**SYSTÈMES LMP INC.**

# Systèmes transcritiques au $CO_2$ Manuel de formation

Révision 0, Mai 2019

# Table des matières

**Introduction** ..... 4

**L'utilisation du $CO_2$ comme réfrigérant** ..... 5

- Information générale sur le $CO_2$ ..... 8
  - Avantages écologiques ..... 8
- Considérations de sécurité ..... 10
  - Asphyxie ..... 10
  - Pression ..... 11
  - Glace sèche ..... 13
- Propriétés ..... 15
  - Diagramme d'enthalpie ..... 15
  - Pression/température ..... 16
  - Autres propriétés ..... 16

**Configuration du système** ..... 18

- Systèmes surpresseurs transcritiques ..... 18
- Schéma du système en relation avec le diagramme d'enthalpie ..... 20

**Système Purity – Principales composantes du système** ..... 23

- Réservoir à vaporisation instantanée ..... 24
- Échangeur de chaleur liquide/aspiration basse température (optionnel) ..... 24
- Système de dérivation de l'échangeur de chaleur liquide/aspiration (là où cela s'applique) ..... 24
- Détendeurs électroniques ..... 24
- Compresseurs basse température ..... 25
- Évaporateurs ..... 25
- Système de dégivrage au gaz chaud ..... 25
- Soupape de dérivation de vapeur instantanée ..... 25
- Échangeurs de chaleur intermédiaires ..... 25
- Compresseurs moyenne température ..... 26
- Récupérateur de chaleur ..... 26
- Évacuation de chaleur ..... 26
- Soupape d'étranglement ..... 26

- Systèmes de gestion d'huile ..... 26
- Contrôles ..... 26
- Systèmes de secours ..... 27
- Compression parallèle ..... 27
**Directives d'installation** ..... 28
- Pressions nominales ..... 28
- Type de tuyauterie ..... 30
- Brasage ..... 31
- Techniques de tuyauterie ..... 31
- Supports ..... 32
- Isolation ..... 32
- Soupapes de surpression ..... 33
**Évacuation et remplissage** ..... 34
- Recherche de fuite ..... 34
- Test de pression ..... 34
- Évacuation/Remplissage ..... 34
- Remplissage de l'huile ..... 35
**Mise en marche et entretien** ..... 36
- Procédure de mise en marche ..... 36
- Suite à la mise en marche ..... 37
- Changements d'huile ..... 37
**Annexe A - Dégivrage au gaz chaud** ..... 39
- Introduction ..... 40
- Schéma ..... 41
- Dégivrage au gaz chaud – Considérations supplémentaires ..... 41

**N.B. : Ce document est présenté dans un but de formation seulement, et est sujet à changement sans préavis. Pour du soutien technique additionnel, veuillez contacter Systèmes LMP Inc. au 450 629-9864**

# Introduction

Les systèmes de réfrigération transcritiques au $CO_2$ gagnent en popularité dans le domaine du supermarché. Les politiques nationales et internationales qui, au départ, visaient l'élimination des CFC s'étendent maintenant aux HFC. Les avancements de la technologie des systèmes au $CO_2$ en font des systèmes encore plus viables économiquement autant en ce qui concerne l'équipement et ses coûts d'installation que par les économies d'énergie et les faibles coûts de fonctionnement qu'ils procurent. Ce manuel a pour but de servir de complément à la formation sur les systèmes transcritiques au $CO_2$ de LMP. Cette formation couvre la conception, l'installation et le fonctionnement de ces systèmes.
L'utilisation principale, actuellement, de ces systèmes est surtout dans le domaine de la réfrigération des supermarchés.

Dans ce manuel, le $CO_2$ utilisé comme réfrigérant sera comparé aux HCFC comme le R-22, et aux HFC comme le R-404a et le R407a. La comparaison se fera aussi avec des mélanges de HFO tels le R448a et le R449a. Ce manuel est présenté en présumant que l'utilisateur a une connaissance du comportement de ces réfrigérants dans les systèmes de réfrigération à expansion directe.

# L’utilisation du $CO_2$ comme réfrigérant

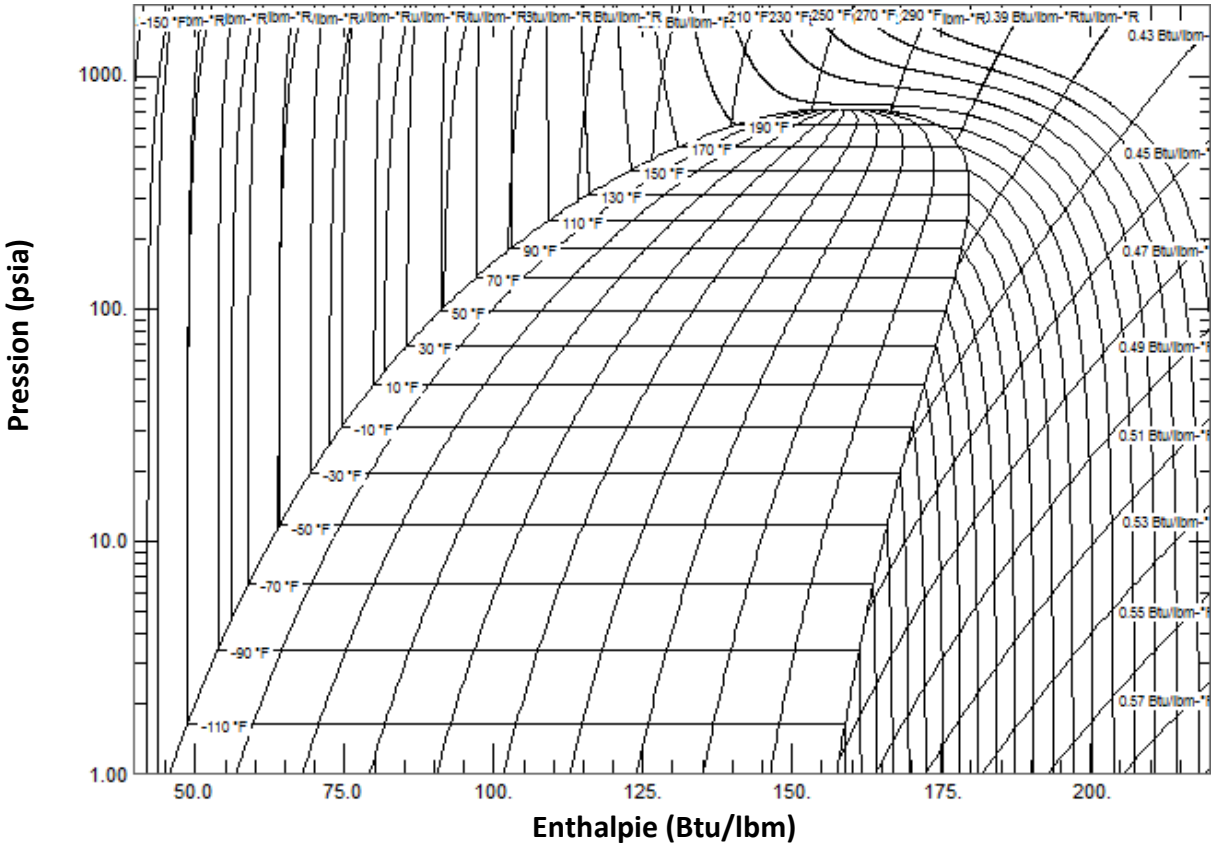
Le dioxyde de carbone, ou $CO_2$, est un composé naturel se trouvant dans l’atmosphère terrestre. Il est le 4$^{e}$ composé atmosphérique le plus commun, derrière l’azote, l’oxygène, et l’argon. Le dioxyde de carbone fait partie intégrante du cycle de vie des plantes et des animaux en tant que produit principal de la respiration des animaux et êtres humains, et étant la première source de carbone des plantes via la photosynthèse.

Dans les dernières décennies, le dioxyde de carbone a été identifié comme étant le principal gaz à effet de serre présent dans l’atmosphère terrestre. Il est couramment utilisé comme unité de mesure pour comparer les impacts de différentes activités sur le réchauffement planétaire, ce qui est à l’origine du terme « empreinte carbone ».

Le $CO_2$ en tant que réfrigérant est aujourd’hui un des prétendants au titre de réfrigérant du futur. Il a l’avantage d’être écologique, possède de bonnes propriétés de transfert de chaleur en plus d’une haute chaleur latente de vaporisation. De plus le $CO_2$ est ininflammable et non toxique. Le principal désavantage du $CO_2$ est sa pression de fonctionnement relativement élevée. Chacun de ses aspects sera expliqué plus loin dans ce manuel.

Par définition un système transcritique est un système qui fonctionne au-dessus du point critique. Le tableau suivant montre le diagramme d’enthalpie du R-22, indiquant les états liquide, mélange saturé, et gazeux. Le haut du « dôme » saturé est le point critique. Au-dessus de ce point, le réfrigérant n’est considéré ni liquide ni gazeux, mais comme un fluide indéfini.

# L'utilisation du $CO_2$ comme réfrigérant *suite*




## Diagramme d'enthalpie du R-22

** Diagramme crée avec « REFPROP – NIST Reference Fluid Properties »*

Comme on peut le voir, le point critique du R-22 est au-dessus de 200°F, ce qui le place bien au-dessus des conditions de fonctionnement typiques des systèmes de réfrigération. Ce qui contraste avec le diagramme d'enthalpie du $CO_2$, qui montre un point critique de 88°F. Cette température est souvent dépassée lorsque l'air ambiant est utilisé comme dissipateur thermique de condensation.

# L'utilisation du $CO_2$ comme réfrigérant *suite*

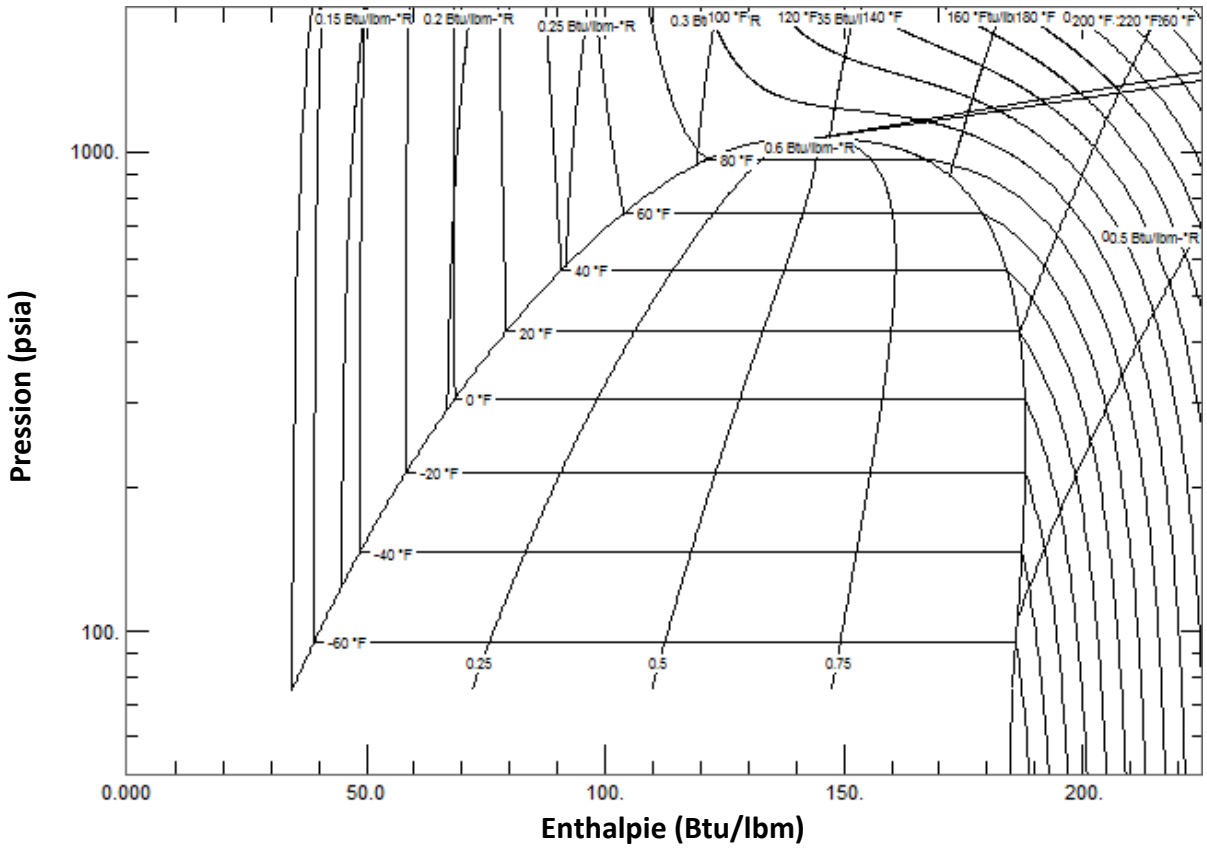



Diagramme d'enthalpie du $CO_2$

** Diagramme crée avec « REFPROP – NIST Reference Fluid Properties »*

# Information générale sur le $CO_2$

## Avantages écologiques

La réglementation sur les réfrigérants au Canada et aux États-Unis se concentre sur deux facteurs, le potentiel de destruction de l'ozone (PDO) et le potentiel de réchauffement de la planète (GWP).

**PDO – Potentiel de destruction de l'ozone**
Le PDO mesure le potentiel de dommages pouvant être causés à la couche d'ozone par une substance si elle est relâchée dans l'atmosphère. Le PDO est un indicateur numérique, utilisant le R-11 comme valeur de référence, le R-11 ayant une valeur de 1,0. Les substances ayant un PDO de 0 ne sont pas considérées dangereuses pour la couche d'ozone.

**GWP – Potentiel de réchauffement de la planète**
Le GWP mesure le potentiel qu'une substance a de contribuer au réchauffement planétaire. Le GWP qualifie une substance en unité équivalent à une livre de $CO_2$. Par exemple, le R-404a a un GWP de 3940, ce qui signifie que relâcher une livre de R-404a a le même effet sur le réchauffement de la planète que de relâcher 3940 livres de $CO_2$.

# Information générale sur le $CO_2$ *suite*

Le tableau ci-dessous montre les PDO et GWP de quelques réfrigérants communs.
**Vous y verrez aussi les classifications de sécurité, selon l'ASHRAE 34.**

| Réfrigérant | Nom commun | PDO | GWP | Classification de sécurité |
|---|---|---|---|---|
| R-11 | | 1 | 4660 | A1 |
| R-12 | | 0,73 | 10800 | A1 |
| R-22 | | 0,034 | 1760 | A1 |
| R-32 | fluorure de méthylène | 0 | 677 | A2 |
| R-134a | | 0 | 1300 | A1 |
| R-290 | propane | 0 | 5 | A3 |
| R-404A | | 0 | 3940 | A1 |
| R-407A | | 0 | 1920 | A1 |
| R-407C | | 0 | 1620 | A1 |
| R-407F | | 0 | 1824* | A1 |
| R-408A | | 0,02 | 3260 | A1 |
| R-410A | | 0 | 1920 | A1 |
| R448a | | 0 | 1273* | A1 |
| R449a | | 0 | 1397† | A1 |
| R-507A | | 0 | 3990 | A1 |
| R-717 | ammoniac | 0 | <1 | B2 |
| R-744 | dioxyde de carbone | 0 | 1 | A1 |

Source : ASHRAE Fundamentals 2017, page 29.5
*Source : documentation de produit Honeywell
†Source : documentation de produit Linde

En 1987, le Canada et les États-Unis ont signé le Protocole de Montréal, s'engageant de ce fait à éliminer les substances nocives pour la couche d'ozone. Tous les membres des Nations-Unies ont éventuellement signé ce traité. La première phase de ce traité ciblait les CFC, comme le R-12. En 1992, le traité a été étendu à l'élimination graduelle des HCFC, comme le R-22. Le plus récent amendement, connu sous le nom d'amendement de Kigali en 2016, a ajouté l'élimination graduelle des HFC.

Ironiquement, le dioxyde de carbone utilisé comme réfrigérant a une empreinte carbone extrêmement faible, comparé à tous les réfrigérants synthétiques communs. L'absence de PDO et le GWP extrêmement faible du $CO_2$ en font un réfrigérant de choix sur le plan environnemental et au point de vue de la réglementation, parce qu'il est déjà bien en-dessous des limites légales actuelles.

# Considérations de sécurité

Les propriétés physiques du $CO_2$ présentent un ensemble unique de caractéristiques reliées à la sécurité. Le $CO_2$ est classifié comme réfrigérant A1 par la norme 34 de l'ASHRAE et le International Mechanical Code, ce qui signifie qu'il est non toxique et ininflammable. Cependant, une fuite assez importante dans un espace clos peut déplacer l'oxygène disponible pour la respiration. À une température de réfrigération commerciale typique, le $CO_2$ fonctionne à une pression supérieure à celle des réfrigérants de synthèse. S'il est relâché à cette pression dans l'atmosphère, le $CO_2$ peut passer à la phase solide, causant une restriction d'écoulement qui peut mener à une augmentation de la pression.

## Asphyxie

Comme il est un réfrigérant A1, on considère que le $CO_2$ a une faible toxicité et une faible inflammabilité. Cependant l'inquiétude vient du fait qu'une fuite importante de $CO_2$ déplace l'air présent dans un endroit, réduisant le taux d'oxygène, un taux d'oxygène considérablement réduit entraine des risques pour la santé allant jusqu'à l'asphyxie et la mort. Habituellement l'air extérieur contient environ 400 parties par million de $CO_2$, ou 0,04%. L'OSHA (Occupational Safety and Health Administration) a établi la limite d'exposition permise à 5000 PPM (0,5%) pour une période de 8 heures par jour (comparé à celle de la plupart des HFC qui est à 1000 PPM, le $CO_2$ est moins dangereux). Le tableau ci-dessous énumère quelques niveaux de concentration additionnels et leurs effets sur le corps humain.

| **Concentration de $CO_2$** | **Effets** |
|---|---|
| 1% (1000 PPM) | La respiration s'accélère légèrement. |
| 2% (2000 PPM) | La respiration s'accélère jusqu'à atteindre 150% du rythme normal. Une exposition prolongée peut occasionner un mal de tête et de la fatigue. |
| 3% (3000 PPM) | La respiration s'accélère jusqu'à atteindre le double du rythme normal et devient laborieuse. Léger effet narcotique, problème d'audition, mal de tête, augmentation de la tension artérielle et du pouls. |
| 4-5% (4000 - 5000 PPM) | La respiration s'accélère jusqu'à atteindre environ quatre fois le rythme normal, des symptômes d'intoxication deviennent évidents, un léger étouffement peut se produire. |
| 5-10% (5000 – 10 000 PPM) | Une odeur âcre caractéristique est perceptible. Respiration très laborieuse, trouble de la vision, mal de tête et tintement dans les oreilles. Le jugement peut être affecté, suivi, quelques minutes plus tard par une perte de conscience. |
| 10-100% (>10 000 PPM) | La perte de conscience survient plus rapidement au-dessus de 10%. L'exposition prolongée à de fortes concentrations peut éventuellement mener à la mort par asphyxie. |

Le $CO_2$,à la pression ambiante, est plus lourd que l'air, donc les dispositifs de détection de fuites doivent être placés assez bas, en général à 18" au-dessus du plancher ou tel que prescrit par la réglementation locale.

# Considérations de sécurité *suite*

## Pression

Le $CO_2$ utilisé comme réfrigérant, dû à ses propriétés thermodynamiques inhérentes, a une pression de fonctionnement plus élevée que les HCFC ou HFC. Le tableau ci-dessous montre les pressions comparables de quelques réfrigérants communs à trois différentes conditions de fonctionnement saturé.

| **Points de fonctionnement du système** | **R-22** | **R-404a** | **R-407a** | **R-744 ($CO_2$)** |
|---|---|---|---|---|
| Évaporation en basse température (-25°F) | 7,4 | 12,9 | -2,7 | 181 |
| Évaporation en moyenne température (+20°F) | 43,1 | 55,8 | 34 | 407,2 |
| Pression de condensation (86°F) | 158,2 | 191,4 | 165,6 | 1031,5 |

** Toutes les pressions sont indiquées en psi*

Les systèmes de réfrigération à expansion directe au HFC (DX) sont munis d'un seul dispositif de protection contre la surpression situé au réservoir. Ce dispositif de protection contre la surpression est recommandé pour des pression avoisinant les 400 psi, selon le réfrigérant utilisé. Des dispositifs de sécurité mécaniques additionnels et des réglages de contrôle arrêtent le système s'il atteint une pression de refoulement d'environ 350 psi pour éviter que le réfrigérant ne s'échappe par la soupape de surpression. Le système complet de tuyauterie est conçu pour des conditions de fonctionnement au-dessus de la pression de sécurité, donc aucun dispositif secondaire de sécurité n'est nécessaire. Si le système s'arrête à cause d'une panne de courant ou d'un entretien, la pression interne ne dépasse pas la pression nominale de la tuyauterie.

La forte pression saturée du $CO_2$ lors de conditions estivales, excède la pression nominale de la tuyauterie de cuivre de type K, de même que celle de la plupart des soupapes de réfrigération DX. En conséquence, le côté « haute-pression » d'un système au $CO_2$ doit être bâti en utilisant des matériaux et des processus d'installation conçus pour des pressions supérieures, ce qui est plus coûteux. Dans le but de réduire le coût global d'installation du système, le côté « basse-pression » d'un système au $CO_2$ est conçu pour une plus faible pression de fonctionnement, ce qui permet d'utiliser du cuivre pour la tuyauterie du côté « basse-pression ». Lorsque que le système fonctionne normalement, les pressions se maintiennent sous la pression nominale du système.

# Considérations de sécurité *suite*

**N.B.: NE JAMAIS PERMETTRE QUE LE $CO_2$ LIQUIDE RESTE PIÉGÉ DANS LE SYSTÈME SANS QU'IL N'Y AIT DE DISPOSITIF DE PROTECTION DE LA SURPRESSION, CECI POURRAIT ÊTRE EXTRÊMEMENT DANGEREUX.**

La pression du système au $CO_2$ pose un risque pour la sécurité lorsque le liquide reste piégé dans une portion du système qui n'est pas conçue pour la pleine pression à une température plus élevée. Chaque fois qu'il y a un mélange de liquide et de gaz, la pression et la température sont étroitement liées. Le tableau ci-dessous indique le diagramme d'enthalpie du $CO_2$, par incréments de 5°F.

| **Tableau de saturation du $CO_2$** | |
|---|---|
| Température | Pression |
| °F | psi |
| -20 | 200 |
| -15 | 221 |
| -10 | 243 |
| -5 | 266 |
| 0 | 291 |
| 5 | 318 |
| 10 | 346 |
| 15 | 376 |
| 20 | 407 |
| 25 | 441 |
| 30 | 476 |
| 35 | 513 |
| 40 | 553 |
| 45 | 594 |
| 50 | 638 |
| 55 | 684 |
| 60 | 733 |
| 65 | 784 |
| 70 | 838 |
| 75 | 895 |
| 80 | 955 |
| 85 | 1018 |
| 87,8 | 1055 |
| *N.B. : 87,8°F est la température critique du $CO_2$, aucun état saturé n'existe au-dessus de ce point.* | |

# Considérations de sécurité *suite*

À mesure que la température du mélange saturé monte, la pression aussi monte jusqu'à atteindre la pression de saturation du tableau ci-dessus. **Si la pression du réfrigérant excède la pression nominale de la tuyauterie, des soupapes ou autres composantes du système, il peut se produire des fuites et possiblement l'éclatement des composantes du système**.

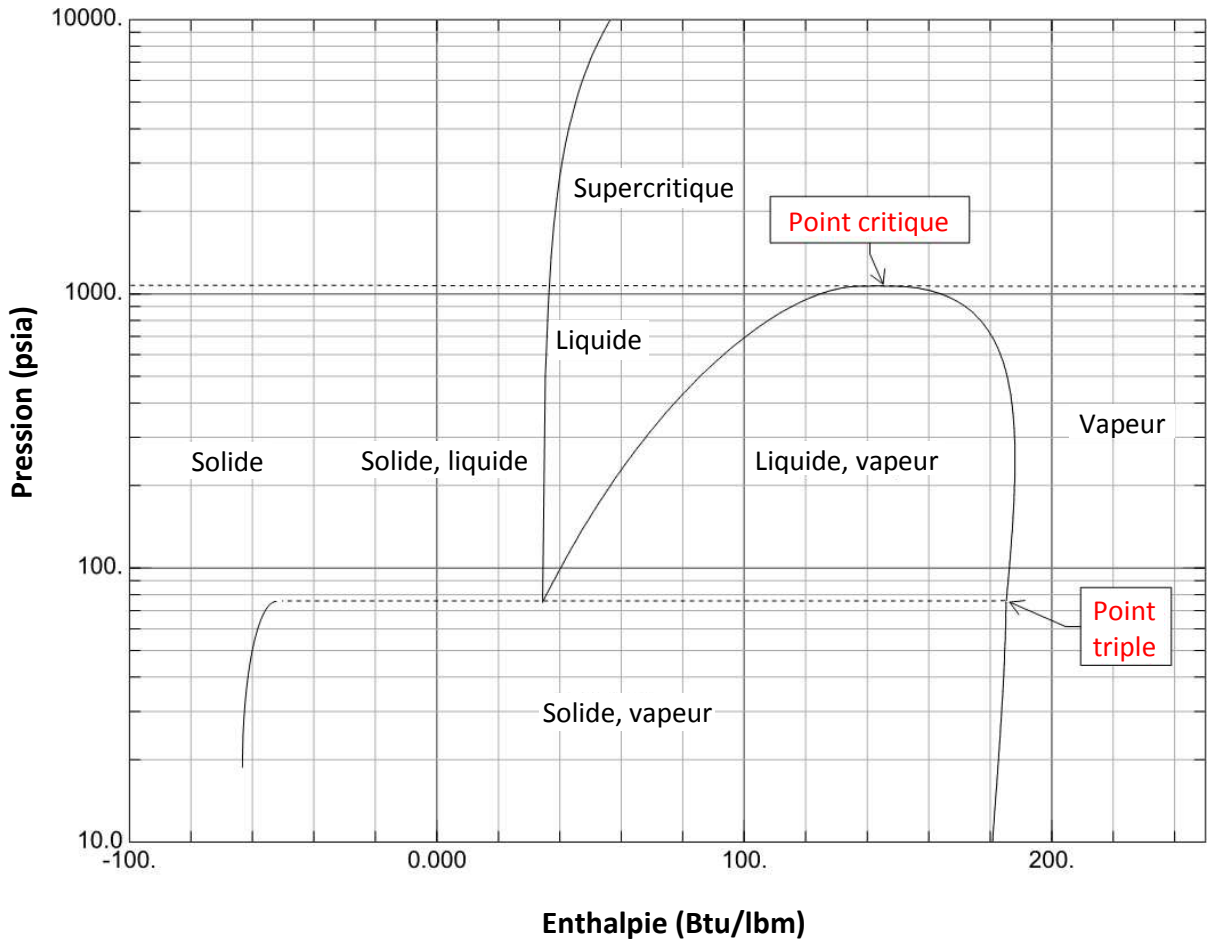
Pour minimiser les risques d'accroissement de pression dans le système, la conception du système doit être faite de façon à éviter que la pression puisse augmenter dans n'importe quelle partie du système et passer au-dessus de la pression maximale prévue pour le système. **Les dispositifs de protection contre la surpression doivent être situés de manière appropriée pour permettre au système de s'évacuer de façon sécuritaire en cas d'arrêt ou autres situations qui pourraient causer une hausse de pression au-dessus des pressions nominales du système.** Tous les points du système doivent pouvoir être ventilés par les soupapes de surpression sans restriction. Les clapets de retenus sont normalement utilisés pour permettre à des portions du système d'être évacuées vers les réservoirs, là où se trouvent les soupapes de surpression. Toute portion du système qui ne peut pas être évacuée via le réservoir, doit avoir sa propre soupape de surpression.

## Glace sèche

Les dispositifs de surpression des systèmes de réfrigération DX traditionnels sont situés directement sur la sortie du réservoir, et comportent une conduite vers l'extérieur pour une évacuation sécuritaire. Cette configuration serait dangereuse si elle était appliquée aux systèmes au $CO_2$, à cause de la formation de glace sèche.

La glace sèche est simplement du $CO_2$ sous forme solide. Le diagramme d'enthalpie du $CO_2$ est montré ci-dessous, illustrant la région où il peut exister à l'état solide.

# Considérations de sécurité *suite*




** Diagramme crée avec « REFPROP – NIST Reference Fluid Properties »*

Dans un système de réfrigération, il y a deux conditions fréquentes dans lesquelles ceci peut se produire. La première et potentiellement dangereuse, est à une soupape de surpression. Quand une soupape de surpression est ouverte, le réfrigérant subit une rapide baisse de pression en sortant du système. Si le $CO_2$ liquide s'échappe, le diagramme d'enthalpie montre qu'une baisse de pression sous le point triple de 75,1 psia (60,4 psi) occasionnera un mélange de solide et de vapeur. Pour cette raison, il ne doit pas y avoir de tuyauterie en aval des soupapes de surpression. Si la baisse de pression se produit à l'intérieur de la tuyauterie, il y aura formation de glace sèche, qui bloquera le tuyau empêchant ainsi la pression de s'échapper.

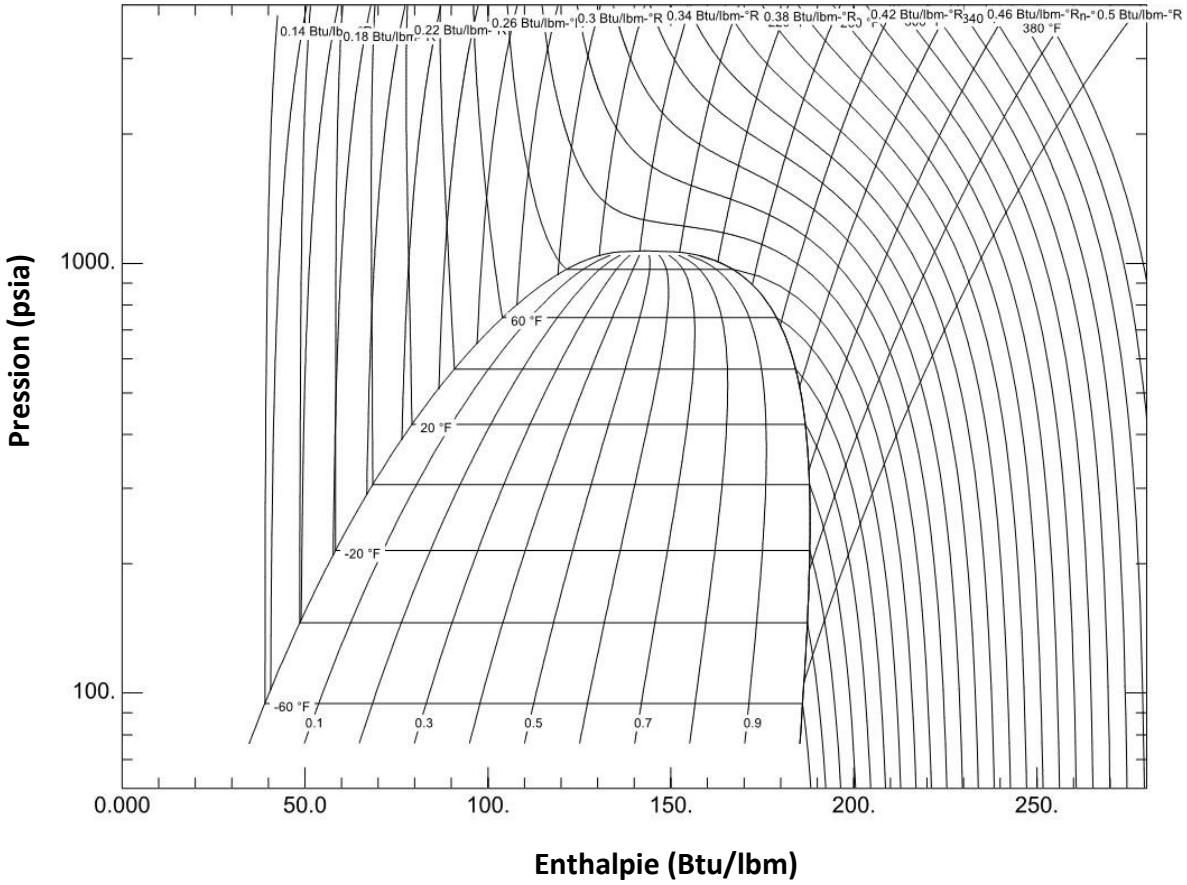
La deuxième condition est lorsque de la glace sèche se forme lors du remplissage du système. Si le vide du système est brisé avec du liquide, de la glace sèche peut se former à l'intérieur, réduisant ainsi le débit de charge. Cette condition est moins dangereuse parce qu'elle n'entraine pas d'accumulation de pression qui dépasserait la pression nominale du système, mais doit tout de même être évitée.

# Propriétés

Les propriétés du $CO_2$ comportent à la fois des avantages et des défis, comparé aux réfrigérants synthétiques usuels. Quelques-unes de ces propriétés ont été décrites dans les sections précédentes parce qu'elles se rapportent aux considérations de sécurité et environnementales. Les sections suivantes décrivent les propriétés clés du $CO_2$ qui sont en rapport avec le fonctionnement des systèmes de réfrigération.

## Diagramme d'enthalpie

Le diagramme d'enthalpie du $CO_2$ est illustré ci-dessous.




** Diagramme crée avec « REFPROP – NIST Reference Fluid Properties »*

Plusieurs caractéristiques peuvent être vue rapidement dans le diagramme ci-dessus.

1. Zone saturée – La forme générale du diagramme d'enthalpie du $CO_2$ est semblable à celle des autres réfrigérants; seules les valeurs spécifiques sont différentes.
2. Point critique – le point critique du $CO_2$ est de 1070 psia (1055,3 psi) et 87,8°F. Ce sont les plus hautes pression et température où le liquide et le gaz peuvent exister simultanément. La zone au-dessus de ce point est considérée comme supercritique, sous ce point on parle de sous-critique.

# Propriétés *suite*

3. Lignes de température droite et constante dans la zone saturée – Le $CO_2$ est un corps pur, donc il n'a pas de glissement de température entre les lignes de liquide saturé et de vapeur saturée. Ce qui signifie que les températures d'évaporation restent constantes tout le long du serpentin d'évaporation, permettant une mesure facile de surchauffe.
4. Zone solide, vapeur – sous le point triple de température soit -69,8°F, le $CO_2$ consiste en un mélange solide-gazeux. Remarquez que le point triple de pression est de 75psi, ce qui signifie que si un liquide ou un mélange saturé est abaissé à cette pression, il passera à l'état de mélange solide, vapeur. Le point triple des réfrigérants synthétiques usuels est à l'extérieur des plages de température et de pression possibles, et n'est pas montré sur la plupart des diagrammes d'enthalpie.

## Pression/température

Comme c'est le cas pour d'autres corps purs, le $CO_2$ a une relation pression/température directe en condition saturée (mélange de liquide et gaz).

| **Point de fonctionnement du système** | **R-22** | **R-404a†** | **R-744 ($CO_2$)** |
|---|---|---|---|
| Évaporation basse température (-25°F) | 7,4 | 12,9 | 181 |
| Évaporation moyenne température (+20°F) | 43,1 | 55,8 | 407,2 |
| Pression de condensation (86°F) | 158,2 | 191,4 | 1031,5 |

** Pressions indiquées en psi* *†Le R-404a est un mélange, mais avec un glissement négligeable*

À des températures d'aspiration typiques en basse température, le $CO_2$ fonctionne à environ 180 psi. À des températures d'aspiration typiques en moyenne température, la pression est d'environ 400 psi. Contrairement à d'autres mélanges de réfrigérant comme le R-407a, le $CO_2$ n'a pas de glissement de température, donc le point de rosée et le point de bulle sont égal à une température donnée.

Au-dessus du point critique, les pression et température ne sont plus en relation directe.

## Autres propriétés

Le $CO_2$ est disponible dans le commerce à différents degrés de pureté. Les noms communs et pourcentage de pureté sont indiqués ci-dessous. LMP recommande l'utilisation du $CO_2$ avec un degré de pureté égal ou supérieur au degré de pureté « bone dry »

| **Qualité** | **Pureté** |
|---|---|
| Industrielle | 99,5% |
| **Bone dry (recommandé par LMP)** | **99,8%** |
| Anaérobique | 99,9% |
| Coleman (instrument) | 99,99% |
| Recherche | 99,999% |
| Ultrapure | 99,9999% |

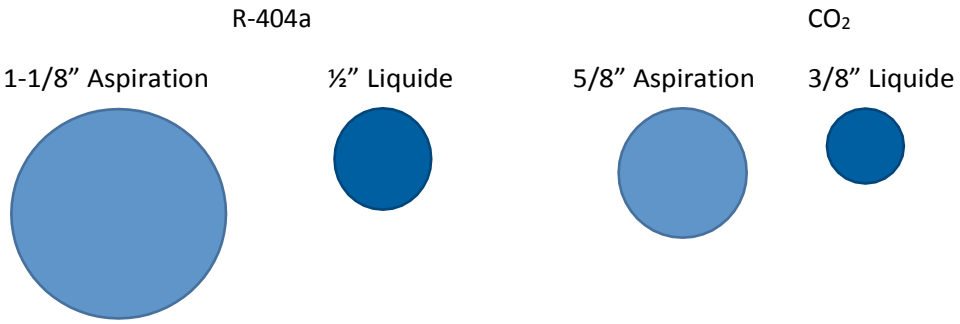
** Le $CO_2$ de qualité médicale ne devrait pas être utilisé, à cause des régulateurs de pression de sortie généralement présents sur les bombonnes*

# Propriétés *suite*

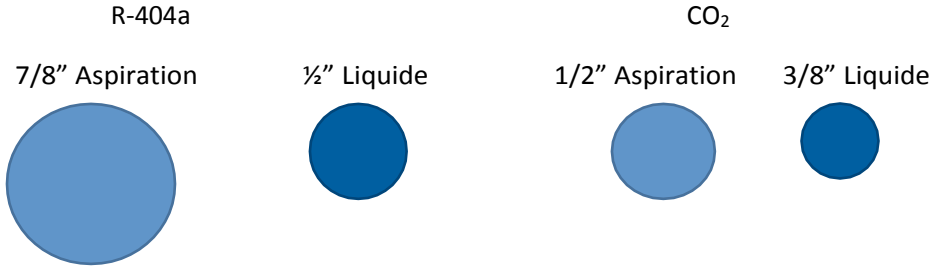
L'utilisation du CO2 « Bone Dry » assure un bon fonctionnement de l'équipement et il est assez pur pour prévenir l'accumulation de gaz non condensables dans le système. Les mélanges de CO2 de plus grande pureté sont acceptables. Du CO2 de moins bonne qualité coûterait moins cher, mais n'est pas recommandé pour utilisation dans les systèmes Purity de LMP. Ceux-ci contiennent une plus grande quantité de contaminant et d'eau, ce qui pourrait diminuer les performances du système. Un plus haut degré d'humidité peut réagir avec le $CO_2$ et former de l'acide carboxylique qui en dégraderait les composantes. LMP recommande, selon l'endroit et la disponibilité du $CO_2$, de garder sur place assez de réfrigérant pour assurer le remplissage complet du système.

Un des avantages du $CO_2$ par rapport aux réfrigérants synthétiques, est une haute densité de vapeur. Le R-22 a une densité de 0,43 lb/pi$^3$ en sortant d'un évaporateur à -25°F. Le $CO_2$, dans les mêmes conditions, a une densité de 2,2 lb/pi$^3$, à peu près 5 fois plus dense. En conséquence la tuyauterie est plus petite, parce que le même débit-masse peut se produire à un écoulement volumétrique et la vitesse associée beaucoup plus bas que ceux des réfrigérants synthétiques.

**15 MBH @-20°F**




**15 MBH @+20°F**

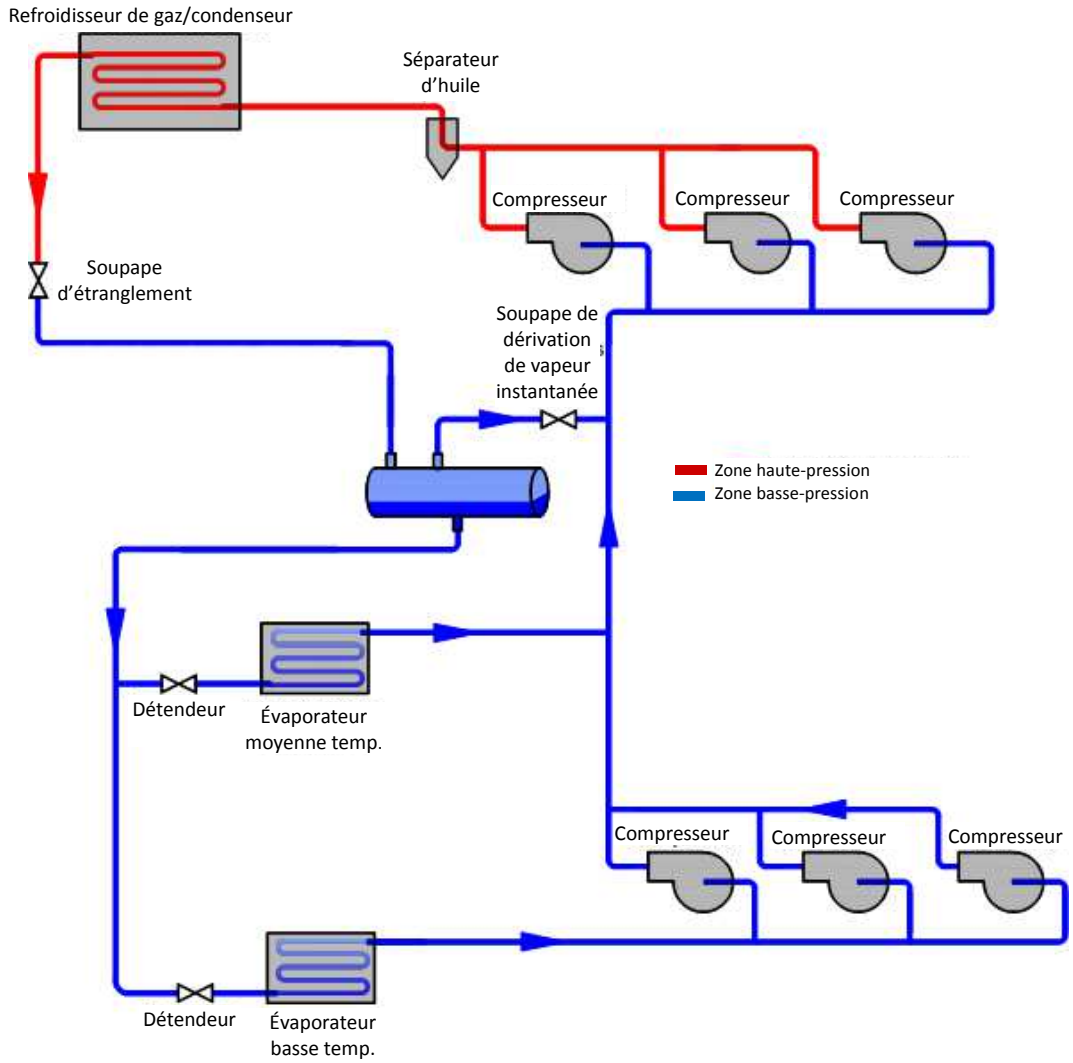


# Configuration du système

## Systèmes surpresseurs transcritiques

Le $CO_2$ a trouvé son utilité dans l'industrie du supermarché dans une grande variété de configurations de système. Au début en Amérique du Nord il était principalement utilisé comme fluide de stage, avec un réfrigérant primaire pour le refroidissement côté haute pression.
Ce qui permet un fonctionnement avec de nasses pressions en gardant une bonne efficacité. Ceci était utilisé autant pour des systèmes pompés que pour des systèmes à expansion directe en cascade. Les deux types de système ont des avantages et des inconvénients, plus de détails peuvent être trouvés dans d'autres documents.

Un système transcritique au $CO_2$ fonctionne sans autre réfrigérant, la chaleur qui est extraite des chambres et comptoirs réfrigérés est redirigée vers l'eau ou l'air ambiant. Un schéma de base d'un système transcritique au $CO_2$ avec soupape de dérivation de vapeur instantanée est illustré ci-dessous.



# Configuration du système *suite*

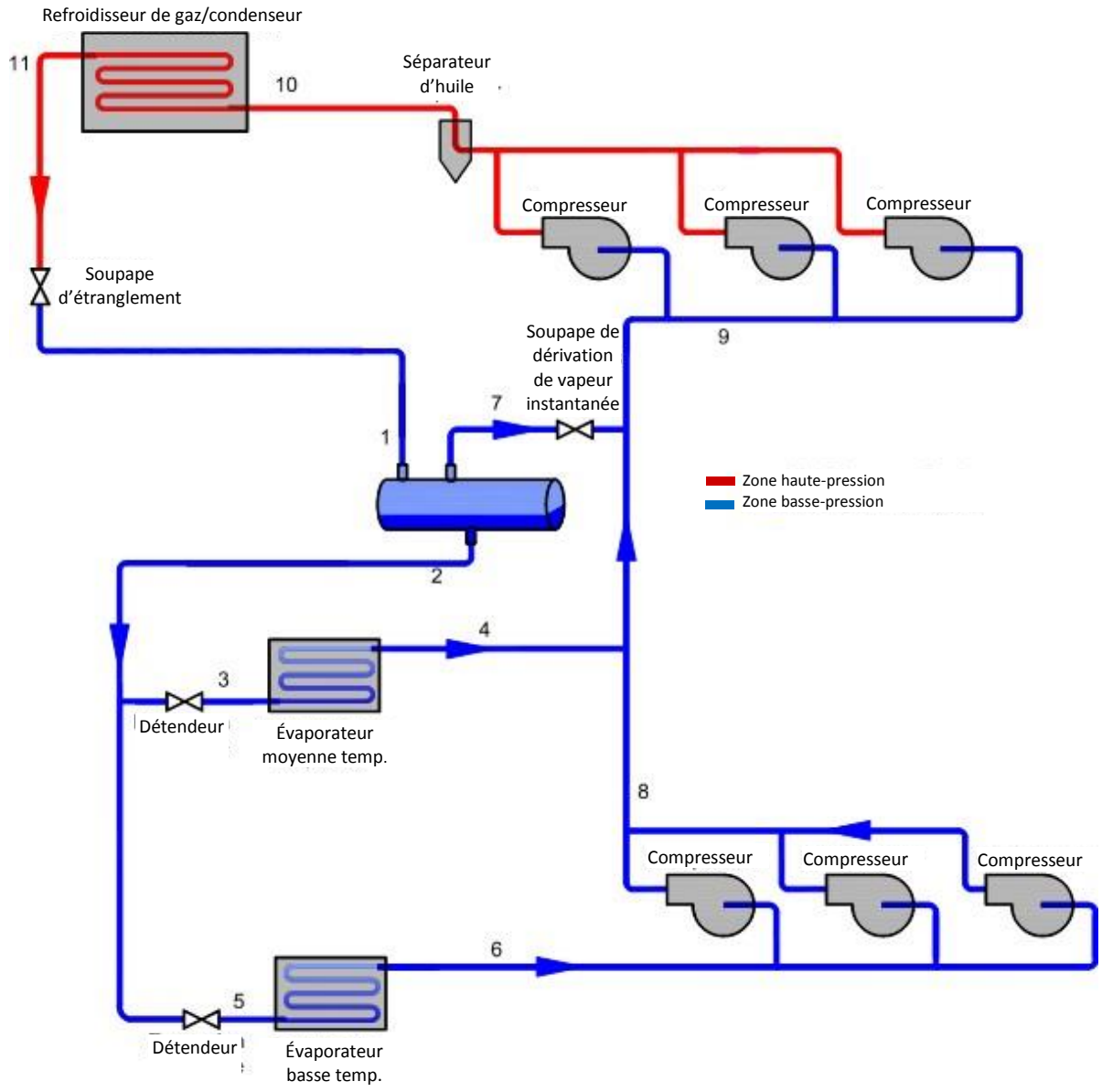
Le système est divisé en deux stages, inférieur et supérieur. Le stage inférieur commence à la sortie de la soupape haute-pression (étranglement). Ici, un mélange de liquide et vapeur est dirigé dans le séparateur liquide/vapeur. À partir du bas du séparateur, le $CO_2$ liquide à 20-30°F alimente l'évaporateur basse température en passant au travers un détendeur. Le $CO_2$ se vaporise complètement et est retourné sous forme de vapeur aux compresseurs du stage inférieur. Les compresseurs du stage inférieur s'évacuent dans l'aspiration des compresseurs du stage supérieur. Les évaporateurs moyenne température sont alimentés par le même liquide que les évaporateurs basse température.
La vapeur venant des évaporateurs est dirigée directement à l'entrée de l'aspiration des évaporateurs du stage supérieur. Un troisième flot de réfrigérant nommé vapeur instantanée est aussi dirigé directement à partir du dessus du séparateur liquide/vapeur vers le côté aspiration des compresseurs du stage supérieur en passant à travers d'une soupape de dérivation de vapeur instantanée.

Les compresseurs du stage supérieur prennent le refoulement du stage inférieur, la vapeur moyenne température, et la vapeur instantanée et les compressent jusqu'à une pression suffisante pour rejeter la chaleur à l'extérieur du système dans le refroidisseur de gaz/condenseur. Le refroidisseur de gaz est nommé ainsi parce que le réfrigérant ne se condense pas littéralement lors du fonctionnement en mode transcritique. À des pressions au-dessus du point critique connue comme zone supercritique, le réfrigérant est considéré comme un fluide indéfini, et ne peut pas être appelé liquide ni vapeur. Dépendamment des conditions ambiantes ou de la température du dissipateur thermique, les systèmes transcritiques peuvent fonctionner soit en mode transcritique ou sous-critique. Ce fonctionnement est contrôlé principalement par la soupape d'étranglement. Ces modes de fonctionnement sont décrits plus en détails dans la section stage supérieur ci-dessous.

# Configuration du système *suite*

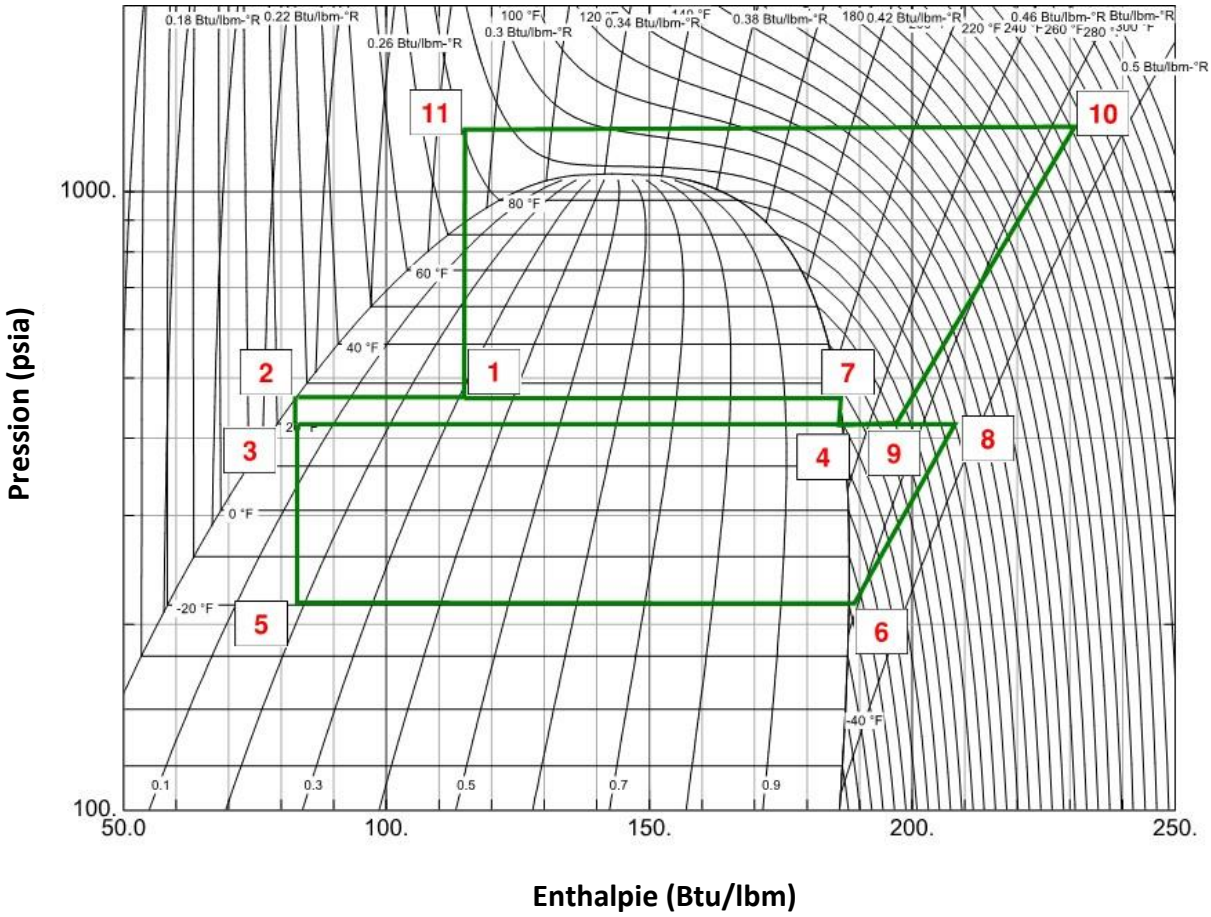
## Schéma du système en relation avec le diagramme d'enthalpie

Le diagramme ci-dessous montre le même schéma de base d'un système, avec les états identifiés par numéro.



# Configuration du système *suite*

Le schéma peut être mis en relation avec le diagramme d'enthalpie montré ci-dessous.




** Diagramme crée avec « REFPROP – NIST Reference Fluid Properties »*

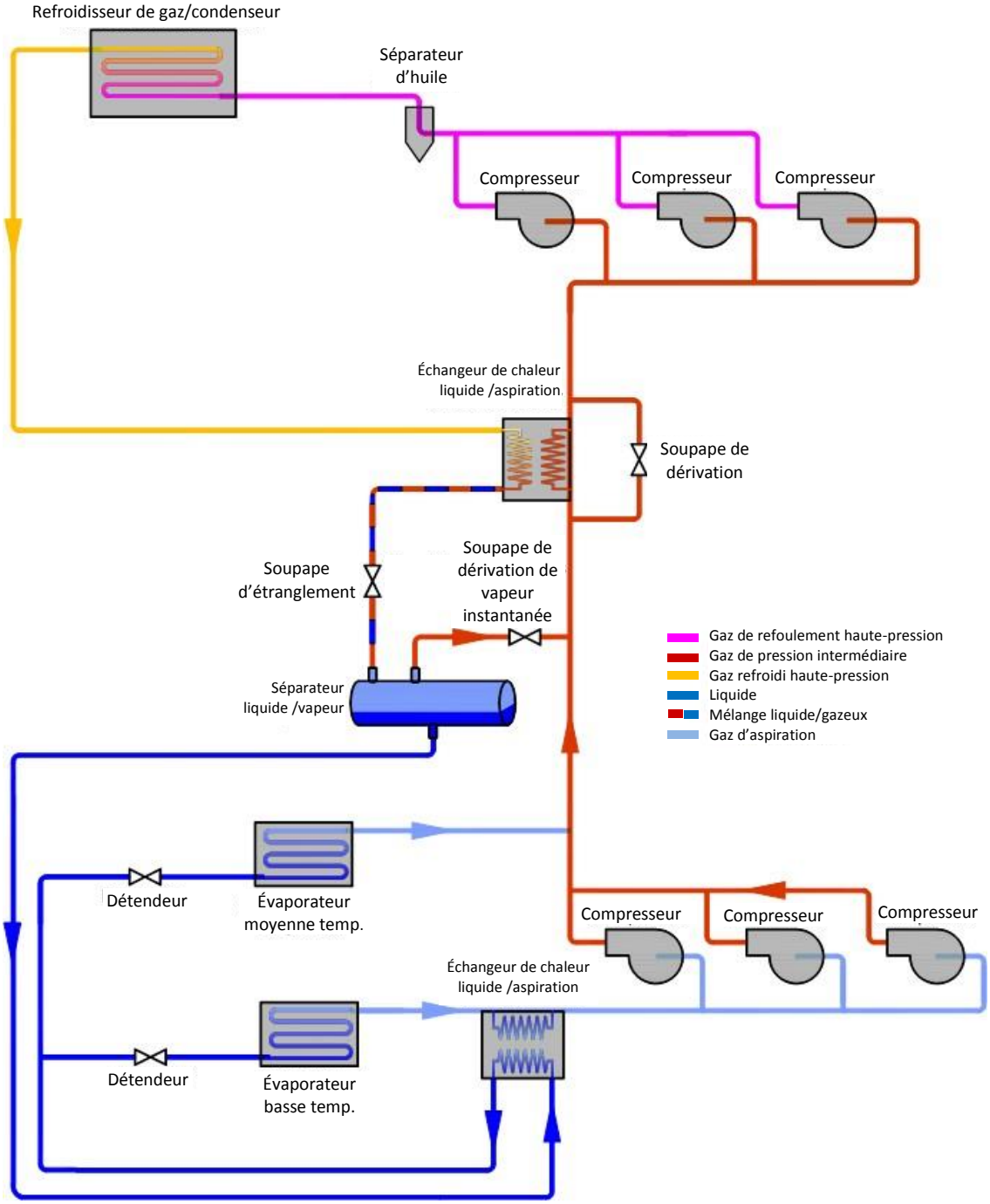
1. Entrée dans le séparateur liquide/vapeur
    a. Le réfrigérant a quitté la soupape d'étranglement et est maintenant un mélange liquide/vapeur à une pression intermédiaire, normalement autour de 480 psi. Dépendamment de la pression et de la température du refroidisseur de gaz, ce mélange aura une qualité d'environ 0,3, ce qui signifie qu'il est 70% liquide, 30% vapeur (par masse). Le mélange se sépare en liquide et vapeur dans le séparateur dû à une différence de densité entre les deux états.
2. Sortie du séparateur liquide/vapeur à partir du bas
    a. Situé au bas du récipient, le réfrigérant quitte le récipient en tant que liquide saturé, généralement autour de 30° F et 480 psi.
3. Entrée dans les évaporateurs moyenne température
    a. Le réfrigérant liquide circule à travers un détendeur et en sort à la pression de l'évaporateur. Il se produit un peu de dilatation dans le détendeur et le réfrigérant entre sous forme de liquide presque saturé, à 20° F et 410 psi.

# Configuration du système *suite*

4. Sortie des évaporateurs moyenne température
    a. Le réfrigérant a bouilli complètement et a une petite quantité de chaleur de surchauffe à 410 psi.
5. Entrée dans les évaporateurs basse température
    a. Le liquide saturé venant du séparateur passe par le détendeur basse température et atteint une pression d'évaporateur basse température, généralement autour de -20° F et 200 psi.
6. Sortie des évaporateurs basse température
    a. Le réfrigérant a bouilli complètement et a une petite quantité de chaleur de surchauffe à 200 psi. Ce qui est aussi l'aspiration du compresseur basse température.
7. Soupape de dérivation de vapeur instantanée
    a. La vapeur instantanée passe par le séparateur liquide/vapeur sous forme de vapeur saturée, à environ 480 psia. La soupape de dérivation de vapeur instantanée mesure ce flux pour contrôler la pression du séparateur liquide/vapeur et la chaleur de surchauffe de l'aspiration du stage supérieur.
8. Refoulement du compresseur basse température
    a. Refoulement du compresseur basse température – Le réfrigérant a été compressé jusqu'à légèrement au-dessus de la pression d'aspiration du stage supérieur, autour de 410 psi. Il a aussi une chaleur de surchauffe significative, sortant à environ 200° F.
    b. Basse température
9. Aspiration du compresseur du stage supérieur
    a. La nourrice d'aspiration du compresseur du stage supérieur est le point de convergence de trois flux.
        i. La sortie du compresseur basse température
        ii. La sortie de l'évaporateur moyenne température
        iii. La sortie de la soupape de dérivation de vapeur instantanée
10. Refoulement du compresseur du stage supérieur
    a. Le réfrigérant a été compressé et se trouve aux plus hautes température et pression du système. Dépendamment des conditions ambiantes, cette température peut atteindre 250 – 300 degrés F et 1350 - 1500 psi. Dans cet exemple, c'est aussi la condition d'entrée du refroidisseur de gaz. La condition à ce point d'état peut varier avec les fluctuations de charge ou de température du dissipateur thermique. Pour les systèmes refroidis à l'air, des conditions ambiantes basses permettent souvent au système de fonctionner en mode sous-critique, minimisant la pression requise et la consommation d'énergie qui en découle. C'est principalement la soupape d'étranglement associée à la capacité de modulation du refroidisseur de gaz qui contrôlent la pression à ce point.
11. Sortie du refroidisseur de gaz/condenseur
    a. La chaleur a été retirée du réfrigérant par le refroidisseur de gaz. En mode transcritique, le réfrigérant à ce point est un fluide indéfini, ni liquide ni gazeux. En mode sous-critique, le réfrigérant est à l'état liquide.
12. Sortie de la soupape d'étranglement
    a. La pression du réfrigérant venant du refroidisseur de gaz a été diminuée à la pression du séparateur liquide/vapeur. En mode transcritique, le réfrigérant ici est un mélange de liquide et de gaz. En mode sous-critique, le réfrigérant est liquide à 100%.

# Système Purity – Principales composantes du système

Les sections suivantes décrivent les aspects de conception et de fonctionnement des composantes clés du système Purity de LMP. Le schéma de ce système est illustré ci-dessous.



# Système Purity *suite*

Comme on peut le voir, il y a quelques différences par rapport au schéma montré dans la section précédente. Premièrement, il y a un échangeur de chaleur liquide/aspiration entre l'arrivée de liquide vers les serpentins d'évaporateur basse et moyenne température et l'aspiration de gaz basse température. L'utilité de cette composante est d'assurer que le liquide complètement saturé et possiblement sous-refroidi soit dirigé vers les détendeurs électroniques. Il sert aussi à assurer un retour adéquat de la chaleur de surchauffe vers le compresseurs basse température, ce qui évite un reflux de liquide. Cet échangeur de chaleur est muni d'une série de soupapes qui permettent au flux de vapeur de contourner l'échangeur de chaleur pour le contrôle de la chaleur de surchauffe. Deuxièmement, un échangeur de chaleur est utilisé pour réchauffer la vapeur entrant dans les compresseurs du stage supérieur. Ce qui assure une surchauffe adéquate. Cet échangeur de chaleur a une soupape de dérivation pour contrôler cette surchauffe. Finalement, Aucun désurchauffeur n'est utilisé sur les compresseurs basse température.
Il y a un système d'injection de liquide, non illustré sur le schéma, qui permet de ne pas avoir besoin de désurchauffeur.

## Réservoir à vaporisation instantanée

Le réservoir à vaporisation instantanée est aussi connu sous le nom de séparateur liquide/vapeur. Ce récipient a plusieurs utilités.
Il procure un endroit à basse vélocité pour laisser le temps au fluide sortant du détendeur haute pression de se séparer en deux états, liquide et vapeur. Il permet à la vapeur de contourner la plus grande partie du côté basse-pression du système et de revenir aux compresseurs du stage supérieur.

La pression du réservoir à vaporisation instantanée est contrôlée par la soupape de dérivation de vapeur instantanée. Cette soupape assure un flux approprié dans les évaporateurs moyenne température.

La dimension de ce réservoir est choisie pour permettre une zone d'interface appropriée pour une bonne séparation du liquide et de la vapeur, aussi pour un volume qui permet une bonne fluctuation de masse dans le reste du système.

## Échangeur de chaleur liquide/aspiration basse température (optionnel)

L'échangeur de chaleur liquide/aspiration basse température transfert la chaleur du liquide à la vapeur. Ceci a deux fonctions. La première est de fournir de la chaleur de surchauffe additionnelle à la vapeur quittant les évaporateurs basse température, évitant un retour de liquide vers les compresseurs. Il refroidit aussi le liquide au-dessous de son point de saturation, assurant que 100% du liquide va vers les détendeurs. Cela aide aussi la circulation de l'huile vers les compresseurs. L'appareil est dimensionné pour fournir un échange de chaleur adéquat tout en ayant une baisse de pression minimale spécialement du côté vapeur.

## Système de dérivation de l'échangeur de chaleur liquide/aspiration (là où cela s'applique)

Les systèmes Purity de LMP utilisent une série de soupapes modulantes pour permettre au gaz d'aspiration de contourner l'échangeur de chaleur liquide/aspiration. Le contrôle de ces soupapes est basé sur la température du retour de gaz, ce qui assure que la bonne quantité de de chaleur de surchauffe entre dans les compresseurs basse température. Ce système cible au moins 36°F de surchauffe de compresseur. Ceci aide aussi le débit d'huile vers les compresseurs.

# Système Purity *suite*

## Détendeurs électroniques

Les systèmes au $CO_2$ utilisent des détendeurs électroniques (EEV) plutôt que les détendeurs thermostatiques traditionnels (TXV). Ces détendeurs sont contrôlés par des modules de contrôle individuels. Les EEV sont essentiels pour le $CO_2$ à cause de leur temps de réponse amélioré et leur capacité à être contrôlés par le contrôleur. Ces détendeurs sont généralement déjà installés sur comptoir réfrigérés. La tuyauterie des évaporateurs des chambres peut être faite en usine ou sur place.

## Compresseurs basse température

Les compresseurs basse température fonctionnent de façon similaire aux compresseurs DX HFC traditionnels. Le gaz d'aspiration est compressé de la pression des évaporateur basse température, généralement autour de 200 psi, jusqu'à la pression d'entrée des compresseurs moyenne température, généralement autour de 400 psi. Comme pour les systèmes traditionnels, les compresseurs cyclent pour maintenir la pression d'aspiration. **Ces compresseurs ont une injection de liquide, pour limiter les températures de refoulement.**

## Évaporateurs

Les évaporateurs des systèmes au $CO_2$, à cause des pressions de fonctionnement plus élevées que dans les systèmes aux HFC traditionnels, doivent avoir été conçus spécifiquement pour le $CO_2$. En plus de leur capacité de pression, ces évaporateurs sont conçus pour minimiser le volume interne, pour éviter une accumulation rapide de pression en cas d'arrêt du système. Les pressions de fonctionnement normales pour les évaporateurs basse température au $CO_2$ se situent autour de 200 psi, alors que les évaporateurs moyenne températures fonctionnent à 400 psi ou plus. Sans égard aux pressions de fonctionnement, les évaporateurs doivent être conçus pour résister à des pressions au-dessus des réglages des dispositifs de surpression.

## Système de dégivrage au gaz chaud

Des systèmes de dégivrage au gaz chaud sont offerts en option pour les évaporateurs basse et moyenne température des systèmes Purity de LMP. Ce système est expliqué plus en détail à l'annexe A de ce document.

## Soupape de dérivation de vapeur instantanée

Le rôle de la soupape de dérivation de vapeur instantanée est de réguler la pression dans le réservoir à vaporisation instantanée. La « vapeur instantanée » est la portion vapeur du mélange de fluide réfrigérant venant du refroidisseur de gaz. Cette portion varie selon la charge, les conditions ambiantes, et les réglages de pression du refroidisseur de gaz, normalement entre 25% et 50% par masse. La pression dans le réservoir est surveillée par le contrôleur et la soupape de dérivation de vapeur instantanée est ouverte plus grand si la pression a besoin d'être réduite. Inversement, la soupape module pour se fermer si la pression du réservoir a besoin d'être augmentée.

## Échangeurs de chaleur intermédiaires

Le système moyenne température utilise une stratégie d'échange de chaleur liquide/aspiration similaire à celle du système basse température. Le fluide quittant le refroidisseur de gaz est utilisé pour réchauffer le gaz d'aspiration. Comme pour le système basse température, les soupapes de dérivation modulent pour maintenir la surchauffe appropriée des compresseurs moyenne température. Ceci apporte aussi du refroidissement au fluide sortant du refroidisseur de gaz, réduisant en bout de ligne la quantité de vapeur instantanée. Cet échangeur de chaleur doit supporter la pression maximale du refroidisseur de gaz, généralement 1600 psi.

# Système Purity *suite*

## Compresseurs moyenne température

Les compresseurs moyenne température fonctionnent de façon très similaire aux compresseurs DX HFC traditionnels. Le gaz d'aspiration (comprenant la vapeur instantanée, le refoulement du compresseur basse température et l'aspiration de l'évaporateur moyenne température) est compressé de la pression de l'évaporateur moyenne température, généralement autour de 400 psi, jusqu'à la pression requise pour le rejet de température, jusqu'à 1350 psi. Les compresseurs cyclent pour maintenir la pression d'aspiration. La sortie de ces compresseurs est le point du système où la pression et la température sont les plus élevées.

## Récupérateur de chaleur

LMP offre, en option, un système de récupération pour ses systèmes Purity. Cette récupération de chaleur est disponible en plusieurs configurations. La première configuration utilise un serpentin au $CO_2$ dans un appareil de traitement d'air pour diriger le réfrigérant au récupérateur de chaleur à air. La deuxième configuration utilise un échangeur d'air à simple paroi pour chauffer du glycol qui est dirigé vers un appareil de traitement d'air ou un autre système qui utilise la chaleur. La troisième configuration utilise un échangeur de chaleur à double paroi pour le chauffage de l'eau domestique.

La configuration standard de ce système et d'installer le récupérateur de chaleur échangeur de chaleur de ce système en parallèle avec la soupape à bille motorisée et la soupape modulante. Ces soupapes modulent pour faire dévier une portion du refoulement du compresseur autour du système de récupération de chaleur. Les soupapes doivent être conçues et réglées de façon à ce qui si le moteur fait défaut, la soupape se place en position partiellement ouvert pour éviter une accumulation de pression de tête.

## Évacuation de chaleur

Les refroidisseurs de gaz sont normalement refroidis à l'air ou adiabatiques (hybrides). Pour les refroidisseurs de gaz refroidis à l'air, les ventilateurs modulent selon les points de réglage définis par le régulateur. Les refroidisseurs de gaz adiabatiques utilisent des tampons humides de pré refroidissement pour refroidir l'air d'entrée avant que celui-ci entre dans la portion refroidisseur de gaz de l'unité.

## Soupape d'étranglement

La soupape d'étranglement est le principal contrôle de pression du refroidisseur de gaz. Étant donné que la pression et la température sont indépendantes l'une de l'autre, dans la zone supercritique, la pression du refroidisseur de gaz n'est pas étroitement liée aux conditions ambiantes comme c'est le cas pour les condenseurs habituels refroidis à l'air. La pression optimale du refroidisseur de gaz pour l'efficacité et la capacité du système est calculée à l'aide d'algorithmes complexes.

## Systèmes de gestion d'huile

LMP applique une méthode brevetée pour une lubrification stable des compresseurs. Ce système basse pression (60-80 psi au-dessus de l'aspiration MT) utilise des contrôles d'huile standards pour tous les compresseurs.

## Contrôles

Les systèmes Purity de LMP sont compatibles avec les produits disponibles chez plusieurs manufacturiers de systèmes de contrôle, le choix dépend de la préférence du propriétaire. Parmi ces choix on retrouve Danfoss, CPC, et Micro Thermo. Les systèmes LMP viennent de série avec un système de batteries de secours installé en usine pour les régulateurs et les soupapes critiques, dans le but d'assurer la sécurité du système et d'éviter le reflux du liquide pendant une panne de courant.

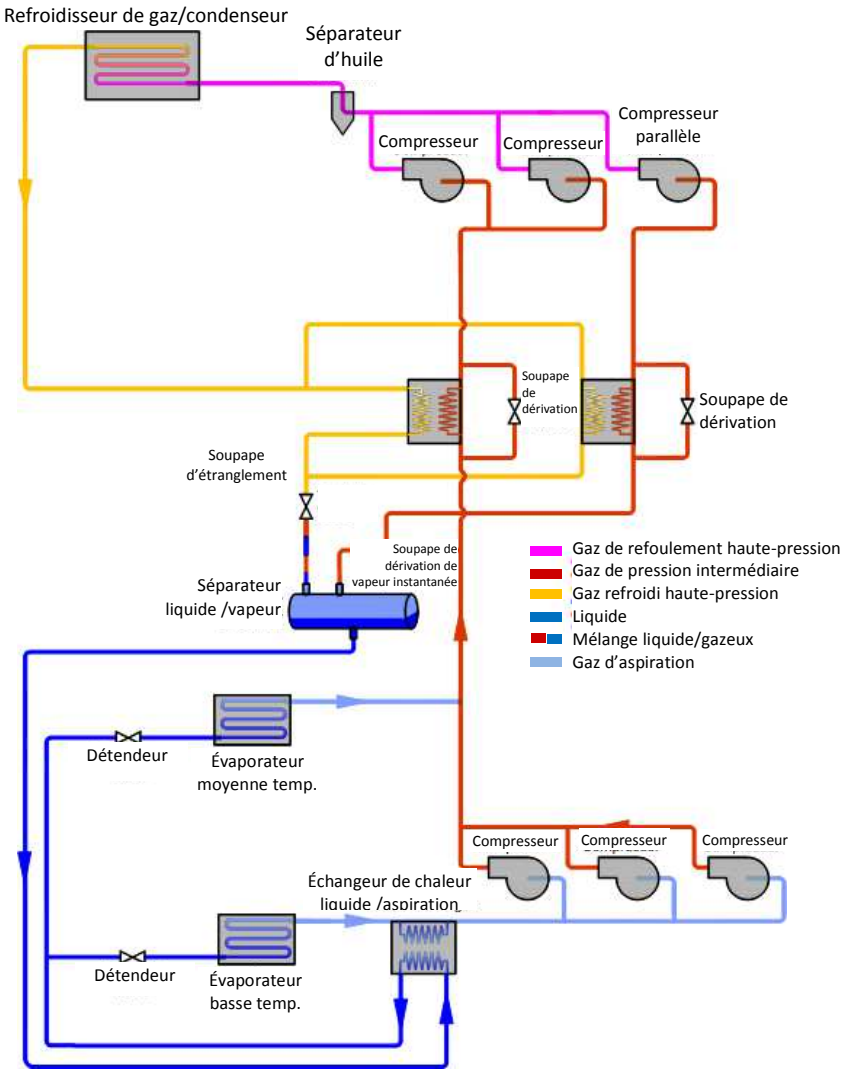
# Système Purity *suite*

## Systèmes de secours

Des systèmes complémentaires d'urgence sont offerts comme composantes optionnelles d'un système au $CO_2$. Ces systèmes consistent en une petite unité de condensation, alimentée par un courant d'urgence. Cette unité de condensation sert à refroidir un évaporateur qui doit maintenir la température du réservoir à vaporisation instantanée et la pression qui y est associée pendant que le reste du système est en arrêt, comme lors d'une panne de courant. Ceci évite que la pression du réservoir à vaporisation instantanée monte au-dessus de la pression nominale du système, évitant ainsi l'évacuation du $CO_2$ par le système de surpression.

## Compression parallèle

LMP offre en option la compression parallèle.
Le schéma modifié est montré ici :




Avec ce système, la vapeur instantanée est compressée dans un groupe d'aspiration séparé de la charge moyenne température et le refoulement basse température. Ceci améliore l'efficacité énergétique du système en permettant à la plus forte « charge » de pression d'être compressé à un COP (coefficient de performance) amélioré.

*(Les stratégies de compression parallèle sont en plein développement, contenu additionnel à venir)*

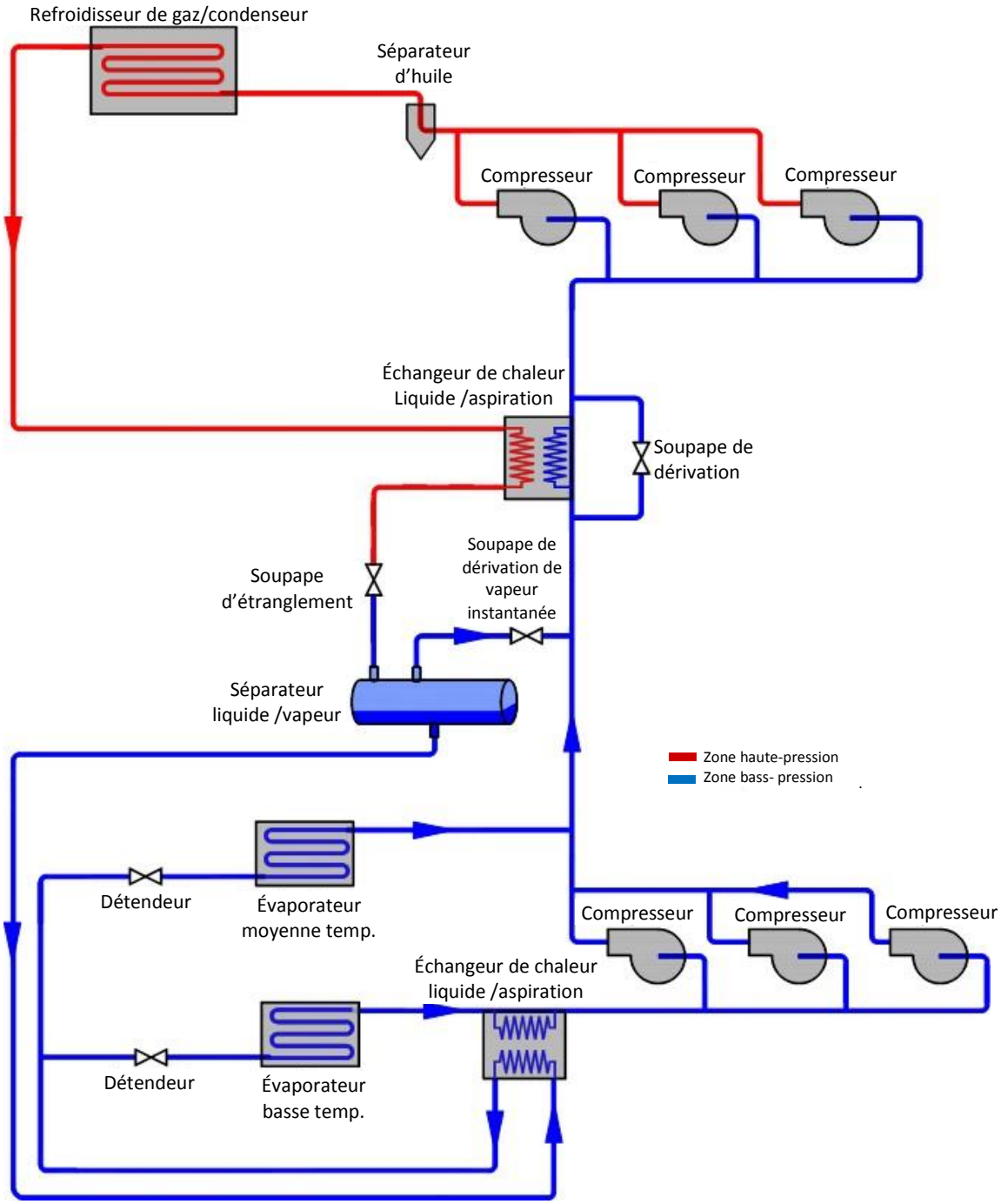
# Directives d’installation

Les systèmes Purity de LMP s’installent de façon similaire aux systèmes DX traditionnels, avec quelques différences importantes. Ces différences sont principalement dues aux pressions de fonctionnement et potentielles plus élevées présentes dans les systèmes au $CO_2$.

## Pressions nominales

Le choix des matériaux pour la tuyauterie des systèmes au $CO_2$ doit prendre en considération les capacités de pression nécessaires pour les applications spécifiques. Même si les différentes zones du système fonctionnent dans une plage de pressions variées, LMP recommande seulement deux niveaux de pression nominale. Ceci assure la sécurité du système et évite la confusion dans la tuyauterie. Ces deux niveaux sont décrits comme basse-pression et haute-pression. Le point de séparation de ces deux zones est montré dans le schéma ci-dessous, le rouge indiquant la haute-pression et le bleu indiquant la basse-pression.

# Directives d'installation *suite*

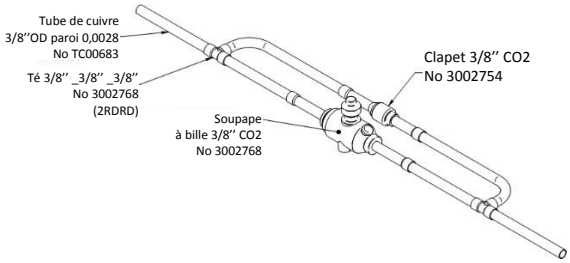



La portion haute-pression du système commence à la sortie des compresseurs moyenne température, se poursuit dans le récupérateur de chaleur et le refroidisseur de gaz, et se termine au détendeur haute-pression. Les dispositifs de surpression réglés à 1600 psi protègent cette portion du système. Toutes les composantes et la tuyauterie de cette portion du système doivent être capables de résister à une pression interne de plus de 1600 psi.

# Directives d'installation *suite*

La portion basse-pression du système commence à la sortie du détendeur haute-pression, et comprend le reste du système.  Ceci inclut la portion basse température au complet, le réservoir à vaporisation instantanée, et le côté aspiration des compresseurs moyenne température. Le dispositif de surpression réglé à 650 psi protège cette portion du système. Toutes les composantes et la tuyauterie de cette portion du système doivent être capables de résister à une pression interne d'au moins 650 psi.

Pour maintenir la sécurité du système avec un minimum de dispositifs de surpression et de coûts, des clapets de dérivation sont placés autour des restrictions potentielles du système. Ces clapets permettent le reflux vers l'unité si le système est arrêté, mais restent fermés lors du fonctionnement normal du système. Un exemple est illustré ci-dessous.




## Type de tuyauterie

Pour obtenir une tuyauterie du côté basse-pression ayant une capacité de pression au-dessus de 650 psi, plusieurs matériaux peuvent être utilisés. Ceux-ci incluent certains produits de cuivre, de l'alliage cuivre-fer et de l'acier inoxydable.

Cuivre type K – le cuivre de type K peut être utilisé pour la tuyauterie du côté basse-pression du système, jusqu'à 1-1/8" (seulement 7/8" pour les systèmes au gaz chaud). À mesure que la dimension de la tuyauterie augmente, la capacité de pression descend. Les tuyaux de 1-3/8" de type K et plus ne conviennent pas aux capacités de pression du $CO_2$. Un tableau des pressions nominales de fonctionnement pour le cuivre de type K est fourni ci-dessous.

| Pression nominale de fonctionnement du cuivre type K | | | Tuyauterie Mueller XHP | |
|---|---|---|---|---|
| OD Nominal | S-6000 psi, 100°F | S-5100 psi, 150°F | 90 Bar/1300 PSI, 250°F | 130 Bar/1885 PSI, 250°F |
| 3/8" | 1074 | 913 | 1093 | 1093 |
| 1/2" | 1130 | 960 | 809 | 1093 |
| 5/8" | 891 | 758 | 809 | 1078 |
| 7/8" | 852 | 724 | 799 | 1093 |
| 1 1/8" | 655 | 557 | 824 | 1125 |
| 1 3/8" | 532 | 452 | 834 | 1112 |
| 1 5/8" | 494 | 420 | 824 | 1109 |
| 2 1/8" | 435 | 370 | 846 | 1127 |
| 2 5/8" | 398 | 338 | 842 | 1141 |

# Directives d'installation *suite*

K-65 – Le K-65 est un alliage de cuivre qui contient du fer, produit par Wieland. Le K-65 est disponible à des capacités de pression nominales de 120 bars (1740 psi), ce qui en fait une solution viable pour les systèmes transcritiques au $CO_2$. Cette tuyauterie peut être utilisée pour les côtés basse et haute-pression du système, en utilisant les raccords appropriés et les bonnes pratiques d'installation.

***N.B. : le K-65 n'est pas autorisé dans certaines juridictions, vérifier les codes locaux avant l'installation.***

XHP – Le XHP est le compétiteur du K-65, de Mueller. Ce produit est disponible en plusieurs capacité de pression, il faut donc faire attention de choisir la tuyauterie appropriée pour l'application. Comme pour le K-65, les techniques de raccordement sont similaires à celles de la tuyauterie de cuivre pour le réfrigérant traditionnel.
***N.B. : Le XHP n'est pas autorisé dans certaines juridictions, vérifier les codes locaux avant l'installation.***

Acier inoxydable – avant la venue des K-65 et XHP sur le marché, l'acier inoxydable était requis pour toute la tuyauterie du côté haute-pression. C'est toujours une bonne option. Pour les capacités de pression du $CO_2$, les soudures bout à bout ne sont pas permises; des raccords appropriés doivent être utilisés.

Comme pour les systèmes DX traditionnels, les raccords à court rayon ne sont pas recommandés. Des coudes long rayon sont disponibles chez la plupart des manufacturiers. Toujours faire attention d'utiliser des raccords ayant la bonne capacité de pression.

## Brasage

Toutes les soudures doivent être faites avec du Silphos contenant 15% d'argent. Utilisez du "Easy Flo" contenant 45% à 56% d'argent pour les valves de service et autres dispositifs de contrôles.

Il ne faut pas faire de soudures bout à bout; toujours utiliser des raccords appropriés.

De grandes précautions doivent être prises pendant l'installation pour que le système entier reste propre et sec. De l'azote doit circuler dans la tuyauterie pendant le soudage pour prévenir l'oxydation (entartrage). Un débit mètre doit être installé pour assurer un débit approprié.

Les soudures doivent refroidir à l'air; un refroidissement rapide comme avec un linge mouillé cause des problèmes de solidité qui provoquent des fuites.

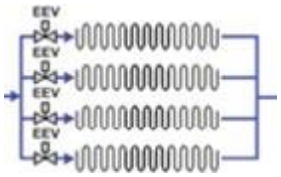
## Techniques de tuyauterie

Plusieurs des meilleures techniques de tuyauterie utilisées pour les systèmes traditionnels sont aussi applicables pour les systèmes au $CO_2$. Dans aucun cas les tuyaux ne devraient se toucher entre eux, ni toucher à des structures solides, des bords coupants, d'autres métaux, des objets étrangers, etc., à cause des risques d'abrasion et des fuites que cela causerait. S'il est nécessaire de croiser les tuyaux, ils doivent être décalés ou isolés (et soutenus correctement) pour éviter qu'il y ait contact cuivre sur cuivre, ou contact avec d'autres métaux. Des espaceurs en nylon ou plastique (comme ceux manufacturés par Hydra-Zorb) doivent être utilisés entre les tuyaux non isolés ainsi que des attaches pour éviter le frottement des tuyaux dans les compartiments. Utiliser des matériaux résistant à de hautes températures pour soutenir la tuyauterie de refoulement ou les drains.

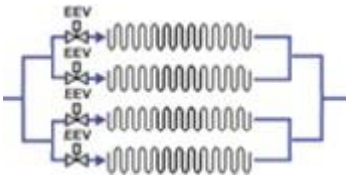
Toutes les conduites d'aspiration sous dalle et les autres conduites d'aspiration avec des portions verticales de plus de 6 pi doivent être équipées au bas d'un siphon d'huile de type "P". Si la portion verticale a plus de 16 pi elle doit être équipée d'un siphon inversé au haut de la montée. Les conduites d'aspiration doivent être inclinées dans la direction du débit.

# Directives d’installation *suite*

La tuyauterie des circuits individuels doit être faite dans le but d’atteindre une baisse de pression égale vers tous les évaporateurs, spécialement pour les systèmes au gaz chaud. La tuyauterie de la figure de gauche ci-dessous parait bien sur un schéma, mais n’est pas appropriée pour des évaporateurs multiples dans un circuit de gaz chaud. **Voir l’annexe A pour plus d’information sur les systèmes au gaz chaud.**




*Acceptable pour les dégivrages électriques ou hors temps seulement*




*Requis pour le dégivrage au gaz chaud*

## Supports

Des écrous de blocage en nylon de qualité commerciale doivent être utilisés sur tous les colliers. Les supports de canalisation doivent être des « Unistrut » P-4000 ou plus solide. Les colliers doivent être de la série « Unistrut » P-2024 à 2043. Une alternative peut être le « Super Strut » A-1200, B-1200, A-1202, B-1202 avec des colliers de la série A-716 O.D., des supports de canalisation « Wesanco Inc. » W-200, W-500 avec des colliers de la série W-6229 to W-6243 O.D., ou des montants en « C » en acier galvanisé 5-1/2” x 1-5/8” de calibre 16.

Toutes les conduites d’aspiration et de liquide suspendues doivent être fixées avec des colliers de type Hydra-Zorb sauf pour les conduites horizontales soutenues par des supports en trapèze avec des colliers Insulguard, qui doivent être fixés au support de canalisation avec des vis à métal. Si le projet est dans une zone sismique, la tuyauterie et l’équipement doivent être soutenus et installés conformément à la réglementation locale. Mettre des colliers sur le support de canalisation au moins à tous les 6' sur les conduites verticales et celles venant de, ou allant vers, le refroidisseur de gaz. Toutes les conduites horizontales doivent être soutenues sur le support de canalisation au moins à tous les 8'.

## Isolation

L’isolation de la tuyauterie devrait être en Armacell "Armaflex" ou en Rubatex "Insul-Tube 180". Tous les joints devraient être scellés avec du Armacell #520, de la peinture blanche au latex Rubatex R-374 ou de l’adhésif Rubatex "R-320". Les conduites du récupérateur de chaleur doivent être isolées avec de l’Armacell “HT/Armaflex” ou l’isonant Rubatex équivalent.

Les conduites d’aspiration moyenne température doivent avoir une isolation d’une épaisseur de 3/4" à partir de la fixture ou de la sortie du serpentin jusqu’au compresseur, sauf si mentionné autrement sur les plans. Les conduites d’aspiration des systèmes basse température doivent avoir une isolation de 1" d’épaisseur à partir de la fixture ou de la sortie du serpentin jusqu’au compresseur. Toutes les conduites de refoulement vers le serpentin du récupérateur de chaleur et le chauffe-eau doivent avoir une isolation de 1/2" d’épaisseur. Les conduites de liquide doivent avoir une isolation 1/2" d’épaisseur. L’isolant devrait être glissé sur la tuyauterie, et être fendu seulement lorsqu’il est impossible de faire autrement.

# Directives d'installation *suite*

## Soupapes de surpression

Il est très important que la tuyauterie installée convienne aux soupapes de surpression. LMP fourni les 4 soupapes de surpression et le dispositif de transfert pour le côté basse-pression. Ces soupapes s'ouvrent automatiquement à 650 psi.
Pour le côté haute-pression, 2 soupapes de surpression et un dispositif de transfert sont fournis dans lequel les soupapes sont réglées pour 1600 psi. 2 conduites de cuivre et 1 en acier inoxydable doivent être faites à l'extérieur. Il est très important de respecter les exigences des codes locaux.

1. La conduite d'évacuation haute-pression 1600 psi doit être en « acier inox cédule 40 d'un diamètre de ¾ ».
2. La conduite d'évacuation basse-pression venant du réservoir à vaporisation instantanée doit être faite de « type K 7/8 ».
3. La conduite d'évacuation basse-pression venant du retour de dégivrage doit être faite de « type K 7/8 ».
4. Les soupapes de surpression doivent être installées avec l'évacuation vers le bas ou le côté. Il est très important que ces soupapes ne soient pas installées face vers le haut parce qu'il y aurait accumulation d'eau ou de glace.
5. Toujours utiliser des raccords de laiton au bas du dispositif de transfert.
6. La conduite de sécurité doit être inclinée vers la salle des compresseurs et les siphons doivent être évitées (limiteur de pression hydraulique).

# Évacuation et remplissage

Il y a deux principales raisons pour faire des tests de pression sur le système. Le premier test, généralement avec une basse pression, est utilisé pour la recherche de fuites. Le deuxième test, généralement avec une forte pression, est utilisé pour tester la capacité de pression du système.

## Recherche de fuites

Toutes les conduites de réfrigération sous le plancher doivent être testées et inspectées avant le remblayage. Les parties montantes à partir du plancher doivent être testées à l'azote sec à 600 psi. La pression appliquée doit être maintenue toute une nuit et l'acceptation de ces tests doit généralement être faite par le client. Les conduites surélevées ou suspendues doivent être testées de la même manière. Une fois les branchements de réfrigérant complétés aux comptoirs et chambres froides, testez le reste du système à 600 psi. Toute la tuyauterie dans le plancher et hors du plancher doit être testée avant d'être reliée aux chambres froides, aux comptoirs et à l'unité.

Toutes les conduites de réfrigération doivent être testées et maintenue à une pression de 600 psi pendant 24 heures avant d'être reliées aux comptoirs et chambres froides. Toutes les conduites de réfrigération doivent être testées à une pression de 600 psi (moins si le manufacturier des serpentins ou équipements limite le test de fuite). Une recherche de fuite finale doit être faite avec les soupapes des compresseurs d'aspiration et de refoulement fermées, et toutes les autres soupapes du système ouvertes, à l'exception des transducteurs qui doivent être fermés pendant les tests sous pression et procédures d'évacuation (Certains codes locaux peuvent exiger des pressions supérieures pour les tests). Les recherches de fuites doivent être faites avec un détecteur de fuite électronique Inficon D-TEK. La tuyauterie de réfrigération n'est pas considérée acceptable si elle n'est pas étanche (sans fuite). Si une fuite est découverte, isolez la fuite, évacuez le gaz et réparer la fuite, et ensuite refaites le test. Une fois les tests complétés, relâchez toute la pression. S'il est impossible de faire des tests de la tuyauterie suspendue et de celle des comptoirs et chambres froides avant le raccordement à l'unité, les tests de fuite de l'unité doivent être faits avant que le système soit raccordé.

## Test de pression

Il faut faire un test de pression du système pour en assurer la sécurité, et vérifier que le système n'éclatera pas avant que la pression des dispositifs de surpression ne soit atteinte. Normalement les codes applicables et les autorités ayant juridiction déterminent la procédure pour ces tests de pression.

## Évacuation/Remplissage

La mise sous vide du système est la partie la plus importante du démarrage. Il est très important de s'assurer que toutes les conduites du système ont été testées séparément, et que l'azote en a été retiré avant de de compléter la mise sous vide. L'utilisation d'une pompe adéquate (au moins 10 CFM) et d'une technique appropriée est primordial pour la mise sous vide. Veuillez utiliser la procédure ci-dessous pour atteindre la cible de 250 microns.

Il est très important d'utiliser un manifold en cuivre pour faire les branchements aux côtés basse et haute pression simultanément. Les branchements que vous utilisez pour votre pompe doivent pouvoir être fermés manuellement.

Un maximum de 2 pompes à vide est permis, pour atteindre ensemble au moins 10 CFM. Il est important de changer l'huile des pompes régulièrement jusqu'à ce que le niveau de microns soit atteint :

- Premier changement d'huile après 4 heures d'utilisation
- Deuxième changement d'huile après 12 heures
- Troisième changement d'huile après 24 heures

# Évacuation et remplissage *suite*

Certaines choses doivent être prises en considération lors du début de la mise sous vide :

1. S'assurer qu'il n'y a aucune fuite dans le système.
2. Les branchements entre la pompe à vide et le système doivent être en tube de cuivre souple 5/8".
3. S'assurer que les branchements ont été testés avant de démarrer la pompe.
4. Tous les capuchons de l'unité et des comptoirs doivent être installés et serrés.
5. Toutes les garnitures de soupapes doivent serrées.
6. S'assurer que tous les filtres de liquide sont installés avant de faire la mise sous vide.
7. Tous les transducteurs des comptoirs, chambres froides et de l'unité doivent être installés avant de faire la mise sous vide.
8. Les chauffe-carters doivent êtres en fonction.
9. **N.B. : IL EST EXTRÊMEMENT IMPORTANT QUE LES FORTES PRESSION ET LES MISES SOUS VIDE PRIMAIRES NE SE RENDENT PAS AUX TRANSDUCTEURS À CAUSE DE LA POSSIBILITÉ DE DOMMAGES. Les transducteurs doivent être isolés pendant ces conditions.**

Nous exigeons que nos systèmes soient maintenus à **250 microns** pendant 2 heures suite à l'arrêt des pompes. Il est important de remplir notre fiche de mise en marche et de prendre une photo de la jauge indiquant **250 microns** et de l'envoyer à LMP.

Il doit y avoir au moins 1000 lb de $CO_2$ « bone dry » avec un taux de pureté de 99,8%. Ne pas utiliser le $CO_2$ de qualité médicale; les régulateurs de pression à 500 psi sur ces cylindres empêchent un bon remplissage du système. Une fois le vide brisé, remplir le système par le filtre dessiccant principal. Les cylindres doivent être utilisés sans le tube plongeur pour le remplissage jusqu'à ce que le système soit au-dessus de 100 psi, pour éviter la formation de glace sèche. Au-dessus de 100 psi, le tube plongeur peut être utilisé, faisant sortir le $CO_2$ liquide du cylindre pour un remplissage plus rapide. Fermer la sortie du réservoir à vaporisation instantanée pour vous donner la chance de remplir ce réservoir. Une fois que les 3 voyants flottent, cessez de remplir le réservoir à vaporisation instantanée. (N.B. : si un récupérateur de chaleur est en fonction, seulement 2 voyants devraient flotter)

Une fois que les 3 voyants du réservoir à vaporisation instantanée flottent, assurez-vous qu'il y a une charge de refroidissement d'au moins 40 pourcent sur la portion moyenne température du système. Le système ne fonctionne pas s'il a moins de 40 pourcent de charge en moyenne température. Un système qui fonctionne avec seulement une charge basse température occasionnera des températures de refoulement inacceptablement hautes, causant la dégradation de l'huile.

## Remplissage de l'huile

Le choix de l'huile est dicté par le manufacturier des compresseurs. Avec les compresseurs Copeland on peut autant utiliser l'huile BSE-85 ou Emkarate 68. Les compresseurs Bitzer ou un mélange des 2 manufacturiers requièrent l'huile BSE-85. L'huile est livrée avec les compresseurs. Le remplissage initial de l'huile doit être fait alors que le système est sous vide. Vérifiez que le niveau d'huile est adéquat pour tous les compresseurs et ajustez au besoin. Ajoutez assez d'huile pour remplir le réservoir d'huile. Sauf si mentionné autrement, l'huile est fournie par l'entrepreneur (sauf pour l'huile livrée dans les compresseurs). Un changement d'huile normal nécessite un galon d'huile par compresseur, plus la quantité nécessaire pour remplir le réservoir. Ne jamais introduire l'huile directement dans le séparateur d'huile; l'huile devrait être ajoutée au réservoir ou aux compresseurs seulement.

# Mise en marche et entretien

## Procédure de mise en marche

1. Avant de faire la mise en marche de l'unité ou de la mettre sous tension, assurez-vous que tous les branchements électriques du panneau de l'unité sont bien serrés et que les compresseurs sont étanches. Tous les panneaux des modules de contrôle de tous les réfrigérateurs et congélateurs, et les panneaux fournis par le manufacturier de l'unité, doivent être vérifiés.
2. Au moins 40% de la charge de l'évaporateur de l'unité doit être disponible avant la mise en marche de l'unité.
3. Plusieurs tests doivent être faits sur l'unité, avant de la faire fonctionner. (N.B. : Les contrôles doivent être sous tension.)
   a. Faites un test de perte de phase pour vérifier que toutes les soupapes d'aspiration de l'unité se ferment.
   b. Une fois la perte de phase réenclenchée, toutes les soupapes d'aspiration devraient se rouvrir lentement.
   c. Faites une simulation d'arrêt de l'unité pour vous assurer que les modules de contrôles ferment automatiquement toutes les EEV (détendeurs électroniques).
   d. Faites une simulation de faible surchauffe sur tous les comptoirs et chambres froides pour vérifier que tous les liquides et aspiration se ferment. Si ce n'est pas le cas, Un reflux excessif de liquide reviendrait à l'unité.
   e. Si l'unité comporte un récupérateur de chaleur, vérifiez que la soupape à 3 voies passe en mode refroidisseur de gaz.
      ***N.B. : ceci est très important si le système de récupération de chaleur n'est pas complet.***
   f. Une recherche de fuites doit être faite dans tous les compartiments et la salle mécanique doit être testée, et complètement fonctionnelle. L'évacuateur doit être en fonction avant que le remplissage du système soit fait.
   g. S'il y a une fuite dans la salle mécanique, il n'est pas recommandé d'arrêté l'unité, ceci causerait encore plus de rejet.
   h. Vérifiez la rotation des éventails du refroidisseur de gaz. Pour un refroidisseur de gaz adiabatique assurez-vous que l'arrivée d'eau est faite, et que le contrôleur programmable réglé.
   i. Vérifiez que le capteur de température, expédié séparément, utilisé pour contrôler le détendeur haute-pression est correctement installé à la sortie du refroidisseur de gaz et que la lecture est bonne.
4. Lors de la mise en marche de l'unité faire fonctionner tous les compresseurs autres que le compresseur de tête avec le variateur de fréquence. Un fois que tout le reste fonctionne le compresseur de tête (VFD) doit être mis en fonction.
5. Lors du démarrage du système basse température utilisant des compresseurs à volute, il est recommandé de faire tourner le compresseur au maximum pour en vérifier le sens de rotation.
6. Vérifiez tous les contrôles d'huile et débranchez la fiche du système de contrôle d'huile pour vous assurer que les compresseurs s'arrêtent et que l'alarme sonne.
7. La soupape du régulateur d'huile (Swagelok) doit être réglée à 575 psi. Ceci doit être revérifié quand l'unité fonctionne à 100 pourcent.
   a. Après que le système a fonctionné pendant au moins 7 jours, tous les filtres à tamis des détendeurs doivent être nettoyés.
   b. Vérifiez les températures de fonctionnement du système et les temps de dégivrage. La durée et le nombre de cycles de dégivrage doivent être réglés selon les recommandations du manufacturier des comptoirs et le propriétaire doit fournir la cédule de dégivrage.
   c. Une cédule finale de dégivrage doit être remise au gérant du magasin pendant la semaine de la grande ouverture et doit être affichée sur la porte de l'unité. Tout le travail fait pour la mise en marche doit être inscrit dans un journal qui doit être gardé dans la salle mécanique.
   d. Une fois le compresseur démarré, continuez de charger le système jusqu'à ce qu'il y ait assez de réfrigérant pour un bon fonctionnement. Pendant la mise en marche, aucun compresseur ne doit être laissé sans surveillance lorsqu'il fonctionne tant que le système n'est pas adéquatement chargé en réfrigérant et en huile.

# Mise en marche et entretien *suite*

## Suite à la mise en marche

1. Une fois que l'unité a fonctionné pendant 48 heures et qu'elle est chargée à 100%, tous les filtres, d'aspiration, de liquide et d'huile doivent être changés ainsi que l'huile. LMP fournit des filtres et de l'huile pour la mise en marche et le changement d'huile qui doit suivre la mise en marche. La procédure de changement d'huile est décrite à la section suivante.
2. L'huile et les filtres doivent être changés encore après 3 semaines pour s'assurer que les filtres et l'huile sont propres suite à l'installation initiale (matériel et main-d'œuvre généralement fournis par l'installateur).
3. Rechercher les fuites avec un outil renifleur pour le $CO_2$.
4. Les durées de dégivrage et les pressions doivent être vérifiées pour s'assurer que la consommation d'énergie est au plus bas.
5. Toujours vérifier que la température de chaque comptoir après le dégivrage dépasse 32°F dans l'évaporateur et que le serpentin est dégagé.
6. Si le serpentin n'est pas dégagé suite au dégivrage recommandé, appelez LMP pour une révision.
7. Assurez-vous que toute la programmation est complétée et bien comprise par l'entrepreneur qui fera le service.
8. Assurez-vous que toutes les sondes de température et de pression sont bien calibrées.
9. Assurez-vous que tous les panneaux de contrôles sont fermés.
10. Enregistrez les niveaux de $CO_2$ dans le réservoir pour référence future.
11. Remplissez le formulaire de mise en marche et envoyez-le à LMP au plus tard 3 semaines après la mise en marche.

## Changements d'huile

Les changements d'huile doivent être faits en suivant la procédure ci-dessous :

<u>JOUR 1</u>

2 techniciens, 8h (estimé, les résultats individuels peuvent être différents)

1. LMP suggère de remplacer le séparateur d'huile et les filtres d'aspiration le premier jour.
2. Procédez à une évacuation et assurez-vous que le réservoir à vaporisation instantanée ne dépasse pas 80% de sa capacité, fermez les soupapes à bille de liquide et d'aspiration.
3. Dépressurisez le refoulement et remplacez le filtre de refoulement (Temprite) et le filtre d'aspiration, ce qui peut être fait dans une 2$^{e}$ étape.

<u>JOUR 2</u>

5 techniciens, 6h (estimé, les résultats individuels peuvent être différents)

1. Il est recommandé qu'une personne supervise la mise en arrêt de la soupape à bille, du compresseur et surveille la pression.
2. Évaluez le nombre de compresseurs qui fonctionnement sur la moyenne température.
3. Si possible, videz l'huile de la première moitié des compresseurs de la moyenne température et remplissez-les avec de l'huile neuve prête à fonctionner.
4. Abaissez le niveau d'huile dans le réservoir d'huile d'environ 80-90%.

# Mise en marche et entretien *suite*

5. Lorsque ces étapes sont complétées, pompez partiellement le système moyenne température jusqu'à 80% du réservoir, toujours avoir une jauge à pression sur le réservoir.
6. Si vous avez une unité de condensation de secours avec des échangeurs de chaleur à plaques au réservoir, démarrez manuellement pour garder la pression aussi basse que possible.
7. Fermez toutes les soupapes à bille sur tous les circuits basse et moyenne température et aussi les soupapes à bille liquide (ou solénoïdes)
8. Arrêter tous les compresseurs.
9. Complétez la vidange du réservoir d'huile et remplissez-le aussi vite que possible, une pompe à l'huile électrique aidera à réduire le temps.
10. 2 autres techniciens doivent vidanger l'huile des autres compresseurs.
11. Une fois le réservoir d'huile plein et prêt à être redémarré, la charge moyenne température doit être graduellement déplacée vers les compresseurs, desquels l'huile a été vidangée et sont prêts à être redémarrés.
12. Complétez le changement d'huile des autres compresseurs moyenne température et aussi ceux des compresseurs basse température.
13. Redémarrez la basse température graduellement.
14. Utilisez l'huile POE RL68HB pour les compresseurs Copeland et la BSE85K pour les Bitzer.

** Le temps est basé sur une unité moyenne double température, 8 compresseurs moyenne température et 3 compresseurs basse température.*

# SYSTÈMES LMP INC.

## ANNEXE A – DÉGIVRAGE AU GAZ CHAUD

# Systèmes transcritiques au $CO_2$ Manuel de formation

Révision 0, mai 2019

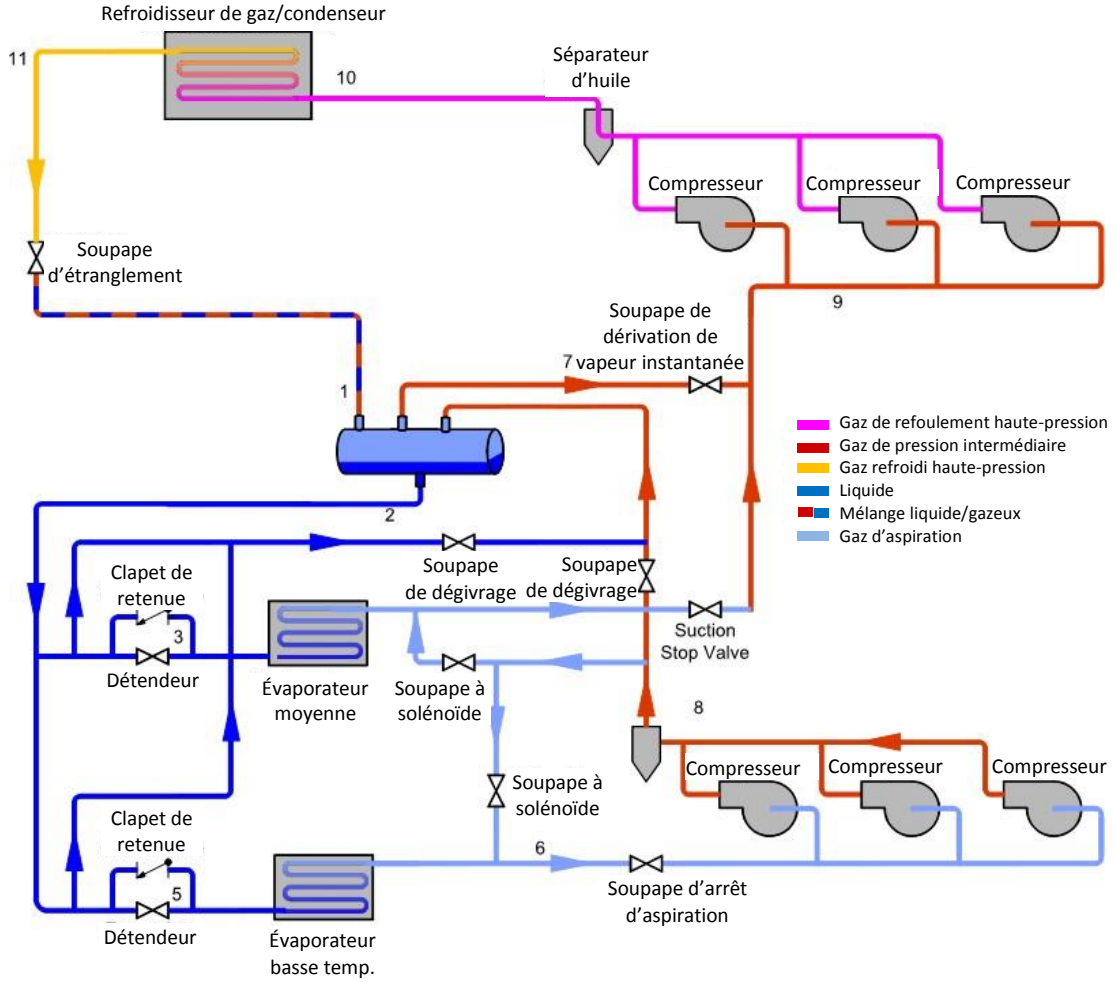
# Annexe A

## Introduction

LMP offre un système de dégivrage au gaz chaud en option avec les systèmes Purity transcritiques au $CO_2$. Ce document fourni l'information spécifique relative à cette option, dans le but de servir de complément au manuel de formation transcritique $CO_2$ de LMP.

## Schéma

Voir ci-dessous le schéma standard de dégivrage au gaz chaud pour les systèmes Purity de LMP.




Les dégivrages au gaz chaud sont effectués par les compresseurs basse température. Au moins deux compresseurs sont utilisés pour les dégivrages. Pour un groupe à -22°F, la pression d'aspiration est maintenue à au moins 200 psi avec un transfert de charge de moyenne à basse température, qui s'ouvre sur demande et seulement durant le cycle de dégivrage. Pendant le fonctionnement normal, le transfert est fermé. Le type de dégivrage au gaz utilisé est un cycle inversé du système au gaz chaud, lorsqu'il débute, le détendeur électronique (EEV) du circuit commence à se fermer et lorsqu'il est complètement fermé, le solénoïde de gaz chaud entre en fonction.

La principale soupape de refoulement est une soupape électronique, qui fonctionne à une ouverture de 100% à environ 25% pendant le cycle de dégivrage pour garder la pression à environ 565 psi. La soupape reviendra à une ouverture de 100% une fois le dégivrage complété.

Le retour de dégivrage est retourné au réservoir à vaporisation instantanée (flash tank), et la pression est contrôlée par deux soupapes de régularisation de pression en parallèle. La pression de retour est ajustée entre 500 et 526 psi selon l'endroit. Ces soupapes sont en mode régularisation de pression en tout temps.

Une fois le circuit complètement dégivré et le cycle d'égouttement terminé, la soupape de régularisation de pression du circuit d'aspiration passe en mode drainage. Ce drainage se fait en 5 étapes. La soupape modulante du circuit d'aspiration réouvrira à différent pourcentages à chaque 2 minutes dans le but de drainer l'excès de pression dans le système, avant de s'ouvrir à 100%.

## Dégivrage au gaz chaud – considérations supplémentaires

Pour les systèmes au gaz chaud, les indications additionnelles ci-dessous doivent être prise en considération pour assurer le bon fonctionnement du système :

- La configuration de tuyauterie est similaire à celle des systèmes au gaz chaud au HFC. Des boucles d'expansion et changements de direction doivent être utilisées pour prendre en considération l'expansion et la contraction des longueurs de tuyauterie causées par les changements de température
- Les systèmes au gaz chaud soumettent les lignes d'aspiration à des températures plus élevées, réduisant la pression nominale. Ce qui signifie que la dimension maximale de la tuyauterie en cuivre de Type K est de 7/8", plutôt que le 1 1/8" utilisé pour les lignes d'aspiration qui ne sont pas au gaz chaud.

**SYSTÈMES LMP INC.**
DES SYSTÈMES CONÇUS AUJOURD'HUI POURLES GÉNÉRATIONS DE DEMAIN.
817, SALABERRY
LAVAL, QC H7S 1H5
TÉL.: 450.629.9864

Printed in Canada