

Conception d'un prototype de détection de facteurs du sol et paramètres climatiques favorables à la croissance des plantes

Par Kombo Yibunga Ruben est Chercheur et Enseignant à l'Institut Supérieur Pédagogique d'Oïcha en RD. Congo

Résumé

L'agriculture est l'une des activités effectuées par plus de 50% de la population de ce pays (RDC), cependant il s'observe que plusieurs cultivateurs sèment sans savoir avec certitude quelle culture est favorable dans leur milieu, ce qui joue sur la rentabilité et la qualité de leurs récoltes. Les cultivateurs font plus d'efforts pour en fin de compte avoir une production trop réduite. En effet, l'objectif de cette recherche est de permettre aux cultivateurs d'avoir un outil qui pourra leurs permettre de savoir, au préalable avec une grande précision, la culture des plantes favorables dans leur agglomération.

Mots clés : Conception, facteurs du sol, facteurs climatiques.

Abstract

Agriculture is one of the activities carried out by more than 50% of the population of this country (DRC), however it is observed that several farmers sow without knowing with certainty which crop is favorable in their environment, which affects the profitability and quality of their harvests. Growers try harder only to end up with too little production. Indeed, the objective of this research is to allow growers to have a tool that will allow them to know, in advance with great precision, the cultivation of favorable plants in their area.

Keywords: Design, soil factors, climatic factors.

Date of Submission: 26-06-2024

Date of Acceptance: 03-07-2024

I. Introduction

Les organismes vivants doivent contrôler leurs activités en fonction du monde dans lequel ils se retrouvent. Suite à leurs mobilités, pour une raison ou une autre, beaucoup d'animaux ont une certaine capacité d'adapter leurs activités, par exemple la recherche de la nourriture soit d'un partenaire sexuel soit encore un endroit où les êtres vivants peuvent construire un lieu où s'abriter en cas de mauvais temps. Par ailleurs, les plantes qui sont également des êtres vivants, sont par contre immobiles dès qu'elles ont enfoncé leurs premières racines dans le sol.

En effet, le sol constitue le principal milieu nutritif pour les plantes. Il permet de leurs fournir non seulement un support physique, les matières organiques et minérales mais aussi de l'eau et un milieu gazeux favorable au système racinaire. Il est donc indispensable de connaître l'origine, les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol avant toute culture. (RAVEN, 2013, p. 413). Etant donné que tout cultivateur a pour objectif de semer les plantes de manière à permettre une bonne croissance de celles-ci et d'en tirer le maximum de son profit, il a tout intérêt d'étudier avec certitude un certains nombres de paramètres tels que la lumière, la température, l'hygrométrie, le potentiel hydrogène des plantes, etc.

Ainsi, les cultivateurs ont besoin d'identifier à partir des facteurs liés au sol et aux facteurs climatiques, quelles plantes seraient appropriées dans leur milieu pour une meilleure rentabilité. Par conséquent, certaines difficultés pourront survenir lors de la prise de décision, notamment :

- Ne pas savoir les raisons liées au sol qui sont à la base d'une fiable productivité des plantes dans un milieu par rapport à la température, l'humidité, la lumière, l'hygrométrie, le potentiel hydrogène et la texture du sol ;
- Ignorance de l'état du sol et de facteurs extérieurs qui peuvent favoriser la croissance dans ce milieu ;
- Ignorance des propriétés du sol et les facteurs extérieurs qui peuvent modifier la croissance des plantes
- Identification lors de la déstabilisation de facteurs du milieu qui peuvent influencer la croissance des végétaux.

Dans le but de vouloir aider les cultivateurs d'améliorer leur rendement, Monsieur Hamza Noomene en (2011) dans son sujet de recherche intitulé : « Etude de la salinité des sols par la méthode de détection électromagnétique dans le périmètre irrigué de Kalàçat Landelous en Tunisie ». Il a œuvré enfin de résoudre le

problème de salinisation qui pouvait permettre au sol d'acquérir du sel à un degré plus ou moins fort enfin d'occasionner les effets nocifs dans la zone racinaire de végétaux. Grâce à la technique d'induction électromagnétique utilisant une sonde GEONICS EM38, il a été en mesure de permettre aux cultivateurs de savoir au préalable si le taux de salinité du sol est favorable pour leurs cultures. Par ailleurs, dans cette même perspective, Mr Chellal Arezki et Mr Benhanifia Adbeldjalil (2020) ont fait la *conception et la réalisation d'un système d'arrosage automatique et autonome* ». Ils ont travaillé en fin permettre la croissance des plantes tout en luttant contre les problèmes de l'arrosage manuel notamment la perte de temps et de l'énergie des agents, la lourdeur de la tâche, le gaspillage de l'eau. En effet, tout en tenant compte de l'aspect économique et technique, leur système d'arrosage automatique et autonome des plantes, a été en mesure de permettre aux utilisateurs un gain de temps et coût du fait qu'il arrose en prenant en compte la température et la teneur de l'eau de chaque plante.

En effet, il y a plusieurs facteurs qui entrent en jeu en faveur d'une très bonne efficacité d'augmentation irréversible de dimension des organes de la plante sans changement de ses propriétés qualitatives, comme vous le constatez. Les auteurs, ci-haut se sont juste intéressés à l'eau (irrigation) et au taux de la salinité du sol qui ne sont pas les seuls facteurs influençant la croissance des plantes. Eu égard à ce qui précède, une question générale se dégage : *Comment pouvons-nous identifier les facteurs liés au milieu et climat par rapport à l'exigence de la plante pour une croissance satisfaisante ?*

II. Objectifs du travail

Pour aider les cultivateurs dans leurs choix des plantes qui peuvent bien croître dans leurs milieux sans le problème de croissance, nous jugeons mieux que la mise en place d'un logiciel permettant de visualiser les propriétés liées aux facteurs écologiques (la lumière, la température, l'humidité, le pH) et identifiant la structure du sol serait une solution opportune. Celui-ci permettra aux cultivateurs de connaître les plantes qui seront adaptées à leur sol en ce sens que les facteurs du milieu participent à la croissance des plantes.

Pour établir l'objectif principal, spécifiquement le prototype que nous voulons mettre en place pourra permettre de détecter et visualiser les facteurs liés à l'environnement pour la croissance des plantes, il s'agit de la lumière, la température, l'humidité, le Ph grâce à la température et l'échantillon du sol.

III. Méthodologie de recherche

Pour mener correctement cette recherche, nous avons combinés deux méthodes. D'une part, la Méthode MERISE pour réaliser l'étude du système existant afin de déceler les failles y relatives. Et d'autres part, nous nous sommes servis de la méthode UP pour la mise en place de notre prototype tout en utilisant les formalismes du Langage UML. En outre, nous avons appuyés ces méthodes par les techniques ci-après :

- **La technique documentaire** nous a permis de récolter des informations des différents ouvrages et sites web spéculant sur notre domaine d'étude.
- **La technique d'observation participante** nous a permis de voir les différents facteurs écologiques enfin de nous permettre de faire l'expérimentation.
- **Le prototypage** nous a permis de mettre en pratique les théories récoltées dans différents ouvrages sur base de réseaux des capteurs.

IV. Approche théorique

IV.1. Conception

Etant un substantif qui vient du verbe "concevoir", la conception est la représentation qu'on se fait de quelque chose ou encore le fait de créer quelque chose (LAROUSSE, 2010). Dans cette recherche, elle est prise comme étant l'ensemble d'activités qui permettent de créer et de gérer un système d'information tel que le déclare GLOSSAIRE (2022, p. 33). Nous allons concevoir un prototype d'un système de détection de facteurs du sol et climatique favorable aux plantes.

IV.2. Prototype

Le prototype est une simulation ou un modèle de ce que sera un objet ou un produit au final. Celui-ci n'est qu'un exemplaire incomplet et non définitif de l'objet ou produit. (MUHINDO MASIVI, 2015) Nous avons utilisé certains outils lors de la mise en place de notre prototype, notamment :

- des langages :
 - ✓ UML : nous a permis de modéliser notre système informatique.
 - ✓ SQL : nous a permis de manipuler notre base de données.
 - ✓ Wlanguage : le langage de programmation que nous avons utilisé pour créer l'IHM (Interface Homme Machine) de notre système.
 - ✓ Le langage C : le langage de programmation qui nous a servis à programmer la carte électronique.

- des logiciels :
 - ✓ Arduino : Éditeur de code qui est à la base de manipulation de programmation de microcontrôleurs enfin de produire des signaux électriques de manière à effectuer une tâche quelconque.
 - ✓ WinDev : un AGL (Atelier de Génie Logiciel) qui nous a permis développer notre logiciel.
 - ✓ HyperfileSql : Un système de gestion de base de données qui nous a permis de manipuler notre base de données.
 - ✓ Proteus 8 Professional : logiciel qui nous a permis la représentation graphique et schématique de la partie électronique.
- des matériels :
 - ✓ Une carte arduino : C'est une carte électronique programmable qui ne sait rien faire sans qu'on lui demande de faire quelque chose c'est-à-dire qu'elle a besoin de programme pour fonctionner (SIMON LANDRAULT et HIPPOLYTE WEINSLINGER, 2014, p. 23). Parmi toutes les cartes nous avons utilisé la carte arduinouno et Duemilanove.
 - ✓ Le capteur : un dispositif qui transforme une grandeur physique en une grandeur utilisable. Il constitue les éléments de base d'acquisition des données. (GTA, 2023) Parmi les capteurs qui existent, nous avons fait usage de : Capteur de Ph, Capteur de température et humidité de l'air DHT11, Capteur de la lumière, Capteur d'humidité du sol, Camera.

IV.3. Sol

Le sol a connu plusieurs définitions. Il est l'un de facteurs constituant une source favorisant pour la croissance, la reproduction chez les êtres vivants végétaux enfin de fournir aux animaux les matières nutritives. Le sol est constitué de propriétés physiques, chimiques et biologiques pour contribuer à la croissance des êtres vivants végétaux.

a) Propriétés physiques du sol

Etudier les propriétés du sol consiste à décrire physiquement et quantitativement le comportement à court terme du sol de sorte qu'il puisse être appliqué à la résolution de divers types de problèmes sur le plan agricole. Les phénomènes rapides tels que le transfert de l'eau, de l'air et de chaleur ou de soluté favorisent la réaction sur les conditions et les rythmes de croissance des végétaux. Une fois la physique fournit une description dans ce processus, il devient ainsi une des propriétés les plus importantes du sol favorisant sa bonne gestion, dans le but d'améliorer parfaitement la production, la protection et la conservation des végétaux. (Bonneau, 2021, p. 2)

b) Propriétés Chimiques du sol

- Capacité d'échange cationique

La CEC correspond au nombre de sites négatifs où peuvent être gardés les cations dans le sol : calcium, potassium, magnésium, sodium et ammonium. Elle permet de mesurer la fertilité d'un sol en indiquant la capacité à pouvoir retenir des éléments nutritifs d'un sol donné. La capacité d'échange cationique exprime également la capacité d'un sol à résister aux changements de PH (capacité tampon) et dépend de sa composition (sol minérale à CEC généralement faible ou sol organique à CEC souvent élevée) (BAISE, 2023).

- PH du sol

Le pH du sol fait partie des propriétés du sol sur le plan physico chimique de solide. (GOBAT, 2010, p. 81). Le pH ou potentiel hydrogène mesure l'activité chimique des ions hydrogènes (H⁺) pour offrir une bonne productivité. Le potentiel Hydrogène exprime les degrés d'acidité ou d'alcalinité d'un sol sur une échelle de 1 à 14. (Jean-Luc Julien, 2023)

Un sol neutre et bien équilibré présentera un pH de 7, alors qu'un pH inférieur à 7 présente un sol à tendance acide, au contraire, un pH supérieur à 7 présente un sol basique et donc contenant du calcaire. Le pH favorise la présence d'élément nutritif pour chaque culture ; par exemple il y a des plantes qui ont plus besoin de fer qui est un élément qui augmente avec un taux d'acide élevé différemment d'un sol alcalin qui permet la diminution de fer. (Iris MAKOTO, 2013).

Certaines plantes préfèrent un sol acide (pH < 7), d'autres un sol neutre (pH = 7), d'autres encore un sol basique - ou alcalin (pH > 7). En vrai dire le pH joue un grand rôle sur la croissance des plantes. (Morrow, 2023)

- Pouvoir tampon du sol

Le pouvoir tampon du sol intervient dans la stabilisation du pH du sol, c'est-à-dire de son acidité (H. Spaltenstein, 2023). La connaissance de la phase de tampon permet aussi d'évaluer l'état de l'évolution du sol, ainsi que sa résistance contre les polluants atmosphériques. (GOBAT, 2010, p. 81)

i. Propriétés Biologiques du sol

Dans le sol se trouvent plusieurs êtres vivants animaux protozoaires et les mammifères tels que les bactéries, les champignons, les algues, les parties souterraines des plantes. L'ensemble de ces organismes constitue le système du sol et favorise la formation et l'évolution du sol. Les organismes tels que les bactéries favorisent l'équilibre des gaz et participent dans les cycles biogéochimiques du sol. Les champignons transportent les quantités d'eau nécessaire pour la survie des plantes et des substances, permettent de dégrader la litière enfin de

trouver de l'humus, la faune du sol, permettent également la transformation de la matière organique et autres action enfin de produire les galeries, la porosité, structuration des agrégats. (P. Lavelle, 2006, pp. 3-15)

ii. La fertilité du sol

La fertilité des sols désigne la capacité d'un sol pour pouvoir produire dans les conditions actuelles de culture. Ou encore la capacité du sol à répondre aux besoins physiques, chimiques et biologiques nécessaires à la croissance des plantes, pour leur productivité, leur reproduction et leur qualité de manière adaptée au type de plante, au type de sol, à l'usage des sols et aux conditions climatiques. (Weidman, 2013)

Trois propriétés décrivent la fertilité d'un sol, notamment :

- **Fertilité chimique** : elle correspond à l'absence d'éléments toxiques capables de limiter ou de supprimer la productivité du sol. La fertilité chimique concerne aussi le pH, les éléments que contiennent les matières organiques et la taille de la capacité d'échange cationique.

- **Fertilité physique** : La fertilité physique correspond à la profondeur du sol, à sa texture et à sa structure qui conditionnent la capacité de pénétration des racines et les mouvements de l'eau et de l'air au centre dans le sous-sol.

- **Fertilité biologique** : La fertilité biologique correspond à la capacité des organismes vivant dans le sol (plantes, bactéries, champignons, animaux, protistes) à contribuer à la nutrition des plantes.

Les propriétés suivantes contribuent généralement à la fertilité des sols :

- ✓ Une profondeur de sol suffisante pour le développement du système racinaire et pour retenir une quantité d'eau suffisante ;
- ✓ Un bon drainage, permettant une aération du sol suffisante pour la respiration racinaire (certaines plantes sont cependant adaptées aux sols saturés en eau, comme le maïs ou le riz) ;
- ✓ Une quantité de matière organique suffisante pour retenir de l'eau suffisante et une bonne structure du sol ;
- ✓ Un pH adapté aux besoins des plantes, situé entre 5,5 et 7,0 ;
- ✓ Une concentration suffisante des différents nutriments indispensables aux plantes, sous des formes assimilables.

c) Paramètre climatique

- Le cycle de l'eau : Une fois que l'eau s'est évaporée depuis les surfaces d'eau libres, depuis le sol, les glaciers et les végétaux, l'eau atmosphérique se condense dans les nuages, puis précipitée à la surface de la terre ainsi elle sera interceptée par la surface à partir de laquelle elle s'infiltrer. Ce cycle est fermé mais à la faveur des actions de l'homme ou de phénomènes naturels, les différents compartiments du cycle de l'eau peuvent être modifiés.

- La pluviométrie : est le paramètre climatique le plus étudié suite à sa plus grande variabilité d'une année à l'autre et d'un lieu à l'autre. La température, le rayonnement, l'humidité relative de l'air et la vitesse du vent présentent des coefficients de variation mensuelle, interannuelle. Plus on réduit le temps sur lequel on analyse le temps de données, plus les CV augmentent et plus les longues séries historiques pour que les valeurs moyennes aient un sens.

- Le rayonnement : la partie visible du rayonnement solaire qui contient la partie dite photo synthétiquement active, représentant le carburant de la machine à produire de la biomasse. (JOUVE, 2013, p. 433)

- L'hygrométrie relative de l'air : est la quantité de vapeur d'eau dans l'air par rapport à la capacité maximale que ce dernier peut en contenir. L'humidité relative de l'air s'exprime en pourcentage (%) et dépend de la température et de la pression. (Naud, 2023)

- La température : joue un rôle dans la détermination de besoin en eau. La température de l'air constitue un facteur important qui favorise la croissance et le développement des plantes. En dessous d'une certaine température, les plantes ne poussent pas ; au-dessus d'une certaine température, propre à chaque espèce, la croissance subit ses inconvénients, voire arrêtée. Entre ces deux valeurs, la température pilote l'efficacité avec de la photosynthèse qui convertit le rayonnement en biomasse. (Muller, 2023)

Il n'y a pas une méthode qu'utilisent les cultivateurs de notre contrée pour savoir que la culture d'une plante x est favorable dans leur milieu. Il y a certains qui se fient à leur instinct et d'autres qui peuvent se lancer dans la culture sans savoir que sera le résultat, c'est la récolte qui devra les fixer de l'adaptabilité de la culture dans le zone.

V. Conception du nouveau Système

Il n'y a pas une méthode qui utilise les cultivateurs de notre contrée pour savoir que la culture d'une plante est favorable dans leur milieu. Il y a certains qui se fient à leur instinct et d'autres qui peuvent se lancer dans la culture sans savoir que sera le résultat, c'est la récolte qui devra les fixer de l'adaptabilité de la culture dans la zone.

1. Diagramme de cas d'utilisation

La conception de notre système de détection de facteurs du sol et paramètres climatiques favorables à la croissance des plantes repose sur le diagramme de cas d'utilisation ci-après :

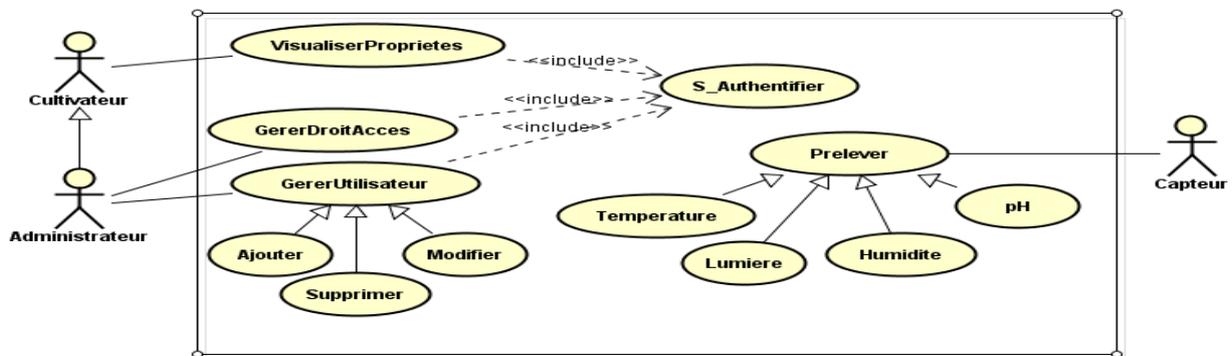


Figure 1. Diagramme de cas d'utilisation
Source : Notre conception selon UML en Astah Community

Le cultivateur peut visualiser les propriétés de la croissance des cultures, l'administrateur peut toutefois ajouter les utilisateurs, les supprimer, limiter leurs droits d'accès. Il se fait voir par ailleurs que les capteurs sont autonomes et présentent aux utilisateurs (Agronome et administrateur) le résultat dès qu'ils sont dans le système.

2. Diagramme de séquence

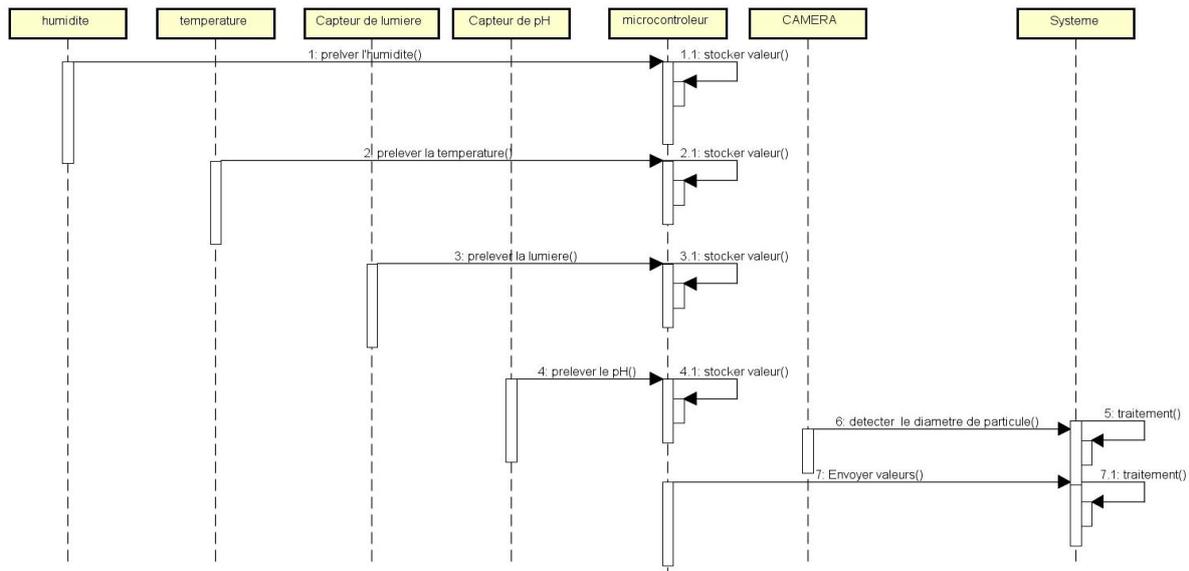


Figure 2. Diagramme de séquence du système
Source : Notre conception selon UML en Astah Community

Les capteurs de l'humidité, de la température, de la lumière, de Ph, envoient les valeurs vers les microcontrôleurs. Le microcontrôleur et la camera, qui est un capteur à part, envoient les données vers le système et après le système effectue le traitement de l'évaluation afin de produire le résultat des plantes favorable aux données du moment.

3. Diagramme d'activité matérielle

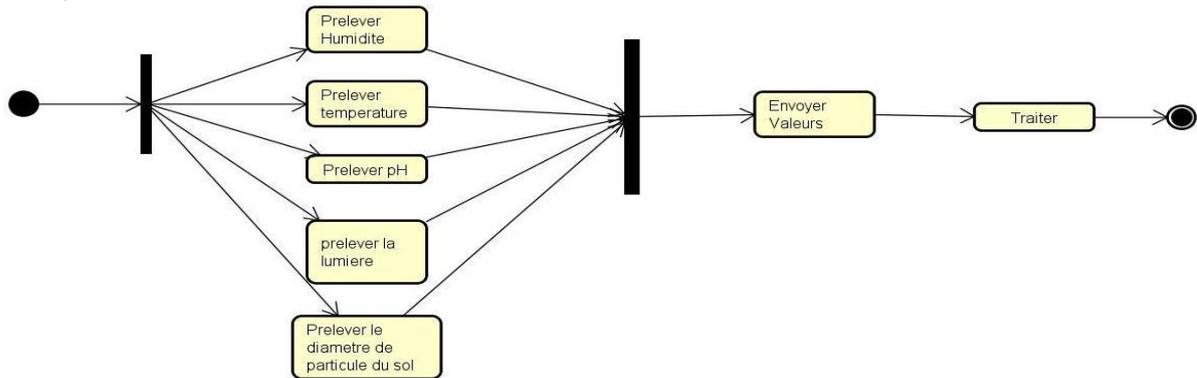


Figure 3. Diagramme d'activité du système matériel
Source : Notre conception selon UML en Astah Community

Commentaire : Il y a d'abord prélèvement de l'humidité, de la température, du Ph, de luminosité, de diamètre de la particule du sol par les différents capteurs, ensuite ses valeurs sont envoyées vers le système, enfin ce dernier effectue le traitement.

4. Diagramme de classe

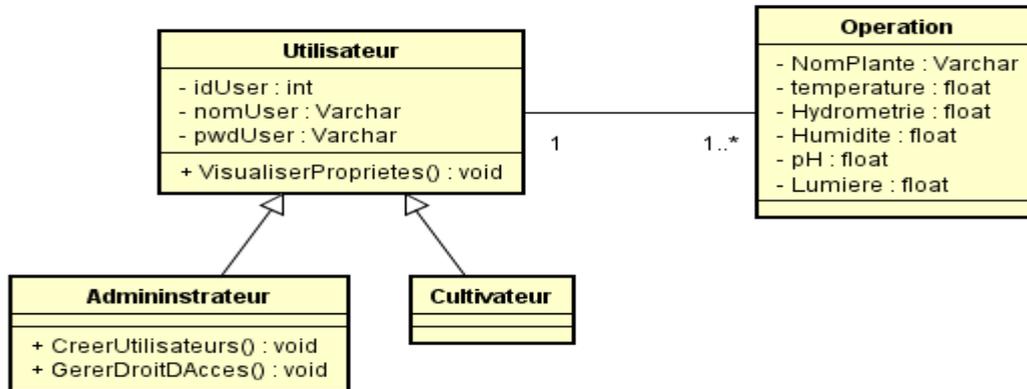


Figure 4. Diagramme de classe
Source : Notre conception selon UML en Astah Community

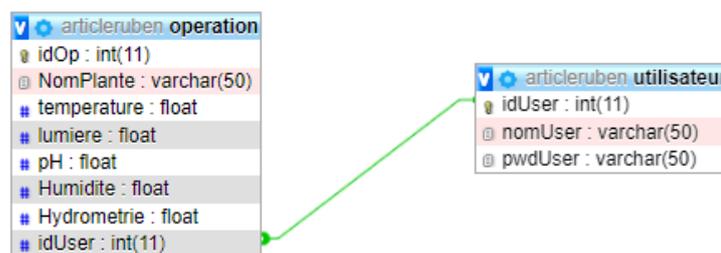
Ce diagramme décrit l'architecture des classes du système. Ces classes gèrent les utilisateurs principaux du système en démontrant que l'application est constituée de l'administrateur qui peut créer les utilisateurs, limiter les droits d'accès et visualiser les valeurs et enfin, le cultivateur peut évaluer l'application en donnant ses avis et visualiser les valeurs.

5. Modèle Logique de données

Ci-après la présentation logique de la base de données issue de notre diagramme de classe.

1. Utilisateur (idUser, nomUser, pwdUser)
2. Operation (idOp ; nomPlante, temperature, hydrometrie, humidite, pH, Lumiere, idUser#)

6. Modèle Physique de données



C'est la structure de la base de données qui aura à sauvegarder les informations sur les utilisateurs et les plantes. C'est sur base des données qui sont dans la table opération que le système sera en mesure de proposer aux cultivateurs la situation de la croissance des cultures comparativement aux données détectées de façons automatique par les capteurs.

VI. IMPLEMENTATION

1. Schéma Synoptique du système

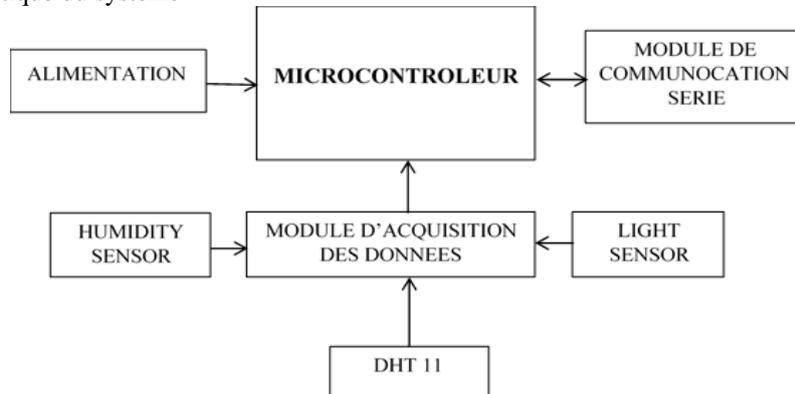
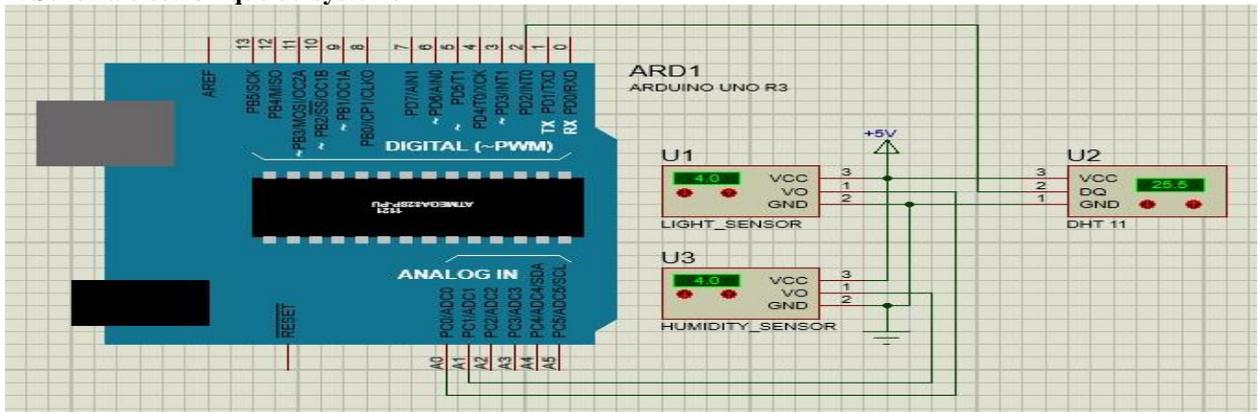


Figure 6. Schéma Synoptique du système

Le capteur de l'humidité, de DHT11 et le capteur de lumière qui envoient les valeurs vers le module d'acquisition des données et à son tour le module d'acquisition des données envoie les données vers le microcontrôleur qui sera alimentée et qui communique ses données avec le monde extérieur via le module de communication série.

2. Schéma électronique du système



3. Présentation du logiciel

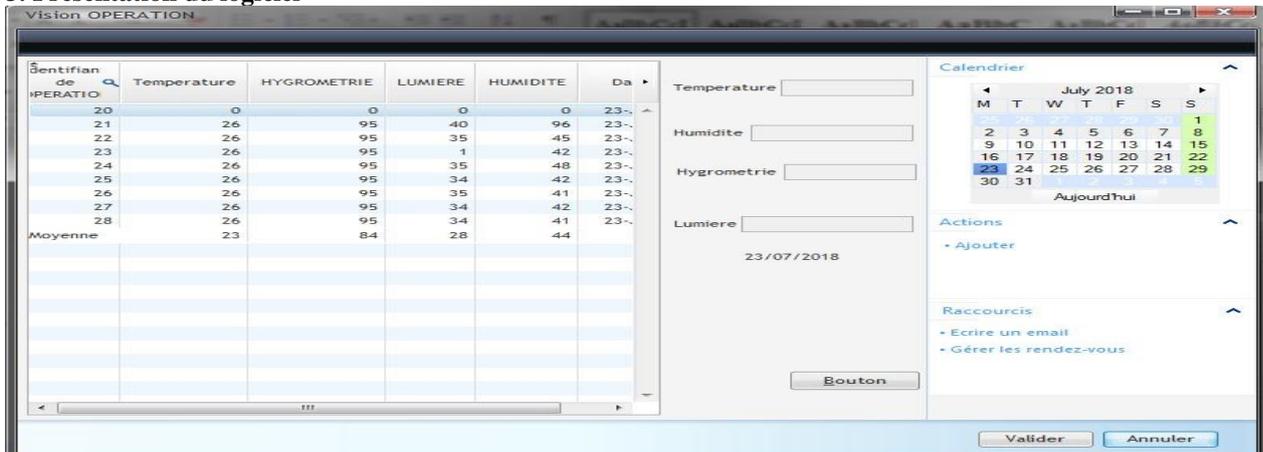


Figure 15 fenêtre de coefficient de variation

- Fenêtre plante-environnement : c'est la fenêtre qui donne l'état de chaque plante d'après l'humidité, la température, le PH, l'hygrométrie et la lumière.

VII. Conclusion

Sommaires toutes, l'environnement climatique et végétal a un impact sur la vie de la population favorisant la photosynthèse qui permet la production du O₂ favorable aux humains et l'expiration de ces derniers produisent du CO₂ bénéfique pour les végétaux qui constitue l'une de ses matières nutritives, un meilleur cycle de l'eau sans aucune modification, une croissance rapide des plantes enfin de servir aux humains comme alimentation, importation et exportation des produits agricoles.

En effet, ce travail a consisté à réaliser un prototype capable de détecter le milieu favorable des plantes afin de permettre une très bonne croissance végétale pour la survie des êtres vivants animaux et végétaux.

L'achèvement de ce travail scientifique nous a exigé de procéder par différentes méthodes telles que la méthode UP et la méthode MERISE. Comme technique nous avons fait recours à la technique documentaire, la technique d'observation et le prototypage. Par ailleurs, nous avons utilisé le capteur DHT11 pour la température et l'humidité de l'air, le capteur de l'humidité du sol, le capteur de la luminosité en tenant compte des espèces pérennes cultivées en RDC précisément en ville de Beni.

En tenant compte des essais effectués, nous avons atteint l'objectif que nous nous sommes fixés dans la partie introductive car ces tests ont prouvé qu'automatiquement le logiciel contrôle le milieu en affichant les valeurs écologiques favorables pour chaque plante et il stocke les opérations enfin de repérer les valeurs moyennes annuelles et mensuelles.

Ce travail scientifique a juste relevé les valeurs écologiques car il y a encore plusieurs substances qui entrent en jeu dans la croissance des végétaux notamment : le taux de Potassium, de l'azote, ... nous encourageons tous ceux-là qui veulent approfondir ce travail scientifique pour la survie des êtres vivants végétaux de nous emboîter les pas.

Bibliographie

- [1]. ABDELJALIL, C. A. (2020). conception et la réalisation d'un système d'arrosage automatique et autonome. Alger: UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU.
- [2]. BAISE, D. (2023, novembre 13). Capacité d'échange cationique. Récupéré sur fr.wikipedia.org: https://fr.wikipedia.org/wiki/Capacit%C3%A9_d%27%C3%A9change_cationique
- [3]. Bonneau, M. (2021). L'importance des propriétés du sol dans la production forestière. HAL Open Science.
- [4]. GLOSSAIRE. (2022). conception d'un système d'information.
- [5]. GOBAT, A. e. (2010). Le sol vivant bases de pédologie – biologie de sols.
- [6]. GTA, L. (2023, novembre 13). Capteur. Récupéré sur fr.wikipedia.org: <https://fr.wikipedia.org/wiki/Capteurvisite>
- [7]. H. Spaltenstein. (2023, novembre 13). pouvoirtampon-sol. Récupéré sur [pedologie.ch](http://pedologie.ch/pouvoirtampon-sol): <http://pedologie.ch/pouvoirtampon-sol>
- [8]. Iris MAKOTO. (2013, novembre 13). sol_ph. Récupéré sur www.aujardin.info: https://www.aujardin.info/fiches/sol_ph.php
- [9]. Jean-Luc Julien, G. B. (2023, novembre 13). PH du sol. Récupéré sur mots-agronomie.inra.fr: [https://mots-agronomie.inra.fr: https://mots-agronomie.inra.fr/index.php/PH_du_sol](https://mots-agronomie.inra.fr/index.php/PH_du_sol)
- [10]. JOUVE. (2013). MEMENTO DE L'AGRONOME. Paris: Société Jouve.
- [11]. Anonyme (2023, novembre 6). /www.futurasciences.com. Récupéré sur <https://www.futurasciences.com/planete/questions-reponses/rechauffement-climatique-climat-t-il-impactsols-1228>
- [12]. Morrow, R. (2023, novembre 13). /le-ph-du-sol. Récupéré sur www.monjardinpermaculture.fr: <http://www.monjardinpermaculture.fr/pages/le-ph-du-sol>
- [13]. MUHINDO MASIVI, O. (2015). TRAVAIL DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE EN SEPT ETAPES. Butembo: FRIDI.
- [14]. Muller, É. (2023, novembre 17). Les effets du changement climatique sur la croissance des plantes. Récupéré sur planet-vie.ens.fr: <https://planet-vie.ens.fr/thematiques/vegetaux/les-effets-du-changement-climatique-sur-la-croissance-des-plantes#:~:text=La%20temp%C3%A9rature%20est%20donc%20un,on%20appelle%20le%20stress%20thermique>.
- [15]. Naud, A. B. (2023, novembre 17). L'humidité relative et la température. Récupéré sur ccq.gouv.qc.ca: <https://www.ccq.gouv.qc.ca/index-id%3D171.html#:~:text=En%20r%C3%A9sum%C3%A9,%20La%20notion%20d'humidit%C3%A9%20relative,temp%C3%A9rature%20et%20une%20pression%20donn%C3%A9es>.
- [16]. Noomene, H. (2011). Etude de la salinité des sols par la méthode de détection électromagnétique dans le périmètre irrigué de Kalàçat Landelous en Tunisie: cas d'une parcelle de courge. Mejarde: Université de Manouba.
- [17]. P. Lavelle, T. D. (2006, novembre 13). Activation biologique du sol. J. of Soil Biol. Récupéré sur fr.wikipedia.org: https://fr.wikipedia.org/wiki/Activation_biologique_du_sol
- [18]. RAVEN, E. e. (2013). Biologie végétale. Paris: Boeck Supérieur.
- [19]. SIMON LANDRAULT et HIPPOLYTE WEINSLINGER. (2014). ARDUINO PREMIER PAS EN INFORMATIQUE EMBARQUEE. blog d'Eskimon .
- [20]. Weidman, N. P. (2013, novembre 13). Les principes de la fertilité du sol. Suisse: Institut de la recherche de l'agriculture Biologique. Récupéré sur fr.wikipedia.org: https://fr.wikipedia.org/wiki/Plante_vivace