

Régulation thermique à l'aide de vitrages électrochromes



Antoine REY n°30759
Achille SCIACCO n°36621

Introduction

- Electrochromisme
- Exemple de matériaux electrochrome: WO_3 , Bleu de prusse, Polythiophène ...
- Exemple d'utilisation : vitrage, rétroviseur



<https://batiadvisor.fr/wp-content/uploads/2020/08/verre-%C3%A9lectrochrome.jpg>



<https://arabic.alibaba.com/q/car-mirrors-for-honda-city.html>

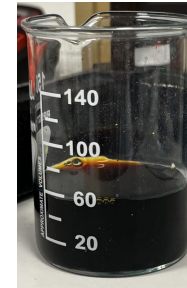
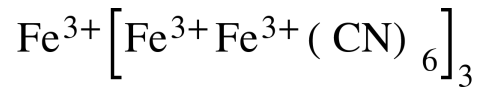
Dans quelle mesure les vitrages électrochromes peuvent-ils réguler la température d'un bâtiment ?

Plan de l'étude

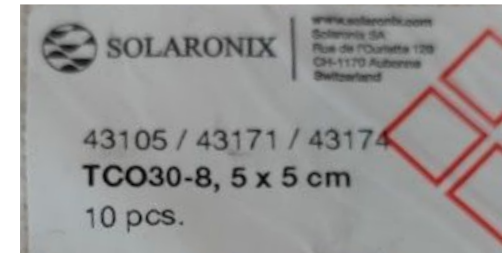
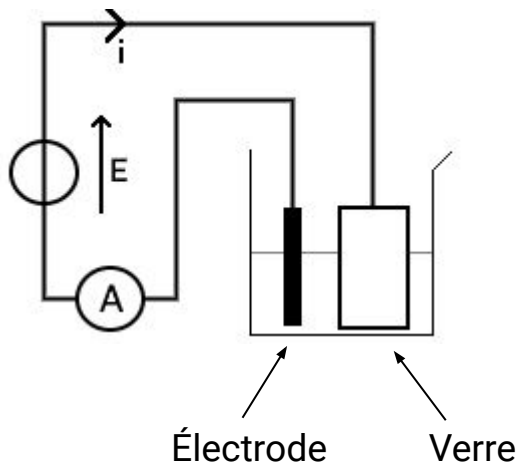
- I) Conception et réalisation de la vitre
- II) Etude de l'absorbance de la vitre
- III) Automatisation du changement de couleur avec une carte Arduino
- IV) Calcul de l'efficacité de la vitre
- V) Conclusion

I) Conception et réalisation de la vitre

- On réalise une solution de marron de prusse



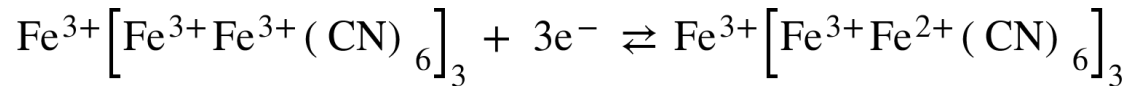
- On réalise le montage électrique suivant:



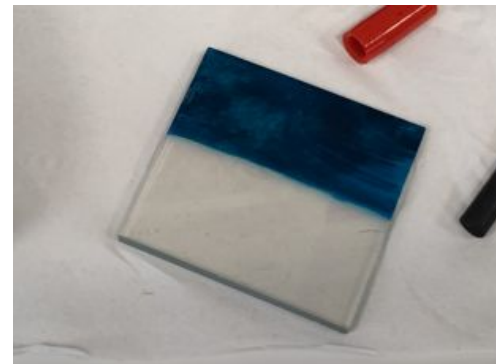
I) Application de la couche de Bleu de prusse

- On applique une intensité de 500 μ A (40 μ A/cm² et 2.5cm * 5cm de vitre immergée)

Le marron de prusse se réduit en bleu de prusse:



Vitre après la première couche

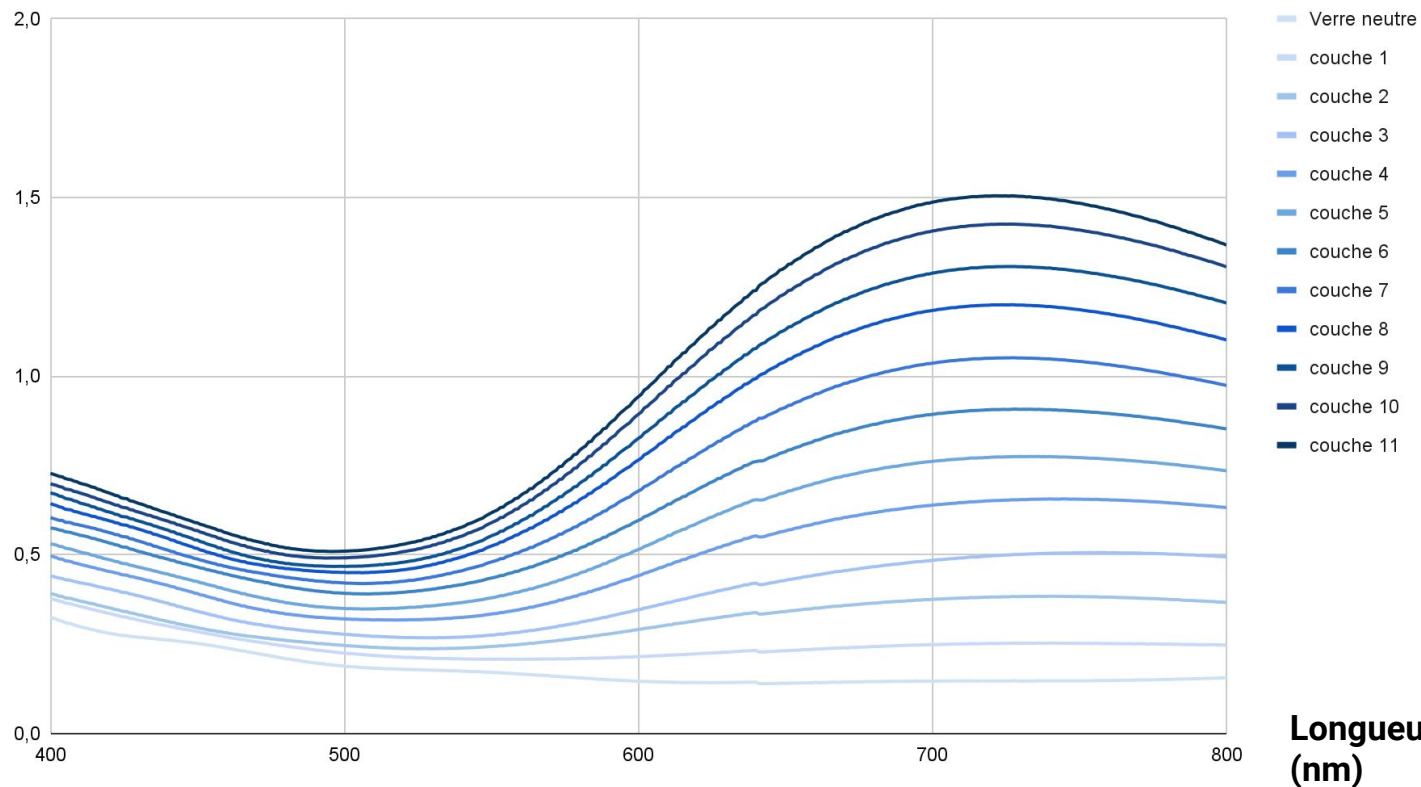


Vitre obtenue après la fin d'application
de plusieurs couches

I) Mesure de l'absorbance au spectrophotomètre

Absorbance de la vitre au cours de l'application des couches de bleu de prusse

Absorbance

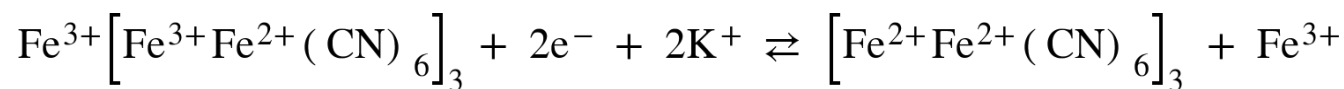


**Longueur d'onde
(nm)**

I) Coloration et Décoloration

Solution de KCl à 1 mol/L acidifié et tension (montage avec pile)

Décoloration: le bleu de prusse se réduit en blanc de prusse



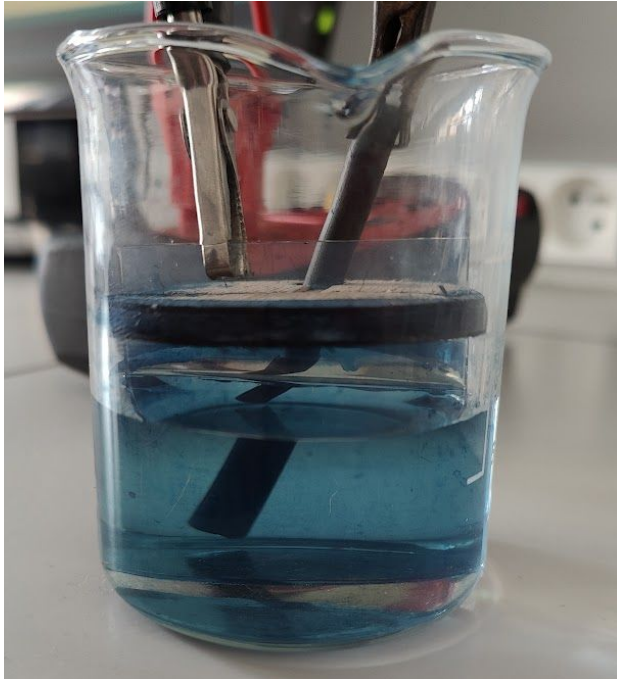
↳ Bleu de prusse

blanc de prusse ↵



Verre à - et graphite à + pour la décoloration

I) Résultats:



teintée

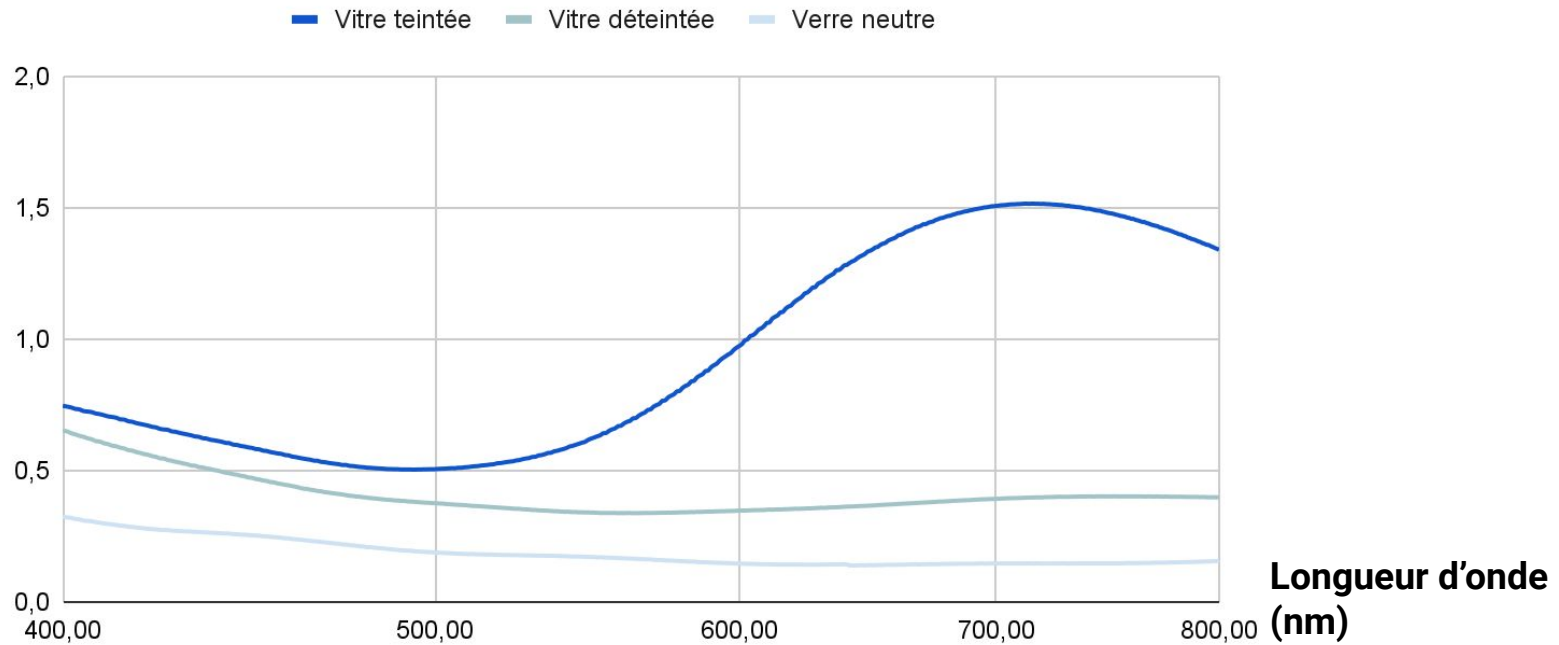


déteintée

II) Etude de l'absorbance de la vitre

Mesure au spectrophotomètre

Absorbance



II) Détermination de l'intensité lumineuse moyenne

Calcul de l'intensité pour chaque longueur d'onde

$$\forall \lambda \in [400; 800] \text{ nm}$$

$$A(\lambda) = -\log\left(\frac{I(\lambda)}{I_0}\right) \Leftrightarrow \boxed{I(\lambda) = I_0 \times 10^{-A(\lambda)}}$$

Calcul de l'intensité moyenne

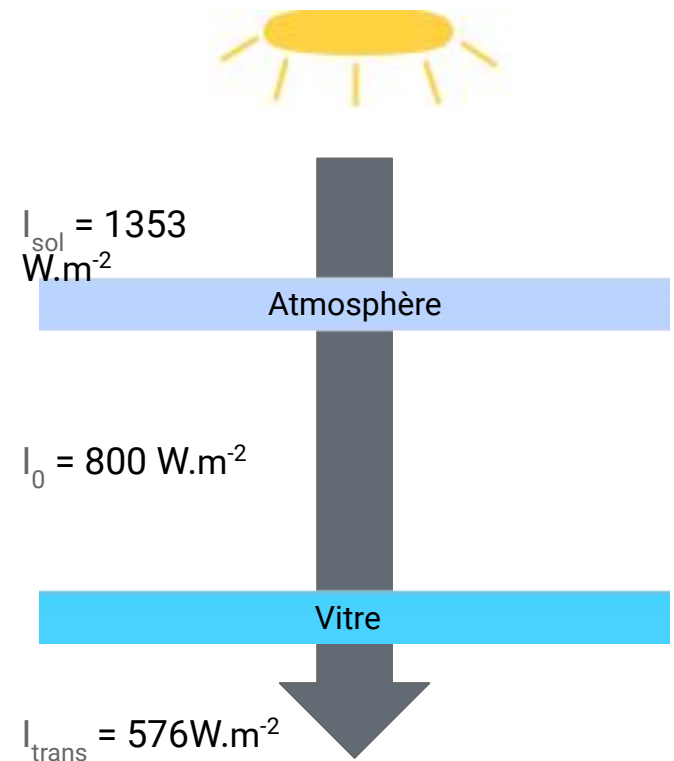
$$I_{trans} = I_{moy} = \frac{\sum_{\lambda=400}^{800} I(\lambda)}{800 - 400 + 1}$$

Résultats

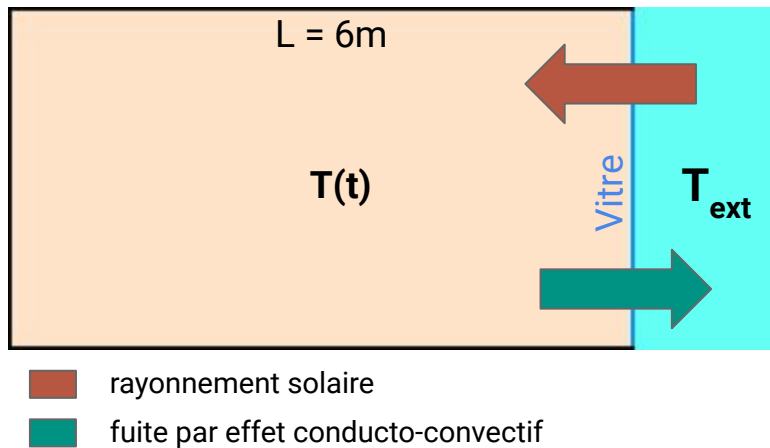
$$I_{moy}(\text{vitre}) = 534 \text{ W.m}^{-2}$$

$$I_{moy}(\text{vitre teintée}) = 114 \text{ W.m}^{-2}$$

$$I_{moy}(\text{vitre déteintée}) = 323 \text{ W.m}^{-2}$$



II) Evolution de la température d'une pièce



Caractéristiques

$$L = 6 \text{ m}$$

$$S = 2 \cdot 3 = 6 \text{ m}^2$$

$$e = 2 \text{ cm}$$

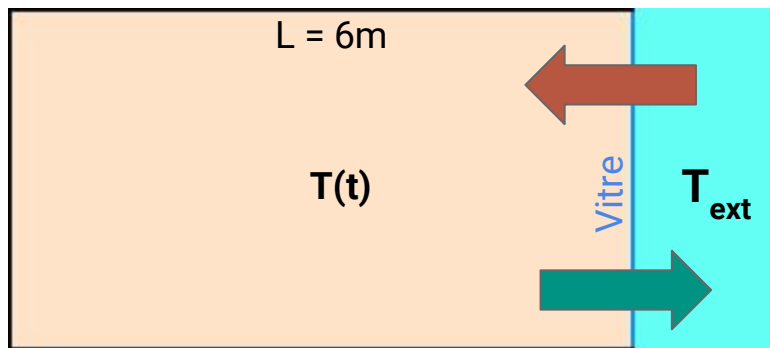
$$C = 3,6 \cdot 10^4 \text{ J.K}^{-1} \text{ pour une pièce de } 36 \text{ m}^3$$

$$T(0) = T_{\text{ext}} = 298 \text{ K} = 25^\circ\text{C}$$

$$h = 75 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1} \text{ entre l'air extérieur et une vitre}$$

$$\lambda_{\text{verre}} = 1 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

II) Evolution de la température d'une pièce



- rayonnement solaire
- fuite par effet conducto-convectif

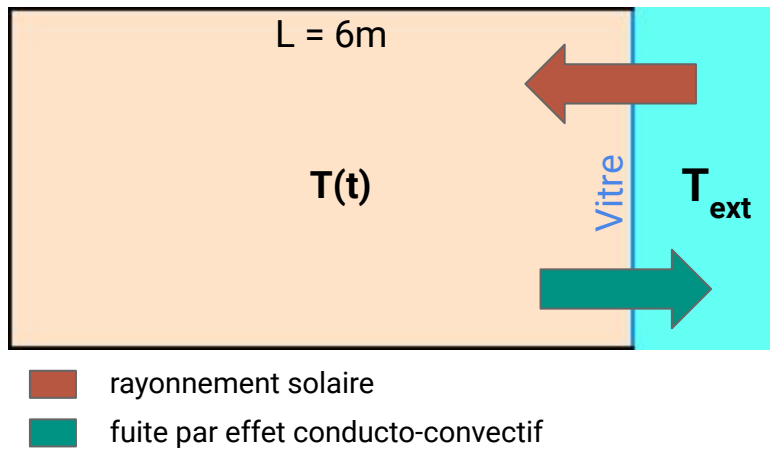
Premier principe appliqué au système
{air de la pièce}

$$\begin{cases} dU = Q = +I_{moy} \times S \times dt - \frac{T(t) - T_{ext}}{\frac{1}{hS} + \frac{e}{\lambda S}} dt \\ dU = CdT \end{cases}$$

$$\Rightarrow \frac{dT}{dt} + \frac{T(t)}{\tau} = \frac{K}{\tau}$$

$$\Rightarrow T(t) = (T_0 - K) e^{-\frac{t}{\tau}} + K \quad \text{où } \tau = \frac{C}{hS} + \frac{Ce}{\lambda S}, \quad K = \tau \times \left(\frac{I_{moy}S}{C} + \frac{T_{ext}}{\tau} \right)$$

II) Résultats



Température de la pièce après une période caractéristique

$$T(0) = 25^{\circ}\text{C}$$

Vitre classique:

$$T(\tau) = 36.2^{\circ}\text{C}$$

Vitre *teintée*:

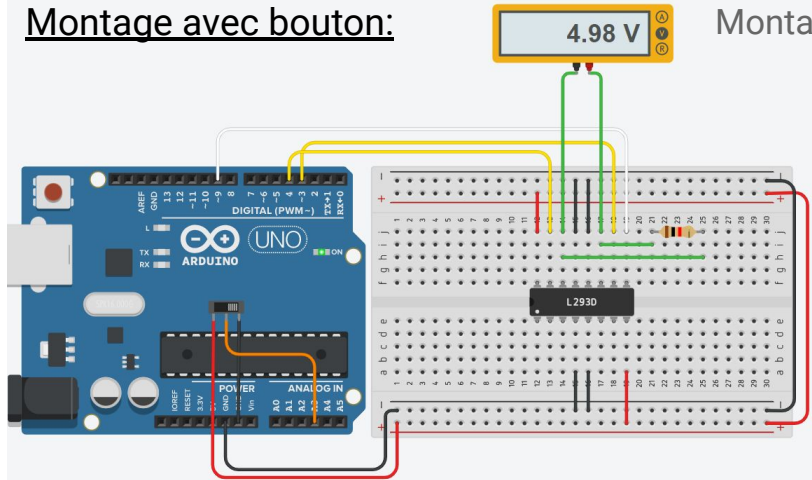
$$T(\tau) = 27.4^{\circ}\text{C}$$

Vitre *déteintée*:

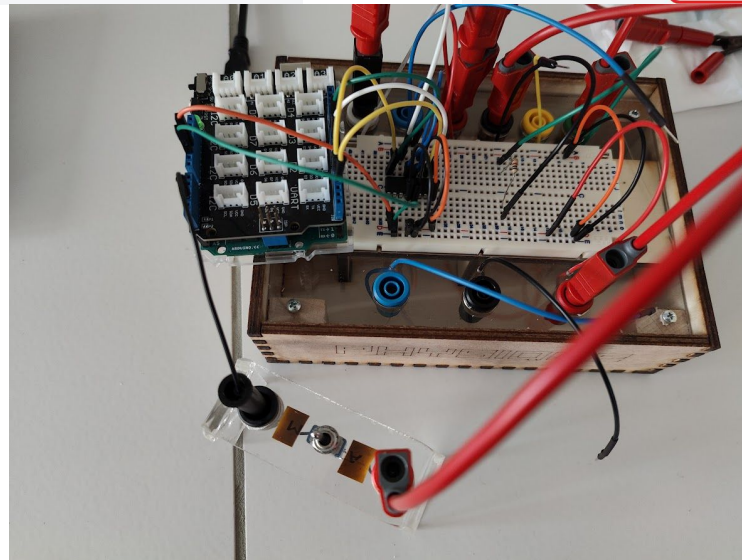
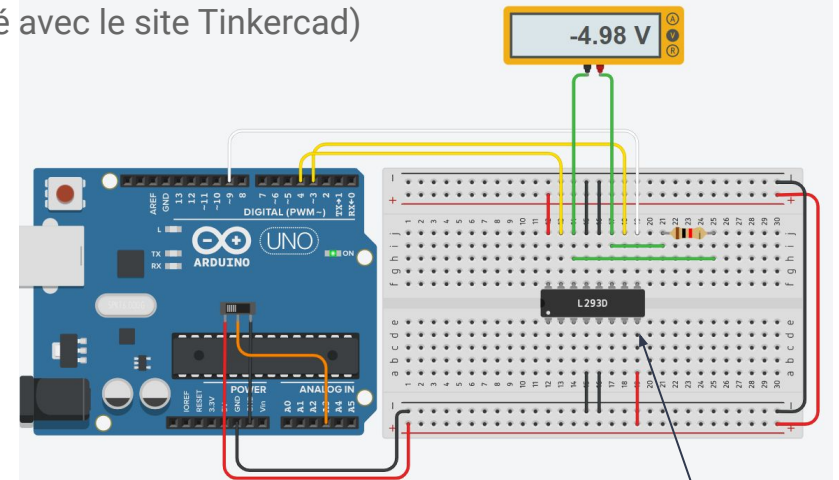
$$T(\tau) = 31.8^{\circ}\text{C}$$

III) Automatisation du changement de couleur

Montage avec bouton:

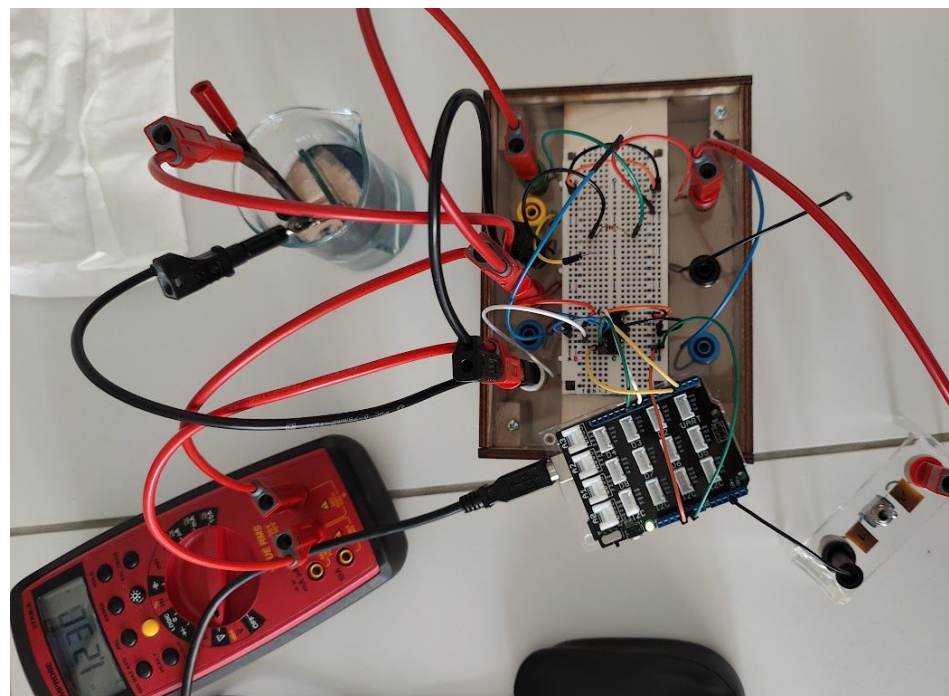
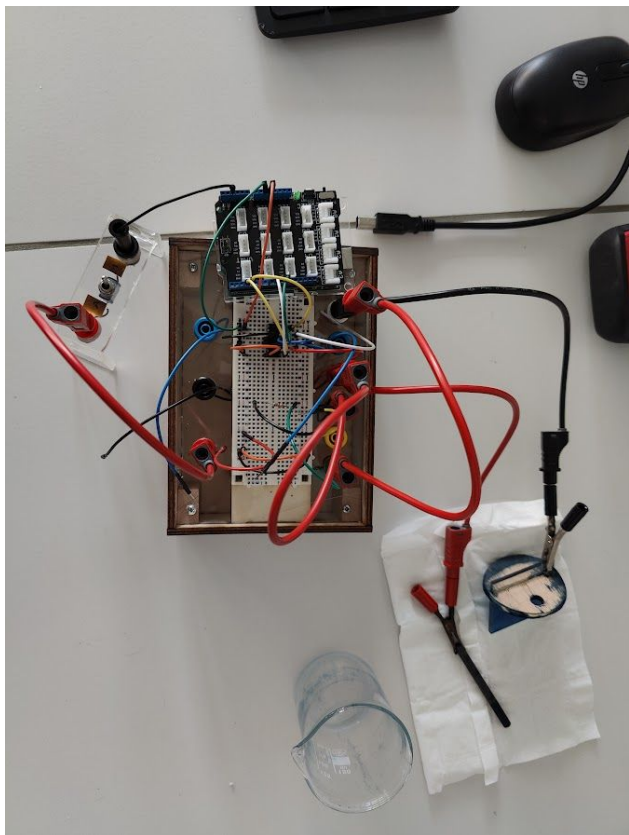


Montage (réalisé avec le site Tinkercad)



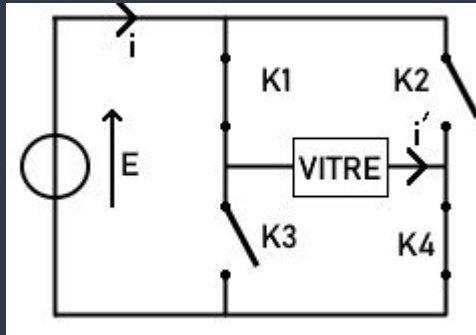
L293D

III) Montage de la vitre:

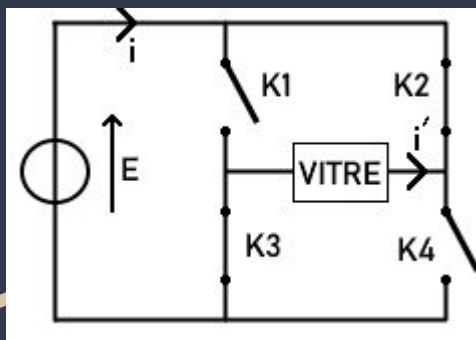


pont en H (L293D)

transistor K1, K2, K3 et K4 → interrupteurs commandés



$$i' = i$$



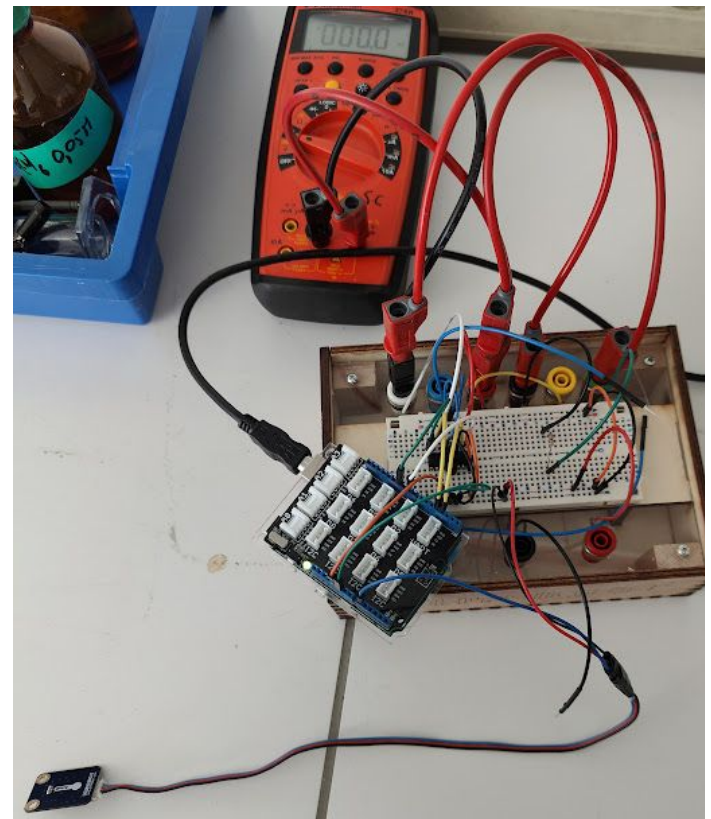
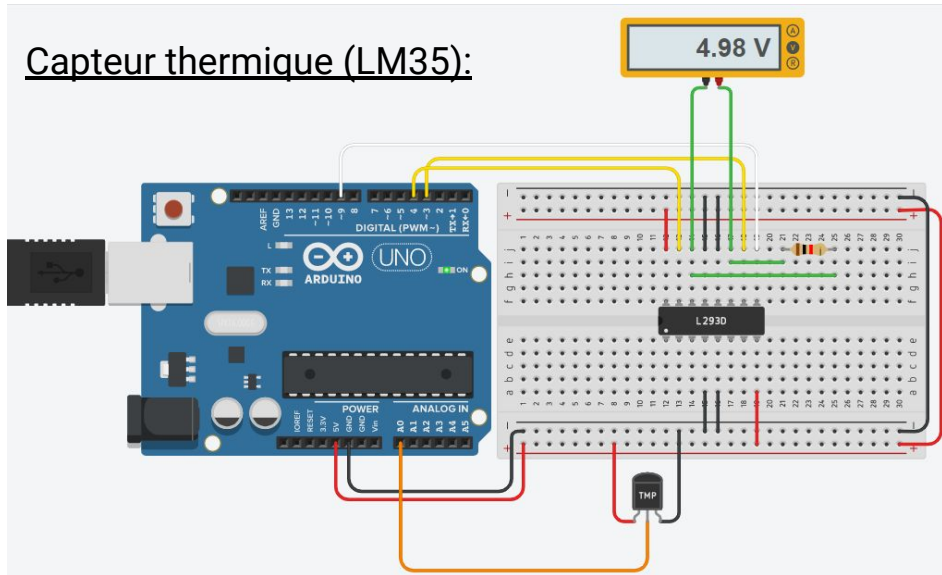
$$i' = -i$$

L239D

activer 1	1	16	Vss
entrée 1	2	15	entrée 4
sortie 1	3	14	sortie 4
sol	4	13	sol
sol	5	12	sol
sortie 2	6	11	sortie 3
entree 2	7	10	entrée 3
Vs	8	9	activer 2

III) Amélioration: capteur thermique

Capteur thermique (LM35):



IV) Calcul de l'efficacité de la vitre

Comparaison de la consommation électrique pour la pièce précédente



	Puissance moyenne	Durée d'utilisation journalière	Energie consommée
Climatiseur	$P = 1,61 \text{ kW}$	18h - 22h 4h	6.44 kWh
Notre vitre (12.5cm²)	$P = 5V * 50mA$ $= 250 \text{ mW}$	10h - 20h 10h	2.5 Wh
vitre du modèle (6m²)	$P = 2V * 50mA * 4800$ $= 480 \text{ W}$	10h - 20h 10h	4.8 kWh

V) Conclusion

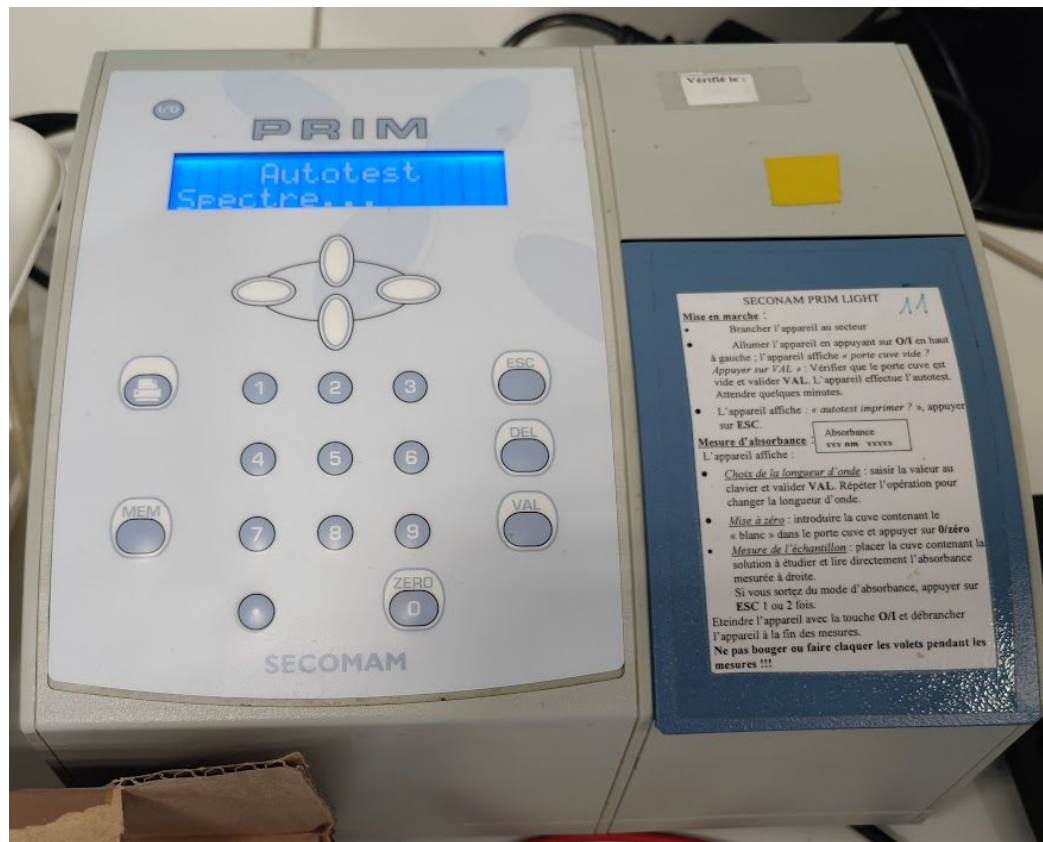
- Les vitres électrochromes peuvent donc servir à réguler la température d'un bâtiment avec efficacité
- Mais ces vitrages présentent toutefois des inconvénients :
 - la vision est dégradée
 - ne permet pas de réduire la température

Solution de marron de prusse



- 20 mL de HCl (acide chlorhydrique) à 0.05 mol.L^{-1}
- 40 mL de $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ (Ferricyanure de potassium) à 0.05 mol.L^{-1}
- 40 mL de FeCl_3 (chlorure de fer(III)) à 0.05 mol.L^{-1}

spectrophotomètre utilisé:



```

int VitrePin1 = 3;
int VitrePin2 = 4;
int vitreAnalog = 11;

int bouton = A3;
int bouton_val = 0;
int temps_colo = 0;

int enablePin = 9;

float TEMP;
bool entree;

void setup() {
  pinMode(VitrePin1, OUTPUT);
  pinMode(VitrePin2, OUTPUT);
  pinMode(enablePin, OUTPUT);

  digitalWrite(enablePin, HIGH);
  //pinMode(bouton, INPUT);
  Serial.begin(9600);
  entree = false;
}

void loop() {
  if (!entree){
    Serial.println("Entrer température de commande: "); //demande une temperature a l'utilisateur
    while (Serial.available()==0){} //attend pour l'entree de l'utilisateur
    TEMP = Serial.parseFloat();
    entree = true;
  }
  uint16_t val;
  double dat;
  val=analogRead(A0);
  dat = (double) val * (5/10.24);
  Serial.print("Tep:"); //affiche la temperature sur le moniteur

```

```

Serial.print(dat);
Serial.println("C");

//bouton_val = analogRead(bouton);
Serial.println(temps_colo);
if (dat >= TEMP) { //Si la temperature mesuree est superieure a la commande
  if (temps_colo <= 1700){
    digitalWrite(VitrePin1, LOW);
    digitalWrite(VitrePin2, HIGH); //On passe sur l'état 1 (courant de g à d)
    analogWrite(vitreAnalog,50);
    delay(1);
    temps_colo = temps_colo + 1;
  }
  else{
    analogWrite(vitreAnalog,0);
  }
}
else { //Sinon
  if (temps_colo > 0){
    temps_colo = temps_colo -2;
    delay(1);
  }
  digitalWrite(VitrePin1, HIGH);
  digitalWrite(VitrePin2, LOW); //On passe sur l'état 2 (courant de d à g)
  analogWrite(vitreAnalog,50);
}
}
}

```