



lorraine
conseil régional



Plateforme Technologique ENERBAT

Cogénération - Froid solaire par adsorption – Construction Bois

Najeh GHILEN, Damien DESCIEUX, Riad BENELMIR

LERMAB

Faculté des Sciences et Technologies
54506 Vandœuvre-lès-Nancy

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE THERMIQUE

Groupe « Thermodynamique »

Journée thématique

Problématiques Scientifiques et Technologiques dans les Procédés Frigorifiques et
Thermiques à Sorption

Vendredi 7 février 2014

Présentation

ENERBAT est une plateforme technologique dédiée à la démonstration du couplage optimal entre les équipements énergétiques et l'enveloppe constructive.

ENERBAT comprend :

- Des capteurs solaires thermiques
- Une trigénération d'énergie :
 - ✓ Un cogénérateur gaz
 - ✓ Une machine frigorifique à adsorption
- Une construction bois bi-zone

Plateforme ENERBAT



Tri-generation d'énergie



Energie solaire



Plafond rafraichissant



Enceinte climatique



Plancher chauffant

Couplage optimal

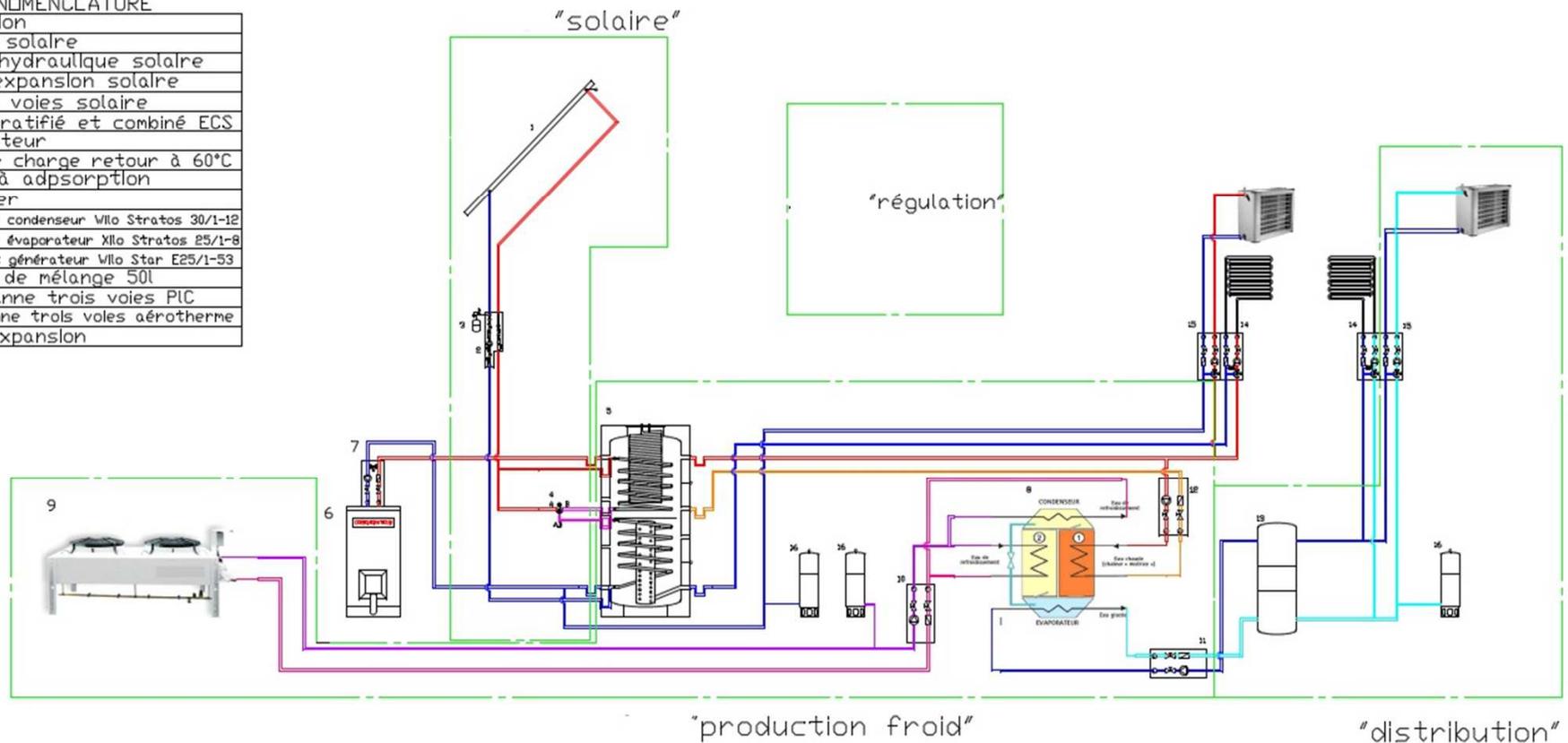
Enveloppe du bâtiment – Production énergie

CONFIGURATION :

PLATEFORME DE COGENERATION DE L'ENERGIE

NOMENCLATURE

N°	Désignation
1	Capteur solaire
2	Station hydraulique solaire
3	Vase d'expansion solaire
4	Vanne 3 voies solaire
5	Ballon stratifié et combiné ECS
6	Cogénérateur
7	Module de charge retour à 60°C
8	Machine à adsorption
9	Dry-cooler
10	Pompe circuit condenseur Vilo Stratos 30/1-12
11	Pompe circuit évaporateur Xilo Stratos 25/1-8
12	Pompe circuit générateur Vilo Star E25/1-53
13	Bouteille de mélange 50l
14	Module vanne trois voies PLC
15	Module vanne trois voies aérotherme
16	Vase d'expansion





16 panneaux SunWin d'une surface d'absorbeur de 2,2m² unitaire soit une surface totale de 35.2m².

- Verre solaire 4 mm, transmission 91,53 %.
 - Absorbeur alu hautement sélectif - soudé au laser – coef. abs. 95% - coef. Émission 5%
 - Isolation par 50 mm de laine de roche - paroi arrière en aggloméré de 4 mm
-
- Le champ est composé de 4 groupes en parallèles de 4 panneaux en séries.
 - Les panneaux sont orientés plein sud +/- 2° et inclinés de 45° par rapport à l'horizontale. Ce choix nous permet de récupérer le plus d'énergie possible tout au long de l'année.
 - La surchauffe (*montée en température des panneaux une fois le ballon tampon chargé*) est gérée par l'isolation des panneaux par rapport au groupe hydraulique.

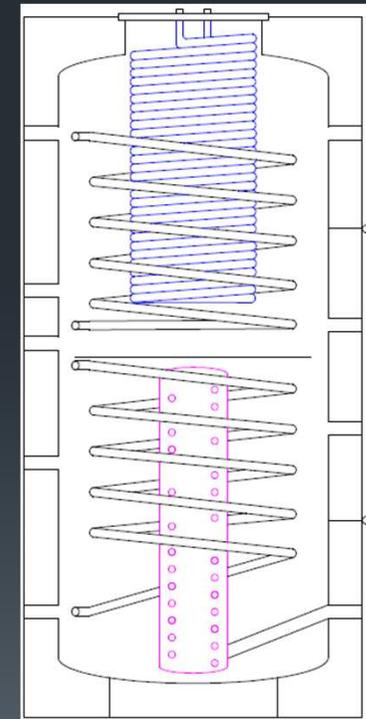
Le mélange eau-glycol dans les panneaux passe à l'état de vapeur (à partir de 170°C) évitant le rajout d'un « Drain Block » (*compartiment dans lequel vient se stocker le fluide caloporteur quand le système solaire s'arrête*).

LE BALLON TAMPON

Ballon : 1500L - cheminée de stratification - 2 échangeurs – isolation avec 100 mm de polyuréthane.

- L'échangeur (en partie supérieure centrale du ballon) destiné à la production d'ECS n'est pas utilisé.
- La cheminée de stratification (en violet) permet de préserver des gradients de température (ex : 80°C en partie haute du ballon et 20°C en partie basse).
- Le système solaire ne fonctionne que si

$$T_{\text{capteur}} - T_{\text{ballon}} > 7^{\circ}\text{C}$$
- Le fluide en provenance du champ solaire passe dans la partie basse du ballon et également dans la partie haute du ballon si sa température est suffisamment élevée. Ce procédé permet de récupérer des calories en partie basse du ballon même quand le rayonnement reçu par les capteurs est faible.



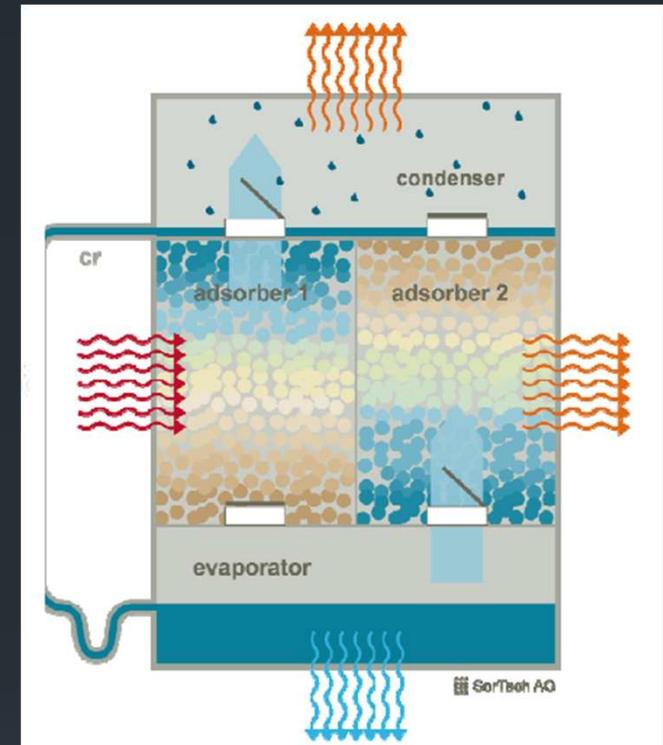
MACHINE FRIGORIFIQUE À ADSORPTION



La machine comprend deux compartiments contenant un adsorbant solide (silica-gel), un évaporateur et un condenseur.

Principe de fonctionnement :

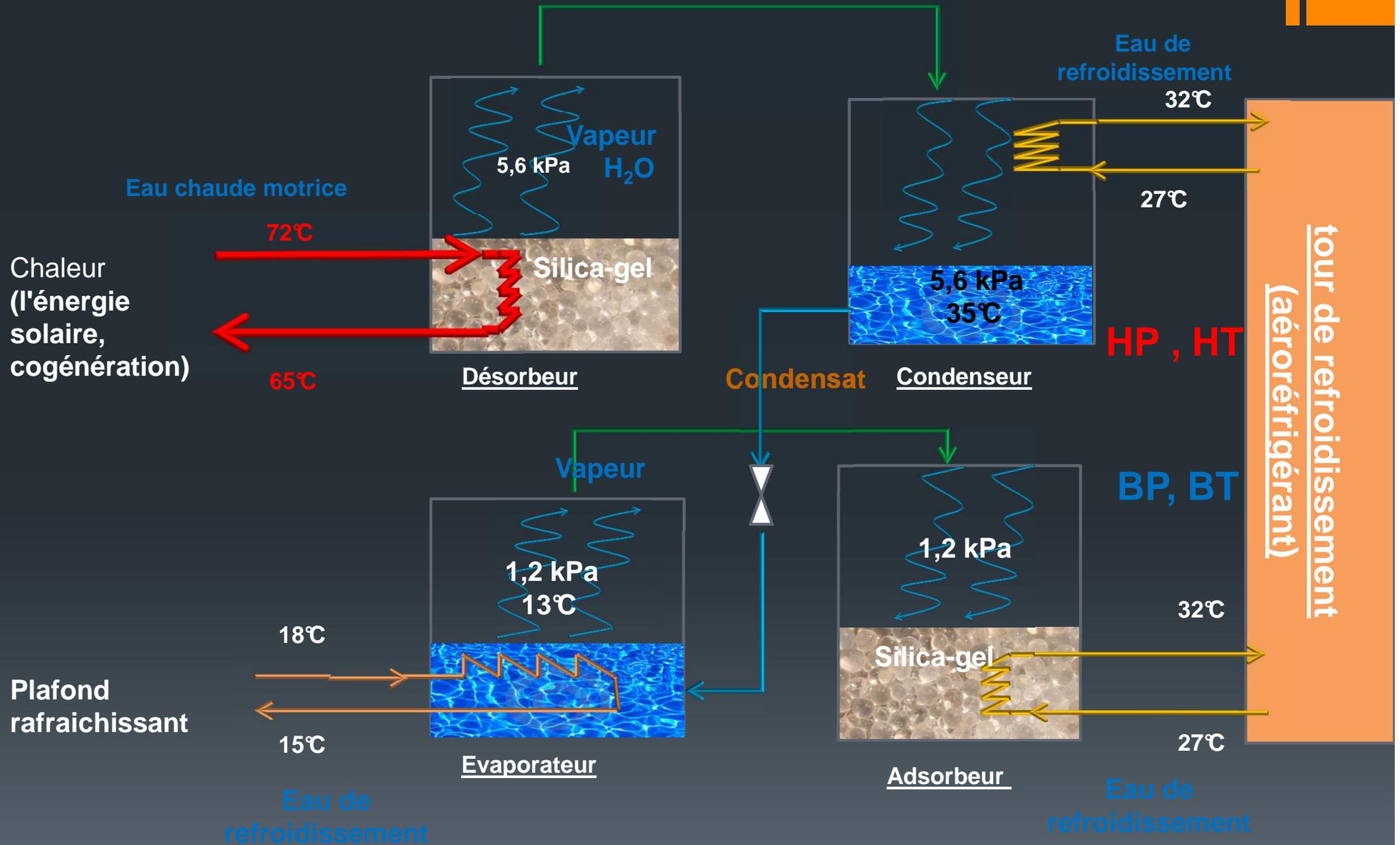
- ☞ L'adsorbant est régénéré dans le compartiment 1 par chauffage (eau chaude solaire) : la vapeur d'eau générée est envoyée dans le condenseur où elle se condense.
- ☞ L'eau liquide est détendue (via un détendeur) à basse pression vers l'évaporateur où elle s'évapore en produisant le froid utile.
- ☞ L'adsorbant du compartiment 2 maintient la basse pression en adsorbant cette vapeur d'eau. Ce compartiment doit être refroidi pour entretenir le processus d'adsorption.
- ☞ Lorsque la production de froid diminue (saturation de l'adsorbant en vapeur d'eau), les fonctions des deux compartiments sont permutées par ouverture et fermeture de clapets.
- ☞ La température d'eau chaude nominale en entrée de la machine est de 72°C, ce qui permet l'utilisation de capteurs solaires plans.

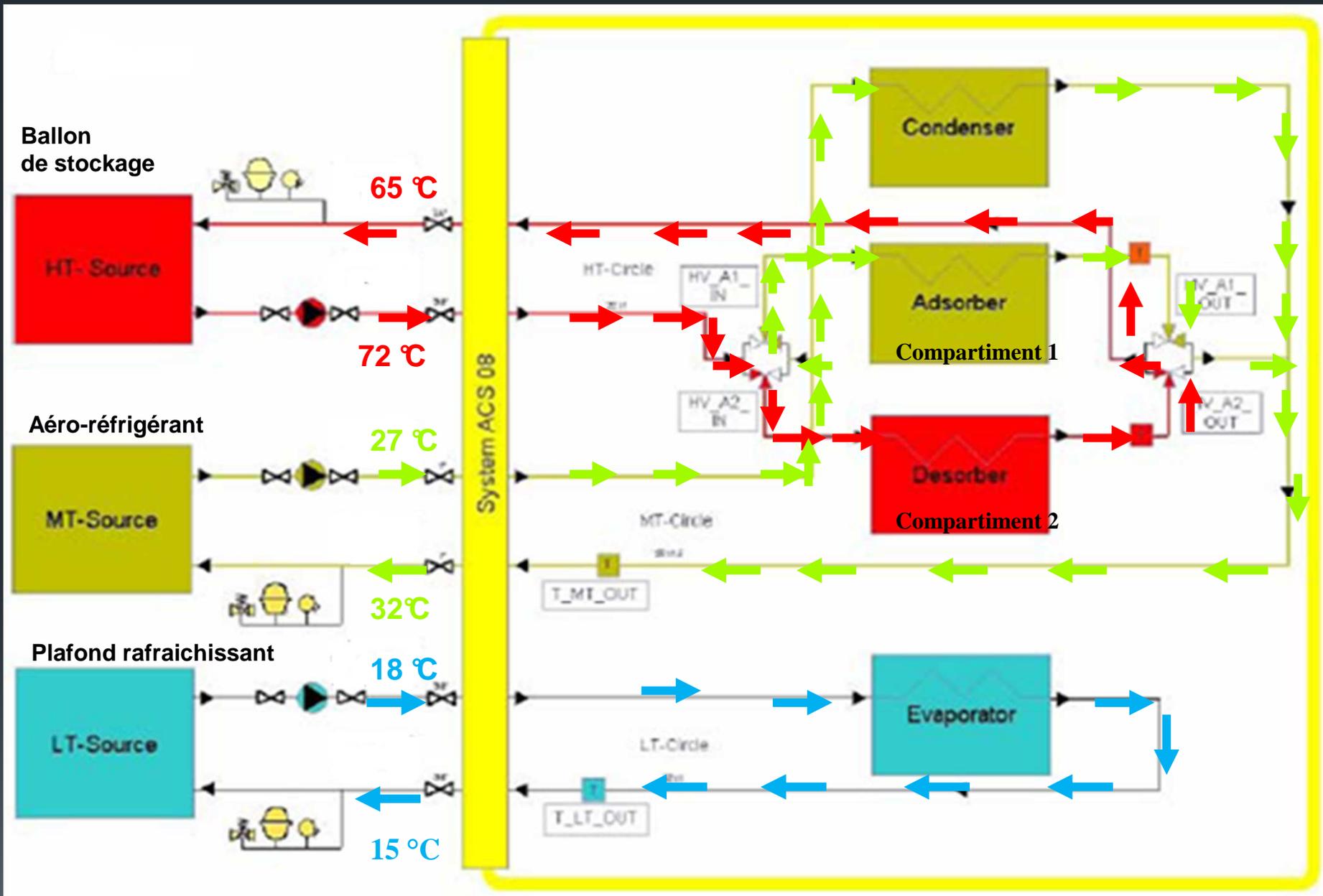


Avantages :

- ☞ Pas de pompe à solution => consommation électrique réduite.
- ☞ Robustesse de la machine.
- ☞ Aucun danger de cristallisation => pas de contraintes sur la température intermédiaire de refroidissement.

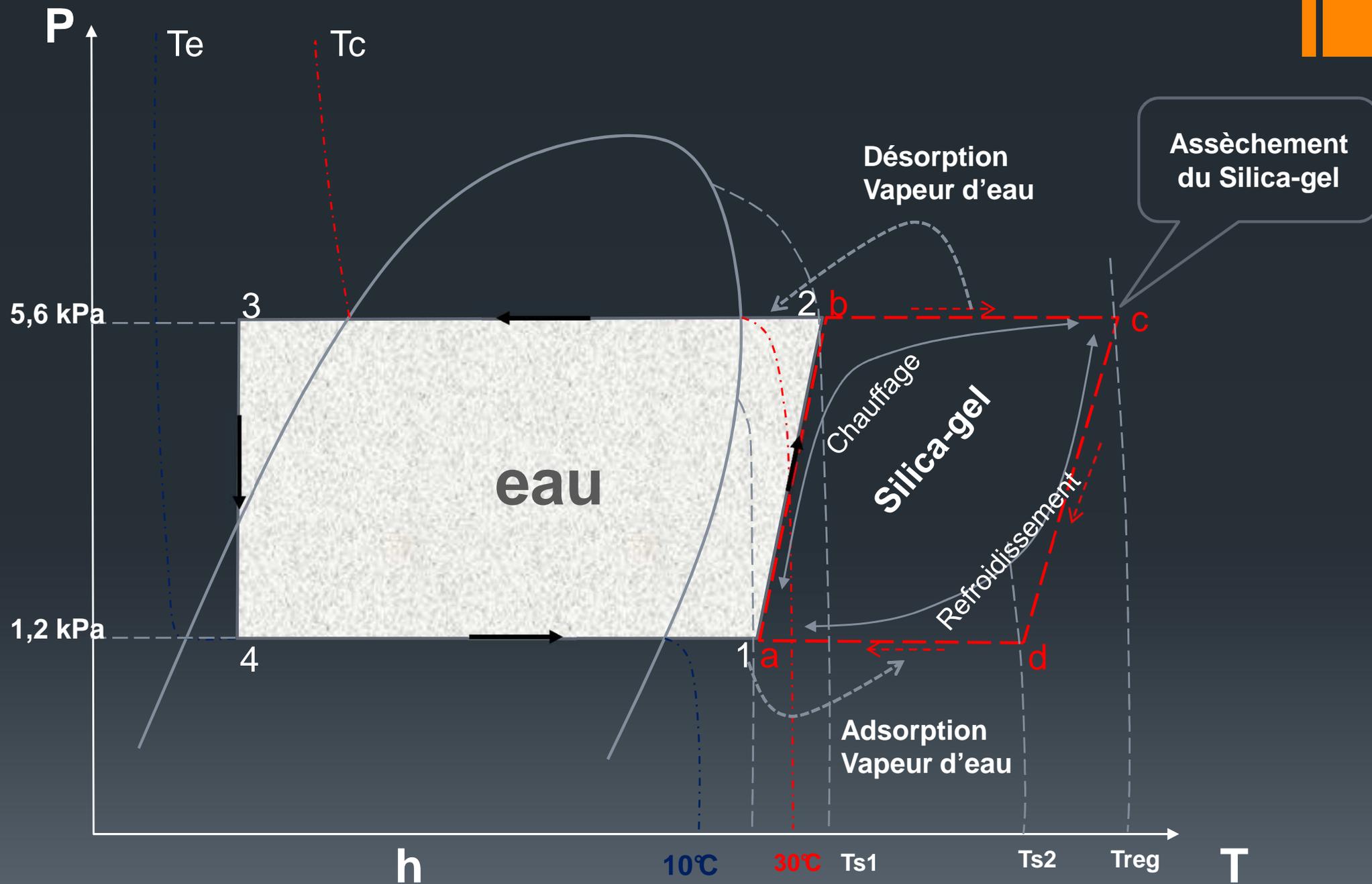
fonctionnement de la machine à adsorption





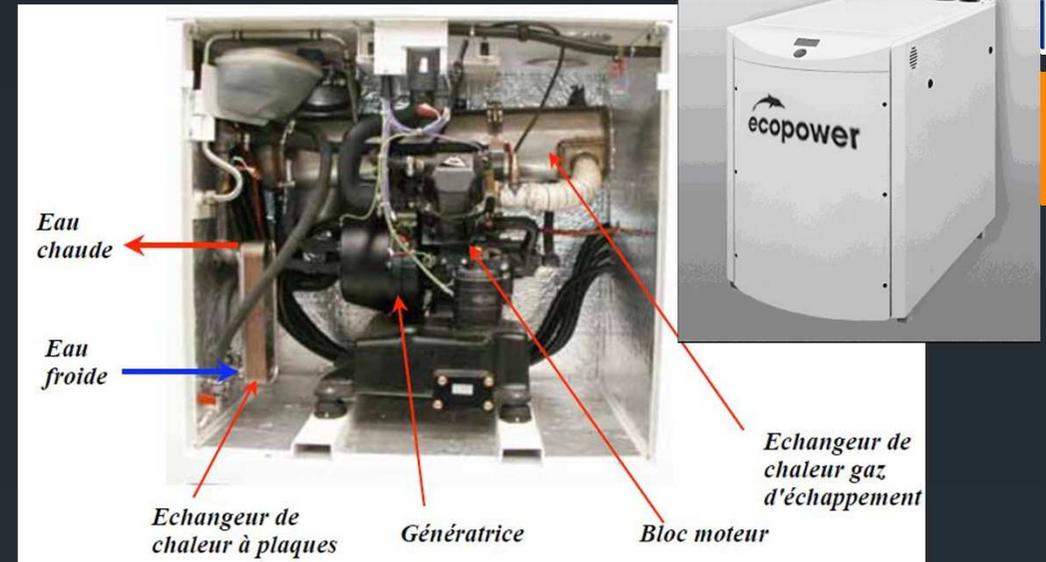
Compartment 1 = adsorber
compartment 2 = désorber

Représentation du cycle de la machine frigorifique à adsorption sur un diagramme P-h / P-T



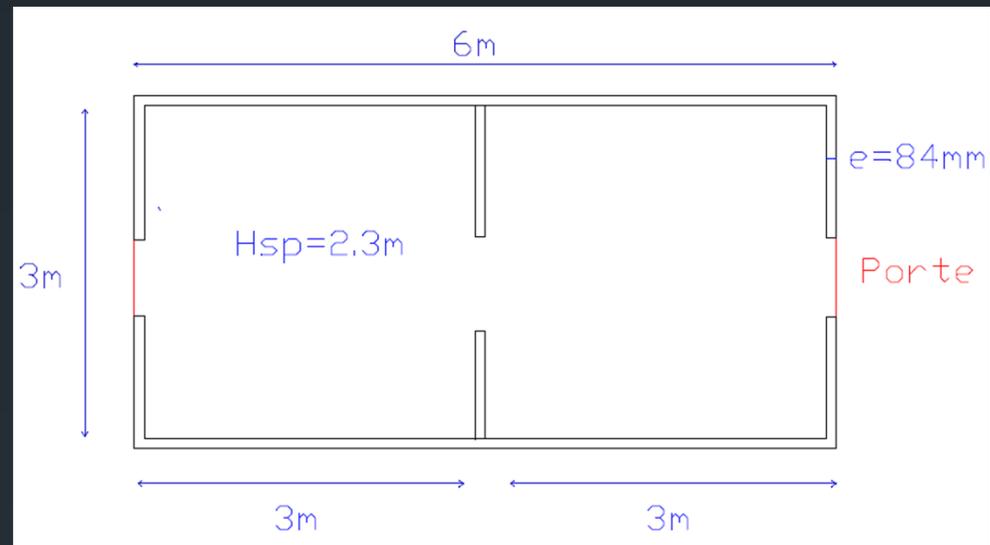
La cogénération d'énergie

Moteur à gaz avec production combinée d'électricité (4,7 kW) et de chaleur (12,5 kW) par récupération sur gaz d'échappement et sur refroidissement du moteur permettant d'atteindre un rendement global de 90 %.



Electrical Power (depending on atmospheric density and gas quality)	2.0 - 4.7 kW NG / 2.2 - 4.7 kW LPG (1.3 - 4.7 kW / 1.4 - 4.7 kW modulating)
Thermal Output	6.6 to 12.5 kW NG / 6.6 - 13.8 kW LPG
Overall Efficiency	> 90% (~25% elec. ~65% thermal)
Gas Consumption	31.07 - 67.09 ft ³ /h NG 1.68 - 3.42 lb./h LPG
Single cylinder 4-stroke reciprocating engine	270 cm ³ Lambda = 1
Variable engine speed	1,700 - 3,600 RPM
Fuel	Natural gas, liquefied gas (propane)
Exhaust gas temperature	< 194 ° F (< 90 ° C)
Exhaust Gas Figures (at 5% O ₂)	NOx < 1.09 mg/ft ³ CO < 11.33mg/ft ³
AC Power-parallel operation ready for connection	Single Phase 230 V 50/60 Hz PF = 1
Sound pressure	< 56 dB (A)
Dimensions (Height x Width x Depth)	54 x 30 x 43 in. (137 x 76 x 109 cm)
Weight	858 lbs. (390 Kg)

LA CHAMBRE CLIMATIQUE

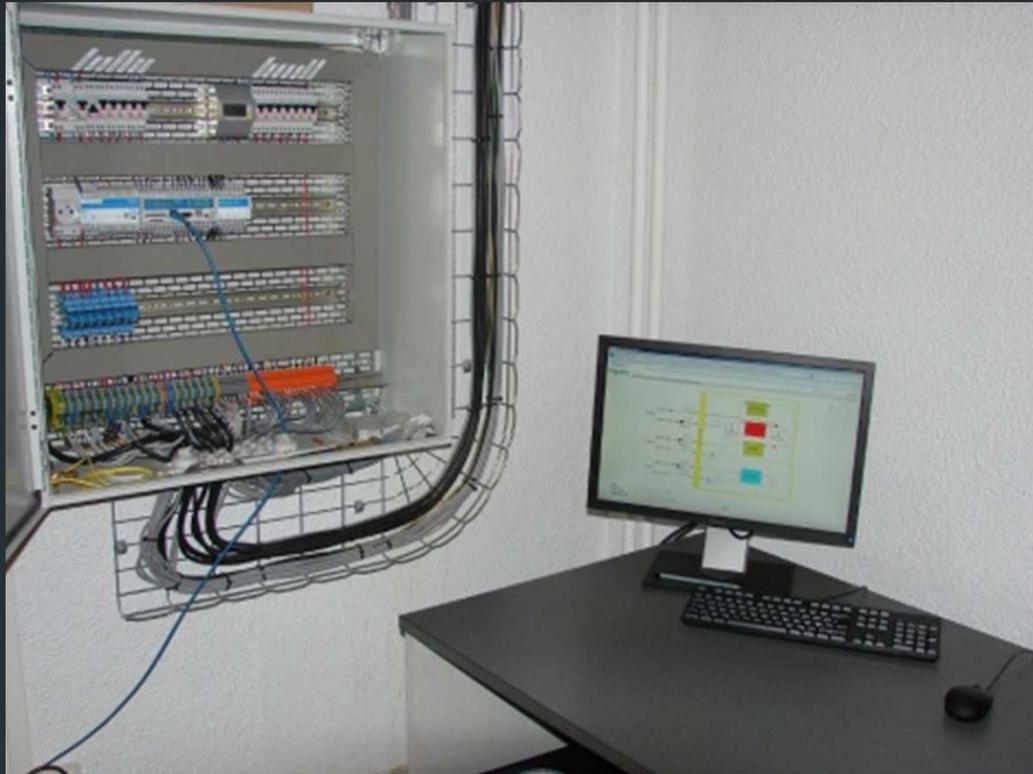


Matériau : NOVATOP

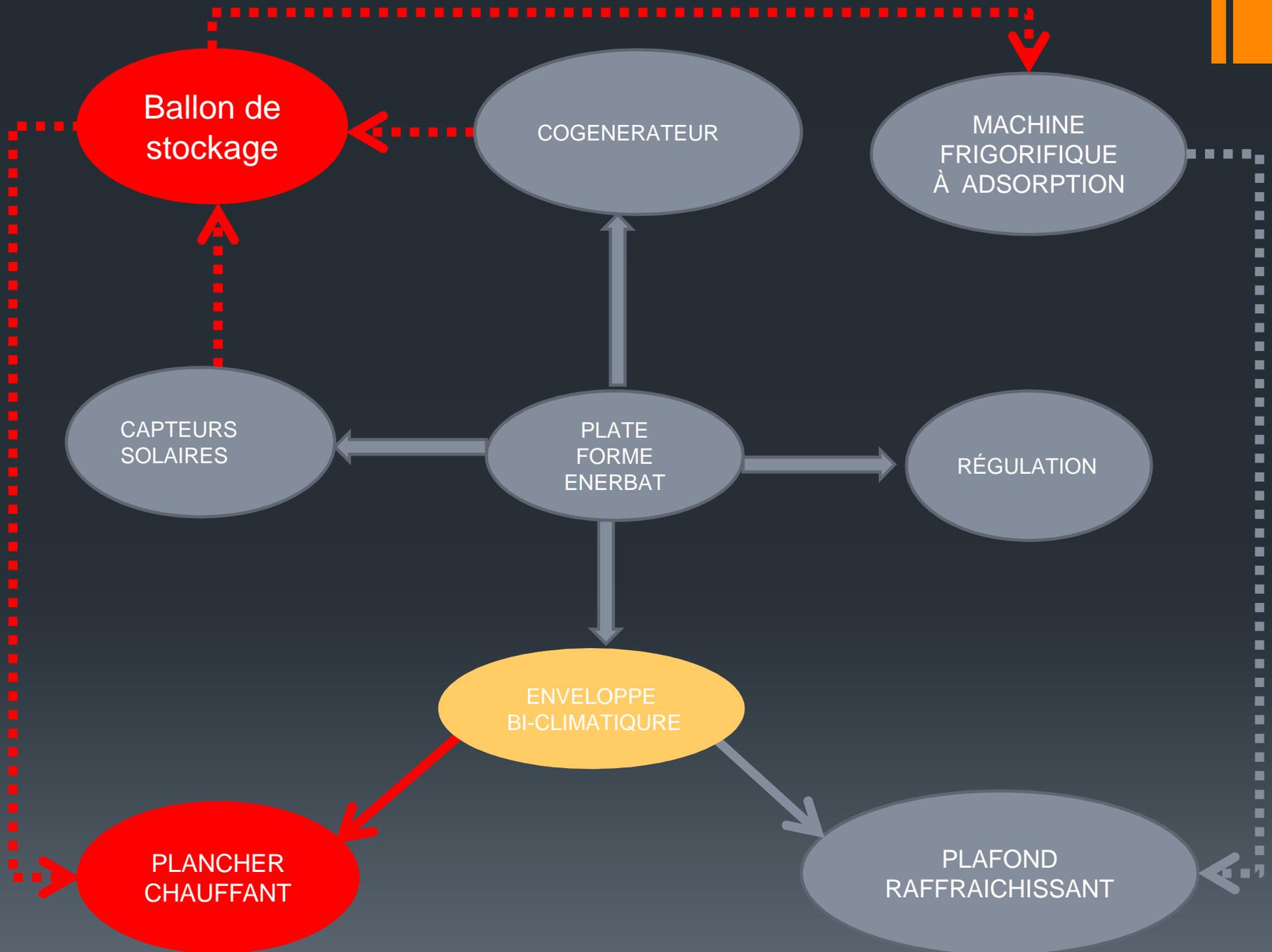
- Plaques de bois massif lamellé et contrecollé
- Matériau entièrement naturel (recyclable)
- Meilleur rapport coût-isolation thermique-déphasage
- Faible inertie d'ensemble
- Labélisé PEFC (forêt durablement gérée) et Nature+

- La chambre climatique est divisée en un compartiment chaud comprenant un plancher chauffant et un compartiment froid comprenant un plafond rafraichissant par une cloison avec un espace libre central de 0.8 m x 1.5 m où peut se loger des plaques de matériaux isolants ou de construction sujets à caractérisation.
 - Plancher chauffant (chape anhydrite) de marque Knopt.
 - Plafond rafraichissant (3,1 kW – 15/18°C) composé de dix modules placés sur deux lignes en parallèles de cinq panneaux en séries d'une puissance froid de 310W/panneau et d'une surface de 0,72m²/panneau.
- Ventilation à débit variable jusqu'à 140 m³/h avec un taux de renouvellement d'air de près de 3,5 V/h.
 - Ceci permet de simuler l'influence du renouvellement d'air sur l'inertie d'une maison (en intégrant une charge dans le compartiment) ou encore sur le taux d'humidité (en utilisant un humidificateur d'air).

RÉGULATION – GTC/GTB



- Visualisation en temps réel des paramètres de fonctionnement de l'ensemble de installation (températures, débits, puissances)
- Commande des pompes de circulation
- Sauvegarde des données



1000W/m²



CAPTEURS SOLAIRES

AÉROTHERME CHAUD



AÉRO-RÉFRIGÉRANT



BALLON DE STOCKAGE



MACHINE FRIGORIFIQUE À ADSORPTION



20 kW_{th}



COGÉNÉRATEUR À GAZ

GAZ NATUREL

Pertes 11kW_{th}

27 kW_{th}

5 kW_{el}

13 kW_{th}

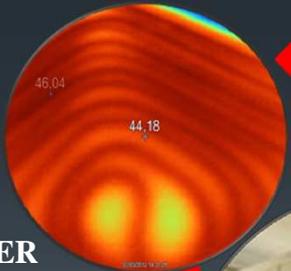
Pertes 2 kW_{th}

13,5 kW_{th}

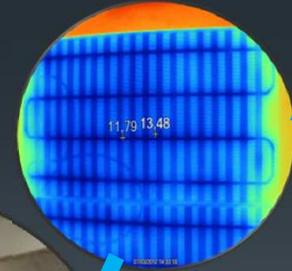
21,5 kW_{th}

35 °C < T_{EAU CHAUDE} < 45 °C

9 °C < T_{EAU FROIDE} < 11 °C



PLANCHER CHAUFFANT



PLAFOND RAFFRAICHISSANT

-8 kW_{th}

-6 kW_{th}

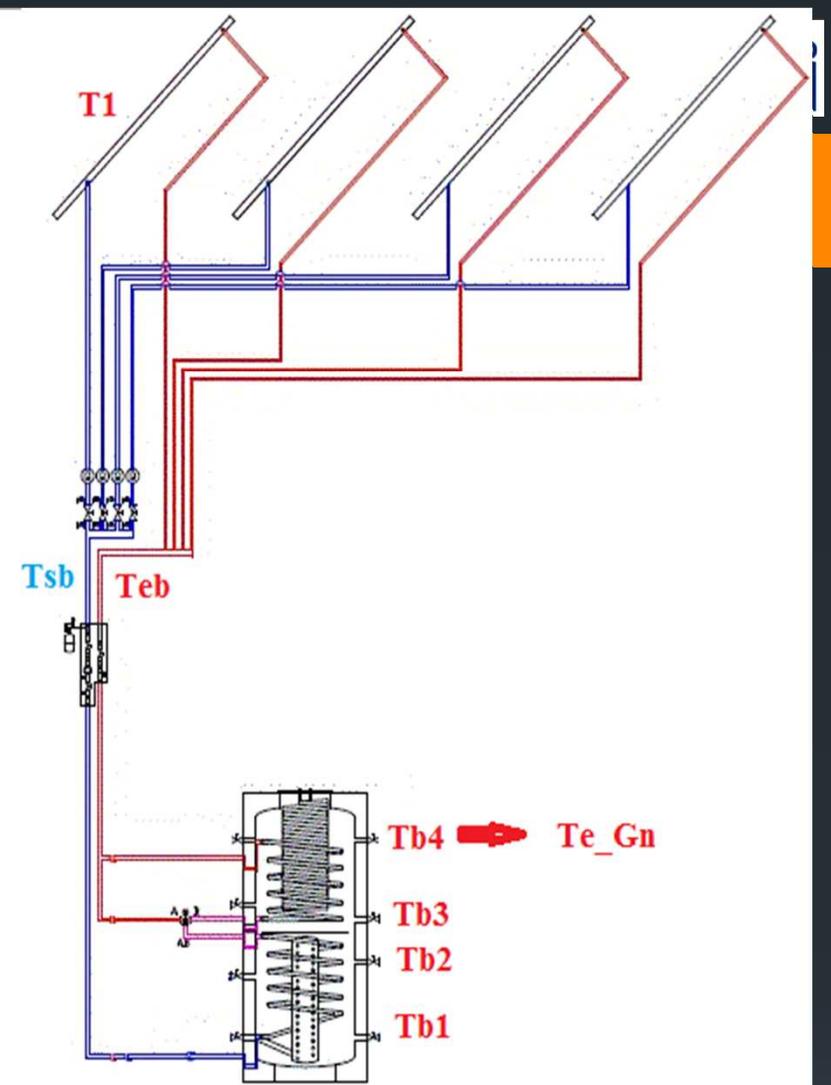
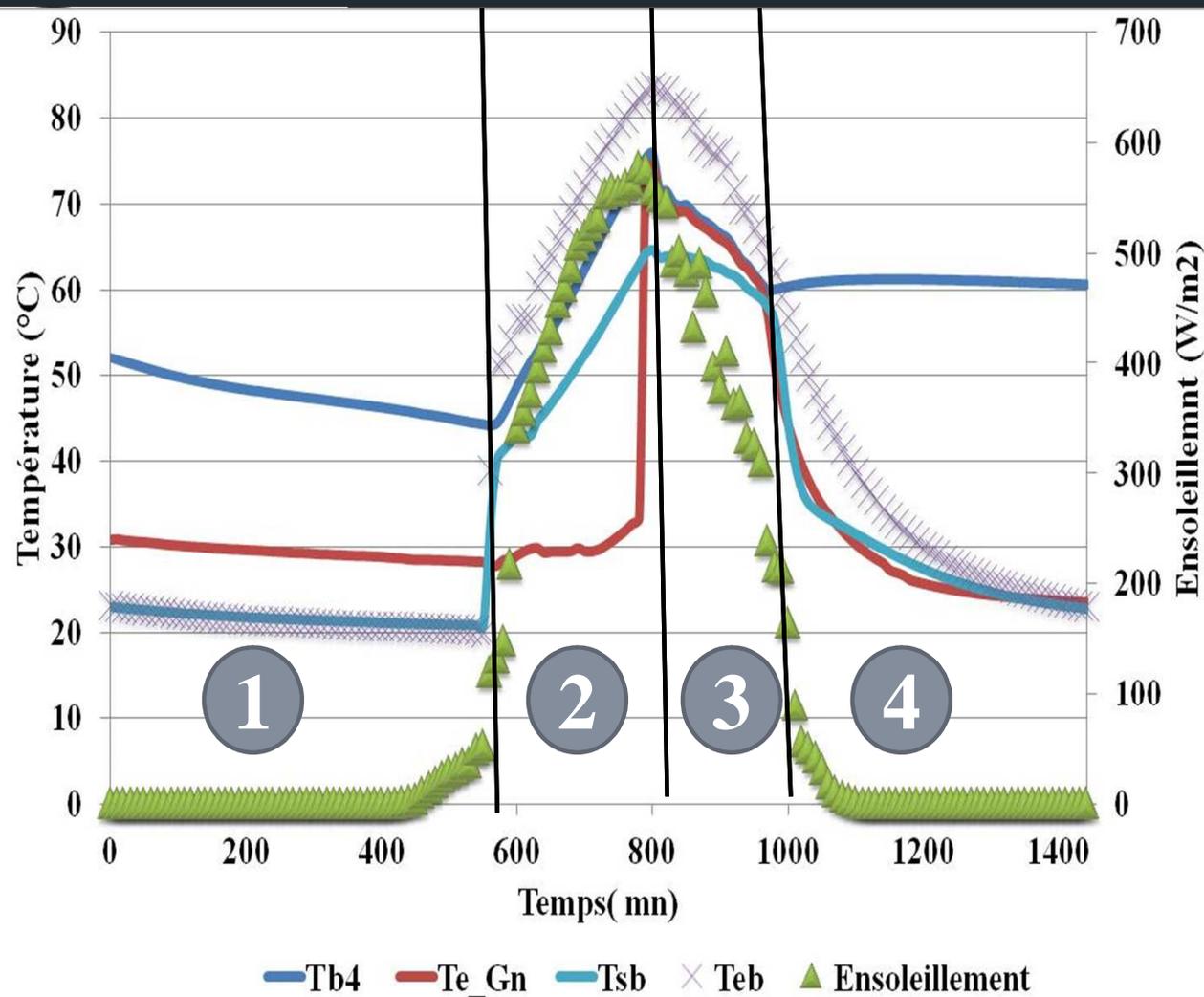
-2 kW_{th}



ENCEINTE BI-CLIMATIQUE

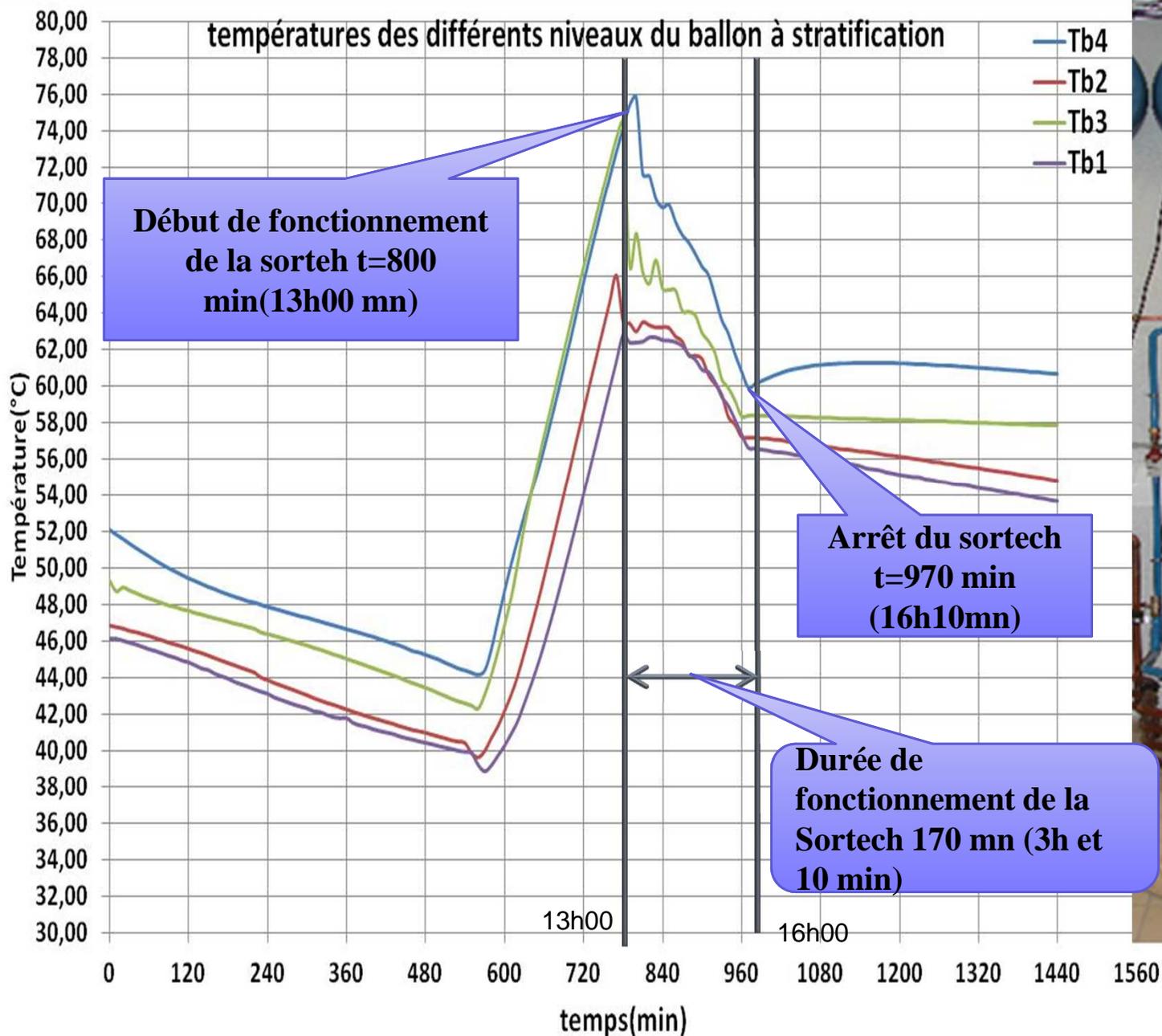


AÉROTHERME FROID

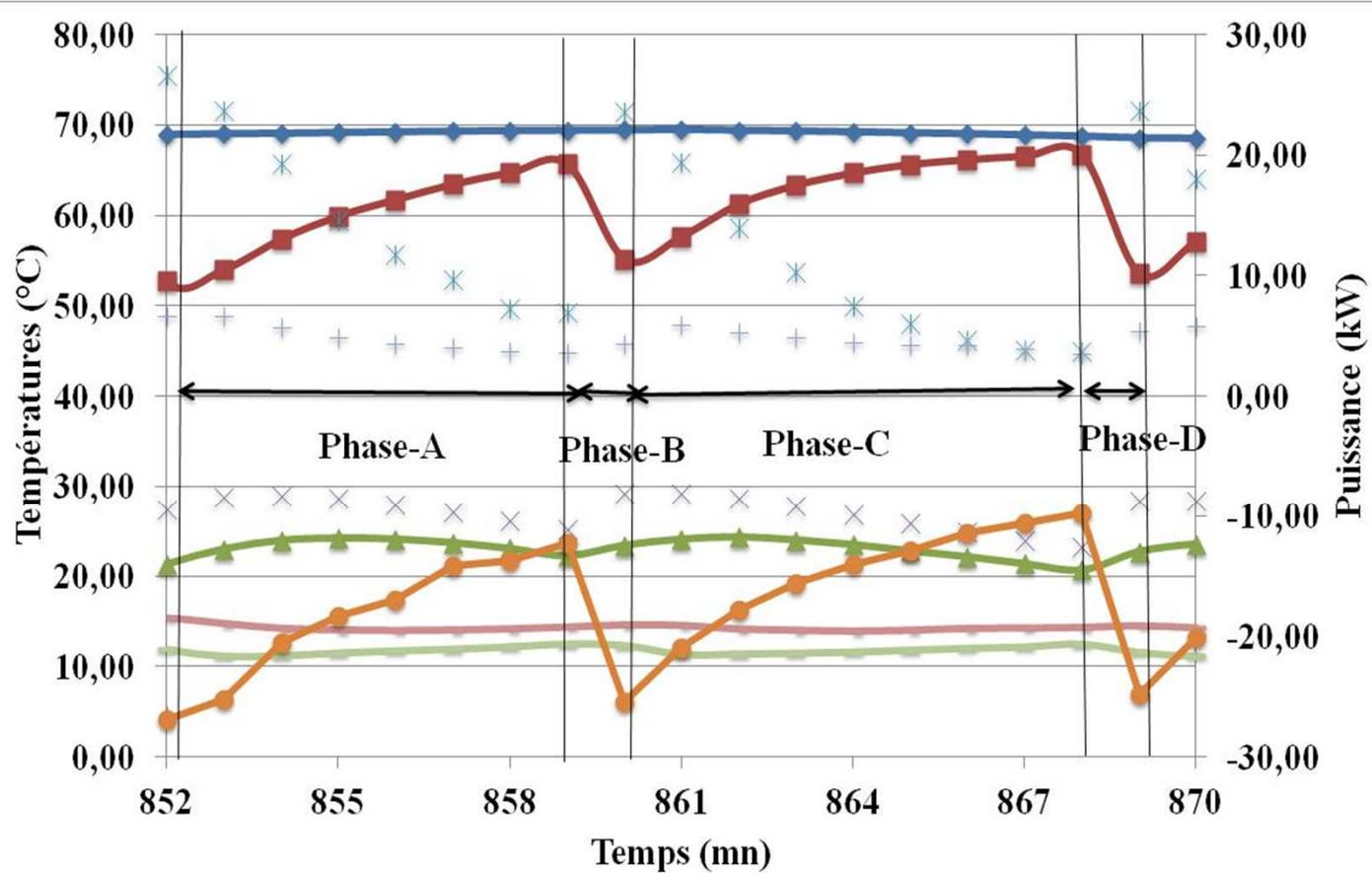


On distingue 4 phases:

- Déperdition thermique (570 mn)
- Alimentation solaire (210 mn)
- Production du froid (200 mn)
- Arrêt de la sortech (460mn)



Fonctionnement de la Sortech : $75^{\circ}\text{C} < \text{Tb4} < 94^{\circ}\text{C}$
 Arrêt sortech : $\text{Tb4} < 60^{\circ}\text{C}$ ou $\text{Tb4} > 94^{\circ}\text{C}$



× Ts_Cd — Te_Gn — Ts_Gn — Te_Cd — Te_Ev — Ts_Ev × P_Gn — P_Cd + P_Ev

phase	Processus
B	Pré-réchauffage (lit A)/pré-refroidissement (Lit B)
C	désorption (Lit A)/adsorption (Lit B)
D	Pré refroidissement (Lit A)/préchauffage (Lit B)
E	Adsorption (Lit A)/désorption (Lit B)

phase	A	B	C	D
Durée (mn)	7	2	7	2

Un pincement de 3 °C est nécessaire

$$P = P_{sat} \cdot \exp\left[-\left(\frac{1}{T + 273}\right) \cdot \left(\frac{1}{D} \cdot \ln\left(\frac{\rho_1 \cdot v_0}{w}\right)\right)^{\frac{1}{n}}\right]$$

La pression vapeur saturante d'eau est calculée comme suit :

$$P_{sat} = 133.32 \cdot e^{\left(18.3 - \frac{3820}{T + 226.9}\right)} \cdot 10^{-5} \quad (T \text{ en } ^\circ\text{C})$$

$\rho(T)$: Masse volumique de réfrigérant (kg/m³)

T : Température (°C)

P_s : Pression de vapeur saturante du réfrigérant (bar)

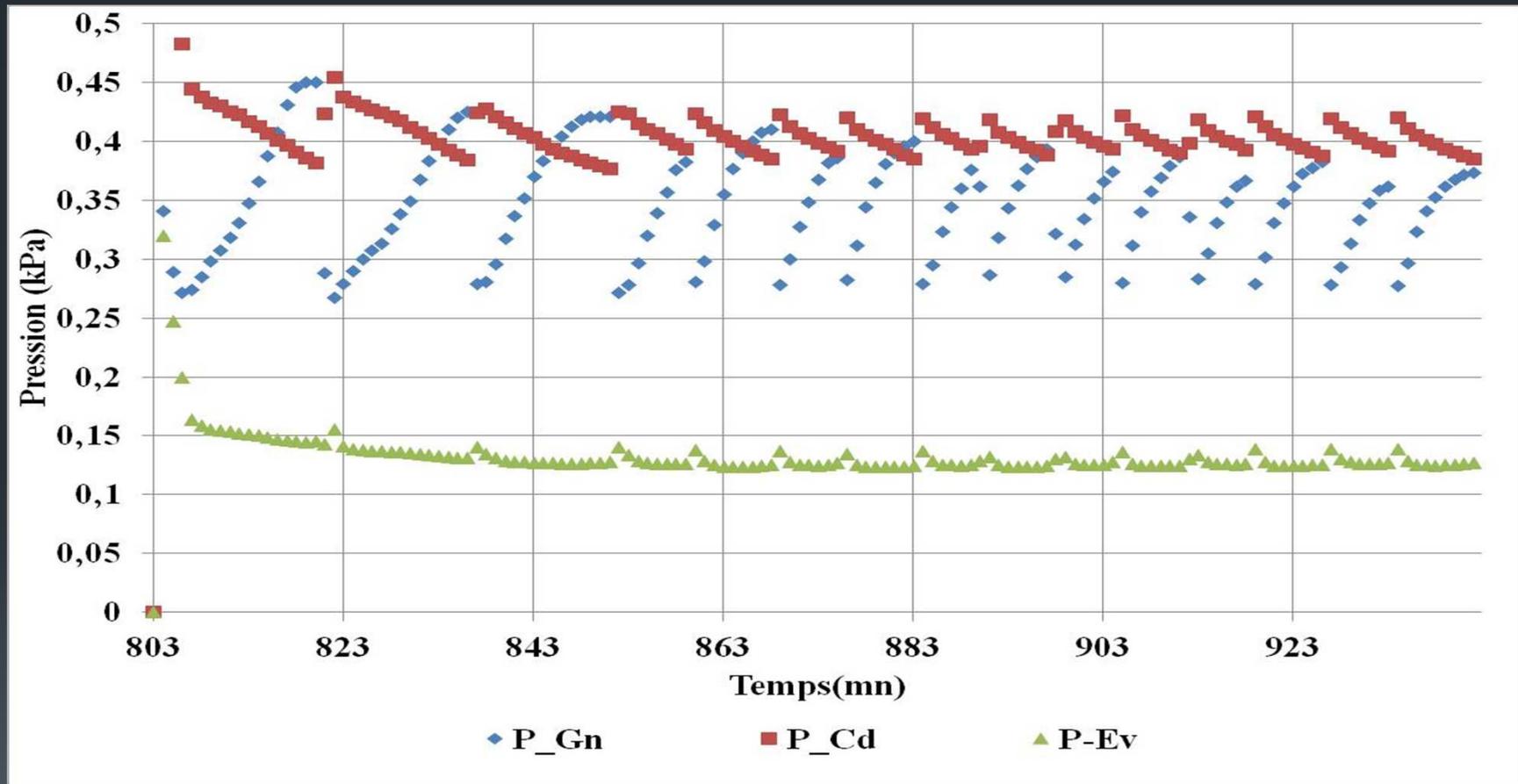
P : Pression du réfrigérant (bar)

v_0 : volume maximale adsorbable [m³ de réfrigérant/kg d'adsorbant]

Valeurs indicatives des paramètres de l'équation

Couple Adsorbant/Réfrigérant	paramètre n	paramètre D	paramètre vo (m ³ /kg)
Silica-gel/eau	1.7	6.00E-06	3.50E-04

Evolution de la pression



calcul de la masse totale d'eau adsorbée dans le générateur

Modèle de Dubinin-Astakhov :

Avec w est la quantité de réfrigérant dans l'adsorbant pour 1kg d'adsorbant:

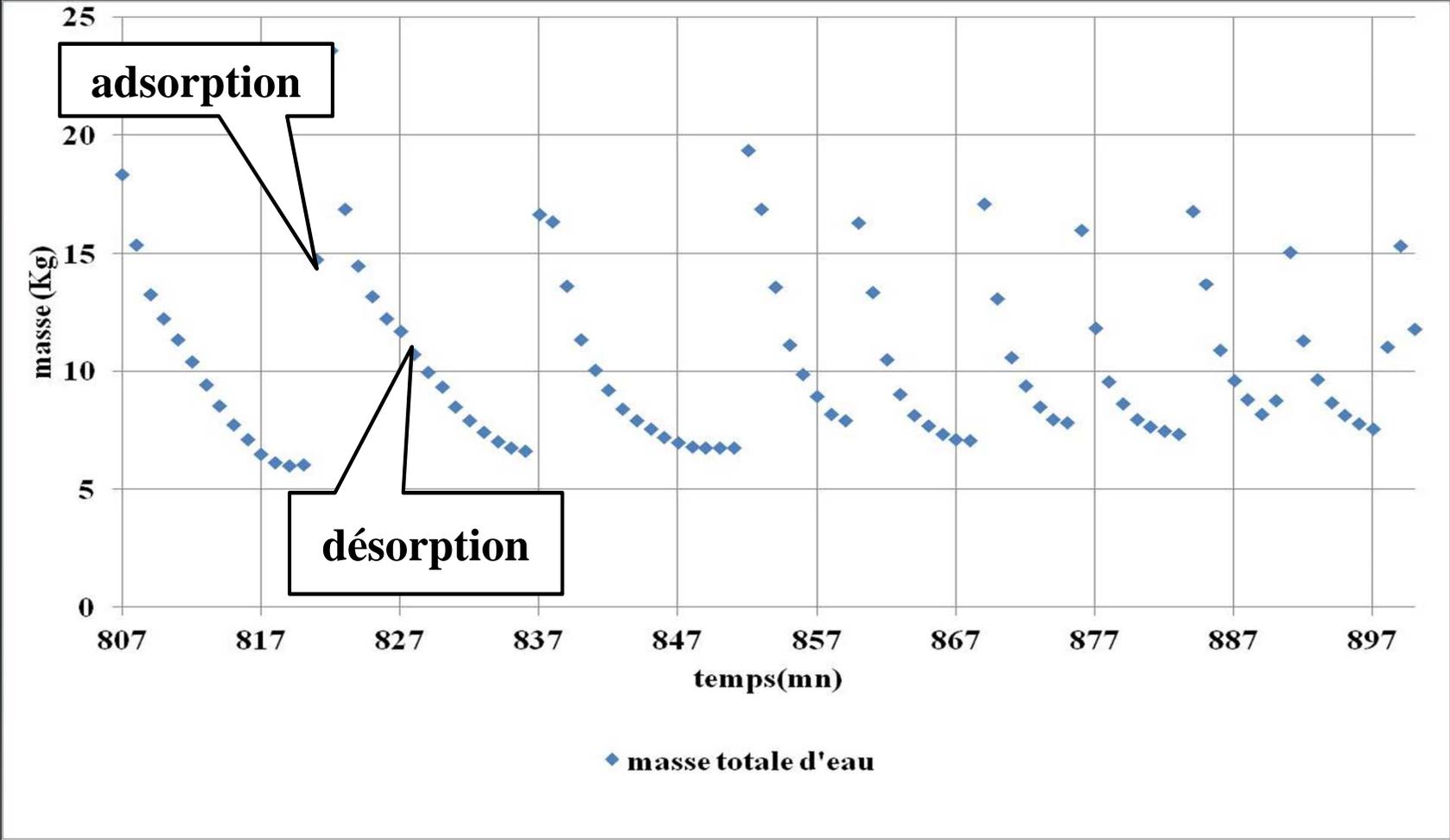
$$w(T, P) = m_a * v_0 \cdot \rho(T) \cdot \exp \left[-D \cdot \left(T \cdot \ln \frac{P_s(T)}{P} \right)^n \right]$$

La masse totale de l'eau dans le générateur est déterminée par la relation suivante :

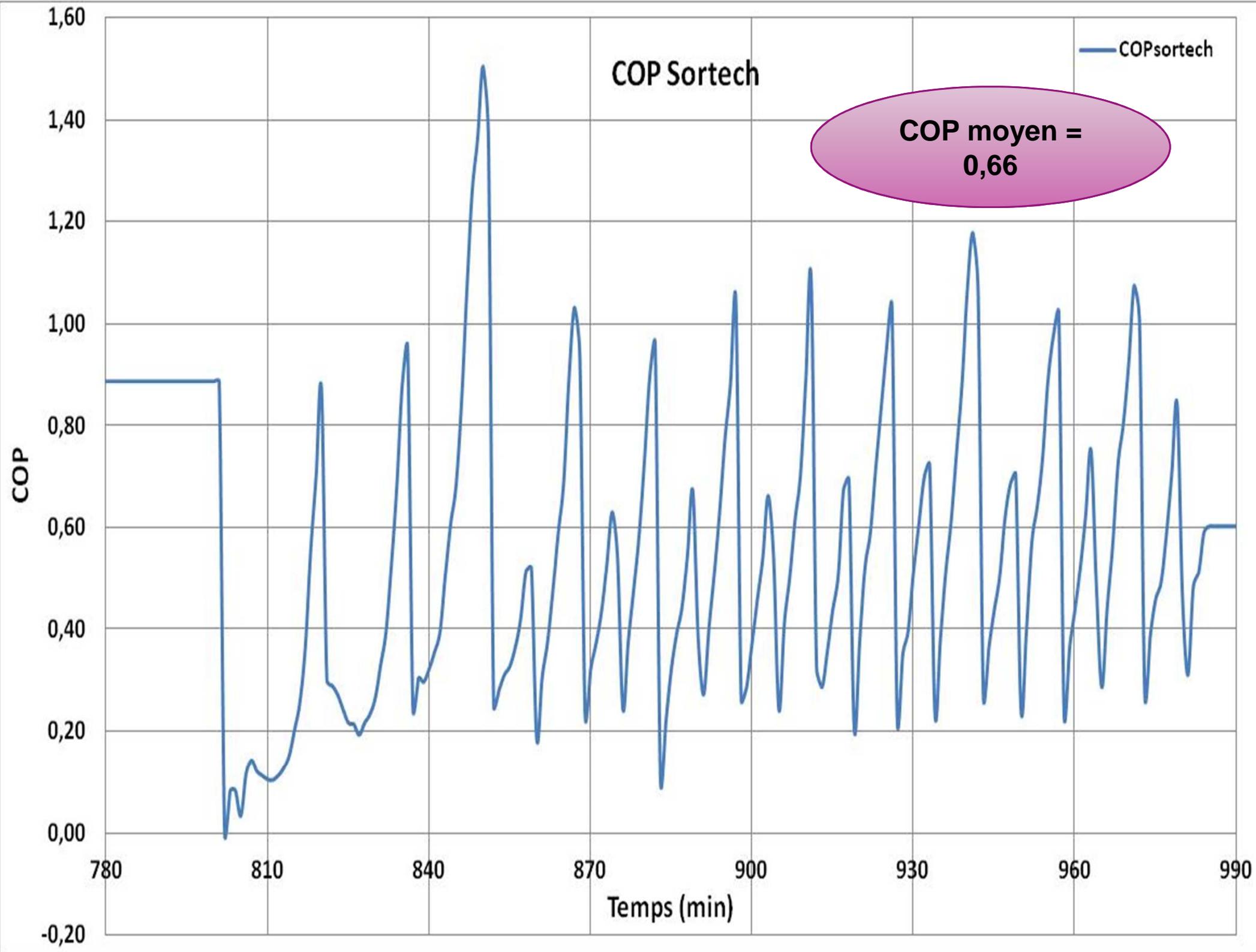
$$\text{Masse totale d'eau adsorbée} = w * m_a$$

m_a : masse de silicagel (50kg)

Masse totale de l'eau adsorbée

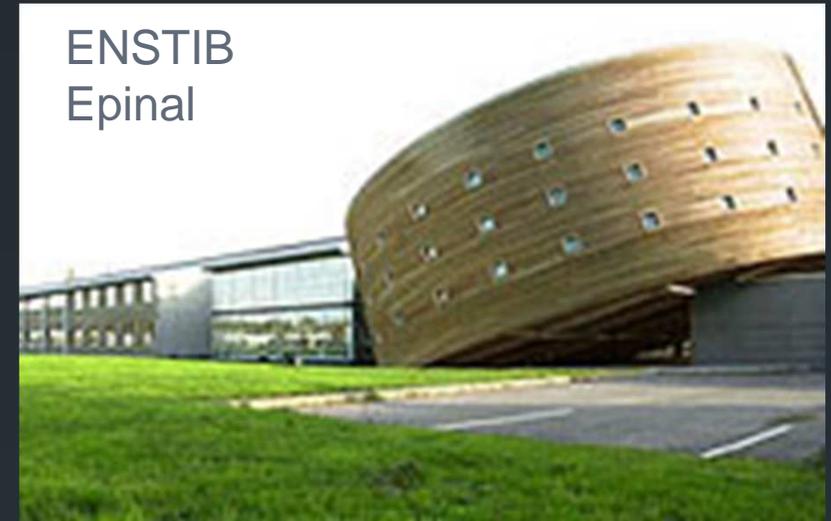


Masse totale d'eau adsorbée : 23,58-15,34



LERMAB

L_{ongwy}/E_{pinal}/N_{ancy}



Merci pour votre attention.

Prof. Riad BENELMIR

Université de Lorraine / University of Lorraine
Faculté des Sciences et Technologies / Faculty of Sciences and Technologies
LERMAB (EA 4370)

Boulevard des Aiguillettes - BP 239
54506 Vandoeuvre-les-Nancy Cedex
France

Bureau/Office : +33 (0)383 68 48 57

Mobile : +33 (0)6 79 60 41 34

Email: riad.benelmir@univ-lorraine.fr