

Solution Hybride de Production d'Eau Atmosphérique

TEC (Peltier) + Sorbants Hygroscopiques + Filtration

Projet Learning by Doing – École Centrale Casablanca

Groupe PLBD 35 | Janvier 2026

1 Présentation de la Solution Hybride

Notre solution combine deux technologies complémentaires de production d'eau atmosphérique : le **refroidissement thermoélectrique (TEC)** et les **sorbants hygroscopiques (CaCl_2)**, couplées à un système de **filtration** et une **intelligence artificielle** de contrôle.

1.1 Architecture Globale du Système

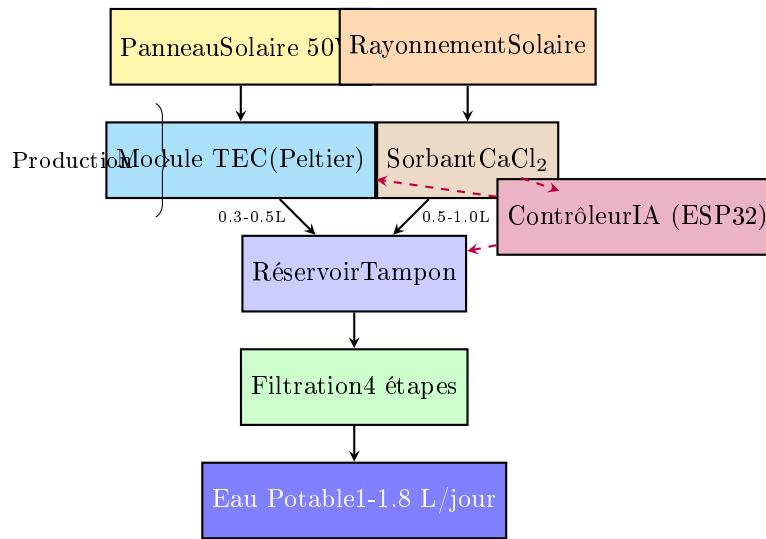


Figure 1: Architecture complète du système hybride

1.2 Principe de Fonctionnement Synergique

Le système exploite la **complémentarité temporelle** des deux technologies :

Table 1: Répartition du fonctionnement sur 24 heures

Période	TEC	Sorbant	Conditions exploitées
Matin (6h-12h)	Actif	Régénération	HR montante, soleil disponible
Après-midi (12h-18h)	Actif	Régénération	HR maximale, forte chaleur
Soirée (18h-22h)	Veille	Fin régénération	Transition jour/nuit
Nuit (22h-6h)	Veille/Actif	Absorption	HR nocturne élevée, T° basse

2 Module TEC : Détails Techniques

2.1 Principe Physique de l'Effet Peltier

L'effet Peltier crée un gradient thermique lorsqu'un courant traverse une jonction de semi-conducteurs Bi_2Te_3 (type N et P). La face froide atteint une température $T_c < T_{\text{rose}}$, provoquant la condensation.

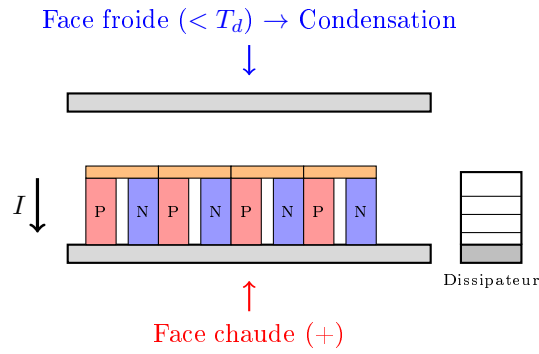


Figure 2: Structure du module Peltier TEC1-12706

2.2 Équations de Dimensionnement

Puissance de refroidissement :

$$Q_c = \alpha \cdot I \cdot T_c - \frac{1}{2} R \cdot I^2 - K \cdot \Delta T \quad (1)$$

Point de rosée (condition de condensation : $T_{surface} < T_d$) :

$$T_d = \frac{243.04 \times \left(\ln \frac{HR}{100} + \frac{17.625 \cdot T}{243.04 + T} \right)}{17.625 - \ln \frac{HR}{100} - \frac{17.625 \cdot T}{243.04 + T}} \quad (2)$$

Application numérique (Casablanca, $T=25^\circ\text{C}$, $HR=70\%$) : $T_d \approx 19^\circ\text{C}$. Le module TEC doit refroidir la surface à moins de 19°C pour condenser.

2.3 Spécifications du Module TEC1-12706

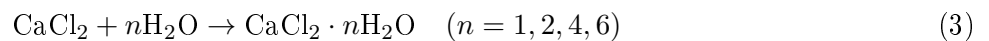
Paramètre	Valeur	Paramètre	Valeur
Dimensions	$40 \times 40 \times 3.8$ mm	ΔT max	66°C
Tension max	15.4 V	Courant max	6 A
Puissance max	60 W	COP typique	0.3-0.8

Production estimée (2 modules, $HR=70\%$, 8h/jour) : **0.3-0.5 L/jour**

3 Module Sorbant : Détails Techniques

3.1 Mécanisme d'Absorption du CaCl_2

Le chlorure de calcium est un sel **hygroscopique** qui absorbe l'humidité atmosphérique par dissolution :



Capacité d'absorption : jusqu'à **2 g H_2O / g CaCl_2** (200% de sa masse).

3.2 Cycle de Fonctionnement (24 heures)

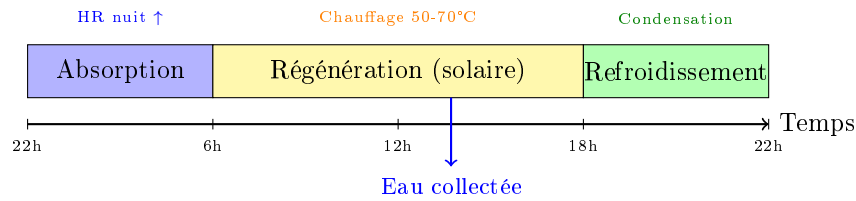


Figure 3: Cycle journalier du sorbant

3.3 Conception du Collecteur Sorbant

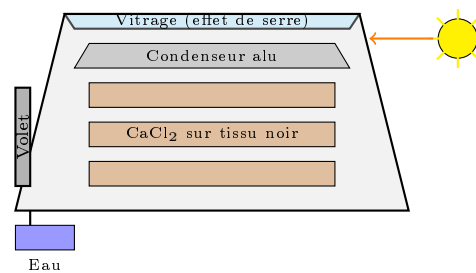


Figure 4: Structure du collecteur sorbant

Production estimée (2 kg CaCl₂, 0.5 m², cycle 24h) : **0.5-1.0 L/jour**

4 Système de Filtration

L'eau atmosphérique nécessite un traitement **minimal** : (1) pH acide dû au CO₂ dissous, (2) Particules de l'air, (3) Risque bactérien au stockage, (4) Traces CaCl₂.

Chaîne en 4 étapes : Filtre 5μm (particules, 5€) → Charbon actif (odeurs/goût, 10€) → Calcite (pH 5.5→7, 15€) → UV-C LED (99.9% bactéries, 20€). **Coût total** : ~50€

5 Contrôle Intelligent (IA)

Le microcontrôleur **ESP32** orchestre le système via capteurs (DHT22, débitmètre, ultrason) et actionneurs (relais TEC, servo volets, PWM ventilo).

Algorithme de switching : Jour + HR>60% → TEC ON + Sorbant régénération | Nuit + HR>70% → TEC ON + Sorbant absorption | Nuit + HR<70% → TEC OFF + Sorbant absorption | Réservoir>95% → Standby.

Gains IA : Switching intelligent (+15%) + Modulation PWM (+10%) + Prédiction météo (+5%) = **+25-30% production.**

6 Performances et Budget

6.1 Production Totale Estimée

Table 2: Synthèse des performances

Source	Production	Conditions
TEC (2 modules)	0.3-0.5 L/jour	HR > 60%, 8h/jour
Sorbant (2 kg CaCl ₂)	0.5-1.0 L/jour	Cycle 24h
Total sans IA	0.8-1.5 L/jour	
Total avec IA (+25%)	1.0-1.8 L/jour	

6.2 Budget Détaillé

Table 3: Coût total du prototype

Module TEC		Module Sorbant	
2× TEC1-12706	12€	CaCl ₂ (2kg)	20€
2× Heat sink	8€	Structure bois	20€
2× Ventilateur	6€	Vitrage plexi	15€
Panneau solaire 50W	50€	Condenseur alu	12€
Régulateur + Batterie	40€	2× Servomoteur	8€
Sous-total	116€	Sous-total	75€
Filtration		Électronique/IA	
Filtre 5μm + porte	15€	ESP32	10€
Charbon actif	10€	2× DHT22	10€
Calcite	15€	Débitmètre	5€
UV-C LED	20€	Ultrason HC-SR04	3€
Raccords	10€	Câblage	10€
Sous-total	70€	Sous-total	38€

BUDGET TOTAL : 299€ (objectif < 350€)

7 Conclusion

La solution hybride **TEC** + **Sorbant CaCl₂** avec filtration et contrôle IA représente une réponse optimale au défi de production d'eau atmosphérique :

- **Production** : 1.0-1.8 L/jour (suffisant pour survie : 1L/jour selon OMS)
- **Autonomie** : 100% solaire (PV + thermique)
- **Coût** : ~300€ (vs 2000€+ systèmes commerciaux)
- **Eau potable** : Conforme OMS après filtration
- **Scalabilité** : ×10 modules = 10-18 L/jour

Cette architecture modulaire et intelligente démontre la faisabilité d'une solution décentralisée pour les communautés africaines isolées.