

Sujet :

Suivi intelligent des cultures : conception d'un
robot de diagnostic agricole

préparé par :

- Ibrahim SAOUD

Encadré par :

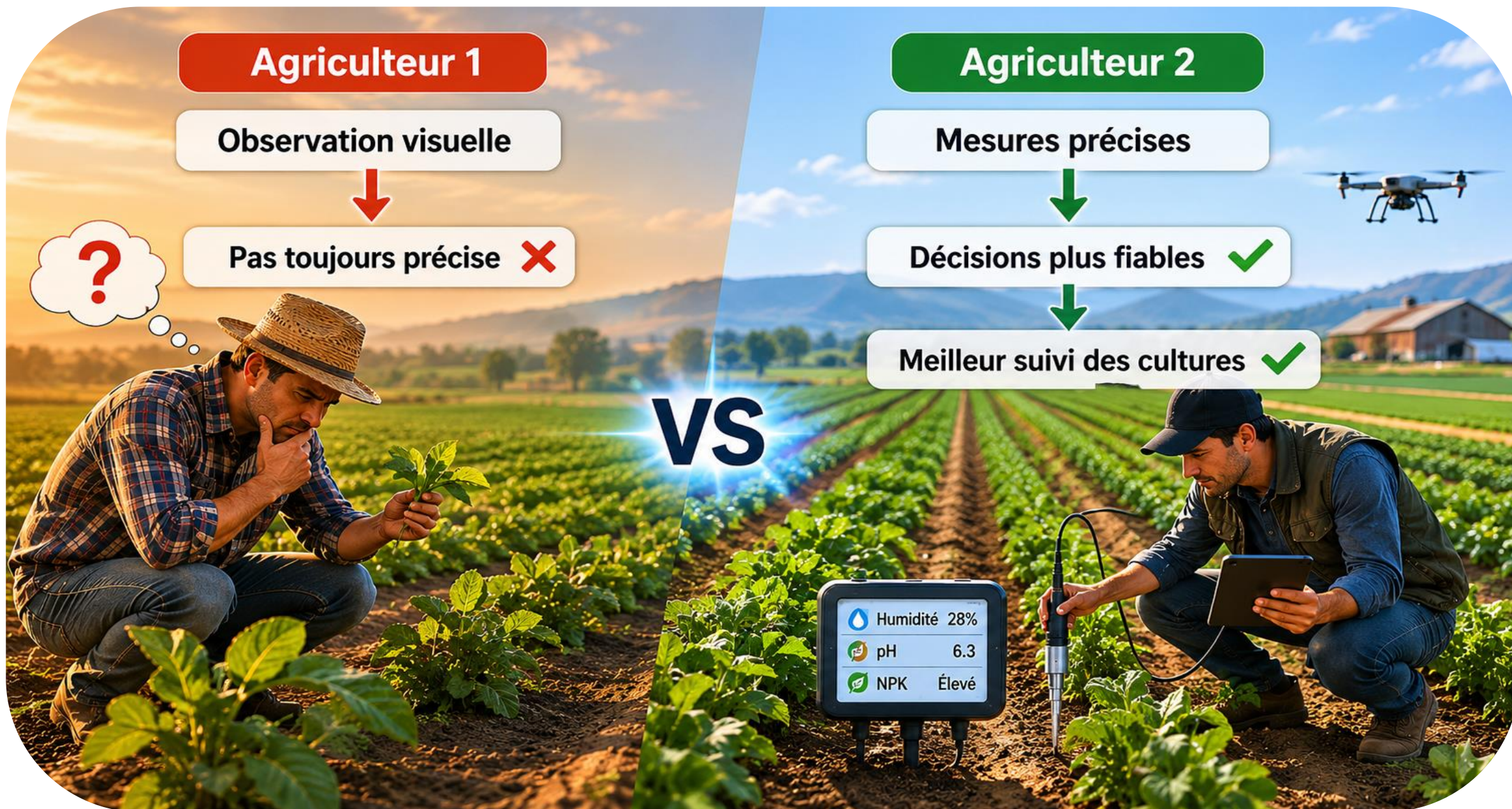
- M Y. RAHOU
- M A. OUAANABI

- 1. Introduction au système**
- 2. Problématique**
- 3. Approche fonctionnelle**
- 4. Objectifs**
- 5. Analyse des solutions**

Introduction

3







Grandes parcelles agricoles

Surfaces vastes et hétérogènes



Surveillance manuelle difficile

Observation visuelle limitée et subjective



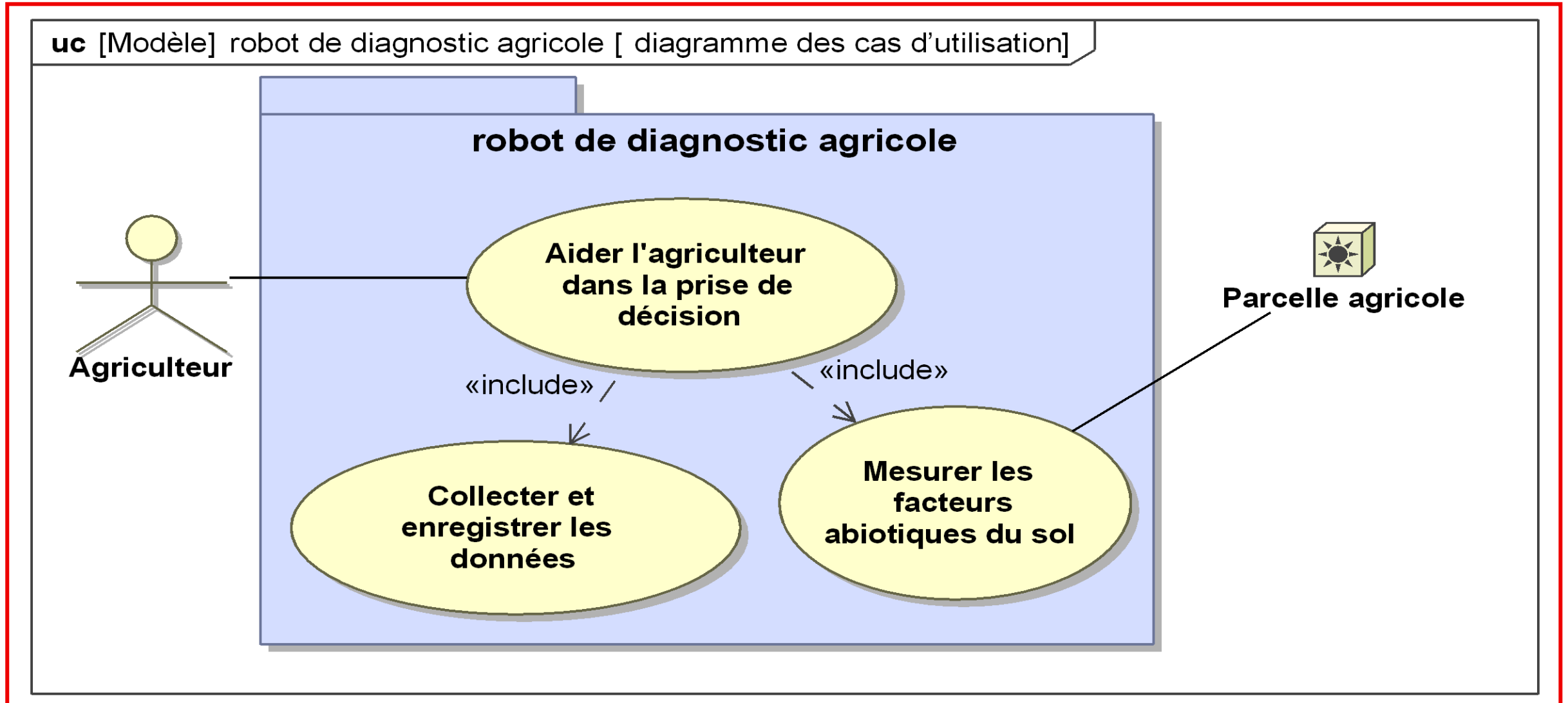
Besoin de mesures fiables

Données précises des facteurs abiotiques du sol

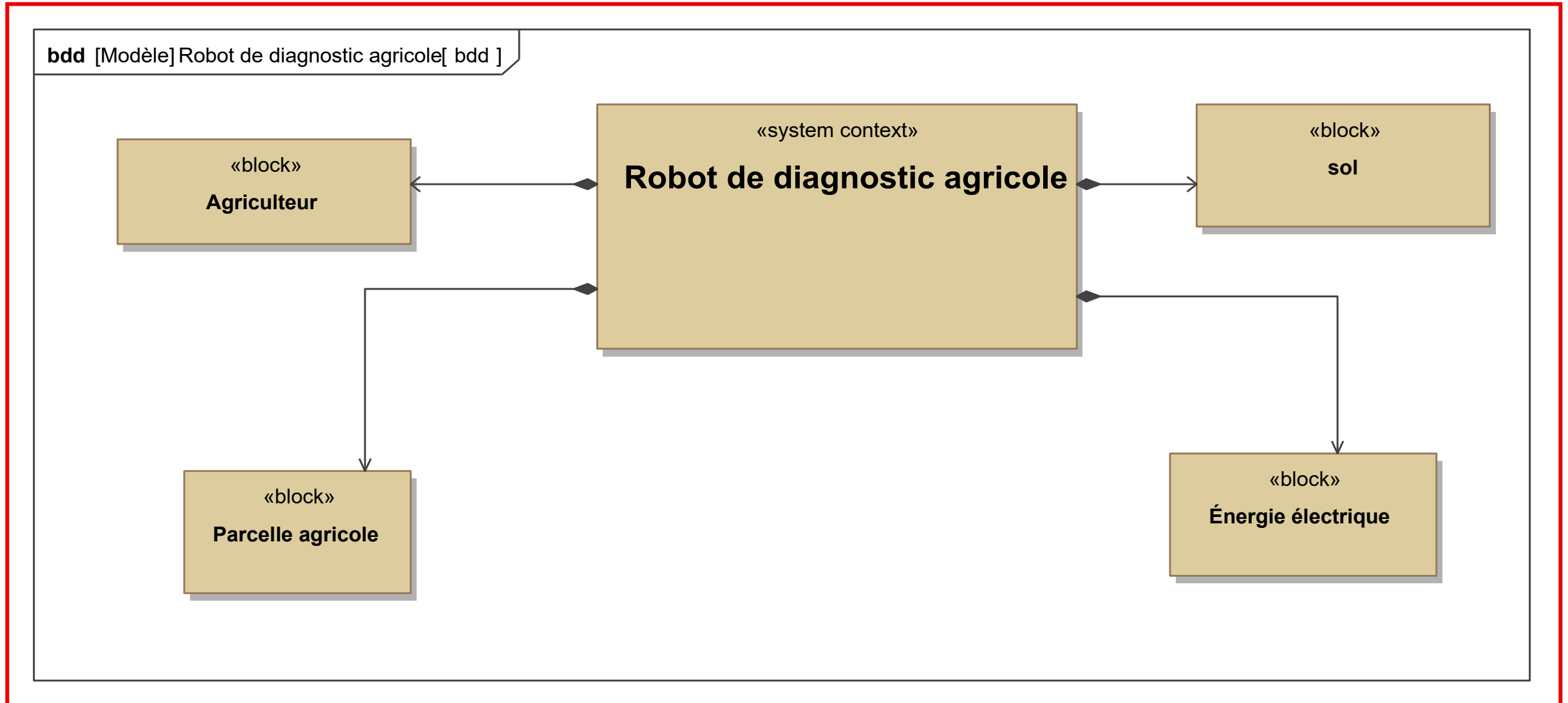


? Comment concevoir un robot de diagnostic agricole capable d'accompagner l'agriculteur tout au long du cycle cultural en fournissant des mesures fiables des facteurs abiotiques du sol pour l'aider dans ses prises de décision ?

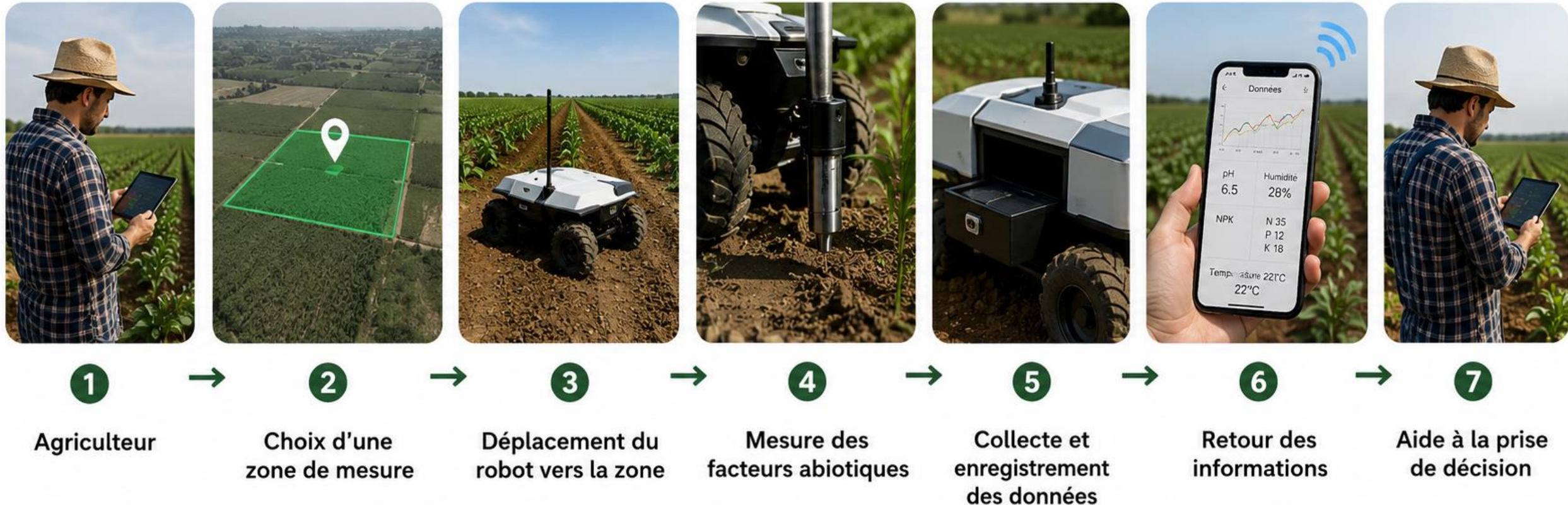
□ Diagramme UC:



□ Diagramme de contexte:



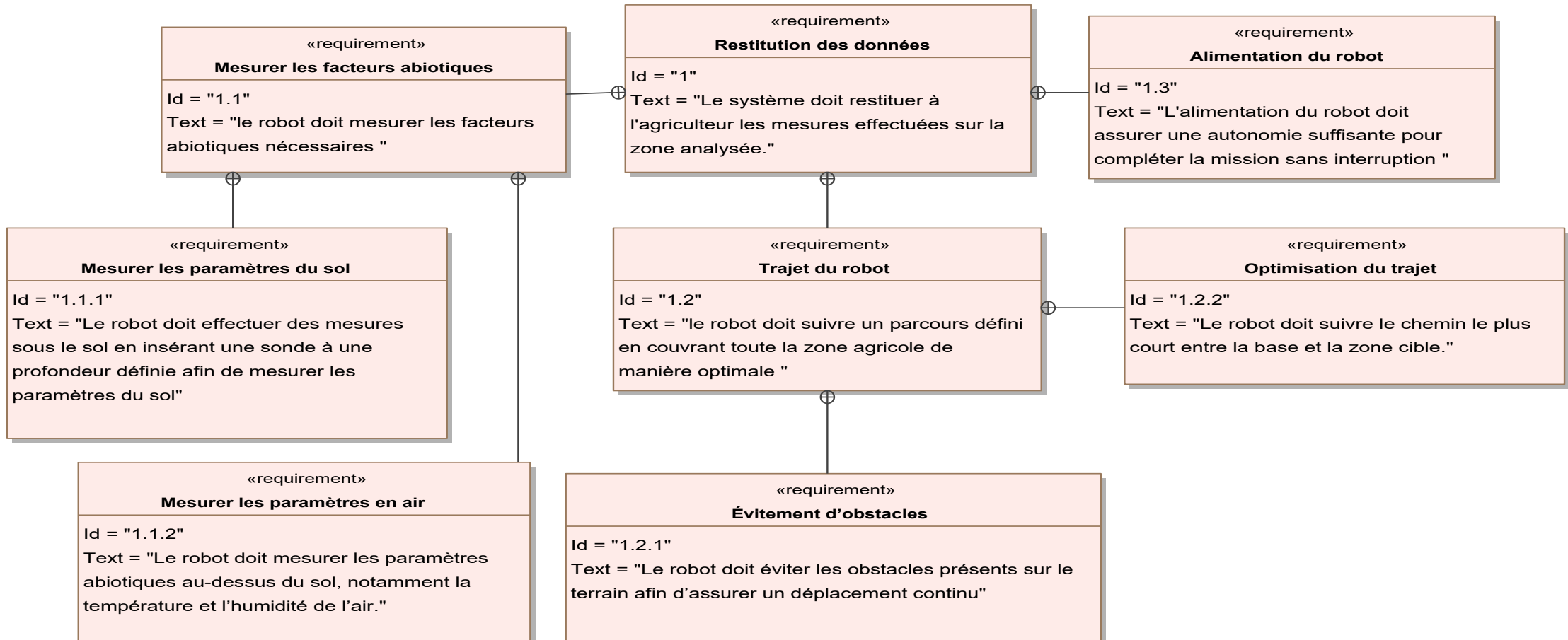
Fonctionnement général du système



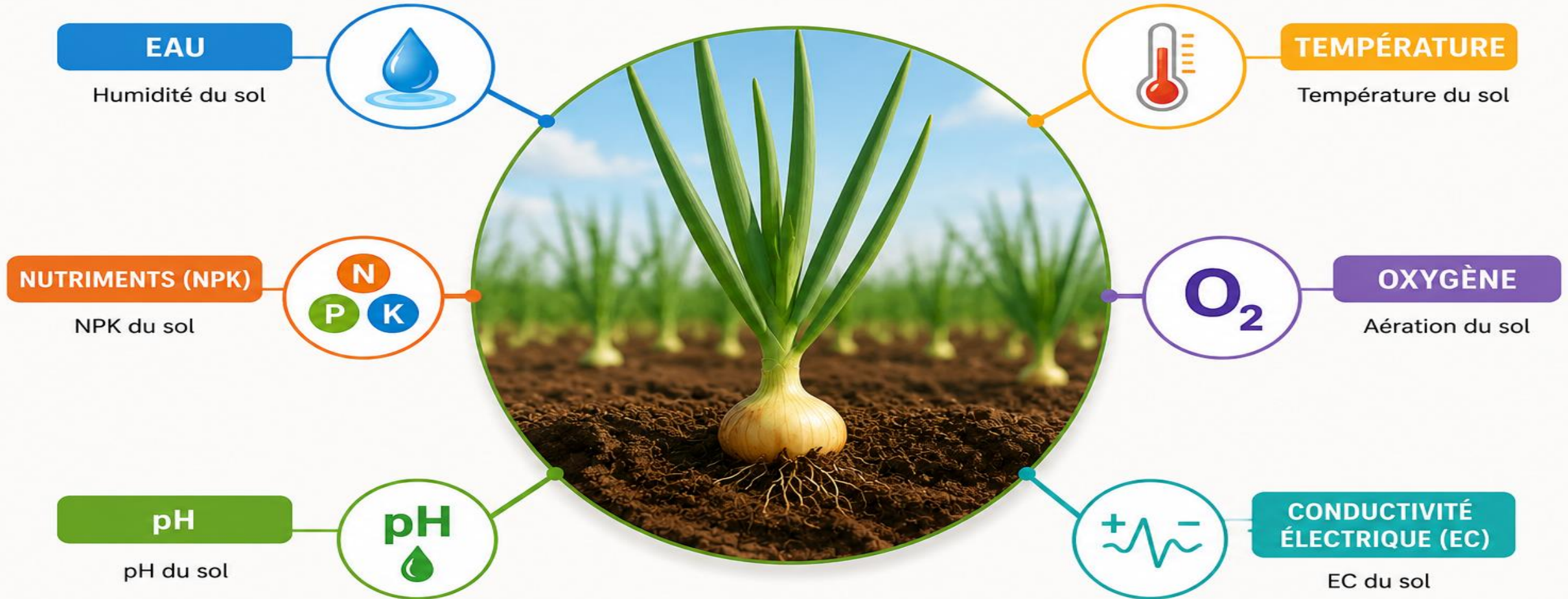
Hypothèse : le déplacement autonome du robot vers la zone de mesure est supposé assuré.

□ Diagramme d'exigences:

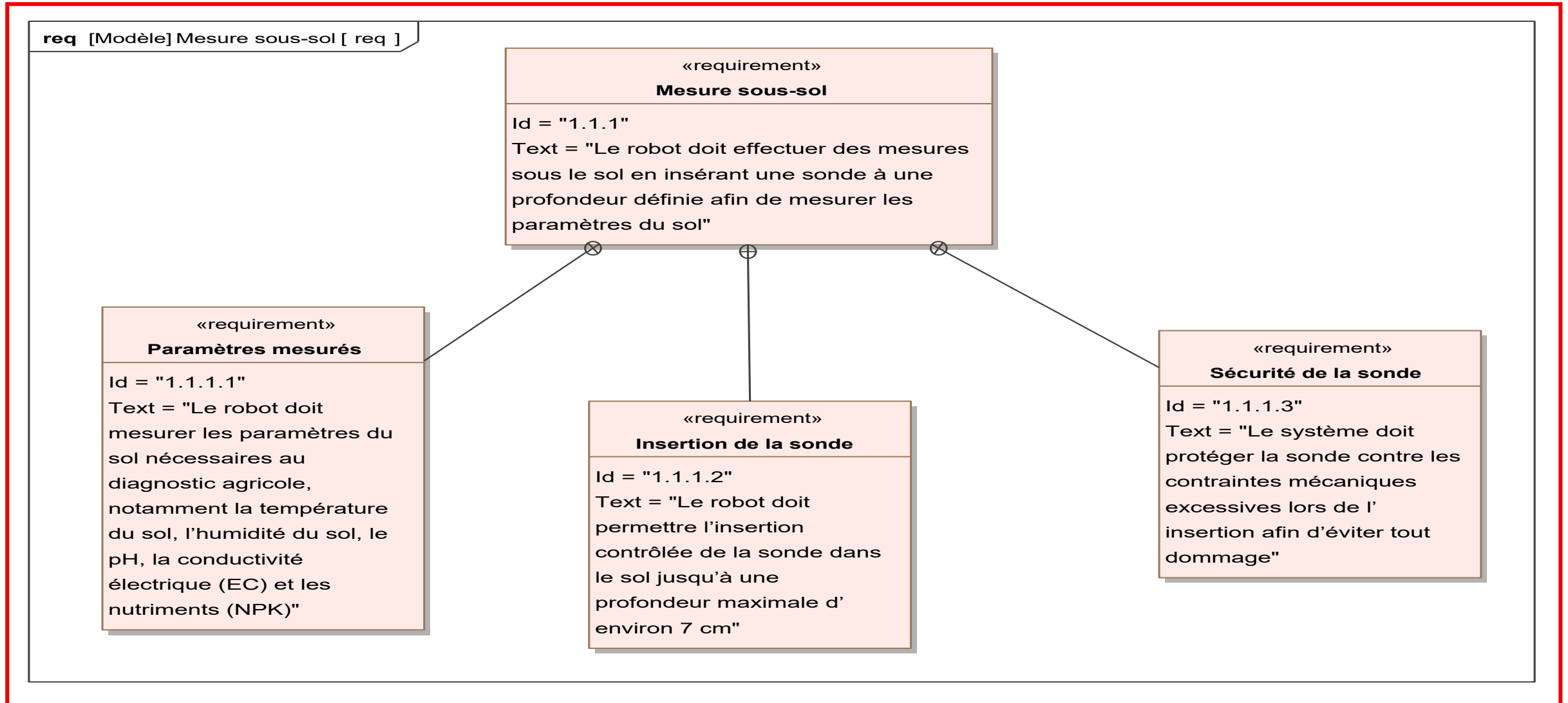
req [Modèle] Suivi intelligent des cultures : conception dun robot de diagnostic agricole[req]



LES BESOINS DE LA PLANTE

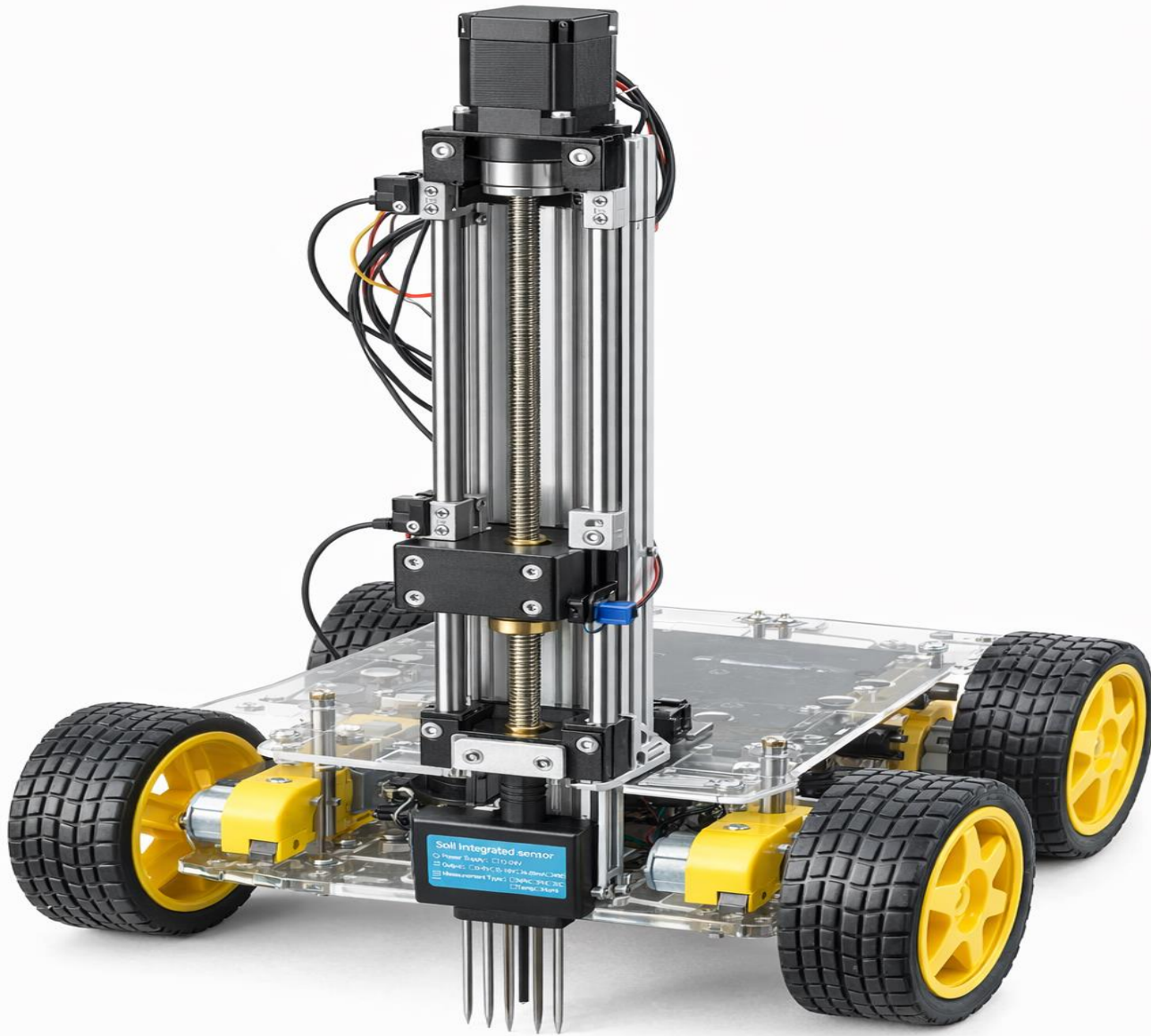


❑ Diagramme d'exigences:



□ Objectifs:

- I. Choisir le capteur pour la mesure des facteurs abiotiques du sol.
 - II. Insérer la sonde.
 - III. Assurer la sécurité de la sonde lors de son insertion.
 - IV. Étude énergétique pour l'alimentation du robot.
-



Objectif 1:

**Choix de capteurs pour la
mesure des facteurs
abiotiques du sol.**

Solution: utilisation de la sonde multi-capteurs (7-in-1).

Modèle: ZTS-3002-TR-ECTHNPKEPH-N01

Cela indique que la sonde mesure:

- **EC** : conductivité électrique
- **T** : température
- **H** : humidité
- **NPK** : nutriments (Azote, Phosphore, Potassium)
- **PH** : acidité du sol



❑ Caractéristiques:

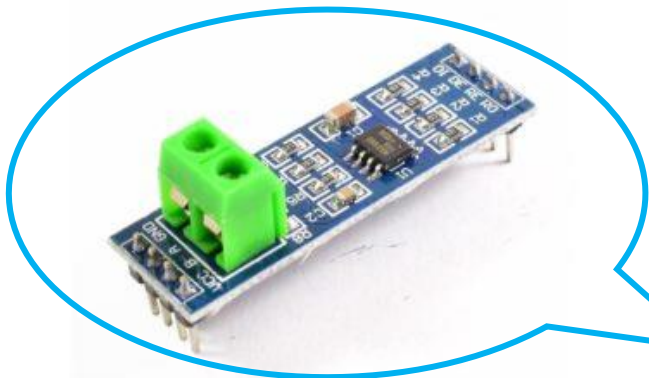
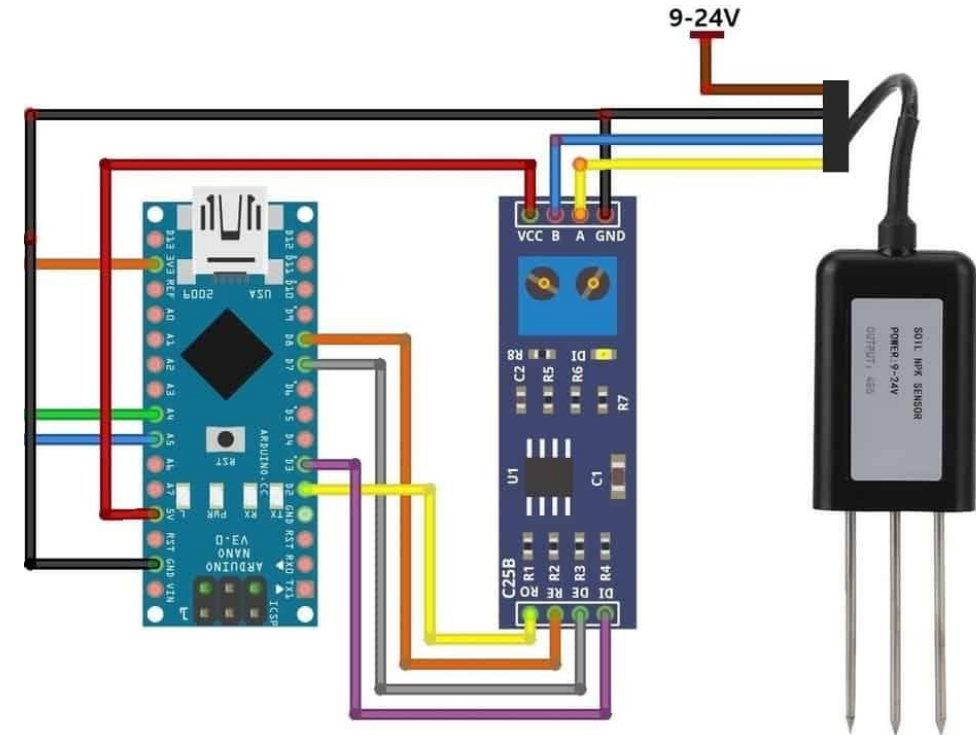


Paramètre mesuré	Plage de mesure	Unité
Température du sol	-30 à +70	°C
Humidité du sol	0 – 100	% RH
pH du sol	3 – 9	pH
Conductivité électrique (EC)	0 – 10000	μS/cm
Azote (N)	0 – 1999	mg/kg
Phosphore (P)	0 – 1999	mg/kg
Potassium (K)	0 – 1999	mg/kg

Source: [multifunk_n_p_dn_sonda_ph_npk_vodivost_templota_a_vlhkost_rs485.pdf](#)

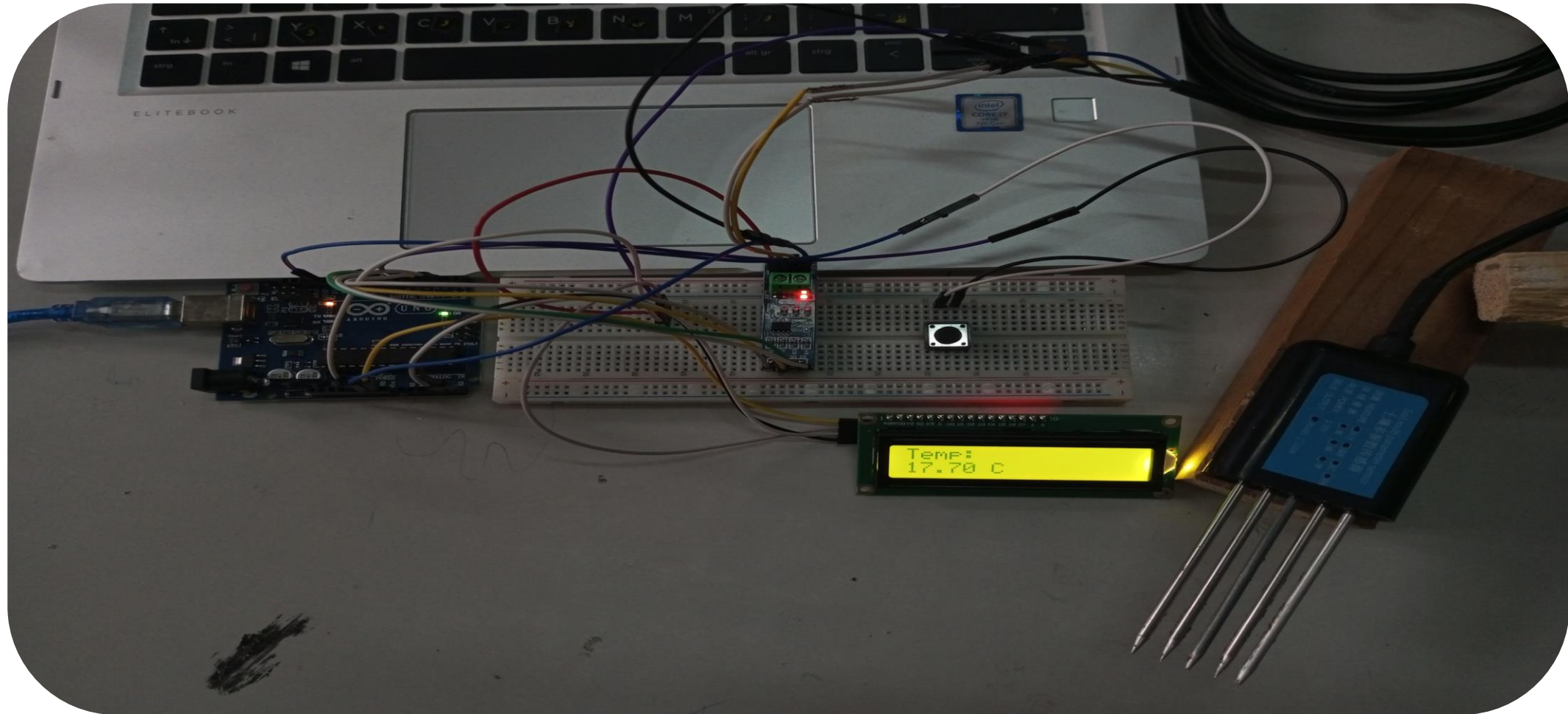
❑ Composants de l'expérience:

- Sonde 7-in-1 du sol
- Module MAX485 (conversion RS485 ↔ TTL)
- Arduino
- Alimentation 9–24 V

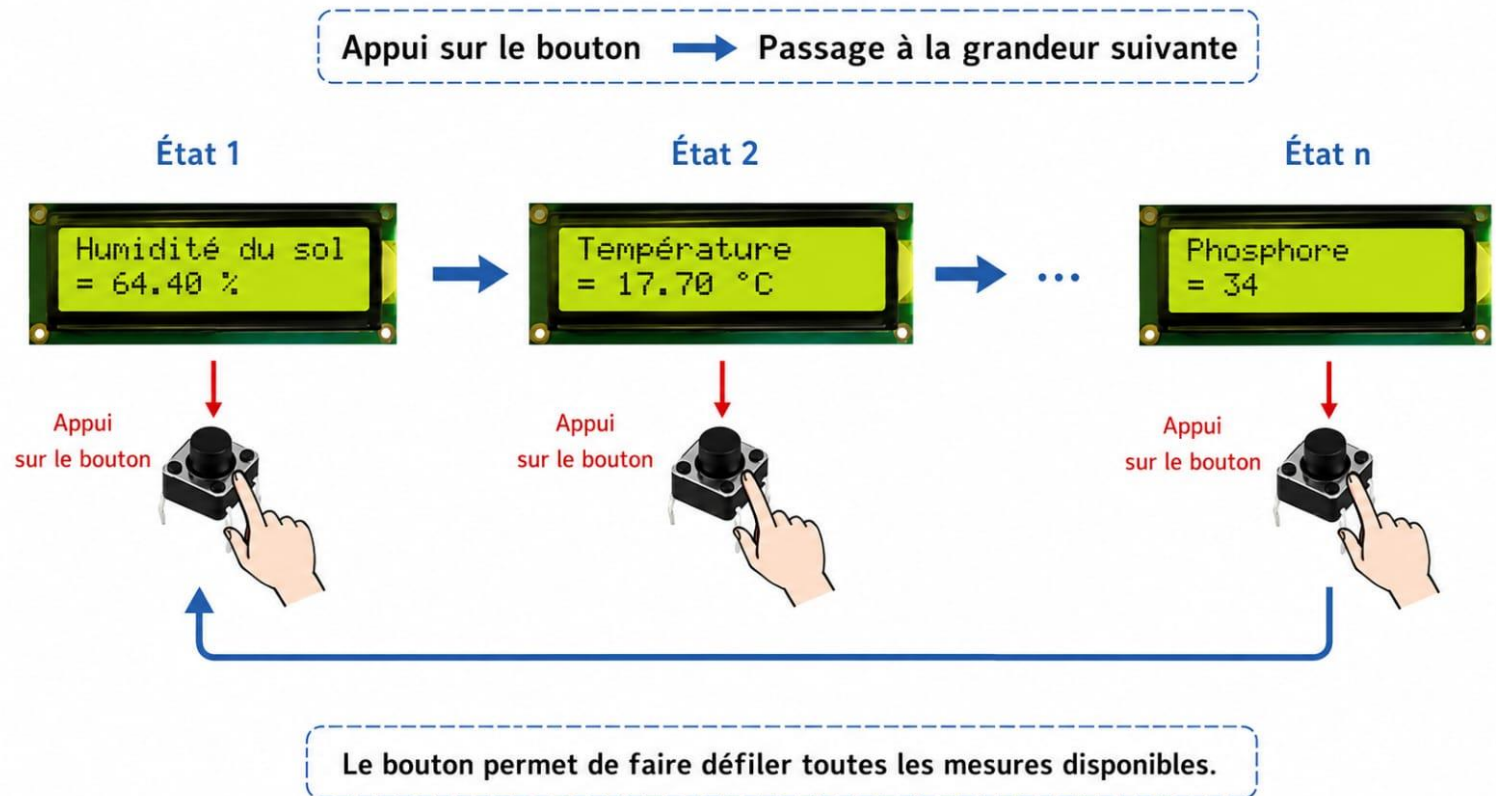
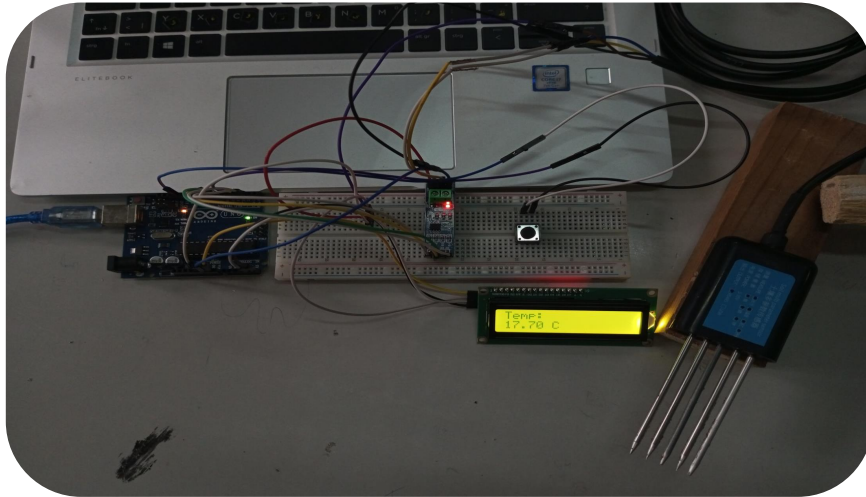


Le **MAX485** est un **convertisseur de communication** qui permet de transformer les signaux **RS-485** de la sonde en signaux **TTL** compréhensibles par l'Arduino

Expérience:



Expérience:



❑ Tests expérimentaux de la sonde agricole:

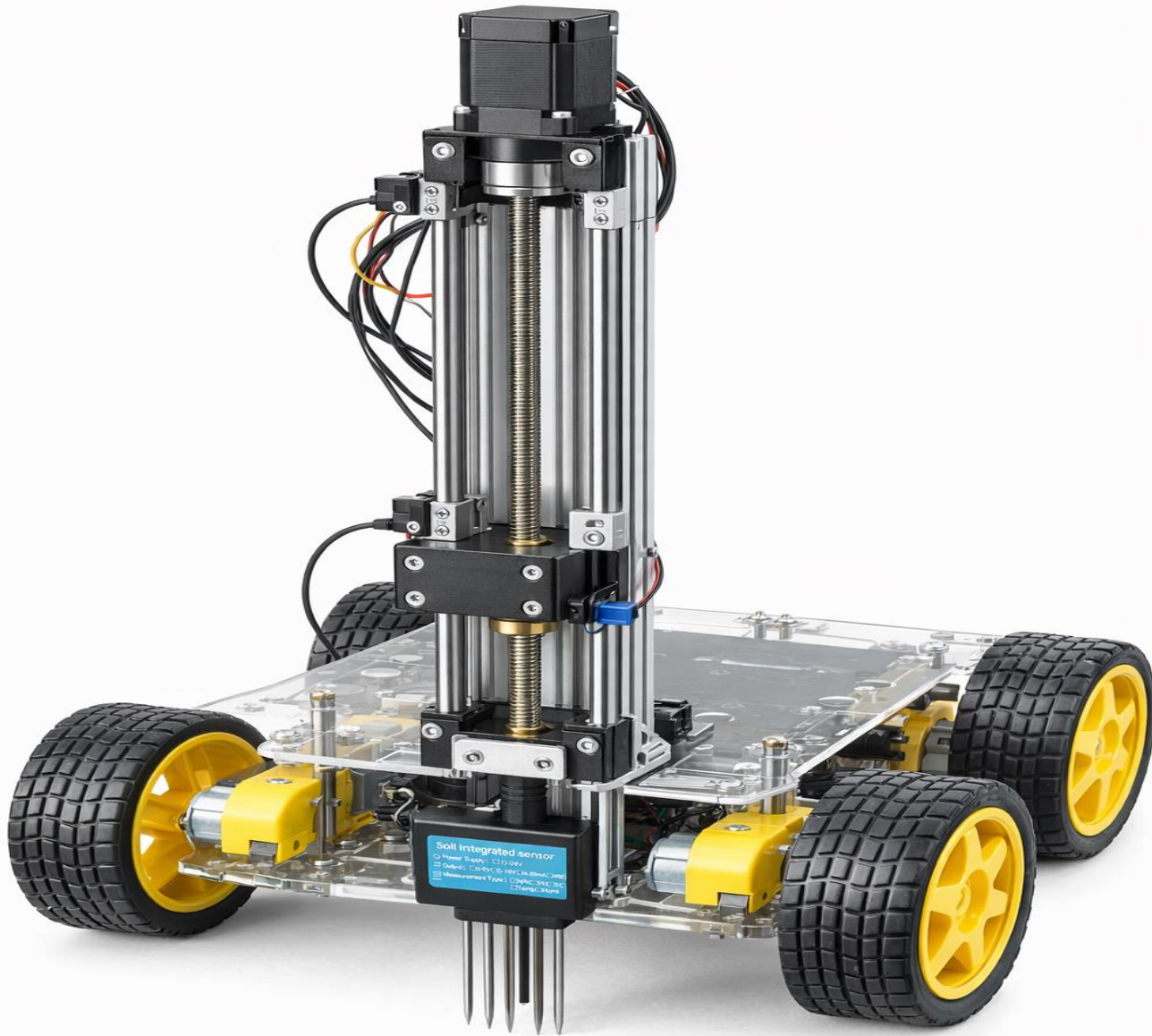




Conclusion :

- mesure simultanée de plusieurs paramètres du sol.
- précision suffisante pour le suivi des cultures.
- solution simple et robuste.





Objectif 2:

Étude mécanique
pour l'insertion
de la sonde.

Besoin:

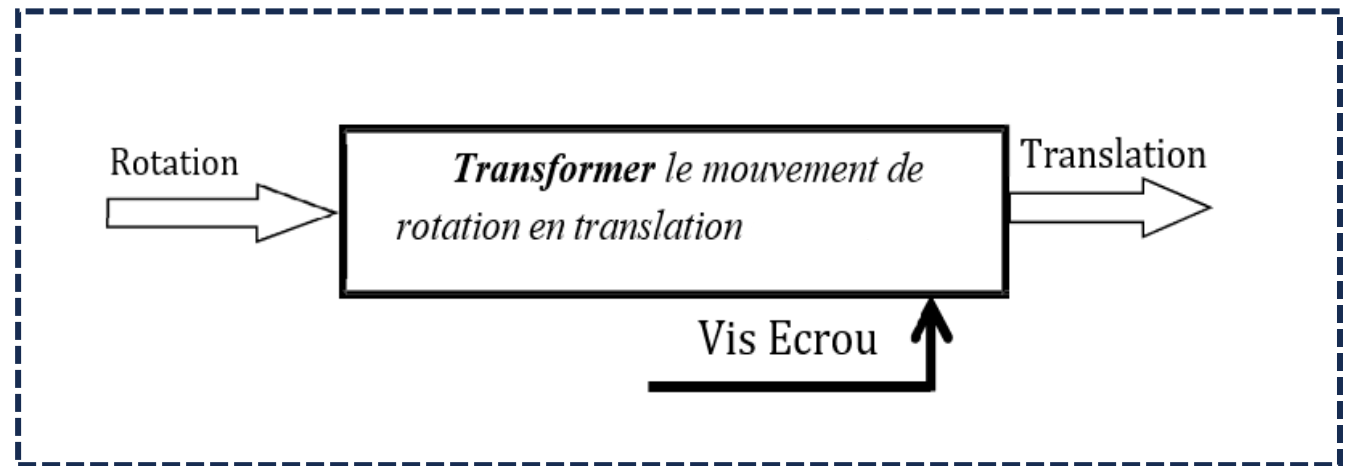
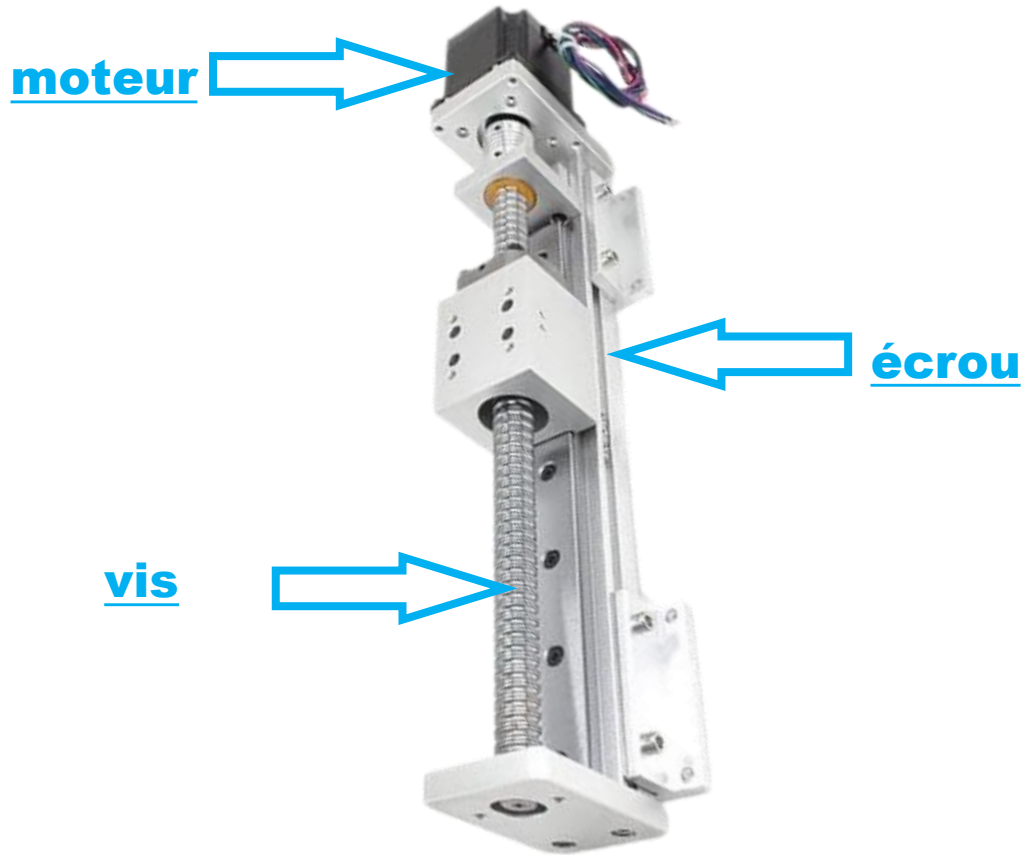
Nous avons donc besoin d'un **système mécanique capable de :**

- ☐ appliquer **une force d'insertion** contrôlée.
- ☐ assurer **un mouvement vertical** précis de la sonde.
- ☐ être **intégrable** sur le robot mobile agricole.

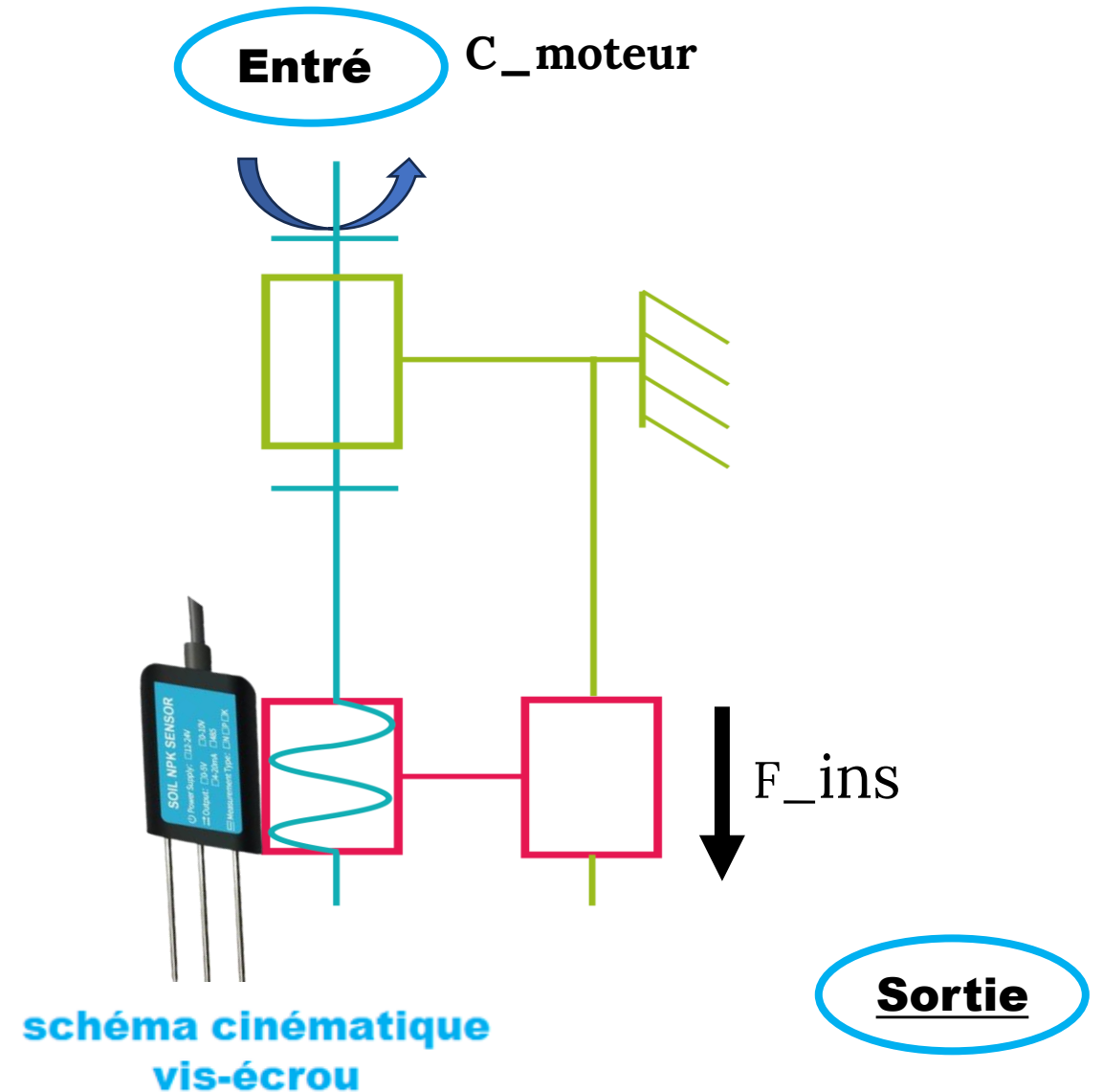
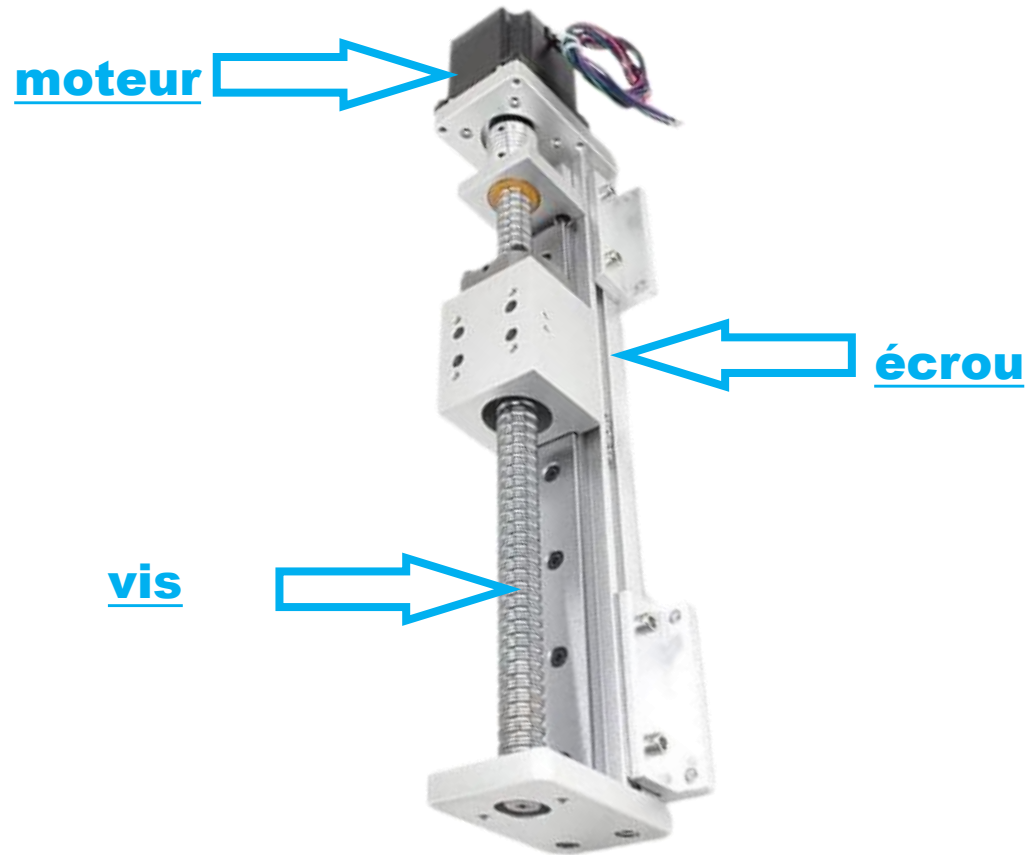


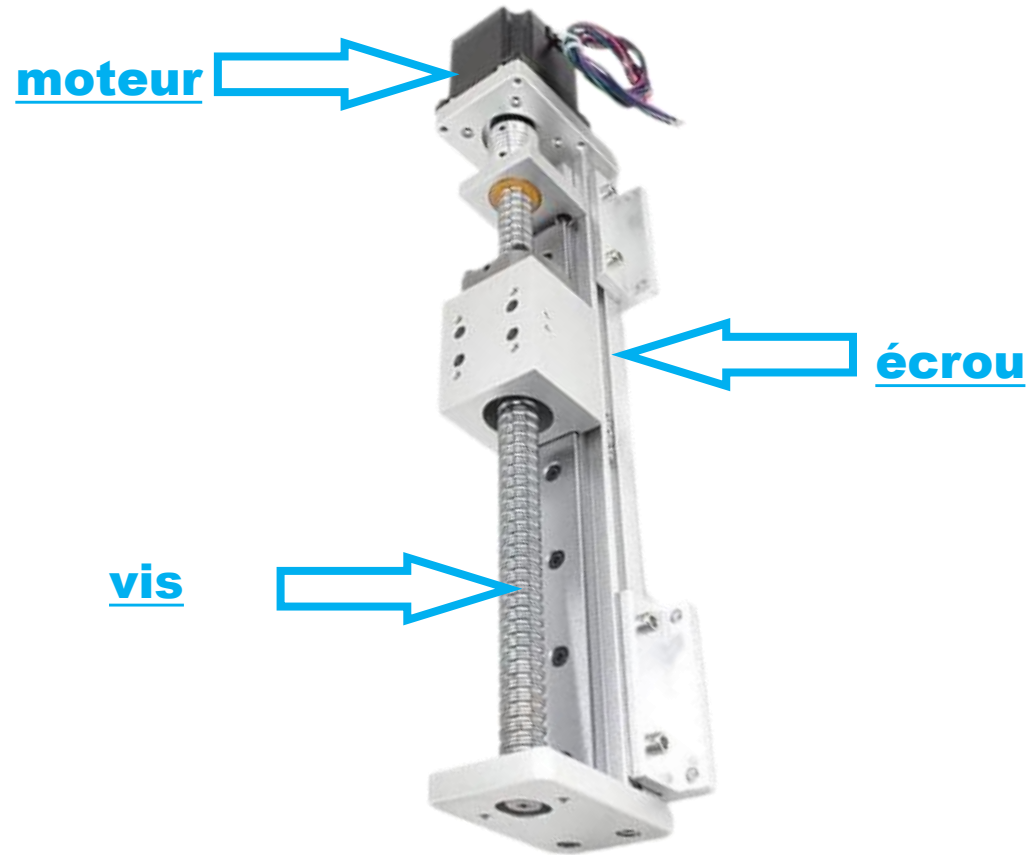
Solution:

Le système vis-écrou



□ Modélisation:





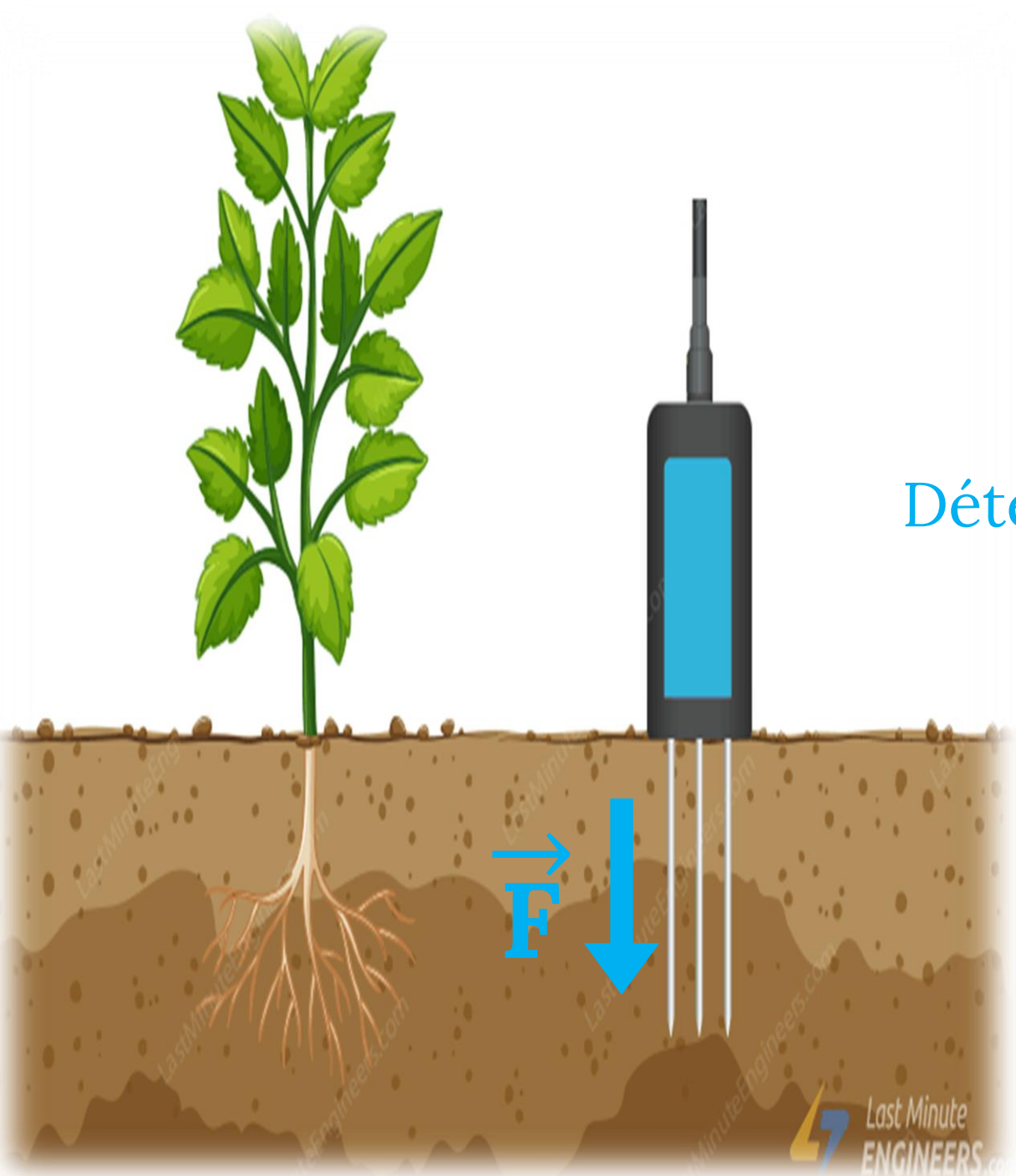
$$C_{moteur} = \frac{F p}{2\pi \eta}$$

C_{moteur} : couple du moteur (N·m)

F : force axiale (force d'insertion de la sonde) (N)

p : pas de la vis (m)

η : rendement du système vis-écrou (entre 0.3 et 0.9 selon la vis)

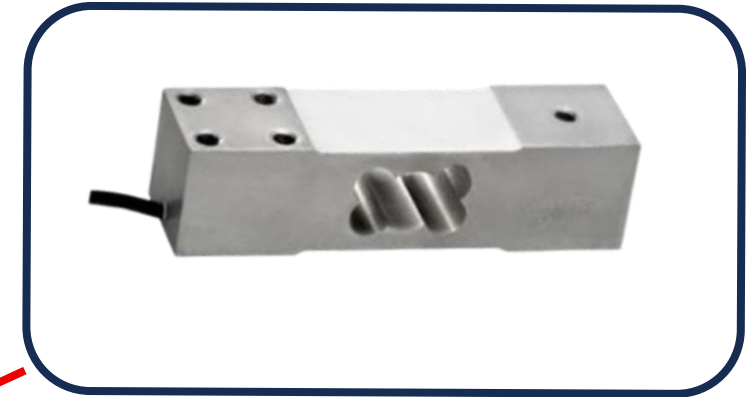
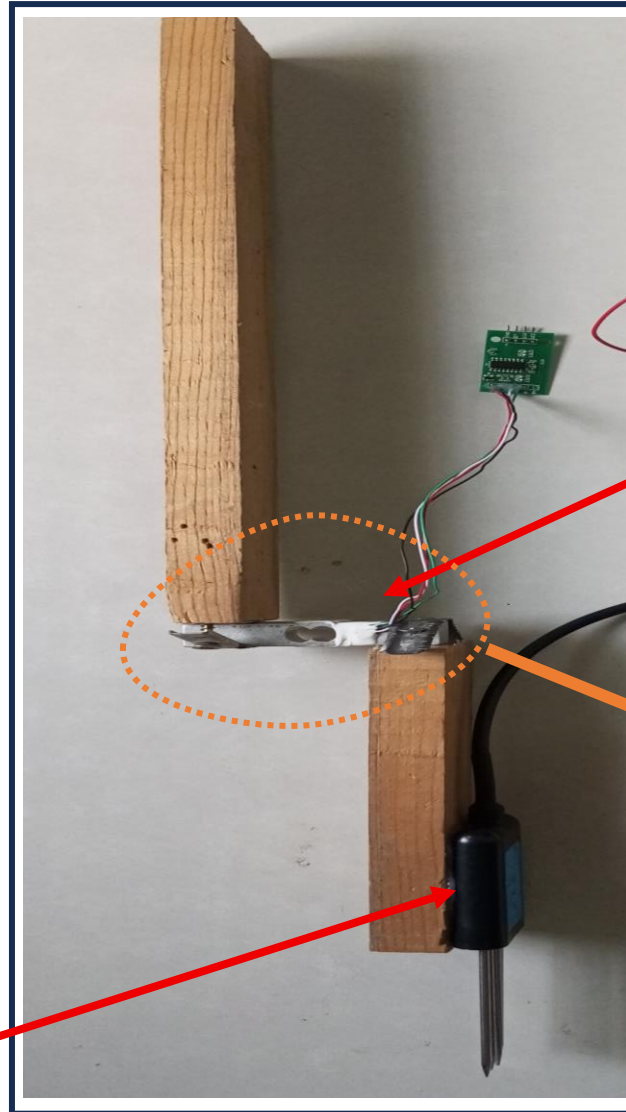


Détermination de la force d'insertion
 F de la sonde dans le sol .

Experience:

Détermination de F .

La Sonde

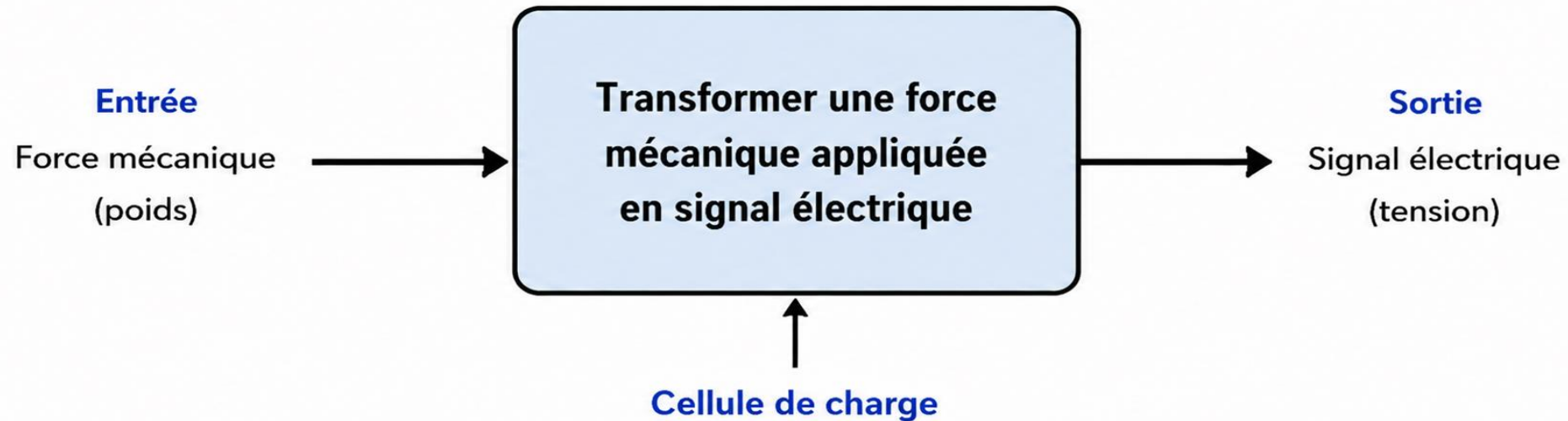
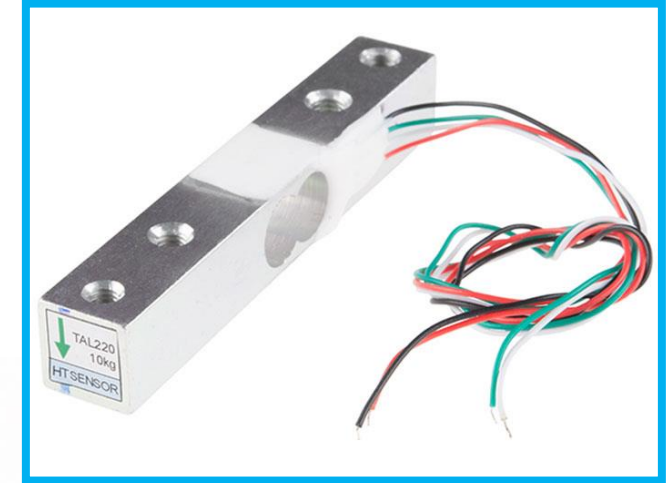


Cellule de charge
À jauge de contrainte



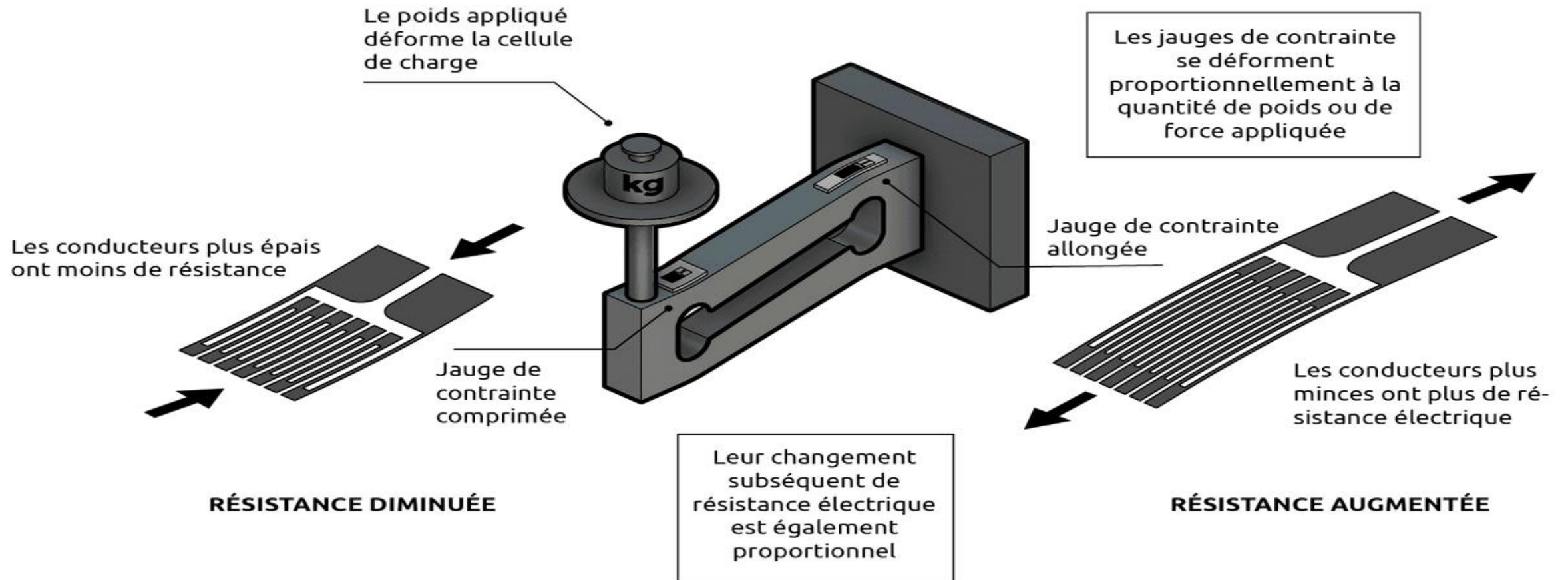
❑ Cellule de charge:

Une cellule de charge est un capteur qui permet de mesurer une force ou un poids.

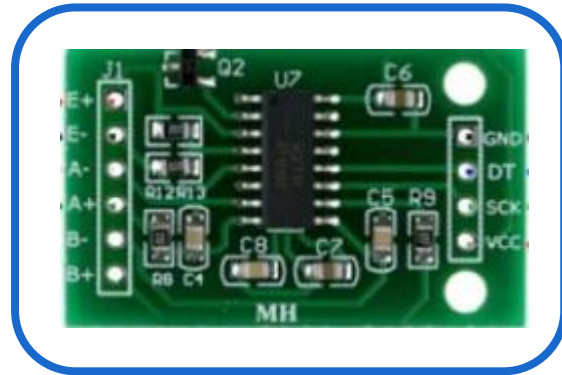


□ Fonctionnement:

Déformation de la jauge de contrainte

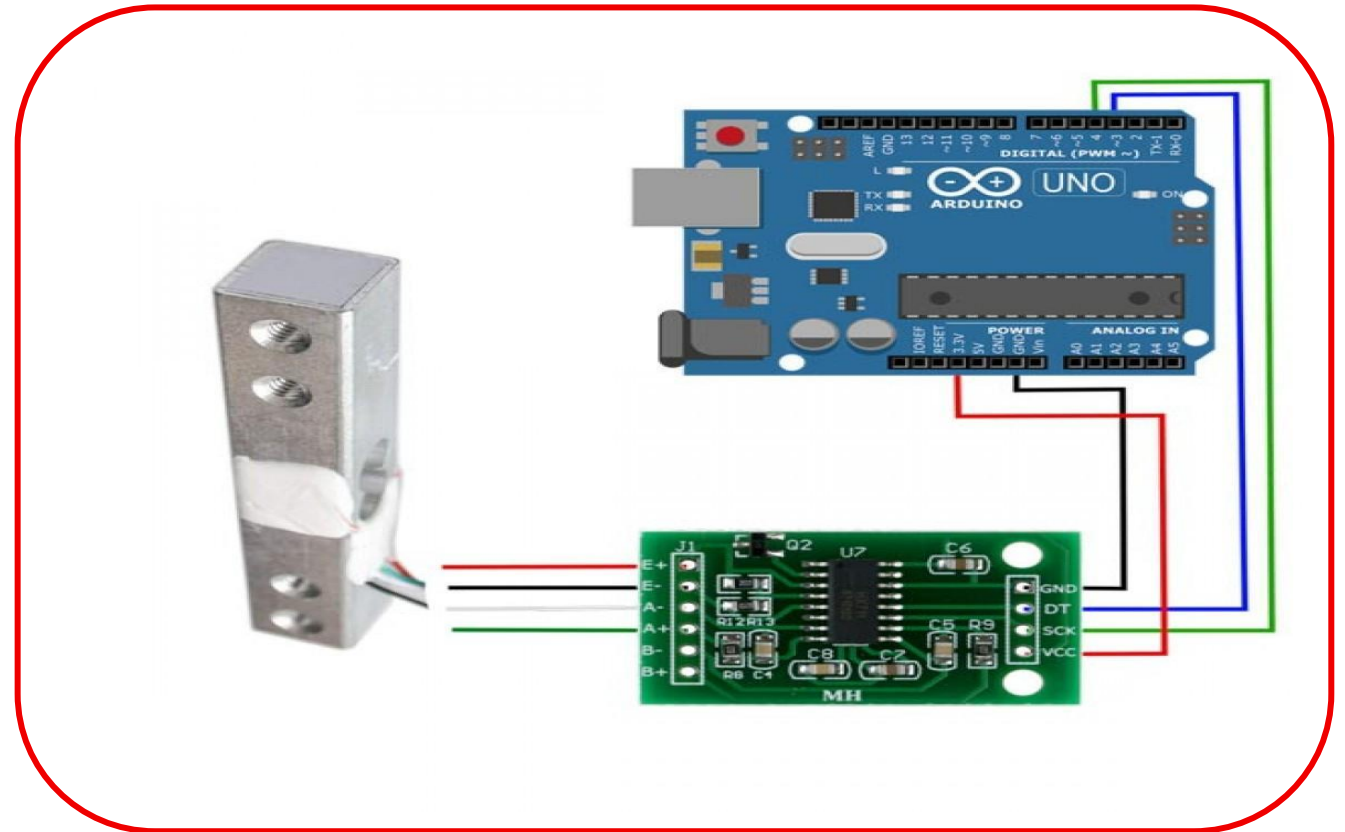


HX711

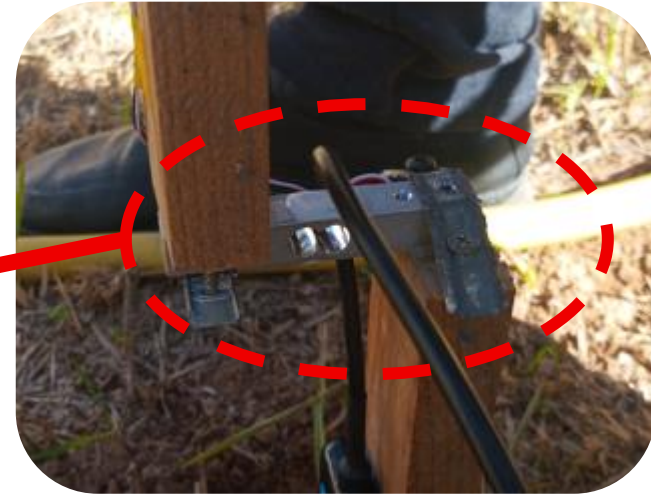


👉 La cellule de charge fournit un signal très faible, donc on utilise le module HX711 pour l'amplifier et le convertir en une valeur numérique exploitable par l'Arduino.

Montage:



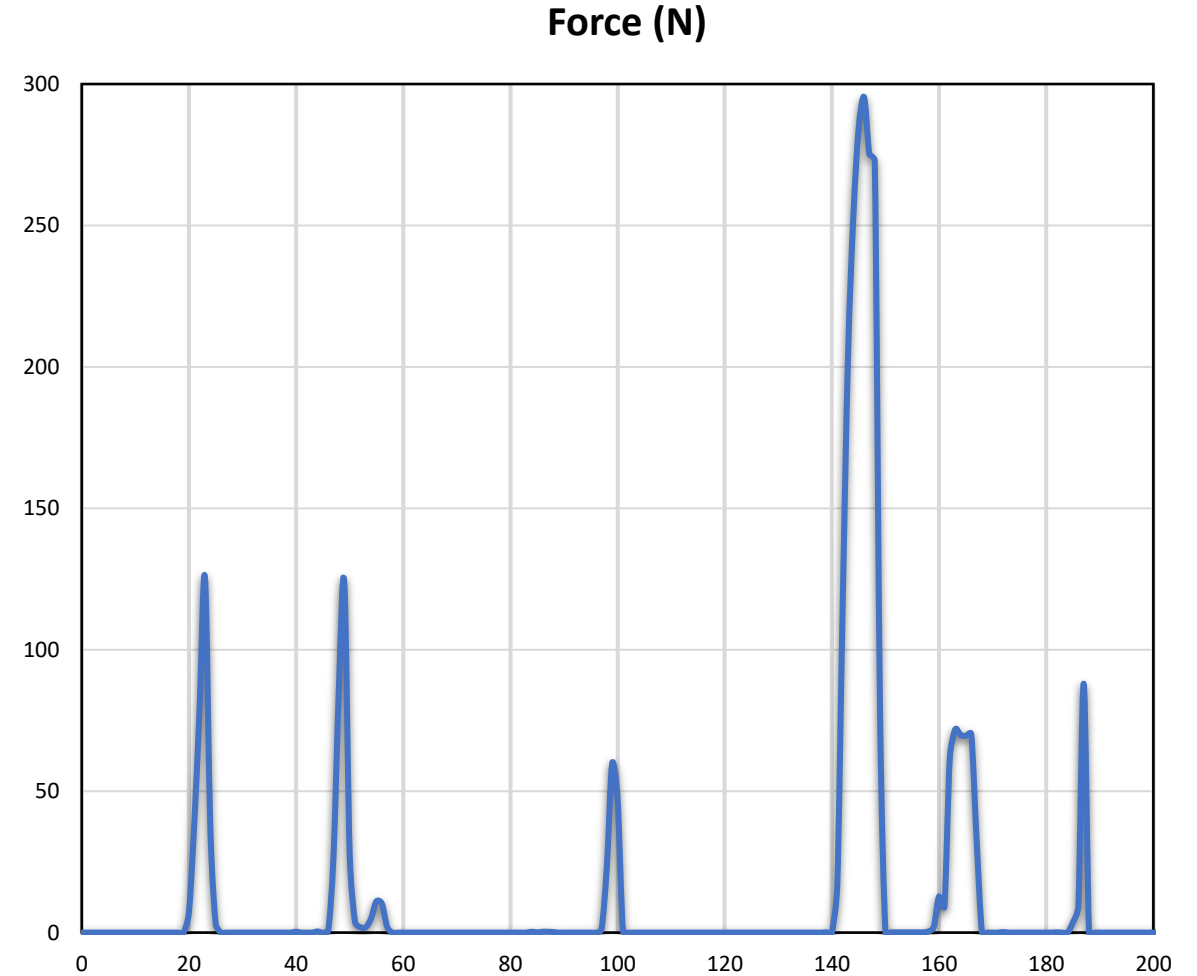
□ Expérience: Détermination de F.



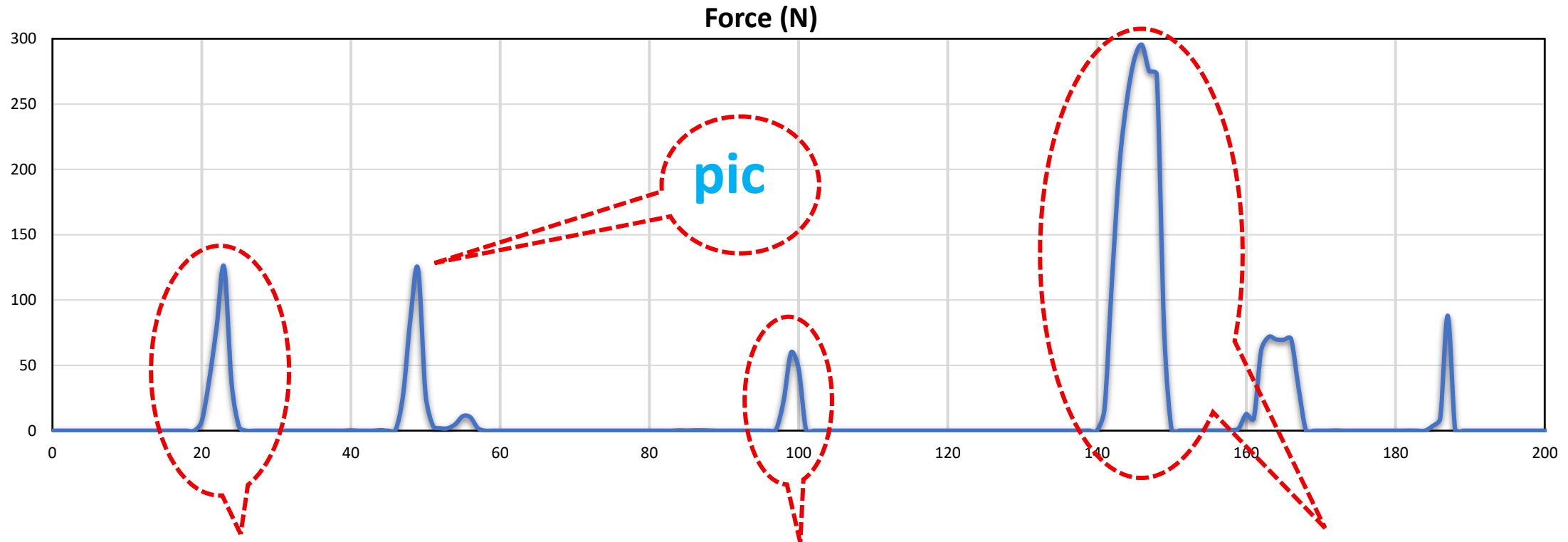
Cellule de charge



❑ Insertion de la sonde dans différents types de sol



La variation de la force au cours du temps



Sol moyennement compact



Sol meuble

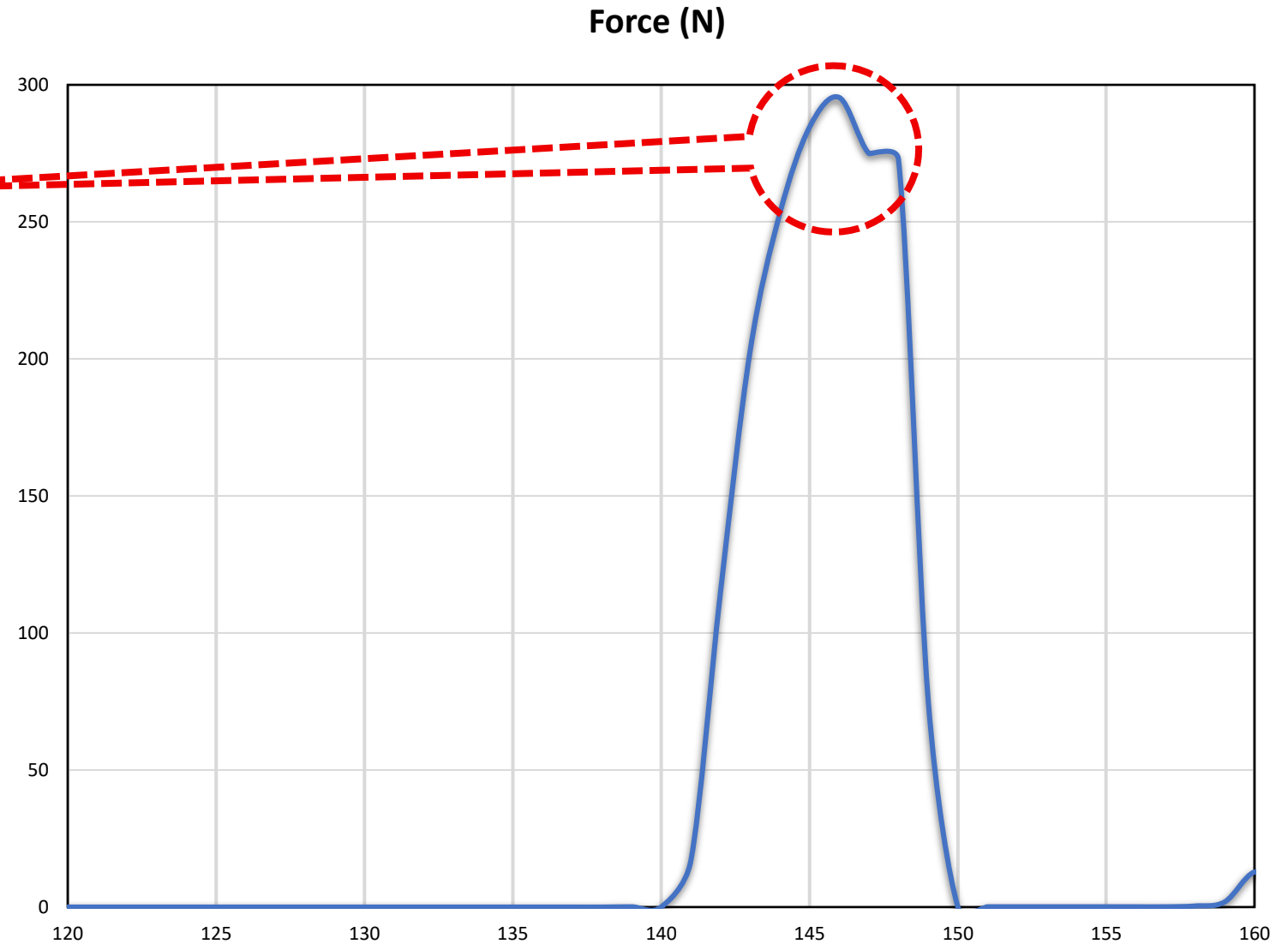


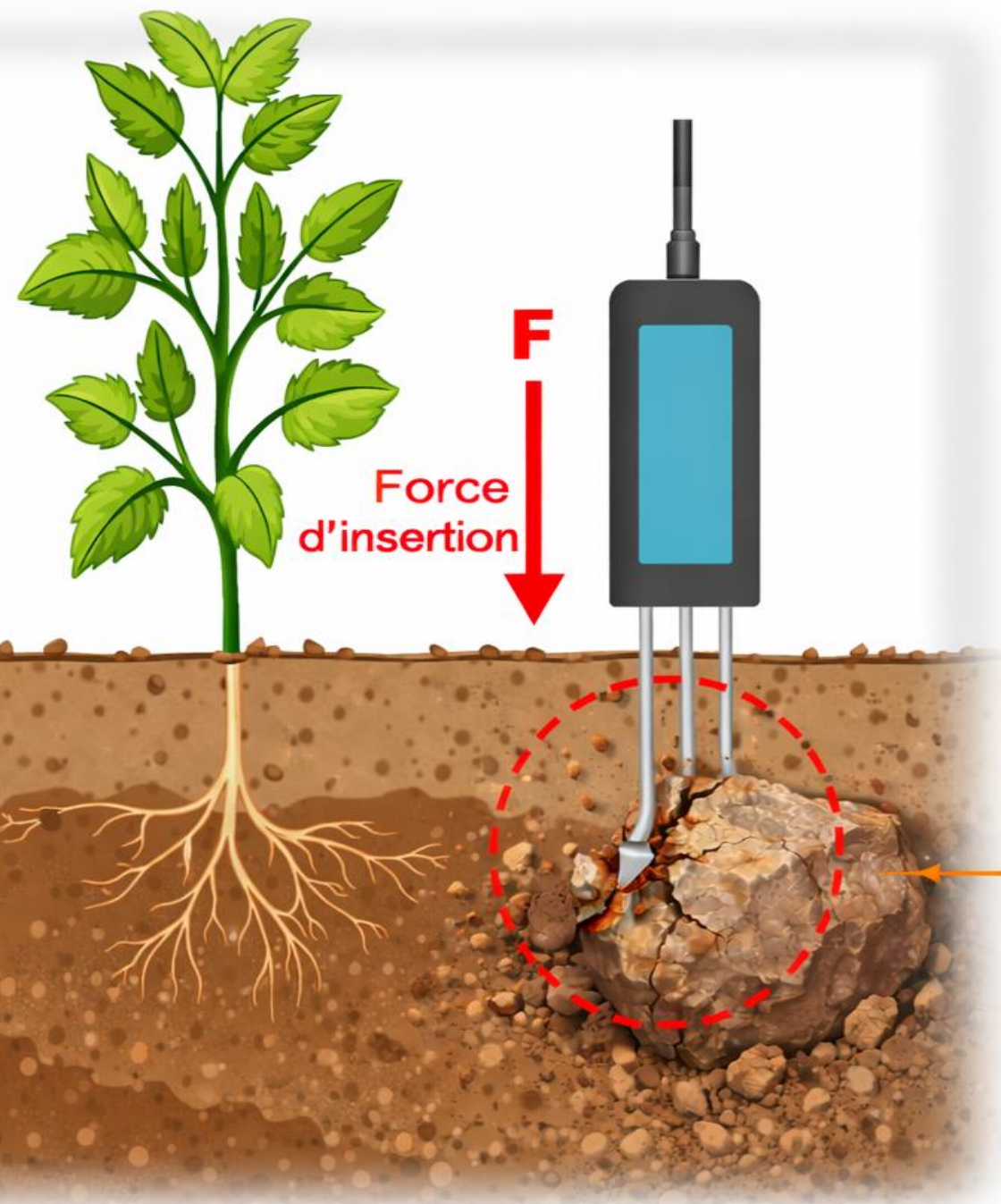
Sol compact

$F_m \approx 300\text{N}$



$$C_{\text{moteur}} = \frac{F p}{2\pi \eta}$$





Objectif 03:

Assurer la
sécurité de la
sonde.

Risque de casse



Identification du risque:

Lors de l'insertion de la sonde dans le sol, plusieurs contraintes mécaniques peuvent apparaître :

- ↓ • **Force de compression élevée** si le sol est dur.
- ↙ • **Effort de flexion** si la sonde n'est pas parfaitement verticale.
- 💥 • **Chocs** avec des pierres.

Ces contraintes peuvent provoquer :

- ⚠ • la **déformation** de la sonde
- ⚠ • la **casse** du capteur
- ⚠ • l'**endommagement** du système vis-écrou

Déformation de la sonde



Dommages mécaniques





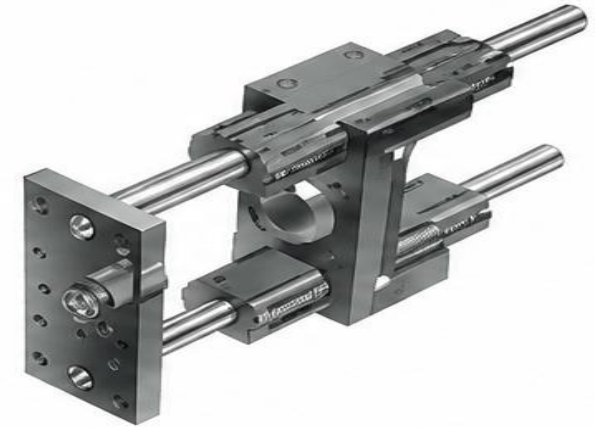
Solutions techniques pour protéger la sonde

1 Limitation de la vitesse d'insertion.

2 Guidage mécanique.

3 Détection de surcharge:

Lorsque la sonde rencontre une **pierre** ou un **sol très compact** la force peut dépasser la limite admissible.



Solution:

— **arrêt automatique de l'insertion.**

Modélisation mécanique de l'électrode de la sonde

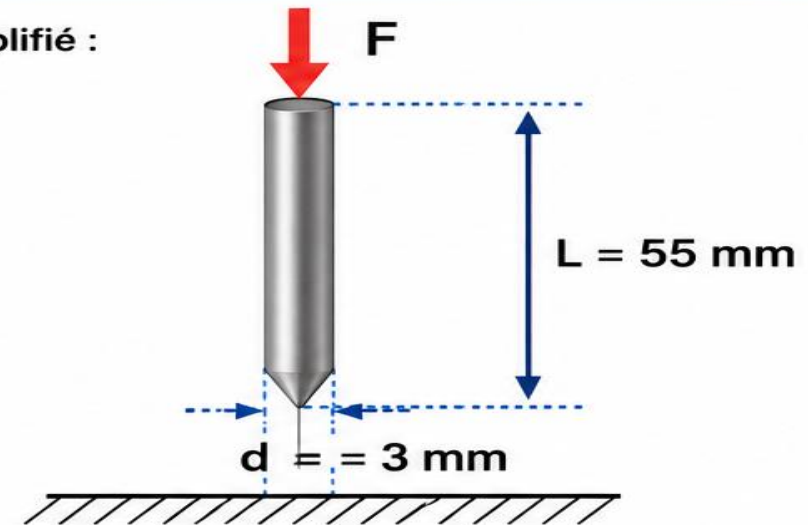
La sonde (réelle)



Comment nous allons la modéliser

Hypothèse de modélisation : une électrode seule

Schéma simplifié :



Chaque électrode est assimilée à une **tige cylindrique** en **acier inoxydable 316L**, de **diamètre 3 mm** et de **longueur 55 mm**, soumise à un **effort axial de compression (F)**.



Nombre d'électrodes : 5



$d = 3 \text{ mm}$



$L = 55 \text{ mm}$



Matériau : inox 316L

DÉTERMINATION DE LA FORCE ADMISSIBLE DE L'ÉLECTRODE

1. CARACTÉRISTIQUES DE L'ÉLECTRODE

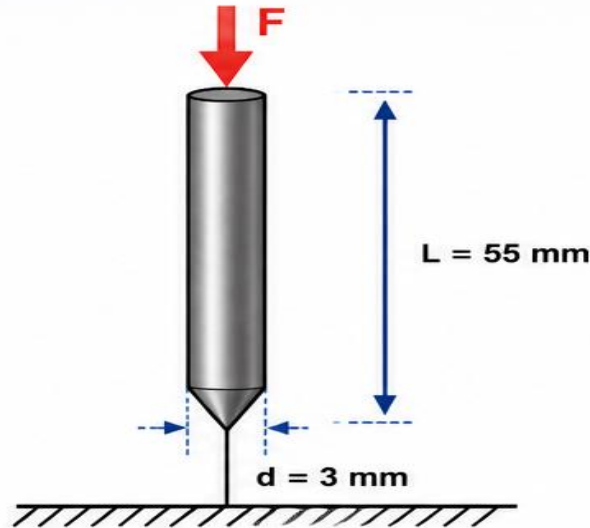
	Matériau	Acier inoxydable 316L
	Diamètre (d)	3 mm
	Longueur (L)	55 mm
	Limite élastique (R_e)	200 MPa
	Coefficient de sécurité (n)	2

Propriétés du matériau (Inox 316L)

- Module d'élasticité : $E = 193 \text{ GPa}$
- Limite élastique : $R_e = 200 \text{ MPa}$
- Résistance à la rupture : $R_m \approx 500 \text{ MPa}$

2. MODÉLISATION DE L'ÉLECTRODE

Chaque électrode est modélisée par une tige cylindrique soumise à un effort axial de compression.



3. CALCUL DE LA FORCE ADMISSIBLE

3.1 Surface de la section

$$S = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$S = \frac{\pi \times 3^2}{4} = 7.07 \text{ mm}^2$$

3.2 Contrainte admissible

$$\sigma_{\text{adm}} = \frac{R_e}{n}$$

$$\sigma_{\text{adm}} = \frac{200}{2} = 100 \text{ MPa}$$

3.3 Force admissible

$$F_{\text{adm}} = \sigma_{\text{adm}} \times S$$

$$F_{\text{adm}} = 100 \times 7.07 = 707 \text{ N}$$



**RÉSULTAT
RETENU**

$F_{\text{adm}} \approx 700 \text{ N}$

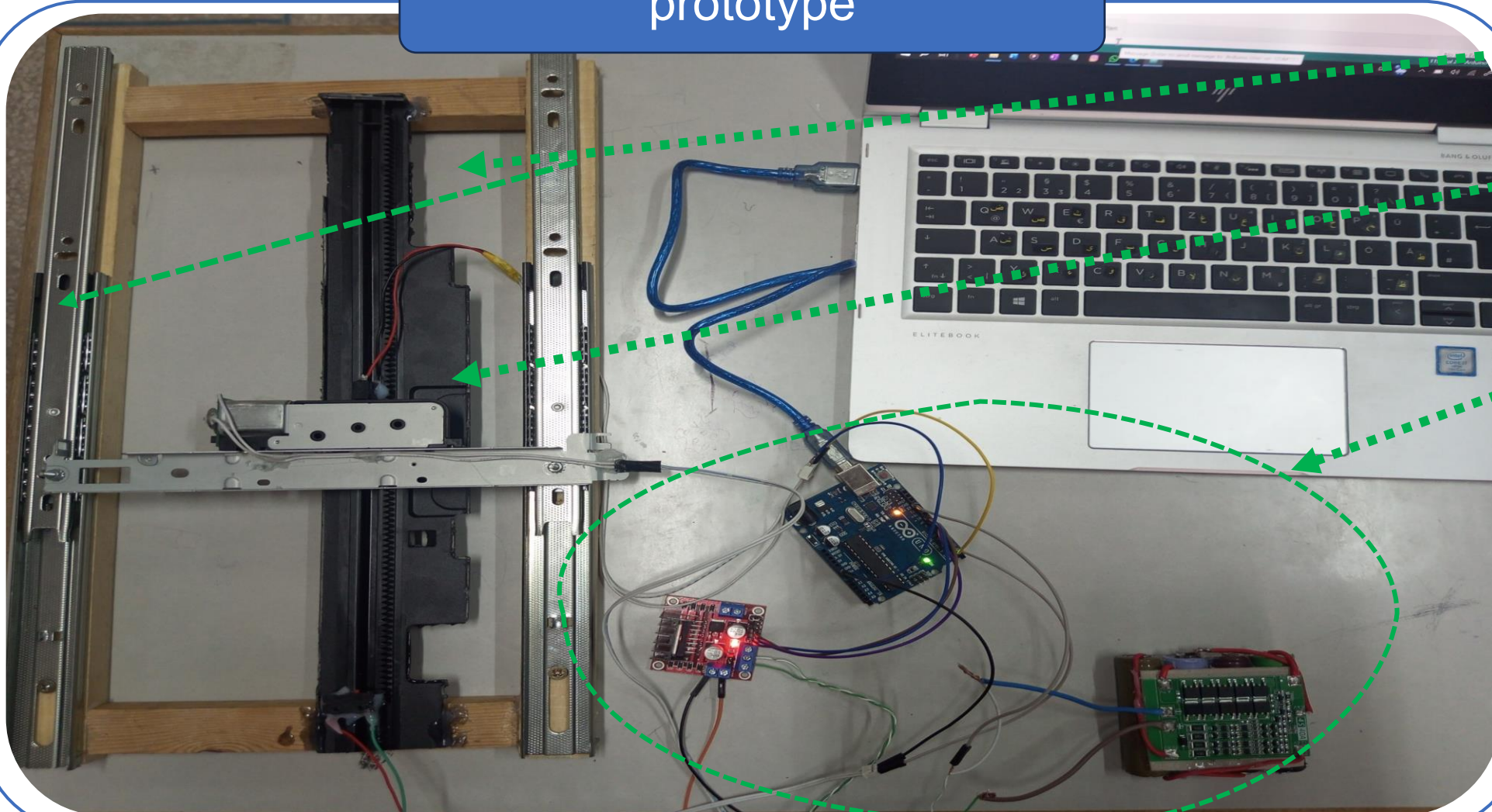
Seuil maximal de sécurité de l'électrode.

Au-delà de cette force, l'insertion doit être arrêtée pour éviter toute déformation permanente ou rupture de l'électrode.



❑ Réalisation du prototype d'insertion.

prototype

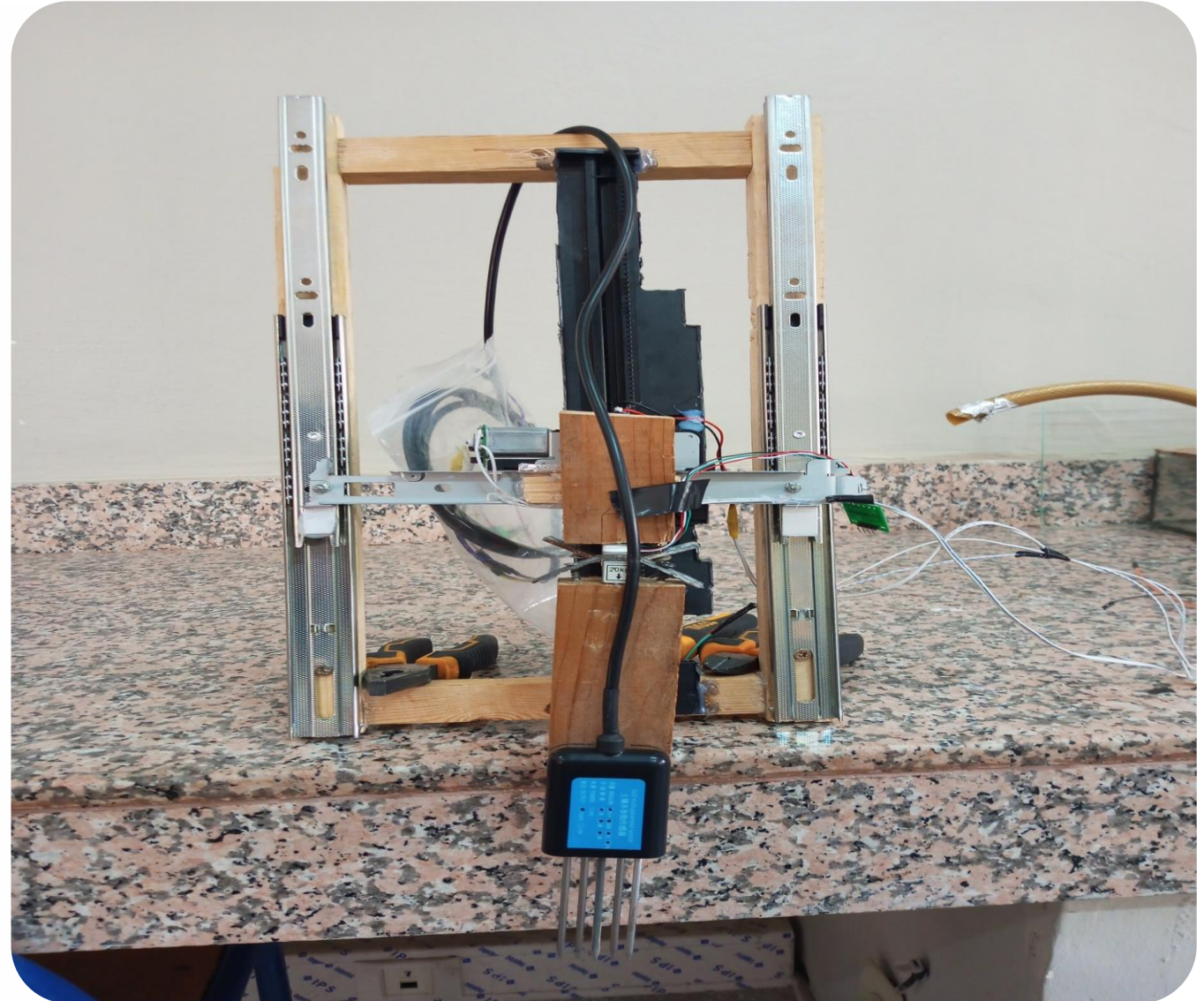
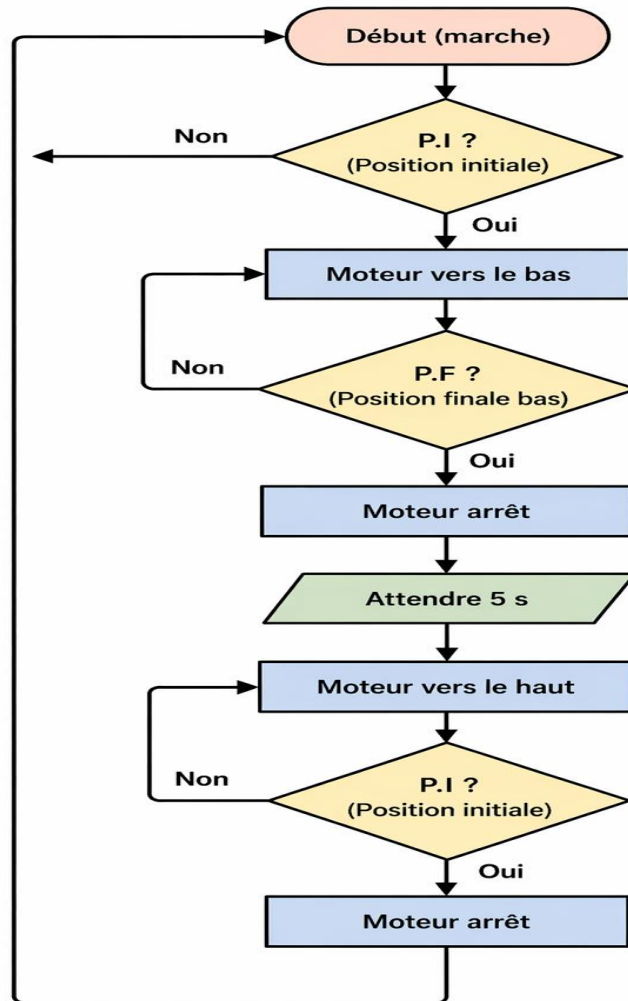


- Glissières

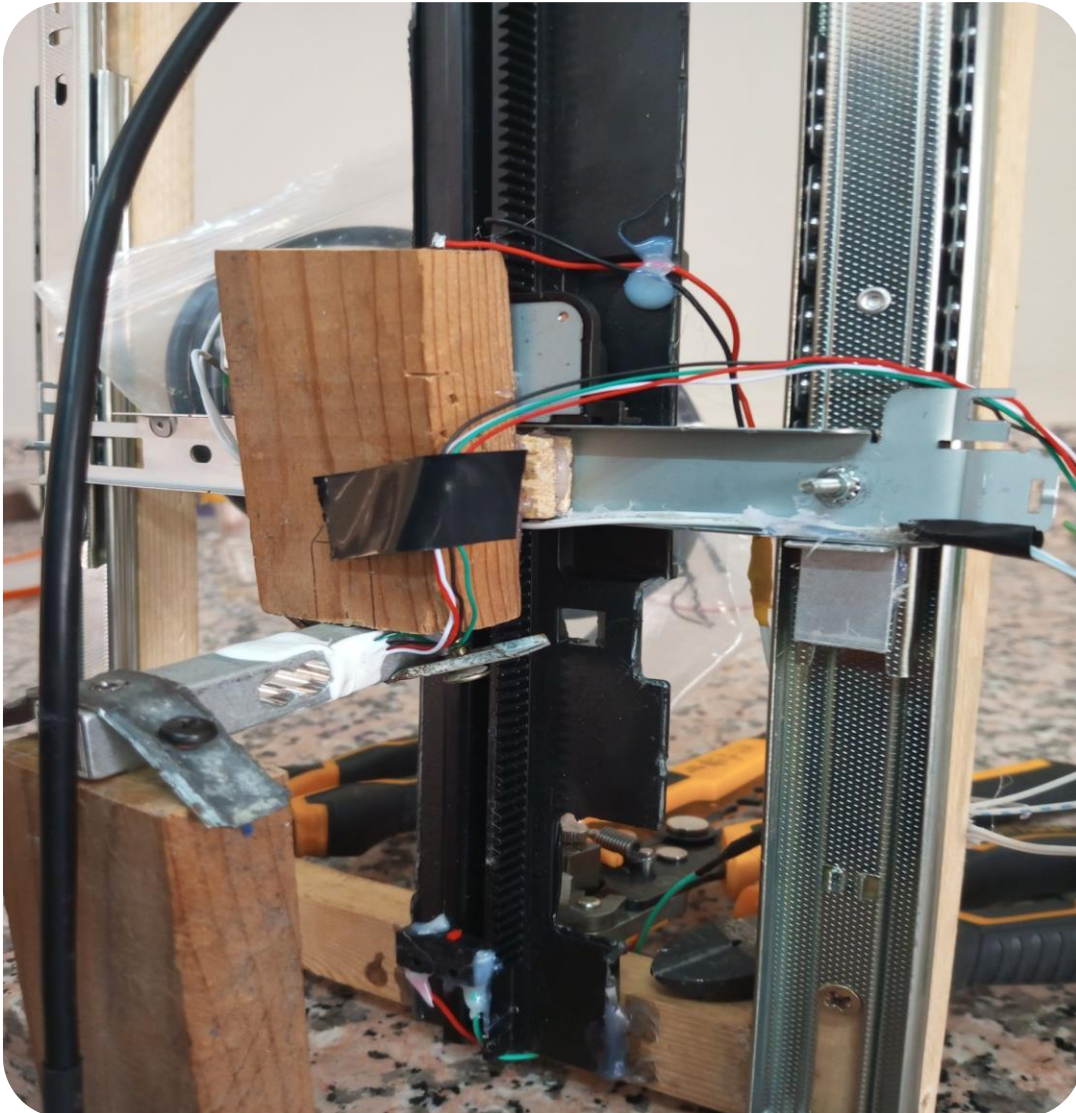
- Pignon-crémaillère

- Commande du système

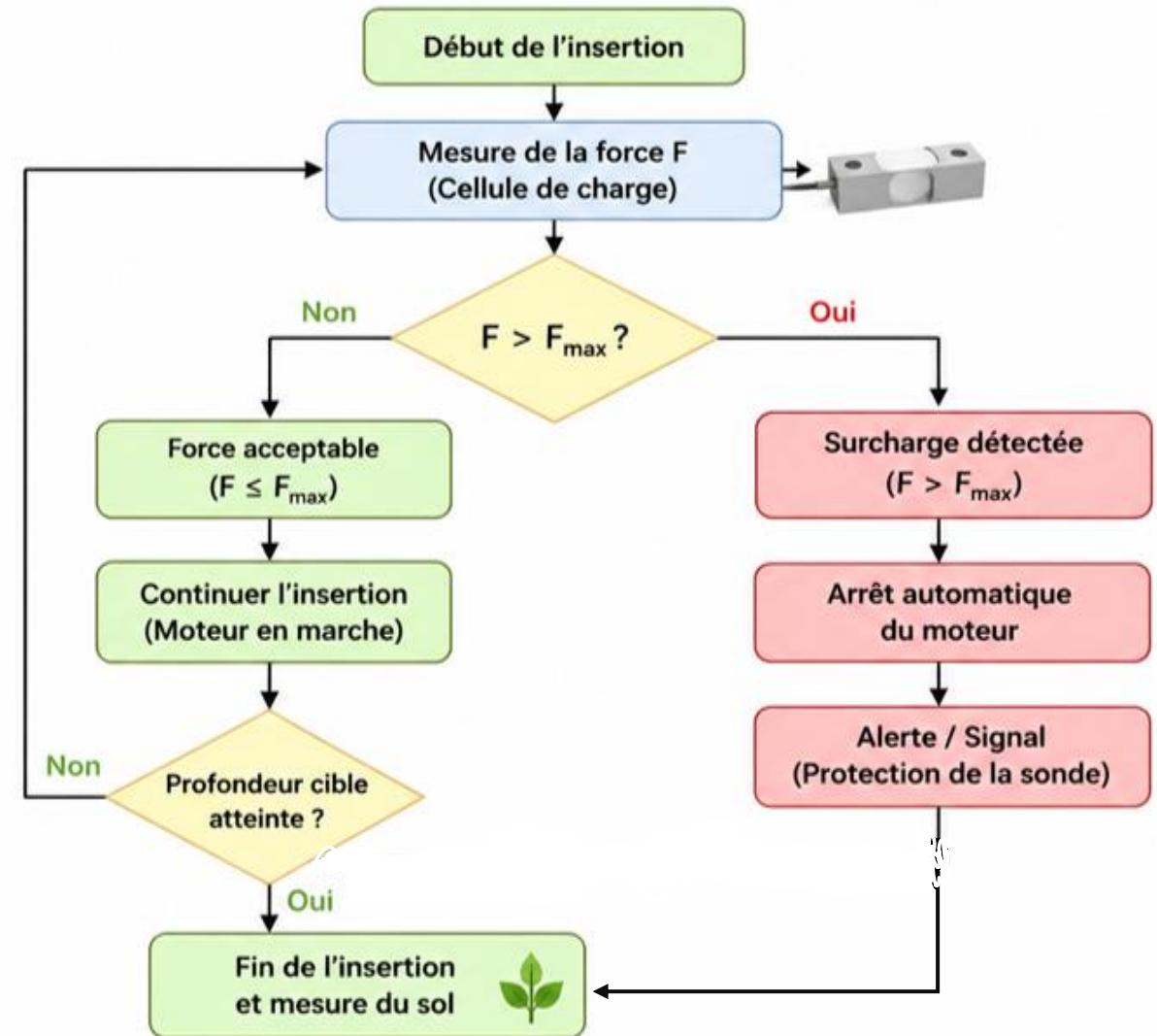
□ Organigramme de commande du système.

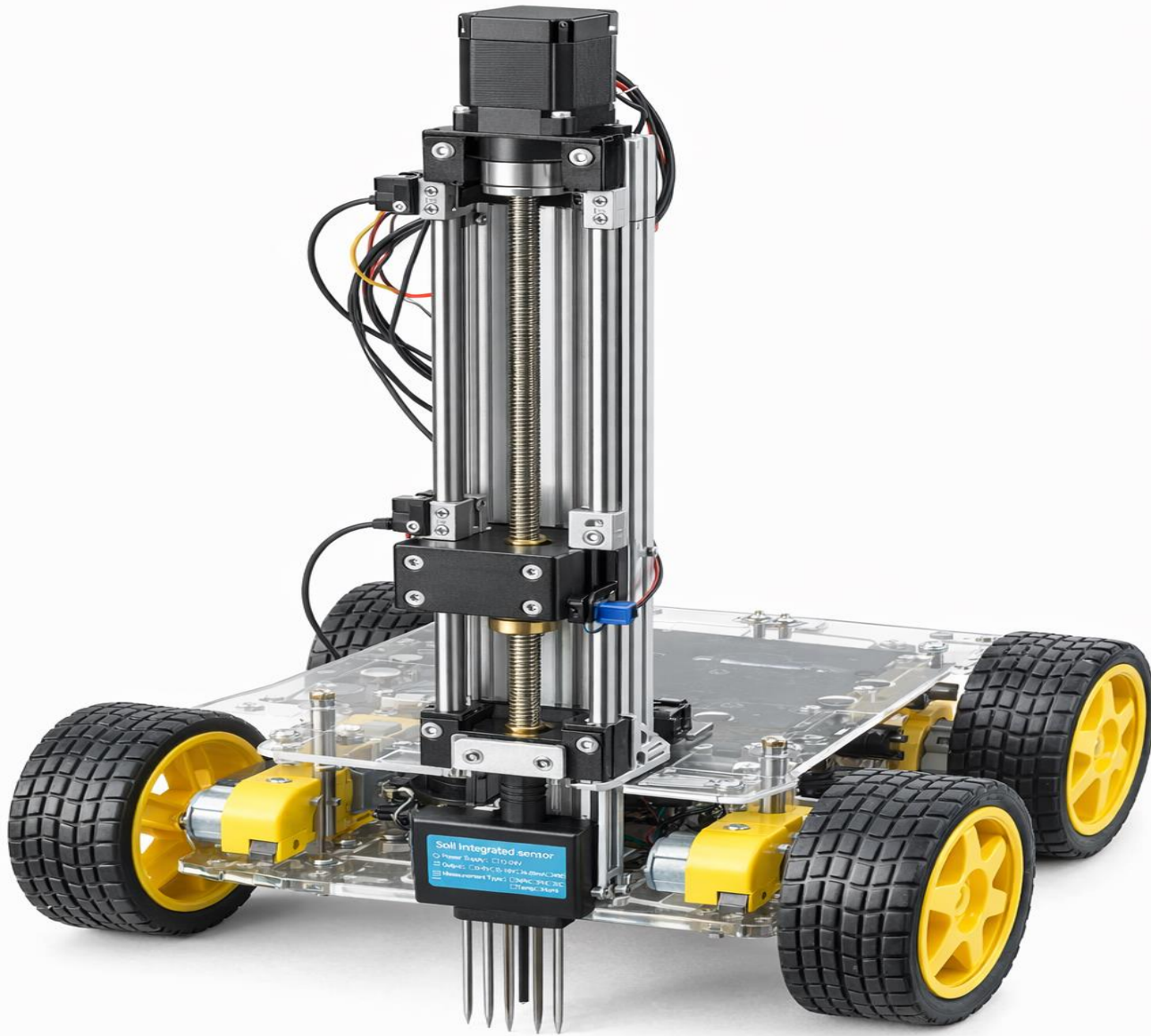


□ Détection des surcharges.



Démarche : Organigramme de détection de surcharge





Objectif 4:

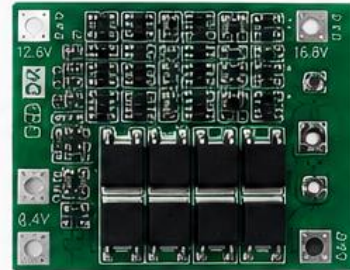
Étude énergétique
pour l'alimentation
du robot.

1. TYPE DE BATTERIE

- **Type** : Li-ion 18650
- **Configuration** : 4S (4 cellules en série)
- **Tension nominale d'une cellule** : 3.7 V
- **Capacité nominale d'une cellule** : 1200 mAh

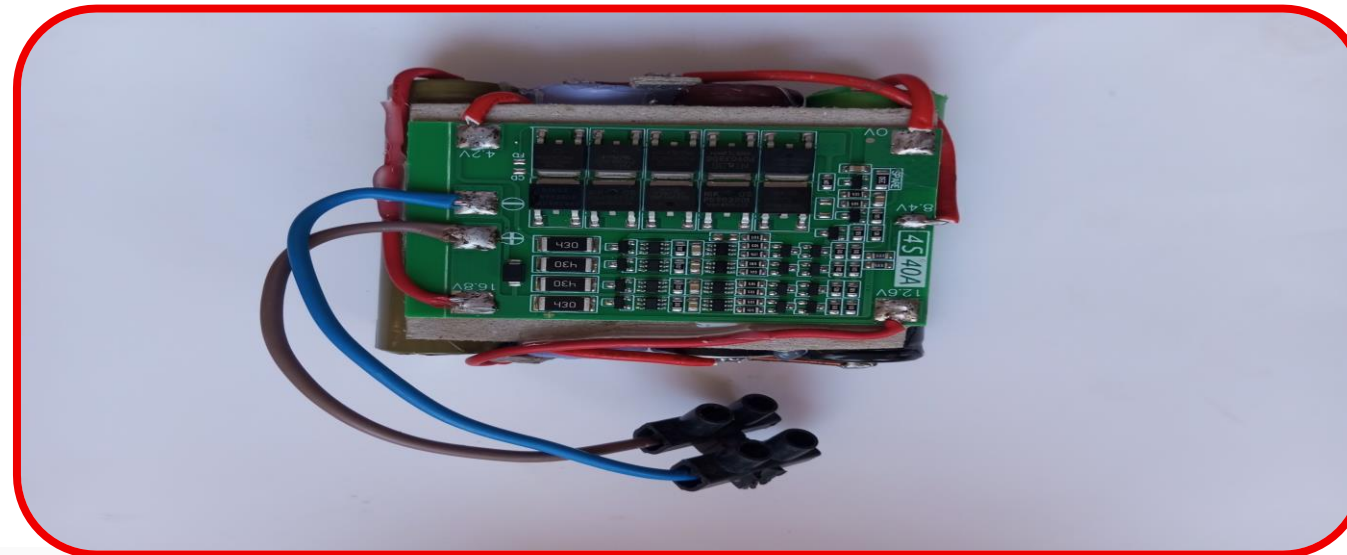
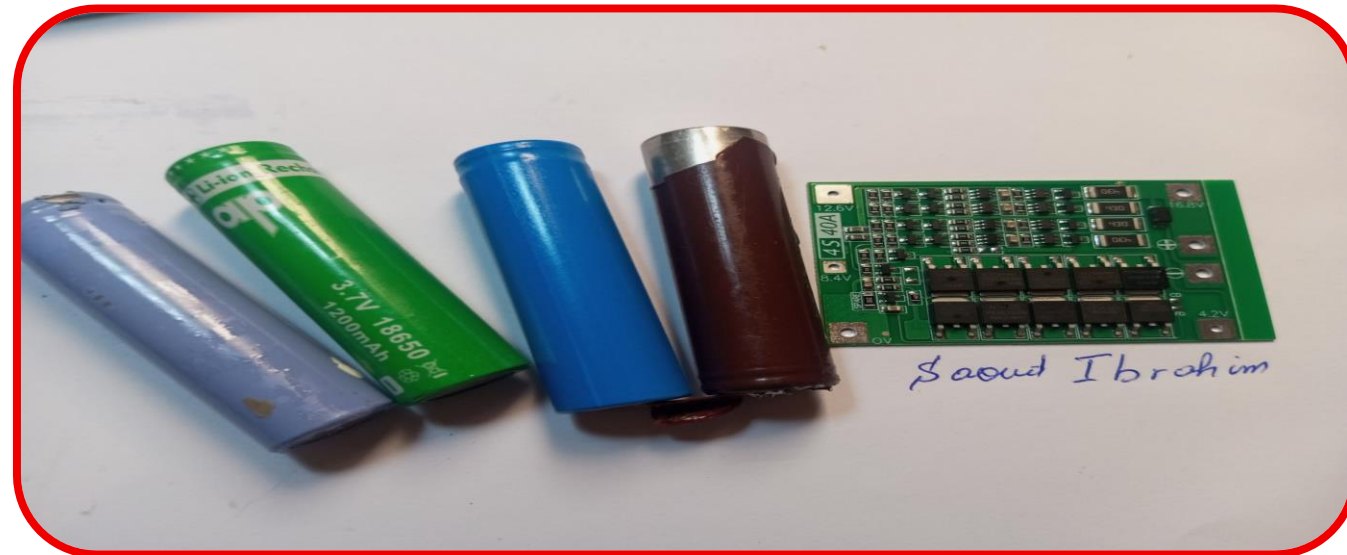
2. BMS

- **BMS** : 4S (4 cellules en série) – Protection intégrée contre la surcharge, la décharge profonde, le court-circuit et la surintensité.



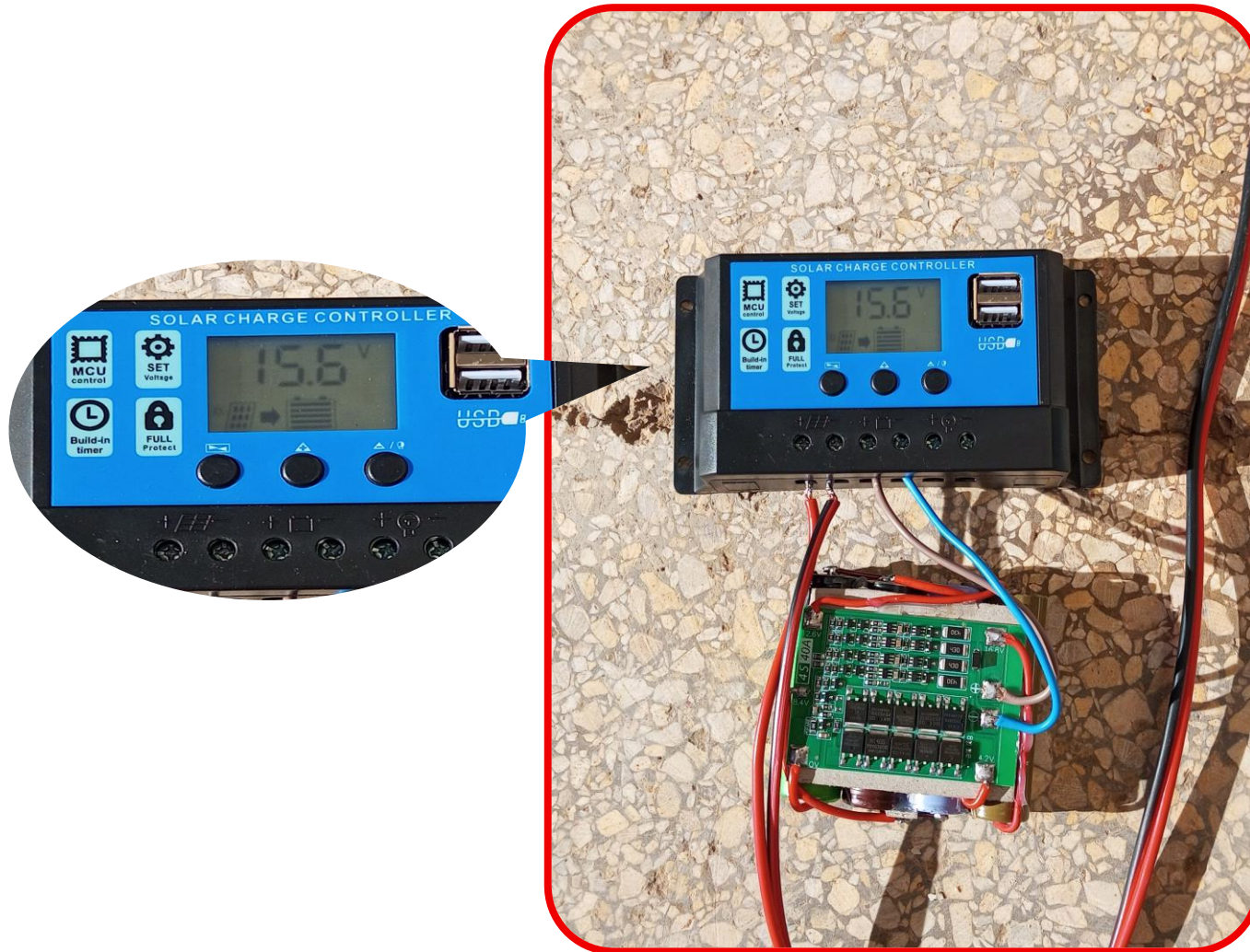
3. SPÉCIFICATIONS DE LA BATTERIE

Paramètre	Valeur
Tension nominale (Tnominal)	14.8 V
Tension maximale (Tmax)	16.8 V
Tension minimale (Tmin)	12.0 V
Capacité nominale	1200 mAh (1.2 Ah)
Énergie stockée (nominale)	≈ 17.8 Wh

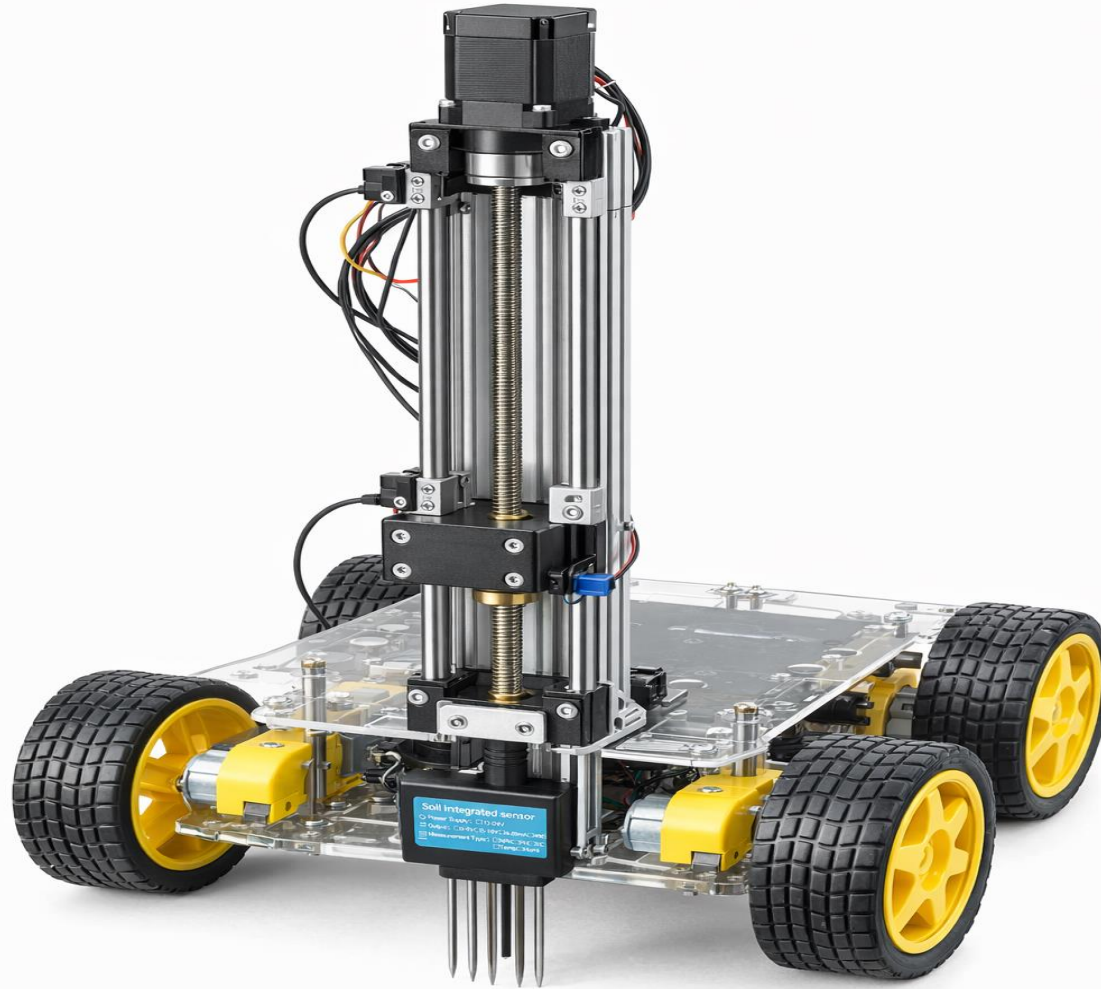


Remarque : La configuration 4S permet d'obtenir une tension nominale d'environ 14.8 V avec une capacité totale de 1200 mAh.

☐ Solution de recharge par énergie solaire.



Conclusion



Merci Pour
Votre
Attention

Annexe A

Sonde multi-capteurs 7-en-1 (ZTS-3002-TR-ECTHNPCKPH-N01)

Présentation

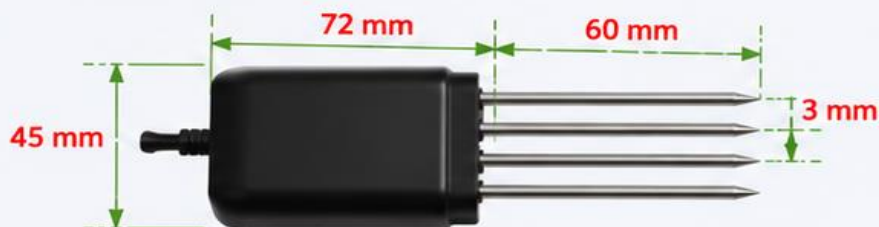
La sonde ZTS-3002-TR-ECTHNPCKPH-N01 est une sonde intelligente **7-en-1** permettant la mesure des principaux facteurs abiotiques du sol.



Caractéristiques principales

- ✓ Mesure simultanée de 7 paramètres du sol
- ✓ Sortie numérique RS485 (protocole Modbus)
- ✓ Haute précision
- ✓ Faible consommation
- ✓ Étanchéité IP68
- ✓ Adaptée à un usage agricole

Dimensions



Paramètres mesurés et plages

Paramètre	Symbole	Plage de mesure	Résolution	Précision
 Conductivité électrique	EC	0 – 20 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$	10 $\mu\text{S}/\text{cm}$	$\pm 2\%$
 Température	T	-40 – 80 $^{\circ}\text{C}$	0.1 $^{\circ}\text{C}$	± 0.5 $^{\circ}\text{C}$
 Humidité volumique	H	0 – 100 %	0.1 %	$\pm 3\%$
 Azote	N	0 – 1999 mg/kg	1 mg/kg	$\pm 5\%$
 Phosphore	P	0 – 1999 mg/kg	1 mg/kg	$\pm 5\%$
 Potassium	K	0 – 1999 mg/kg	1 mg/kg	$\pm 5\%$
 pH du sol	pH	0 – 14	0.1	± 0.1 pH

Principe de fonctionnement

La sonde intègre plusieurs capteurs dans un seul boîtier.

Les mesures sont converties en signaux numériques et transmises au microcontrôleur via le protocole **RS485 (Modbus RTU)**.



Avantages pour l'agriculture

- ✓ Mesure simultanée de 7 paramètres essentiels
- ✓ Installation simple et étanchéité IP68
- ✓ Haute précision et stabilité
- ✓ Faible consommation énergétique
- ✓ Adaptée à un suivi intelligent des cultures



Source: [multifunk_n_p_dn_sonda_ph_npk_vodivost_templata_a_vlhkost_rs485.pdf](#)

1. Présentation

- **Type :** Cellule de charge à jauges de contrainte
- **Capacité nominale :** 50 kg
- **Principe :** Pont de Wheatstone
- **Application :** Mesure de la force d'insertion de la sonde



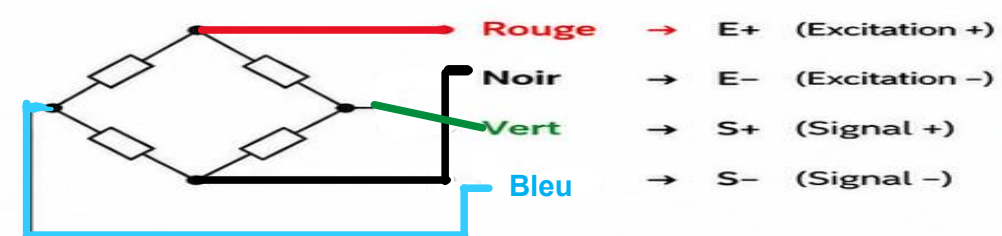
2. Caractéristiques principales

Paramètre	Valeur
Capacité nominale	50 kg
Sensibilité (sortie nominale)	$2.0 \pm 0.2 \text{ mV/V}$
Tension d'alimentation (Excitation)	5 à 12 V DC
Précision	$\pm 0.02 \% \text{ F.S.}$

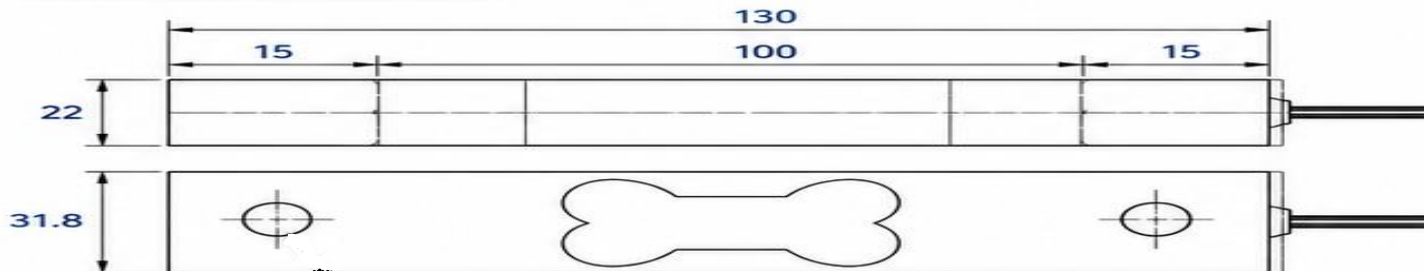
3. Principe de fonctionnement



4. Câblage (Pont de Wheatstone)



5. Dimensions (mm)



6. Application dans le projet



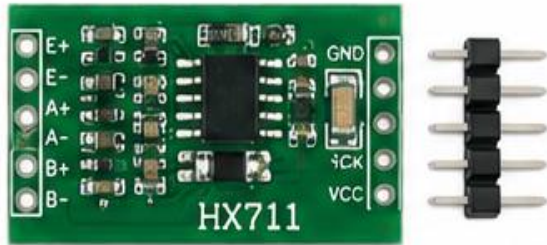
Cette cellule de charge est utilisée pour mesurer la force d'insertion de la sonde lors de sa pénétration dans le sol.

Annexe C

Module HX711 – Amplificateur pour cellule de charge

1. Présentation

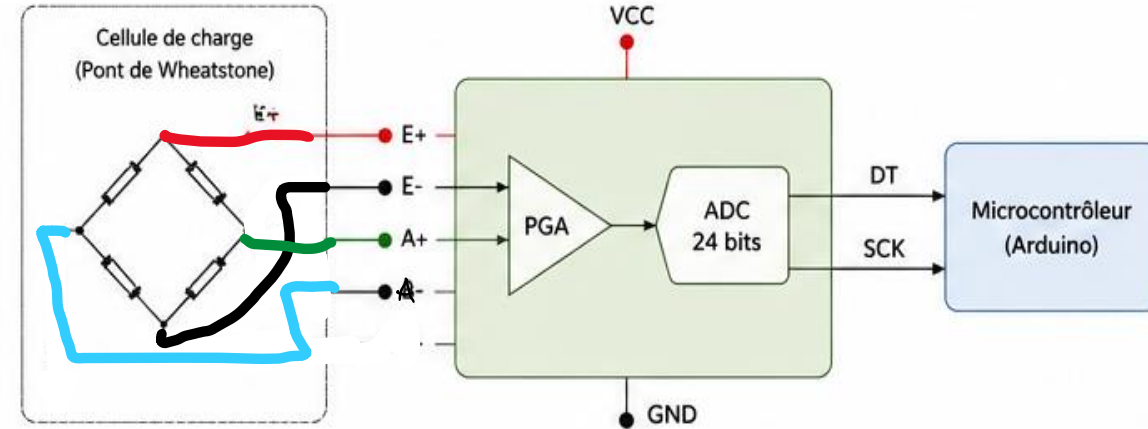
Le HX711 est un amplificateur de précision conçu pour les cellules de charge (pont de Wheatstone). Il intègre un amplificateur à faible bruit programmable (PGA) et un convertisseur Analogique-Numérique 24 bits. Il permet d'obtenir des mesures de poids de haute résolution avec une bonne stabilité.



2. Caractéristiques principales

Paramètre	Valeur
Alimentation	2.6 – 5.5 V DC
Courant de fonctionnement	< 1.5 mA
Résolution	24 bits
Entrée différentielle	±20 mV
Gain programmable (PGA)	128 ou 64
Fréquence de sortie de données	10 SPS ou 80 SPS
Interface	2 fils (DT, SCK)
Température de fonctionnement	-40 °C à +85 °C

3. Principe de fonctionnement

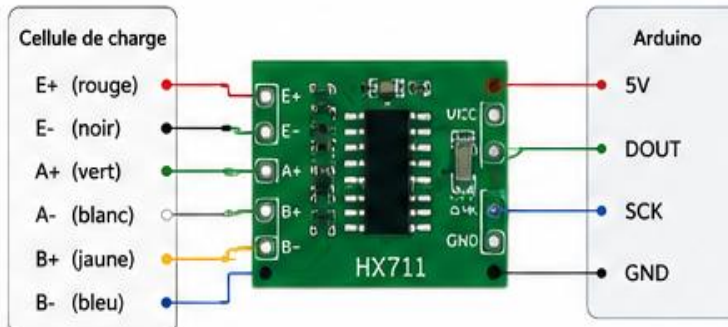


- Le signal différentiel millivolté issu du pont de Wheatstone est amplifié par le PGA.
- Le convertisseur 24 bits fournit une valeur numérique proportionnelle au poids.
- Les données sont lues via 2 fils : DT (Data) et SCK (Serial Clock).

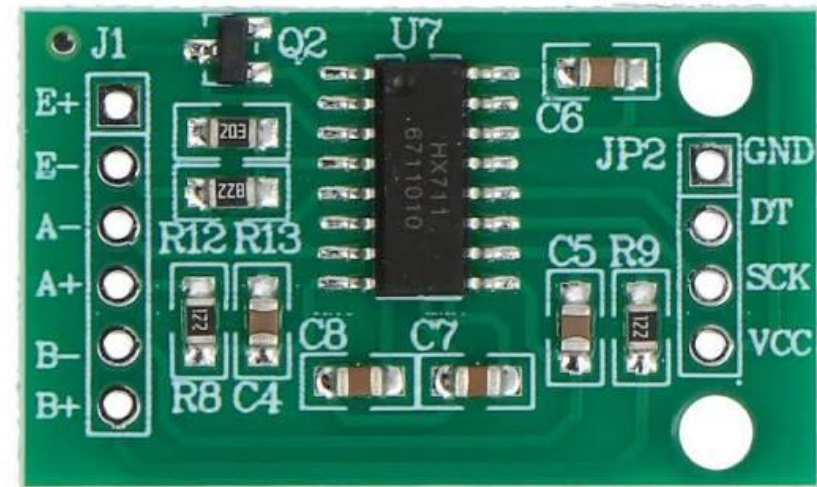
4. Brochage et connexion

HX711	Description
E+	Alimentation + du pont de Wheatstone (Excitation +)
E-	Alimentation - du pont de Wheatstone (Excitation -)
A+	Entrée différentielle +
A-	Entrée différentielle -
B+	Entrée différentielle + (canal B)
B-	Entrée différentielle - (canal B)
VCC	Alimentation 2.6 – 5.5 V
GND	Masse
DT	Sortie données
SCK	Horloge série

Connexion type



- Utiliser des fils torsadés pour les connexions du pont de Wheatstone (E+/E-, A+/A-, B+/B-).
- Placer le module HX711 le plus près possible de la cellule de charge.



1. Présentation

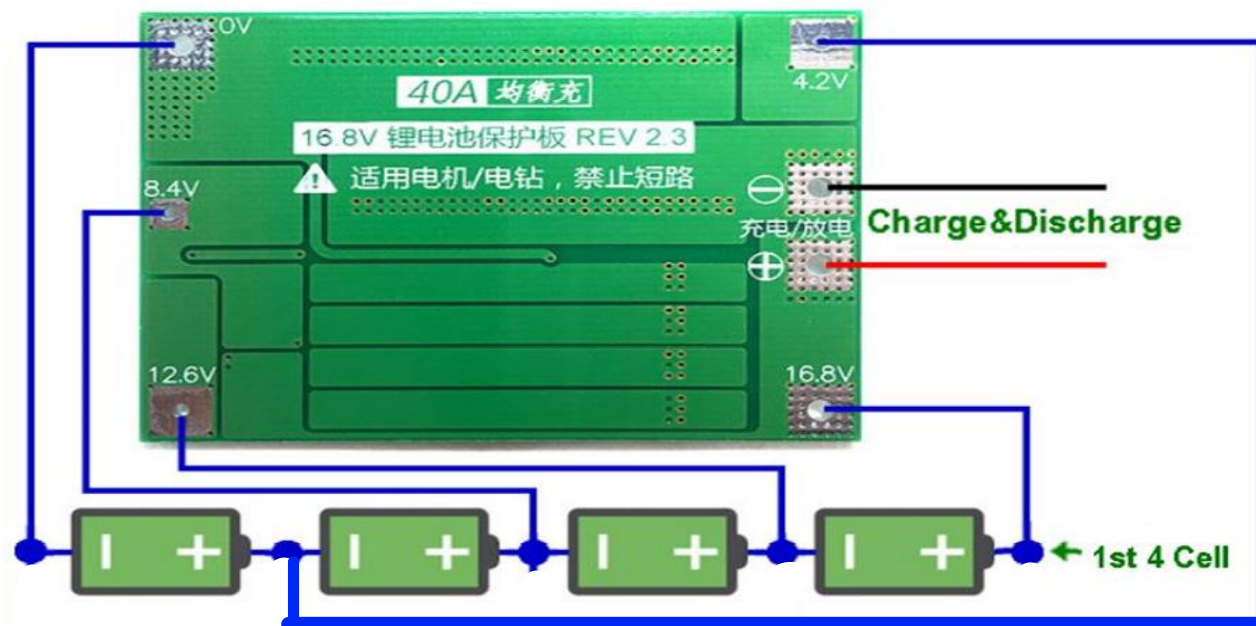
Le BMS (Battery Management System) 4S 40A est un circuit électronique qui protège la batterie Li-ion composée de 4 cellules en série. Il assure l'équilibrage, la protection contre les surcharges, les décharges profondes et les surintensités.



2. Caractéristiques principales

Configuration	4S (4 cellules en série)
Courant continu max.	40 A
Courant de pointe	60 A (quelques secondes)
Tension de charge max.	16.8 V
Tension de décharge max.	14.4 V
Tension de coupure décharge	2.5 V $\pm$ 0.1 V / cellule
Balance	Équilibrage passif
Température de fonctionnement	-20 °C à +60 °C

3. Schéma de connexion



4. Fonctions principales

- ✓ Protection contre la surcharge
- ✓ Protection contre la décharge profonde
- ✓ Protection contre les surintensités (court-circuit)
- ✓ Équilibrage des cellules
- ✓ Gestion et surveillance de la batterie



Source :
BMS 4S 40A Li-ion – Datasheet
(Shenzhen / Generic)