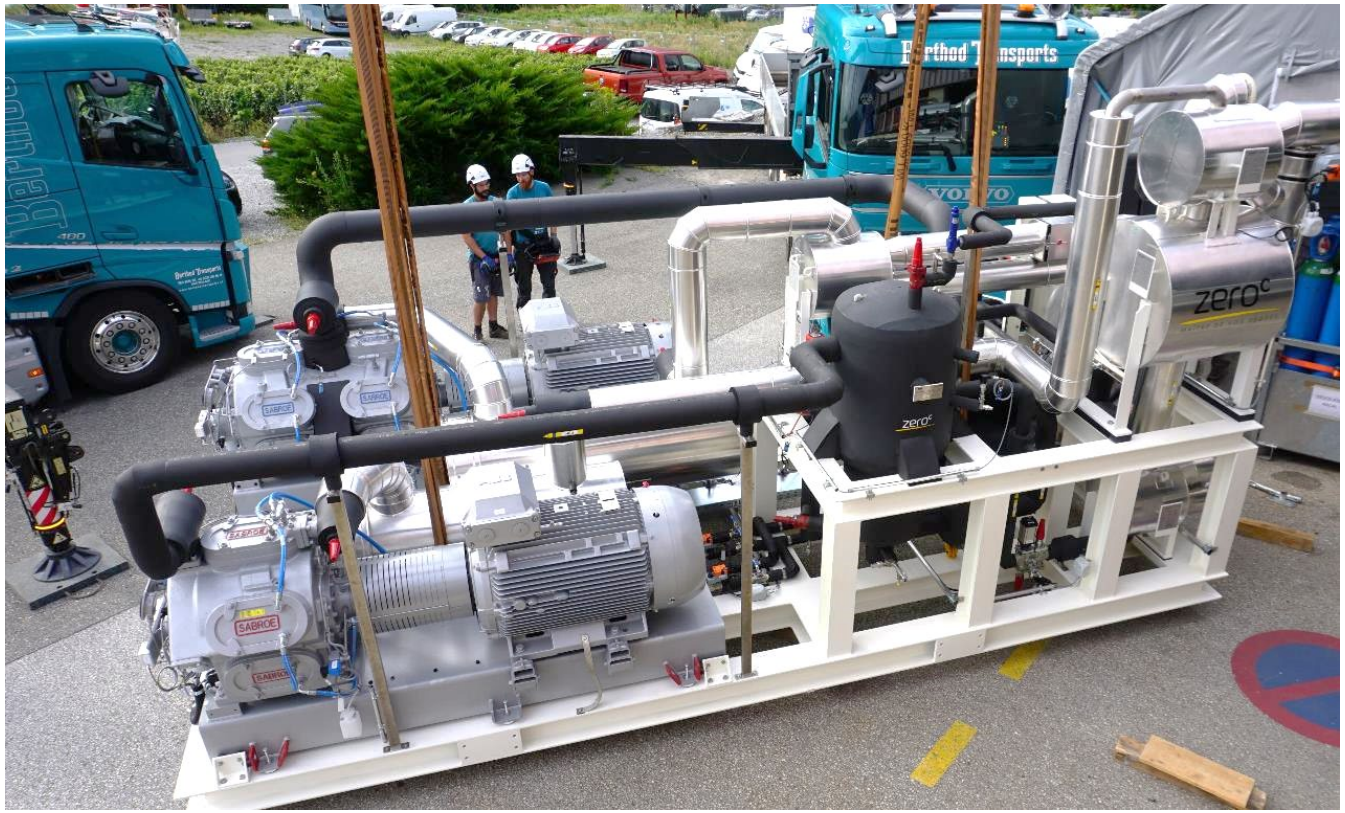
Retour d'expériences sur l'utilisation de fluides naturels



11.12.2025

Pierre-Alain Giroud

Ordre du jour

- Les refrigérants … et l'environnement
- La réglementation
- Quel refrigerant choisir
- Locaux techniques
- Exemples
- Questions

Les refrigérants … et l’environnement

Noms des réfrigérants

- nommés selon une nomenclature spécifique régie par la norme 34-1992 de l'American National Standards Institute (ANSI) et de l'American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE).
- Nomenclature se compose de la lettre R suivie d'un code de deux à cinq chiffres dérivés de sa structure moléculaire.

CFC : R-11 / R-12

HCFC : R-22 / R-23

HFC : R-134a / R-32 / R-404A

HFO: R-1234yf / R-1234ze

HC : R-290 / R-1270

naturel : R-744 / R-717 / R-718

Classification – Refrigérants

Figure 1. Refrigerant Safety Group Classification

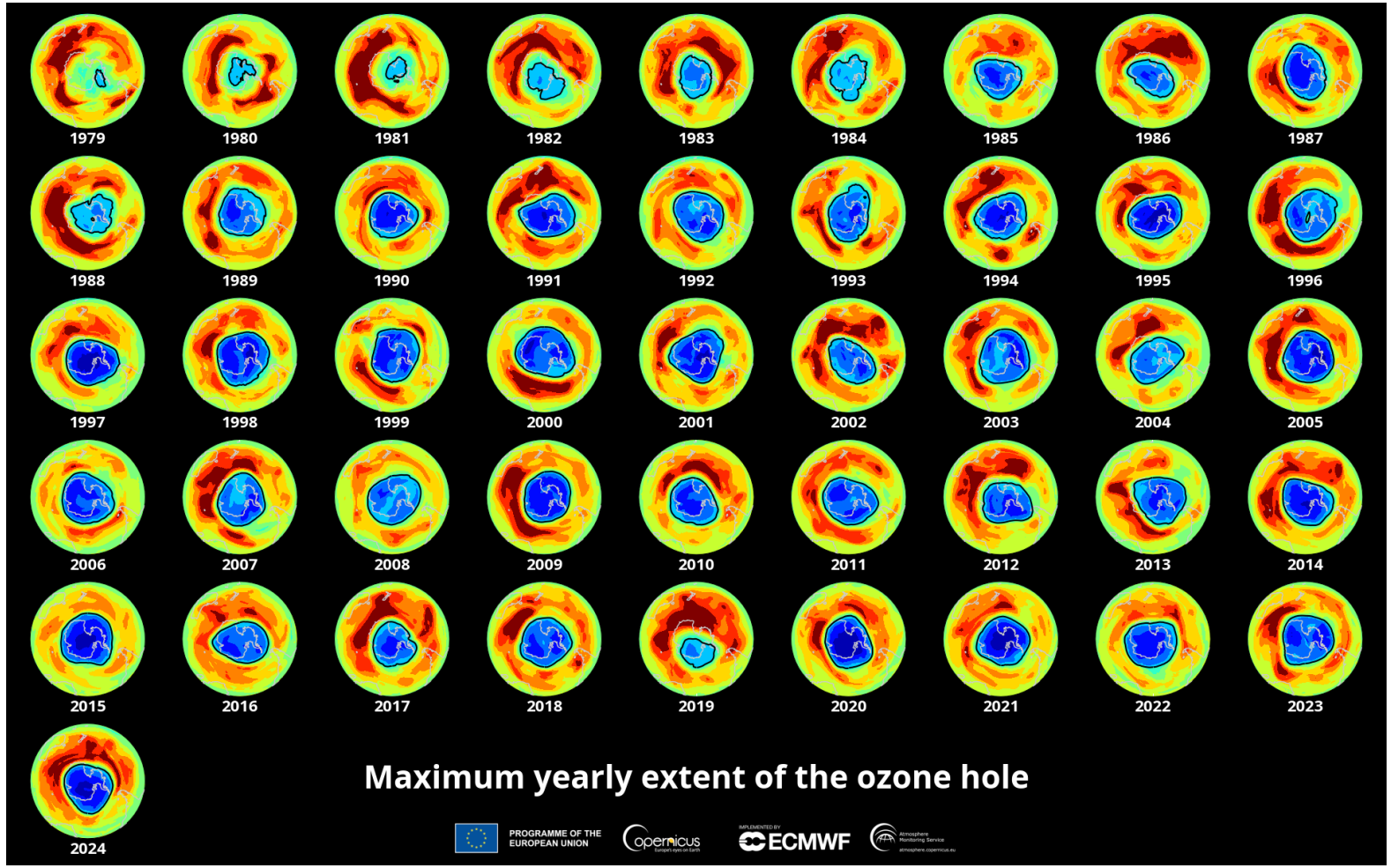
Safety Group

Increasing Flammability		
Higher Flammability	A3	B3
Flammable	A2	B2
Lower Flammability	A2L	B2L
No Flame Propagation	A1	B1
	Lower Toxicity	Higher Toxicity

Increasing Toxicity

Pollution environnementale : appauvrissement de la couche d'ozone

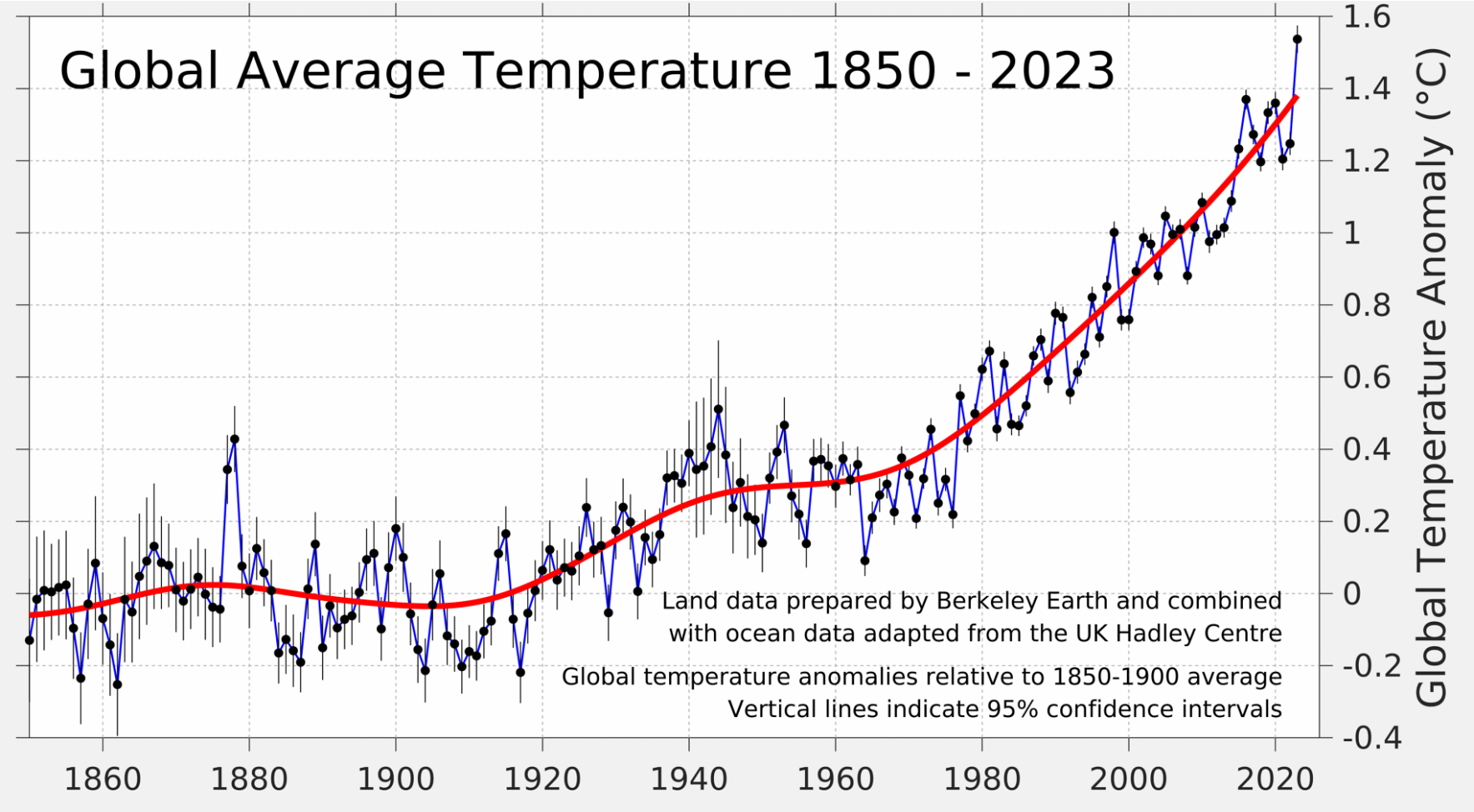
ODP : Ozone Depletion Potential (Reference R11 = 1)



zero c

Pollution environnementale : réchauffement climatique

GWP: Global Warming Impact – (Reference CO2 = 1)



zero^c

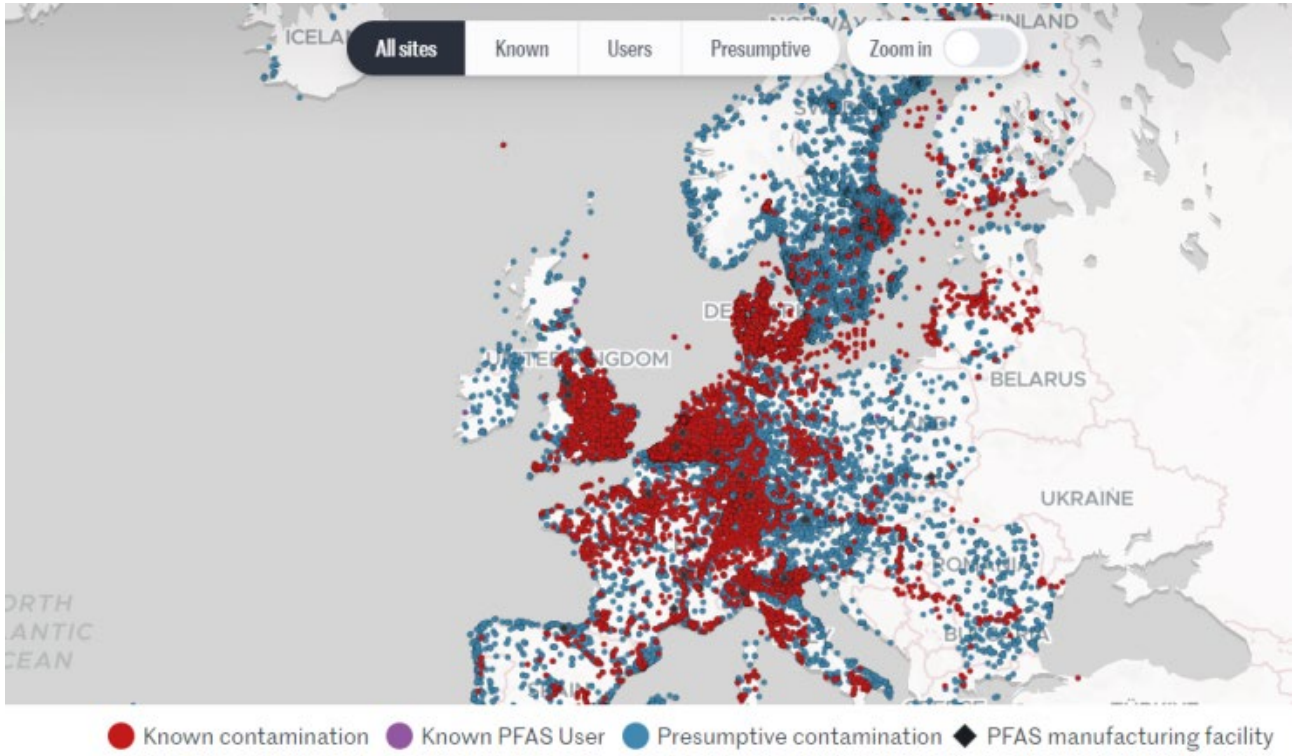
Pollution environnementale : pollution de l'eau

PFAS ET FLUIDE FRIGORIGENE

HFO

Fluide Frigorigène	R1234YF	R1234ZE	R134A	R410A	R32	R449A	R448A	R404A	R744 CO2	R717 NH3	R290 PROPANE
Proportion de TFA Libéré (%)	100%	100%	5%	5%	5%	5%	5%	< 5%	0%	0%	0%
TFA Transformé Estimé dans l'Environnement (mg/L) par kg de fluide	0.5 à 1.5 mg/L	0.3 à 1 mg/L	< 0.1 mg/L	< 0.2 mg/L	< 0.2 mg/L	< 0.1 mg/L	< 0.1 mg/L	< 0,05 mg/L	0 mg/L	0 mg/L	0 mg/L
TFA Transformé Estimé dans l'Eau Potable (µg/L) par kg de fluide	50 à 150 µg/L	30 à 100 µg/L	< 5 µg/L	< 10 µg/L	< 10 µg/L	< 5 µg/L	< 5 µg/L	< 0,25 µg/L	0 µg/L	0 µg/L	0 µg/L

Sources : DCCR.fr



Source: Forever Pollution Project

Pollution environnementale : PFAS – Impacts clés

Santé humaine

- Perturbations hormonales, immunitaires et du développement
- Risque accru de certains cancers et problèmes de fertilité

Environnement

- Extrêmement persistants et bioaccumulables
- Contamination durable des sols, de l'eau et de la chaîne alimentaire

Économie et réglementation

- Dépollution coûteuse et responsabilité légale pour les industriels
- Interdictions et restrictions croissantes à l'échelle internationale

Caractéristiques critiques

- Persistants, mobiles et toxiques même à faibles doses
- Risque systémique comparable à l'amiante ou aux PCB

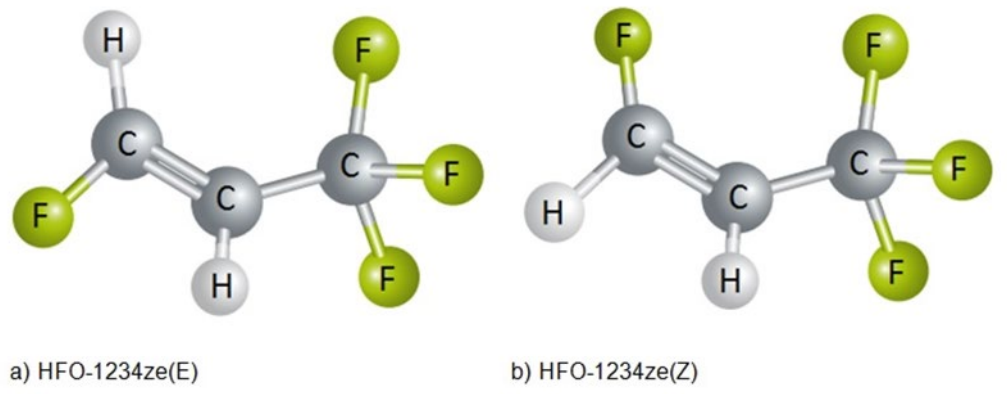
zero^{c}

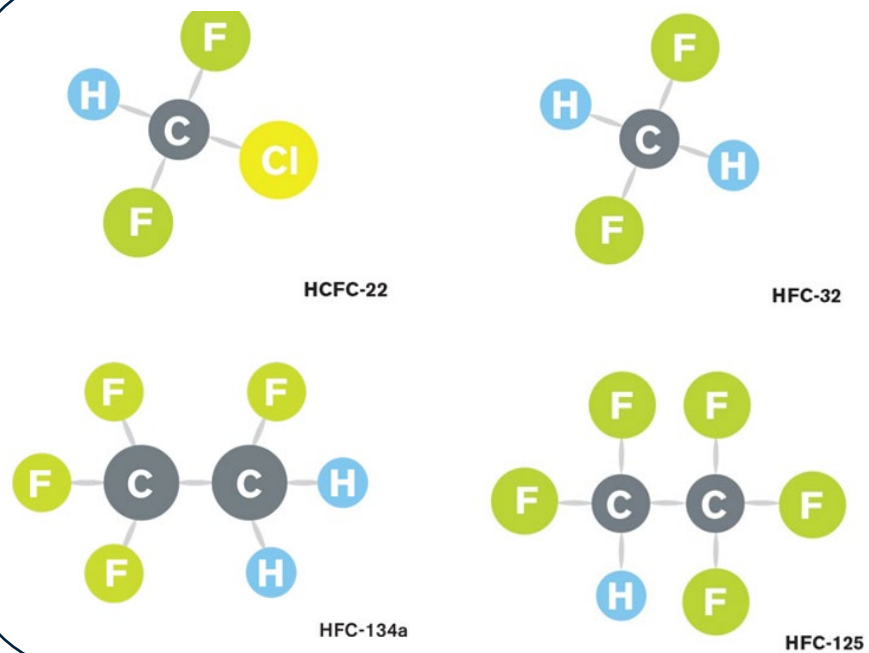
Refrigérant naturel - ODP = 0 - very low GWP

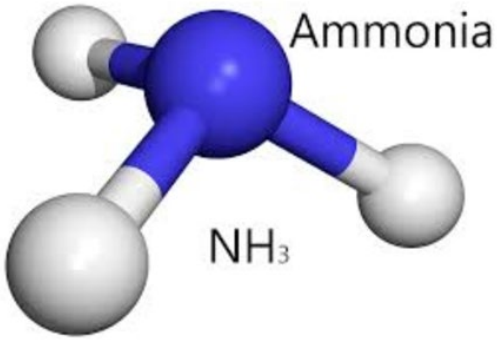
Catégorie	Nom	Exemple	Statut
Naturel	Fluide pur	R170 Ethane (GWP 6 – A3) R290 Propane (GWP 3 – A3) R717 NH3 (GWP 0 – B2L) R718 H_2O (GWP 0 – A1) R744 CO_2 (GWP 1 – A1) R600a isobutane (GWP 3 – A3) R1270 Propène (GWP 2 – A3)	Autorisé
HFO	HydroFluorOolefin	R1234yf (GWP <1 – A2L) R1234ze (GWP <1 – A2L)	Autorisé (💣 PFAS)

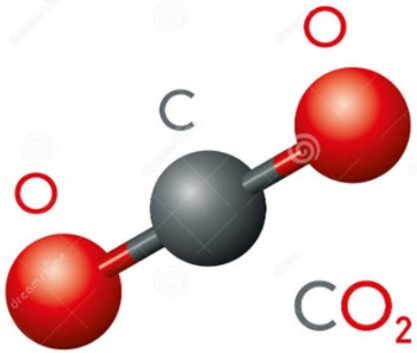
zero[c]

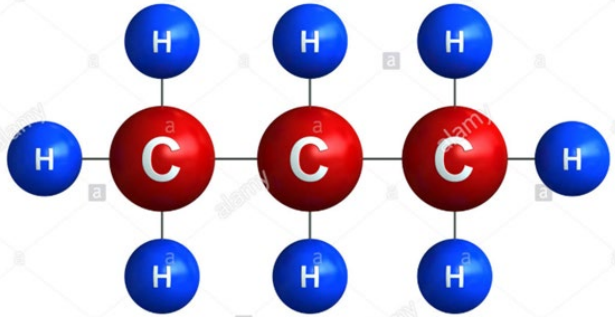
Structure moléculaire



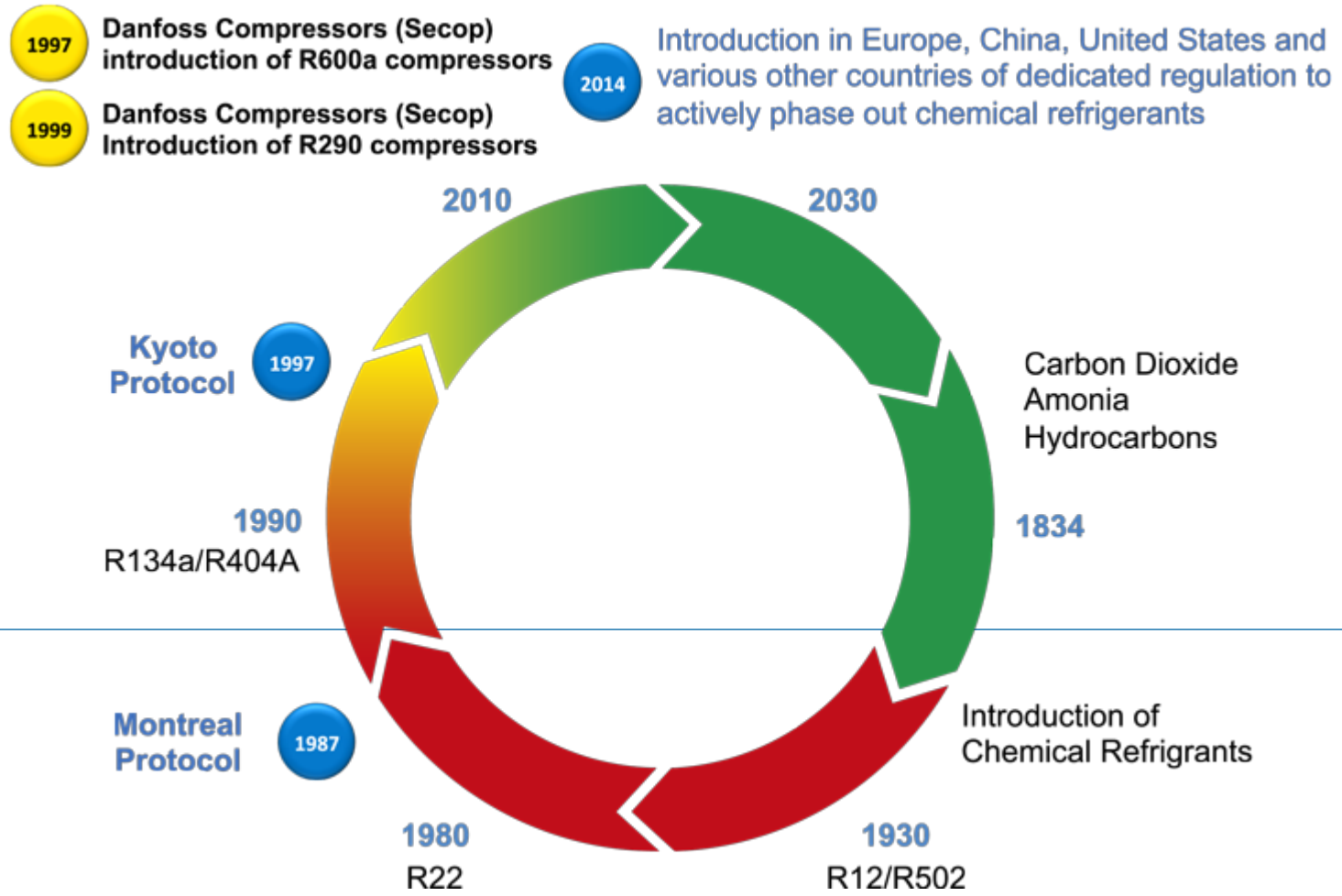






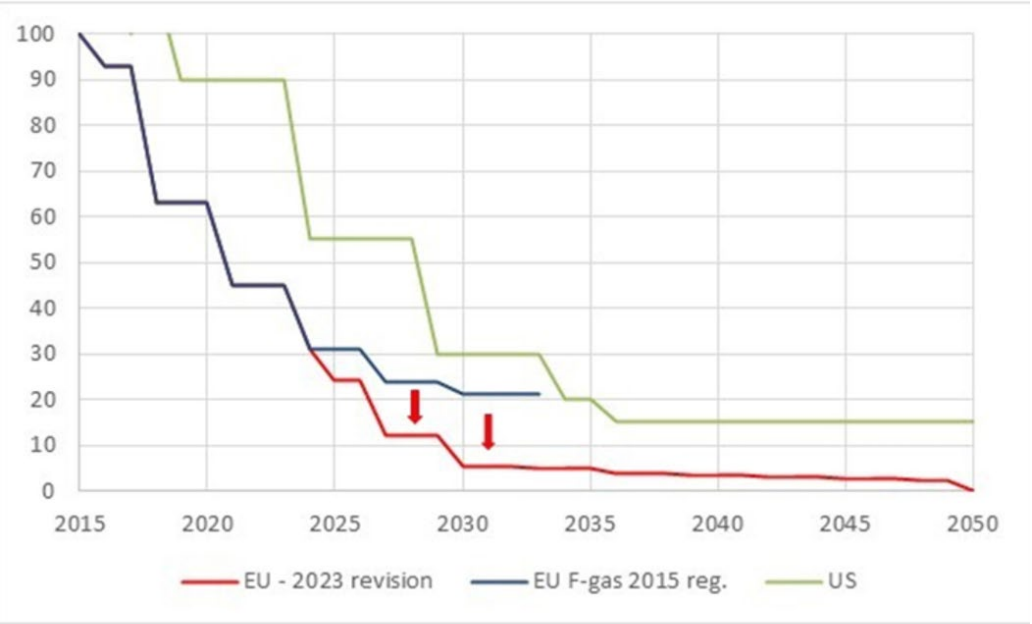


Historique des réfrigérants (réfrigérateurs)



Réglementations

Régulations



Environnemental

Suisse : OFEV -> ORRChim
«Prévention des accidents majeurs dans les installations frigorifiques »

EU: F-Gas

Technique

Les mesures techniques relatives aux fluides frigorigènes sont réglementées par des normes.

EN 378-1,2,3,4 : "Systèmes de réfrigération et pompes à chaleur – Exigences de sécurité et d'environnement "
posity.ch

DESP : "Directive européenne équipements sous pression "
Et des normes locales comme par exemple la SUVA

zero°

Quel refrigerant choisir ?

Comment choisir le bon réfrigérant ?

- Il n'y a pas de solutions miracle
- Travailler en Equipe: MOA, Mandataires, Entreprise
- Bien définir les besoins (puissance, niveaux de températures, chaud,…)
- Bien connaître les contraintes (budget, espace, bruits, voisinage, déroulement des travaux,…)
- Le choix d'un fluide naturel assure la pérennité dans le temps
- Ce n'est pas toujours la solution la plus simple
- Parfois, il faut savoir renoncer….
  Mais pour les bonnes (et vraies) raisons

zero°

Quelques critères

- Puissance : kW ou MW
- Rénovation ou installation neuve
- Type de client: commercial ou industriel
- Coûts d'investissement ou d'opération
- Locaux techniques intérieurs ou extérieurs
- Evolution des besoins dans le temps (agrandissement ?)
- Contraintes environnantes (zone d'occupation, voisinage,…)
- Certifications (BREEAM, LEED, Minergie,…)
- Durée de vie (énergie grise)
- …

zero c

Choix du réfrigérant

Fluide	Cat	Avantages	Inconvénients
HFC	A1	- Facile à mettre en œuvre - Facile à entretenir - Coût d'installation	- Stable dans l'air - Interdiction à court terme - Prix du réfrigérant
HFC	A2L	- Relativement facile à mettre en œuvre - Coût d'installation	- Stable dans l'air - Interdiction à moyen terme - Utilisation restreinte (sécurité) - Prix du réfrigérant
HFO	A2L	- Relativement facile à mettre en œuvre - Coût d'installation - Autorisé (actuellement)	- Restrictions d'utilisation (sécurité) - Impact environnemental - Avenir incertain avec les PFAS (TFA) - Prix du réfrigérant

Choix du réfrigérant

Fluide	Cat	Avantages	Inconvénients
CO_2 / R744	A1	- Potentiel élevé de récupération de chaleur à haute température (ECS) - COP élevé en mode sous-critique (température de condensation < 25 °C) et/ou temperature de retour froid - Fonctionnement en mode booster (applications multiples avec la même unité) - Prix du réfrigérant - Fluide naturel (aucune restriction) - Capacité thermique spécifique et densité élevées --> système compact - Incombustible	- Ne convient pas au mode pompe à chaleur avec une température de retour élevée - Pressions de fonctionnement élevées (PS 40-120 bars) - Complexité des installations (subcritiques/transcritiques) - Coûts d'installation (~+30 %) (écart diminue avec la standardisation)

zero^{c}

Choix du réfrigérant

Fluides	Cat	Avantages	Inconvénients
NH3	B2L	- Les fuites peuvent être détectées rapidement (odeur forte) - Approprié et efficace pour les installations de grande puissance (refroidisseurs et pompes à chaleur) - Convient aux pompes à chaleur à haute température - Haute efficacité énergétique - Capacité thermique spécifique élevée --> système compact - Prix du réfrigérant - Facilement absorbé par l'eau	- Toxicité - Inflammabilité (faible) - Mesures de sécurité importantes - Précautions d'utilisation - Peu utilisé pour les systèmes à détente directe (par exemple, fluides caloporteurs et frigoporteurs)

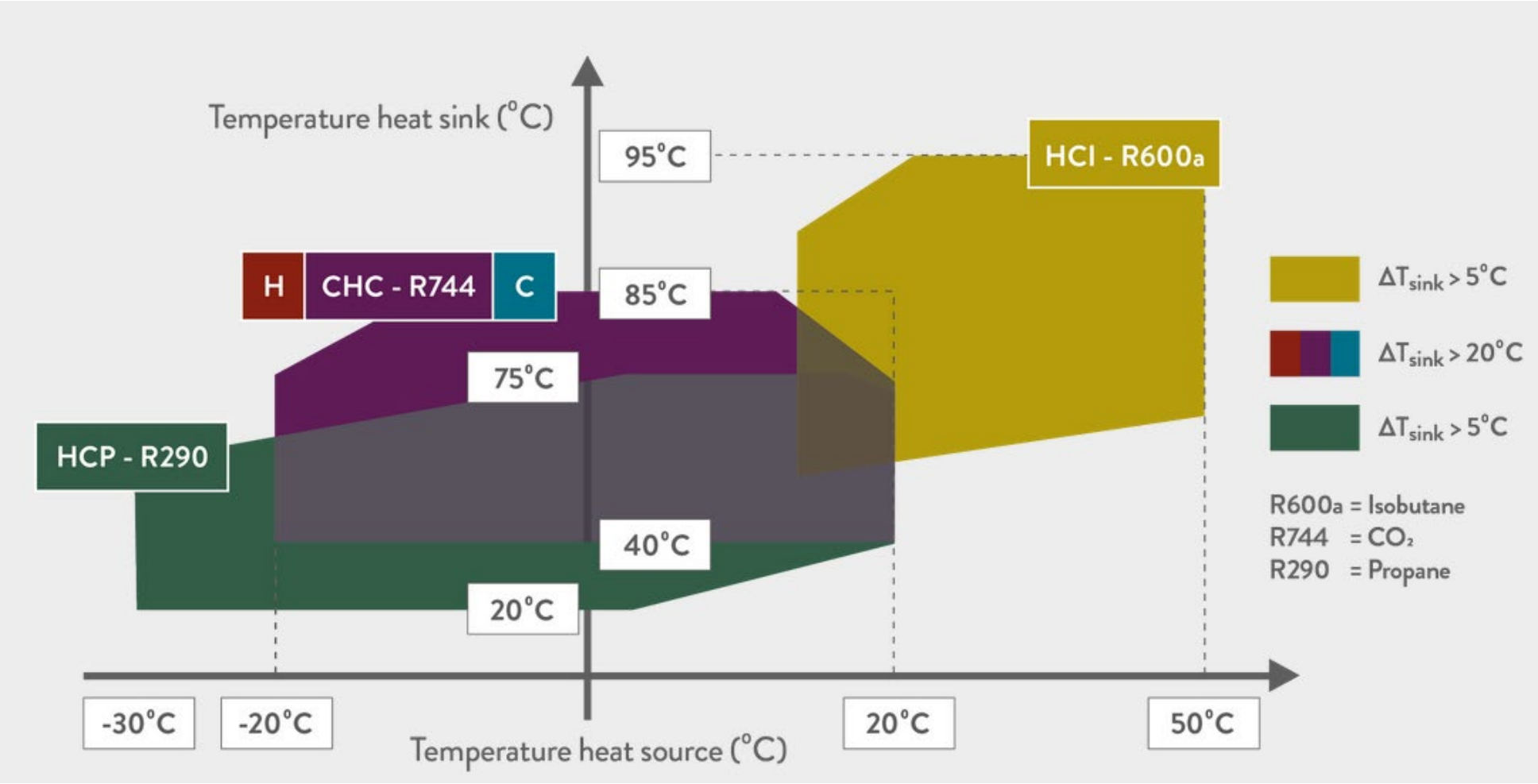
Choix du réfrigérant

Fluide	Cat	Avantage	Inconvénient
HC (propane / propène / butane isobutane)	A3	- COP élevé - Haute efficacité énergétique - Prix du réfrigérant - Convient aux installations de petite et moyenne taille (autonome / refroidisseur / pompe à chaleur)	- Hautement inflammable - Mesures de sécurité importantes - Précautions de manipulation/outils spéciaux - Installation à l'intérieur avec enceinte ventilée

Fluide	Cat	Avantage	Inconvénient
H_2O	A1	- Non toxique - ininflammable - Prix, approvisionnement - Enthalpie de vaporisation élevée	- Utilisation limitée par ses caractéristiques thermodynamiques - Fonctionne sous pression négative - Peu adapté aux systèmes de compression conventionnels

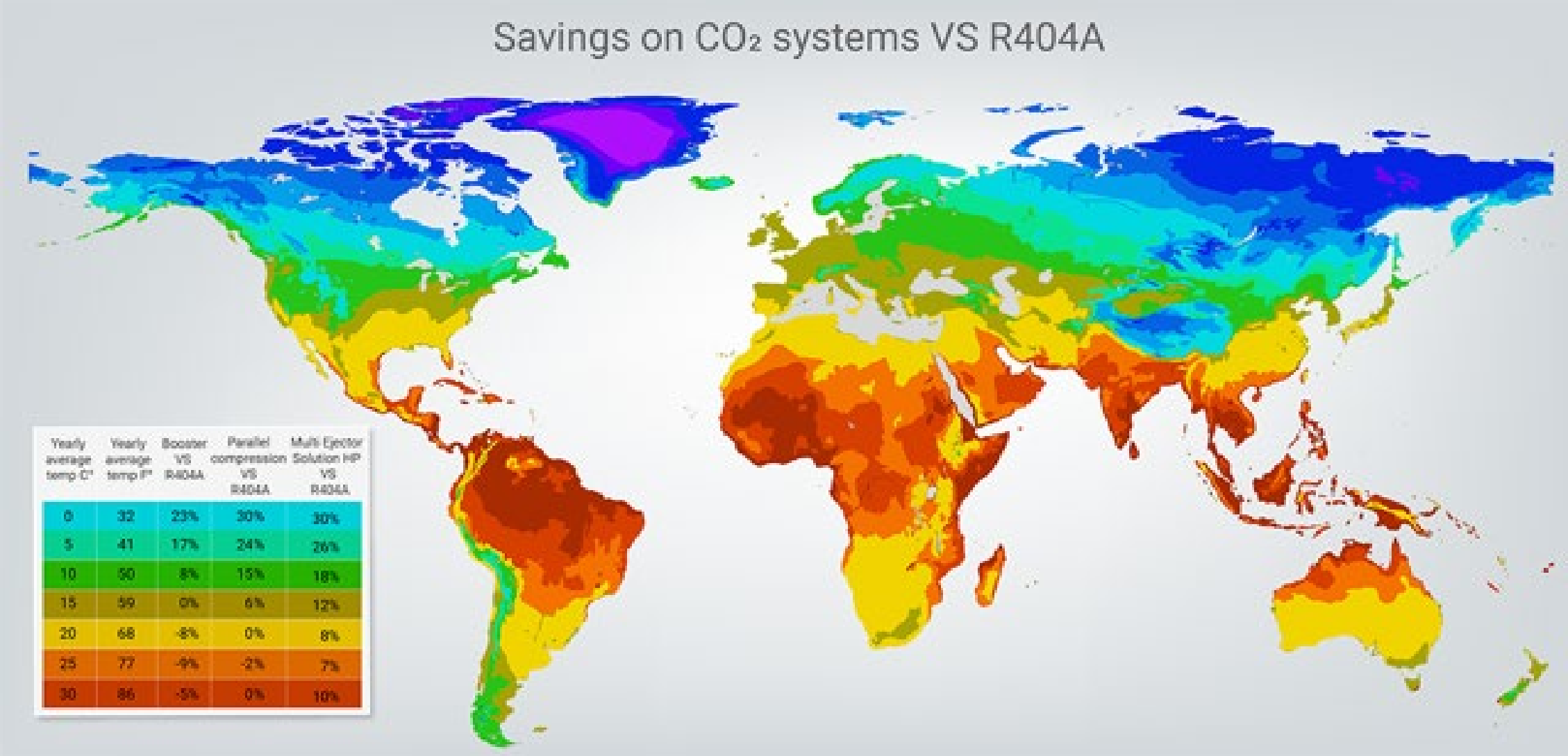
zero^{c}

Réfrigérants naturels - utilisation



Source : Fenagy

Efficacité des installations de réfrigération au CO2



Yearly average temp C°	Yearly average temp F°	Booster VS R404A	Parallel compression VS R404A	Multi Ejector Solution HP VS R404A
0	32	23%	30%	30%
5	41	17%	24%	26%
10	50	8%	15%	18%
15	59	0%	6%	12%
20	68	-8%	0%	8%
25	77	-9%	-2%	7%
30	86	-5%	0%	10%

Source : Danfoss

Locaux techniques

Locaux techniques : intérieurs

Avantages :

- Protection contre les intempéries :
  - Durée de vie
  - Fiabilité
  - Coûts d'entretien

Inconvénients :

- Espace disponible
- Sécurité avec les réfrigérants inflammables
- Coût

Local technique : prescriptions générales

Dispositifs de sécurité obligatoires :

- Détecteurs de fuites
  - réfrigérants inflammables (considérations ATEX)
  - Réfrigérants toxiques
  - appauvrissement en oxygène
- Systèmes de ventilation (contamination des pièces adjacentes)
  - naturel
  - mécanique, déclenché automatiquement en cas de fuite
- Résistance au feu
- Boucle d'arrêt d'urgence

zero^{c}

Local technique : ammoniac

En fonction de la quantité :

- Détecteur de fuite ATEX supplémentaire
- Ventilateur ATEX (ou mesure similaire)
- Coupure électrique en cas de détection de fuite (valeur élevée)
- Confinement aéraulique

Grandes quantités : >2 000 kg NH3

- Vannes à fermeture rapide
- Détection d'ouverture des soupapes de sécurité
- Transmission de la détection de fuite à un système d'alarme

Locaux techniques : enceintes ventilées

Avantages :

- Convient aux réfrigérants inflammables
- Autonome
  - Détection des fuites
  - Ventilation
- Compact
- Faible charge de réfrigérant

Inconvénients :

- Faible capacité
- Maintenance

zero^{c}

Installations extérieures

Avantages :

- Coût
- Facilité d'installation/de remplacement
- Unités autonomes

Inconvénients :

- Espace disponible
- Sécurité avec les réfrigérants inflammables
- Remplacement de l'installation
- Coût

Exemple

Exemple fromagerie (2020)

Description

- Production + cave de stockage
- Cave à rebibes
- Magasin
- Fromage à raclette
- Eau glacée à 2°C pour le procédé
- Altitude 850 m
- Récupération de chaleur
- Durée de vie longue (plusieurs dizaines années)

zero°c

Solutions proposées

HFC R449A + R134a

Production eau glacée R449A 58 kW

- 2 compresseurs semi-hermétique
- Bac à glace à détente directe
- Condensation directe à air
- Un niveau de récupération de chaleur à un niveau (ECS)

Production détente directe R134a

- 2 scroll
- Chambres froides + vitrines + meubles
- Condensation sur l'eau glacée

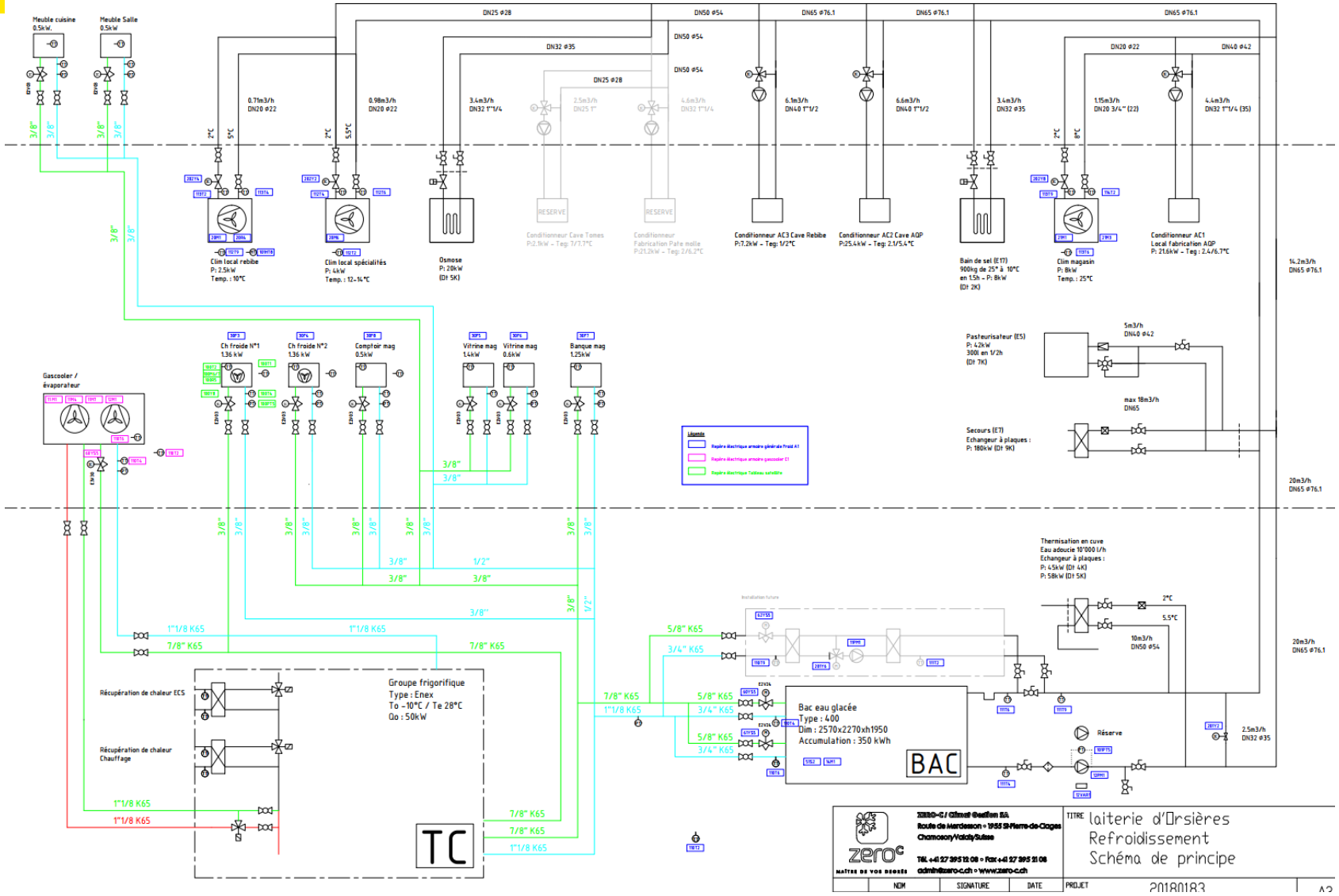
CO2 (R744)

Multiplex 50 kW

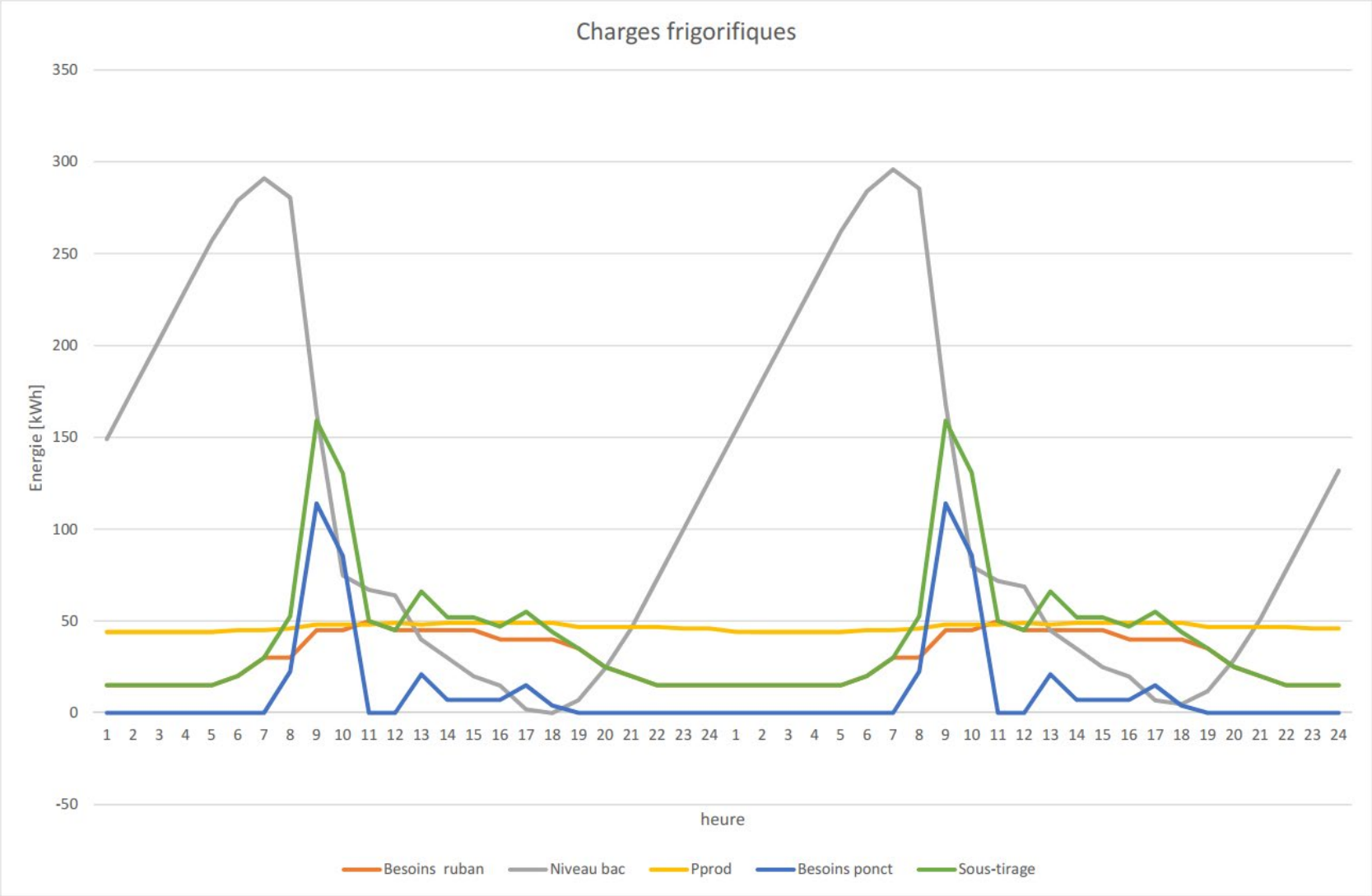
- 3 compresseurs semi-hermétique
- 2 aspiration (bac à glace et PAC)
- Bac à glace à détente directe
- Chambres froides + vitrines + meubles
- Fonctionne en PAC avec le bac à glace comme stock
- Deux niveaux de récupération de chaleur (60/40°C & 40/30°C)
- Gas cooler & évaporateur
- Un seul fluide et machine
- Chauffage du bâtiment
- Coûts: +16%

zero^{c}

Solution proposée

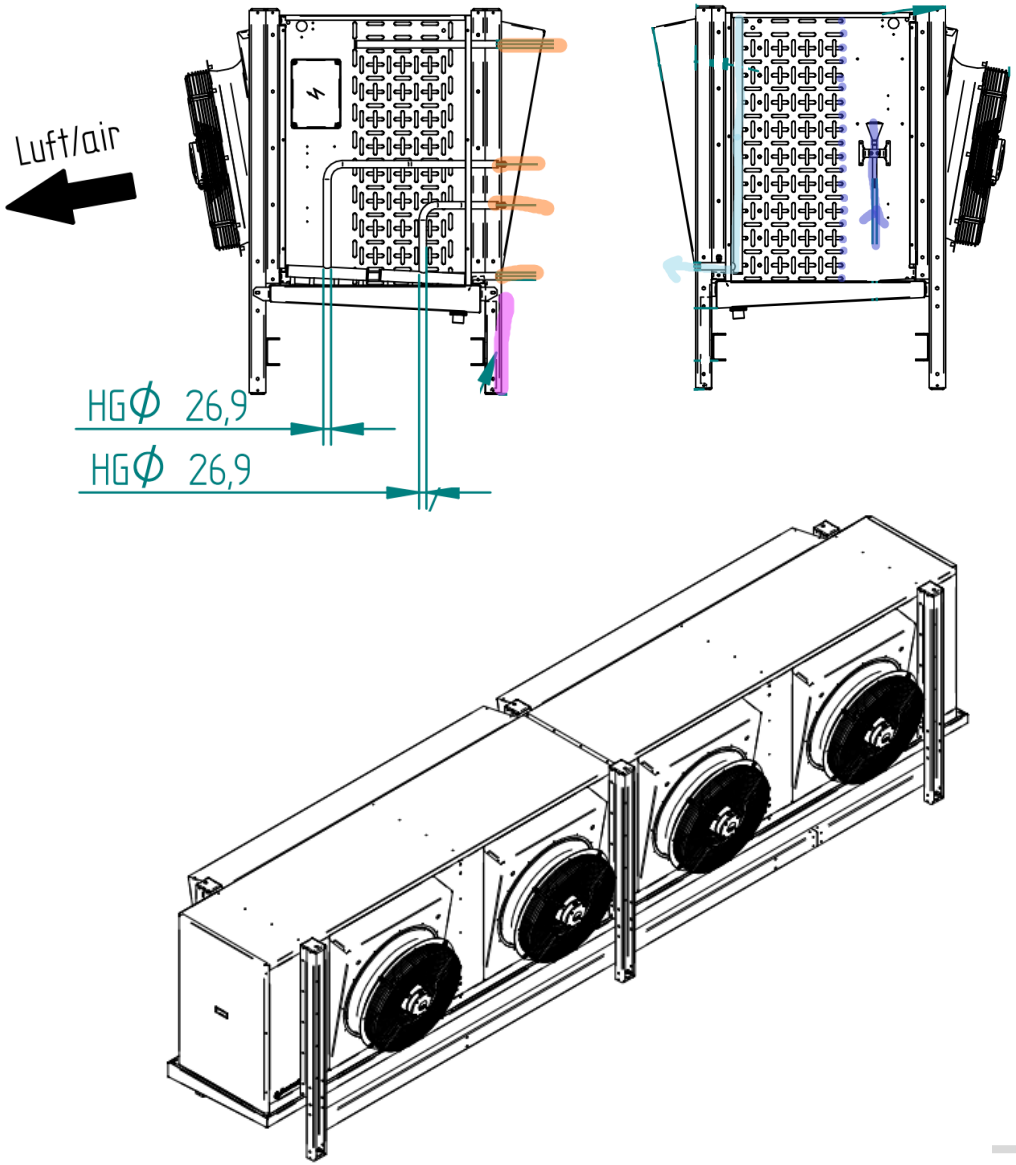


Fonctionnement du bac à glace



zero c

Gas cooler - évaporateur



Retour d'expérience

- Simplicité d'un seul système
- Température du retour du chauffage plus élevé que prévu
- Volume accumulateur ECS pourrait être supérieur
- Modification des locaux durant le projet ->ajout de détecteurs de CO2
- Espace dans le local technique impiété par la technique de production laitière
- Meilleure coordination entre mandataire – chauffagiste - frigoriste
- Prévoir plus de temps pour le suivi et l'optimisation
- Différentiel du coût réel supérieur à 16%

zero^{c}

Exemple collège (2023)

Description

- Centre-ville
- 2 bâtiments et 3 pavillons préfabriqués
- Remplacement du chauffage à gaz
- Eau de nappe disponible 9/5°C
- Locaux techniques existants au rez, accès à côté de l'entrée principale
- Rénovation globale (y compris monobloc de ventilation et enveloppe)
- Conservation des radiateurs monotubes
- Plusieurs niveaux de température
  150 kW 45/41°C, 280 kW 40/30°C, 110 kW 16/19°C
- Durée de vie longue (plusieurs dizaines années)
- Utilisation d'un fluide naturel
- Performances énergétiques

Exemple collège

Solutions proposées

- Propane (R290) et Ammoniac (NH3)
- Faible charge
- Utilisation d'une cheminée pour l'extraction de la ventilation
- Régulation chaud, froid, évacuation de chaleur, redondance
- Débit variable évaporateur et condenseur

Solutions proposées

Ammoniac NH3 (R717)

1x HT 150 kW

- 1 compresseur
- COP 4.5 (+18%)
- 20 kg
- H 2500 x L 1250 x P 1800 mm

1 x BT 280 kW

- 2 compresseurs
- COP 5.6 (+16%)
- 30 kg
- H 2500 x L 2200 x P 1800 mm

Prix: +80%

Propane (R290) enceinte ventilée

1x HT 168 kW

- 2 compresseurs
- COP 3.8
- 2*4 kg
- H 2000 x L 900 x P 2100 mm

1 x HT - BT 93-100 kW

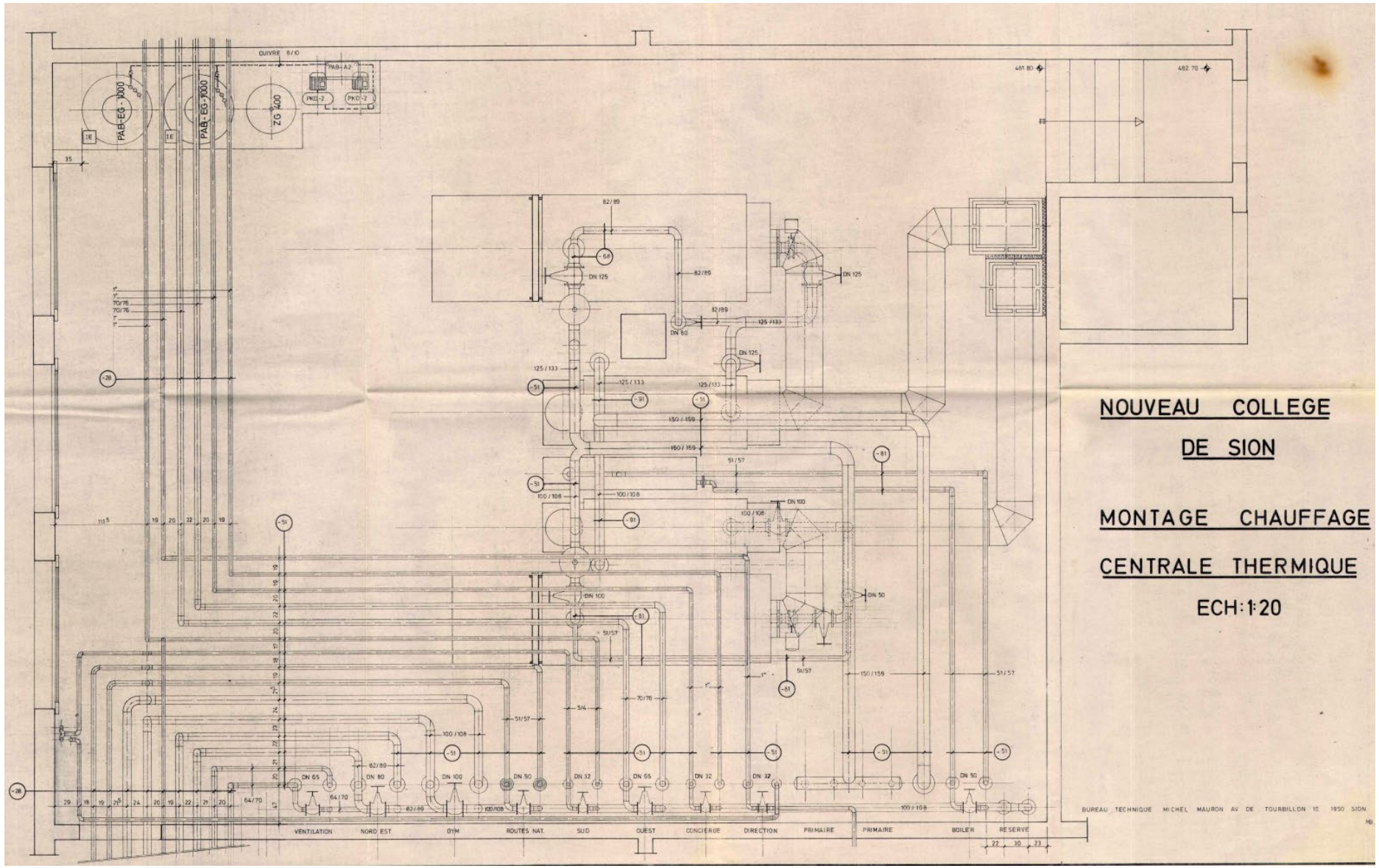
- 1 compresseurs
- COP 3.8 - 4.8
- 2.2 kg
- H 1650 x L 950 x P 950 mm

1 x HT - BT 181 kW

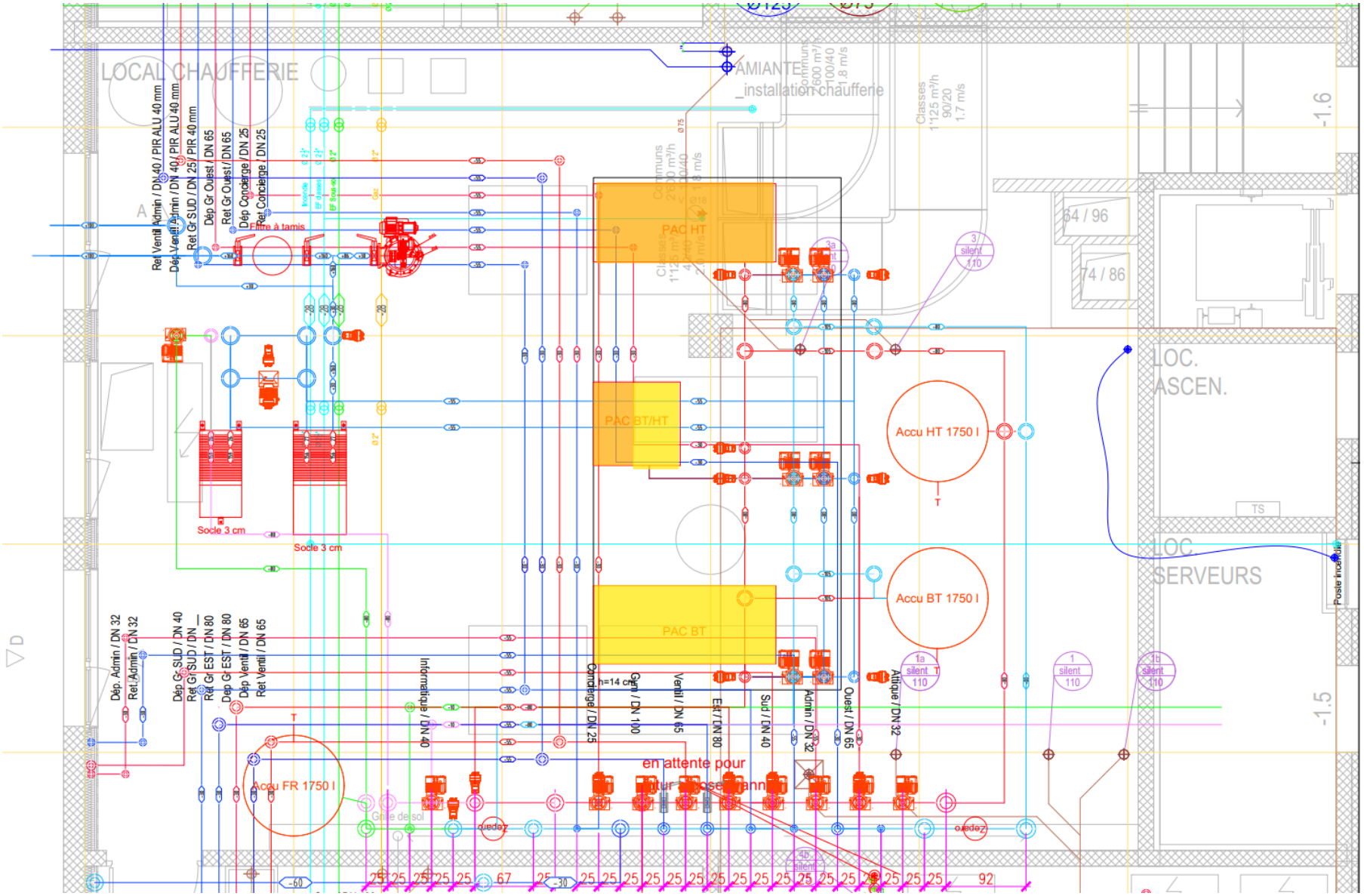
- 2 compresseurs
- COP 4.8
- 2*4 kg
- H 2000 x L 900 x P 2100 mm

zero^{c}

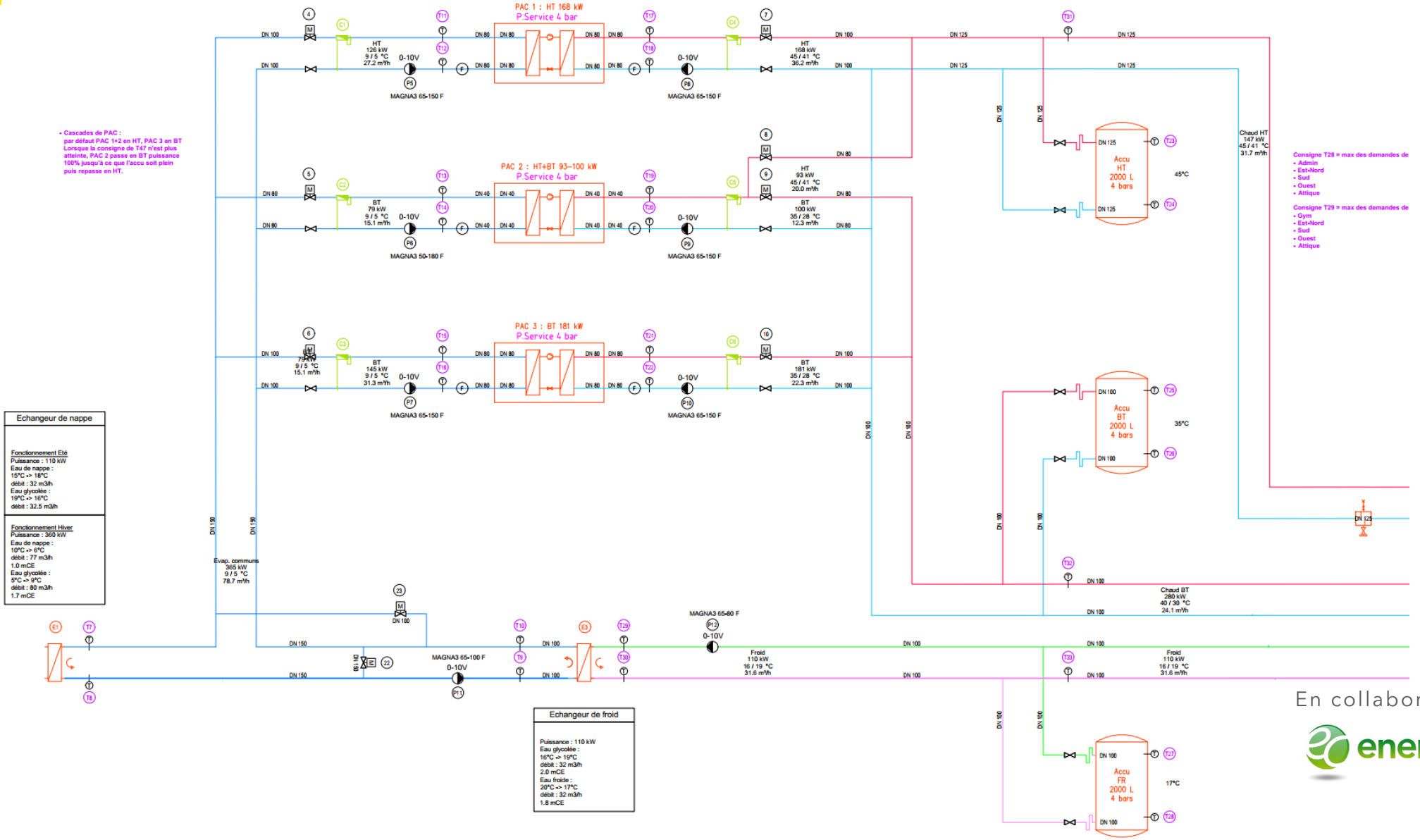
Local technique



Local technique



Local technique



En collaboration avec

enerconseil
Ingénieurs Conseils

zero c

Retour d'expérience

- Conception anticipée -> implémentation facilitée
- Systèmes au propane plus compact et moins couteux que ammoniac
- Possibilité de mettre 3 machines et avoir de la redondance
- Plus facile à introduire
- Enceinte ventilée simplifie la mise en oeuvre
- Coupure de la puissance électrique dans l'ensemble du local -> armoire électrique à l'extérieur
- Ajustement de la régulation en fonction des radiateurs mono-tube

Exemple industrie horlogère suisse (2017-2019)

Description

- Centre-ville
- Sous-sol
- Total de 11 MW de puissance froid, 5 MW de chaud
- 3 niveaux de température sur 4 réseaux séparés et production de chaleur jusqu'à 45°C
- Durée de vie longue (plusieurs dizaines années)
- Utilisation d'un fluide naturel
- Performances énergétiques
- Partie neuve
- Partie rénovation: à la place de banque de glace, descendre par un ascenseur

zero^c

Exemple industrie horlogère suisse

Solution proposée

- Ammoniac (NH3)
- Faible charge d'ammoniac
- 6 locaux séparés de 2 machines chacun
- Allongé et faible hauteur (tous les équipements à l'extérieur)
- Moteurs IE5 à aimants permanents
- Variateurs «Low Harmonic»
- Régulation froid, chaud, évacuation de chaleur, redondance
- Débit variable évaporateur et condenseur
- Mesure et stockage du COP
- Test sur notre banc

zero^c

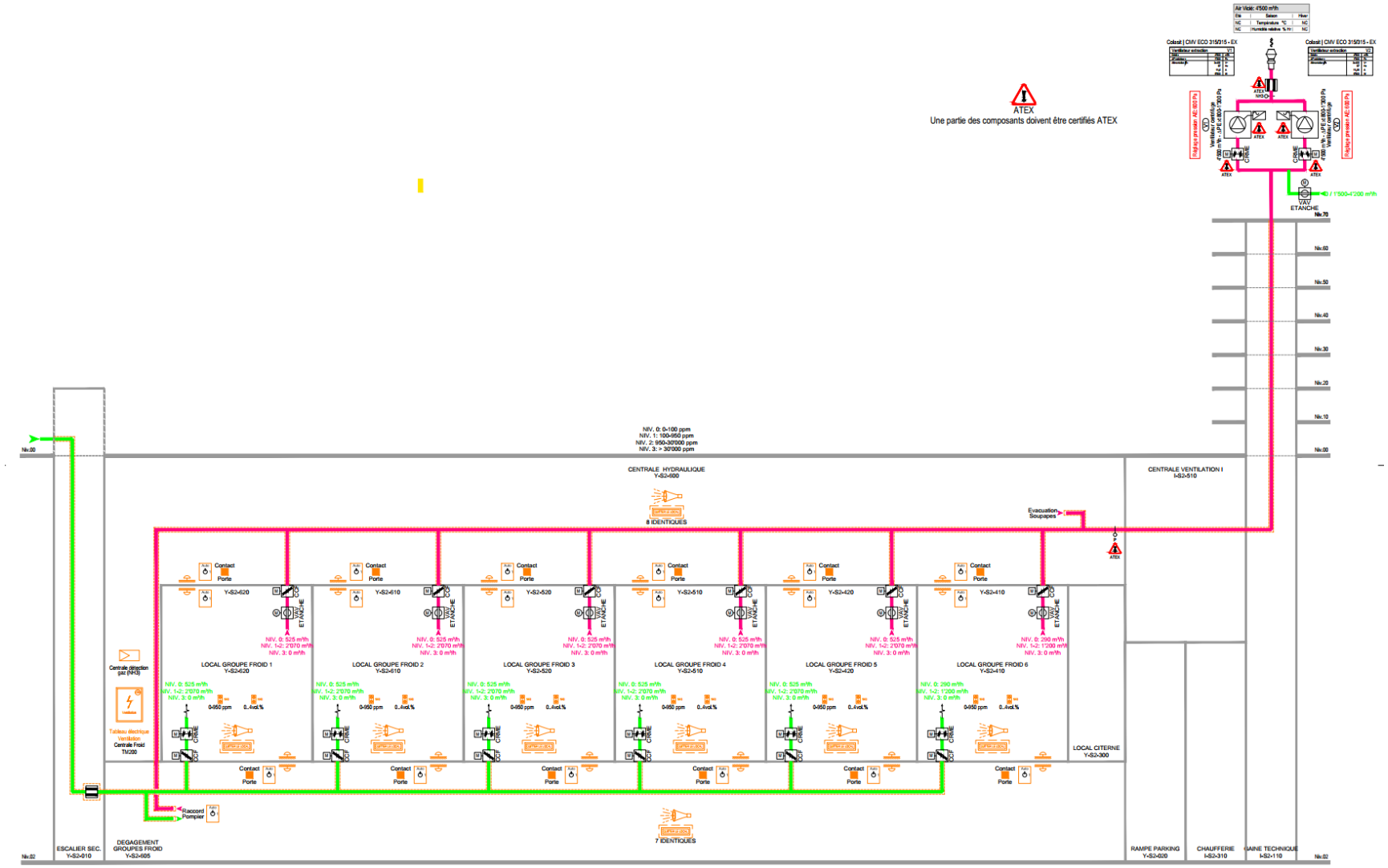
Exemple industrie horlogère suisse

Caractéristique des groupes (31 / 37°C)

- Statique – Process (SP), 4x
  - 1 100 kW 14 / 18 °C , EER 6.75 (7.3)
  - 1 255 kW 35 / 41°C (45°C), COP 6.65 (7.2)
- Ventilation – Process (VP), 5x
  - 1 150 kW 6 / 12 °C, EER 4.96 (5.31)
- Ventilation & Confort (VC), 1x
  - 900 kW 14 / 20°C, EER 6.46 (6.98)
- Locaux électrique (LE) , 1x
  - 355 kW 10 / 16°C, EER 5.41 (5.91)

zero^c

Concept de sécurité – ventilation

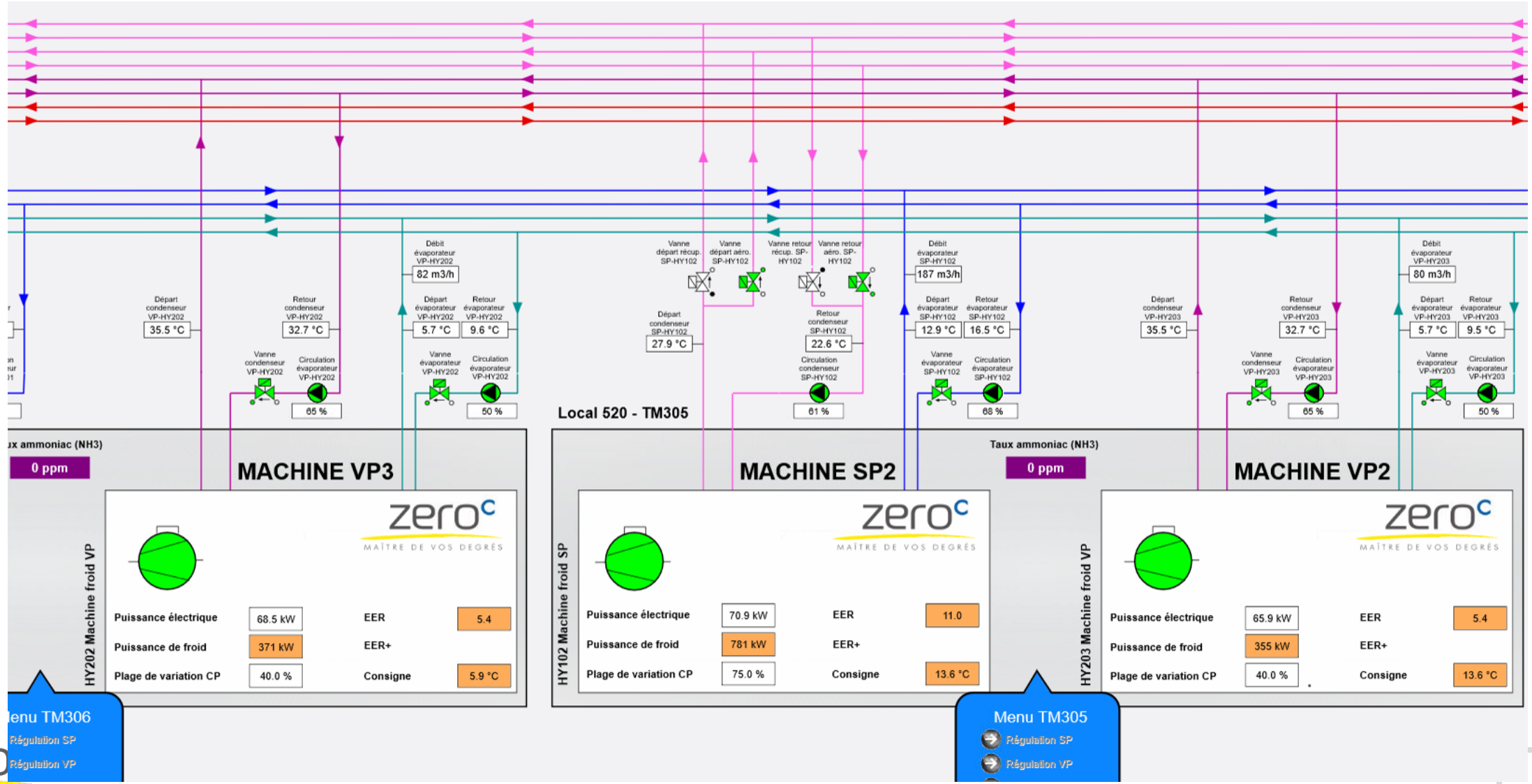


En collaboration avec

WEINMANN ENERGIES

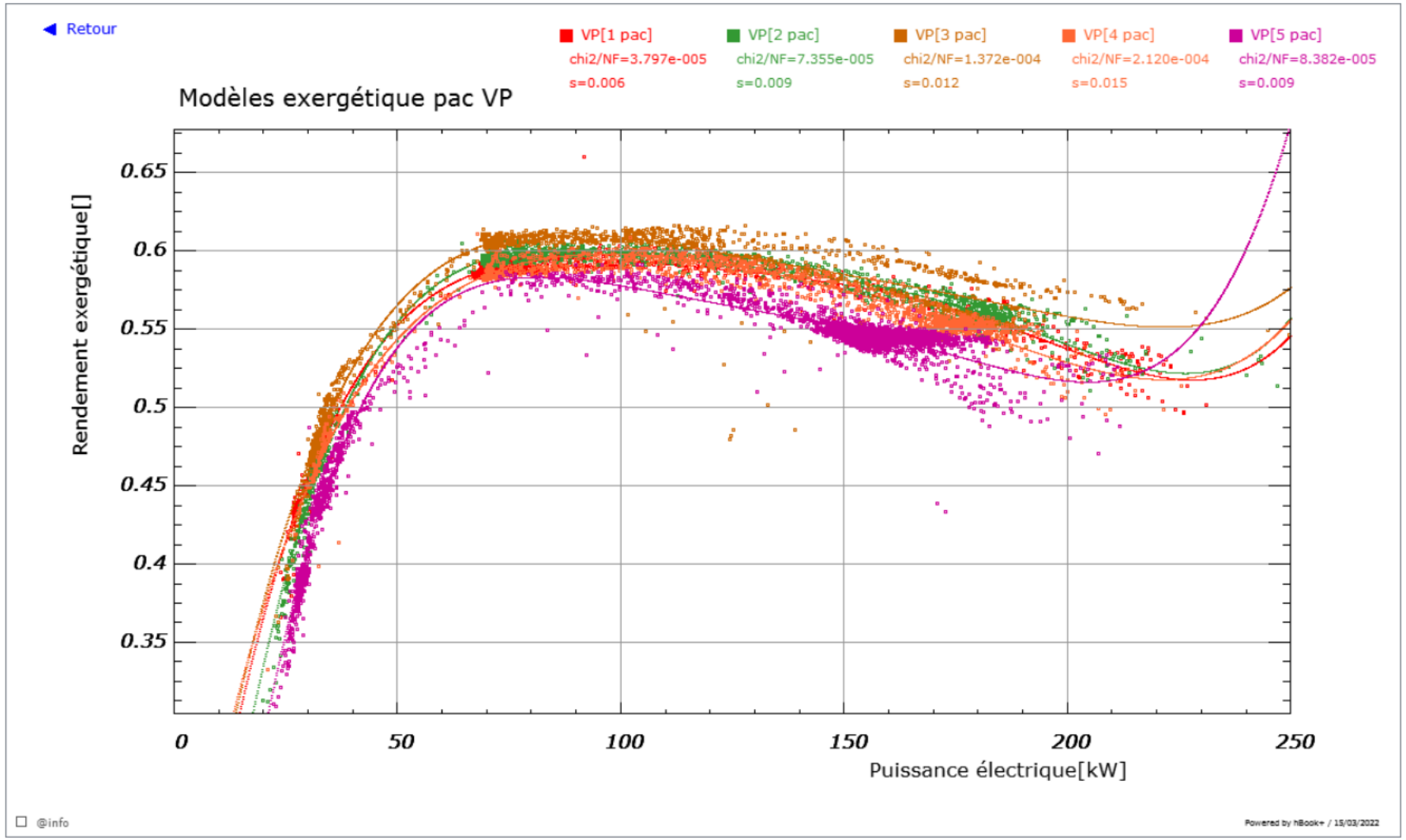
zero[c]

Fonctionnement



Comparaison rendement exergétique (Innosuisse)

Rendement exergétique: COP réel / COP Carnot (= Tchaud / Tchaud- Tfroid [°K])



Retour d'expérience

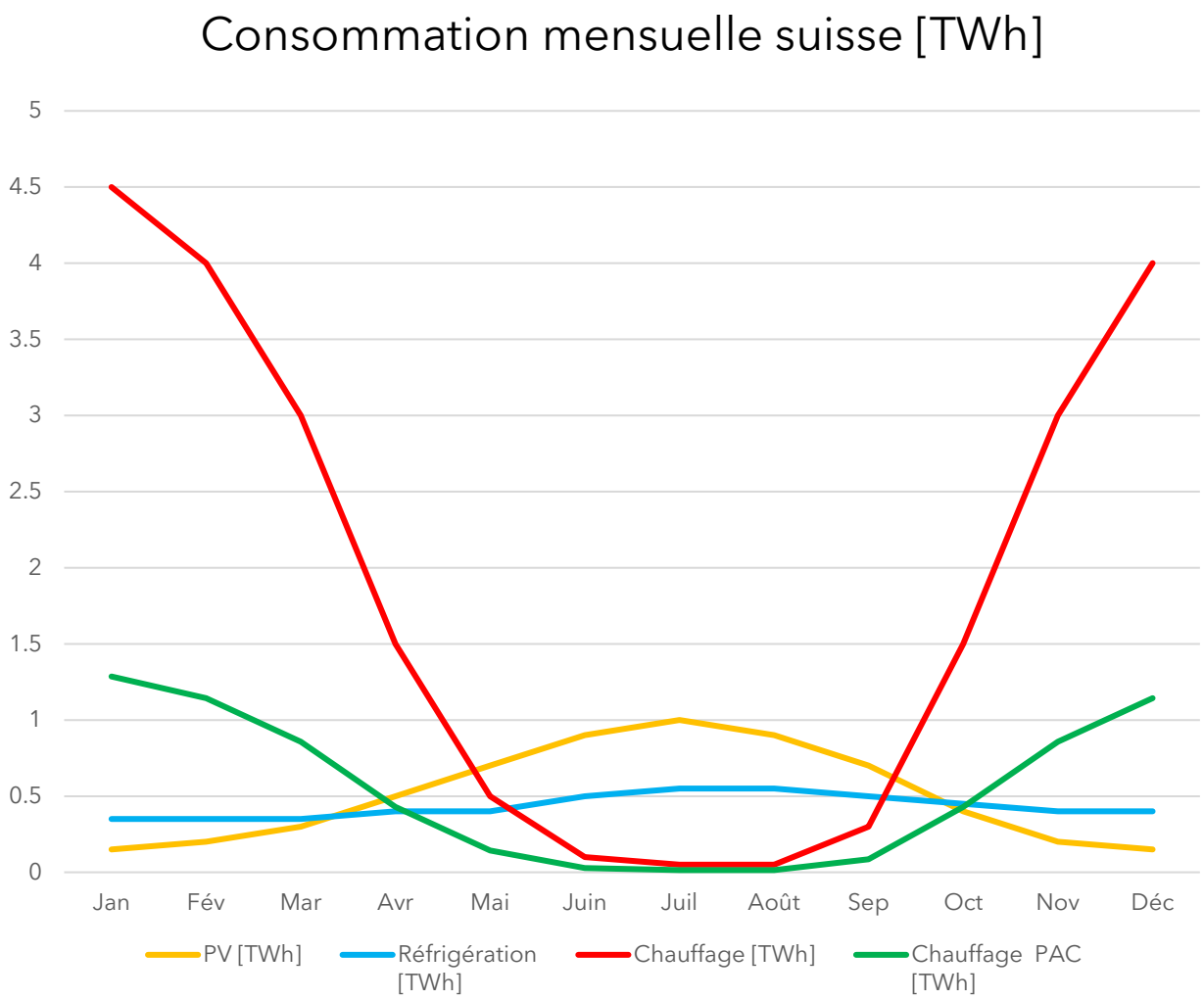
- La bonne communication entre le MOA, le mandataire et entreprise est un gage de réussite
- Une Equipe de projet qui a des convictions trouve des solutions pour installer des fluides naturels
- Installation performante
- Ammoniac tout à fait approprié pour l'application
- Avoir des locaux dédiés pour deux machines est idéal
- Machine à faible charge -> ventilation inférieure avec NH3 que HFO
- Anticiper les harmoniques possibles lors de l'installation de plusieurs machines avec des variateurs fréquence
- Régulation jusqu'au tampon est un vrai gain
- Ne pas introduire les machines trop tôt dans les projets

zero^{c}

Vision globale

Est-ce important d'avoir un COP élevé en été ou hiver ?

- Surproduction PV en été
- COP élevé
  en hiver + récupération
- Diminuer impact sur l'environnement (fluide)
- Consommation d'eau



Source : Mistral, OFEN, Swissolar, Helvetia-energy

zero^c

Conclusions

C’est possible !

- Plusieurs réfrigérants naturels existent
- La technologie a beaucoup évoluée ces 10 dernières années et cela va continuer
- Travailler en Equipe: MOA, Mandataires, Entreprise
- Former les employés à la conception et l’utilisation d’installations utilisant des fluides naturels
- Anticiper le choix du réfrigérant dès le début du projet
- Etudier la meilleure solution en fonction de critères établis
- Primordial de limiter l'impact humain sur l'environnement et d’utiliser des fluides dont les effets sont connus