

المدرسة الوطنية العليا للمعادن بالرباط  
ⵜⴰⵎⴰⵎⴰⵏⵜ ⵜⴰⵏⵓⵔⴰⵏⵜ ⵜⴰⵎⴰⵎⴰⵏⵜ | ⴷⴰⵎⴰⵎⴰⵏ ⴰⵎⴰⵏⴰⵏ  
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DES MINES DE RABAT

**CNC 2022**

TRAVAUX D'INITIATIVE  
PERSONNELLE ENCADRÉS  
T.I.P.E. 2022

**SANTE PREVENTION**

Royaume du Maroc



Ministère de l'Education Nationale,  
du Préscolaire et des Sports

**Sujet :**

---

*Mise en place d'un robot de désinfection par  
rayonnement UV*

---

**préparé par :**

**Nada AISSAOUI**



# PLAN



## Introduction

- A. Diagramme Sys ML
- B. Choix des équipements du robot
- C. Asservissement de vitesse du robot
- D. Sécurité de personnels contre les UV
- E. Schéma d'installation global

## Conclusion

# Introduction

Les écoles d'aujourd'hui sont confrontés au défi de garder les grands terminaux propres et désinfectés (ex contre le COVID19) . Ils le font aujourd'hui avec des processus et des procédures manuels, avec des machines autoportées ainsi que des outils manuels, plusieurs fois par jour. Et c'est une tâche assez longue et coûteuse.

Les solutions robotiques peuvent être une bonne solution pour ce défi



# Introduction

## »» Problématique

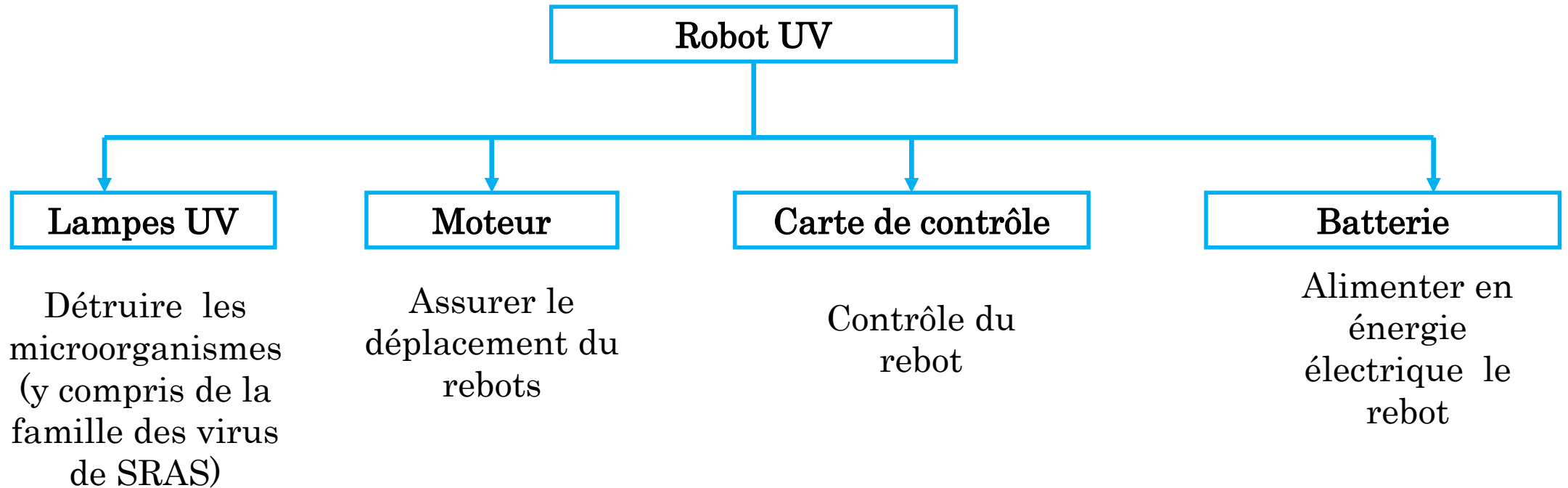
La pandémie du COVID-19 a révélé à quel point nous sommes vulnérables aux maladies infectieuses, et qu'il est difficile de limiter la propagation d'un virus. Ceci m'a orienté vers le choix de ce système, pour assurer des meilleures conditions d'hygiène dans les établissements scolaires qui constituent des foyers de contamination.

Comment concevoir un robot autonome qui assure une désinfection efficace et rapide tout en protégeant la santé du personnel et des élèves ?

# Introduction

## » Solutions

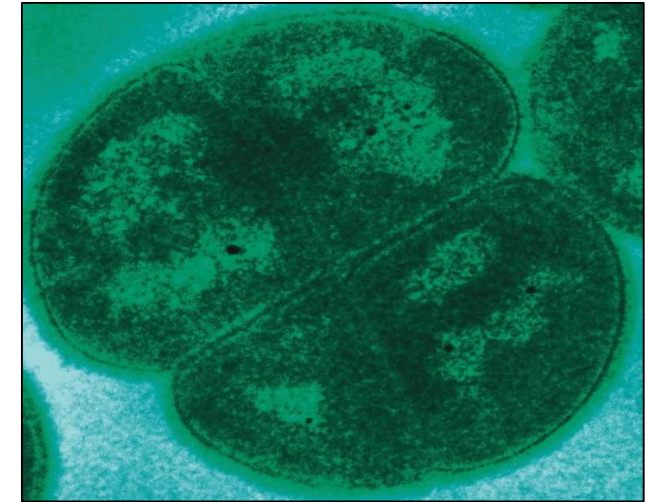
Mise en place d'un robot de désinfection par rayonnement UV



# Introduction

## Robot à ultraviolet

- Le robot UVC est un robot mobile autonome équipé avec de puissantes lumières ultraviolettes C,
- L'UV est scientifiquement prouvé qu'elles détruisent les microorganismes (y compris de la famille des virus de SRAS)
- Ce robot se déplace de manière autonome, pour désinfecter automatiquement les surfaces et rendre l'espace propre.



**Microorganisme du bactérie**



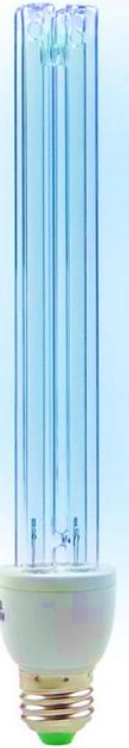
**Microorganisme virus corona**

# Introduction

## »» La lumière UVC est-elle efficace contre le virus du COVID-19?

### Organisme IUVA

*La lumière ultraviolette C (lumières germicides UVC) perturbe l'ADN d'un micro-organisme, en l'inactivant ou en le détruisant. L'exposition à la lumière UVC à des longueurs d'onde de 253,7 nm détruit jusqu'à 99,99% des virus et bactéries*



Lampe UV

# Introduction

## »» La lumière ultraviolette C est-elle sans danger ?

L'ultraviolet C est utilisé pour désinfecter les surfaces depuis sa découverte en 1878, et il est couramment utilisé pour purifier l'eau potable en Europe et aux États-Unis. Les UVC sont utilisés en toute sécurité pour purifier l'eau potable en Suisse depuis 1955.

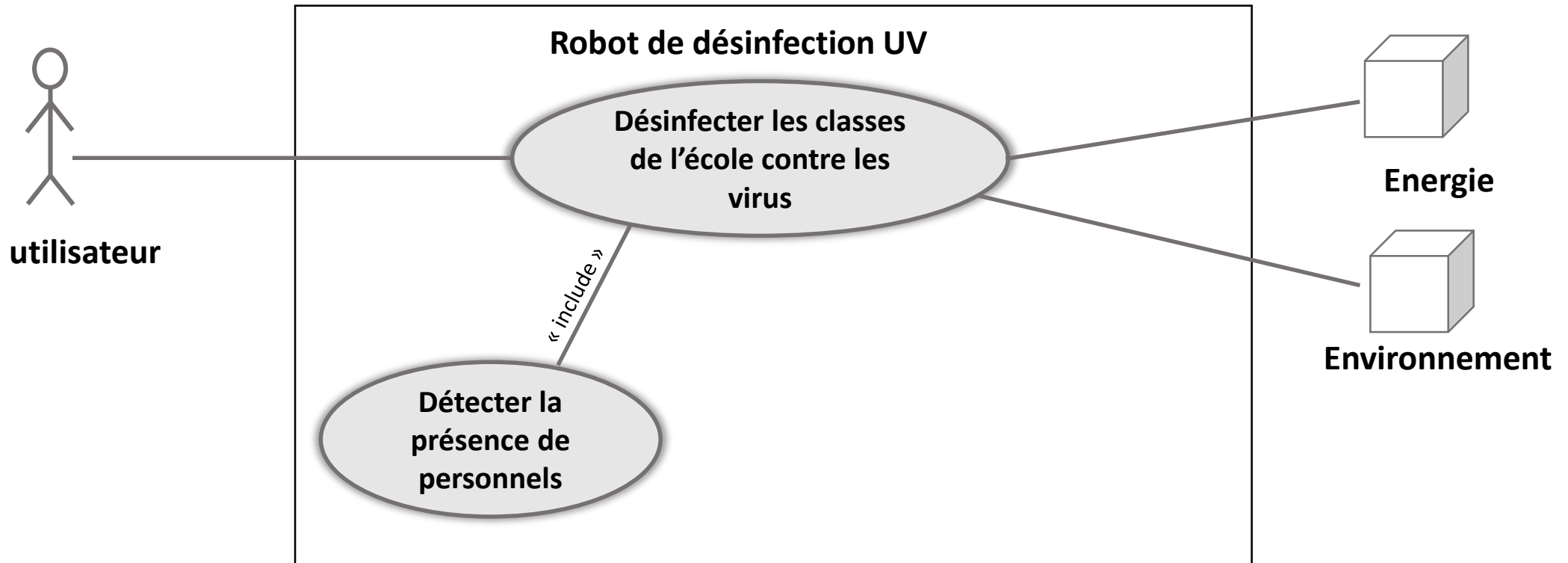


Le contact direct avec la lumière UVC peut cependant être dangereux. Une courte exposition à la lumière UVC peut provoquer une gêne oculaire (photo-keratoconjunctivitis) ou brûlures (erythema), mais il est peu probable qu'elle provoque des lésions permanentes .



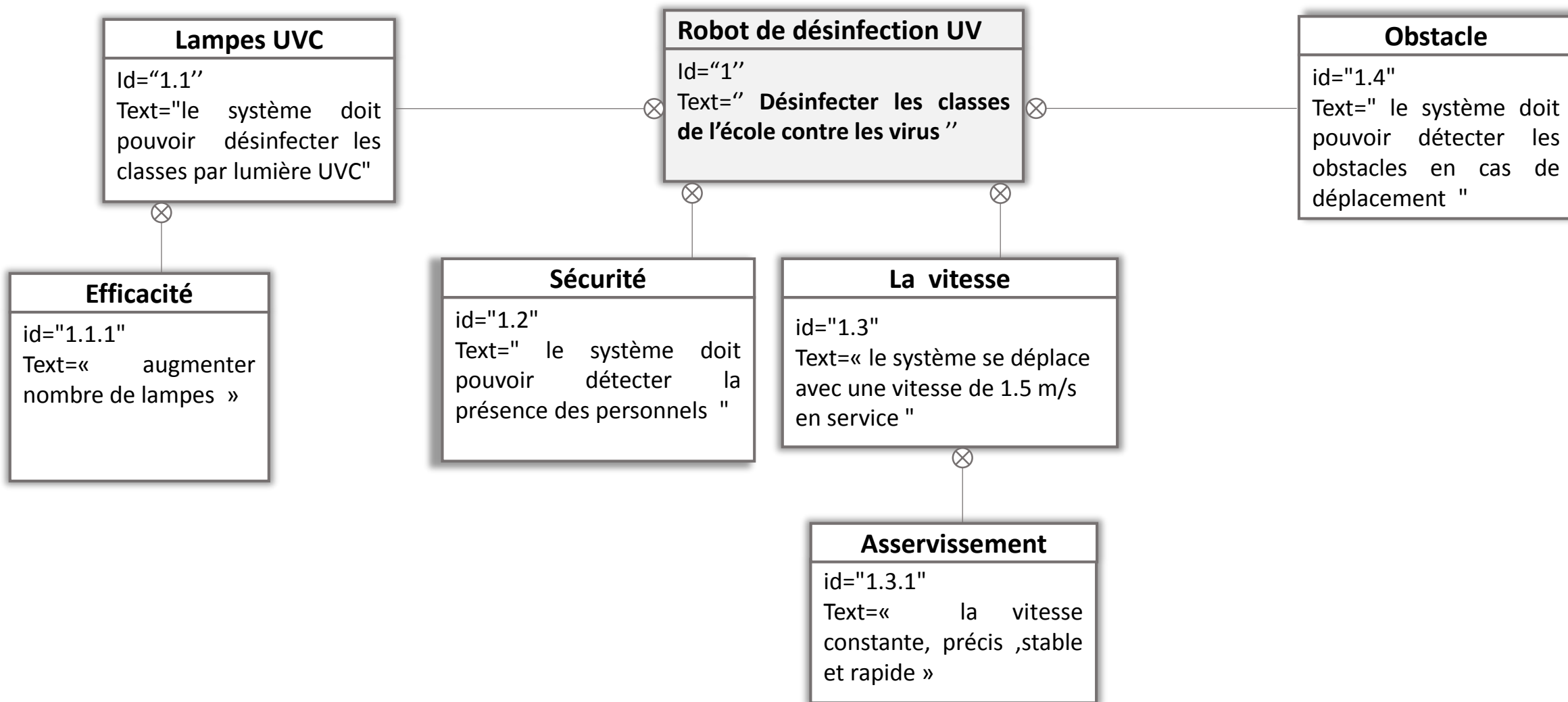
# Diagrammes Sys ML

## Diagramme d'utilisation



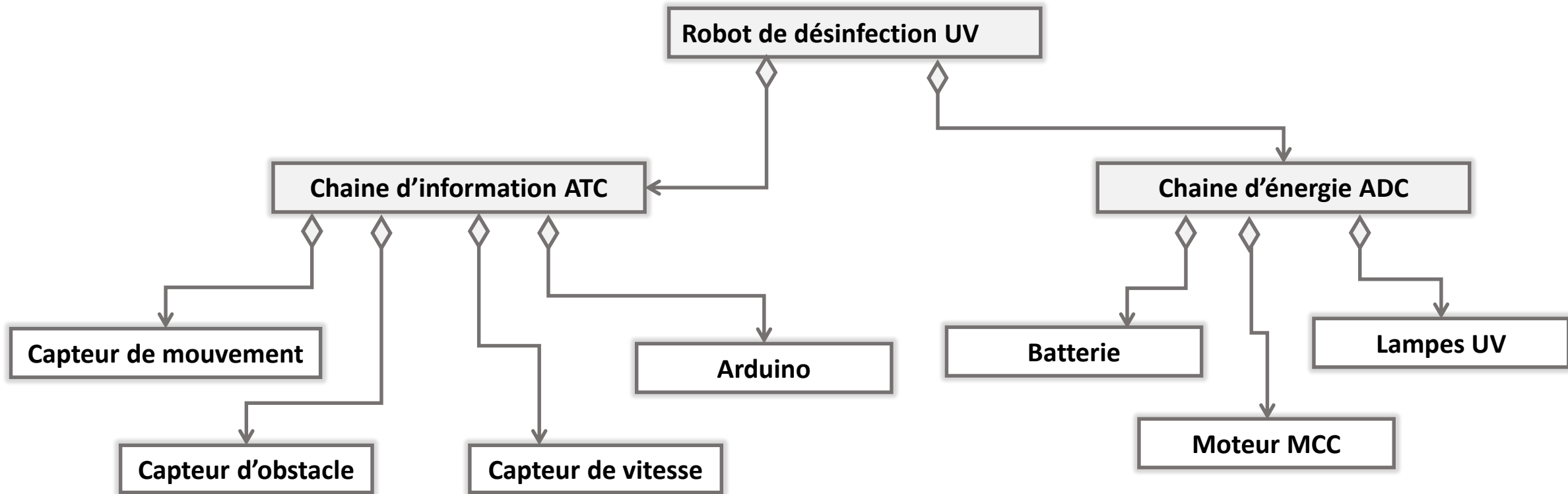
# Diagrammes Sys ML

## Diagramme d'exigence



# Diagrammes Sys ML

## Diagramme BDD



# Choix de la lampe UV

## Les critères de base utilisé pour choisir la lampe UV

- La longueur d'onde qui détruit l'ADN des virus
- La puissance consommée et le type de source (DC/AC)
- Désigne (tube)



manufacturer	PURION® GmbH
type	UV Set PURION 17 W
flow rate and disinfection performance	according to the medium and the vessel's geometrical structure, a calculation will be needed
electrical connection (optionally)	230 V/50 Hz or 110-240 V 50/60 Hz 12 V DC or 24 V DC
total power	17 W
over current protection	10 A
radiation length	280 mm

### This UV set may be used for:

- Air disinfection
- Tank disinfection
- Conveyor-band disinfection
- Surface disinfection
- Installation in air channelling systems

Pour avoir une désinfection efficace choisi **8 lampes** pour augmenter la longueur de rayonnement des rayons UV, car cette lampe ne dépasse pas 280 mm par chacune

# Choix de la batterie

## »» Calcul de la capacité théorique des batterie

La capacité des batterie est exprimée par :  $C = I \cdot \Delta t$

Avec  $I$  est le courant maximal consommé par les charges, et  $\Delta t$  est l'autonomie de la batterie.

- L'autonomie correspond à la durée de désinfection de la totalité des classes : 4h/jours (weekend ou nuit)
- La puissance maximale consommée par les lampes :  $P_{uv} = 8 \cdot 17 = 163 \text{ W}$  sous une tension de 12V.

□ Le courant maximal consommée par les lampes :  $P_{uv} = U \cdot I \Rightarrow I = \frac{P_{uv}}{U} \Rightarrow I = 11.33 \text{ A}$

□ La capacité des batteries :  $C = 45.32 \text{ Ah}$

**Choix : C=100Ah** pour la raison que la valeur de la capacité ajoutée est réservée au moteur de déplacement

# Choix de la batterie

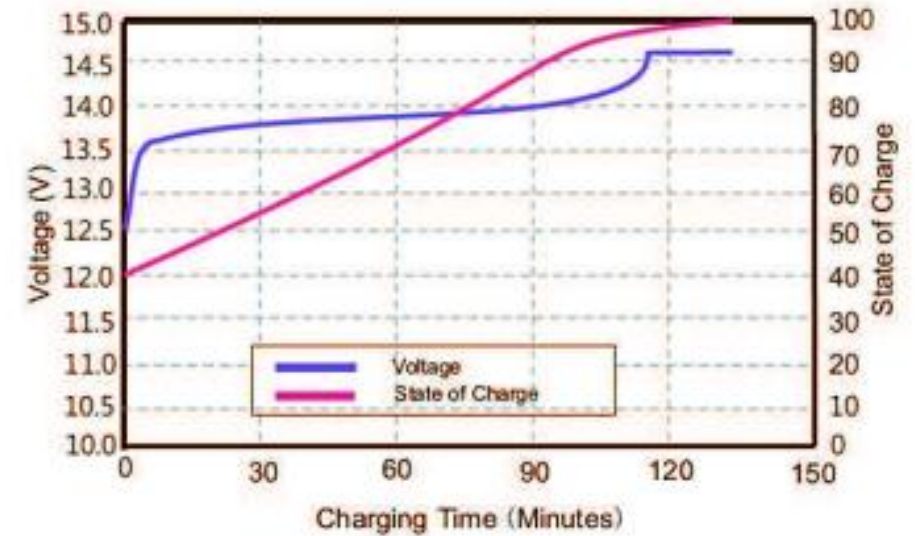
## Choix de batterie



### CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

Technologie : LiFePO4  
Tension nominale : 12,8V  
Capacité nominale : 100Ah  
Energie : 1280Wh  
Tension de charge maxi : 14,6V  
Courant de charge standard : 50A  
Courant de charge rapide : 100A  
Courant de décharge continu : 100A  
Courant de décharge pulse : 120A  
Autodécharge : <3% /mois  
Température de fonctionnement : -20°C à 60°C  
Température de charge : 0 à 45°C  
Nombre de cycles : 2000 à 1C 100% DOD

Connexion par vis M8  
Poids : 13,5Kg



Ce rebot alors temps de charge dure 1H30 min

Pour dimensionner le moteur de déplacement, il faut capable de supporter la charge de cette batterie :  
 $M=13,5 \text{ Kg}$

# Choix du moteur

## Choix de moteur

### 1- Données nécessaire

- La masse (Kg) : 30 kg
- La vitesse (m/s): 1.5 m/s
- La distance parcourue ( pas nécessairement)
- Le diamètre de roue du rebot : 60 mm
- La pente maximale :  $\alpha = 10^\circ$

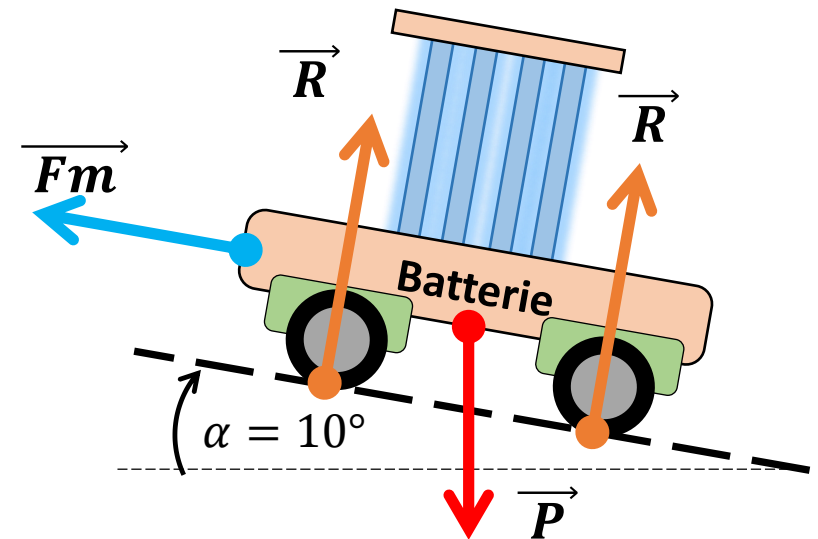
### 3- Bilan de travail des forces

■  $W_p = - m \cdot g \cdot \sin(\alpha) \cdot d$

■  $W_F = F \cdot d$

■  $W_R = 0$

### 2- projections des forces



### 4- Théorème de l'énergie cinétique

$$\Delta E_c = \sum W_{F_{EX}}$$

$$E_c(t) = \frac{1}{2} m v(t)^2$$

# Choix du moteur

## Choix de moteur

### 4- Théorème de l'énergie cinétique

$$\Delta E_c = \sum W_{F_{EX}}$$

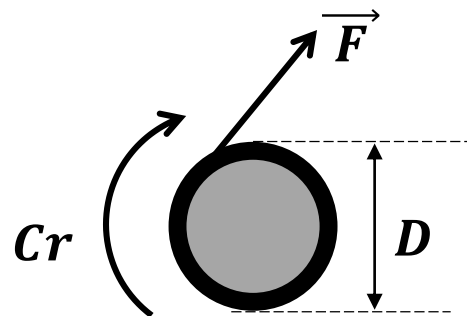
$$\frac{1}{2} m (v_f^2 - v_o^2) = Fd - m \cdot g \cdot \sin(\alpha) \cdot d = 0$$

Donc la force moteur :  $F = m \cdot g \cdot \sin(\alpha)$

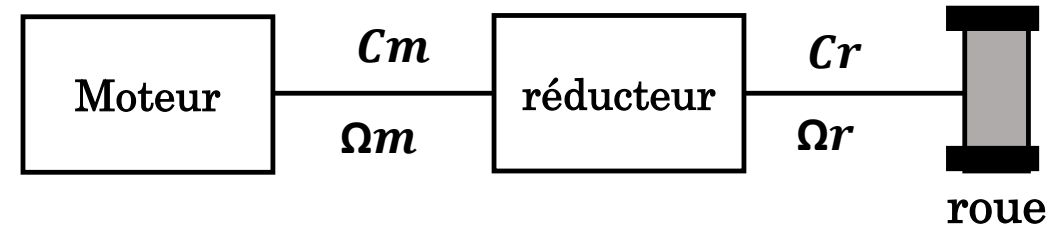
### 5- Le couple à l'arbre du roue

$$C_r = F \cdot \frac{D}{2}$$

$$C_r = 1.54 \text{ Nm}$$



### 6- Chaîne cinématique



#### ■ Vitesse à l'arbre de la roue

$$v = 1 \text{ m/s} \Rightarrow \Omega_r = \frac{2v}{D} = 50 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$
$$\Rightarrow N_r = 478 \text{ tr/min}$$

#### ■ Vitesse à l'arbre moteur

Les vitesses plus rencontrées au marché :  $N_m = 3000 \text{ tr/min}$

#### ■ Le rapport de réduction

$$r = \frac{N_m}{N_r} \cong 7 \quad \text{choix : } r = 8$$



# Choix du moteur

## Choix de moteur

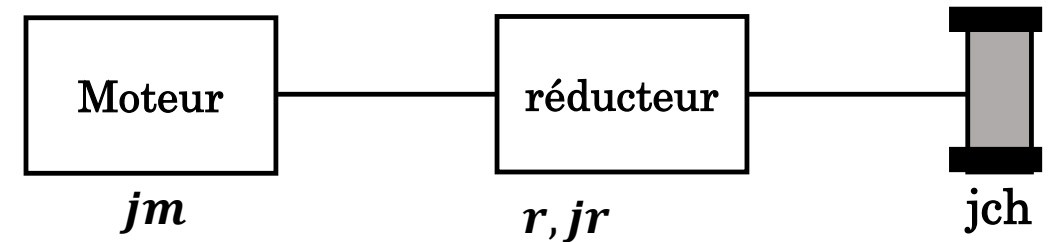
### 7- Le couple moteur

$$Cr \approx \frac{Cr}{r} = 0.2 \text{ Nm}$$

### 8- Le moteur choisi : M540 E 24 V

Specification	Units	Servo motors	
		M540E 0741	M543E 1270
Maximum Voltage	Vdc	40	60
Typical Voltage	Vdc	24 ←	36
Maximum Continuous Output Power	Watts	52	94
Maximum No-load speed	rpm	6000	4700
Typical speed @ rated torque	rpm	2500 ←	2250
Rated Torque	Nm	0.2 ←	0.4
Maximum Peak Torque	Nm	1.1	1.44
Typical . No load current	Amps	0.5	0.30
Rotor Inertia	Kgcm <sup>2</sup>	0.270	0.530
Mechanical time constant	milli secs	8.4	8.0
Torque Constant	Nm / A	0.071	0.121
Voltage Constant	V / 1000 rpm	7.41	12.7
Terminal Resistance	Ohms	1.55	2.2
Rotor inductance	mH	3.39	6.4

### 9- Calcul le moment d'inertie totale



moment d'inertie totale ramené à l'arbre moteur :

$$jt = jm + jr + \frac{jch}{r^2} \text{ avec } jm = 0.27 \text{ Kgcm}^2$$

moment d'inertie des masses en translation :

$$jch = m \cdot \frac{D^2}{4} \Rightarrow jch = 0.027 \text{ Kg.m}^2$$

Alors :

$$jt = 0.45 \cdot 10^{-3} \text{ Kg.m}^2$$

# Choix du Hacheur

## » Pont en H L298N 100 W

Ce circuit, très populaire et bon marché, offre un bon moyen de piloter jusqu'à deux moteurs à courant continu, ou bien un moteur pas à pas, voire même un moteur brushless.

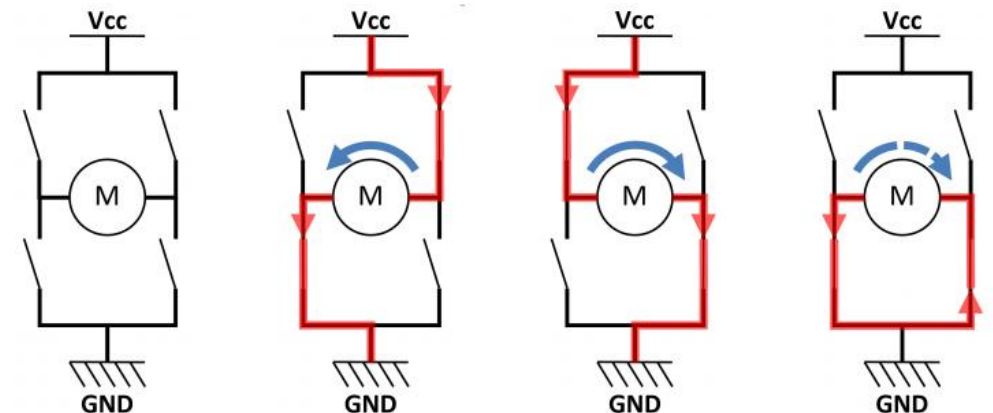


### ❑ Caractéristiques technique .

- Alimentation : 12V 24V 36V 15A
- Puissance de sortie jusqu'à 100 W

La machine MCC à une puissance de 52 W, alors elle est compatible avec ce convertisseur

### ❑ Schéma de principe .



# Asservissement du vitesse du robot

## Exigence de l'asservissement

vitesse de déplacement est constante vaut 1.5m/s malgré les perturbations (variation de la pente, roulement du sol), avec de bonnes qualités d'asservissement : maximum de rapidité, de précision et de stabilité.

## Le modèle de la machine à courant continu

$$1. u(t) = e(t) + R i(t) + L \frac{di(t)}{dt}$$

$$2. j_t \frac{d\Omega(t)}{dt} = C_m i(t) - C_r \Omega(t) - f \Omega(t)$$

$$3. e(t) = K \Omega(t)$$

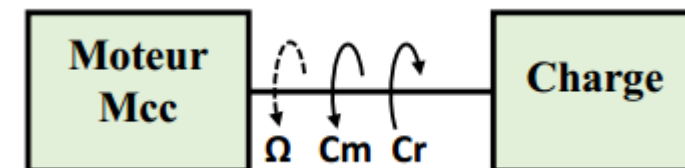
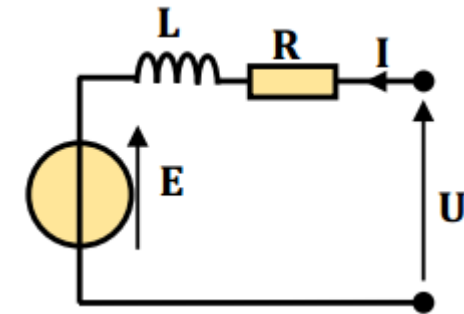
$$4. C_m i(t) = K i(t)$$

$$R = 1.55 \Omega,$$

$$L = 3.39 \text{ mH}$$

$$K = 0.071$$

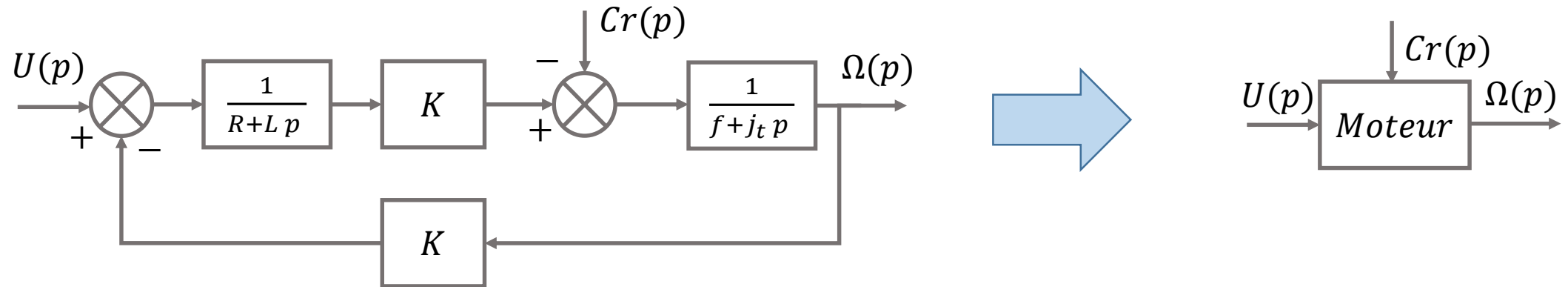
$$j_t = 0.45 \cdot 10^{-3} \text{ Kg.m}^2$$



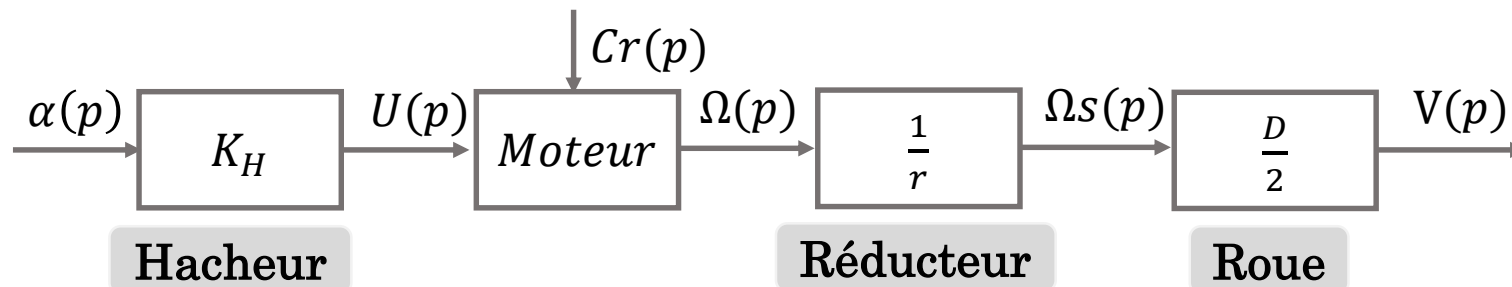
# Asservissement du vitesse du robot

## Le modèle de la machine à courant continu

Appliquons la transformation de Laplace à les équations précédentes, et on tire le modèle suivant :

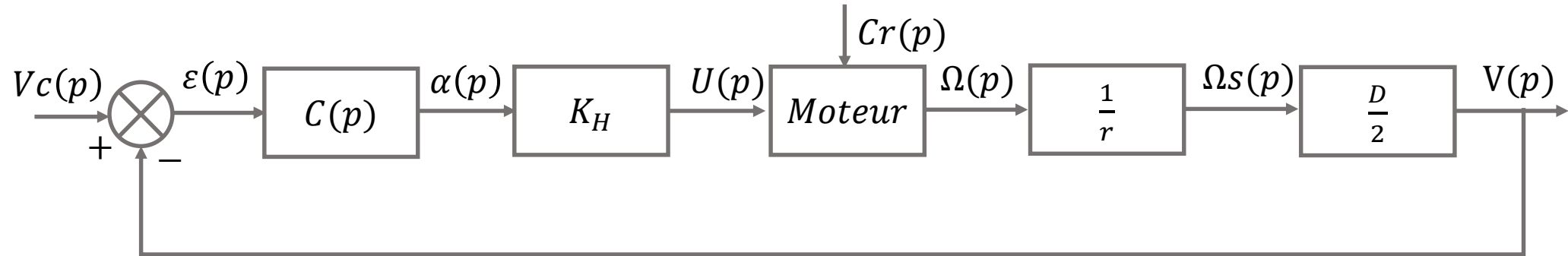


## Le modèle de la chaine cinématique

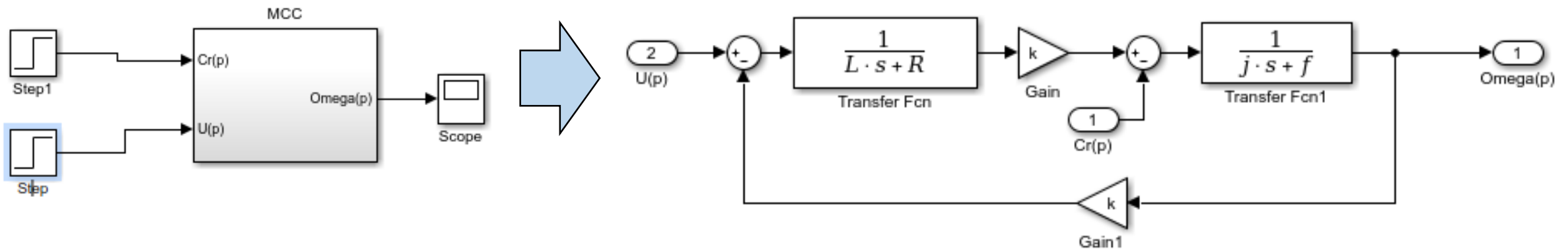


# Asservissement du vitesse du robot

## Schéma d'asservissement

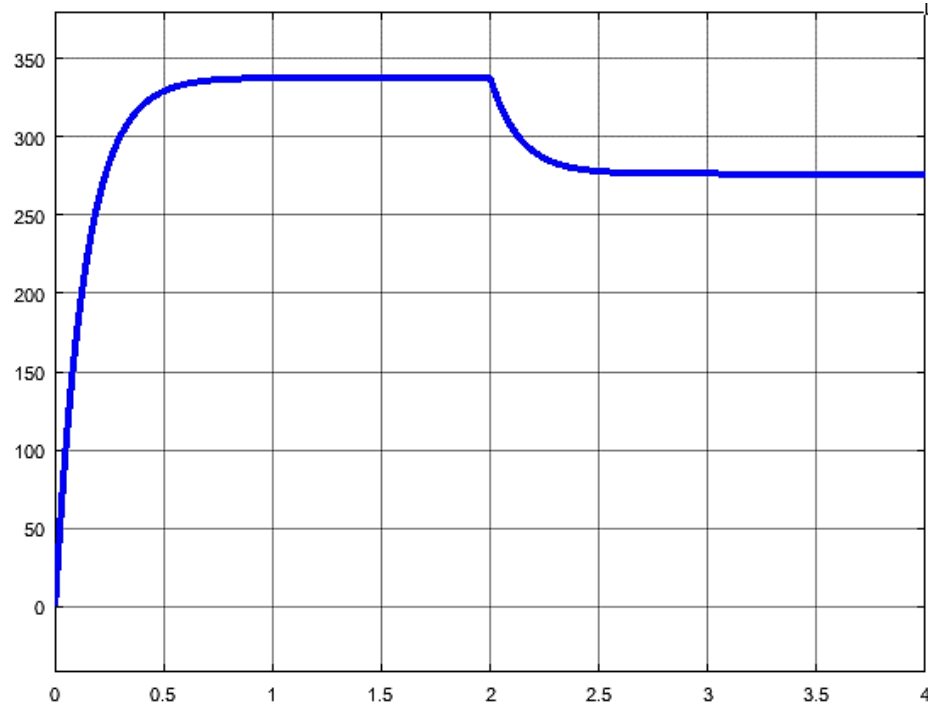


## Simulation : schéma bloc du moteur à C.C



# Asservissement du vitesse du robot

## » Résultats de la machine en BO



### Conclusion

Une perturbation de couple conduit à la diminution de la vitesse, donc la nécessité d'asservir et régler la vitesse de déplacement.

### Consigne d'entrée

Temps t (s)	Tension U	Le couple
[0, 2]	24 V	0 Nm
[2, 4]	24 V	0.2 Nm

### Résultats

Vitesse en tr/min	À vide	En charge nominale
	3227	2626

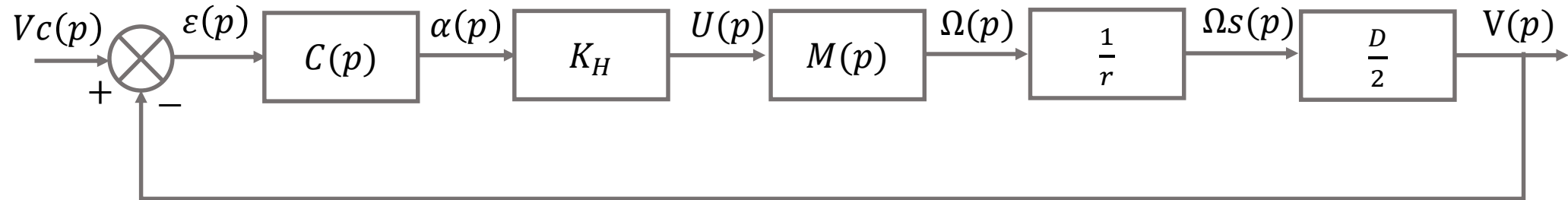
Temps de répons à 5%	0.4 s
----------------------	-------

### Performances d'asservissement

stabilité	Précision	Rapidité
Stable	-	Lent

# Asservissement du vitesse du robot

## Correction de la vitesse de la machine à CC



### La fonction de la machine $M(p)$

$$M(p) = \frac{k}{L \cdot j_t p^2 + R \cdot j_t p + k^2} \Rightarrow M(p) = \frac{Km}{(1 + \tau_e p)(1 + \tau_m p)}$$

$\tau_e = \frac{L}{R}$	$\tau_m = \frac{R \cdot j_t}{k^2}$	$Km = \frac{1}{k}$
2.19 ms	138.36 ms	14.0845

### La fonction de transfert approchée $M(p)$

On a :  $\tau_m \gg \tau_e \Rightarrow M(p) \cong \frac{Km}{1 + \tau_m p}$

### La fonction de transfert en boucle ouverte FTBO(p)

$$FTBO(p) \cong C(p) \frac{Km \cdot K_H \cdot \frac{1}{r} \cdot \frac{D}{2}}{1 + \tau_m p} = C(p) \frac{K_o}{1 + \tau_m p} \quad \text{avec } K_o = 1.2676 \text{ et } \tau_m = 138.36 \text{ ms}$$

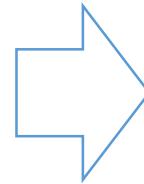
$$trBO = 3\tau_m = 0.41 \text{ s}$$

# Asservissement du vitesse du robot

## Correction de la vitesse de la machine à CC

### Performances exigés

Stabilité	Système doit être stable
Rapidité	Le plus rapide possible
Précision	Erreur statique nuls
	Système doit être réglé



Choix : Correcteur proportionnelle intégrale PI

$$C(p) = K_p \frac{1 + T_i P}{T_i P}$$

### Méthode de travail :

On choisi  $T_i = \tau_m = 138.36 \text{ ms}$  et on cherche la valeur de  $K_p$  pour avoir la vitesse du boucle BF soit 10 fois rapide que la boucle BO

■ la fonction en BO :  $FTBO(p) = \frac{K_p K_o}{\tau_m p}$

■ la fonction en BF :  $FTBF(p) = \frac{FTBO}{1+FTBO} = \frac{1}{1+\frac{\tau_m}{K_p K_o} p}$        $FTBO(p) = \frac{1}{1+T p}$  avec  $T = \frac{\tau_m}{K_p K_o}$

On cherche à avoir  $Tr_{BF} = \frac{Tr_{BO}}{10}$ , il faut que  $k_p = \frac{30\tau_m}{Tr_{BO}.K_o} \Rightarrow k_p = 7.989$

Correcteur PI

$K_p = 7.989$

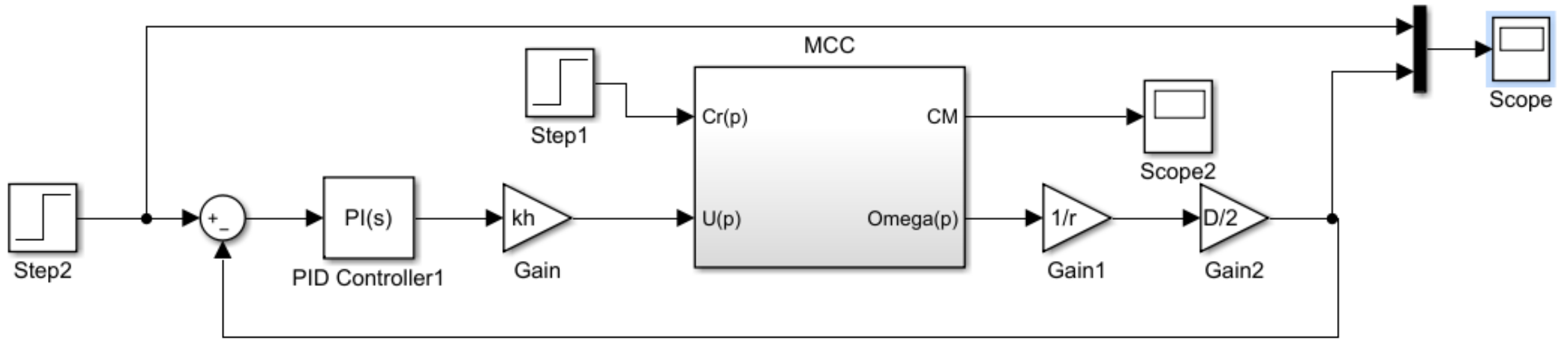
$T_i = 138.36 \text{ ms}$



# Asservissement du vitesse du robot

## Correction de la vitesse de la machine à CC

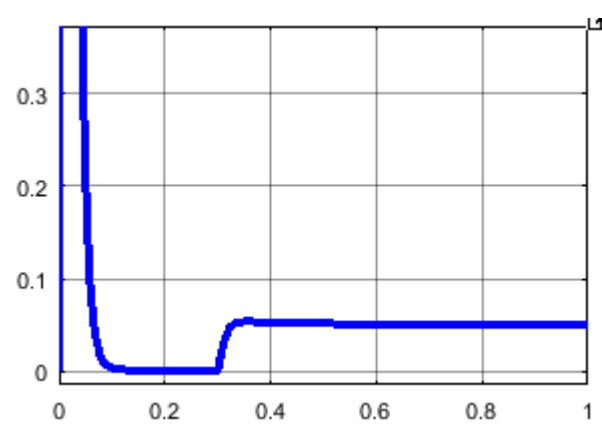
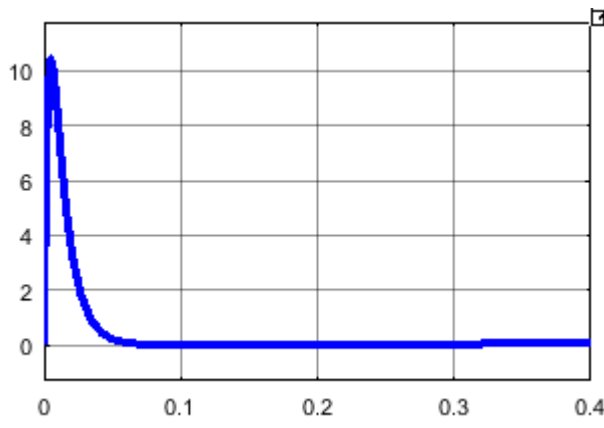
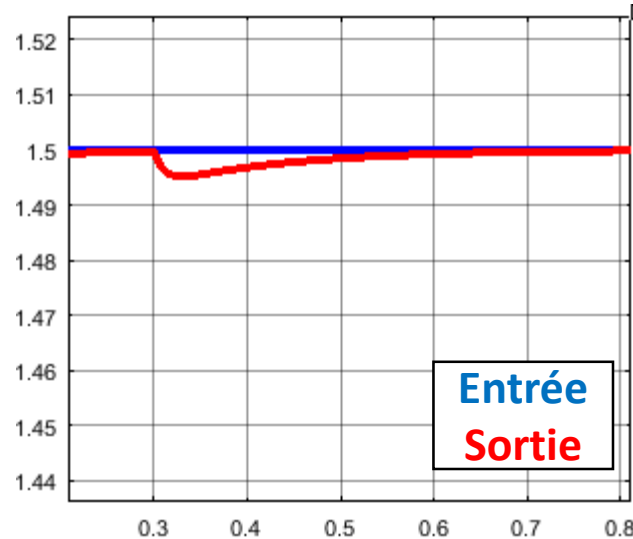
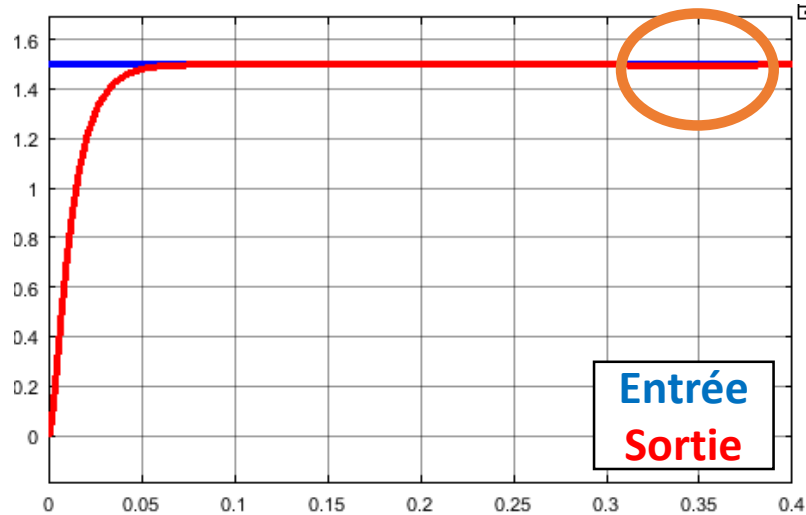
- Résultats (Consigne d'entrée:  $V_c=1.5$  m/s et  $C_r=50$  mN.m)



# Asservissement du vitesse du robot

## Correction de la vitesse de la machine à CC

■ Résultats (Consigne d'entrée:  $V_c=1.5$  m/s et  $C_r=50$  mN.m)



### La vitesse linéaire

Temps de répons à 5%	36 ms
----------------------	-------

### Performances d'asservissement

stabilité	Précision	Rapidité
Stable	$E_s=0$	Rapide

### Le couple développé par la machine

A vide	$C_m= 0$ Nm
--------	-------------

En charge	$C_m= 50$ mNm
-----------	---------------

# Asservissement du vitesse du robot

## Calcul du correcteur Numérique

### Transposition de correcteur analogique

$$C(p) = \frac{u(p)}{e(p)} = Kp \frac{1 + Ti P}{Ti P} \xrightarrow{\text{Transposition}} \text{Equation de récurrence } u(n)$$

$$Ti \frac{d u(t)}{dt} = Kp e(t) + Kp.Ti \frac{d e(t)}{dt}$$

○ Transformation d'Eluer :  $y(t) = \frac{dx(t)}{dt} \rightarrow y(n) = \frac{x(n) - x(n-1)}{Te}$

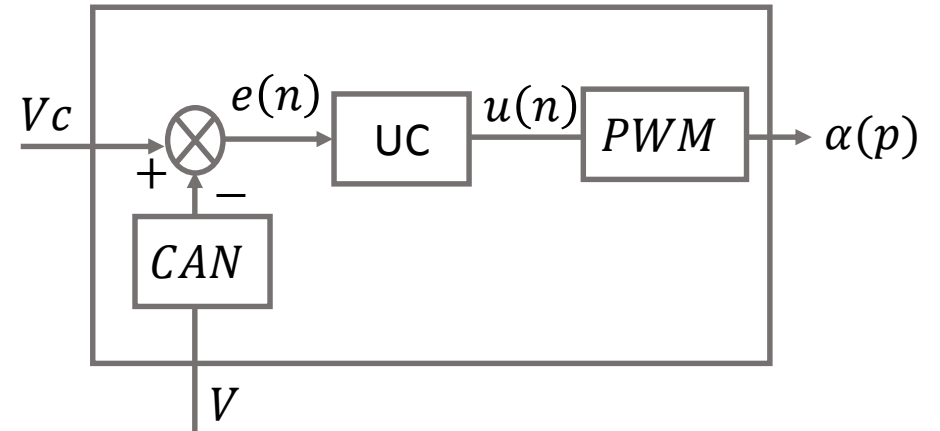
○ L'équation de récurrence à programmer est la suivante :

$$u(n) = b_1 u(n - 1) + a_0 e(n) + a_1 e(n - 1)$$

○ Le temps d'échantillonnage :  $Te = 10.25 \text{ ms}$

$b_1 = 1$	$a_0 = Kp \frac{Ti + Te}{Ti}$	$a_1 = -Kp$
$b_1 = 1$	$a_0 = 8.5808$	$a_1 = - 7.989$

### Régulateur numérique



### Algorithme

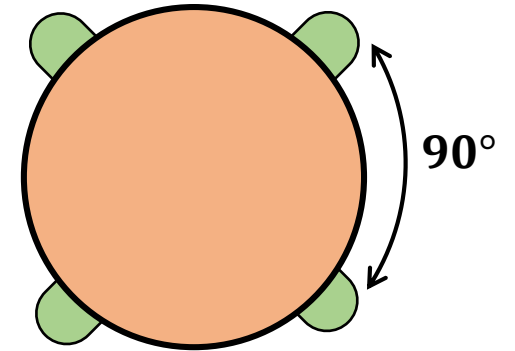
- 1 Déclaration des variables  $\{a_0, a_1, b_1\} \{u, u_1, e, e_1\}$
- 2 Lire la sortie :  $V \leftarrow \text{CAN}$
- 3 Calcul de l'erreur :  $e = Vc - V$
- 4 Calcul de la commande :  $u(n) = \dots$  Par UC
- 5 Convertie  $u(n)$  à un signal PWM (Hacheur)
- 6 Sauvegarde :  $u_1 = u$  et  $e_1 = e$

On répète a partir de l'étape 2

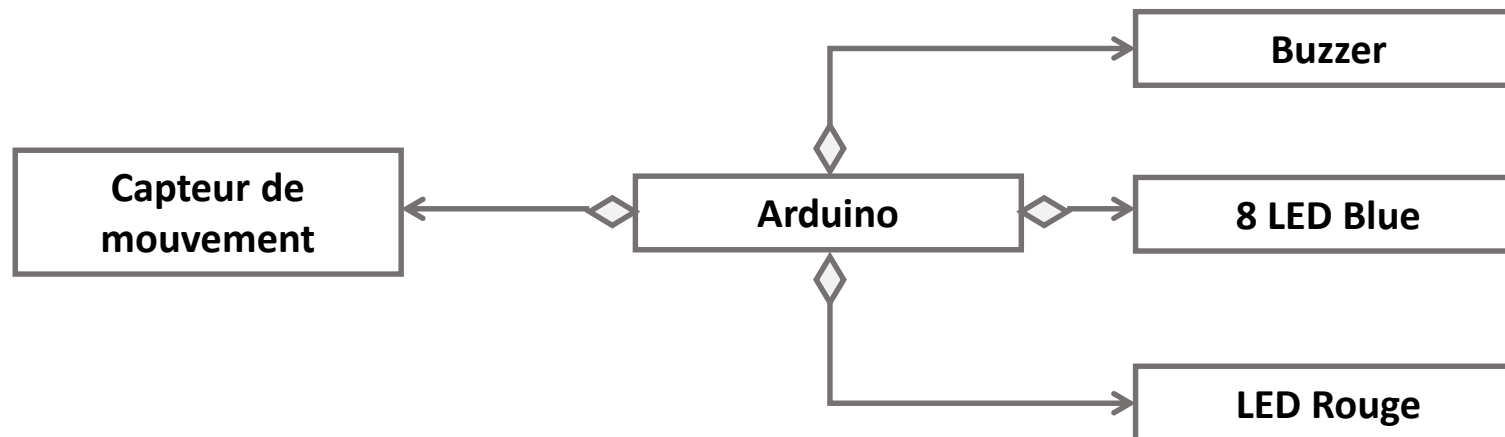
# Sécurité de personnels contre UVC

## Exigence sur la sécurité

Le contact direct avec la lumière UVC peut cependant être dangereux. Donc, lors de désinfection, toutes les fenêtres et les portes doivent être fermées, et pour cela notre robot équipé de 4 capteurs de mouvement pour couvrir un angle de 360°.



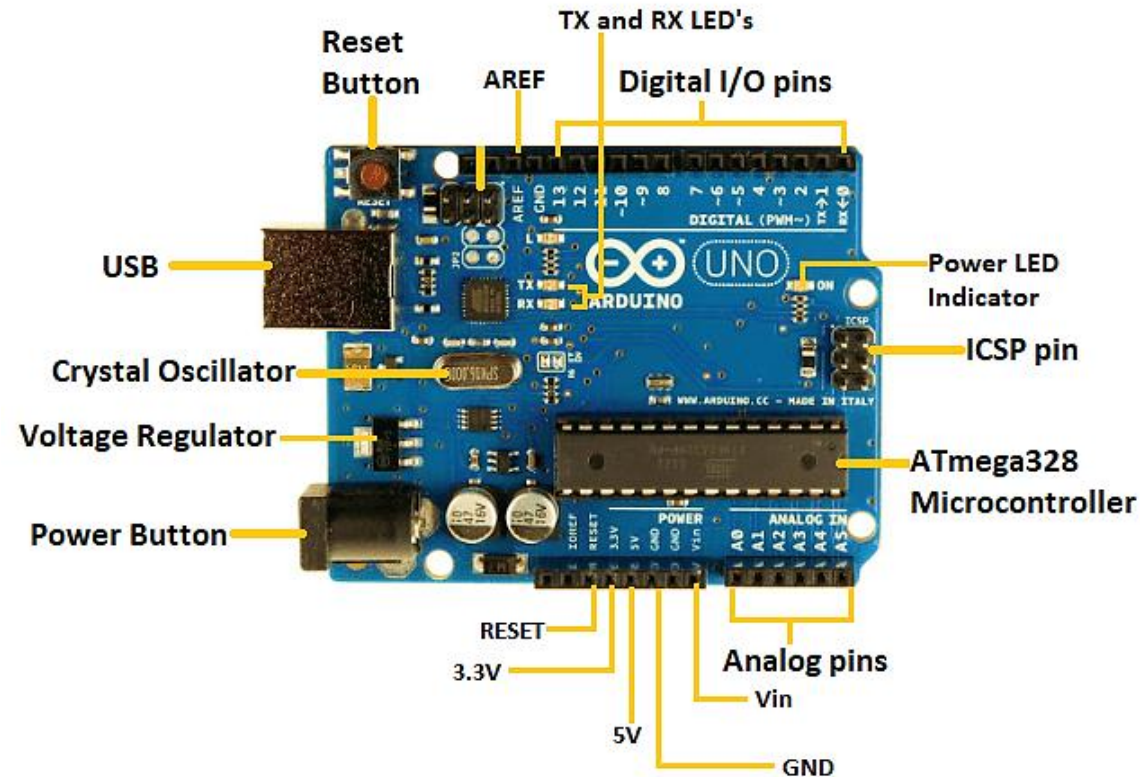
## Expérience à réaliser



# Sécurité de personnels contre UVC

## »»» Arduino UNO

Un **Arduino (Uno)** est une petite carte avec une électronique programmable permet de contrôler divers composants électriques : lumières, interrupteurs, moteurs et divers capteurs. Il constitue de



## Capteur de mouvement utilisé

### ■ Mini capteur HC-SR505

Tous les objets ayant une température supérieure au zéro absolu dégagent de l'énergie calorifique. Cette énergie se présente sous la forme d'un rayonnement infrarouge.

Le capteur HC-SR505 détecte les mouvements de l'objet en mesurant les changements dans le niveau des radiations lumineuses infrarouges émises par les objets.

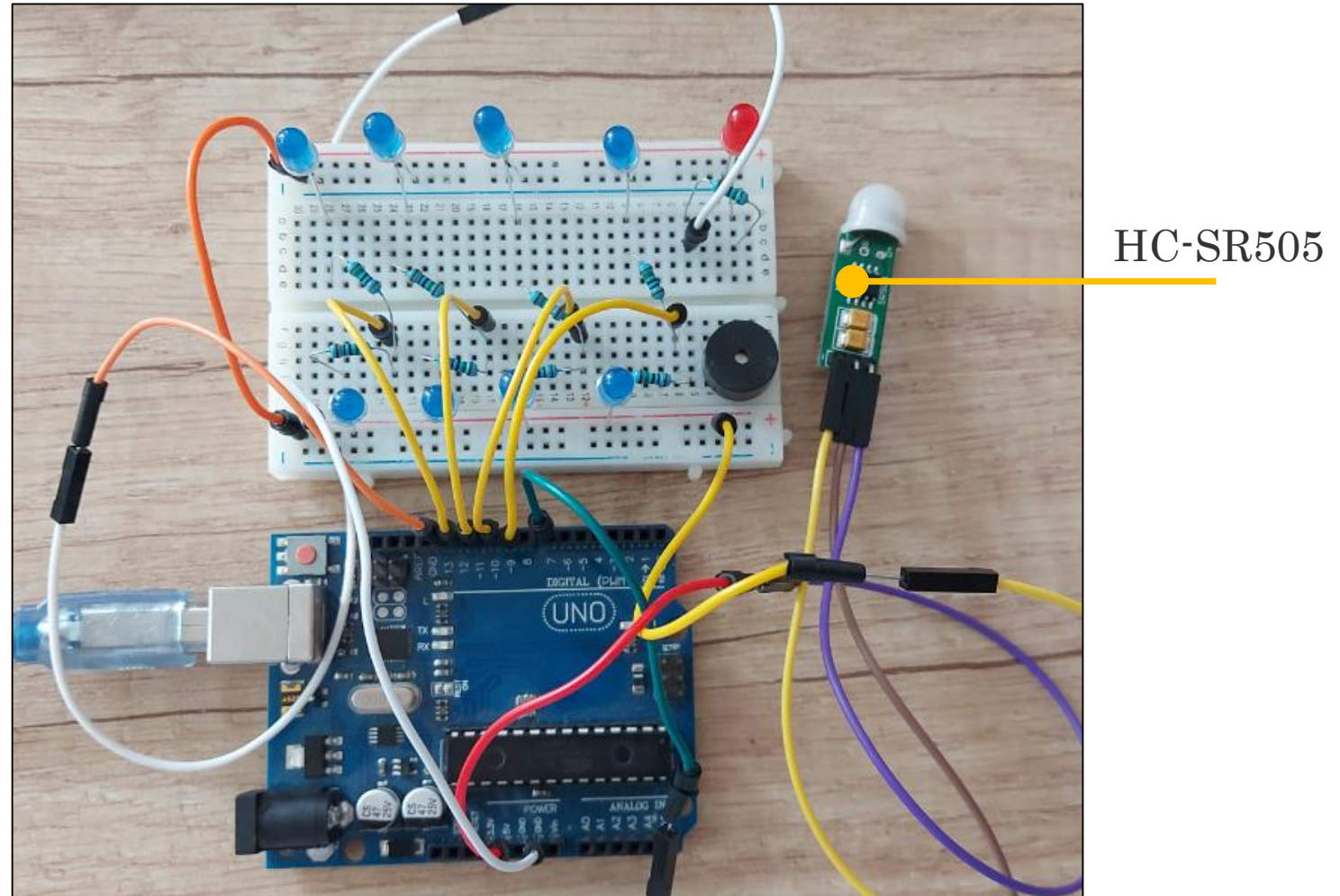
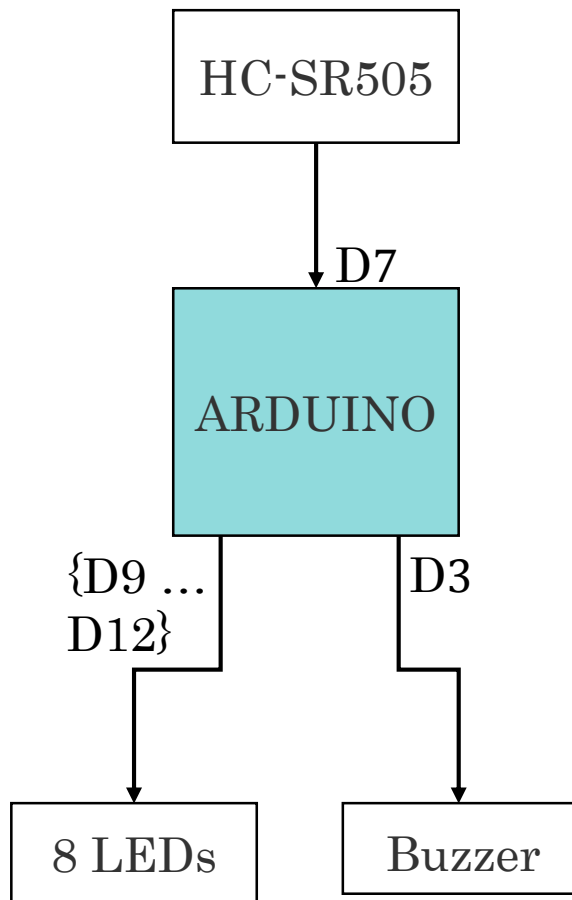


### ■ Caractéristiques

- Tension de fonctionnement: DC4.5-20V
- Niveau de sortie: haut 3.3V / bas 0V
- Angle de détection: <100 degrés d'angle de cône
- distance de détection: 4 mètres

# Sécurité de personnels contre UVC

## Schéma de principe



## Organigramme de sécurité

### 1 Déclaration des E/S

- Broche D7 en entrée numérique
- {D9 à D12} en sortie

### 2 Etat de détection de mouvement

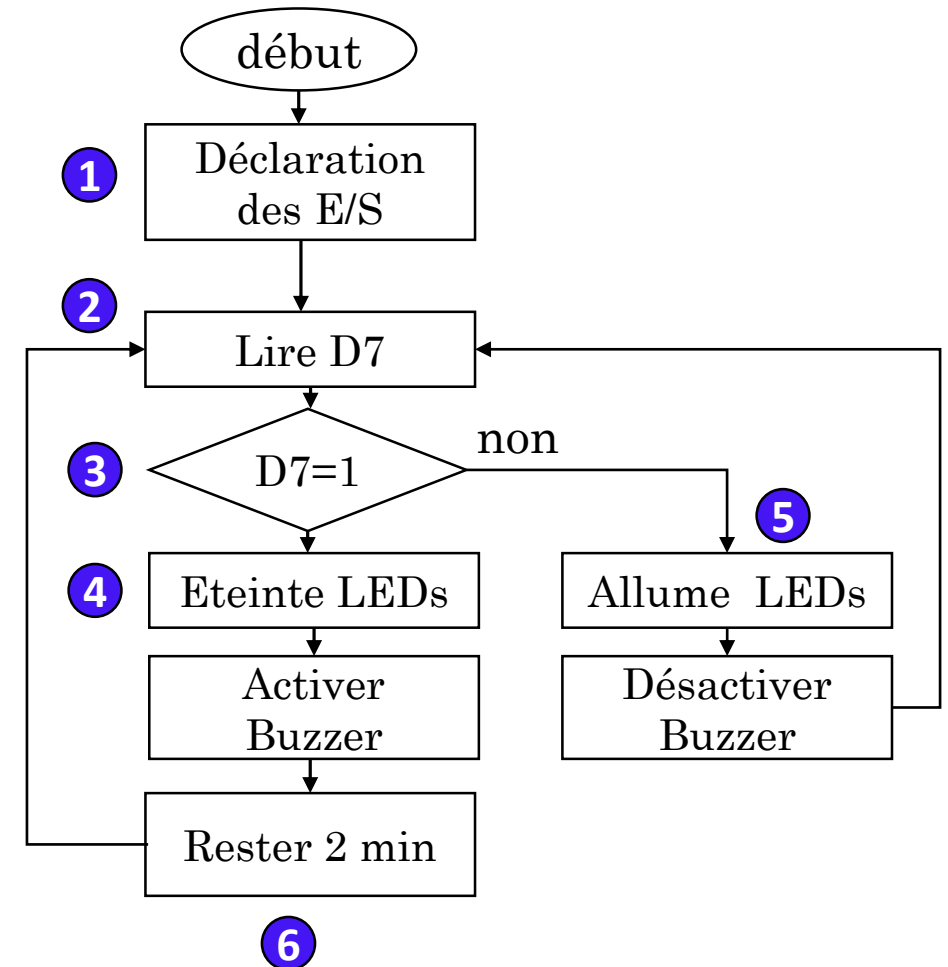
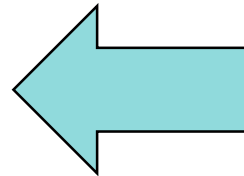
D7 =1 si il y a un mouvement si non 0

### 3 4 5 Tester l'état de mouvement

D7 =1, le robot s'arrête de fonctionner  
D7=0 , revient au fonctionnement

### 6 Le temps de repos

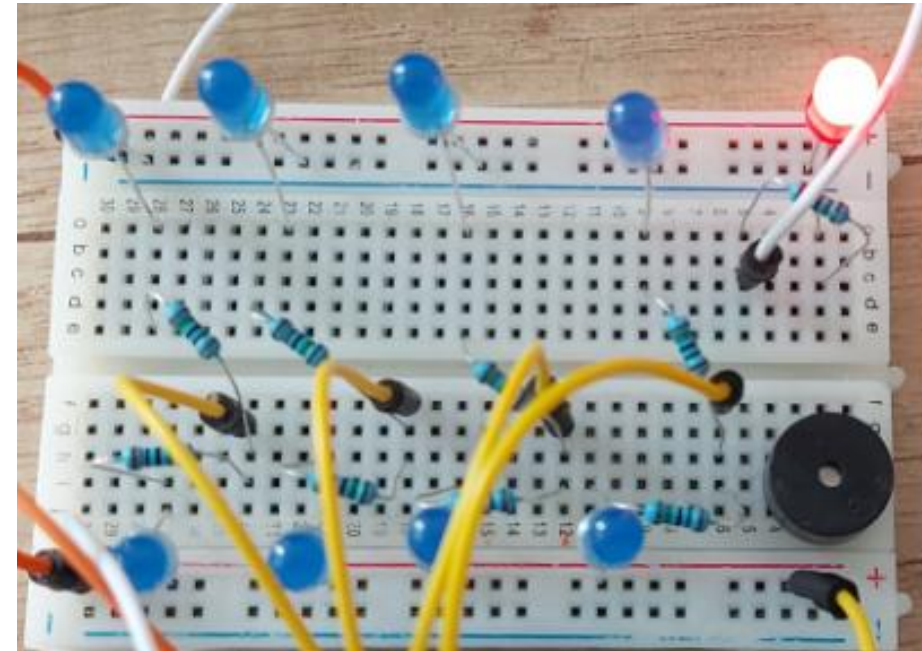
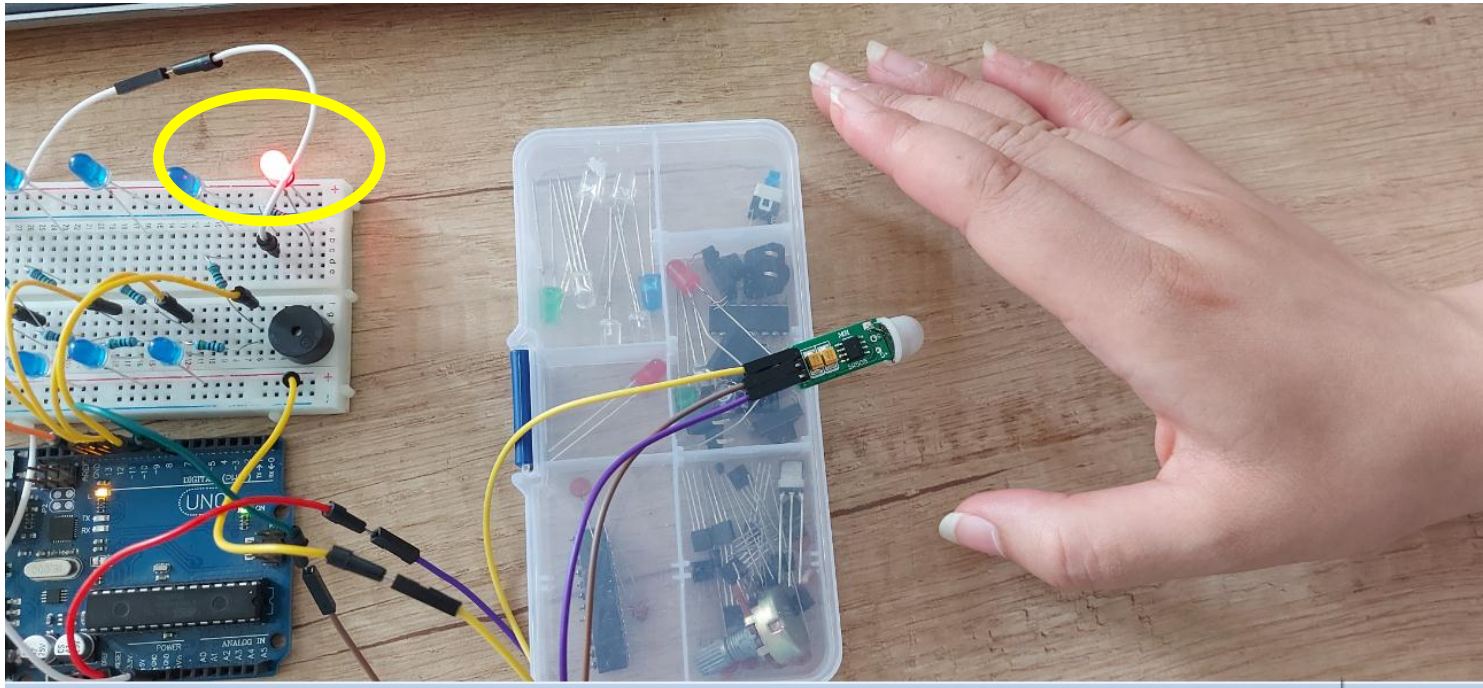
Après une détection de mouvement le robot s'arrête pendant 2 min après il revient au fonctionnement





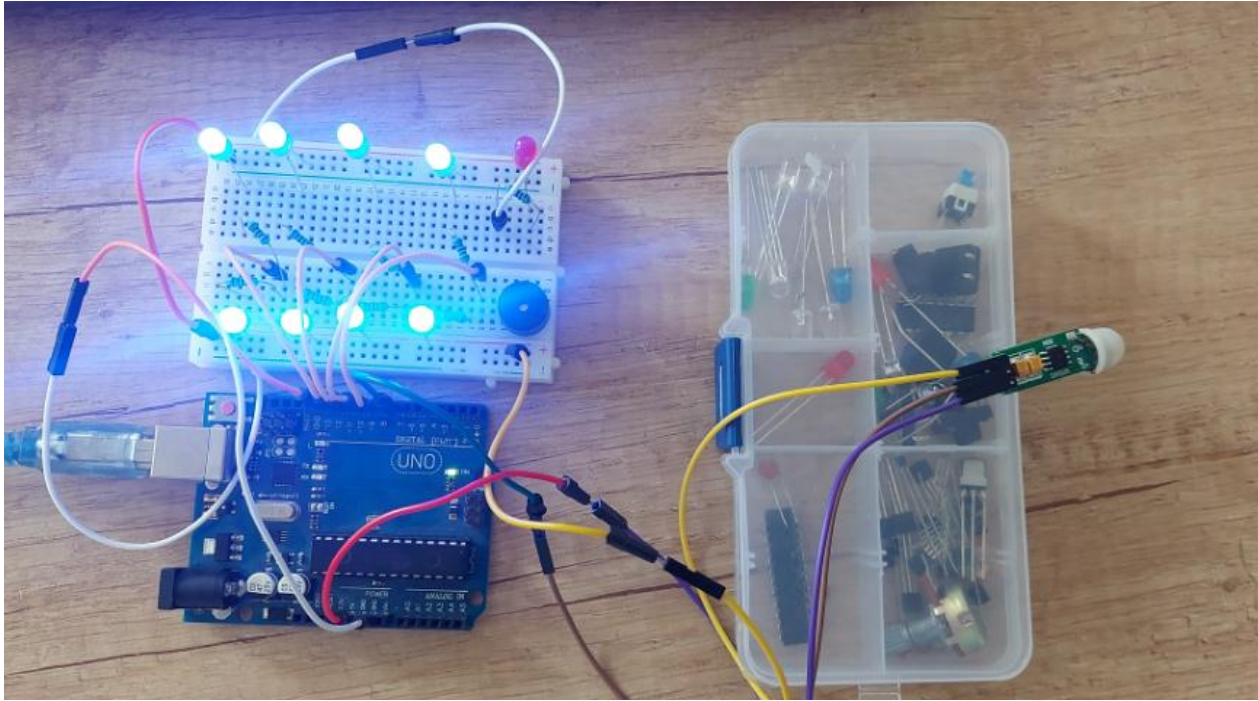
# Sécurité de personnels contre UVC

## ➤➤ Résultats



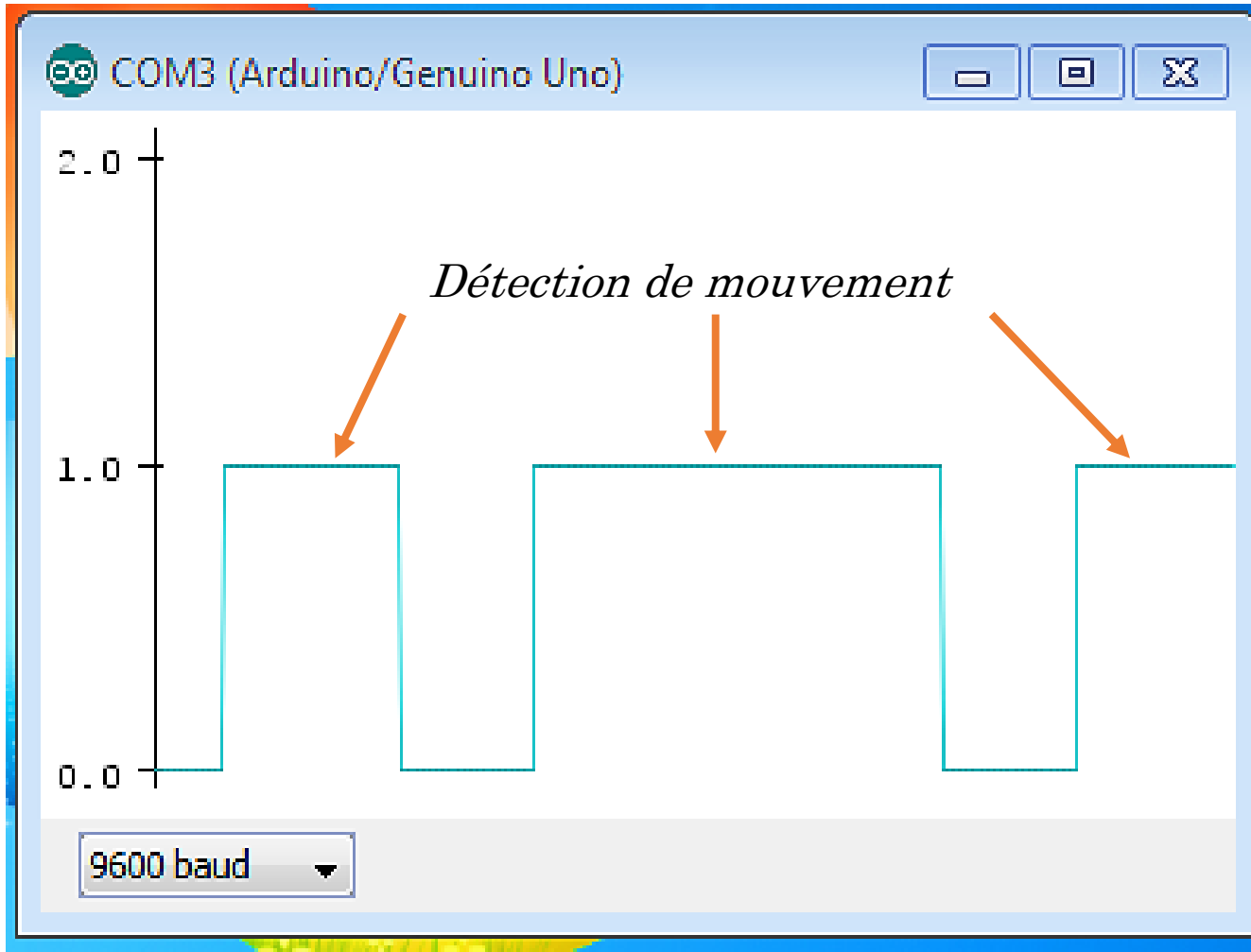
# Sécurité de personnels contre UVC

## ➤➤ Résultats



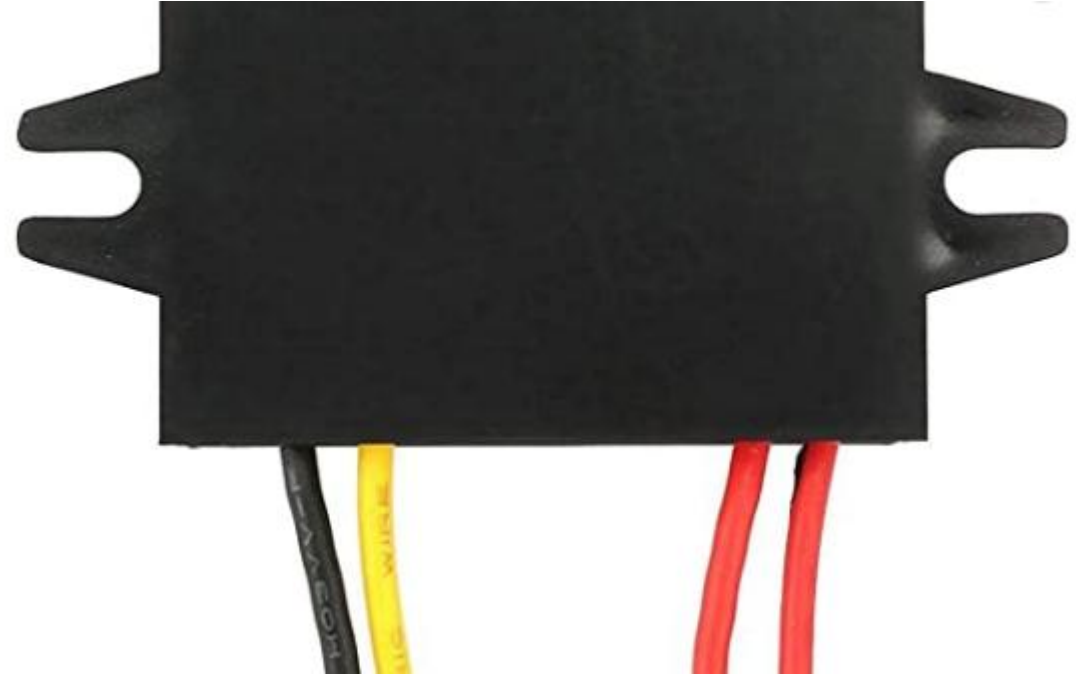
# Sécurité de personnels contre UVC

## » Résultats



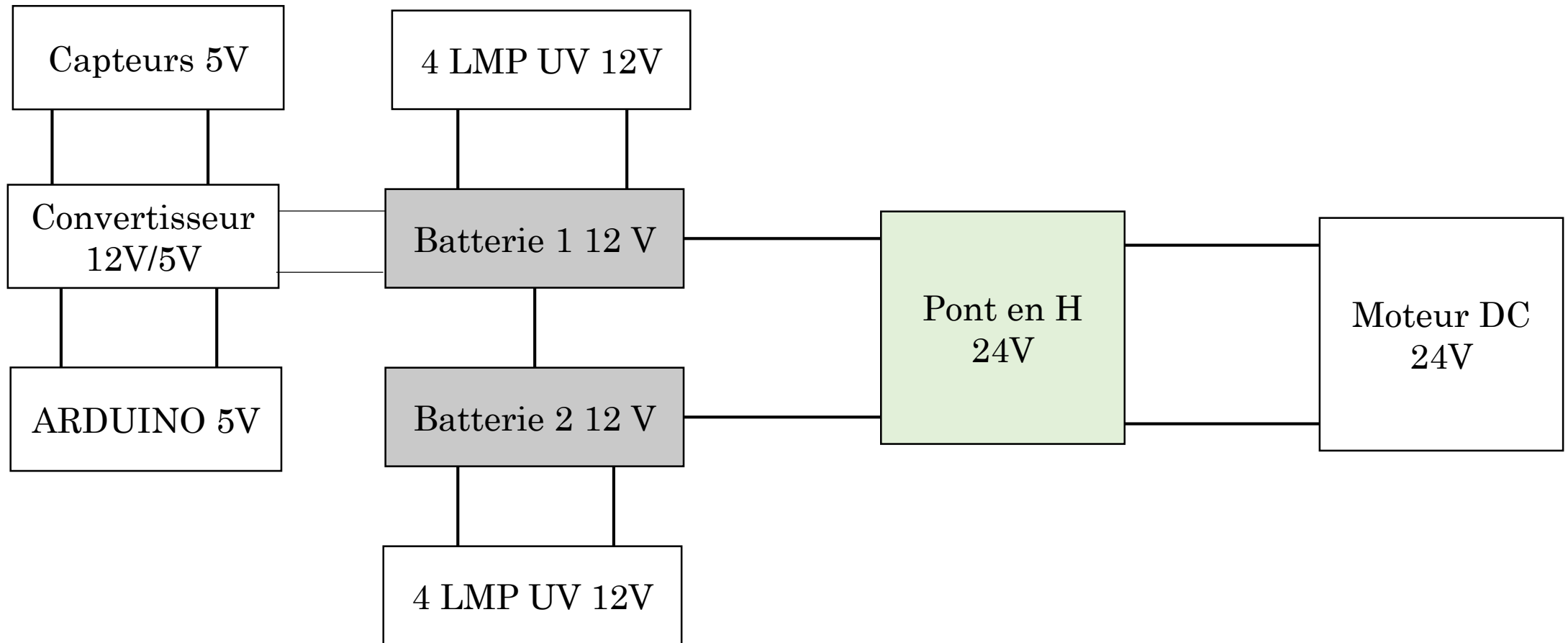
# Choix de carte d'alimentation des cartes électroniques

## ➤➤ Convertisseur A240501



- Tension d'entrée : 12 V 24 V CA (10 V-28 V)
- Tension de sortie : DC 5V  $\pm$  0,25 V

# Schéma d'installation finale



# Conclusion

- L'efficacité de la lumière UVC pour désinfecter les virus
- choix des équipements du robot : Lampe UVC, Batterie, moteur et Hacheur
- Modélisation de la machine à courant continu.
- Modélisation de la chaîne cinématique
- simulation, correction et transposition de correcteur analogique
- Circuit de sécurité à base de l'Arduino et capteur de mouvement
- Choix de convertisseur continu des équipements électronique



**MERCI POUR VOTRE  
ATTENTION**