

Etude d'un système de mesures de température et d'humidité du sol

Les enjeux

Les mesures d'humidité et de température du sol sont des informations indispensables aux bonnes pratiques agricoles.

L'humidité du sol permet notamment de connaître la quantité d'eau disponible dans le sol pour la plante, et donc d'ajuster les doses d'irrigation.

Les variations d'humidité du sol nous informent sur les pertes ou les apports en eau. On peut ainsi estimer la consommation en eau des plantes, l'évaporation du sol, etc...

L'intérêt de mesures non-destructives est de pouvoir suivre les phénomènes sur de longues périodes, de travailler en conditions réelles et avec peu de main d'œuvre.

Ces conditions sont aujourd'hui nécessaires pour répondre aux exigences d'une agronomie moderne et renseigner des modèles de bilan hydrique, de transfert hydrique et minéral de plus en plus précis afin d'optimiser la conduite des cultures, et d'en maîtriser les effets sur l'environnement.

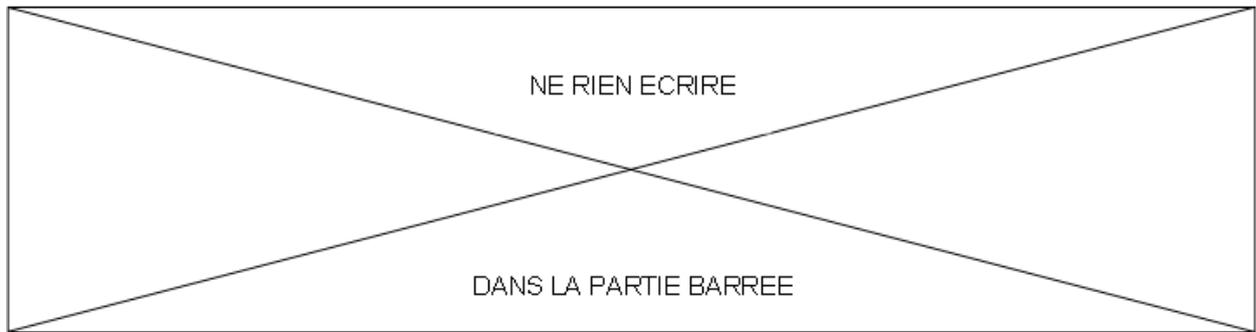
Dans cette optique, nous souhaitons mettre en place une chaîne de mesure. Pour cela, nous étudierons deux capteurs différents pour mesurer le taux d'humidité : un capteur capacitif et un réflectomètre temporel (détermination du temps de propagation d'un signal haute fréquence dans le milieu). La mesure de la température se fera à l'aide d'un capteur spécifique, le LM335. Toutes les informations délivrées par les capteurs seront numérisées par une carte Arduino et transmises sans fil par un module Zigbee pour un post traitement éventuel.

Etude générale du projet

Q1- Donner un bref descriptif de la chaîne de mesure de température en partant de la grandeur physique jusqu'à l'utilisation des données, en passant par la transmission sans fil Zigbee. Noter un descriptif de chaque étape :

a. Grandeur physique : définition et plage de valeurs mesurables

b. Capteur : type

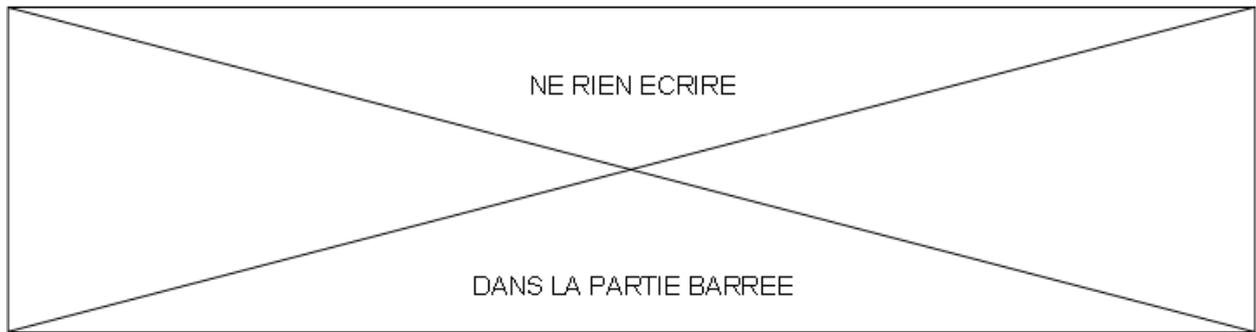


c. Traitement des données

d. Transmission Zigbee

e. Exploitation des résultats

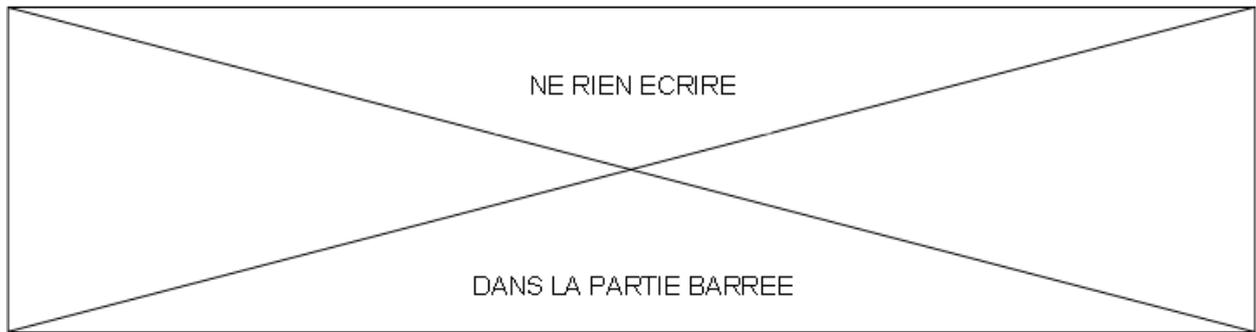
Q2- Citer 3 types de capteur de température et leurs principes de fonctionnement



Q3- Citer 2 méthodes de mesure de capacité classiques et rappeler leur principe

Q4- Citer 3 types de convertisseurs A/N et en donner un bref descriptif

Q5- Citer 3 fabricants de microcontrôleurs et les suites logicielles qu'ils utilisent

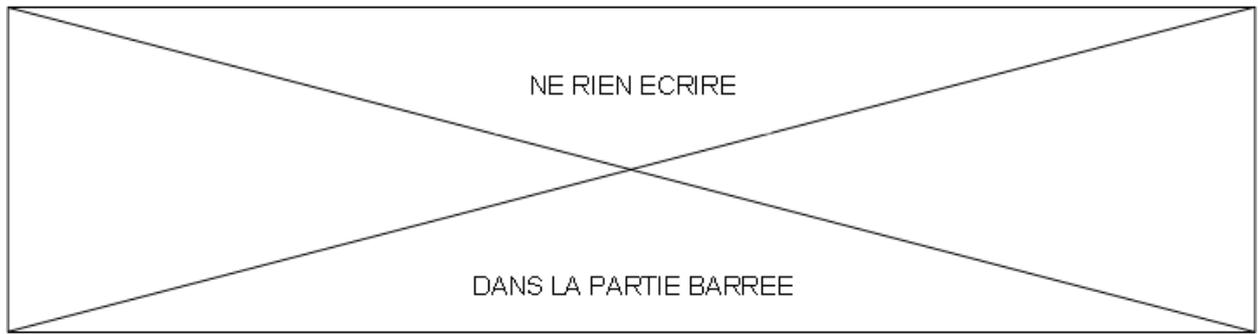


Q6- Quelles sont les grandes différences entre un FPGA et un microcontrôleur ?

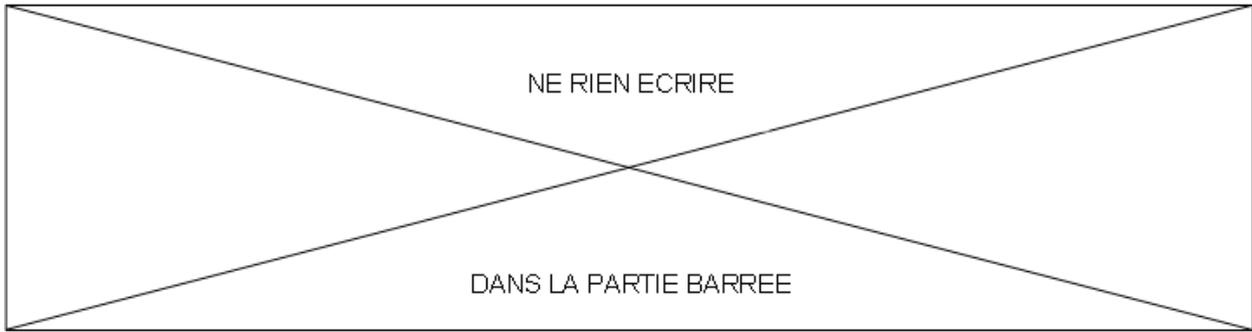
Q7- Citer trois logiciels de CAO électronique

Q8- Donner les différentes méthodes de tirage de circuits imprimés que vous connaissez avec les avantages et inconvénients de chacune.

Q9- Donner un type de format de fichier standard utilisé pour le développement des circuits imprimés



Q10- Anglais technique : traduire la partie « Power » de la notice du module Arduino



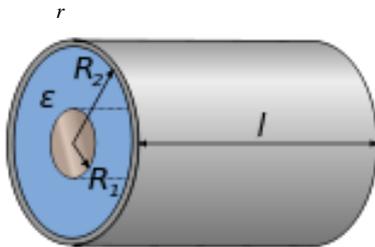
Etude d'un capteur capacitif de mesure d'humidité

Il s'agit de réaliser un condensateur cylindrique constitué de deux électrodes coaxiales plongées dans le milieu à caractériser et de mesurer sa capacité.

1) Capacité du capteur

La capacité du condensateur formé est donnée par : $C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{2\pi l}{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)}$

Avec :



ϵ_0 : permittivité du vide = $8.84 \cdot 10^{-12} \text{ F.m}^{-1}$

ϵ_r : permittivité du milieu à caractériser

l : longueur du cylindre

R_2 : rayon de l'électrode extérieure

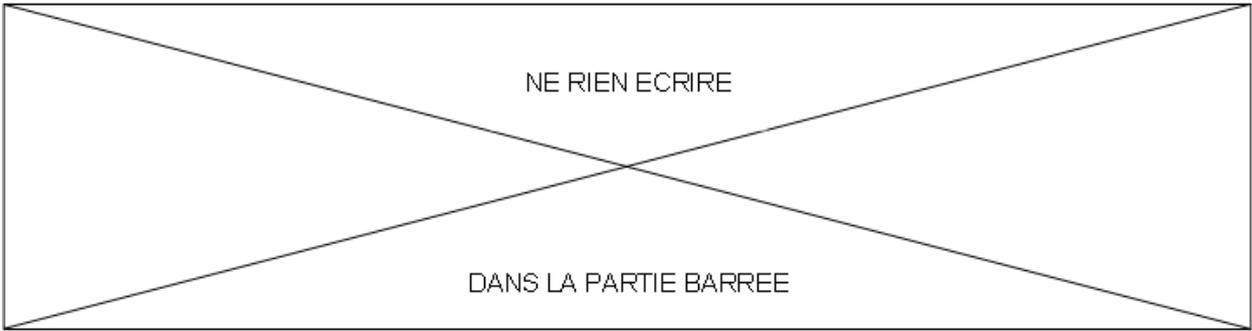
R_1 : rayon de l'électrode intérieure

Figure 1 : condensateur coaxial

Q11- Application numérique :

En considérant un capteur cylindrique de diamètres 1mm/12mm et de longueur 60 cm et en utilisant l'abaque donnée en annexe 1 (caractéristiques électriques du sol), calculer pour une fréquence inférieure à 10 MHz la valeur de la capacité du condensateur formée par un sol :

Etat du sol	humide	moyennement sec	très sec
Permittivité			
Capacité calculée			



2) Mesures de capacité

a) Réalisation d'un circuit de mesure à partir d'un circuit NE555

On souhaite déterminer la capacité du capteur à partir d'un circuit NE555 en monostable (voir documentation en annexe 2). Le capteur est connecté sur la broche 6 du composant. Le signal d'entrée de la broche 2 sera fourni par une des sorties PWM de la carte Arduino.

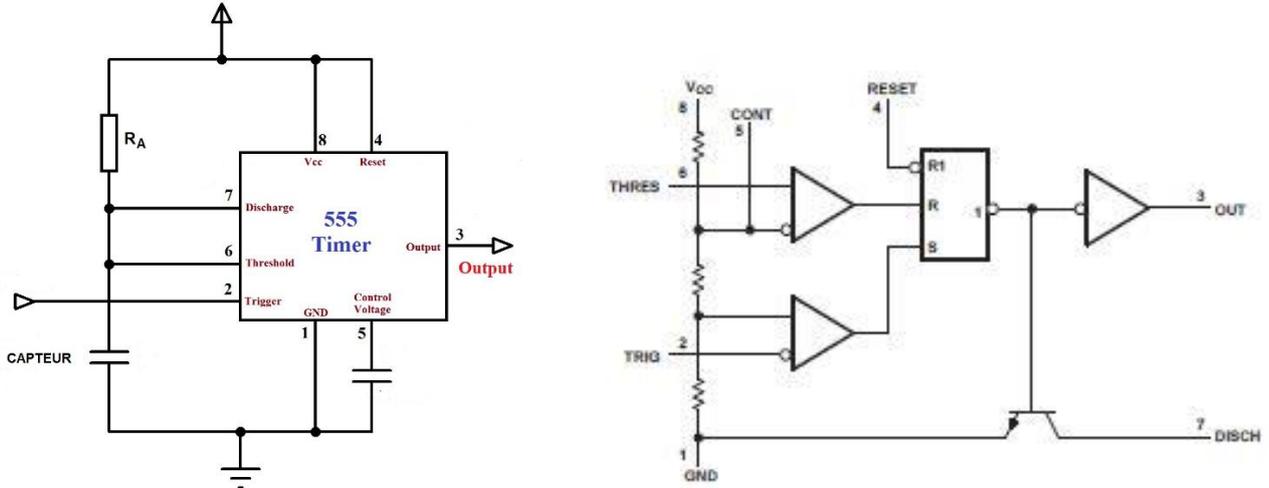
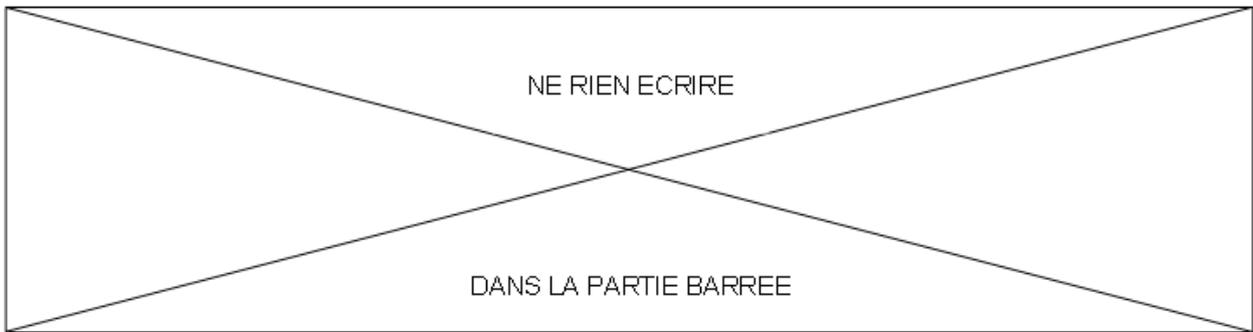


Figure 2 : montage proposé à partir du NE555 (2a) et schéma interne du NE555 (2b)

Q12- Expliquer en français en quelques mots le fonctionnement du circuit lorsque le capteur est connecté sur la broche 6 à partir du montage proposé (figure 2a) et du schéma interne du NE555 donné dans la documentation (figure 2b)

Q13- Si $R_A = 1 \text{ M}\Omega$, quelle sera la durée t_w du temps haut du signal de sortie sur la broche 3 pour les 3 cas précédents :

Etat du sol	humide	moyennement sec	très sec
t_w			



b) Utilisation des sorties PWM de l'Arduino

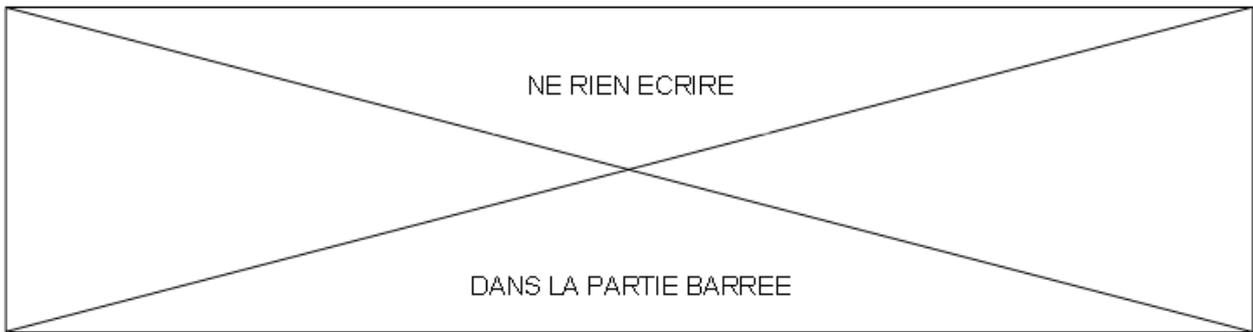
Q14- Quelles sont les numéros des broches correspondants à ces sorties ?

Q15- Deux de ces broches ont des fréquences approximatives de 980 Hz et les autres ont une fréquence de 490 Hz. Si on choisit une des sorties de fréquence 980 Hz, quel est l'ordre de grandeur du rapport cyclique souhaité pour pouvoir utiliser le capteur dans les trois situations précédentes ?

c) Détermination de la capacité du capteur :

Q16- Expliquer comment obtenir la valeur de la capacité du capteur à partir du signal de sortie du NE555

Q17- Sur quelles broches de l'Arduino pouvez-vous connecter ce signal ?



Mesure d'humidité de la méthode TDR

Il s'agit d'une méthode de permittivité non invasive et non-destructive utilisant des ondes haute fréquence. La technique consiste à envoyer une impulsion électromagnétique dans un guide d'onde, généralement formé de deux électrodes (parfois trois) métalliques de longueur connue l , et à analyser le temps T d'aller-retour du signal qui varie selon la valeur de la permittivité relative du sol ϵ_{sol} .

Le système de mesure est appelé réflectomètre. Il est constitué d'un générateur de tension, d'impédance interne R_g , raccordé à un système guide d'onde (la sonde du système), au travers d'une ligne coaxiale d'impédance caractéristique $R_g = Z_0$ et de longueur L . La sonde du système de mesure est une ligne bifilaire (dans le cas d'une sonde à deux électrodes métalliques) de longueur L_1 , enterrée dans le sol dont on cherche à mesurer le taux d'humidité. Un système de mesure (oscilloscope ou tout système d'enregistrement) vient mesurer la tension à l'entrée de la ligne coaxiale en fonction du temps (cf. figure 3).

La technique de mesure est la suivante : le générateur de tension émet un signal de type échelon, d'amplitude A_0 , qui se propage, via la ligne coaxiale, le long de la ligne bifilaire enterrée. Un front d'onde se propage donc dans la ligne coaxiale puis dans la ligne bifilaire, après avoir subi une réflexion partielle à l'interface de raccordement de la ligne coaxiale à la ligne bifilaire. Une partie du front d'onde repart en sens inverse vers le générateur de tension, l'autre partie du front continue sa propagation dans la ligne bifilaire. Lorsque le front d'onde arrive en bout de ligne, il est totalement réfléchi et repart vers la ligne coaxiale où il subit encore une réflexion partielle à l'interface de raccordement des deux lignes. Une partie du front continue sa propagation vers le générateur de tension alors que l'autre partie repart dans la ligne bifilaire. Ce processus se perpétue jusqu'à ce que la totalité du front d'onde, après de multiples réflexions, soit totalement absorbé. Le régime permanent est alors atteint et la tension, quel que soit l'endroit du système de guides coaxial / bifilaire, est constante.

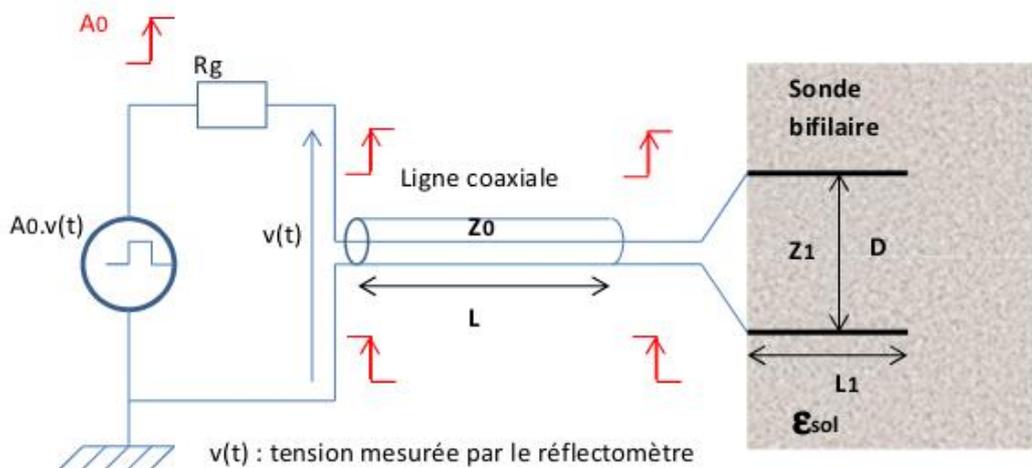
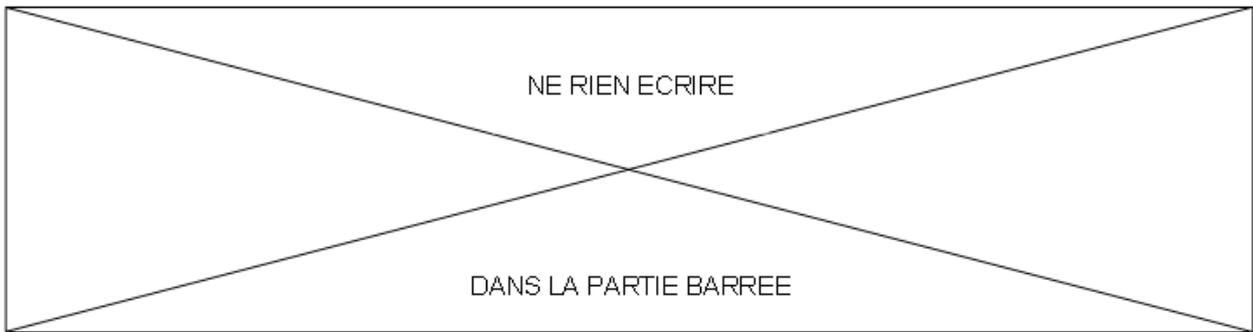


Figure 3 : système de mesure TDR



1) Etude du régime transitoire dans la ligne coaxiale :

Prise isolément, c'est-à-dire non raccordée à la sonde, la ligne coaxiale est utilisée pour calibrer le système de mesure. Cette opération permet de retrancher, de la réponse du système de mesure, les effets de la ligne coaxiale. De plus elle permet d'étalonner l'instant à partir duquel le front d'onde a atteint la sonde du système. L'opération de calibration se fait en deux étapes par une mesure de tension en entrée de la ligne en circuit-ouvert et en court-circuit. Pour la suite du problème nous supposons que la ligne coaxiale est sans perte et non dispersive et qu'elle a été préalablement calibrée.

Par ailleurs, la vitesse de propagation v dans un milieu de permittivité relative ϵ_r est donnée par la relation :

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

Où c représente la célérité dans le vide = $3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Nous proposons d'établir une relation entre les paramètres du signal mesuré en entrée de ligne et la permittivité du milieu placé à son extrémité.

a) Ligne coaxiale seule :

La première étape consiste à mesurer la tension en entrée de la ligne seule en fonction du temps. On obtient le chronogramme suivant :

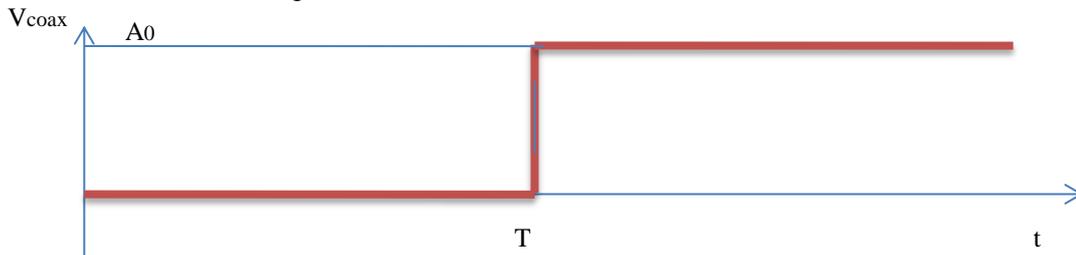
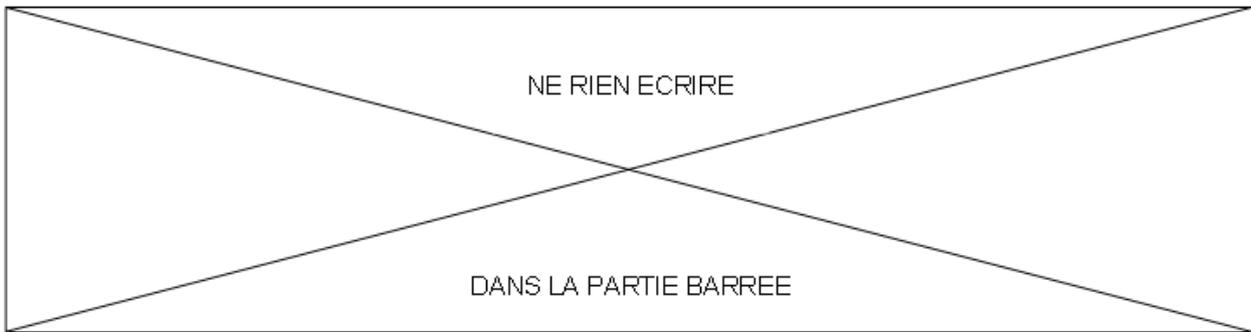


Figure 4 : chronogramme du signal de mesure à l'entrée de la ligne coaxiale (après calibration)

Q18- Si T_0 désigne le temps de propagation d'un front d'onde le long de la ligne coaxiale, Quelle est la relation entre T et T_0 ?

Q19- Donner la relation entre T et la permittivité ϵ_r de la ligne coaxiale

Q20- Dessiner sur le chronogramme précédent la tension $V_0(t)$ mesurée en bout de ligne coaxiale



b) Ligne coaxiale connectée sur la sonde de mesure placée dans le sol

L'impédance caractéristique de la sonde de mesure bifilaire est donnée par la relation :

$$Z_c = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} \frac{1}{\pi} \ln\left(\frac{2D}{d}\right)$$

Avec : $\mu = \mu_0 \mu_r$, $\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$ et $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ S.I.

Où μ_r désigne la perméabilité relative du milieu entre les lignes, ε_r la permittivité relative, D l'écartement des lignes et d leur diamètre

Q21- Si la sonde est enterrée dans un sol de perméabilité relative 1 (cf figure 3), donner l'expression de l'impédance caractéristique Z_1 de la ligne bifilaire lorsque l'écartement (de centre à centre) des électrodes est de 5 cm et le diamètre des électrodes étant de 5 mm en fonction de la permittivité relative du sol ε_{sol}

Si l'on se ramène à l'interface sonde / ligne coaxiale, on peut modéliser la source d'excitation de la sonde par un générateur de tension $E(t)$, d'impédance interne Z_0 et de tension à vide $V(t)$.

La sonde plongée dans le sol étant excitée par la source de tension $E(t)$, on obtient le chronogramme suivant de la tension $V_1(t)$ en entrée de la sonde depuis l'instant 0 : émission de l'échelon en tension par le générateur du réflectomètre, jusqu'au second rebond du front d'onde en extrémité de la sonde.

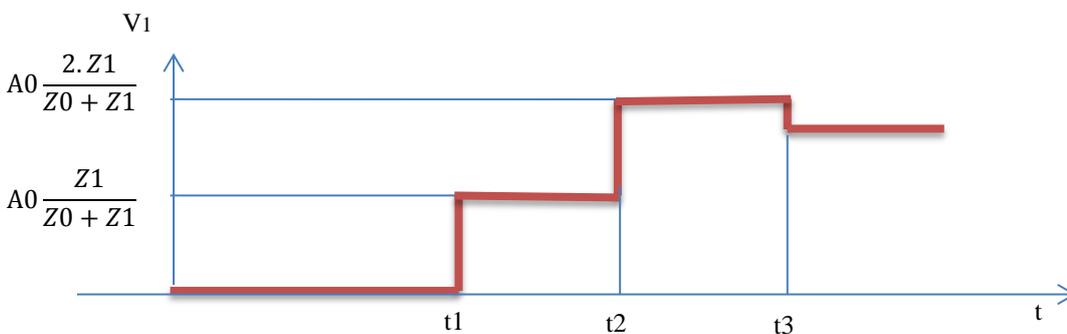
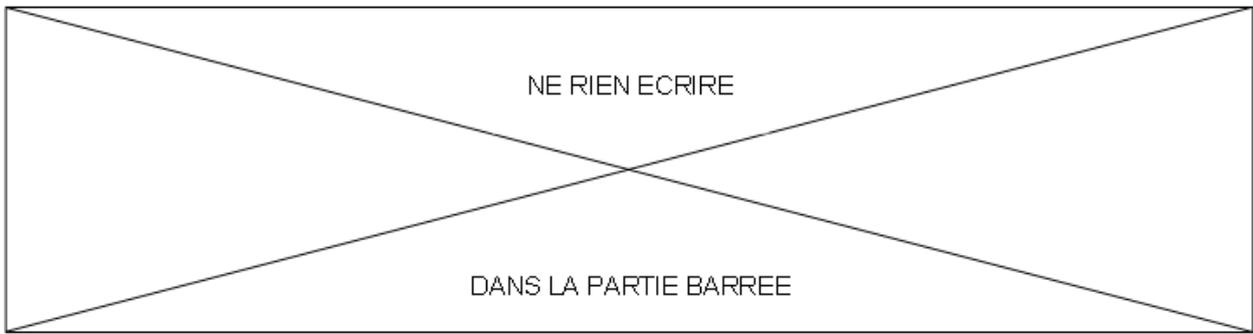
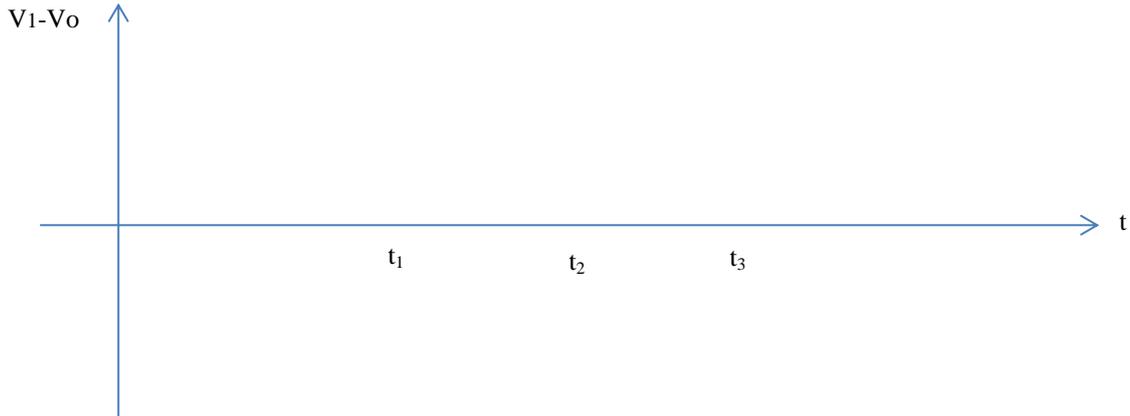


Figure 5 : chronogramme du signal en entrée de la sonde

Q22- Sachant que la durée pour qu'un front d'onde se propage le long de la sonde est τ , exprimer les différents instants t_1 , t_2 et t_3 où se produisent les transitions sur la tension $V_1(t)$ en fonction T_0



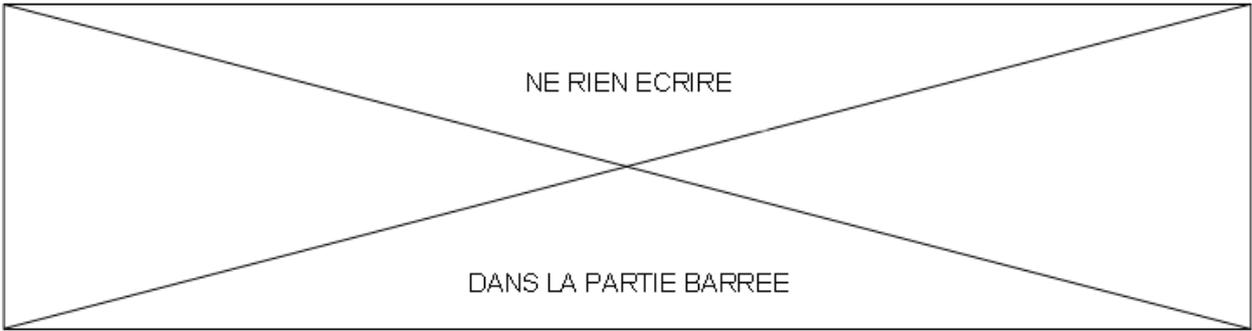
Q23- Dessiner le chronogramme de la tension $V_1(t)-V_0(t)$ (tension affichée par le réflectomètre après calibration et servant de signal de mesure)



Q24- Exprimer les instants des transitions t_1 , t_2 et t_3 entre ces différents paliers en fonction de L , L_1 , ϵ_r et ϵ_{sol}

Q25- Etablir la relation entre ϵ_{sol} et l'intervalle de temps $(t_2 - t_1)$

Q26- Proposer une méthode simple pour estimer la valeur de ϵ_{sol} à partir du signal mesuré par le réflectomètre



Etude d'un capteur de mesure de température

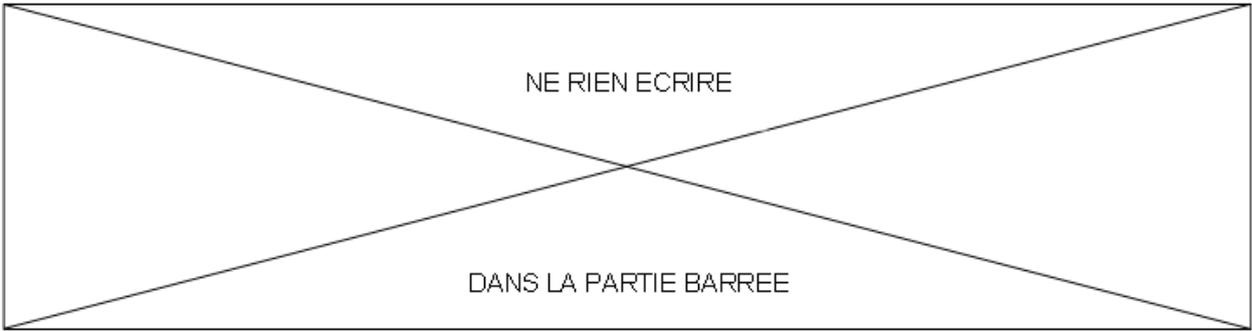
Q27- A partir de la documentation du capteur LM335 donnée en annexe 3, proposer un schéma de montage simple permettant d'obtenir une tension proportionnelle à la température du sol.

Q28- Quelles sont les valeurs des tensions aux bornes du capteur pour des températures de 25°C, 10°C et 45°C. On rappelle que 0°K correspond à -273,15°C :

25° →

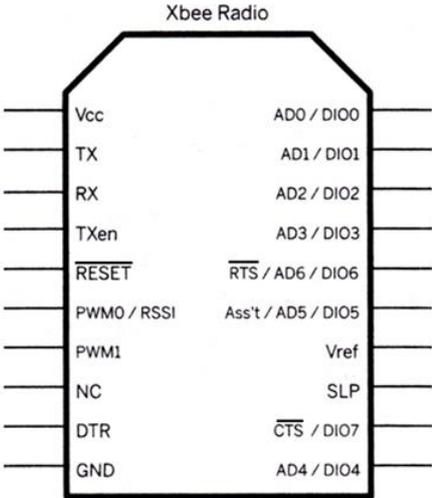
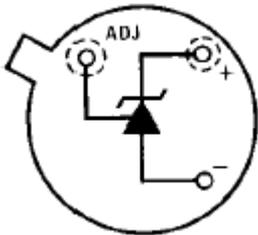
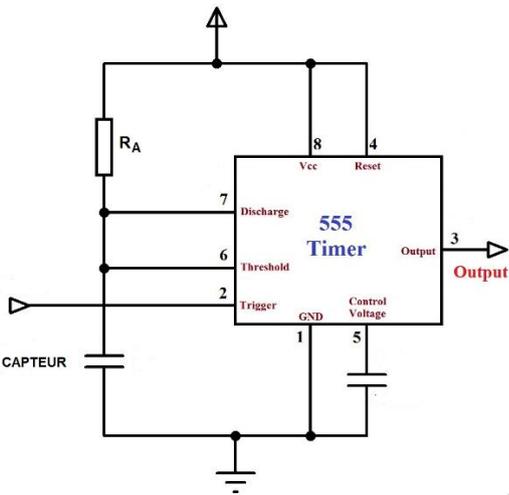
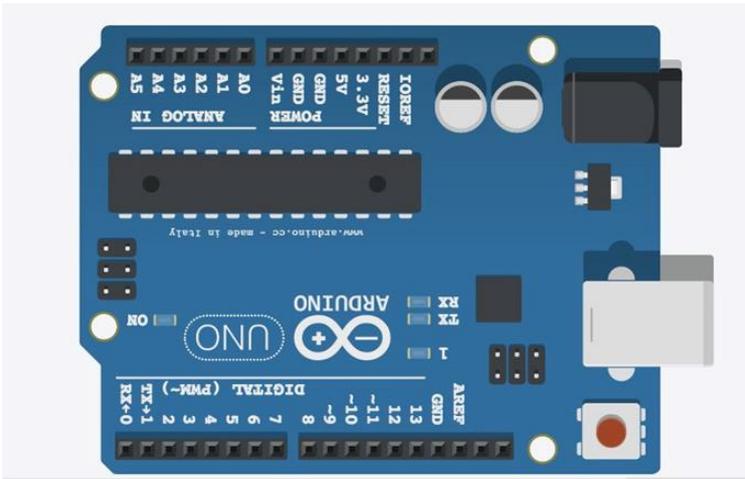
10° →

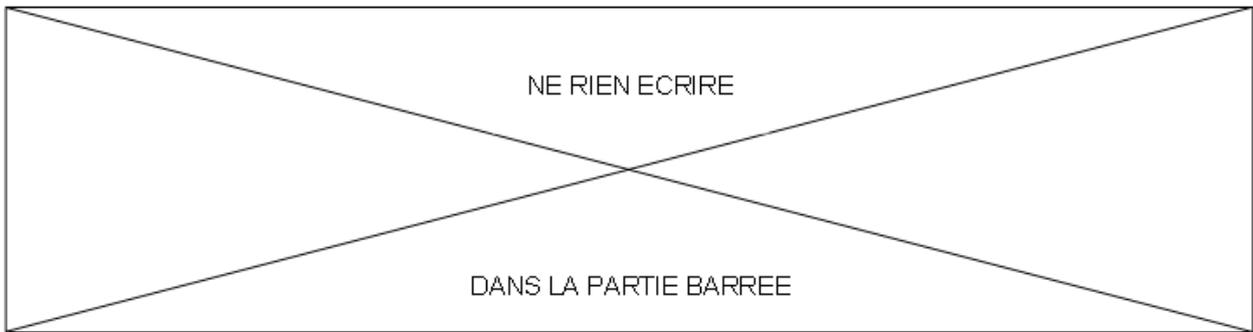
45° →



Etude de la carte ARDUINO

Q29 Connecter la carte ARDUINO à ses différents composants périphériques en complétant le schéma ci-dessous

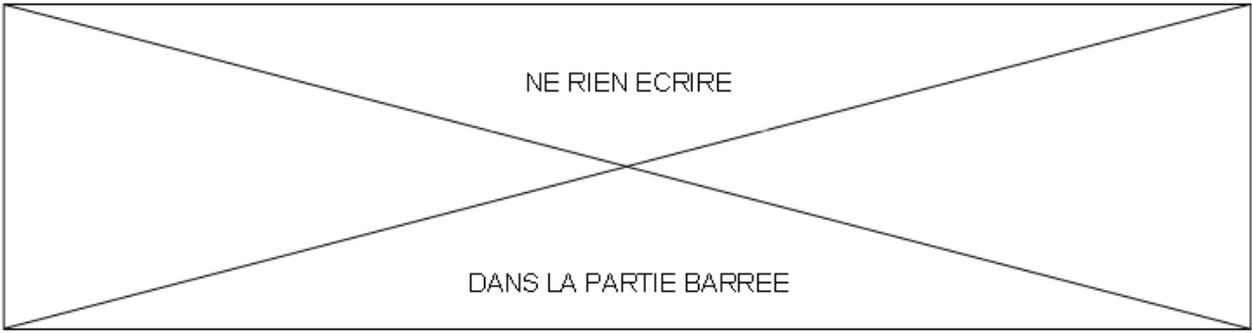




Q30- Citer les différentes fonctions et périphériques disponibles sur le module Arduino qui peuvent être utiles pour réaliser les mesures de température et décrire leur utilité.

Q31- Préciser les différents bus de communication qui existent sur la carte Arduino UNO qui lui permettent de communiquer avec des circuits périphériques extérieurs :

Q32- On voudrait, à partir de la carte ARDUINO, commander un système d'arrosage quand le sol est trop sec. Proposer un schéma électronique d'interface entre la carte et le système d'arrosage et préciser quelle sortie de la carte vous utiliseriez (le système d'arrosage sera vu comme une boîte noire raccordée à une prise électrique).



Q33- Proposer une solution, sous la forme d'un petit algorithme en C, permettant de détecter le seuil et de commander le système