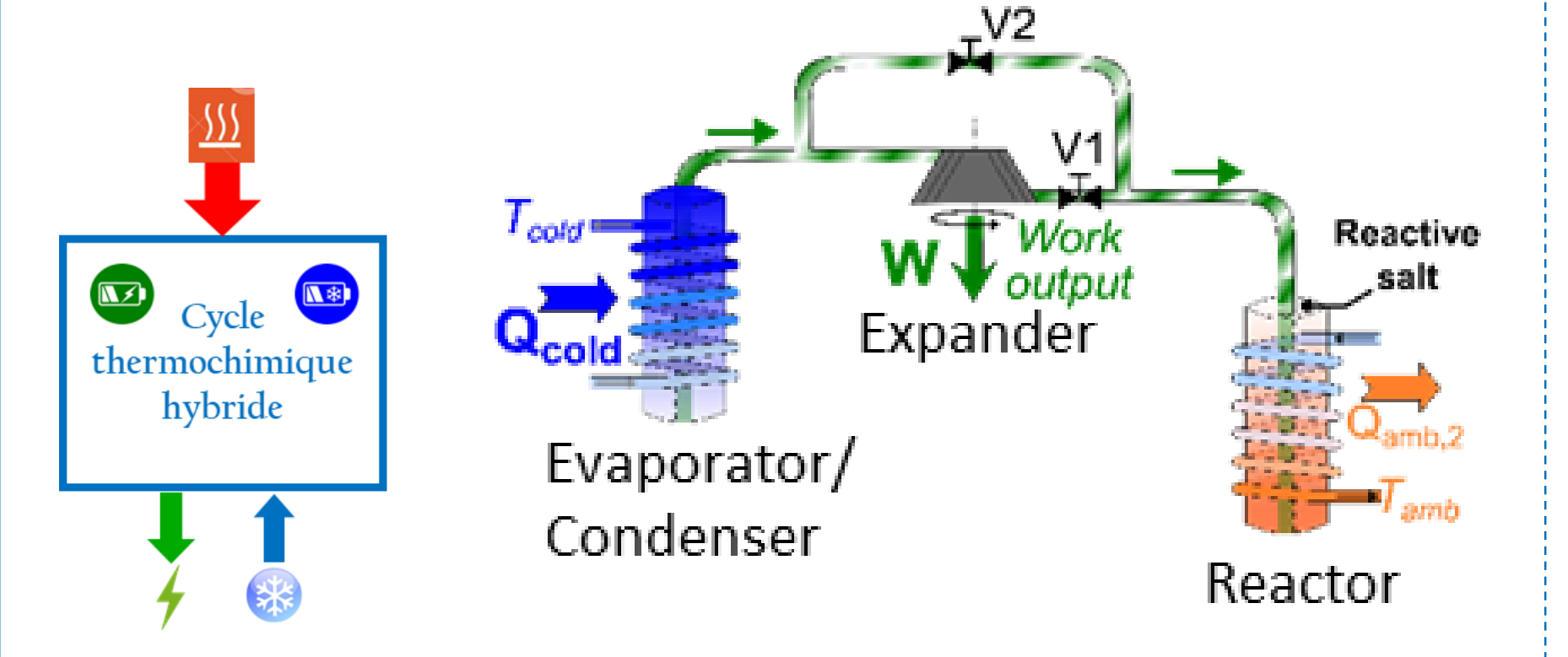


Hasan GHAZALE¹, Guillaume MOREL¹, Alexis GODEFROY^{1,2}, Emmanuel HERNANDEZ², Jean-Jacques HUC², Pierre NEVEU^{1,2}, Nathalie MAZET¹, Maxime PERIER-MUZET^{1,2}
 (1) CNRS-PROMES. Laboratoire PROCédés, Matériaux et Energie Solaire, Tecnosud, Rambla de la Thermodynamique – 66100 Perpignan
 (2) UPVD Université de Perpignan Via Domitia, 52 Avenue Paul Alduy – 66100 Perpignan

Principe, architectures des cycles et analyse thermodynamique statique

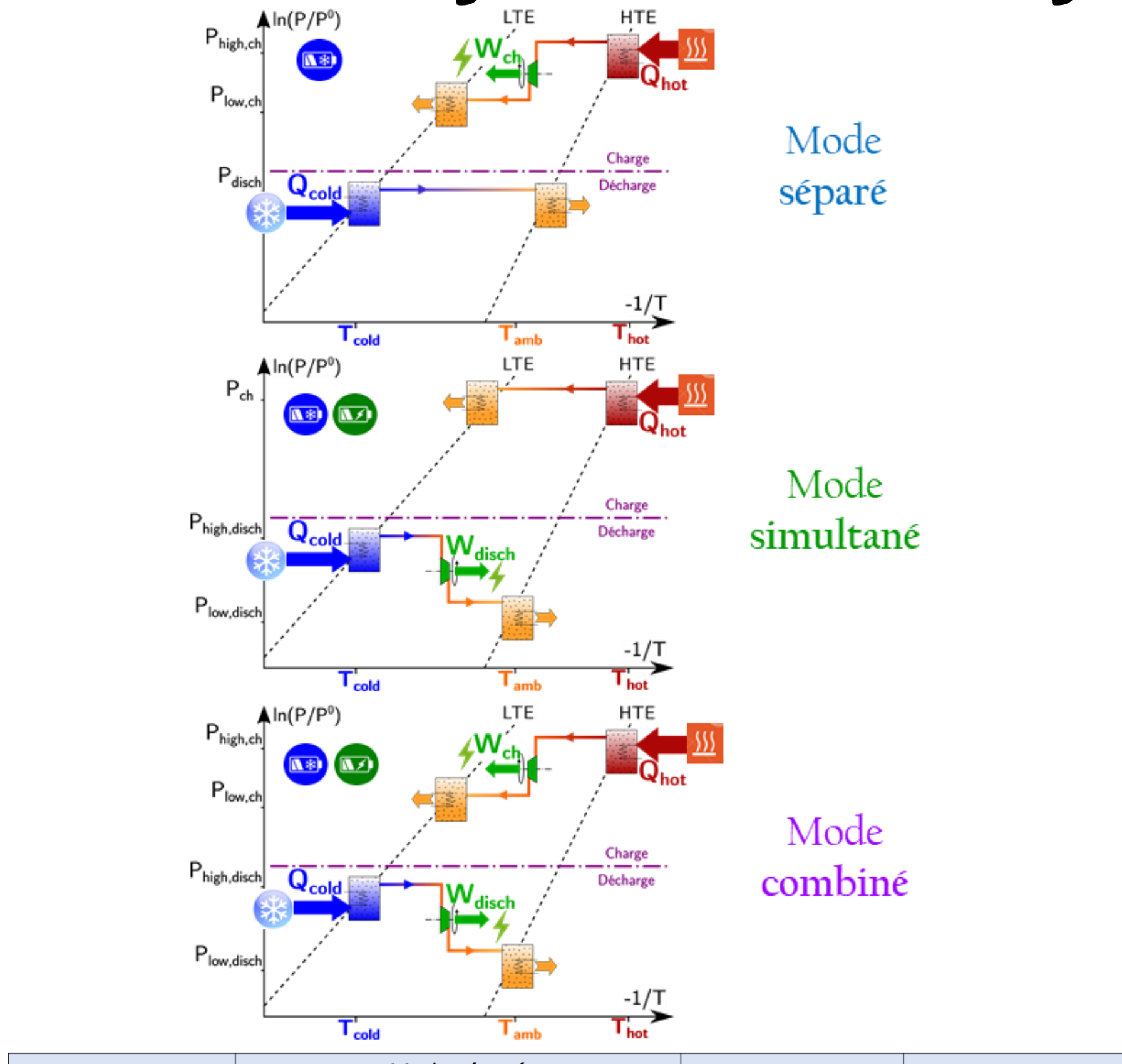
Objectifs : Valorisation de la chaleur fatale en électricité et en froid.

Cycles multifonctionnels thermochimiques : cogénération de froid et de travail mécanique avec fonction stockage.



Valorisation des flux de chaleur et de masse d'un transformateur thermochimique.

$$S + \vartheta \cdot G \geq S' + \Delta h_r$$



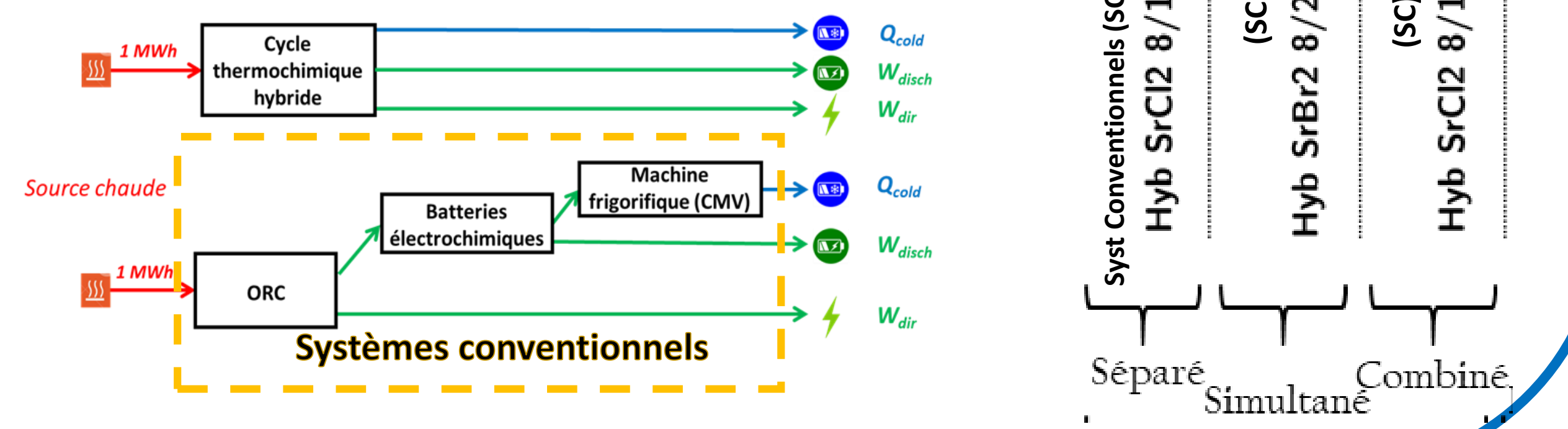
Caractéristiques :	Mode séparé		Mode simultané	Mode combiné
	Résorption	Sorption simple		
Valorisation de chaleur BT	$T_{hot} > 212^\circ C$	$T_{hot} > 138^\circ C$	$T_{hot} > 107^\circ C$	$T_{hot} > 138^\circ C$
Proportion de travail mécanique produit	$7.2 < \tau_w < 12.5\%$	$10.9 < \tau_w < 14.3\%$	$4.8 < \tau_w < 25.5\%$	$14.6 < \tau_w < 30.1\%$
Stockage de la production de froid	Oui	Oui	Oui	Oui
Stockage de la production de travail	Non	Non	Oui	Oui

Comparaison avec des systèmes conventionnels

- Hypothèses principales:
- Régime stationnaire
 - Pertes de charge négligées
 - Rendement isentropique de l'expandeur fixe = 0.8
- Conditions opératoires :
- $T_{cold} = 0^\circ C$ et $T_{amb} = 20^\circ C$
 - $T_{hot} \leq 250^\circ C$ et $0.1 \text{ bar} \leq P \leq 30 \text{ bar}$

$$\eta_I = \frac{|W| + Q_{cold}}{Q_{hot}}$$

$$ESD = \frac{|W_{disch}| + Q_{cold}}{V_{stor}}$$

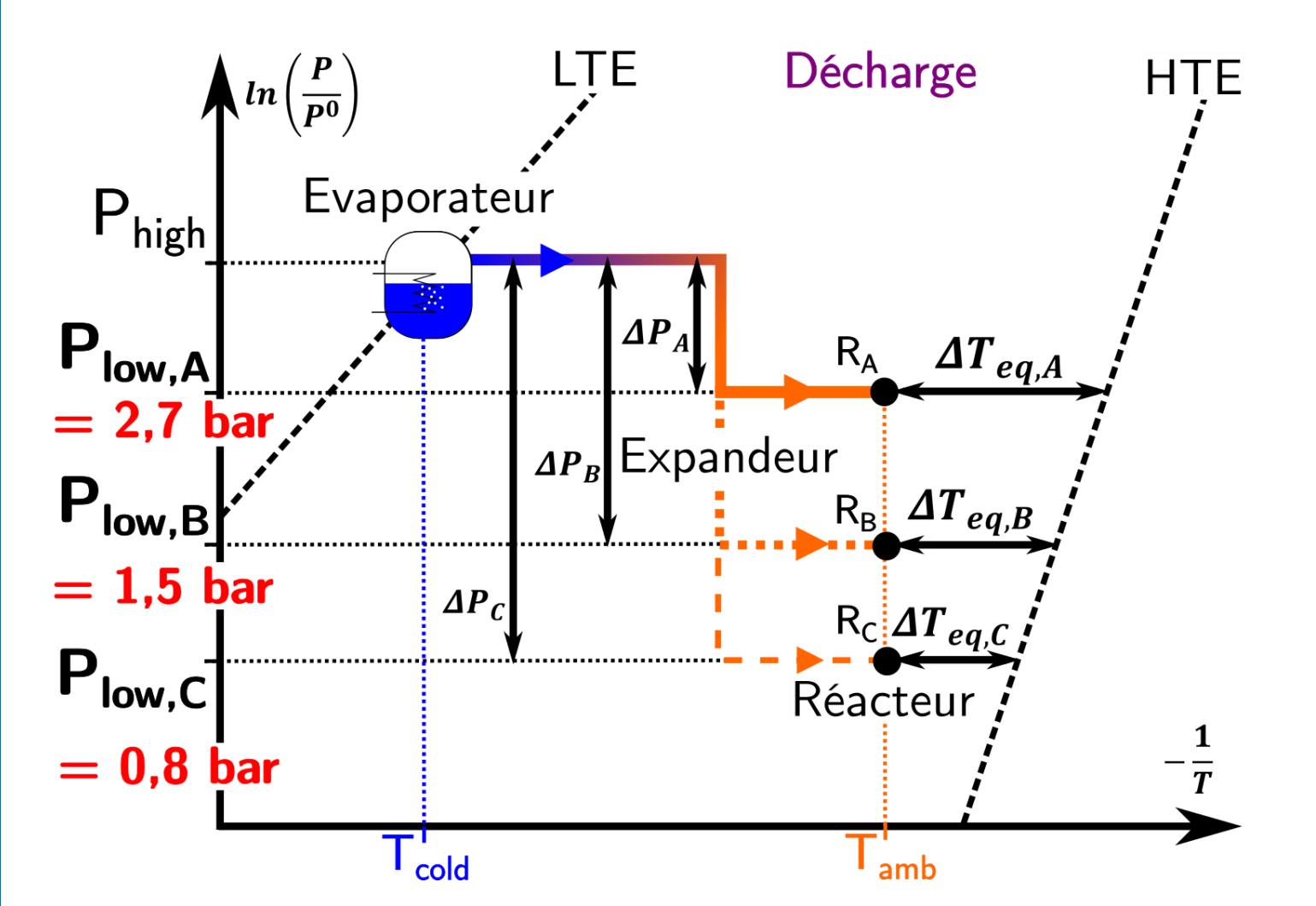


I. Simulations dynamiques: Couplage réacteur / expandeur

- 1. Hypothèses générales**
- Modèle nodal ou « 0D »
 - Echanges avec les puits/sources uniquement
 - Gaz parfait et liquide incompressible et indilatable

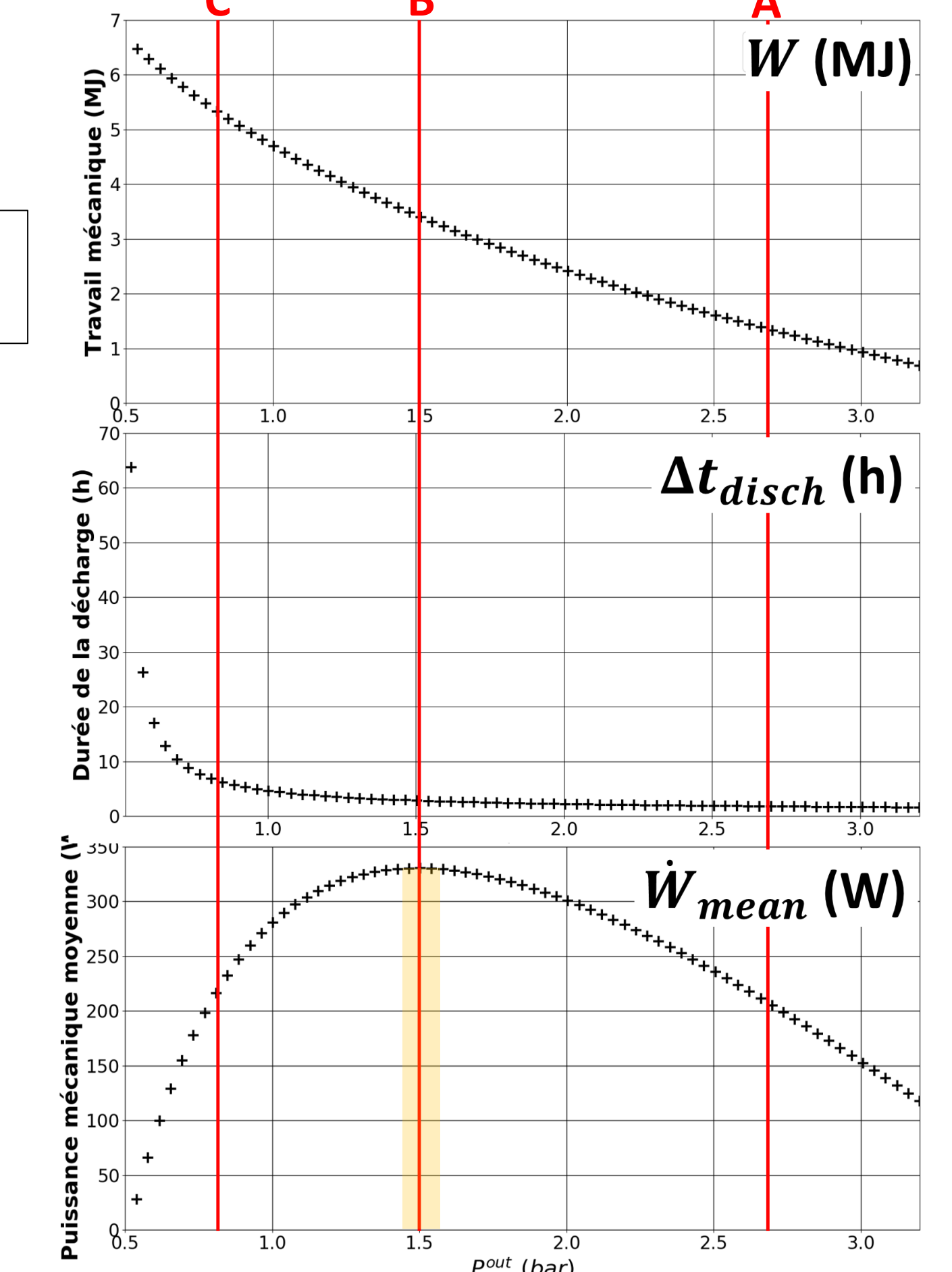
$$\frac{dX(t)}{dt} = K_s \cdot (1 - X(t)) \cdot f(T - T_{eq}(P_{ex}^{out}(t)))$$

$$\dot{W} = \dot{m}_g \cdot g(P_{ex}^{in}, P_{ex}^{out})$$



- Cas A**
- Ratio de pressions
 - Ecart à l'éq. de réaction
- Cas B**
- Ratio de pressions
 - Ecart à l'éq. de réaction

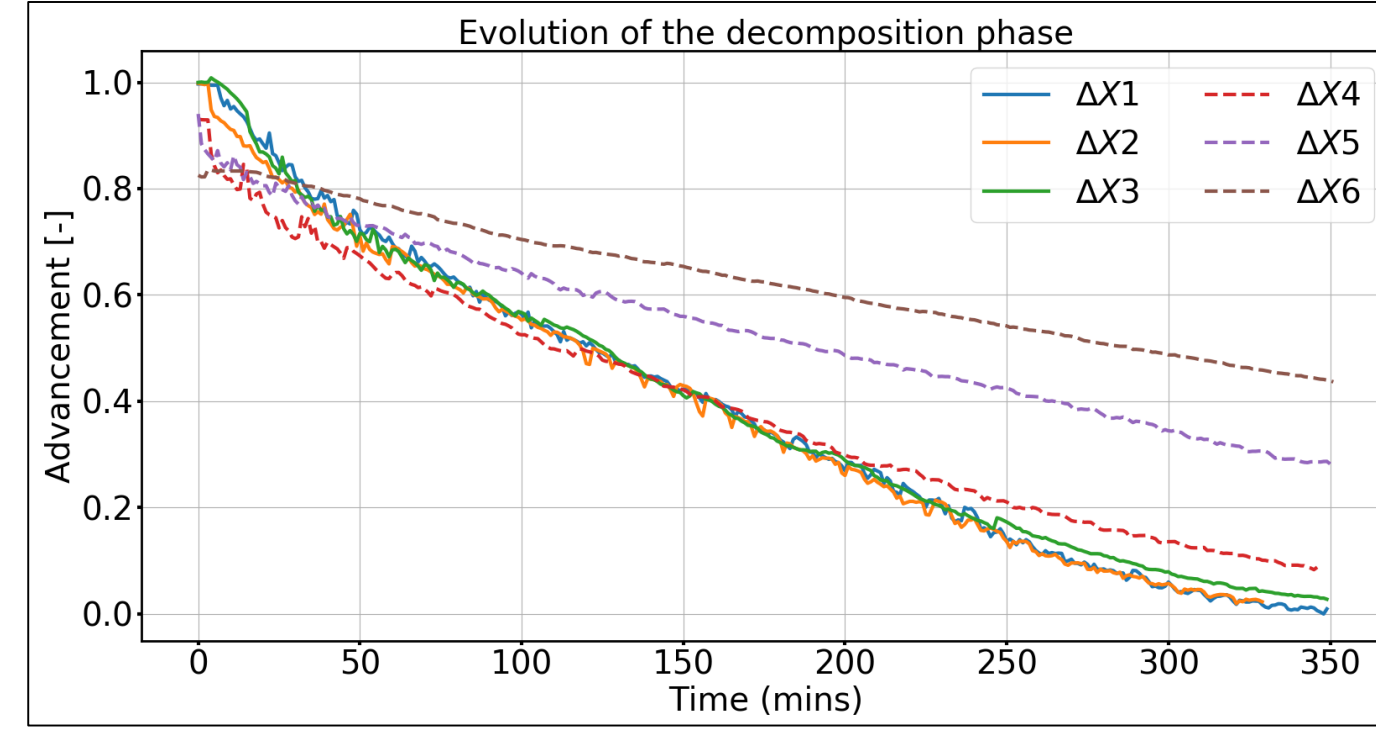
2. Evolution en fonction de la pression d'échappement



- Diminution de la pression d'échappement:**
- Augmentation du travail produit.
 - Optimum de puissance mécanique produite.
 - Augmentation de la durée de décharge.
- C:** \dot{W}_{mec} augmente et t_{disch} diminue.
A: \dot{W}_{mec} diminue et t_{disch} augmente.
B: Point optimal: \dot{W}_{max} et t_{disch} optimal.

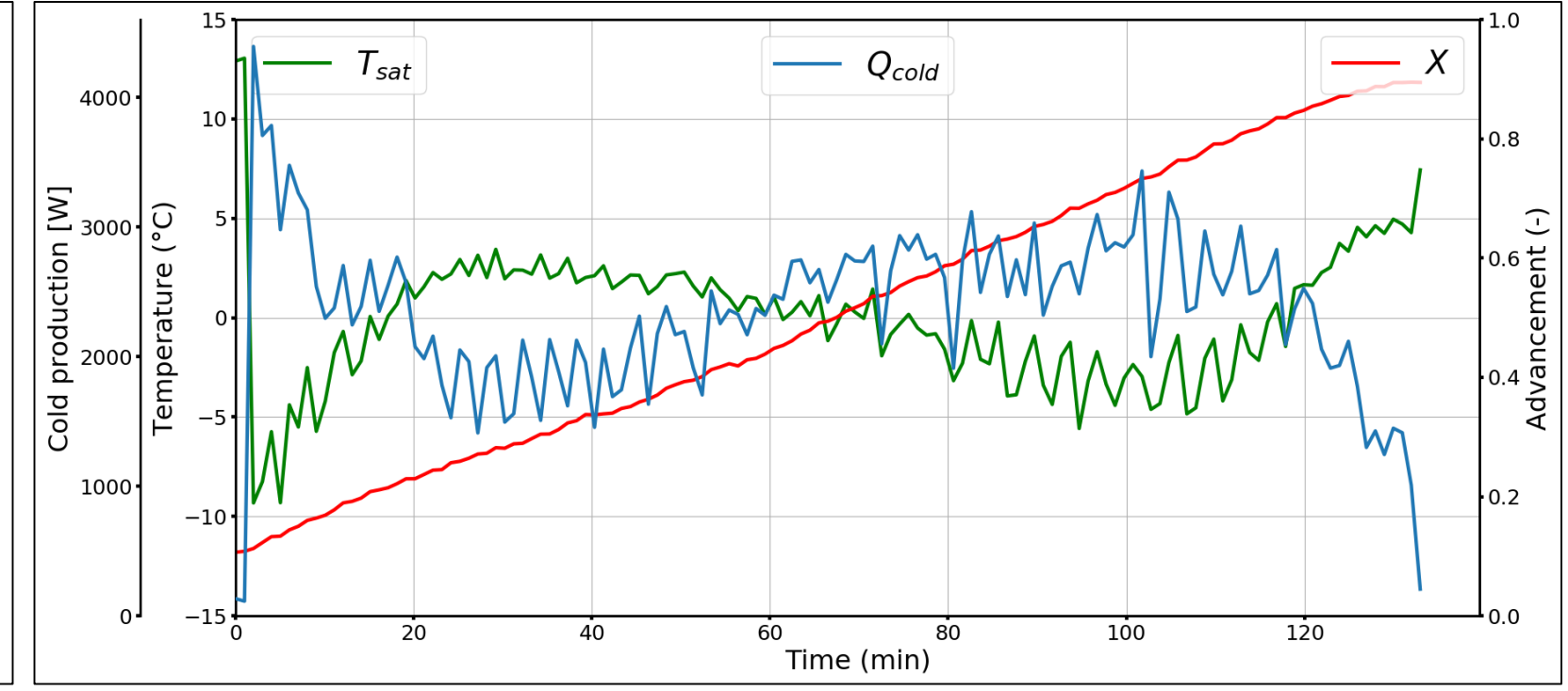
III. 1ers résultats expérimentaux

1. Cinétiques et reproductibilité



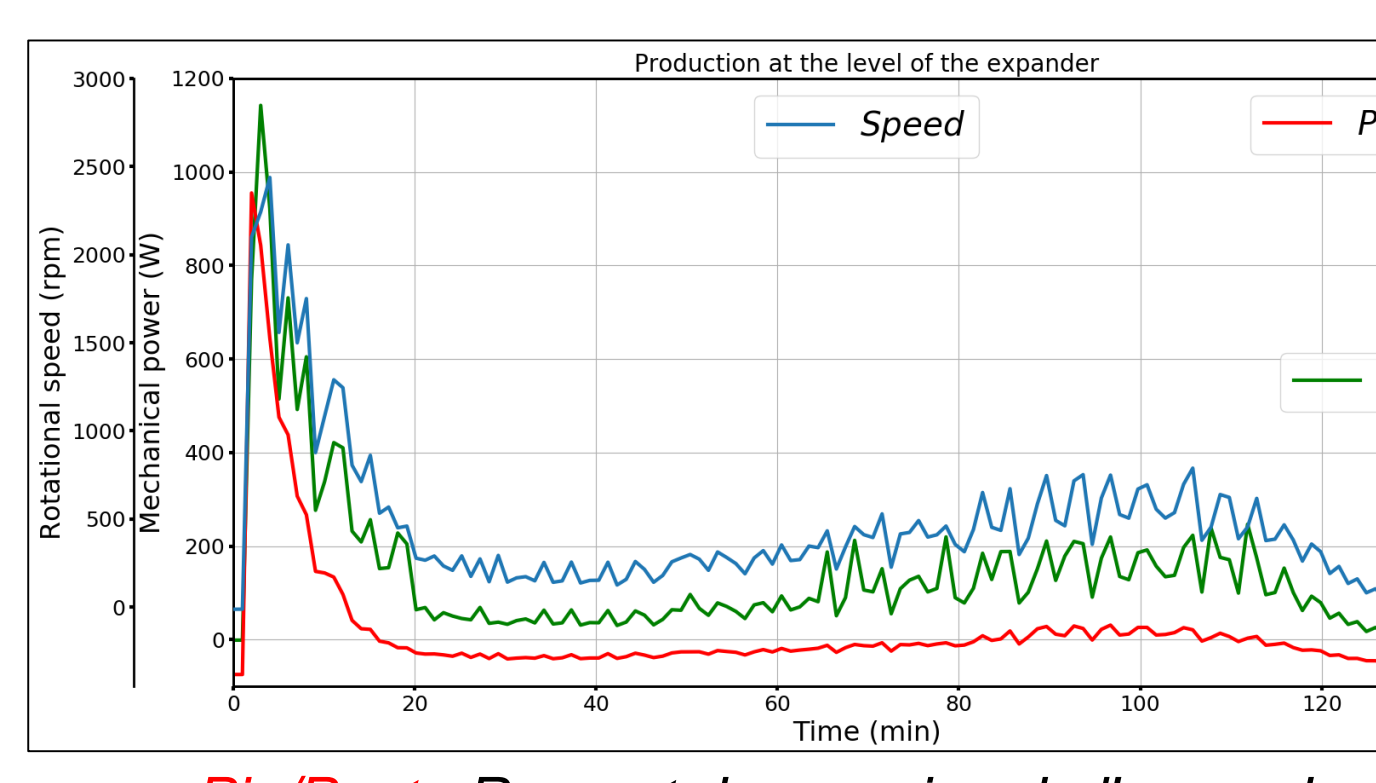
- $\Delta X1, \Delta X2, \Delta X3$: $\Delta T_{eq} = 43^\circ C$
- $\Delta X4$: $\Delta T_{eq} = 33^\circ C$, $\Delta X5$: $\Delta T_{eq} = 23^\circ C$, $\Delta X6$: $\Delta T_{eq} = 13^\circ C$

2. Production de froid



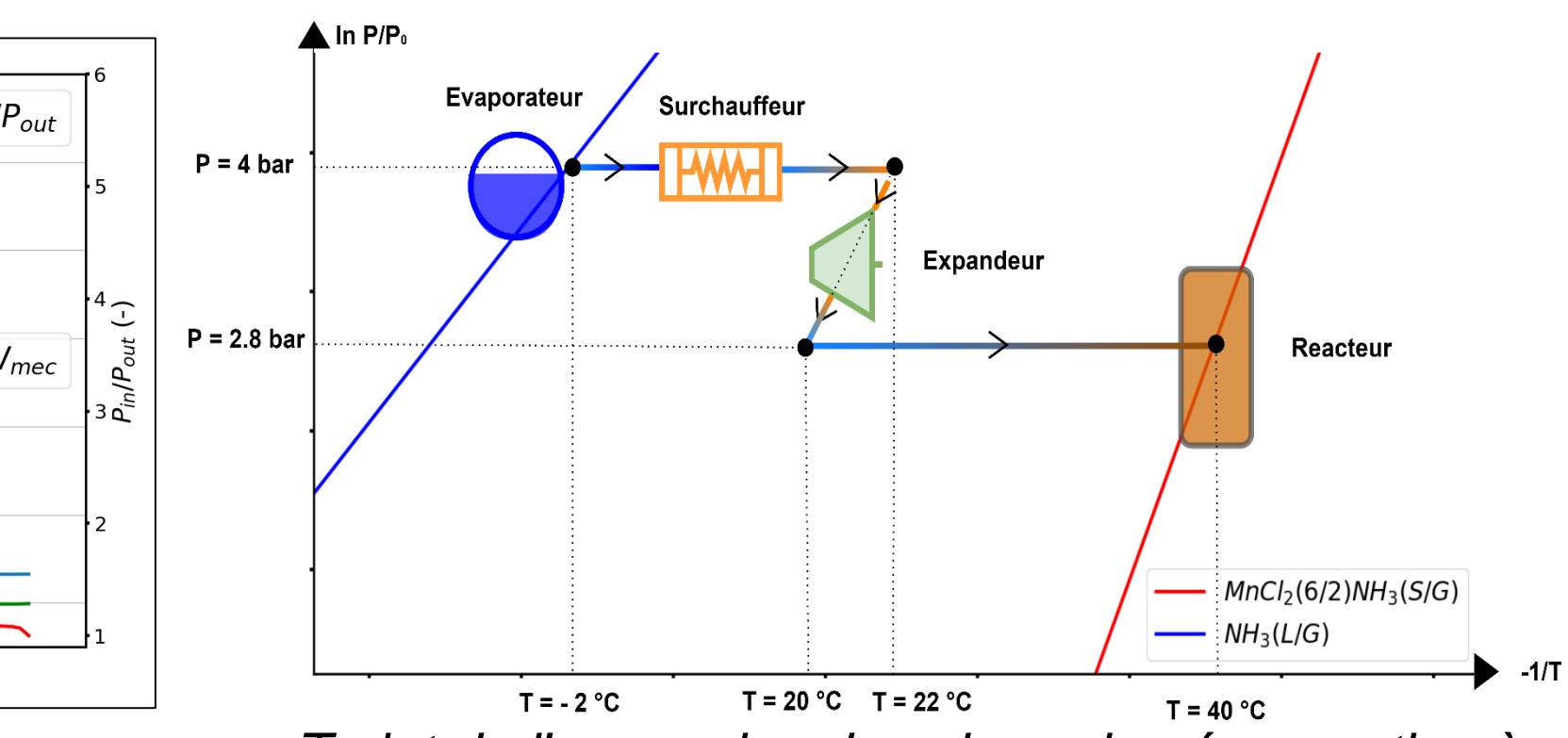
- X:** avancement de la réaction de synthèse.
- Qcold:** Puissance de production de froid.
- Tsat:** température de saturation de l'ammoniac.

3. Production de l'expandeur



- Pin/Pout:** Rapport de pression de l'expandeur.
- Wmec:** travail mécanique.
- Speed:** Vitesse de rotation de l'expandeur.

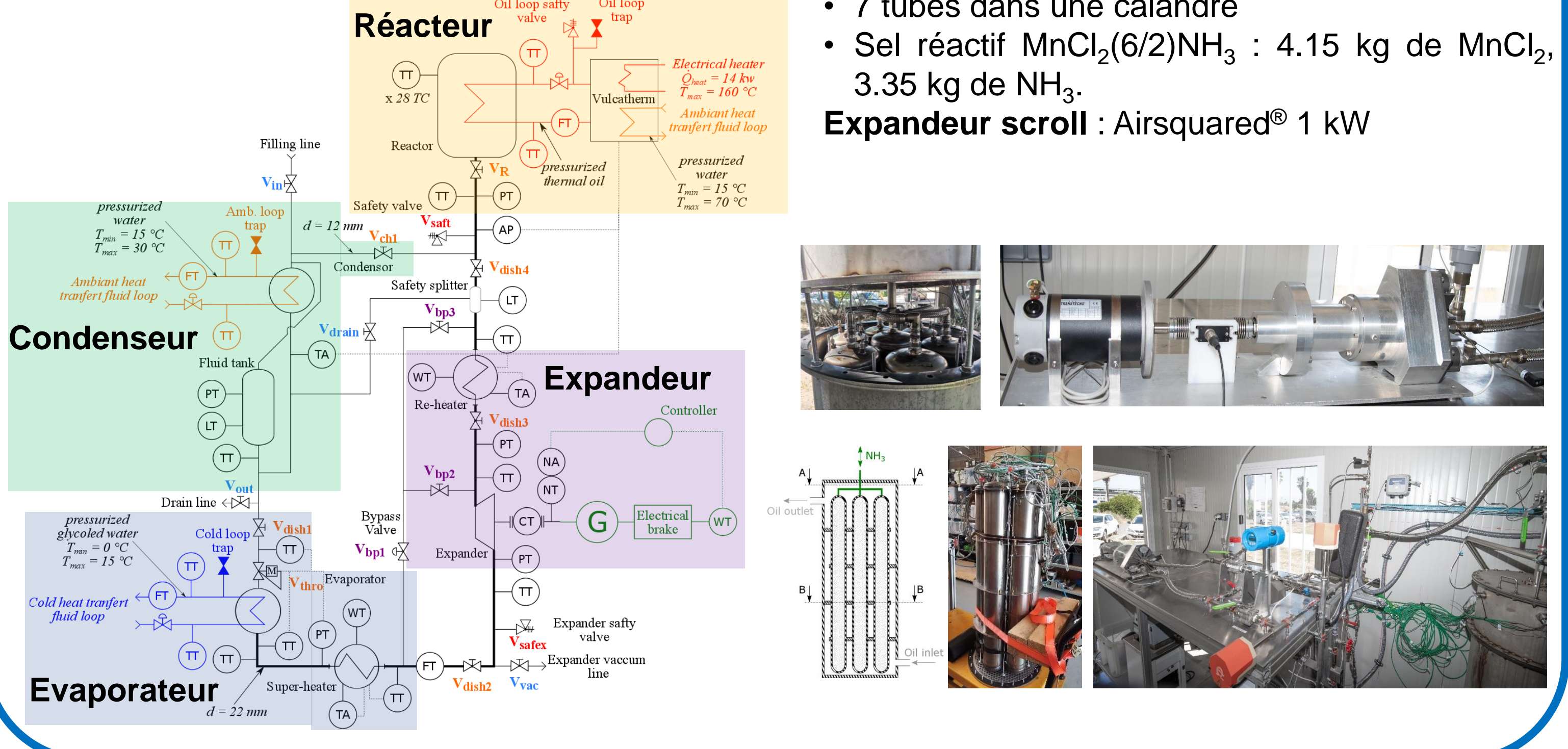
4. Diagramme de Clausius Clapeyron



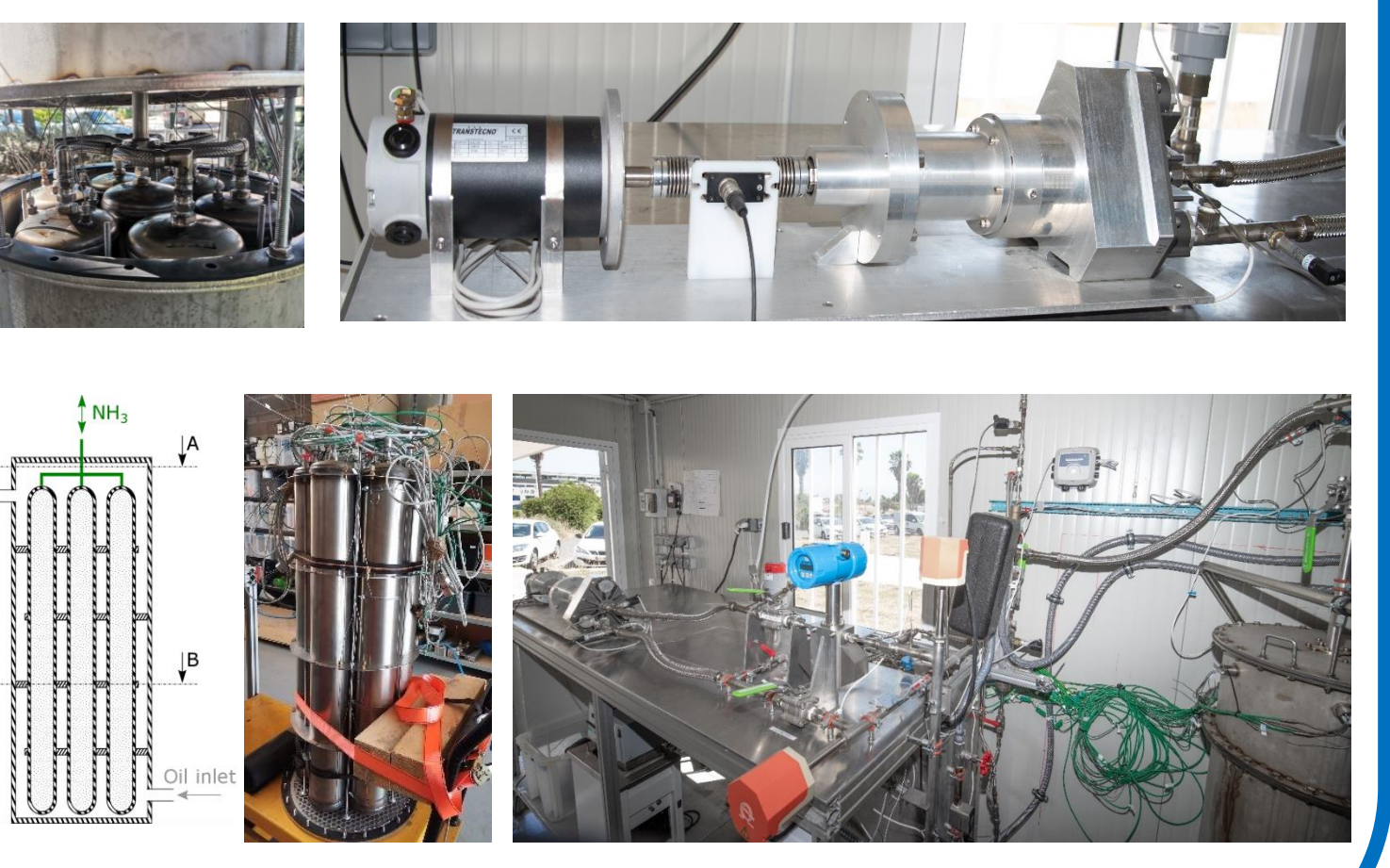
Trajet de l'ammoniac dans le cycle : évaporation à $-2^\circ C$, le rapport de pression de l'expandeur est de 1,4 & la réaction de synthèse se fait à $40^\circ C$.

- Preuve de concept du procédé thermochimique hybride.**
Fonctionnement stable de l'expandeur pendant la phase de décharge - réaction de synthèse.
- A faire:**
 - Étude plus approfondie du système en mettant l'expandeur dans plusieurs conditions opérationnelles.
 - Valider le modèle numérique développé.
 - Identifier les irréversibilités du cycle et l'optimiser.

II. Prototype



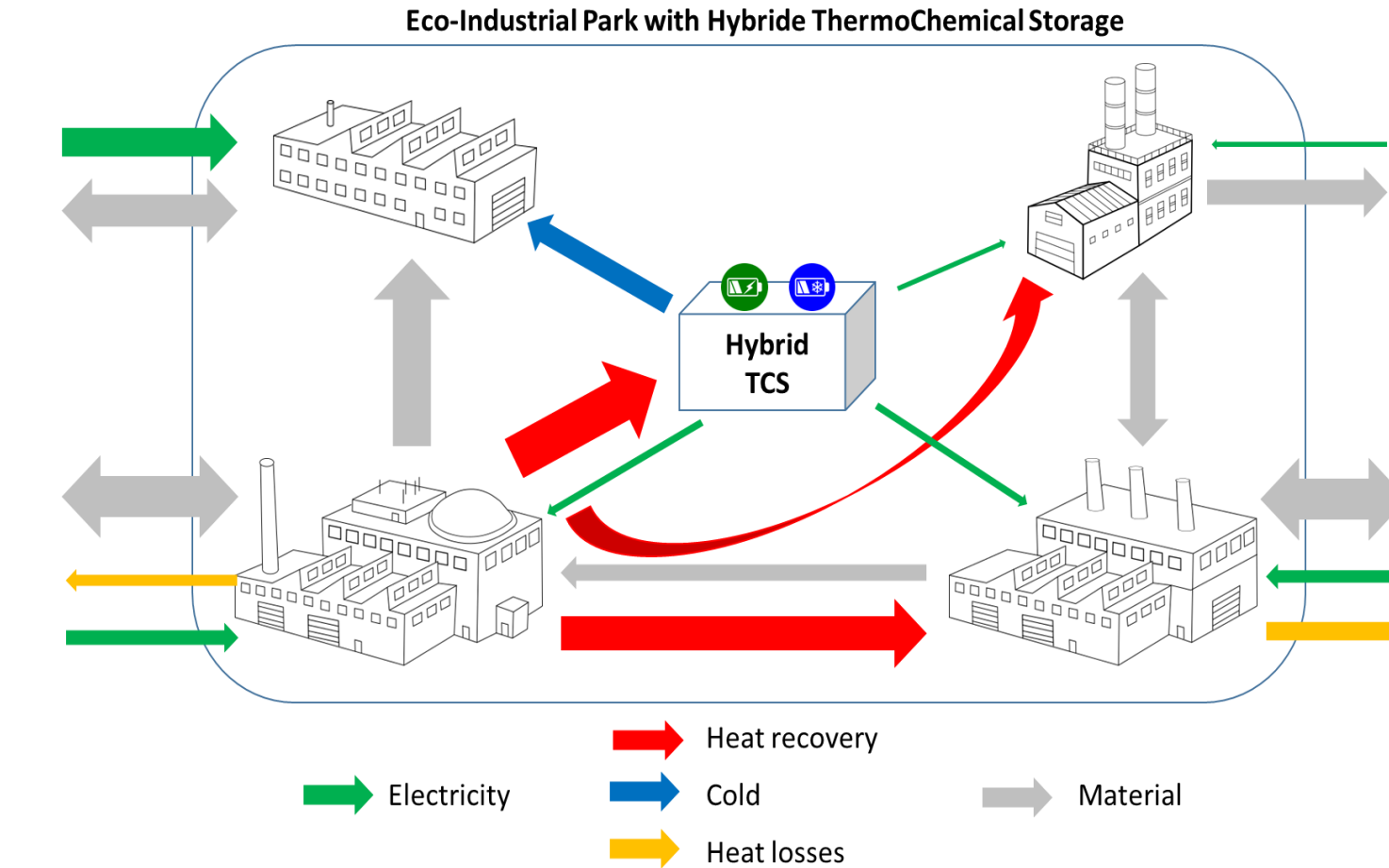
- Réacteur :**
- 7 tubes dans une calandre
 - Sel réactif $MnCl_2(6/2)NH_3$: 4.15 kg de $MnCl_2$, 3.35 kg de NH_3 .
- Expandeur scroll :** Airsquared® 1 kW



Projet ThermHyVal

Intégrer un procédé thermochimique dans les parcs éco-industriels EIP (récupération de chaleurs fatales, stockage, production de froid, électricité).

Objectifs du projet: Développer la coopération interindustrielle en échangeant des flux et des énergies pour répondre à des besoins différents entre industries à des échelles de temps différentes, grâce à la phase de stockage du procédé.



- Partenaires:**
- LGC-Toulouse
 - Association PIICTO (Fos-sur-mer)
- Tâches:**
- Développement et expérimentation du prototype.
 - Simulations dynamique et optimisation: analyse des irréversibilités, optimisation des performances...
 - Études de différents cas d'applications en collaboration avec le LGC-Toulouse et PIICTO. Optimisation de EIP.