



HAL
open science

Modélisation et optimisation thermodynamique du couplage entre un stockage thermique MCP et un moteur ERICSSON pour favoriser l'intégration des EnR sur le réseau électrique

Doha Kafeh, Samuel Mer, Nathalie Mazet, Régis Olivès, Pierre Neveu, Maxime Perier-Muzet

► To cite this version:

Doha Kafeh, Samuel Mer, Nathalie Mazet, Régis Olivès, Pierre Neveu, et al.. Modélisation et optimisation thermodynamique du couplage entre un stockage thermique MCP et un moteur ERICSSON pour favoriser l'intégration des EnR sur le réseau électrique. Journées Nationales de l'Énergie Solaire (JNES), Jun 2024, Anglet, France. . hal-04692166

HAL Id: hal-04692166

<https://hal.science/hal-04692166v1>

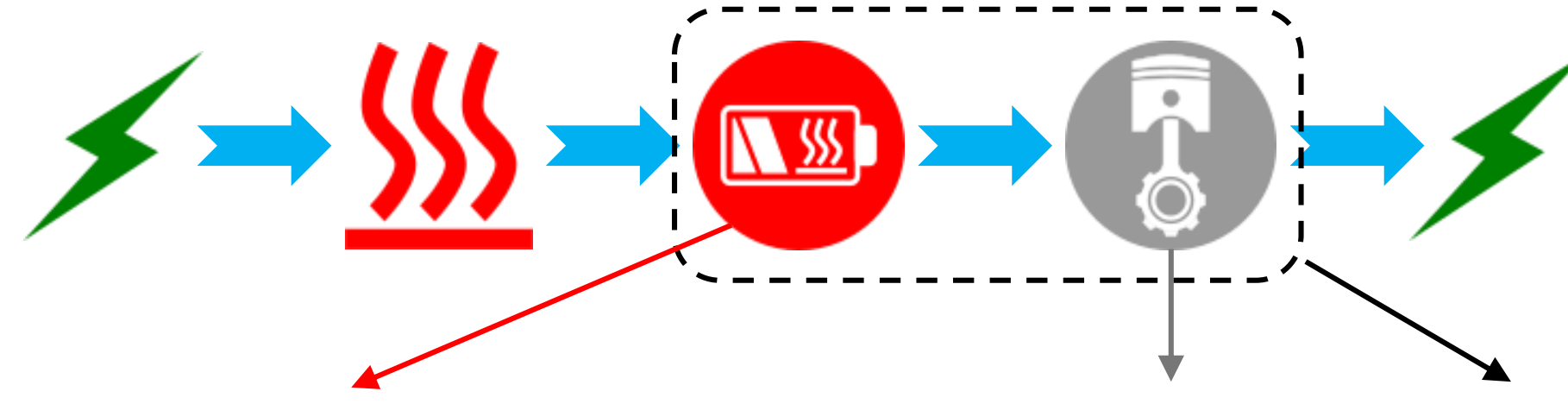
Submitted on 9 Sep 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

CONTEXTE: stockage thermique d'électricité excédentaire du réseau

L'intégration de stockage dans la chaîne de conversion et de distribution de l'énergie est primordial pour gérer les fluctuations de production EnR (Eolien, PV, ...) et satisfaire des demandes variables.



PCM LiOH breveté

Moteur Ericsson

Intégration, optimisation

Le **stockage thermique** est facile à mettre en œuvre, efficace, bon marché et ne nécessite pas de matériaux rares



MODELISATION

Moteur ERICSSON à piston liquide

Hypothèses :

- L'air est un gaz parfait avec $C_p = cte$
- Les pertes par viscosité sont négligeables.
- Les processus de compression et de détente : isentropiques.
- Le refoulement et l'admission de l'air : $P = cte$.

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}$$

$$F_{pression} - F_{gravite} - F_{frottement} - F_{alternateur} = m \frac{d^2x}{dt^2}$$

$$w = \sqrt{\frac{\rho g \frac{\pi D^2}{4}}{m}}$$

Déplacement du piston

$$x(t) = x_{max} + x_{max} \cos(2\pi wt)$$

Pression du compresseur Volume du compresseur

Admission / Echappement

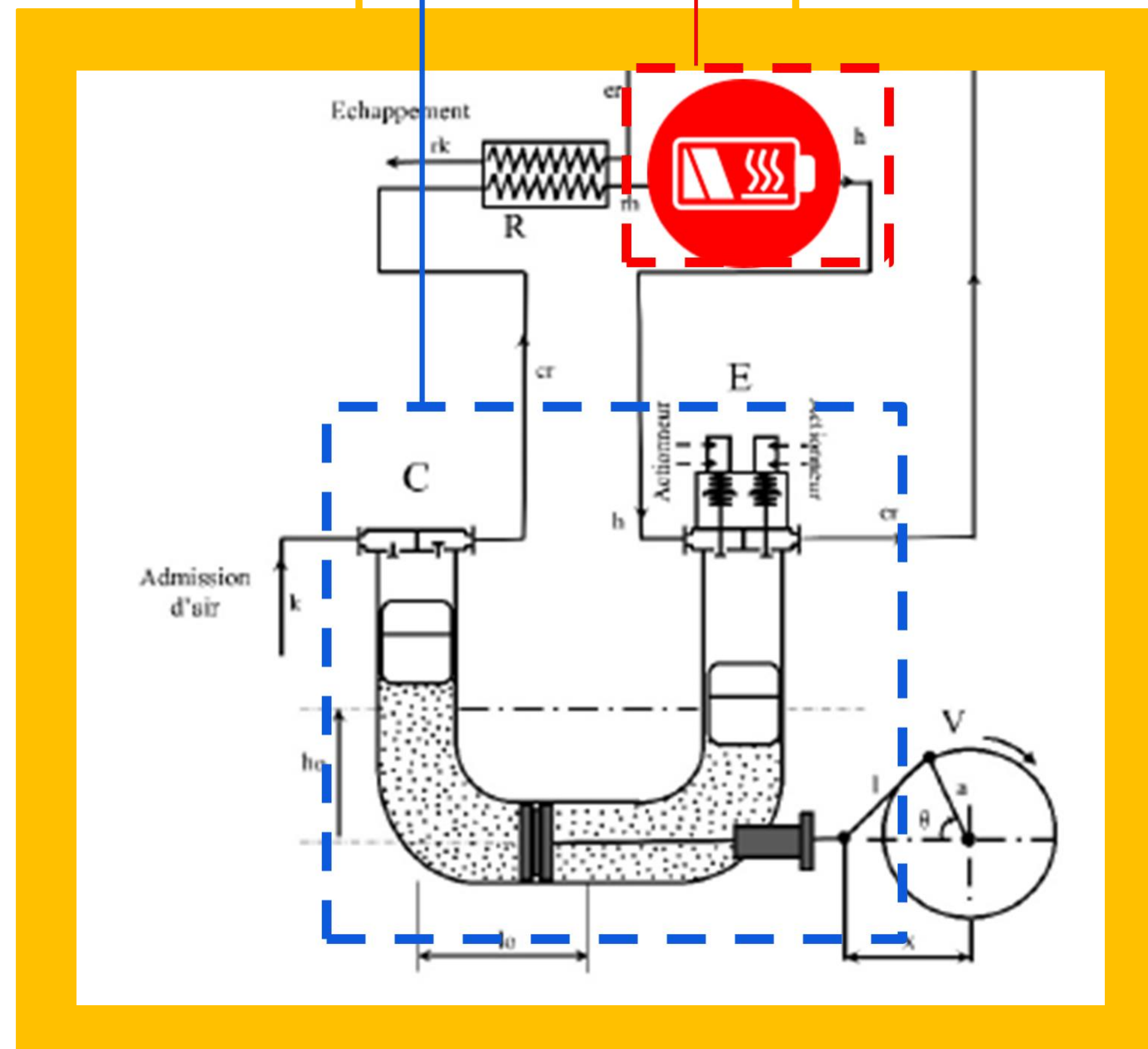
$$P_{atm} / P_{max}$$

Compression / Détente

$$P_{atm} \frac{V_{total}^{\gamma}}{V_c^{\gamma}} / P_{max} \frac{V_{mort}^{\gamma}}{V_c^{\gamma}}$$

$$\dot{W} = -\pi R^2 P_c \frac{dx}{dt}$$

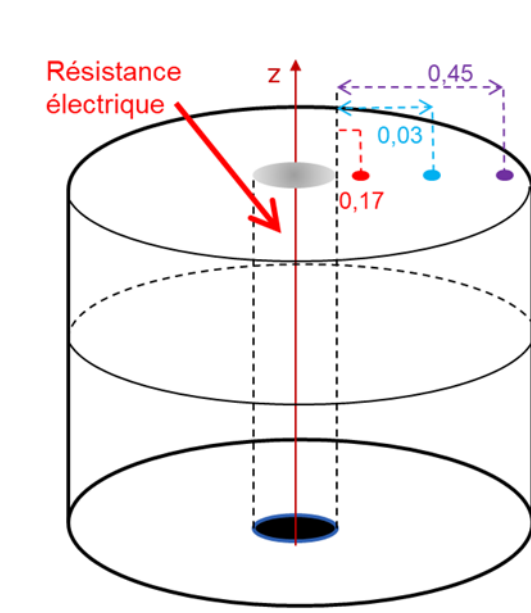
$$V_c = V_m + \frac{\pi D^2}{4} x$$



Stockage thermique PCM : échangeur tube-calandre

Hypothèses :

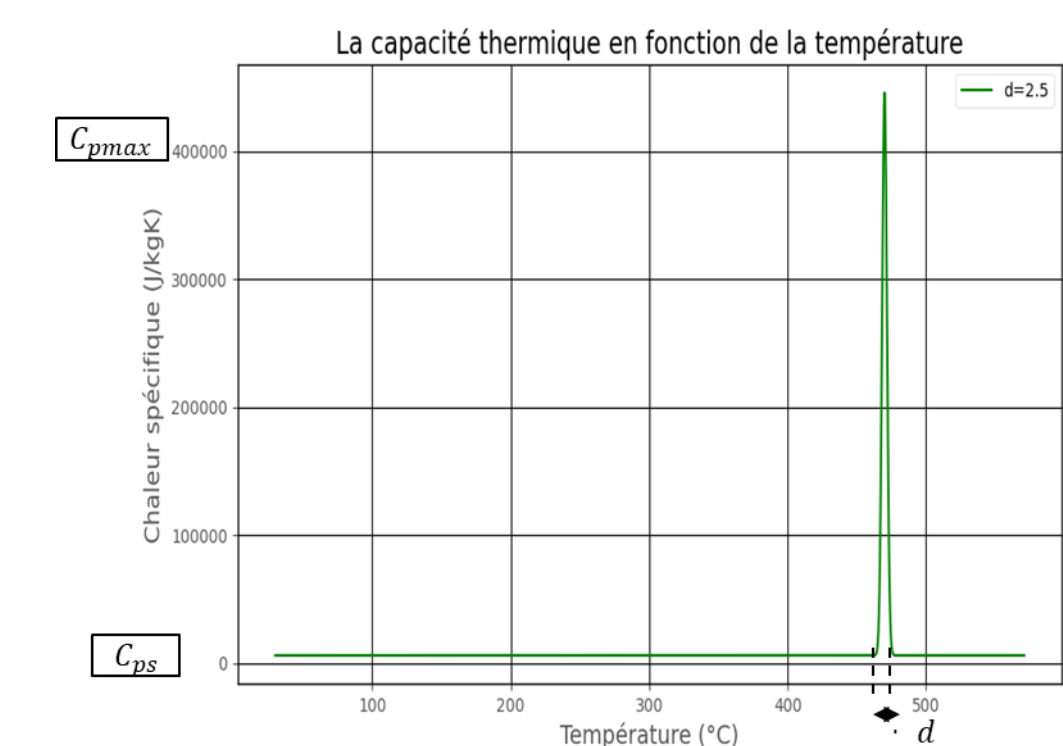
- $T(r, \theta, z) = T(r)$
- $C_{psolide} = C_{pliquide}$
- Enthalpie de changement de phase modélisé par une capacité thermique équivalente $C_p(T)$



Géométrie du tube	
r_{min}	1cm
r_{max}	5cm
l	20cm
Caractéristiques du PCM (LiOH)	
T_{fus}	470°C
C_p	5910 J/kgK
ρ	1455 kg/m ³
λ	10 W/mK
L	1100 kJ/kg

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{\rho * C_p(T)} \left[\frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} \right]$$

$$C_p(T) = \begin{cases} C_{pm} + \frac{L}{d} e^{-\frac{(T-T_{fus})^2}{d^2}} & \text{Si } T_{fus} - \frac{d}{2} \leq T \leq T_{fus} + \frac{d}{2} \\ C_{pl} & \text{Si non} \end{cases}$$

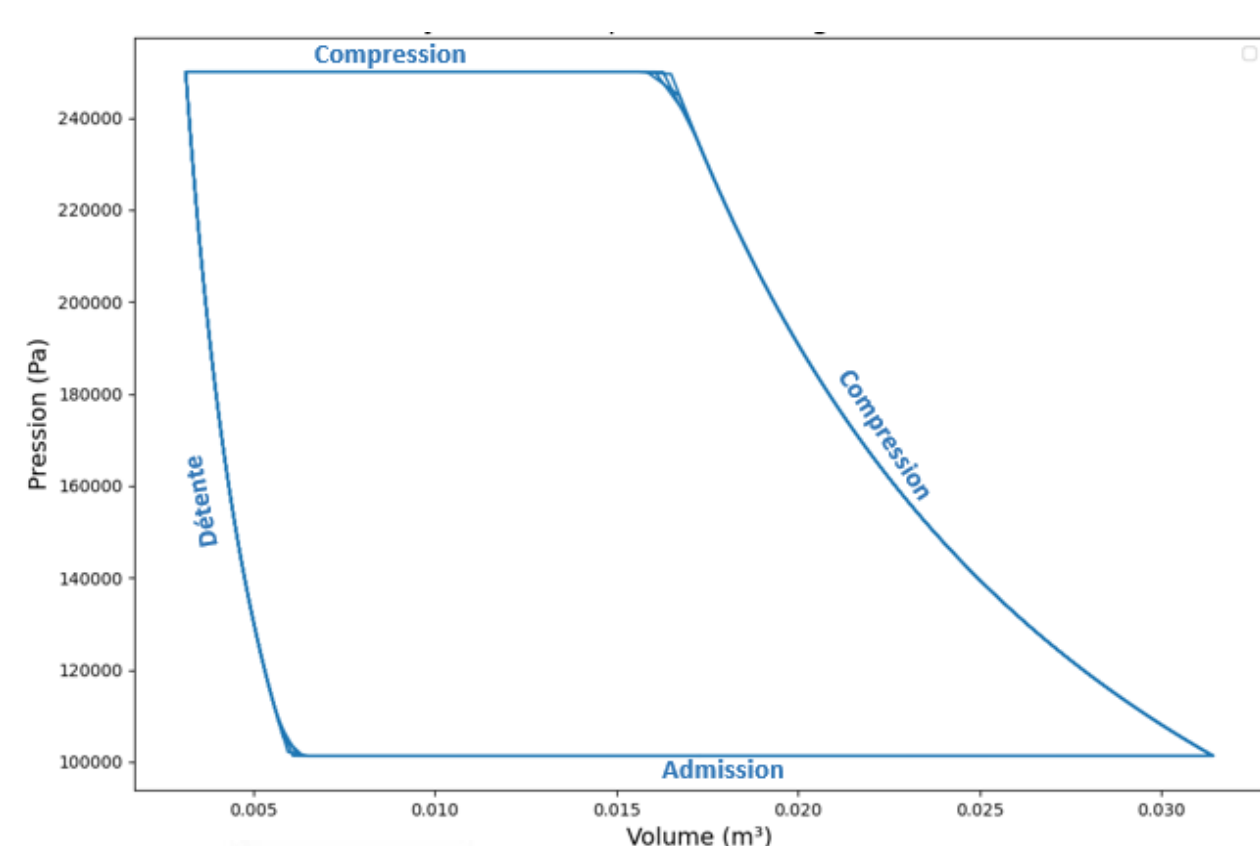


Conditions opératoires « Phase de charge »	
$P_{chauffage}$	860 W
Condition d'arrêt	$T(r = r_{max}) = 550^\circ C$
Conditions opératoires « Phase de décharge »	
h	50 W/m ² K
\dot{m}	0,01 kg/s
Condition d'arrêt	$T_{sortie} = 250^\circ C$

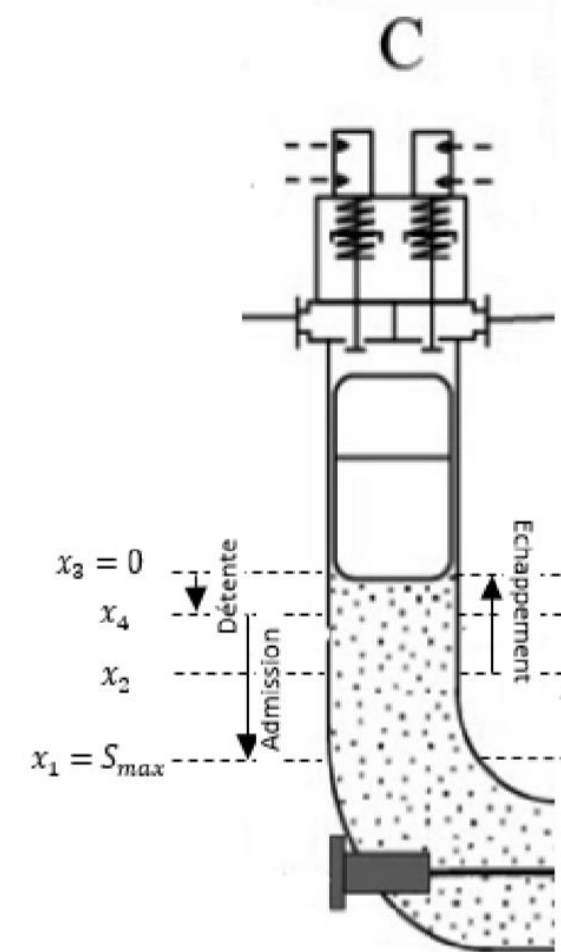
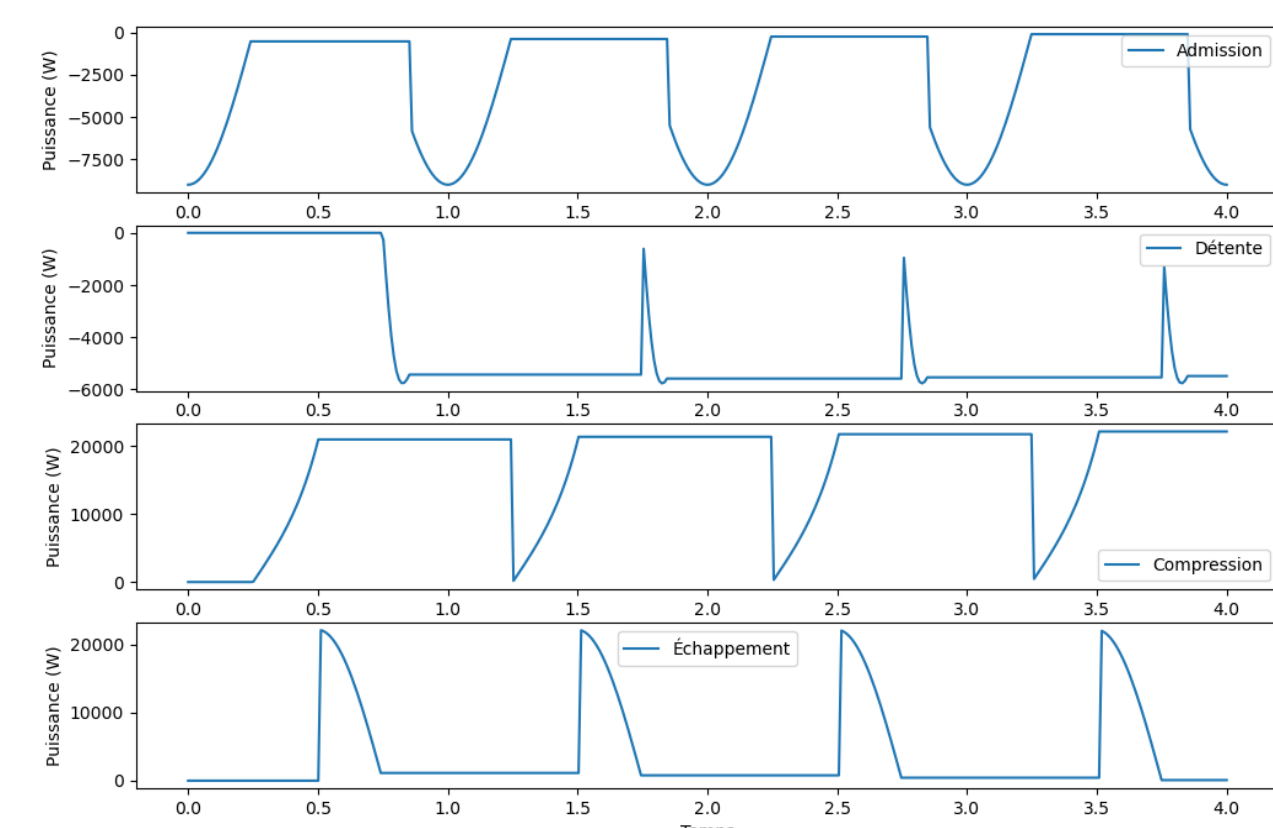
RESULTATS

Moteur ERICSSON à piston liquide : compresseur

Diagramme P-V



Evolution de la puissance mécanique pendant chaque phase du cycle



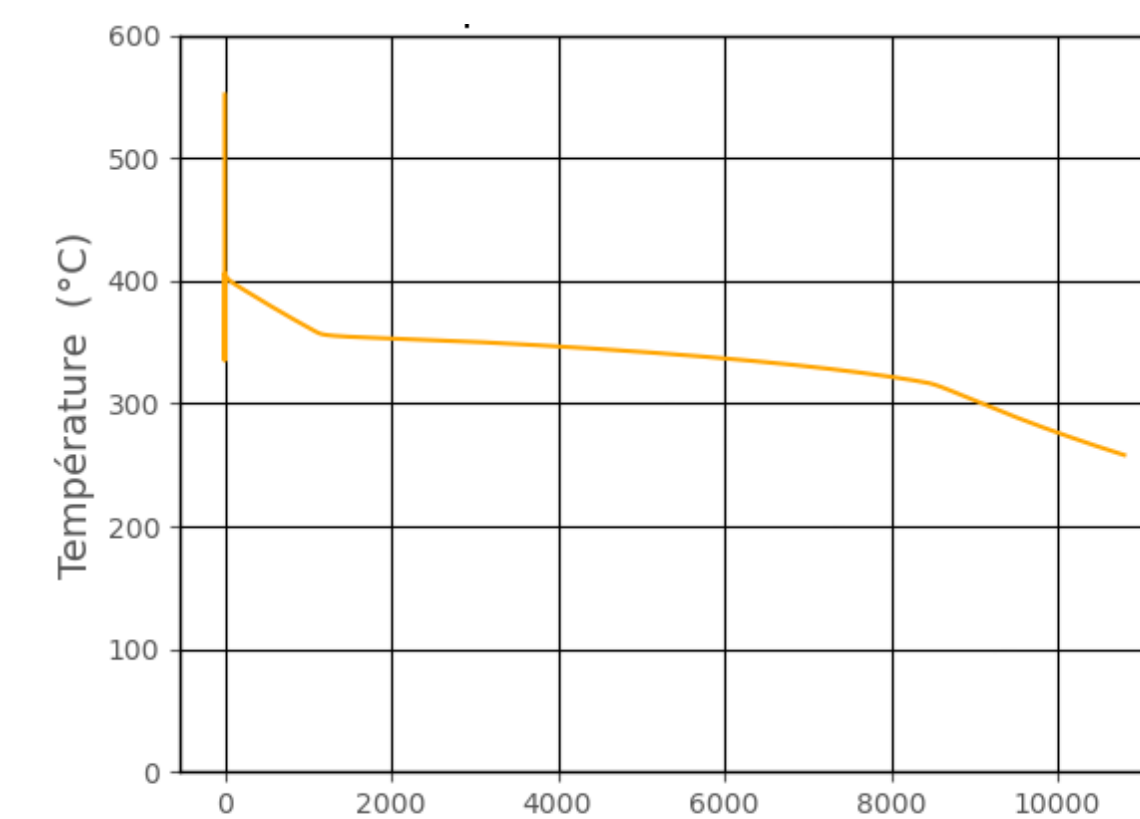
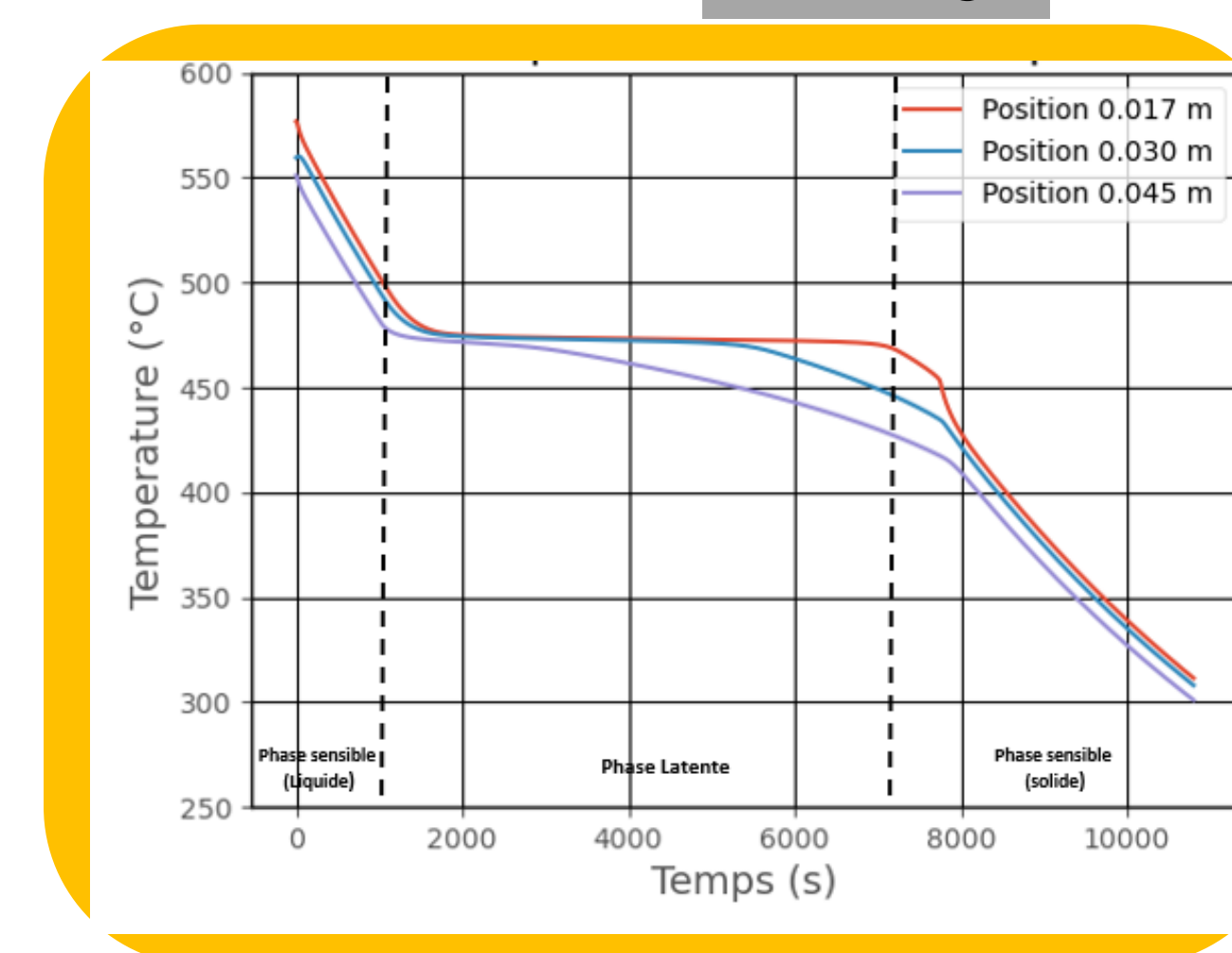
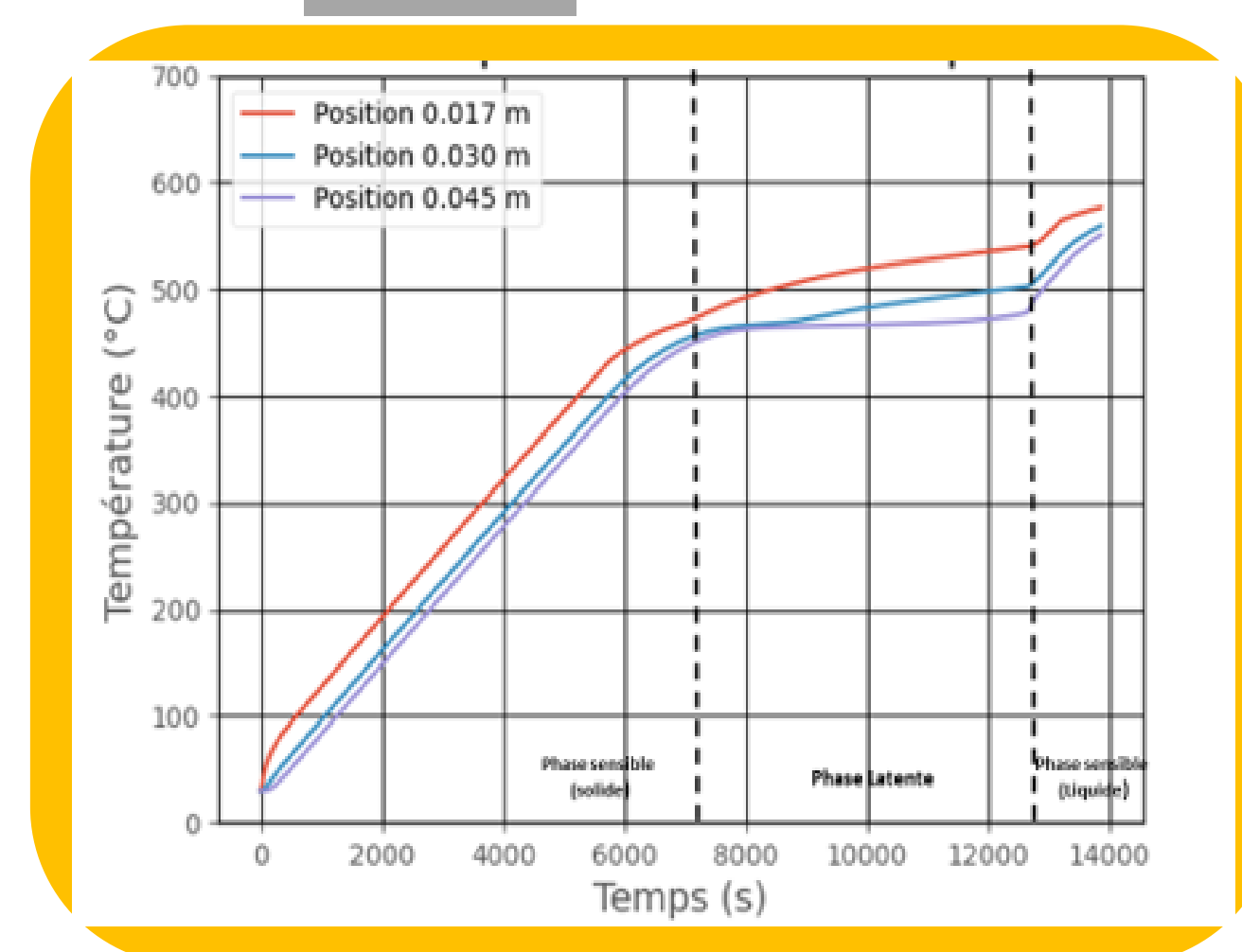
- Les conditions d'ouverture et de fermeture des soupapes du cylindre de compression sont régies par les limites de la position du piston. Cela garantit un fonctionnement synchronisé du compresseur et permet de définir les 4 phases du cycle
- L'évolution de la puissance pendant chaque phase du compresseur indique comment la puissance dépend de la surface du piston, de la pression dans le cylindre, et de la vitesse du piston.
- Cette analyse permet d'identifier les phases critiques pour l'optimisation des performances du compresseur (en perspective)

Stockage thermique PCM : échangeur tube-calandre

Charge

Températures à 3 différentes positions

Décharge



Température de sortie de l'air

- Evolution de la température de sortie de l'air à travers un échangeur tube-calandre équipé de 4 tubes
- La géométrie et le nombre de tubes de l'échangeur sont ajustés pour garantir que la température de sortie de l'air reste supérieure à 250°C durant la décharge

PERPECTIVES

- Modélisation de l'expandeur du moteur Ericsson
- Modélisation globale du système en couplant le compresseur, le stockage et l'expandeur
- Optimisation thermodynamique du couplage pour minimiser la création d'entropie dans le système (2nd principe thermodynamique)