RECUPERATION DE CHALEUR SUR LES SYSTEMES FRIGORIFIQUES INDUSTRIELS

Axima

Axima Réfrigération France

OBJET DE LA PRESENTATION

1. Introduction
2. Récupération de chaleur passive
3. Récupération de chaleur active
   a) Le thermo frigo pompe
   b) La pompe à chaleur NH_3
   c) La pompe à chaleur hybride
4. Optimisation des installations
   a) HP flottante
   b) BP flottante
5. Fiche CEE IND-UT-134
6. Exemples de synoptique
7. Conclusion
8. Futures évolutions

INTRODUCTION

- **Contexte d'une installation frigorifique :**

Les process de l'industrie agroalimentaire nécessitent des productions frigorifiques mais également :

  - Des besoins en chauffage
  - Des besoins en eau chaude : lavage, process, dégivrage, etc…
  - Des besoins en eau chaude sanitaire

- **Contexte environnemental :**

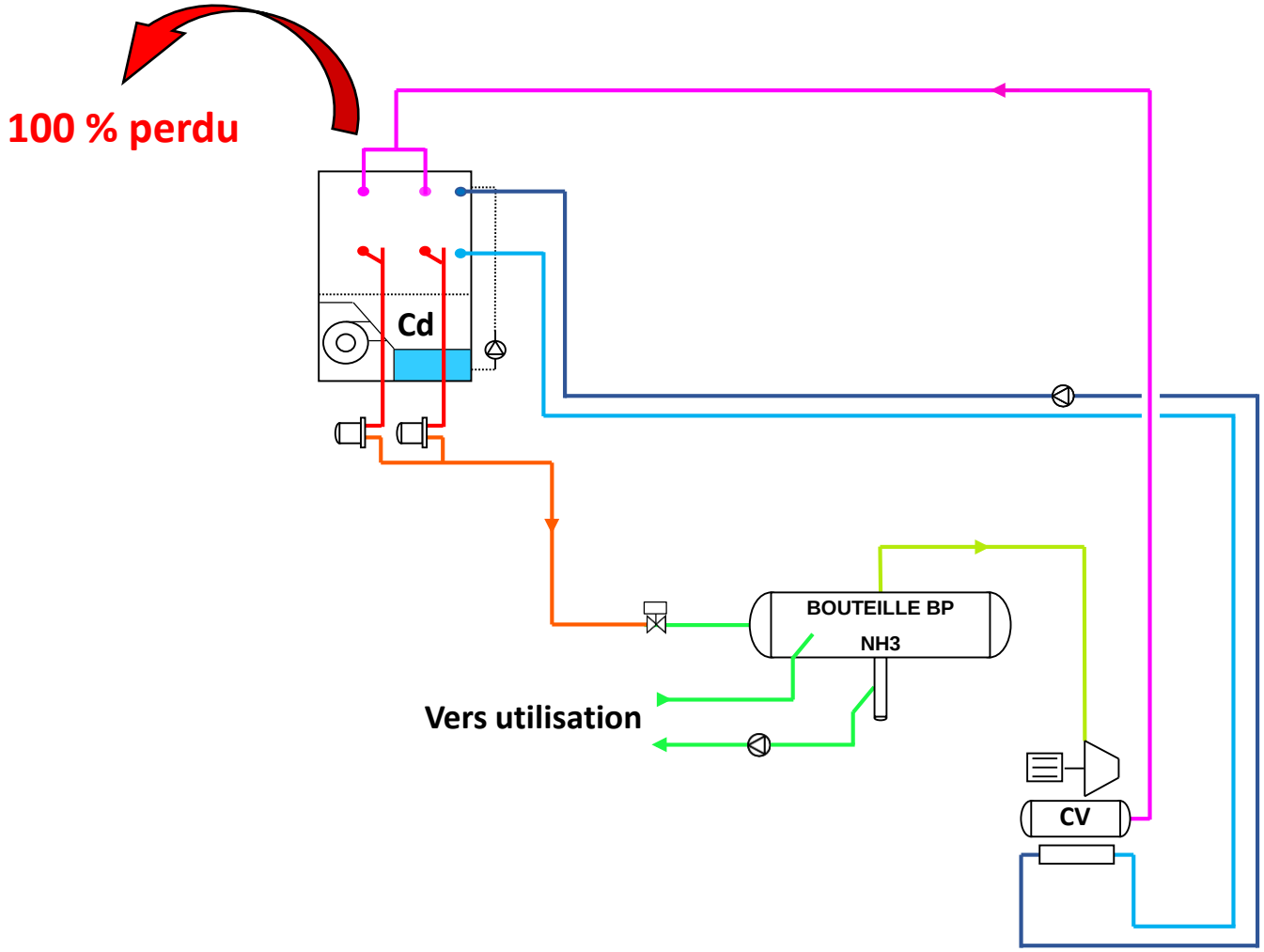
Les préoccupations environnementales et réglementaires poussent à augmenter l'efficacité des systèmes :

  - Economies d'énergies
  - Réduction des émissions de CO_2
  - Directives européennes, Accords de Paris…

- **Contexte de l'entreprise :**

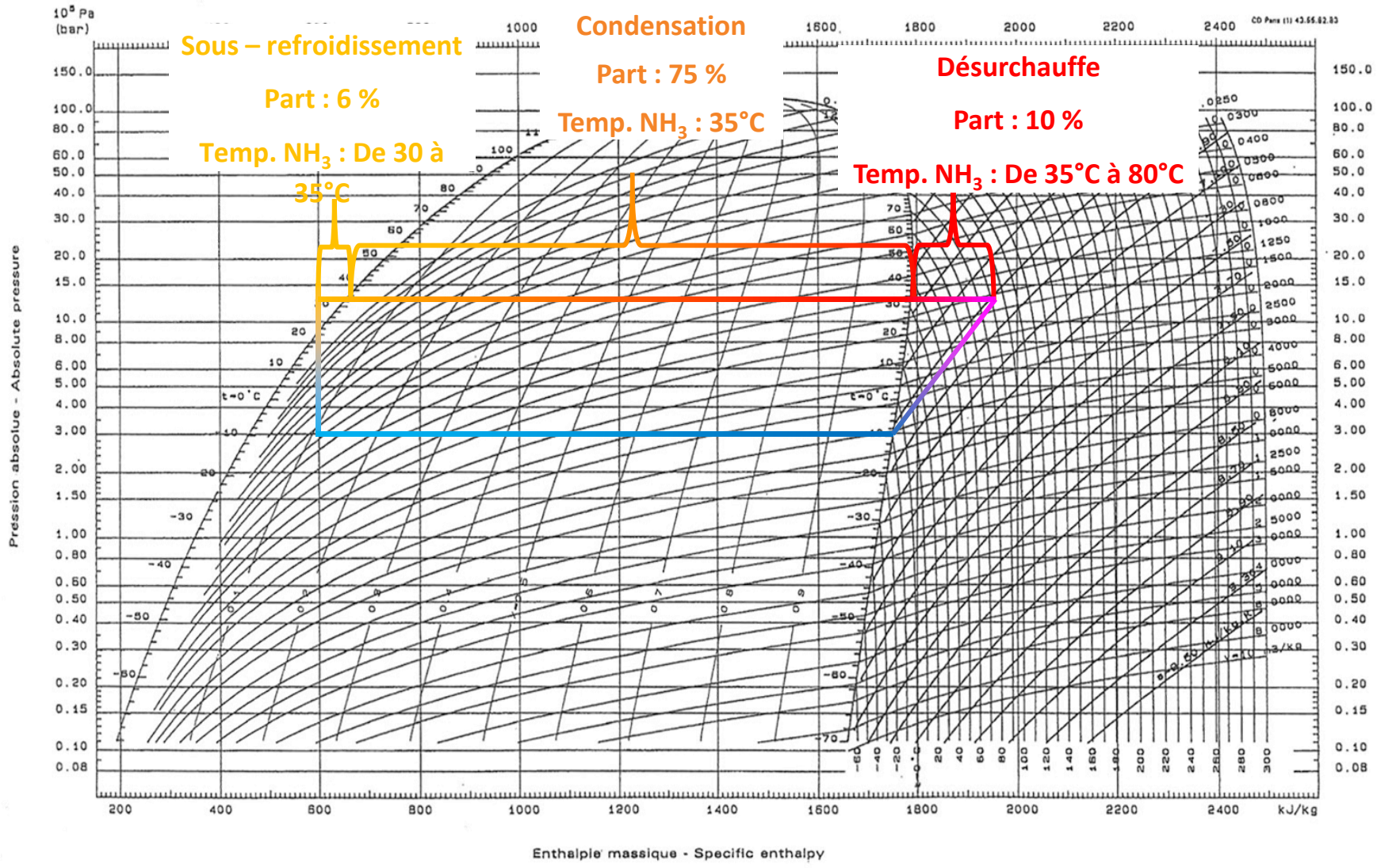
  - Baisse des coûts de production
  - Recherche d'économies financières
  - Baisse des consommations d'eau sur les tours

INSTALLATION FRIGORIFIQUE SANS RECUPERATION D'ENERGIE



- Une fiche CEE dédiée : « Récupération de chaleur sur un groupe de production de froid » (*Opération IND-UT-17*)

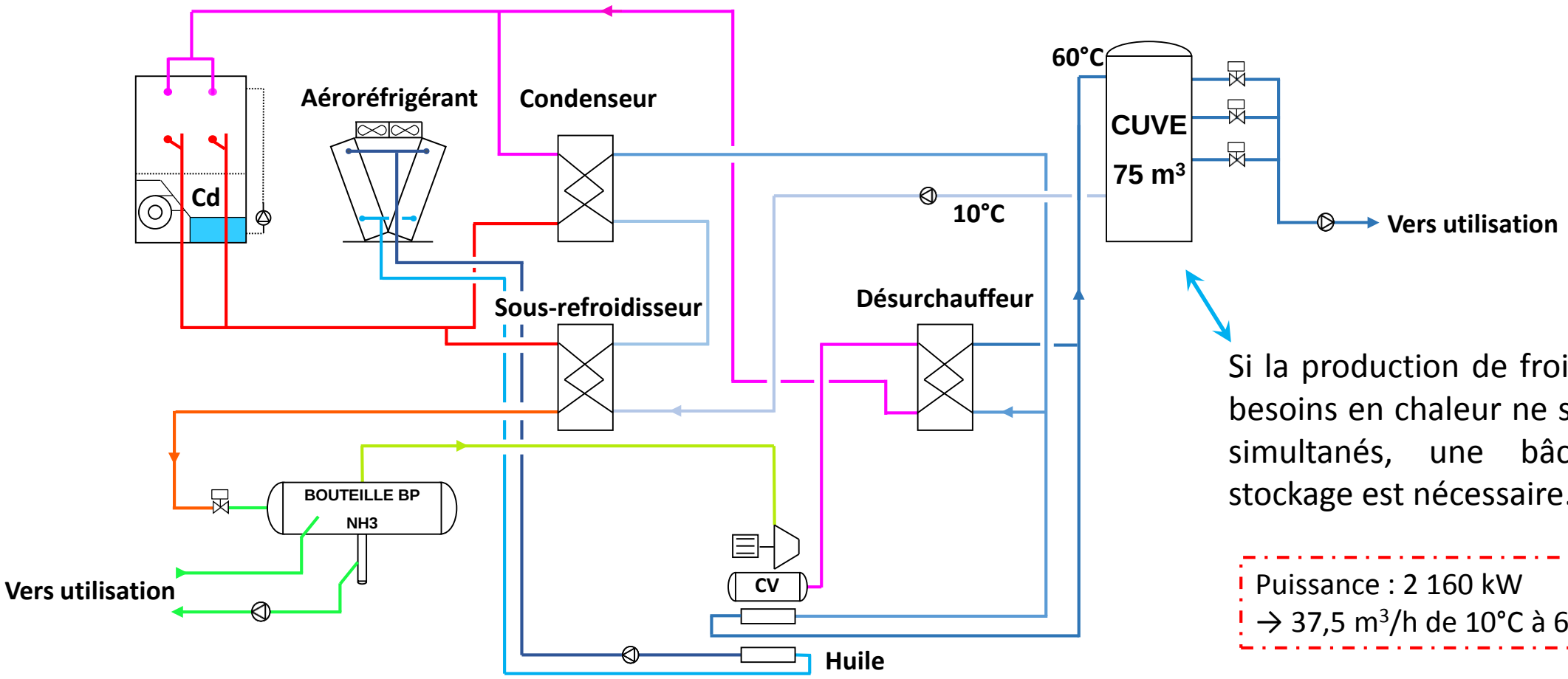
LA RECUPERATION DE CHALEUR PASSIVE



Puissance de récupération :

- Sous-refroidissement : 6 %
- Condensation : 75 %
- Surchauffe : 10 %
- Huile : 9 %

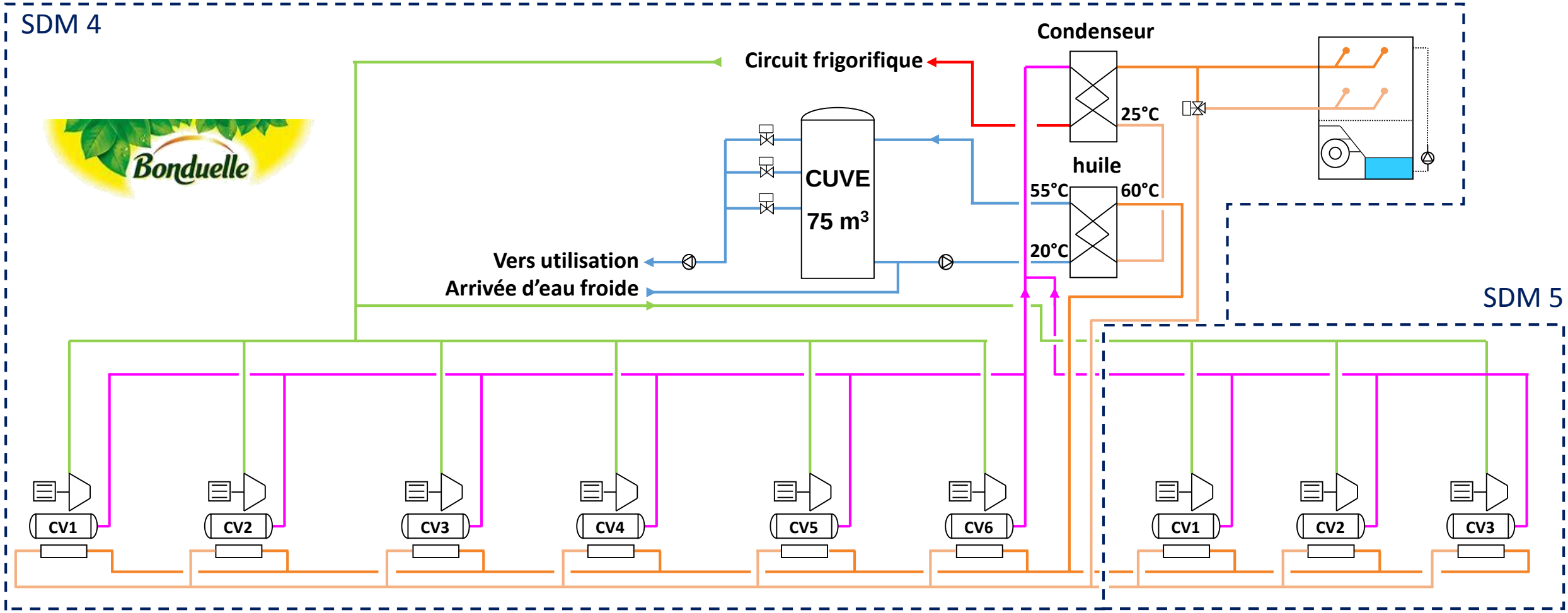
INSTALLATION FRIGORIFIQUE AVEC RECUPERATION D'ENERGIE PASSIVE



Si la production de froid et les besoins en chaleur ne sont pas simultanés, une bâche de stockage est nécessaire.

Puissance : 2 160 kW
→ 37,5 m³/h de 10°C à 60°C

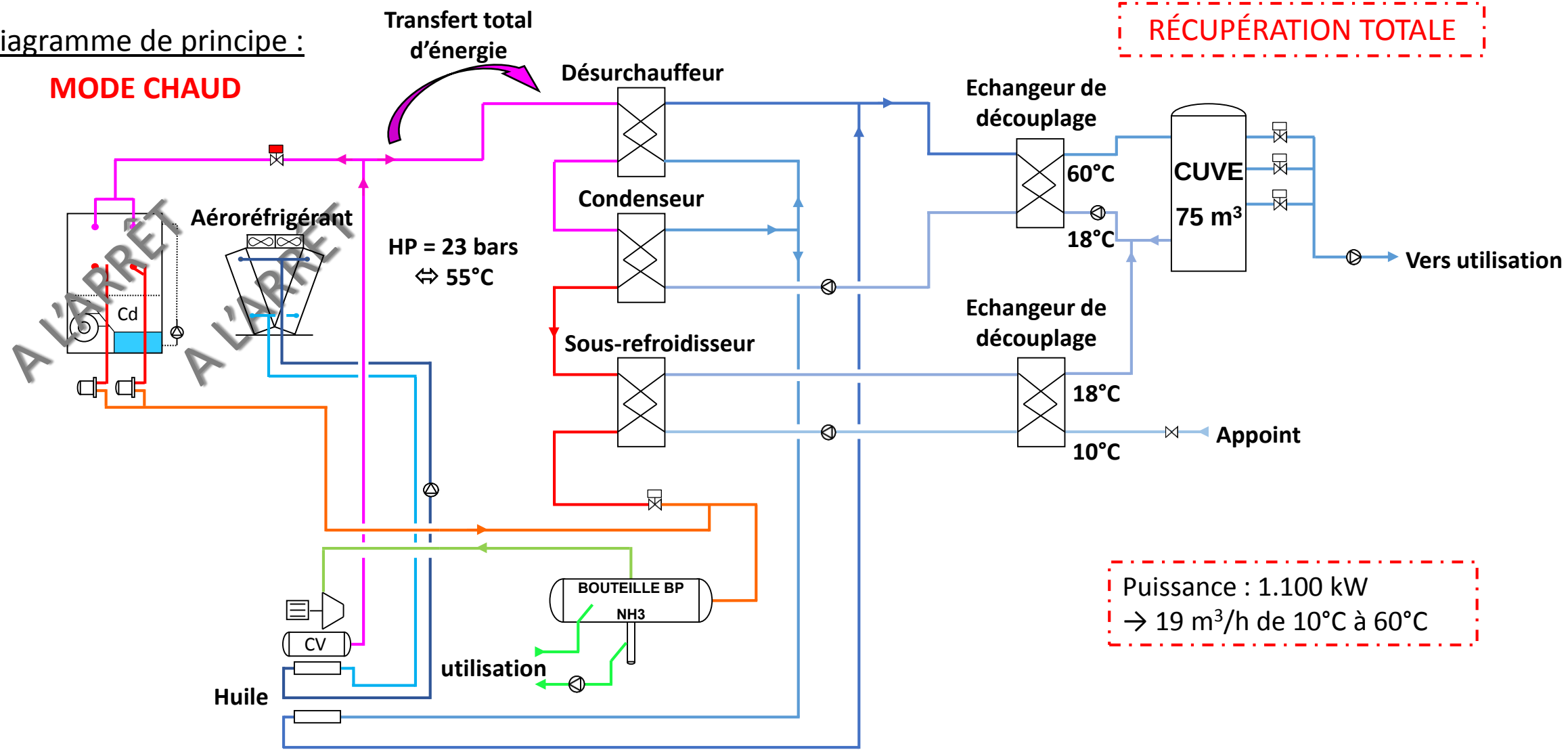
INSTALLATION FRIGORIFIQUE AVEC RECUPERATION D'ENERGIE PASSIVE



LA RECUPERATION DE CHALEUR ACTIVE : LES THERMOFRIGOPOMPES

Diagramme de principe :

MODE CHAUD



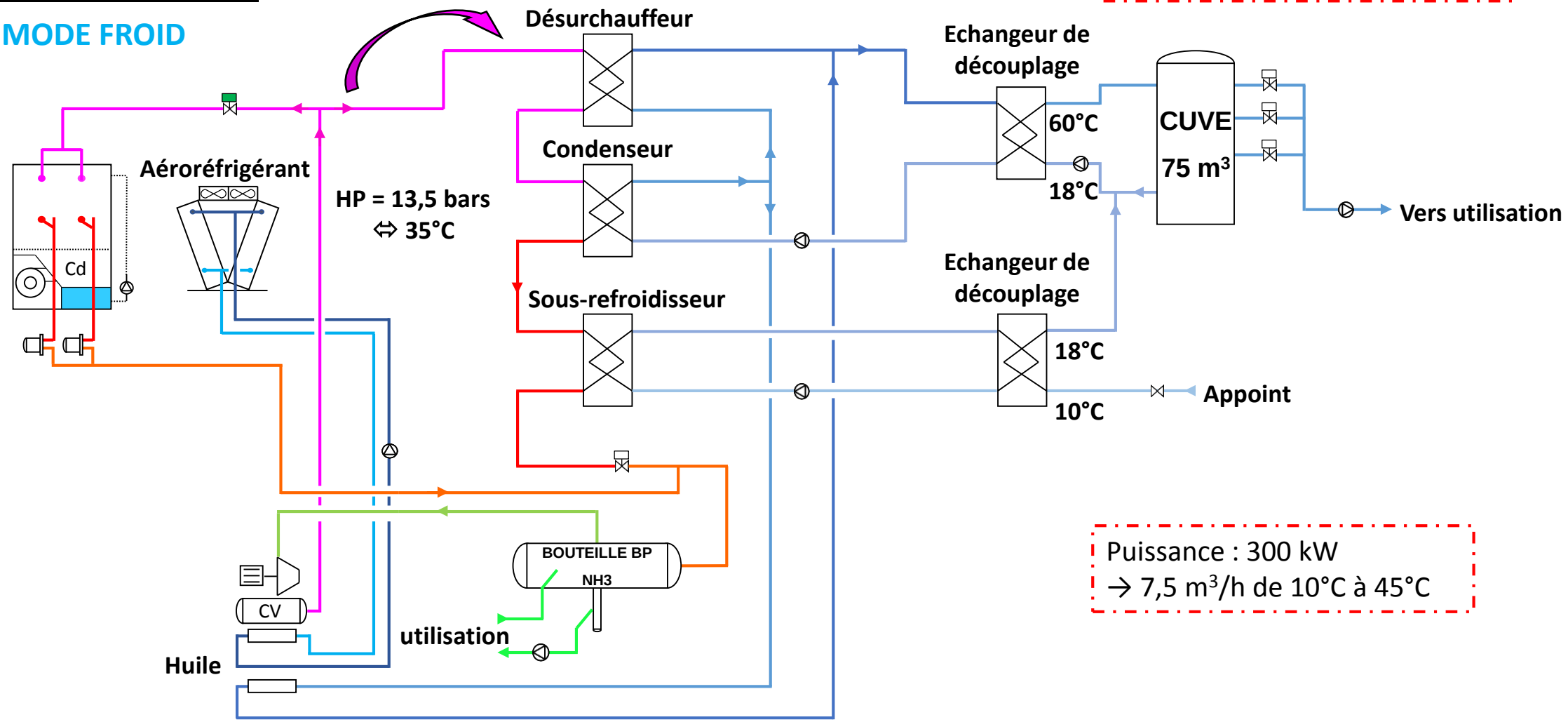
Puissance : 1.100 kW
→ 19 m³/h de 10°C à 60°C

LA RECUPERATION DE CHALEUR ACTIVE : LES THERMOFRIGOPOMPES

Diagramme de principe :

MODE FROID

RÉCUPÉRATION PARTIELLE



Puissance : 300 kW
→ 7,5 m³/h de 10°C à 45°C

LA RECUPERATION DE CHALEUR ACTIVE : LES THERMOFRIGOPOMPES

Production de froid + production de chaud

→ Transfert d'énergie total

Mode de fonctionnement	Régime	Puissance frigorifique	Puissance calorifique	Refroidissement d'huile	Puissance absorbée	COP global	Vitesse de rotation
Froid	-11°C / +35°C	788 kW	902,6 kW	96,1 kW	210,7 kW	5,16	2.880 tr/min
Chaud	-11°C / +55°C	788 kW	**885 kW**	**212 kW**	309 kW	6,10	2.950 tr/min

- Simulation avec un compresseur Vilter VSS-901
- Fluide : NH_3

Augmentation de la puissance absorbée de **100 kW** → Permet de récupérer la totalité de l'énergie pour une production d'eau chaude à 60°C.

→ **885** + **212** = 1.097 kW ↔ 19 m^3/h de 10°C à 60°C.

SKID ECHANGEURS

COMPRESSEURS

CUVES

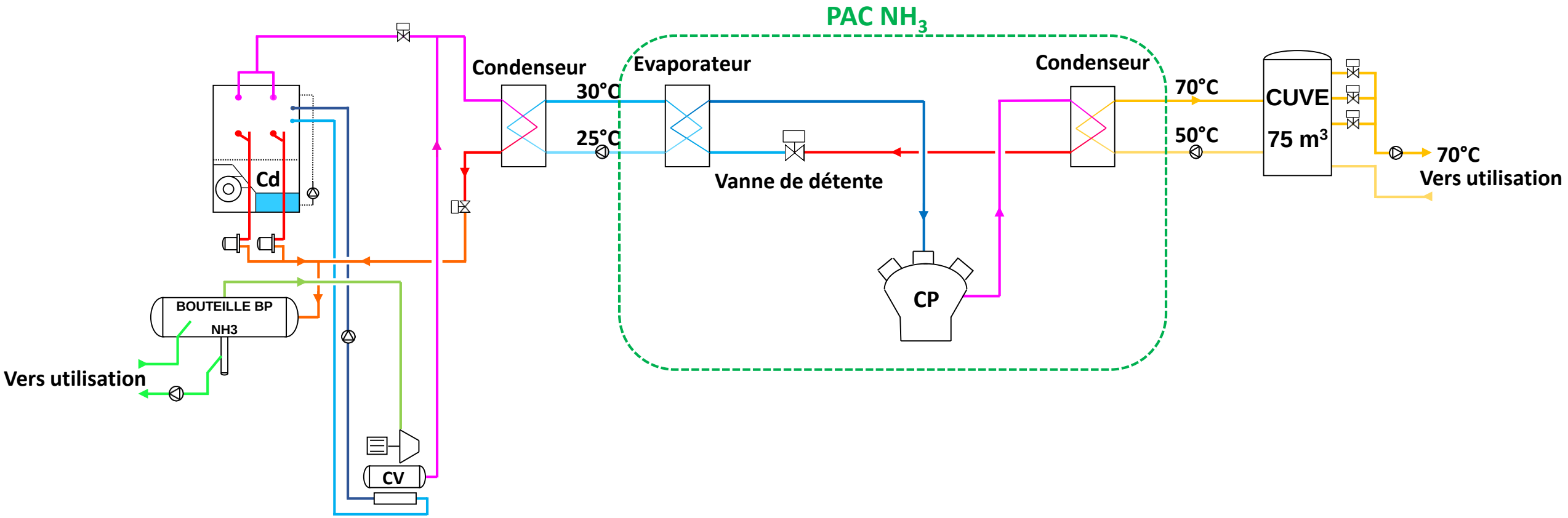
POMPE A CHALEUR NH_3 – PRODUCTION DE CHAUD UNIQUEMENT

Lorsque les besoins d'eau chaude se situent entre 60°C et 85°C → Solution : PAC

<u>Caractéristiques :</u>

- Utilisation d'un fluide naturel : l'ammoniac (R717)
  - Potentiel de réchauffement global : 0
  - Potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone : 0
- Faible charge de fluide frigorigène
- Compacité de l'ensemble
- Production d'eau chaude jusqu'à 85°C
- Coefficient de performances (COP entre 4 et 6)
- Faible coût d'installation

POMPE A CHALEUR NH_3 – SYSTÈME PAR CASCADE INDIRECTE



POMPE A CHALEUR NH_3

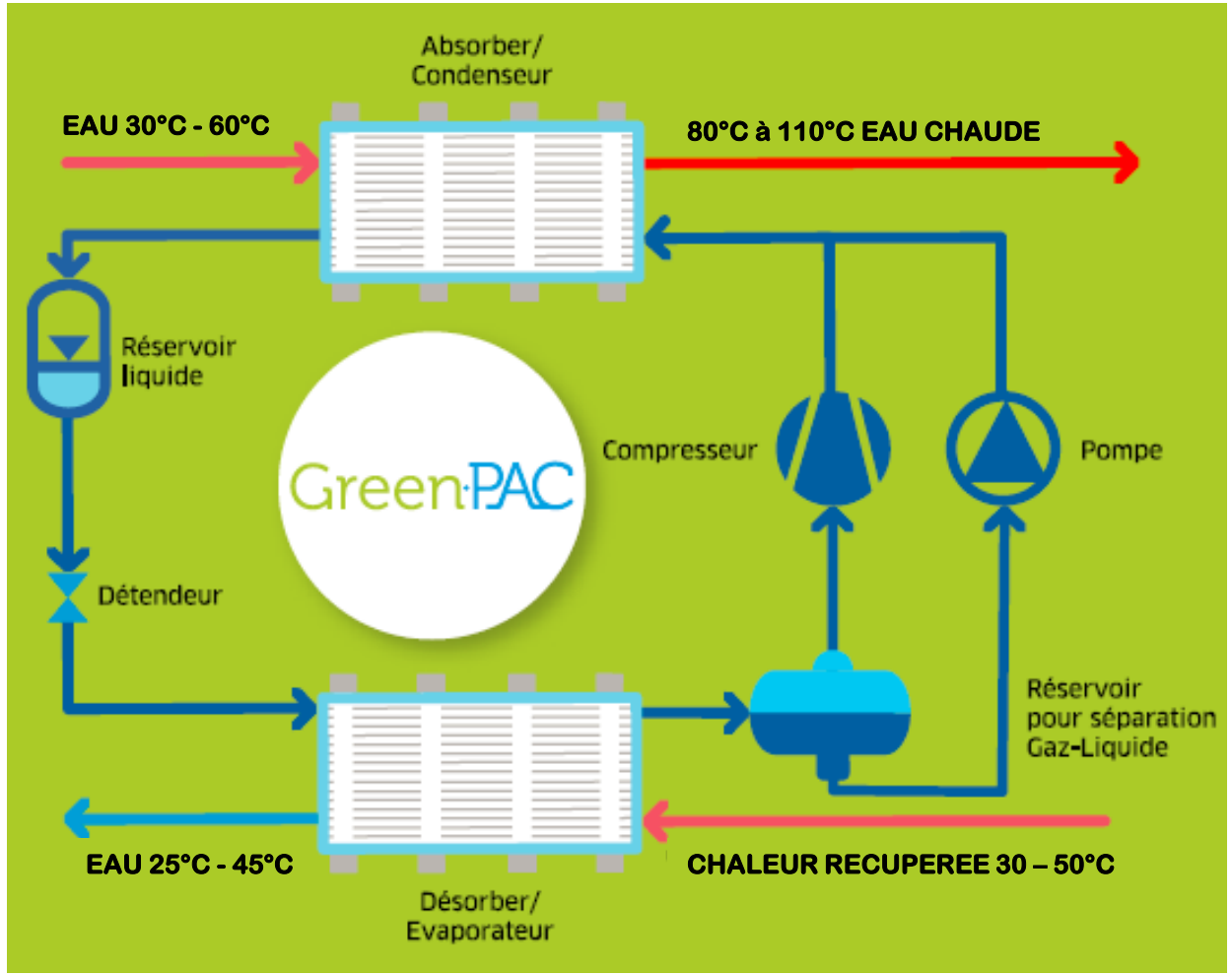
Exemple des possibilités avec différents types de PAC SABROE:

Modèle	Puissance frigorifique	Puissance calorifique	COP	Température de sortie d'EC
HPX 704	267 kW	339 kW	4,2	40°C
HPX 708	534 kW	678 kW	4,2	50°C
HPX 716	1067 kW	1355 kW	4,2	70°C

- EC : Eau chaude
- Résultats donnés pour une température d'entrée d'eau à +30°C et un débit de 30 m^3/h
- Résultats donnés pour un compresseur à 1800 rpm

POMPE A CHALEUR HYBRIDE

→ Solution eau chaude haute température de 80°C à 110°C



POMPE A CHALEUR HYBRIDE

AVANTAGES DE LA TECHNOLOGIE
La solution utilisée est un mélange eau-ammoniac (environ 50% - 50%), une solution durable sans impact sur l'environnement.
Utilisation de matériel frigorifique standard pour l'ammoniac.
Possibilité de produire de l'eau chaude jusqu'à 110°C avec une pression de service raisonnable (≈25 bars max).
COP plus important qu'une pompe à chaleur traditionnel, notamment avec de large ΔT sur les sources chaude et froide.
Système sur-mesure, adapté aux besoins de l'usine.
Les PAC hybride sont fabriquées sur skids pour un intègrement parfait dans votre système énergétique existant.
Maintenance facile et économique en raison des basses pressions de service.
Réduction de la consommation énergétique et des émissions de CO_2 de l'usine, nocif pour l'environnement.

POMPE A CHALEUR HYBRIDE

Exemples de performances :

Source froide (°C)	Source chaude (°C)	COP $_{Carnot}$	COP $_{Lorentz}$
8°C → 4°C	85°C → 95°C	4	4,3
40°C → 15°C	60°C → 90°C	4,8	7,3
25°C → 20°C	70°C → 110°C	4,3	5,4
80°C → 20°C	85°C → 90°C	5,2	9,4

En général :
$COP_{réel} = 0{,}5 \times COP_{Carnot}$. Il est possible d'atteindre $COP_{réel} = 0{,}6 \times COP_{Carnot}$, si l'installation est optimisée.

Avec une pompe à chaleur hybride, l'efficacité peut être augmenté jusqu'à : $COP_{réel} = 0{,}8 \times COP_{Carnot}$

POMPE A CHALEUR HYBRIDE

Production de chaleur pour le process de Compagnie des fromages & Richemonts - Vire, France

Objectif : Produire de l'eau chaude pour les process de l'usine.

COP = 5,5

Système à un étage de compression.

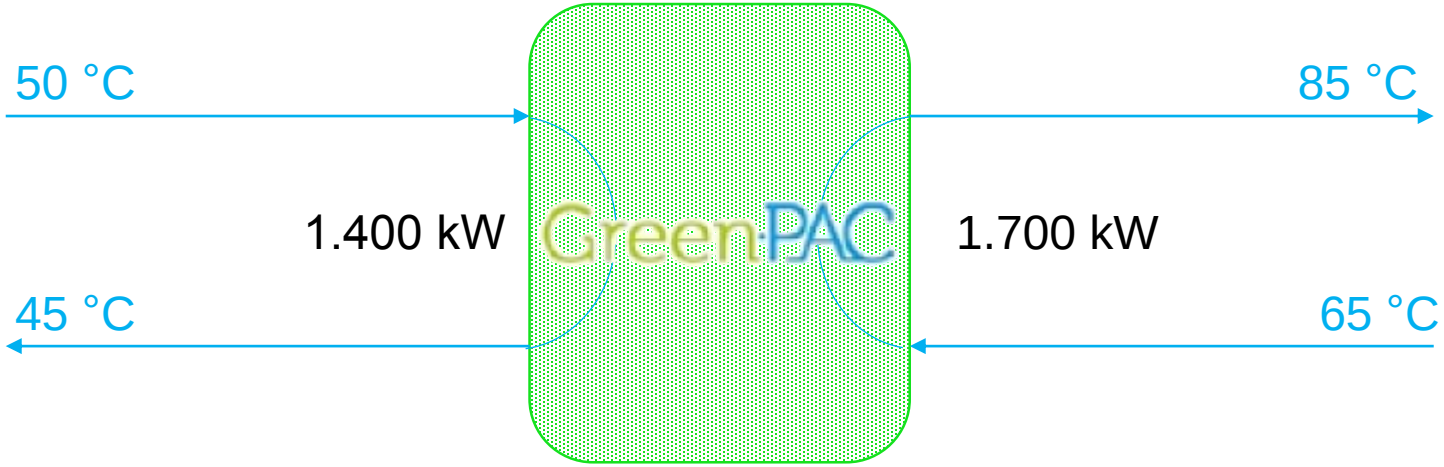


TABLEAU COMPARATIF

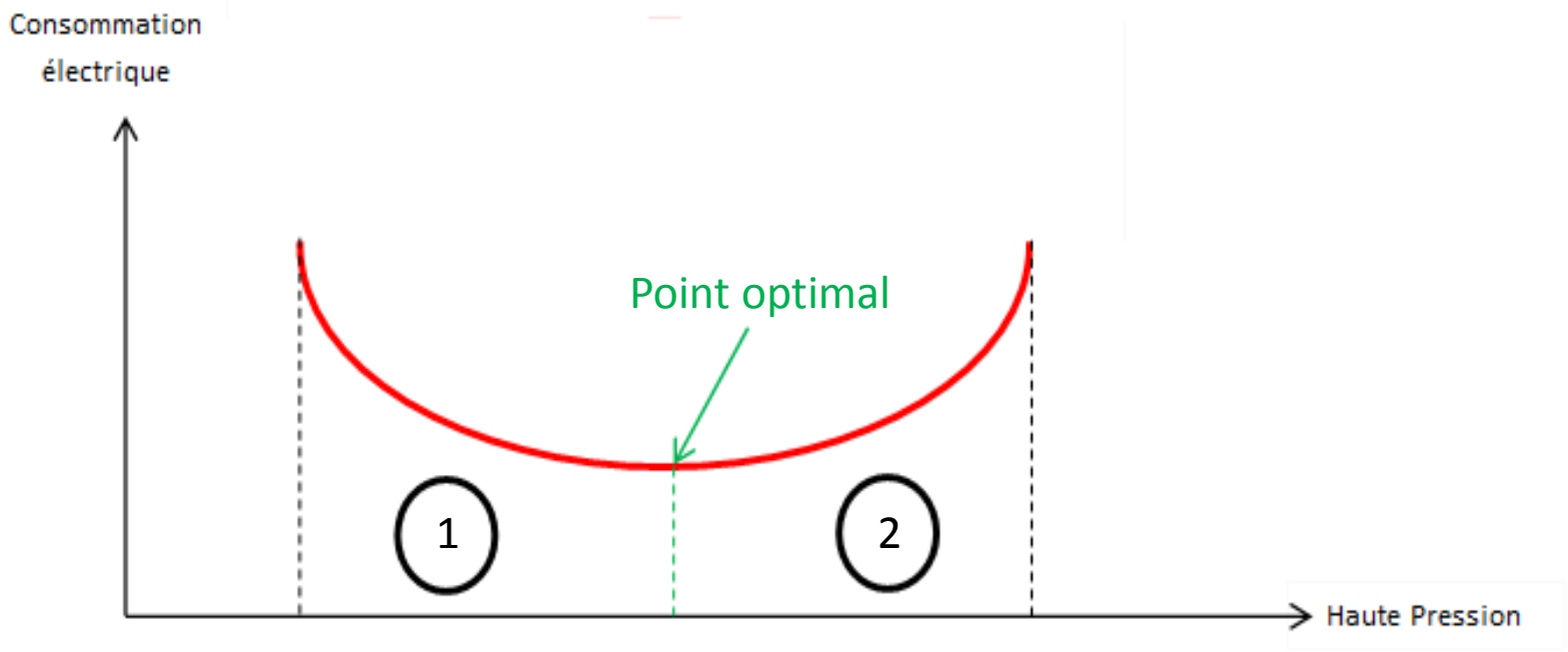
TECHNOLOGIE	☑ AVANTAGES	☒ INCONVENIENTS
Récupération de chaleur passive	• Coût d'investissement • Fiche CEE • Retour sur investissement rapide	• Niveau de puissance limité
Récupération de chaleur active : La thermo-frigo pompe	• Production frigorifique et calorifique simultanée • Faible maintenance • Optimisation de la consommation électrique	• Limité à 60°C
Pompe à chaleur NH_3	• Faible charge de fluide frigorigène • Ensemble compact • Coût d'installation et d'exploitation	• Pression de service élevée
Pompe à chaleur hybride	• Production d'eau jusqu'à 120°C • Excellent COP • Pression de service faible	• Coût d'investissement • Complexité du système

OPTIMISATION DES INSTALLATIONS : HP FLOTTANTE

La HP flottante consiste à :

- Réguler la pression de condensation dans le cadre d'une optimisation de consommation électrique.
- Obtenir une valeur de consommation électrique du couple compresseur(s) – condenseur(s), la plus faible possible.
- Une baisse d'1°C de la température de condensation entraîne une diminution de 2,8% de la consommation des moteurs.
- Une fiche CEE dédiée : « Régulation sur un groupe de production de froid permettant d'avoir une HP flottante » (*IND-UT-16)*

OPTIMISATION DES INSTALLATIONS : HP FLOTTANTE



<u>Zone 1 :</u> La HP est faible, les compresseurs consomment moins, mais les ventilateurs du condenseur tournent plus.

<u>Zone 2 :</u> La HP augmente, les ventilateurs du condenseur ont tendance à fonctionner à une fréquence plus basse, cependant les compresseurs travaillent sur un taux de compression plus grand, la consommation électrique augmente.

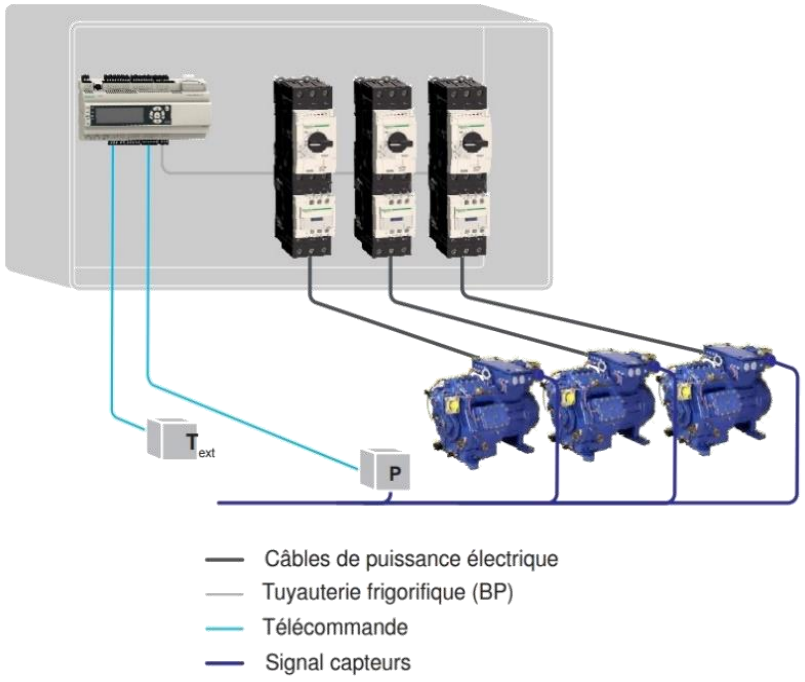
OPTIMISATION DES INSTALLATIONS : BP FLOTTANTE

La BP flottante consiste à :

- Moduler la consigne BP
- Remonter la consigne sans altérer le bon fonctionnement du système frigorifique.
- Prendre en compte l'impact sur la ventilation et le pompage

La consigne de la régulation évolue en fonction d'un paramètre qui reflète la variation du besoin à l'évaporateur. Il peut s'agir de :

- La température extérieure.
- La température intérieure.
- Un débit.
- Une hygrométrie.



OPTIMISATION DES INSTALLATIONS : BP FLOTTANTE

Influence de la BP sur les compresseurs :

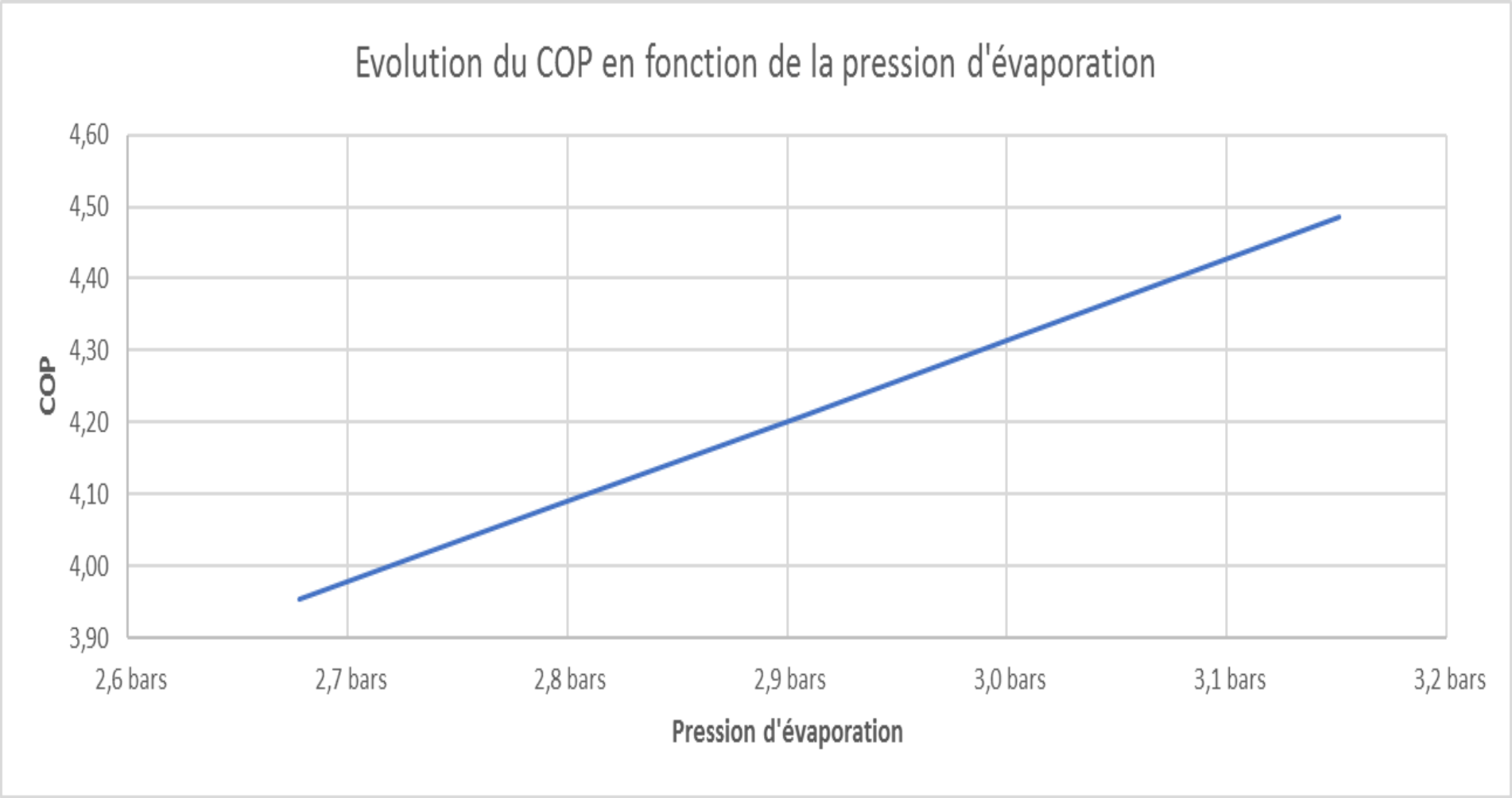
Evolution des performances constructeurs du compresseur MYCOM 280 JL-V pour un besoin frigorifique constant (~ 2050 kW) :

Hypothèses de fonctionnement :

Fluide	T condensation	Pdc $_{aspiration}$	Pdc $_{refoulement}$	Surchauffe	Sous-refroidissement
Ammoniac	35 °C	0,03 bars	0,3 bars	0 °C	0°C

θ_K (°C)	-12 °C	-11 °C	-10 °C	-9 °C	-8 °C
HP (bars)	2,7 bars	2,8 bars	2,9 bars	3,0 bars	3,2 bars
Ø $_{frigorifique}$	2 049,6 kW	2 053,3 kW	2 053,2 kW	2 048,9 kW	2 047,8 kW
Ø $_{absorbée}$	518,3 kW	503,3 kW	487,8 kW	471,6 kW	456,6 kW
COP	3,95	4,08	4,21	4,34	4,48
Vitesse	2 950 rpm	2 840 rpm	2 730 rpm	2 620 rpm	2 520 rpm

OPTIMISATION DES INSTALLATIONS : BP FLOTTANTE



OPTIMISATION DES INSTALLATIONS : BP FLOTTANTE

Sur ce compresseur, pour une température de condensation de 35°C, une baisse de 1°C sur la température d'évaporation engendre :

- Une augmentation de 3,2 % de la puissance absorbée du compresseur
- Une diminution de 3,1 % du COP

Cette variation est très peu différente du niveau de température d'évaporation.

FICHE CEE IND-UT-134
« SYSTÈME DE MESURAGE D'INDICATEURS DE PERFORMANCE ENERGETIQUE »

Ce système a pour fonction :

- de mesurer, relever et conserver les données nécessaires au calcul des IPÉ (Indicateur de Performance Energétique)
- de communiquer vers l'utilisateur les résultats obtenus afin de réaliser un suivi des IPÉ
- d'alerter l'utilisateur en cas de dérive des IPÉ

Le système de mesurage permet de mesurer et collecter les consommations d'énergie et les données de production d'un équipement.

Pour mesurer les performances des systèmes nous mettons en place :

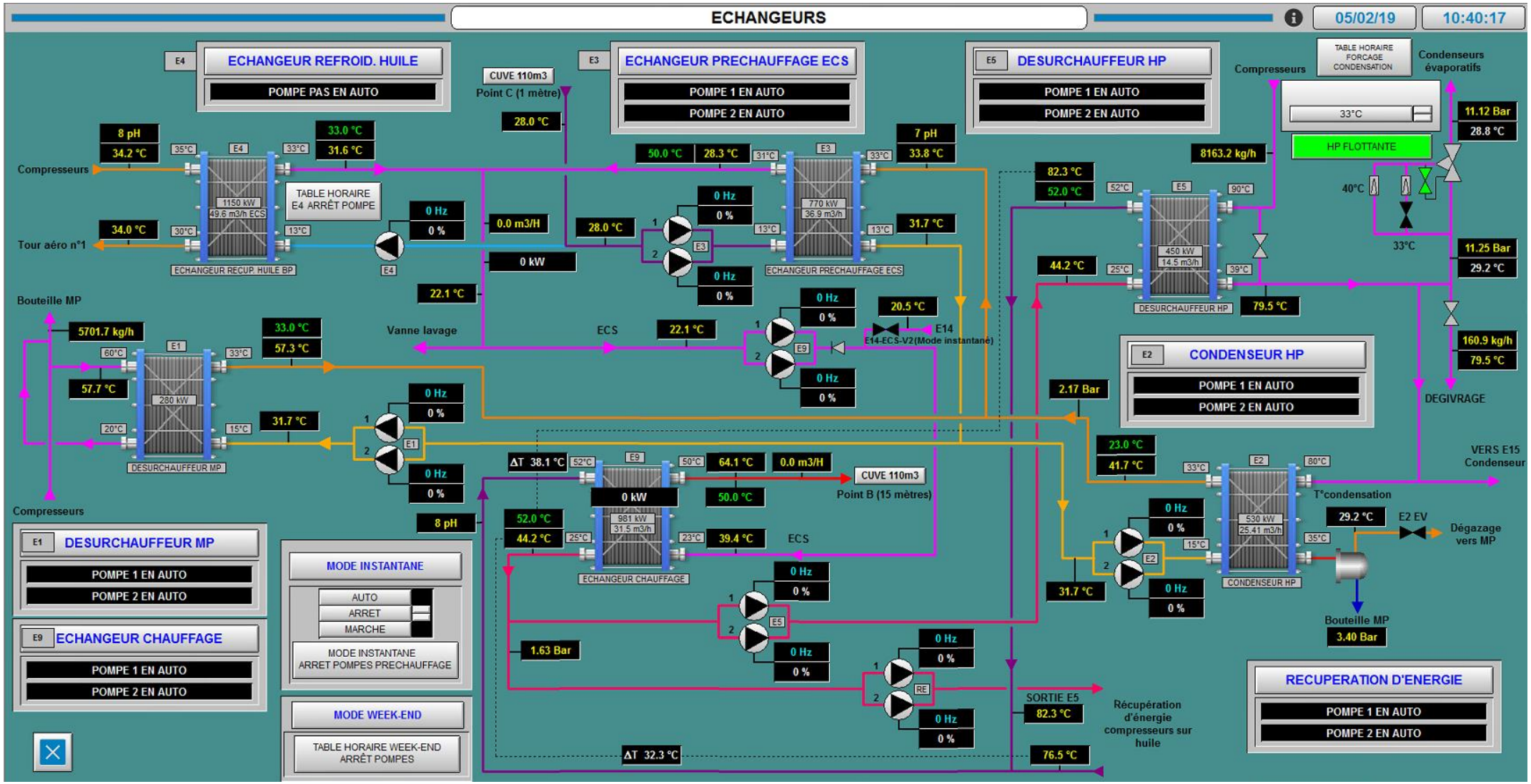
- Des débitmètres
- Des sondes de températures
- Des compteurs électriques

Les indicateurs mesurés sont :

- La puissance thermique
- La puissance électrique
- Le rendement

} Mesure de synthèse : Le COP (Coefficient de Performance)

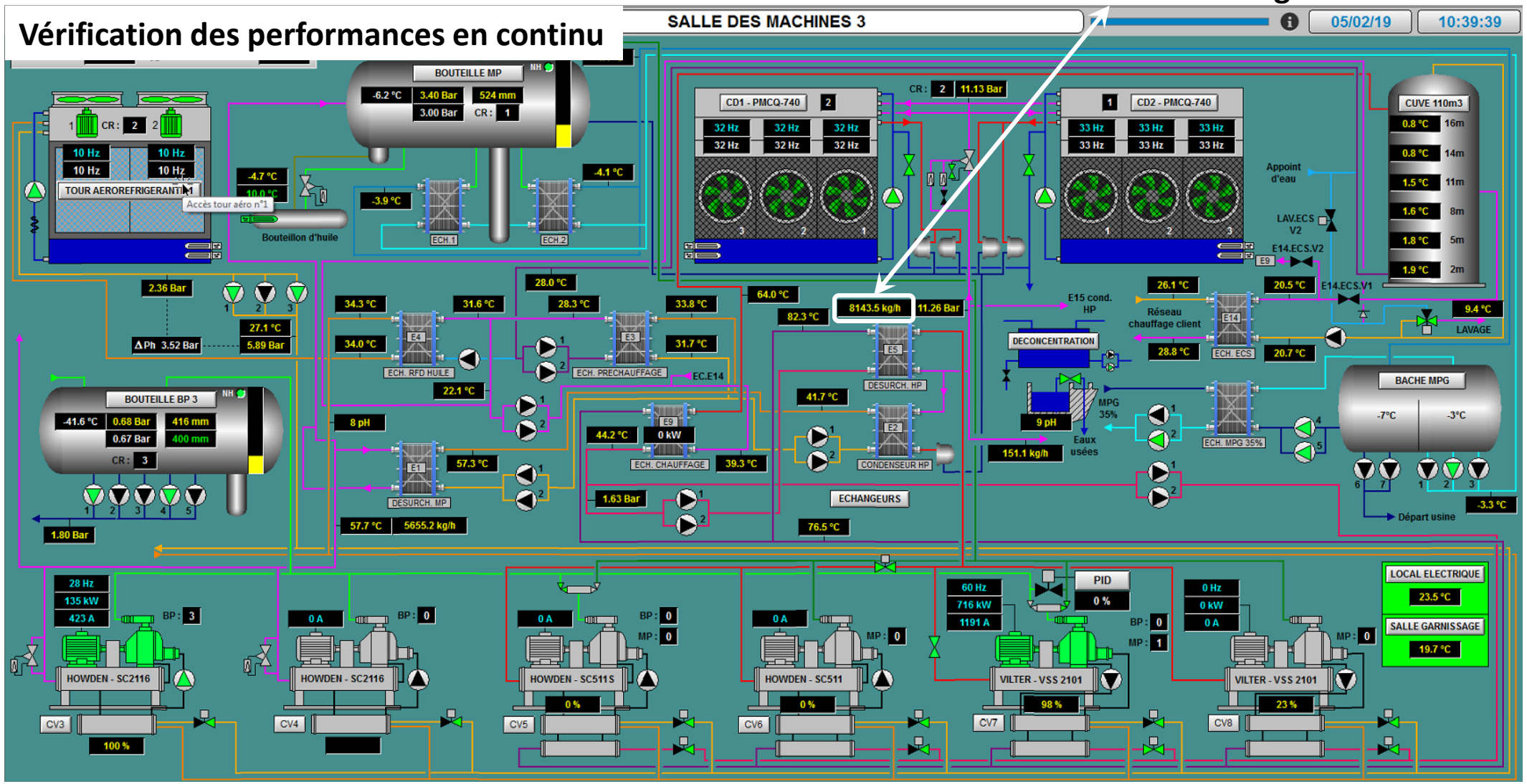
EXEMPLES DE SYNOPTIQUES - ECHANGEURS



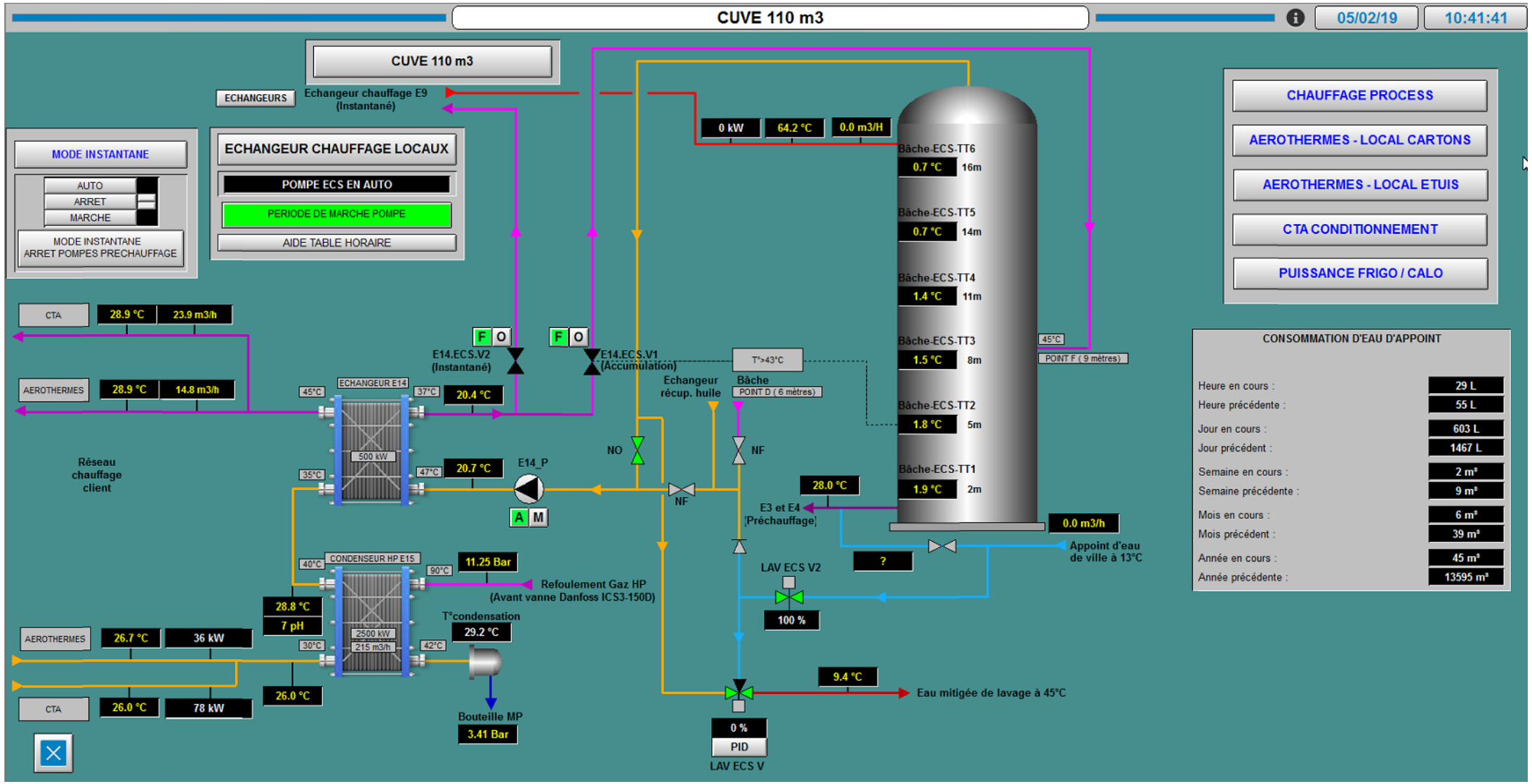
EXEMPLES DE SYNOPTIQUES – SALLE DES MACHINES

Mesure de débit gaz

Vérification des performances en continu



EXEMPLES DE SYNOPTIQUES - CUVE



EXEMPLES DE SYNOPTIQUES - BILANS

BILAN ENERGETIQUE — 05/02/19 — 10:42:11

Consommation électrique EFR1	971 kW	Consommation électrique EFR2	50 kW	Consommation électrique EFRC2	564 kW	Consommation électrique EFRC3	0 kW

BILAN	Instantané	HEURE		JOUR		SEMAINE		MOIS		ANNEE	
		En cours	Précédente	En cours	Précédent	En cours	Précédente	En cours	Précédent	En cours	Précédente
Puissance électrique globale	1585 kW	821 kWh	1432 kWh	12617 kWh	28029 kWh	40647 kWh	142314 kWh	78205 kWh	529783 kWh	607635 kWh	5737896 kWh
Puissance électrique BP (CVs + P NH3) en mode booster	701 kW	362 kWh	611 kWh	5494 kWh	12441 kWh	17935 kWh	62916 kWh	31765 kWh	236523 kWh	268273 kWh	1847863 kWh
Puissance électrique MP (CVs) en mode booster	714 kW	372 kWh	668 kWh	5791 kWh	12698 kWh	18491 kWh	57785 kWh	31586 kWh	219534 kWh	251154 kWh	2806489 kWh
Puissance électrique auxiliaire MP en mode booster	48 kW	25 kWh	42 kWh	387 kWh	778 kWh	1165 kWh	4407 kWh	2351 kWh	17404 kWh	19732 kWh	265545 kWh
Puissance électrique totale MP en mode booster	762 kW	397 kWh	711 kWh	6178 kWh	13476 kWh	19655 kWh	62190 kWh	33932 kWh	236581 kWh	270471 kWh	3122047 kWh
Puissance électrique BP en mode super feed	0 kW	0 kWh	0 kWh	0 kWh	167 kWh	167 kWh	6371 kWh	6508 kWh	17956 kWh	24465 kWh	500759 kWh
Puissance frigorifique BP (Débitmètre GC) en mode booster	2016 kW	1025 kWh	1708 kWh	15106 kWh	34265 kWh	49372 kWh	166466 kWh	83702 kWh	661647 kWh	745199 kWh	7635473 kWh
Puissance frigorifique MP (Débimètre GC) en mode booster	2546 kW	1321 kWh	2308 kWh	20139 kWh	43919 kWh	64057 kWh	224009 kWh	111615 kWh	854549 kWh	965888 kWh	10508698 kWh
Puissance frigorifique EGF en mode booster	217 kW	96 kWh	233 kWh	1432 kWh	1310 kWh	2742 kWh	11508 kWh	3909 kWh	38480 kWh	42403 kWh	1297843 kWh
Puissance BP rejetée en mode booster	2507 kW	1276 kWh	2110 kWh	18855 kWh	42718 kWh	61573 kWh	208321 kWh	104955 kWh	821691 kWh	926558 kWh	8491565 kWh
Puissance calorifique Dégivrage	57 kW	31 kWh	56 kWh	1098 kWh	3645 kWh	4743 kWh	19852 kWh	12159 kWh	81629 kWh	93788 kWh	722314 kWh
Puissance calorifique Chauffage Terminal	0 kW	0 kWh	0 kWh	0 kWh	1 kWh	1 kWh	3 kWh	2 kWh	19 kWh	21 kWh	672762 kWh
Puissance calorifique PréChauffage	0 kW	0 kWh	0 kWh	0 kWh	0 kWh	0 kWh	3 kWh	3 kWh	28 kWh	31 kWh	138081 kWh
Puissance frigorifique BP en mode super feed	0 kW	0 kWh	0 kWh	0 kWh	259 kWh	259 kWh	9013 kWh	8908 kWh	98554 kWh	107462 kWh	1307140 kWh
Puissance frigorifique EGF en mode super feed	0 kW	0 kWh	0 kWh	0 kWh	?	?	?	?	?	?	?
COP UTILE tunnels et CF en mode booster	1.44	1.40	1.37	1.34	1.34	1.34	1.37	1.30	1.43	1.41	1.68
COP UTILE EGF en mode booster	3.57	3.45	3.30	3.28	3.27	3.27	3.53	3.21	3.64	3.58	3.14
COP UTILE tunnels et CF en mode super feed	0.00	0.00	0.00	0.00	1.56	1.56	1.41	1.37	5.49	4.39	2.61

CONCLUSION

Sans récupération d'énergie :

Les inconvénients sont nombreux :

- Chaleur fatale
- Consommation électrique
- Production de gaz
- Maintenance des équipements
- Analyse bactériologique
- Nuisance sonore

↗ Facture énergétique

Avec récupération d'énergie :

Les économies se répercutent sur beaucoup de postes :

- Consommation électrique
- Consommation de gaz
- Consommation d'eau
- Traitement d'eau
- Maintenance

↘ Facture énergétique

FUTURES EVOLUTIONS

- Contrat de performances énergétiques (Engagement dans la durée par l'installateur)
  → Les économies d'énergies sont mesurées et garantie sur la durée contractuelle
  → Pour le client final, c'est l'assurance d'un Retour Sur Investissement

- Mise en place des IPÉ
  → Fiche IND-UT-134 « Système de mesurage d'Indicateurs de Performance Énergétique »

- Evolution du coût des énergies

CONTACTS

Merci pour votre attention

Mr Jean-Yves DRUILLENNEC :
Directeur Développement Durable
E-mail : *jean-yves.druillennec@engie.com*
Téléphone : +33 (0)2 99 06 40 34