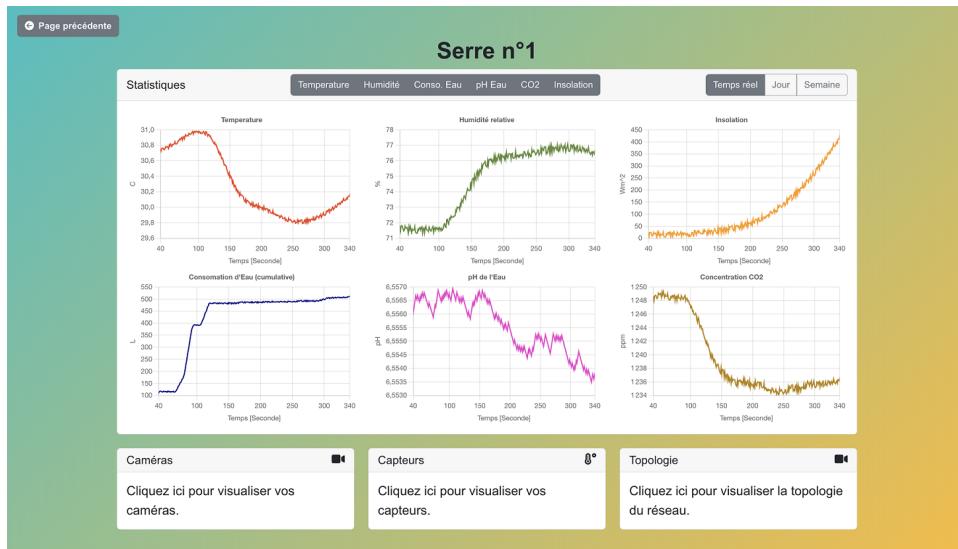


(a) Vue principale



(b) Ajout d'une serre après un clic sur la carte

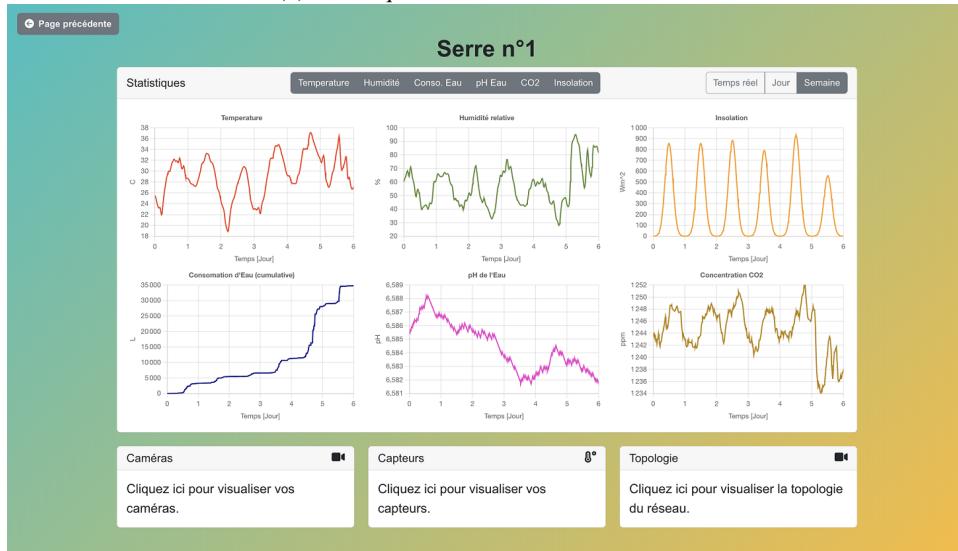
Fig. 2: Affichage de l'emplacement des serres de l'utilisateur



(a) Statistiques en temps réels



(b) Statistiques sur les dernières 24 heures

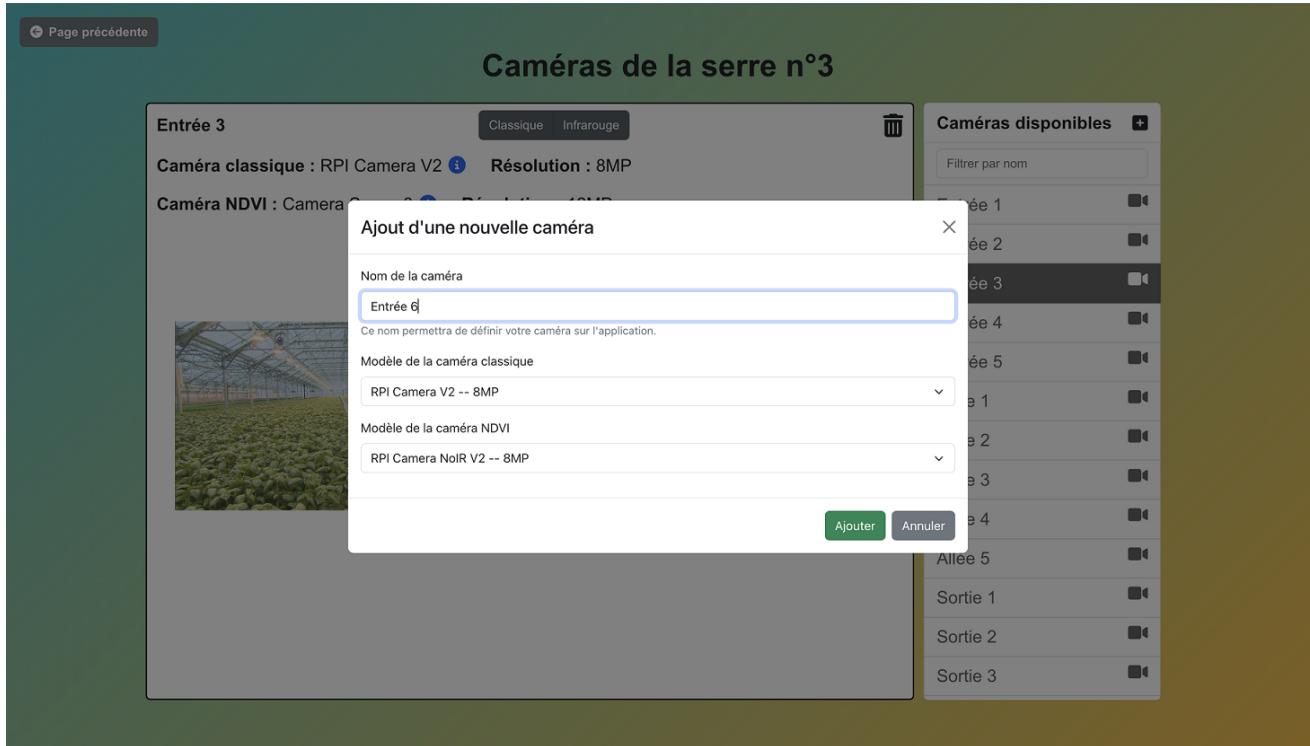


(c) Statistiques sur la dernière semaine

Fig. 3: Page principale de l'application

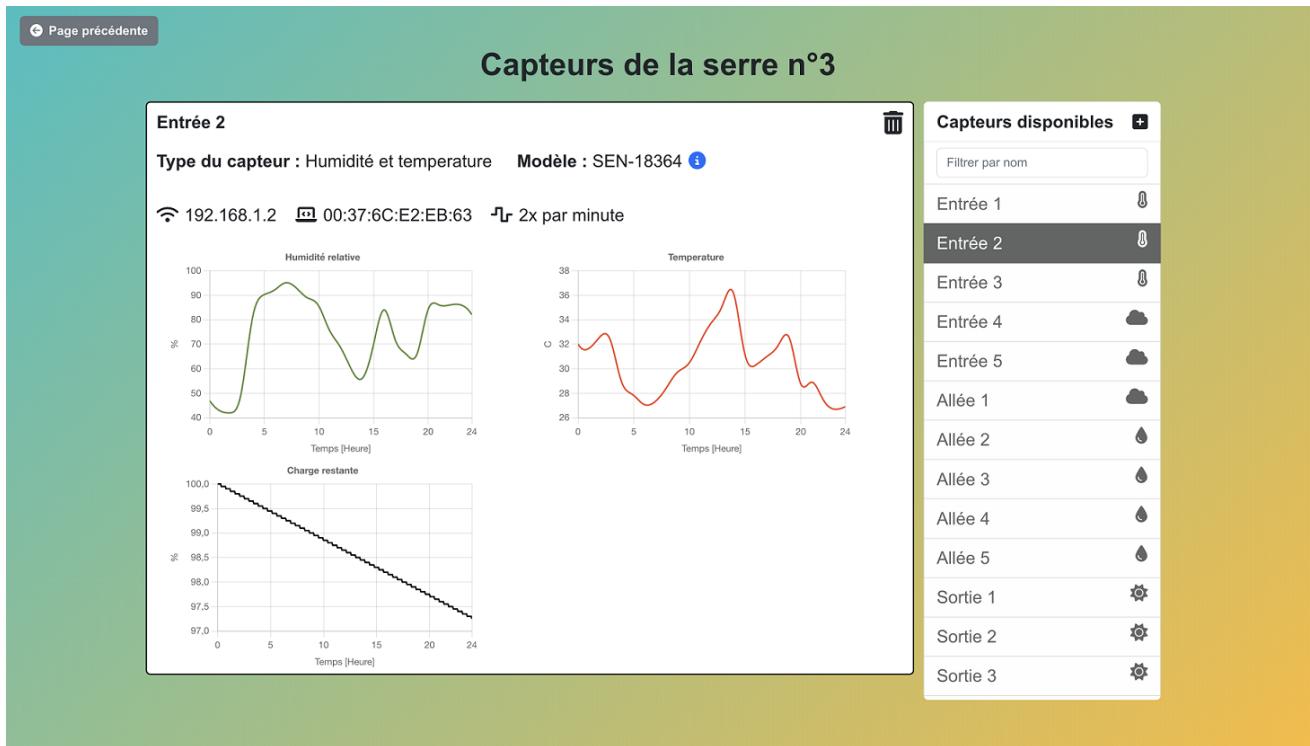


(a) Liste des caméras d'une serre

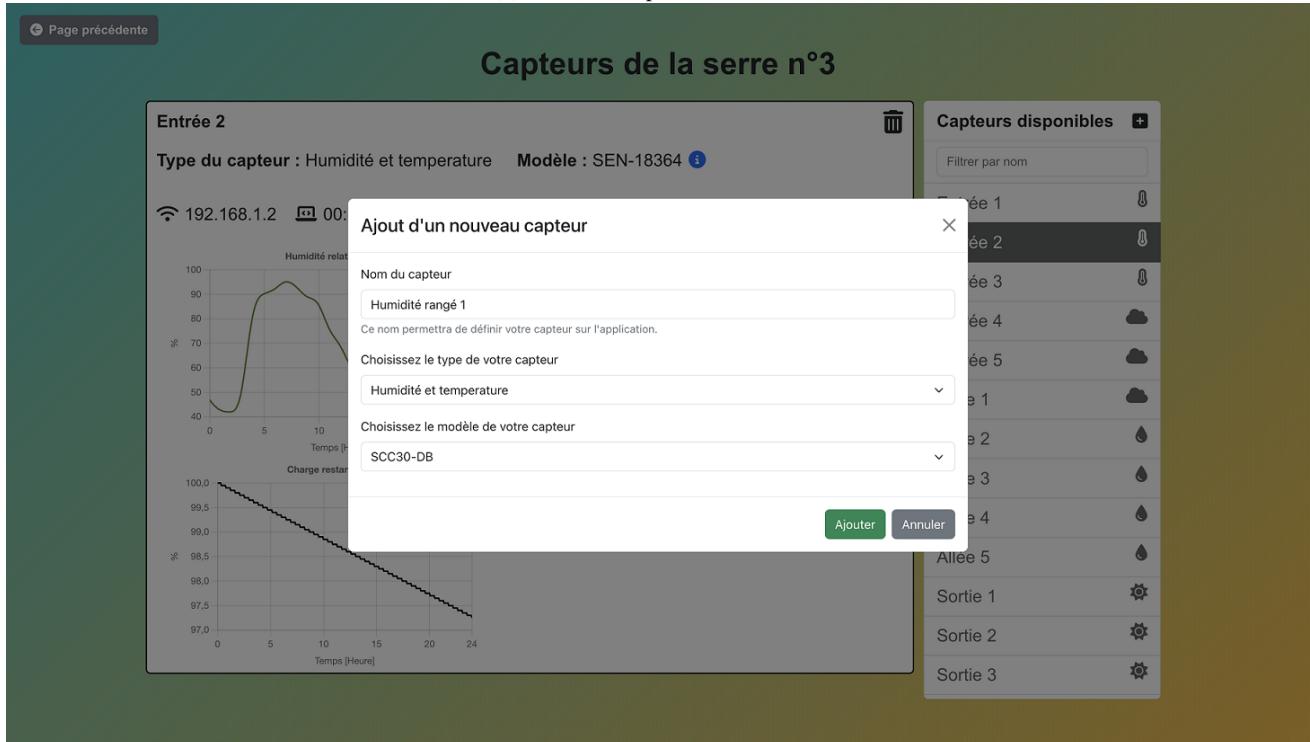


(b) Ajout d'une caméra

Fig. 4: Interface de suivi des caméras

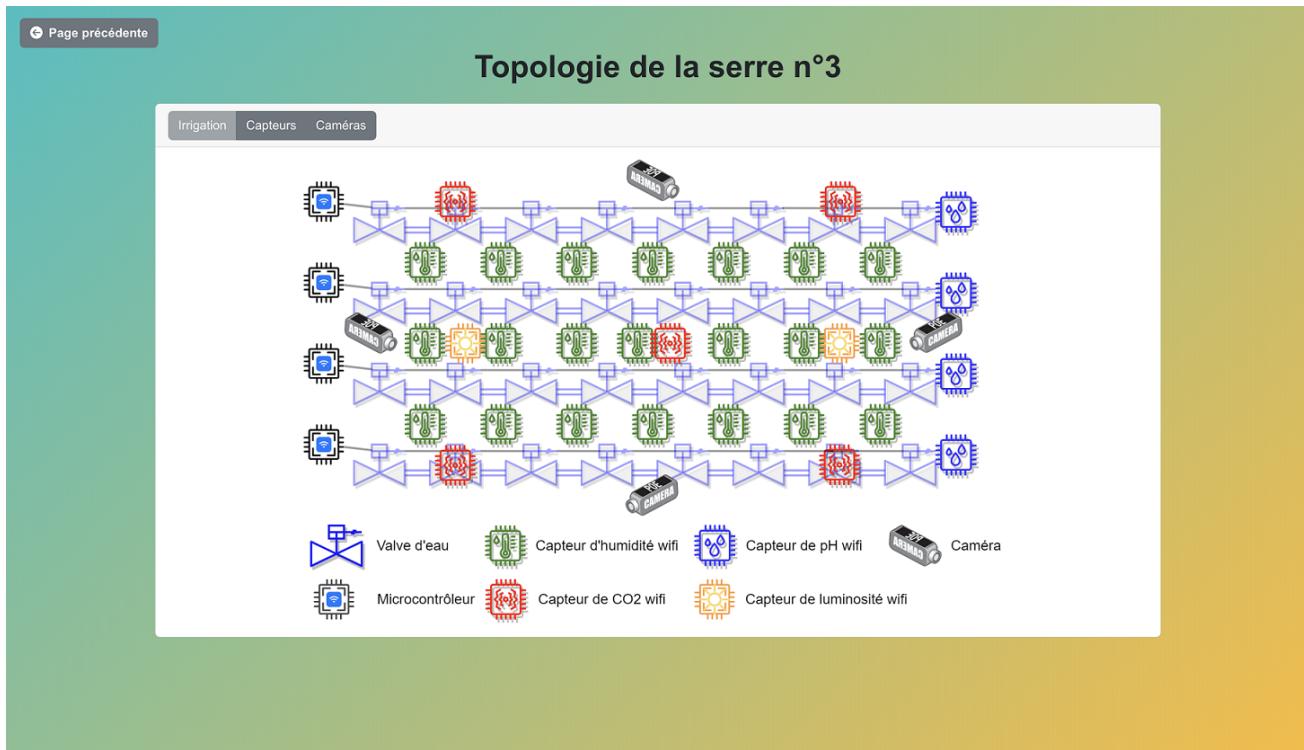


(a) Liste des capteurs d'une serre

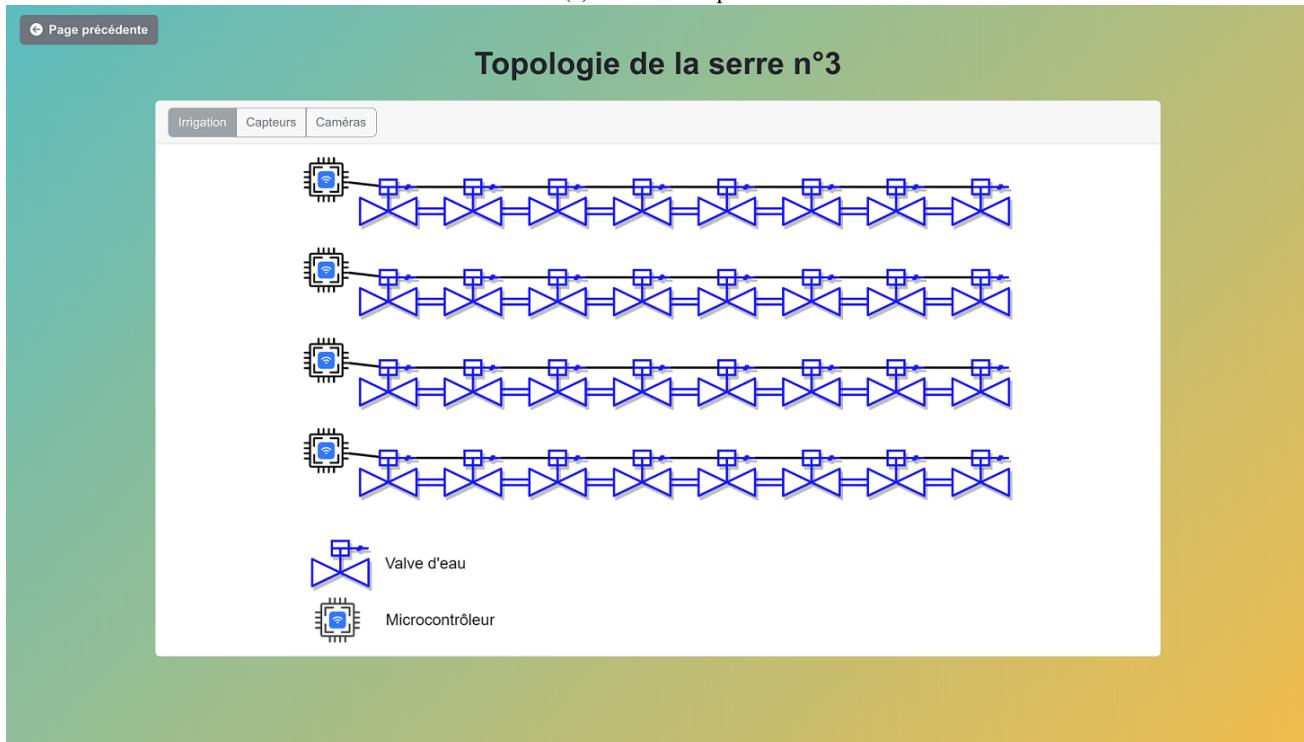


(b) Ajout d'un capteurs

Fig. 5: Interface de suivi des capteurs



(a) Réseau complet



(b) Système d'irrigation

Fig. 6: Affichage de la topologie