



Royaume du Maroc

Ministère de l'Enseignement supérieur, de la
Recherche Scientifique et de l'Innovation



ENSEM

CNC 2025

CONSERVATION DURABLE DES ALIMENTS : CAS D'UNE EPICERIE SOLIDAIRE

REALISATEUR: Josué KEITA
FILIERE: TSI
CODE CNC: OJ005T
ANNEE SCOLAIRE: 2024-2025

THEME: "Transition, transformation, conversion"

LE PLAN

01

INTRODUCTION et
PROBELATIQUE

02

TRAITEMENT de la
PROBLEMATIQUE

03

EXPERIMENTATION de la
SOLUTION GLOBALE

04

ANALYSE des ECARTS

05

PERSPECTIVES FINALES



INTRODUCTION

L'insécurité alimentaire:

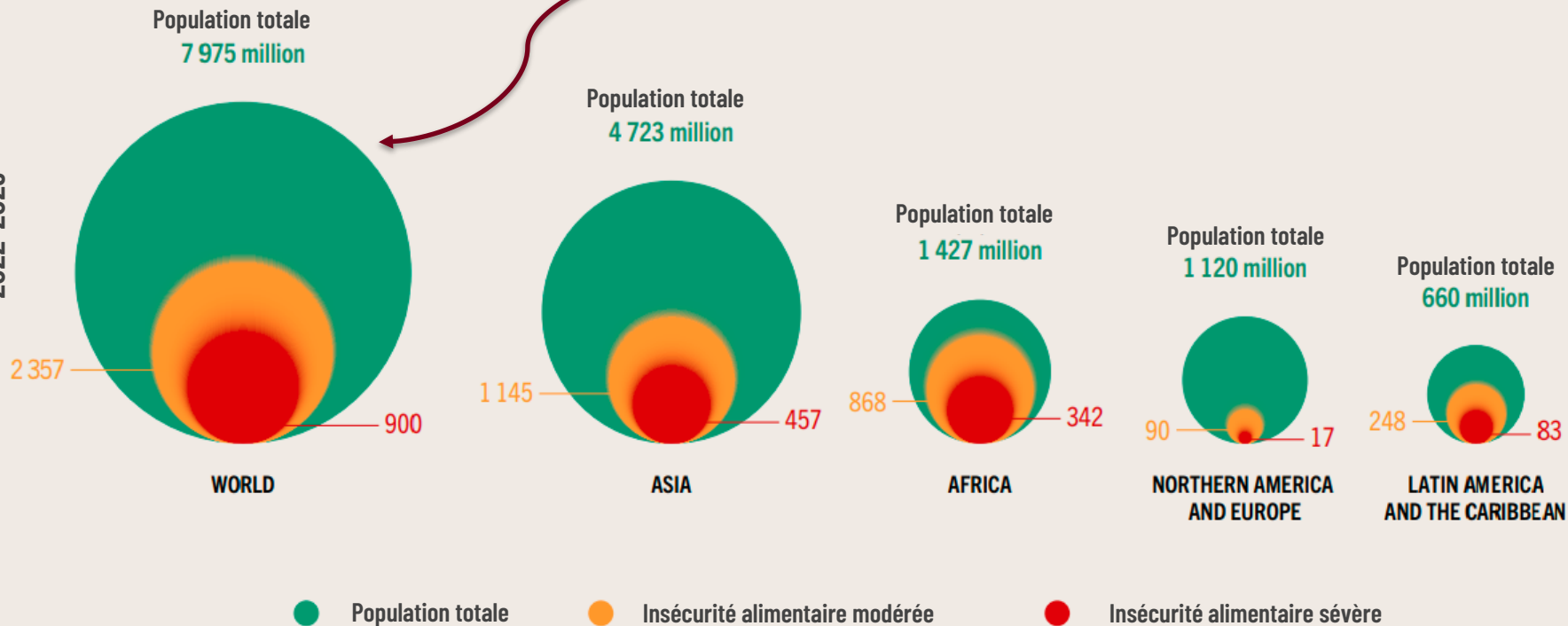
L'insécurité alimentaire est une situation où des millions de personnes n'ont pas accès à une alimentation covenable.

1. **Causes:**
Pauvreté, conflits, changements climatiques, inégalités sociales et économiques.
2. **Consequences:**
Malnutrition, détérioration de la santé physique et mentale, baisse de productivité, pauvreté perpétuée.

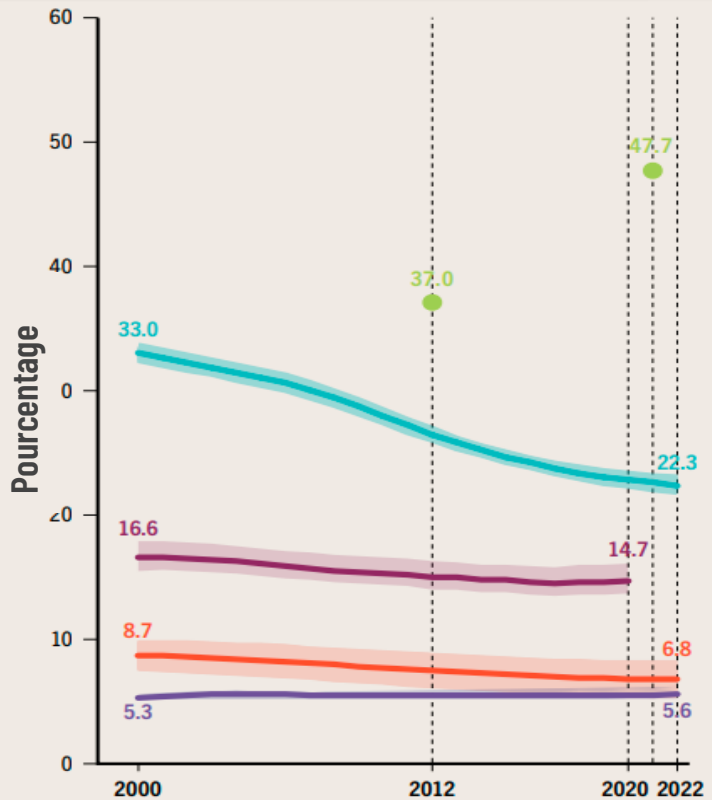
CONCENTRATION ET DISTRIBUTION DE L'INSECURITE ALIMENTAIRE DANS LE MONDE






Près de 2.4 milliards de personnes touchées par la famine

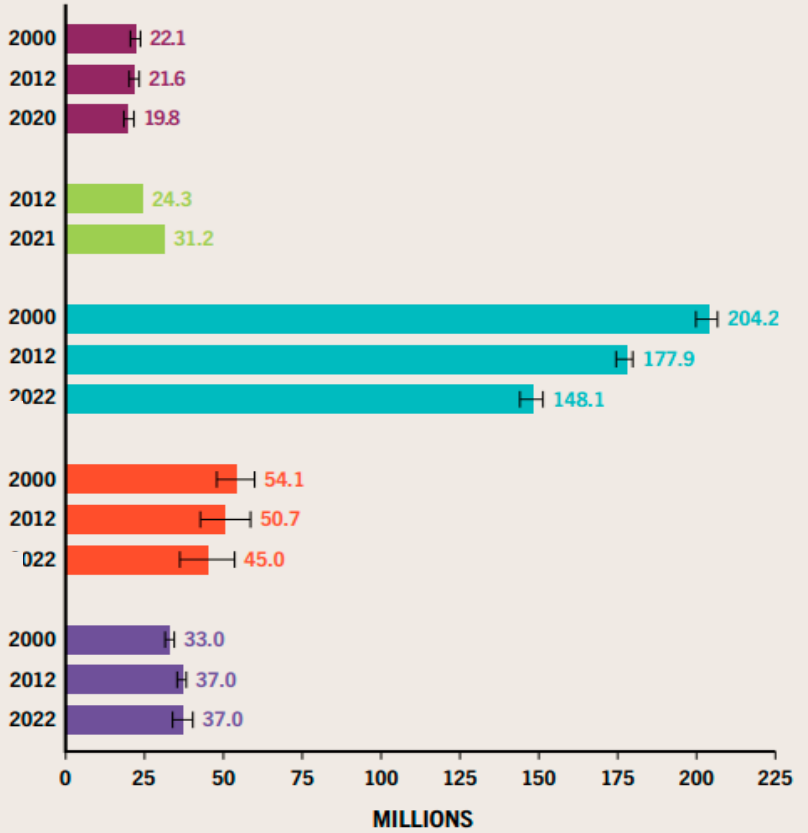
NOMBRE DE PERSONNES (MILLIONS)
2022-2023



IMPACT DE L'INSECURITE ALIMENTAIRE SUR LA SANTE DES NOUVAUX NES



-  Faible poids de naissance
-  Alaitement maternel exclusif (<6 mois)
-  Manque de croissance (<5 ans)
-  Emaciation (<5 ans)
-  Surpoids (<5 ans)



SOURCE: FAO.2023: The State of Food Security and Nutrition in the World 2023, <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/1f66b67b-1e45-45d1-b003-86162fd35dab/content>

INITIATIVE à la CRISE: L'ÉPICERIE SOLIDAIRE

C'EST QUOI UNE EPICERIE SOLIDAIRE ?

C'est un commerce où des personnes en difficultés financières peuvent accéder à des produits de qualité à très bas prix (jusqu'à 30 % ou 10% de leur prix du marché).

Ce sont des étudiants en difficulté, SDF, travailleurs précaires, familles en difficulté, retraités avec une faible pension.

Ces personnes sont appelés les bénéficiaires. Ils peuvent choisir eux-mêmes leurs produits à un tarif adapté à leur situation financière et bénéficient également d'un accompagnement social.



Les épiceries solidaires effectuent des distributions alimentaires en moyenne 2 à 3 fois par semaine. Les bénéficiaires sont servis comme dans une épicerie normale. Ils peuvent trouver tout ce qui leur faut pour subvenir à leurs besoins alimentaires



SUPER MARCHÉ ET GRANDES SURFACES

Produits fournis: Produits frais, épicerie sèche, produits non alimentaires

En grande quantité avec une diversité de produits

22%

10%

PRODUCTEURS LOCAUX

Produits fournis: Fruits et légumes frais, saisonniers, produits hors calibre.
Fraicheur des produits et soutien à l'agriculture locale

BANQUE ALIMENTAIRE

55%

13%

INDUSTRIES AGROALIMENTAIRES

Produits fournis: Denrées de base, des conserves, et des produits frais.

Centralisation des surplus pour une distribution large et équitable

Produits fournis: Produits transformés, snacks, produits déclassés.

Produits souvent emballés, adaptés à une consommation rapide

Les principaux fournisseurs des épiceries solidaires sont variés et contribuent à leur mission de réduction du gaspillage alimentaire et de soutien aux populations vulnérables. Ces principales sources d'approvisionnement, ainsi que leur taux de contribution (sur une moyenne de 1996 à 2025), sont listés ci-contre:

Voir ANNEXE 1 (page 42)

LE BESOIN ?

Les fruits, les légumes et les produits frais arrivent souvent à la limite de péremption. Les épiceries solidaires ne gagnent pas assez de revenue. Avec un budget très faible il est difficile de conserver ces aliments.

BESOIN: SYSTEME DE CONSERVATION EFFICACE



FACTEURS RESPONSABLES de la DEGRADATION des ALIMENTS

QUALITE DE L'AIR

Le dioxygene O₂ :
favorise la dégradation des
aliments par oxydation
Le diazote N₂ et le CO₂ :
maintiennent les aliments
dans un bon état



Morceau de pomme dans un flacon
rempli de dioxygène gaz O₂

HUMIDITE

Humidité trop basse <70% :
provoque le flétrissement
des aliments
Humidité trop élevée >95% :
provoque la moisissure des
aliments

TEMPERATURE

Température élevée >15°C :
accélère l'oxydation des
aliments
Température basse <10°C :
ralentit la dégradation des
aliments



Morceau de pomme dans un
flacon rempli de diazote gaz N₂



Comment réguler la température, l'humidité ainsi que la qualité de l'air de manière à garantir une conservation alimentaire durable pour les épiceries solidaires ?

Lien avec le theme: En régulant avec précision les facteurs relatifs à la dégradation des aliments le système assure leur conservation avec une approche innovatrice. Ce sujet propose une « transformation » des méthodes habituelles pour la conservation alimentaire. Il est bien en lien avec le thème « Transition, transformation, conversion ».



DIAGRAMME DE CAS D'UTILISATION

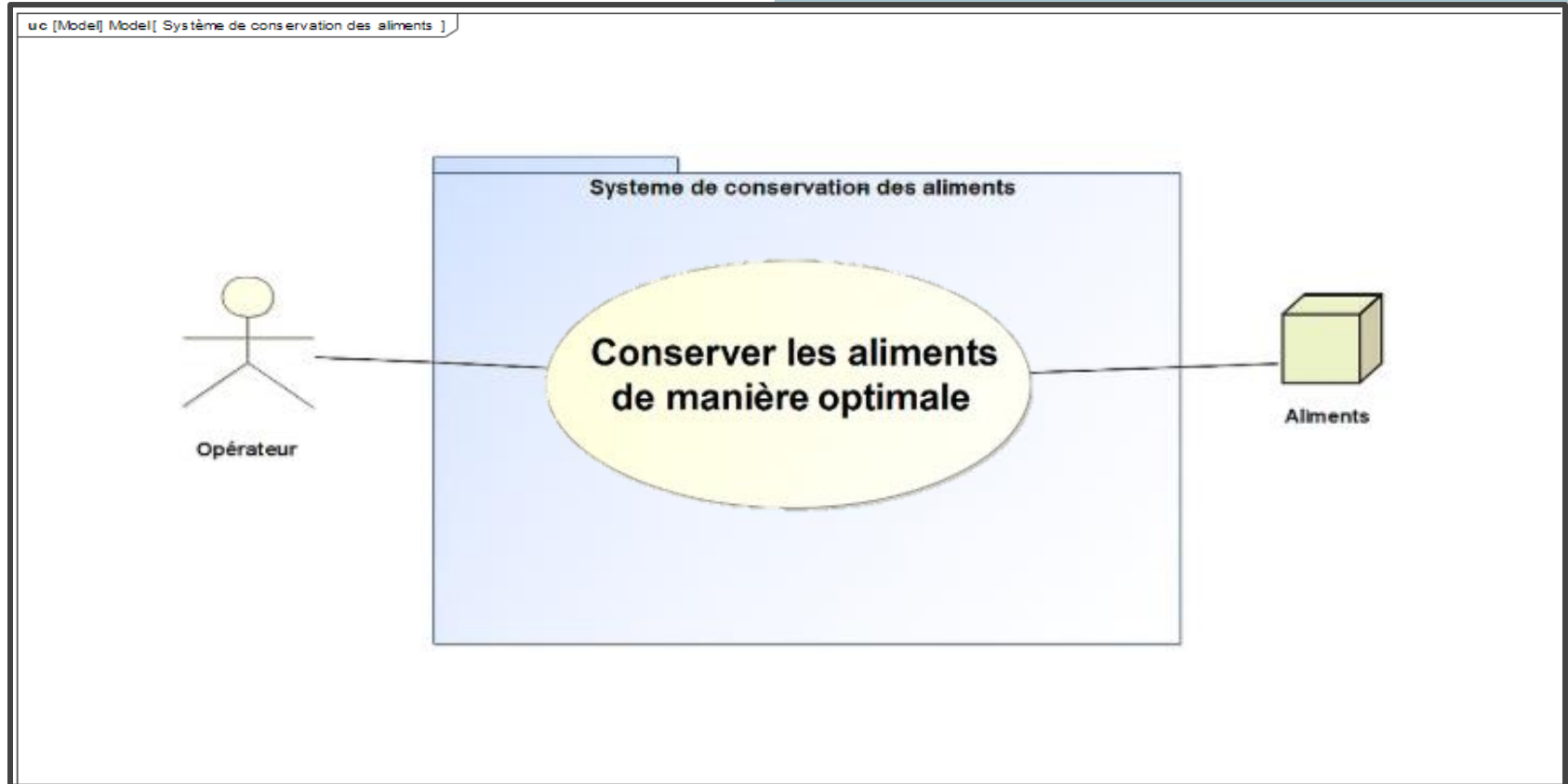
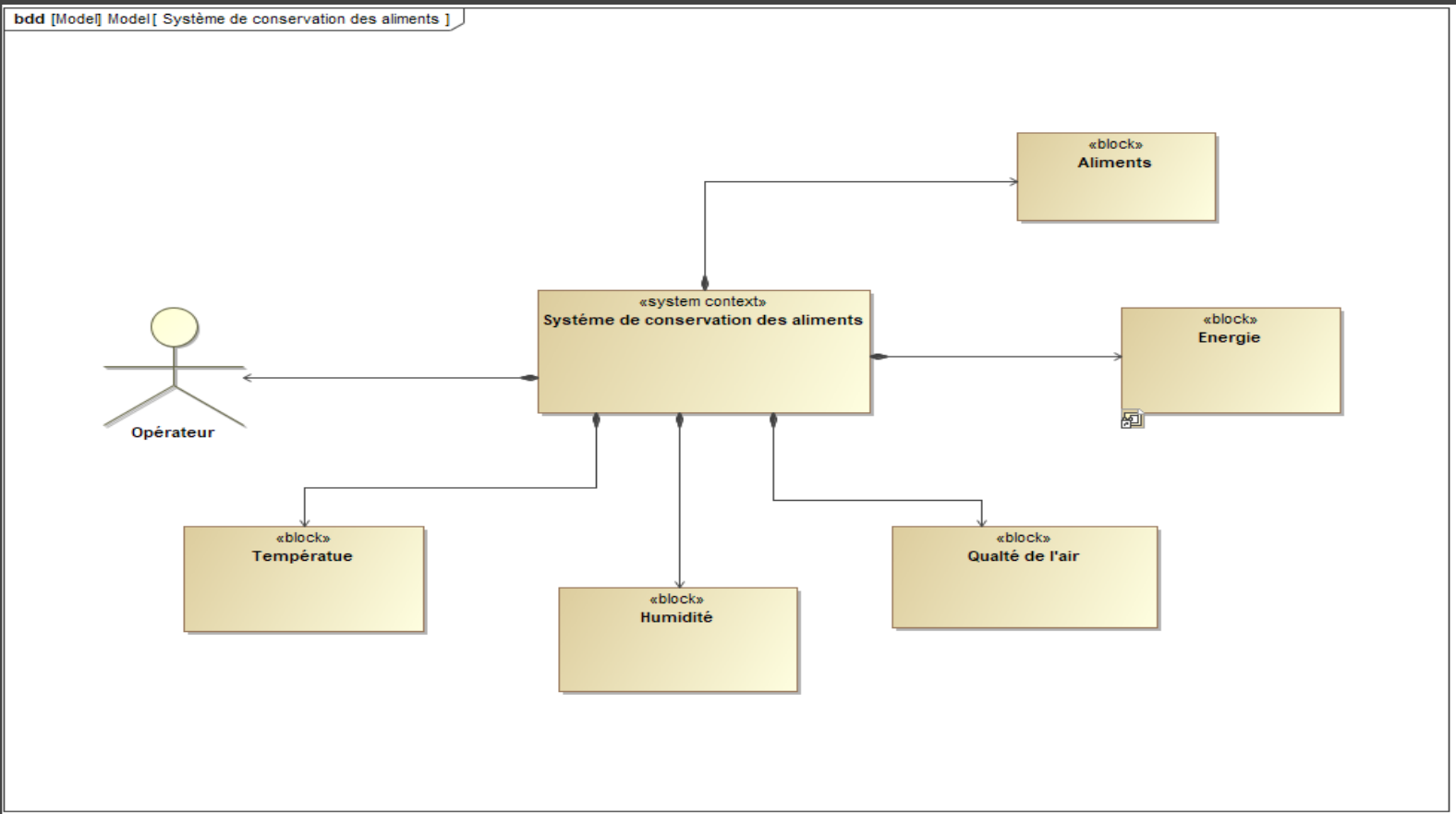


DIAGRAMME DE CONTEXTE

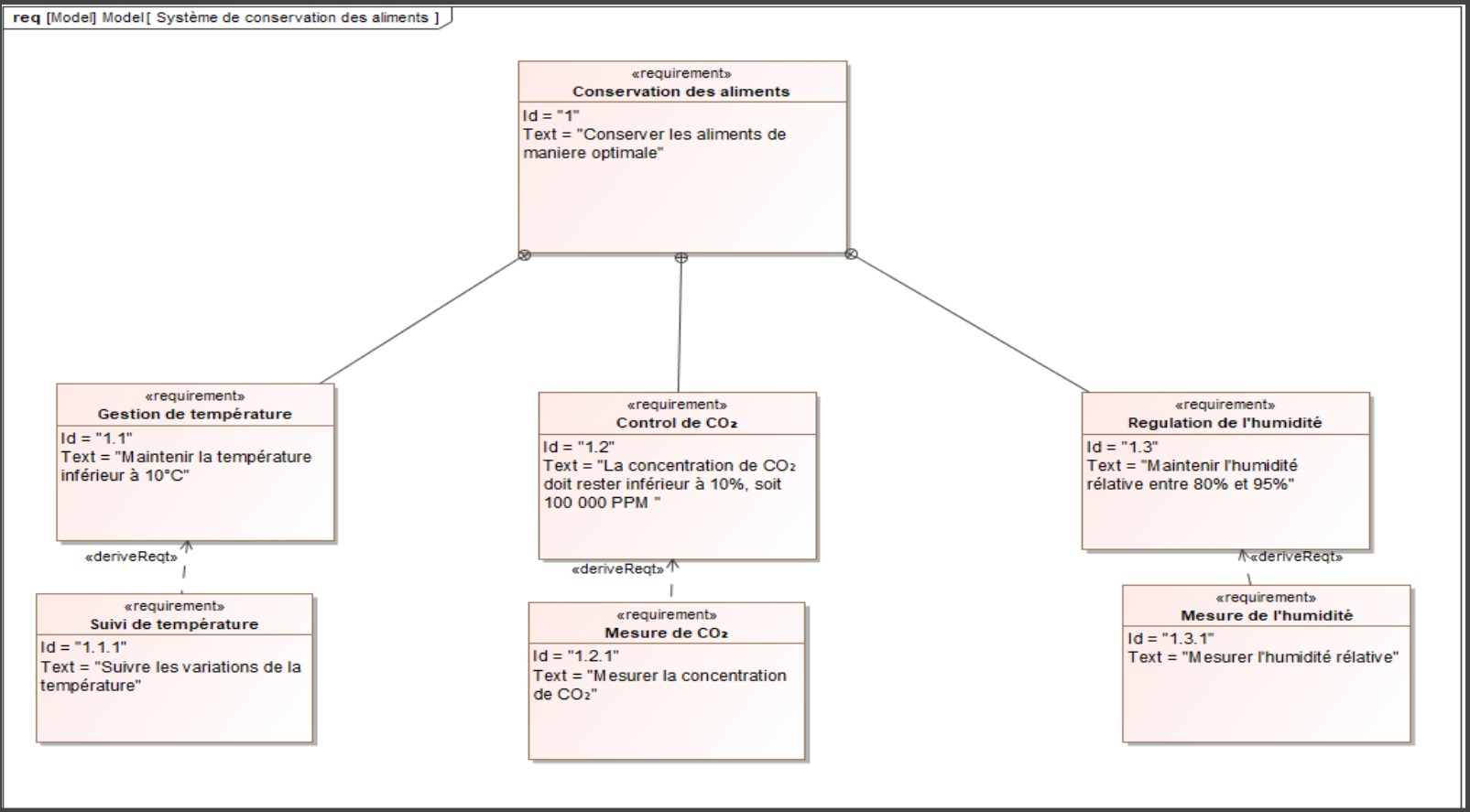




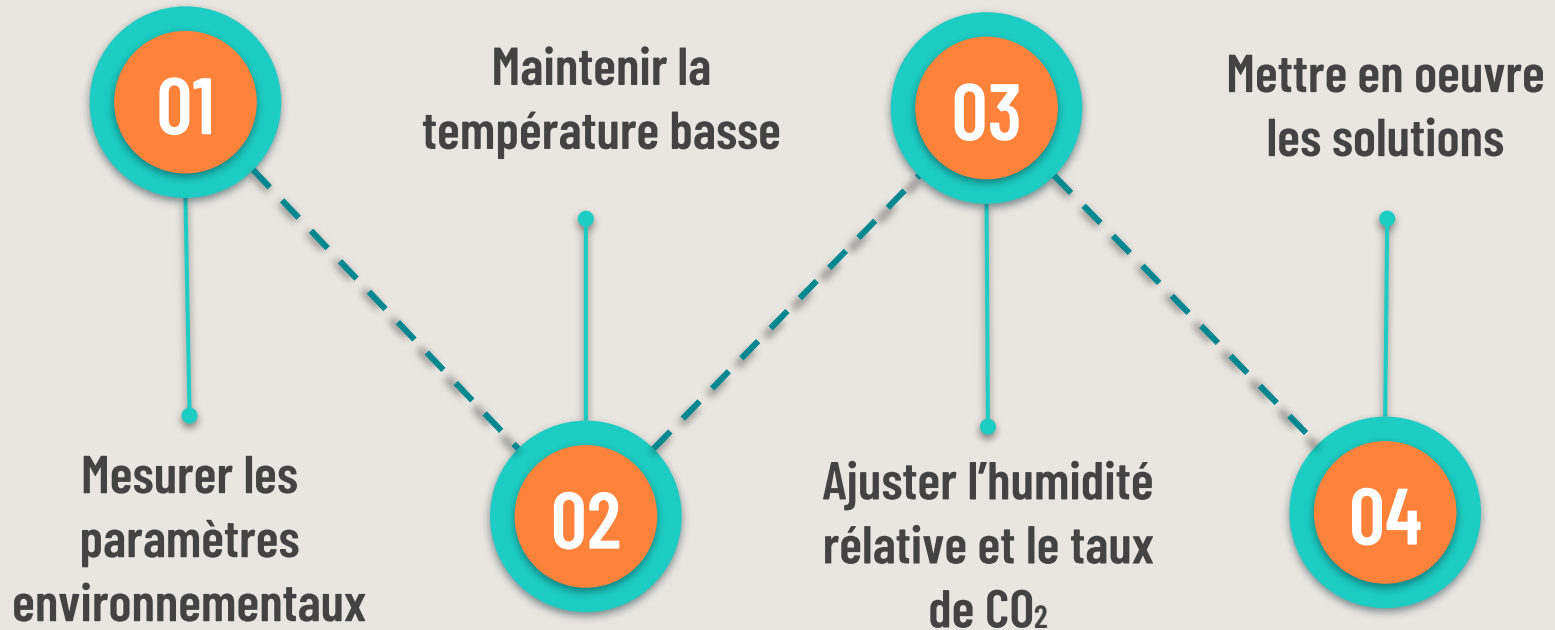
02

TRAITEMENT de la PROBLEMATIQUE

DIAGRAMME DES EXIGENCES



LES OBJECTIFS à ATTEINDRE



2.1 MESURER LES PARAMETRES ENVIRONNEMENTAUX

TEMPERATURE ET HUMIDITE

CHOIX DU CAPTEUR

On choisit le capteur **HTU21D**. Il mesure à la fois la **temperature** et l'**humidité** avec une bonne précision, largement disponible sur le marché et à un bon prix. Et surtout il consomme peu d'énergie.

Module	Plage Température	Précision Température	Précision Humidité	Précision Pression	Prix
MAX6675	0°C à +800°C	±0.25°			2.00
MAX31865	0°C à +800°C	±0.5°			4.00
LM35DZ	-55°C à +150°C	±2°			0.40
LM335	-40°C à +100°C	±2°			1.00
MCP9808	-40°C à +125°C	±0.25° ±0.5° maxi			1.00
TMP102	-40°C à +125°C	±2°			1.60
DS18B20	-55°C à +125°C	±0.5°			0.50
DHT11	0°C à +50°C	±2°			0.50
AM2301	-40°C à +80°C	±0.3°	±3%		1.80
DHT22	-40°C à +80°C	±0.5°	±2-5%		2.10
SHT31D	-40°C à +125°C	±0.3°	±2%		4.00
HTU21D	-40°C à +125°C	±0.3°	±2%		1.50
HDC2080	-40°C à +125°C	±0.2° ±0.4° maxi	±2%		4.00
SI7021	-40°C à +125°C	±0.4°	±3%		1.80
BMP180	-40°C à +85°C	±1°		0.12 Pa	1.00
BME280	-40°C à +85°C	±1°	±3%	0.2 Pa	2.00

CARACTERISTIQUES DU CAPTEUR HTU21D



Equations de conversion de la température et de l'humidité relative

$$T = -46.85 + 175.72 \times \frac{S_T}{2^{16}}$$

$$HR = -6 + 125 \times \frac{S_{HR}}{2^{16}}$$

S_{HR} = Valeur brute 16 bits de l'humidité retournée par le capteur

S_T = Valeur brute 16 bits de la température retournée par le capteur

T : Température en °C

HR : Humidité relative en %

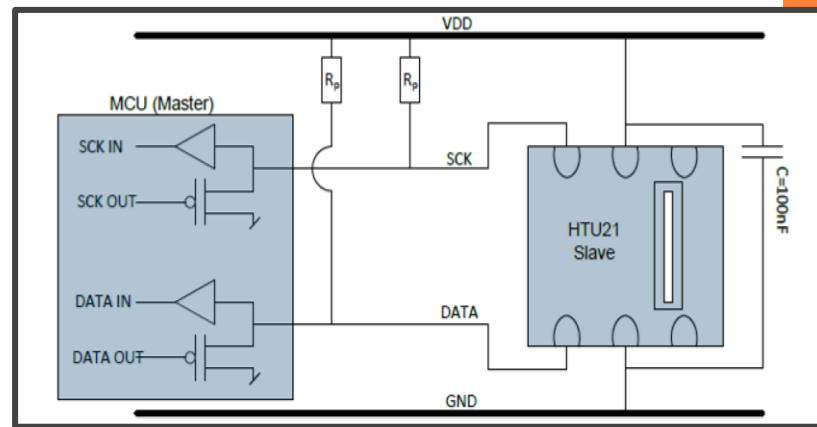


Schéma interne

CARACTERISTIQUES DU CAPTEUR HTU21D

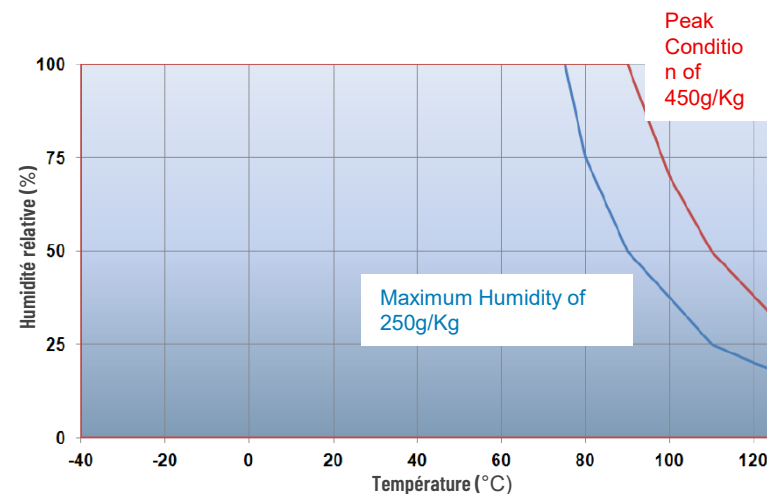
Caractéristiques techniques:

- Tension d'alimentation: 1,5 V-3.6
- Plage d'humidité de mesure: 0-100% HR
- Plage de mesure de température : -40 °C-105 °C
- La consommation d'énergie maximale: 2.7uw
- Compatible avec Arduino

Equation de compensation de la temperature:

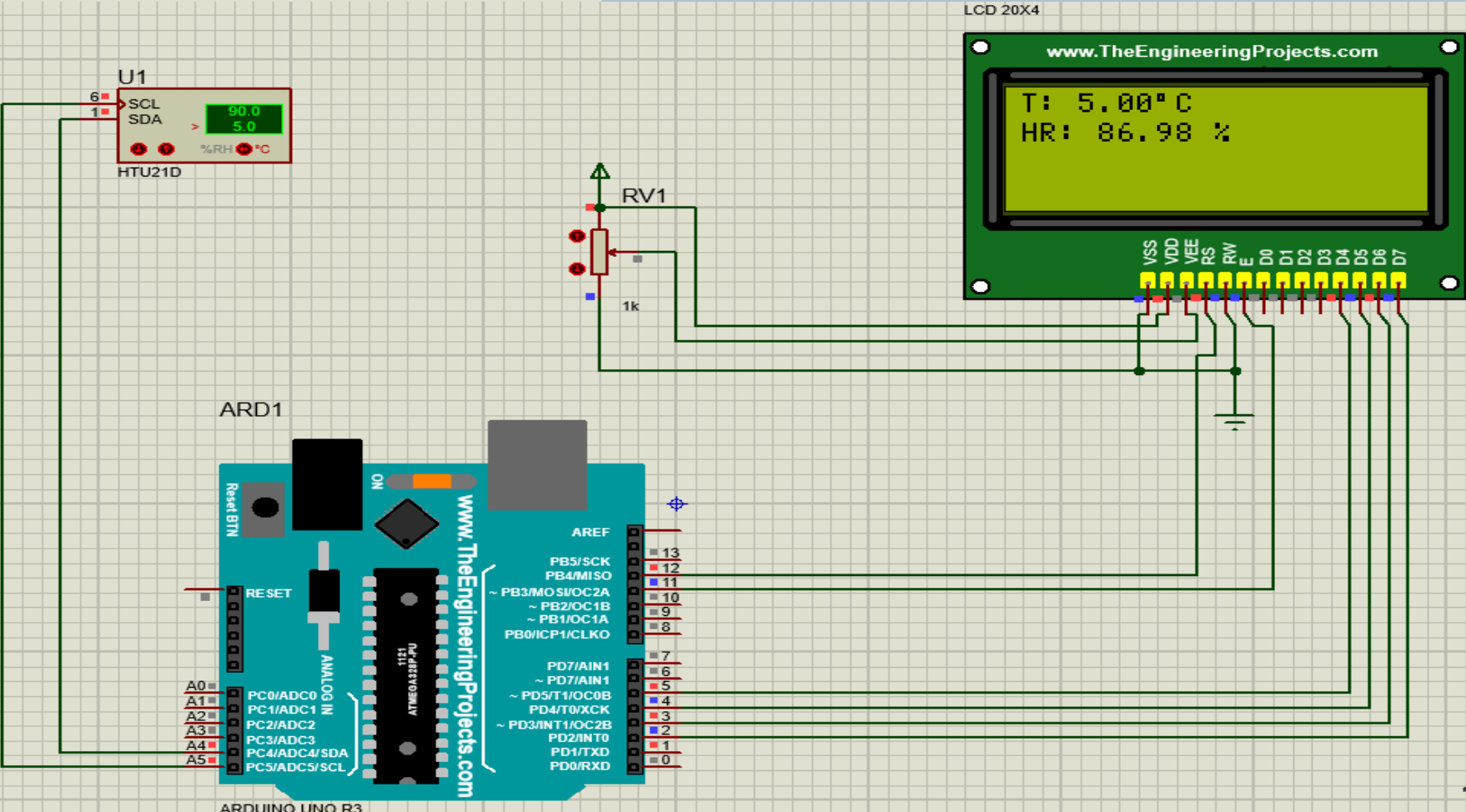
$$HR_{\text{corrigée}} = HR_{\text{mesurée}} + (T_{\text{mesurée}} - 25) \times 0.15$$

Commentaire: L'humidité relative est fortement influencée par la temperature, cette formule est alors utilisée pour assurer la précision du capteur htu21d



Plage de fonctionnement

Simulation sur Proteus (HTU21D)



CHOIX DU CAPTEUR

On choisit le capteur **MQ-135**. Il offre de bonnes performances, une large gamme de gaz détectés, facilement accessible et à prix abordable tout en ayant une consommation modérée.

Capteur	Gaz détectés	Plage de détection	Prix	Applications typiques
MQ-135	Ammoniac (NH ₃), Benzène (C ₆ H ₆), CO ₂ , alcool, fumée	10 à 1000 ppm (NH ₃)	5 à 10 €	Qualité de l'air, surveillance des gaz industriels.
CCS811	CO ₂ , TVOCs (Composés Organiques Volatils Totaux)	400 à 8192 ppm (CO ₂)	10 à 20 €	Surveillance de la qualité de l'air intérieur.
MH-Z19	Monoxyde de carbone (CO)	0 à 5000 ppm	20 à 30 €	Détection de CO pour la sécurité dans les bâtiments.
MiCS-5524	Ammoniac (NH ₃), Oxyde d'azote (NO), Monoxyde de carbone (CO), Méthane (CH ₄)	0 à 1000 ppm (CO)	40 à 60 €	Applications industrielles et de sécurité.
Figaro TGS-813	Oxyde d'azote (NO), Ozone (O ₃), Ammoniac (NH ₃)	1 à 100 ppm (O ₃)	15 à 25 €	Surveillance de la pollution industrielle.
SDS011	Particules fines (PM2.5, PM10)	0 à 500 µg/m ³	20 à 35 €	Mesure de la qualité de l'air (particules fines).
MiCS-5524	Ammoniac (NH ₃), Méthane (CH ₄), Oxyde d'azote (NO), CO	1 à 1000 ppm	40 à 60 €	Applications de surveillance et de sécurité.

CARACTERISTIQUES DU CAPTEUR MQ-135

Caractéristiques techniques:

- Tension d'alimentation: $5V \pm 0.1V$
- Gaz détectés:
 - Ammoniac (NH_3): entre 10 et 300 ppm
 - Oxyde d'azote (NOx): entre 10 et 1000 ppm
 - Dioxyde de carbone (CO_2): entre 350 et 10 000 ppm
 - Benzène (C_6H_6): entre 10 et 1000 ppm
 - Monoxyde de carbone (CO): entre 10 et 1000 ppm
- Consommation d'énergie maximale: 150mA
- Compatible avec Arduino

La mesure de R_s

$$R_S = R_L \times \left(\frac{V_C - V_{out}}{V_{out}} \right)$$

Commentaire: R_s est la résistance du capteur en présence de gaz

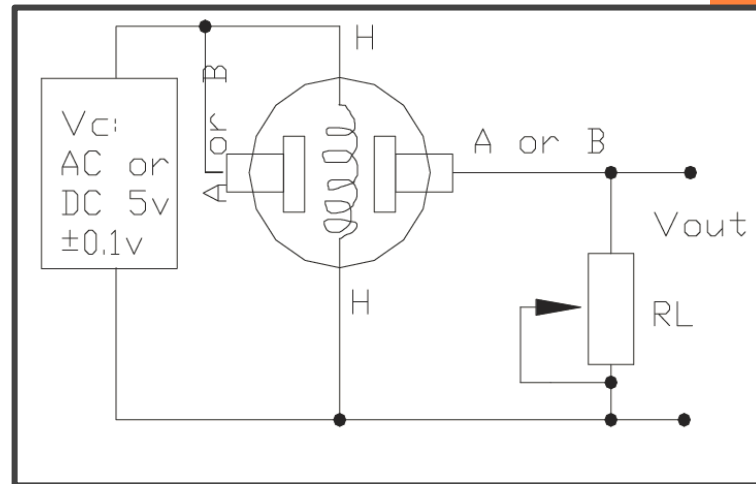
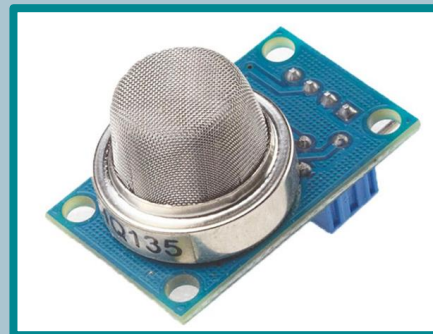


Schéma interne

CARACTERISTIQUES DU CAPTEUR MQ-135

Calcul de la concentration de gaz (ppm):

$$\frac{R_s}{R_0} = A' \cdot (\text{ppm})^{B'}$$

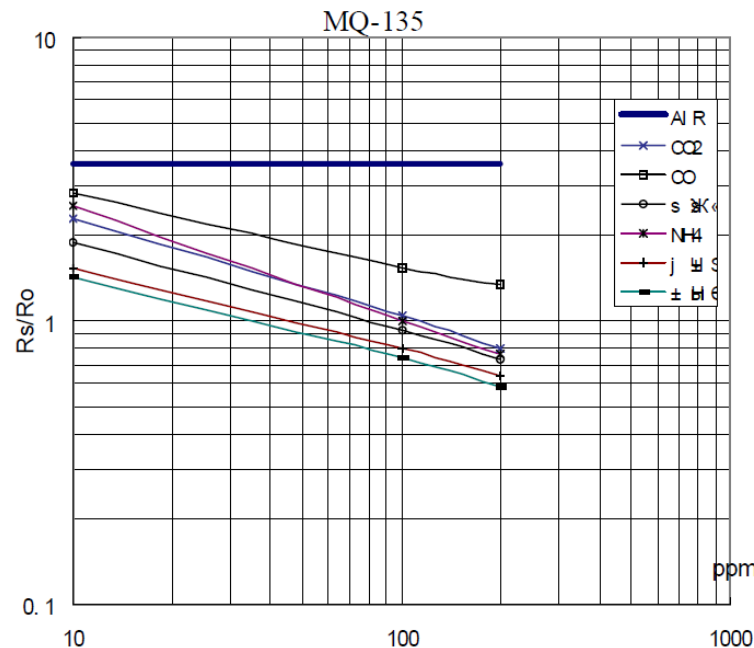


$$\text{ppm} = A \cdot \left(\frac{R_s}{R_0} \right)^{-B}$$

R_s : Résistance du capteur en présence du gaz

R_0 : Résistance du capteur dans l'air propre (étalonnage)

Commentaire: A et B sont des constantes qui dépendent du gaz mesuré.



Caracteristiques de sensibilité typique pour différents gaz

Détermination de A et B pour le CO₂

$$A = 116.6$$

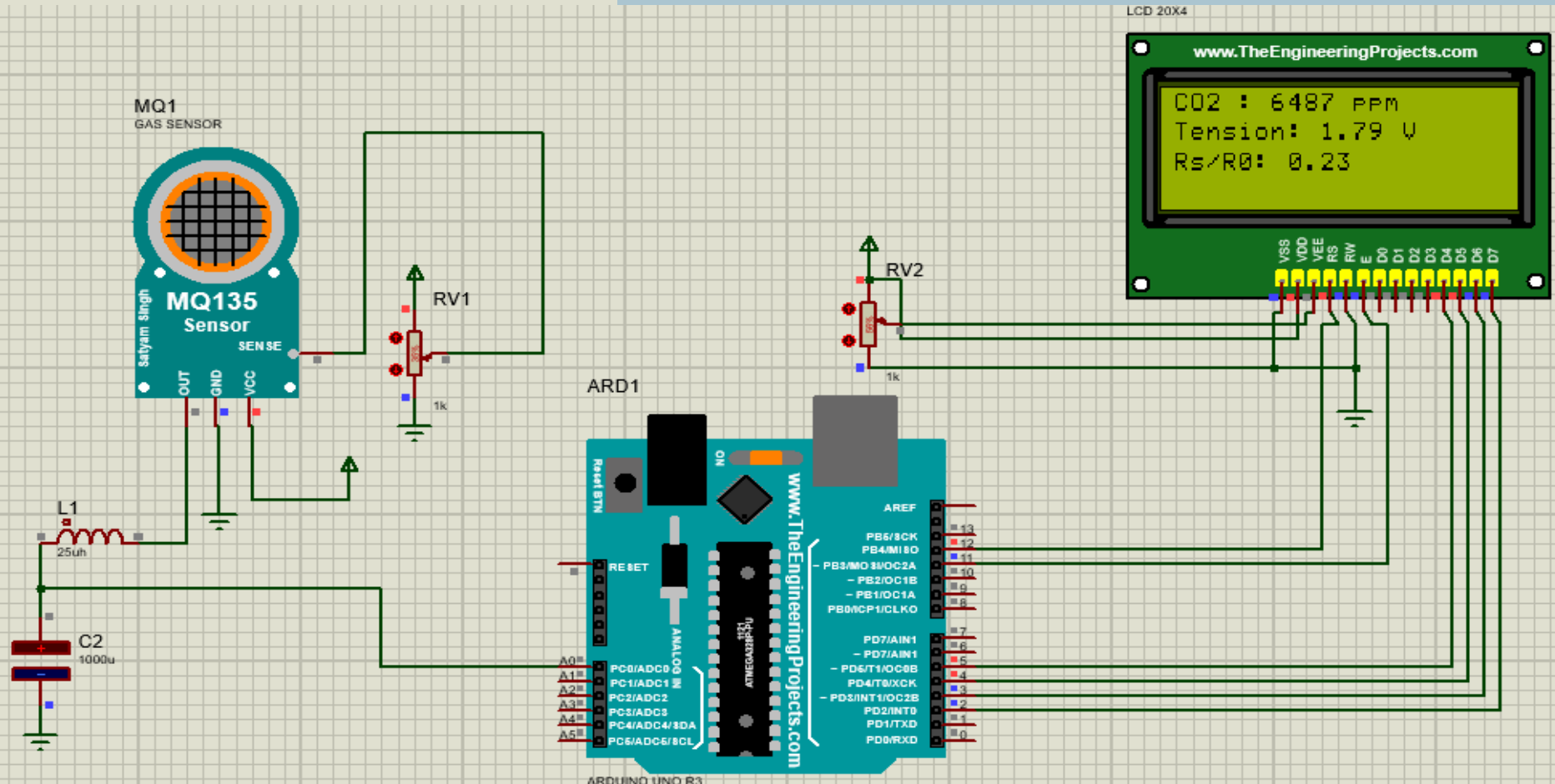
$$B = 2.769$$



$$\text{ppm} = 116.6 \cdot \left(\frac{R_s}{R_0} \right)^{-2.769}$$

CO ₂ (ppm)	R _s /R ₀
400	1.5
1000	3.2

Simulation sur Proteus (MQ-135)



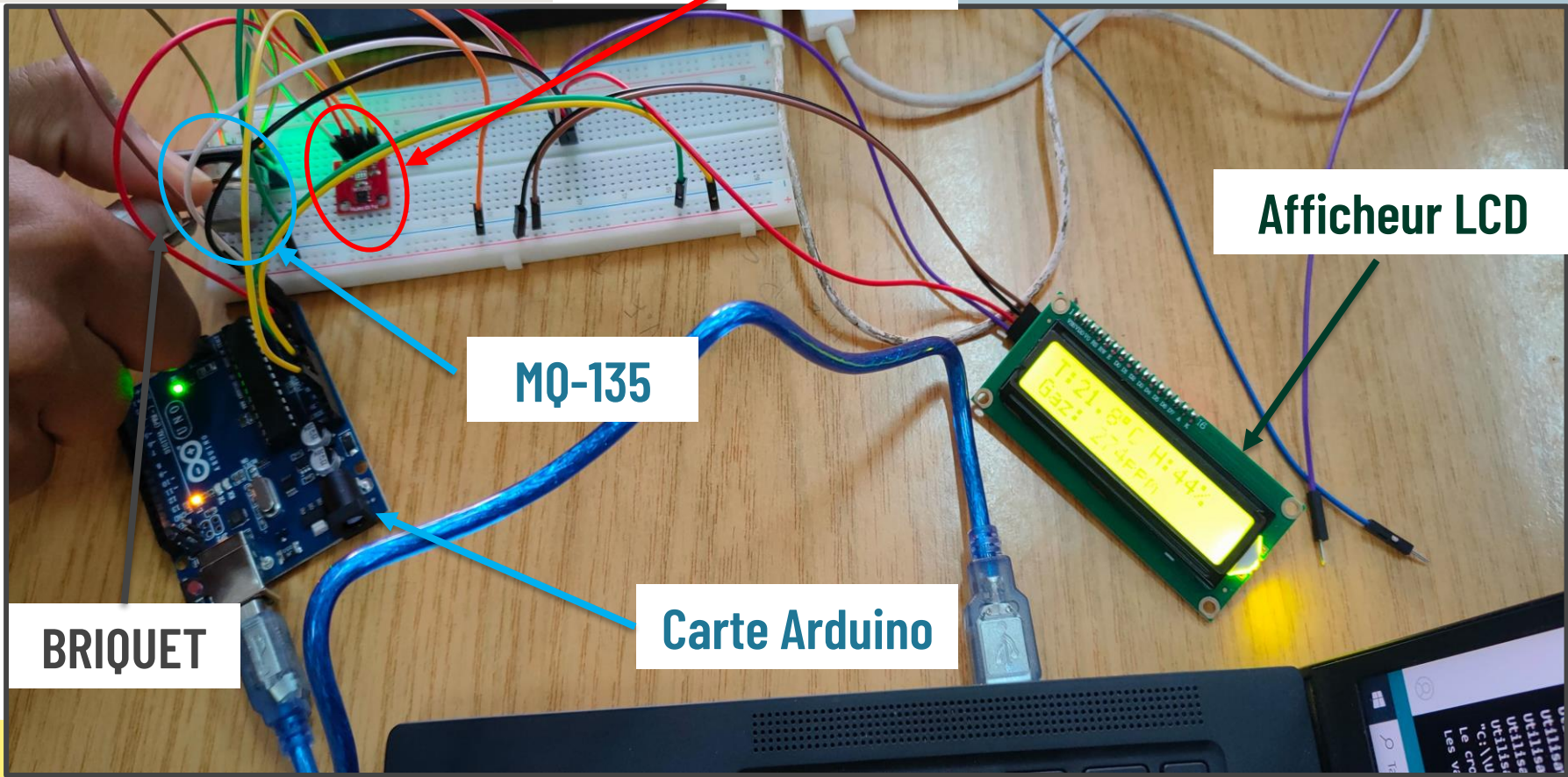
HTU21D

Afficheur LCD

MQ-135

BRIQUET

Carte Arduino



2.2 Maintenir la température basse

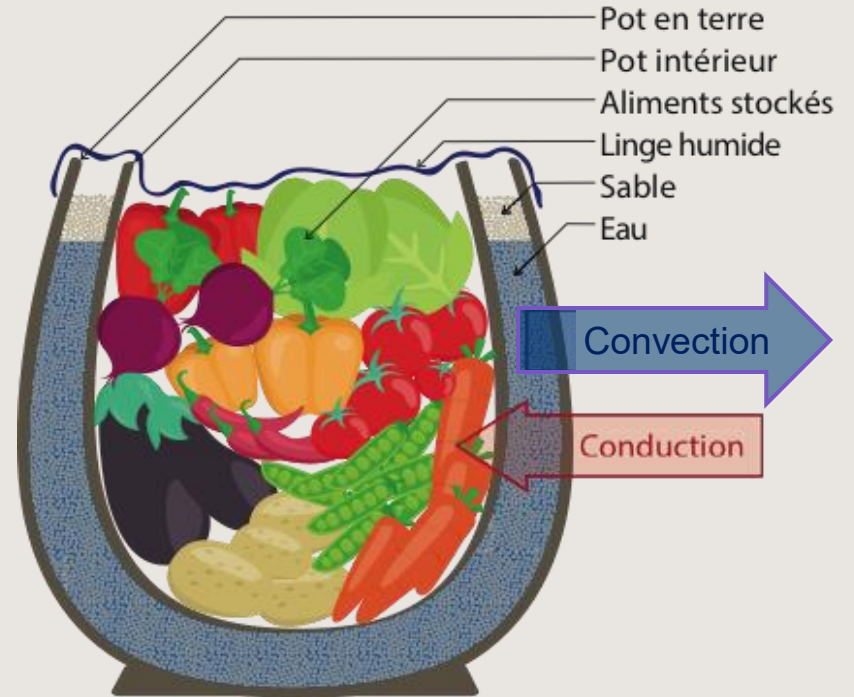
- Paramètre très critique à contrôler ;
- Nécessite généralement de grandes dépenses énergétiques ;
- Nous utiliserons un système basé sur l'évaporation de l'eau ;
- **Principe:** Similaire à celui du frigo du désert.



Energie thermique du système

Le système possède une **énergie thermique** E_{Σ} qui diminue (**refroidissement**) grace au **flux de chaleur sortant** (evaporation de l'eau), et augmente (**echauffement**) à cause du **flux de chaleur entrant** (temperature de l'air ambiant). L'equation suivante traduit cette variation:

$$\frac{\Delta E_{\Sigma}}{\Delta t} = \Phi_{entrant} - \Phi_{sortant}$$



EXPERIENCE 01

Pot en terre

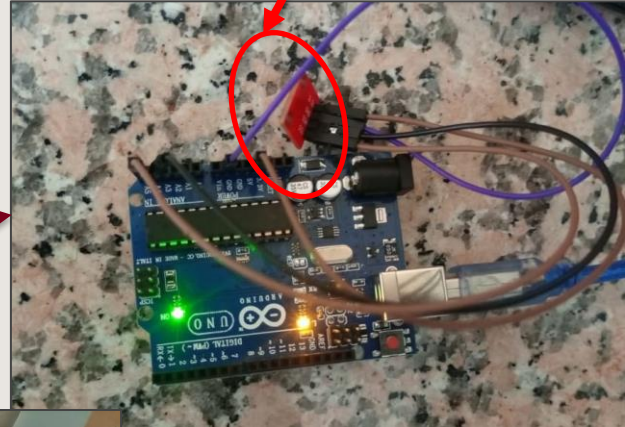
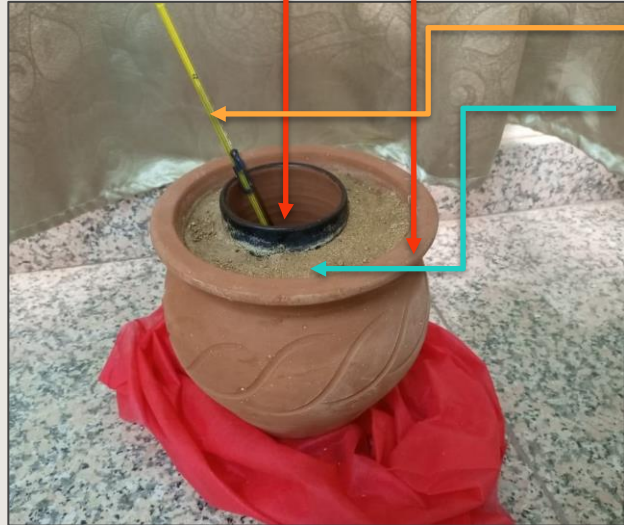
Pot interieur

Themometre au mercure

Sable humidifié

Linge humide

HTU21D



Ventilateur

Température ambiante

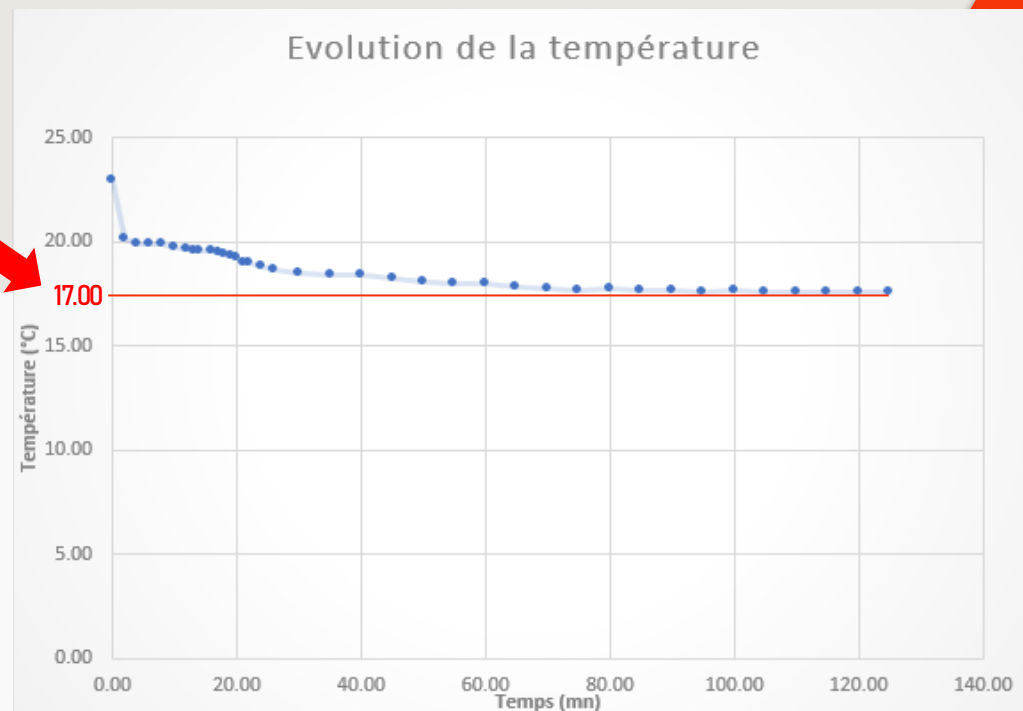
23°C

OBSERVATIONS et AMELIORATIONS

Le systeme est à l'ombre et à l'abri de la chaleur, la température ambiante vaut 23°C . La température du systeme atteint moins de 18°C en 22mn puis atteint l'équilibre thermique autour de 17.58°C dans ces conditions.

Cependant la temperature se maintient à 17°C , ce qui nous amene à considerer *le caractere isolant des pots en terre*.

Dans le suite, pour améliorer l'efficacité du systeme nous exploiterons au maximum cette propriété.



EXPERIENCE 02

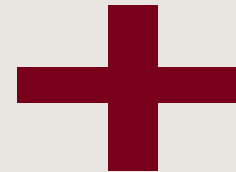
Une solution serait de placer dans le système une source de froid, comme un corps froid, mais ce froid se dissiperait trop vite.

La **glace composite** faite avec de l'**eau** ET du **COTON** est une alternative efficace. Elle est plus rigide et dure extrêmement longtemps.



SOURCE: <https://www.dailymotion.com/video/x8sixk4>

EXPERIENCE 01

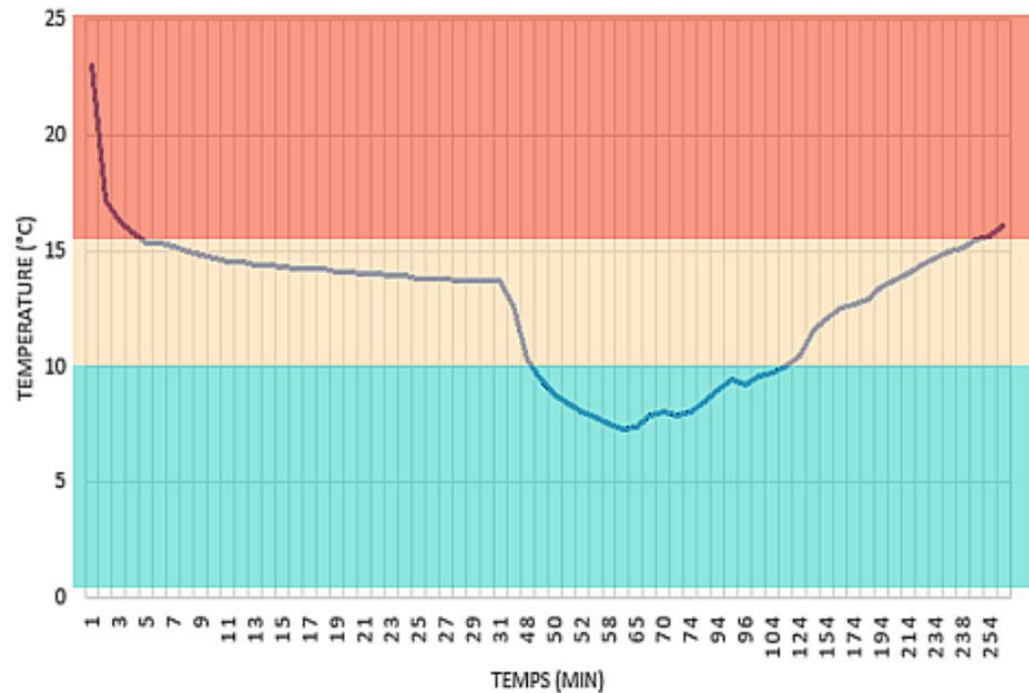


Glace composite faite d'eau et de coton

OBSEVATIONS

La temperature passe très vite dans la **zone favorable de conservation (<15 °C)** pendant près de **5 heures**, et dure **1h15mn** dans la **zone optimale de conservation (<10 °C)**

EVOLUTION DE LA TEMPERATURE



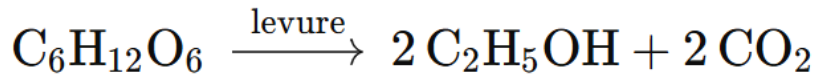
2.3 Ajuster l'humidité et le taux de CO2

Diffusion de particules de CO2

Le CO2 agit comme un agent antimicrobien. Il ralentit la prolifération des moisissures, la pourriture et empêche la respiration de aliments.

Nous allons diffuser du CO2 dans le système en maintenant le taux en dessous de 10%.

Dans l'eau la levure transforme le sucre en Ethanol et en CO2 selon l'équation suivante:



Régulation de l'humidité relative

Pour la plus part des aliments l'humidité relative doit être entre 80% et 95%.

L'humidification du sable assurera l'humidité du système. Ensuite pour la régulation il faut aérer l'intérieur du système quand il est trop humide à l'aide d'une ouverture.

ELEMENTS ANNEXES:

Eau de chaux ;

Absorbants d'oxygène ;

Jus de citron ;

Le charbon actif: peut agir comme filtre à gaz et réduire les odeurs désagréables.

Il peut également atténuer les effets nocifs de l'éthanol produit.

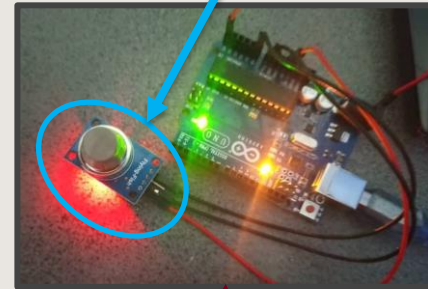


EXPERIENCE



Tuyau pour la diffusion du gaz

MQ-135



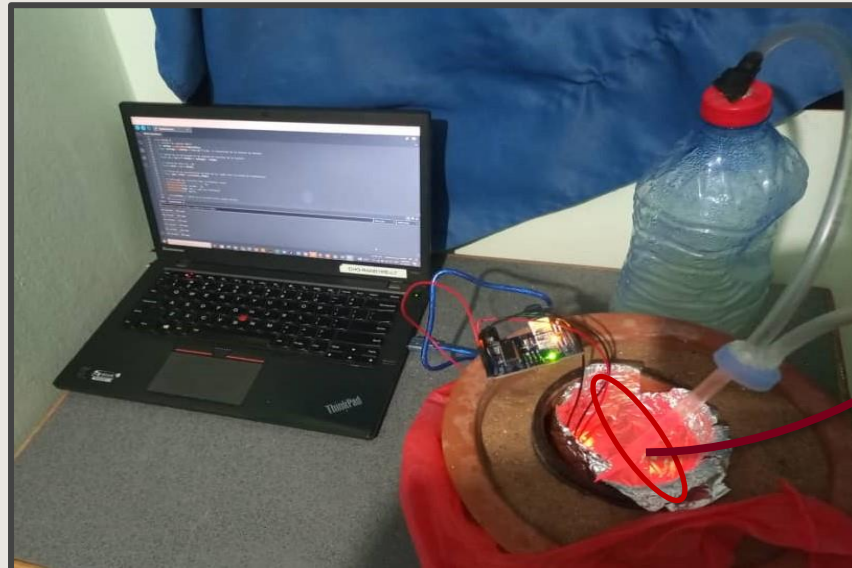
ELEMENTS DE CONCEPTION:

Eau tiède: ½ L

Sucre: 200g

Levure de boulanger: une cuillere

Eau chaude: ½ L



OBSERVATIONS

On observe bien de la production de CO₂.
La réaction est limitée par plusieurs facteurs, ce qui assure que le taux de CO₂ ne dépasse pas le maximum critique de 10%, soit 100 000 ppm.

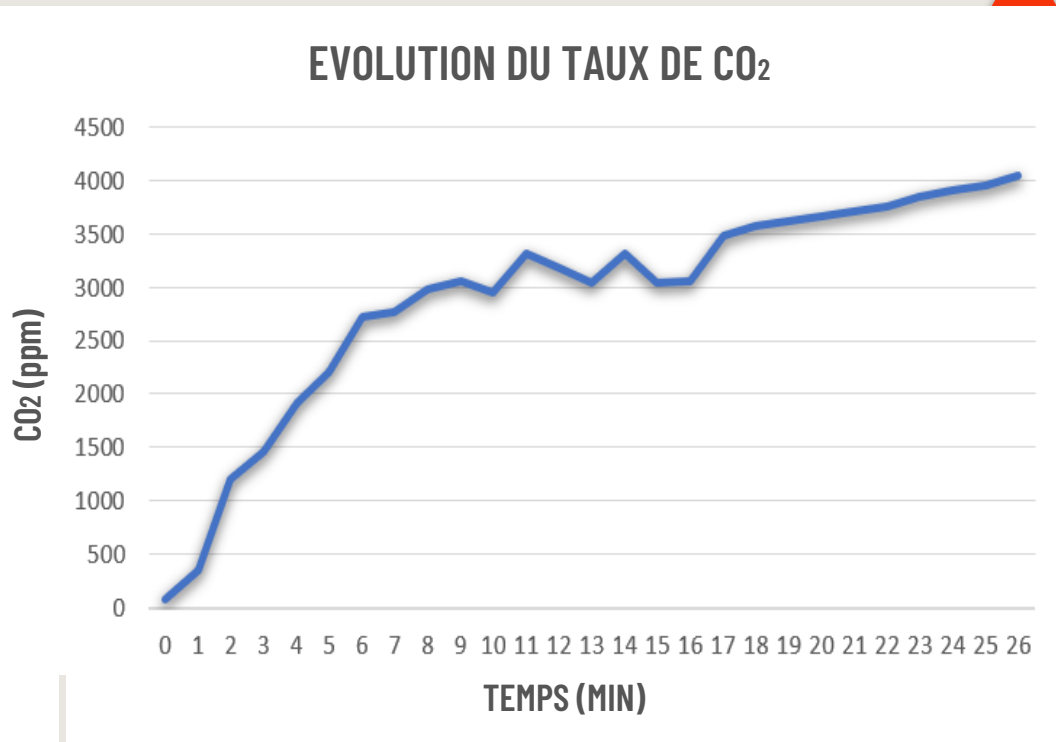
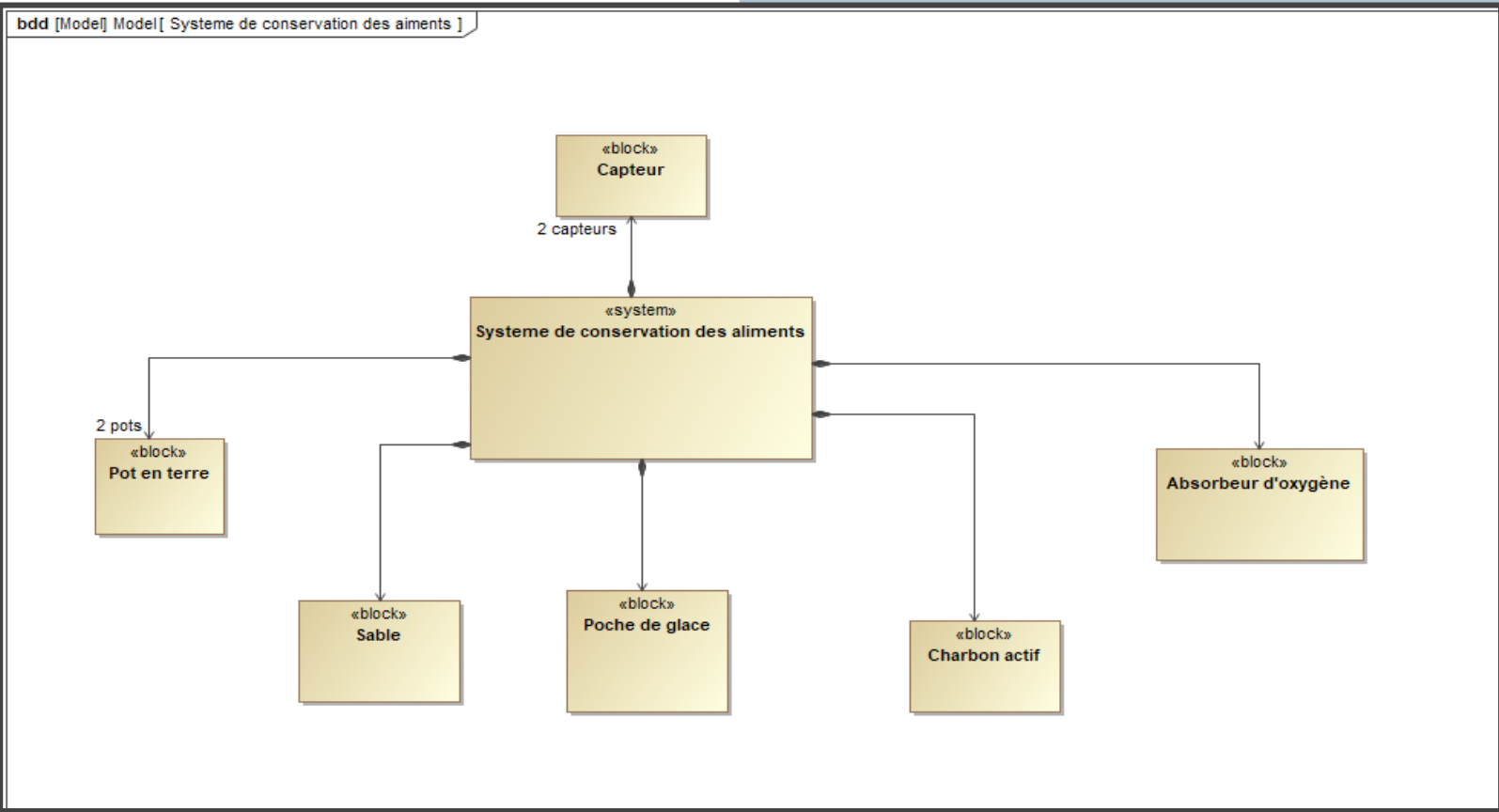


DIAGRAMME DE DEFINITION DE BLOCS



03 EXPERIMENTATION de la SOLUTION GLOBALE



Pour cette phase d'expérimentation nous utilisons des tomates des poivrons fraîchement coupés



JOUR 01



Hors du système

Température ambiante Moyenne: 17 °C-34 °C
Pression: 1 atm
Système à l'ombre ;
Espace aéré.

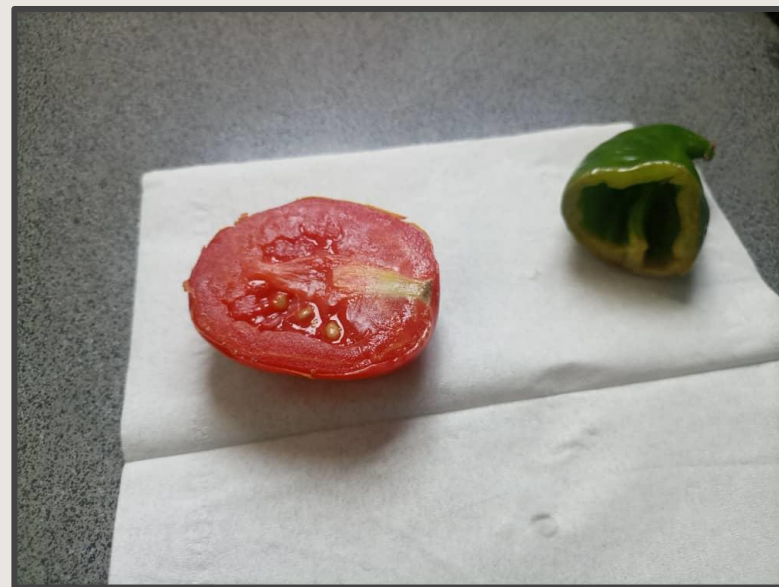


Dans le système

JOUR 02



Hors du système



Dans le système

Température ambiante Moyenne: 18 °C-34 °C
Pression: 1 atm
Système à l'ombre ;
Espace aéré.

JOUR 03



Hors du système



Dans le système

Température ambiante Moyenne: 17 °C-35°C

Pression: 1 atm

Système à l'ombre ;

Espace aéré.



- **La température** baisse mais ne reste que 25% des 5 heures dans la zone optimale de conservation, toutefois elles reste 92% des 5 heures dans la zone favorable de conservation
- Les exigences de **l'humidité relative** ne sont pleinement satisfaites que de moitié. L'humidité relative ne descend pratiquement jamais en dessous de 80%; mais après l'humidification du sable elle peut dépasser 95% et prend un certain temps avant de revenir entre 80% et 95%.
- **Le taux de CO2** diffusé ne dépasse jamais 10%, ce qui satisfait le cahier des charges.



- En ne consommant qu'une faible quantité d'électricité pour congeler les poches de glace composite le resultat obtenu est assez satisfaisant pour une conservation de 3 jours.
- Pour augmenter encore plus l'efficacité du système et reduire les charges sur l'opérateur qui doit assurer l'humidification du sable 4 fois par jour, une solution serait de mettre en place:
 - Un système d'arrosage en utilisant une Pompe ;
 - Un système d'ouverture automatique pour reguler l'humidité rélatve

Le modèle adapté pour la pompe figure dans l'annexe 1 à la page 42.

ANNEXE 01

Pompe péristaltique



Caractéristiques principales:

- Débit : 1 L/min
- Vitesse de rotation: 100tr/min
- Puissance moteur: 5w à 100w

Arrosage du sable

La masse d'eau à ajouter pour garder l'humidité relative entre 80% et 95% en fonction de la masse de sable M_{sec} est mesurée selon la formule:

$$\text{Eau à ajouter (en kg ou L)} = M_{sec} \times \frac{\Delta H}{100}$$

$$\Delta H = H_2 - H_1 = 95\% - 80\% = 15\%$$

Quelques références de la page 07

- https://www.carenews.com/sites/default/files/2025-02/VF_Observatoire%20A_Jan%2025_Compress%C3%A9%20281%29.pdf?utm_source=chatgpt.com
- https://bapif.banquealimentaire.org/sites/default/files/2024-05/Rapport%20Activit%C3%A9%20BAPIF%202023.pdf?utm_source=chatgpt.com

Caractéristiques du prototype

- Diamètre intérieur moyen:
Pot extérieur: 16.9 cm
Pot intérieur: 8.5 cm
- Sable: 1.5Kg

ANNEXE 02

Programme arduino pour les capteurs HTU21D et MQ135

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_HTU21DF.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <math.h>

Adafruit_HTU21DF htu = Adafruit_HTU21DF();
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

const int mq135_pin = A0;
const float RLOAD = 10.0;
const float RZERO = 76.63;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Initialisation...");
```

```
  if (!htu.begin()) {
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Erreur capteur");
    while (1);
  }

  delay(1000);
  lcd.clear();
}

void loop() {
  float temperature = htu.readTemperature();
  float humidity = htu.readHumidity();

  int raw_adc = analogRead(mq135_pin);
  float voltage = raw_adc * (5.0 / 1023.0);
  float rs = (5.0 - voltage) / voltage * RLOAD;
  float ratio = rs / RZERO;
  float ppm = 116.6020682 * pow(ratio, -2.769034857);

  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("T:");
  lcd.print(temperature, 1);
  lcd.print((char)223);
  lcd.print("C ");
```

```
  lcd.setCursor(8, 0);
  lcd.print("H:");
  lcd.print(humidity, 0);
  lcd.print("%");

  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("CO2:");
  lcd.print((int)ppm);
  lcd.print("ppm ");

  delay(2000);
}
```

FIN