

Annexe 54 – Pompes à chaleur utilisant des fluides frigorigènes à faible GWP

Pierre PARDO

PRÉSENTATION DE L'ANNEXE 54

ANNEX

54

Titre : Heat Pumps for Low-GWP Refrigerants

Operating Agent : Yunho WANG, University of Maryland, USA



Pays engagés à participer (à ce jour) :

- Oui : États-Unis (US), Italie (IT), Japon (JP), Corée du Sud (SK), **France (FR)**
- Peut-être : Autriche (AT), Allemagne (DE), Suède (SE)

Organismes et industriels intéressés :

- AHRI, EHPA
- Chemours, Daikin, Danfoss, Emerson, Honeywell, JCI et LGE

PRÉSENTATION DE L'ANNEXE 54

ANNEX

54

- **Date de début** : 1^{er} Janvier 2019
- **Date de fin** : 31 Décembre 2021
- **Réunions** :
 - Kick-off meeting : 12 Janvier 2019 (Atlanta, USA)
 - 2^{ème} réunion et workshop IEA/IIR : 27 août 2019 (Montréal, Canada)
 - 3^{ème} réunion : mai 2020 conjointement avec HPC2020 (Corée du Sud)
 - 4^{ème} réunion : décembre 2020 conjointement avec Gustav Lorentzen conference (Kyoto, Japon)

CONTEXTE DE L'ANNEXE

- Amendement de Kigali au Protocole de Montréal (2016) : réduction progressive des HFCs
 - **Les pays signataires s'engagent à réduire la production et l'utilisation de HFC de plus de 80% en 30 ans**
 - Réduction des émissions équivalent à 80 milliards de tonnes CO₂ d'ici à 2050
 - Limitation du réchauffement climatique à 0.5 °C d'ici 2100
- Règlement F-gas (UE)
 - **Calendrier de réduction 2/3 des tonnes eq. CO₂ d'ici 2030**
 - **Élimination des HFCs pour certaines applications**

OBJECTIFS DE L'ANNEXE 54

- **Promouvoir** l'utilisation de fluides à faible GWP pour accélérer la réduction des HFCs
- **Développer** des recommandations de conception pour des composants et systèmes optimisés pour ces nouveaux fluides

AXES DE TRAVAIL

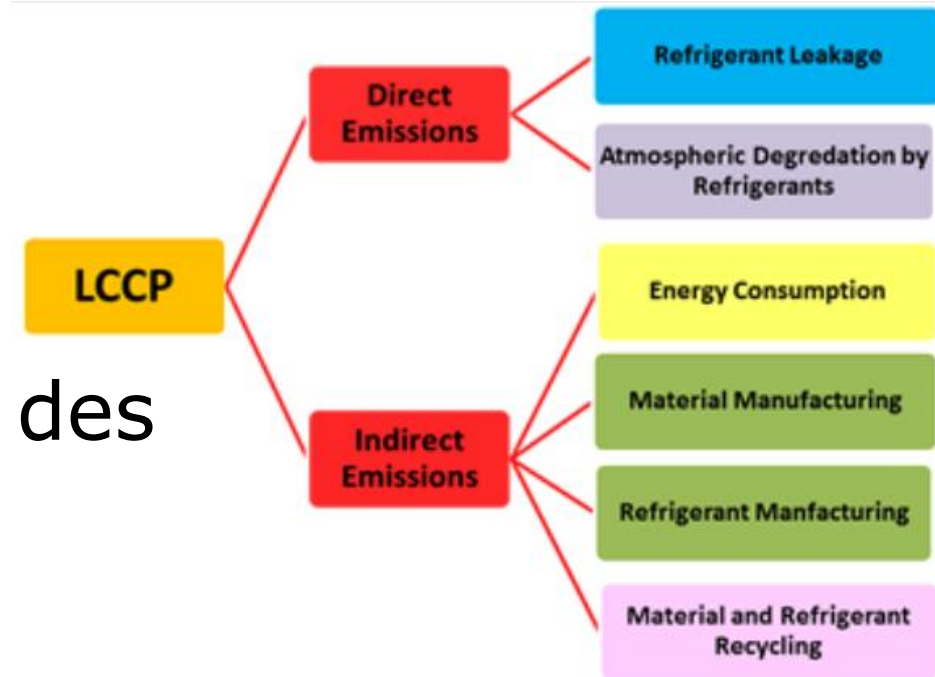
1. Review of low-GWP refrigerants, their properties and applicable standards
2. Review of safety and flammability of refrigerants, and safe use of flammable refrigerants
3. Optimization of heat pump components and systems for low-GWP refrigerants
4. Analyze the LCCP impacts by the current design and optimized design with low-GWP refrigerants
5. Make an outlook for Heat Pumps with low-GWP refrigerant for 2030

PROGRAMME DE TRAVAIL

- **Tâche 1** : Examen des technologies et des fluides
 - **État de l'art / rapport par pays en cours de finalisation → 12/2019**
- **Tâche 2** : Études de cas et recommandations de conception pour l'optimisation des composants et systèmes
 - **Approche expérimentale**
 - **Utilisation d'outils de modélisation**

PROGRAMME DE TRAVAIL

- **Tâche 3** : Examen de l'impact de l'optimisation de la conception sur la réduction du LCCP
- **Tâche 4** : Perspectives pour 2030
- **Tâche 5** : Rapport et dissémination des informations



RETOUR SUR LE WORKSHOP DE L'ICR 2019

I. Workshop Part 1 (10:30 am - 12:10 pm)

1. *"Introduction of IEA HPT's Annex 54 for Heat Pumps for Low GWP refrigerants"* by Yunho Hwang
2. *"Screening for Next Generation Refrigerants"* by Piotr Domanski
3. *"Ensuring a Safe Refrigerant Transition"* by Xudong Wang
4. *"Experimental Analysis of the Use of R134a, R1234ze(E) and R1234yf in a Small Water-to-water Heat Pump"* by Luca Molinaroli

II. Lunch Break (12:10 pm - 13:40 pm)

III. Workshop Part 2 (13:40 pm – 15:00 pm)

5. *"Risk Assessment of A2L Refrigerants Implemented in Japan"* by Eiji Hihara
6. *"Safe and Environmentally Safe Refrigerants for Heat Pumps Applications"* by Samuel Yana Motta
7. *"R290 refrigerant researches at Fraunhofer ISE"* by Lena Schnabel

US / NIST / SCREENING

PubChem database

- Component atoms: C, H, N, O, S, F, Cl, Br
- Maximum number of atoms: 18
- $\text{GWP}_{100} < 1000$
- Critical temperature: $46\text{ °C} < T_{\text{crit}} < 146\text{ °C}$
- Toxicity
- Stability
- Volumetric capacity $> 0.33 Q_{\text{vol,R-410A}}$
(Basic cycle simulations)

Evaluated manually

Molecule count

60 000 000

184 000

138

21

28 candidate fluids

Basic cycle; air conditioning;
optimized heat exchangers

21 fluids of primary interest:

$$46\text{ °C} < T_{\text{cr}} < 146\text{ °C}$$

$$Q_{\text{vol}} > 0.33 Q_{\text{vol,R-410A}}$$

15 - at least mildly flammable

6 - unknown hazards

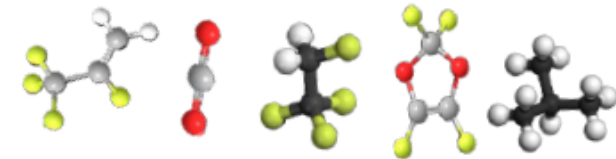
7 additional fluids:

- subcritical operation; 3 fluids
[R-134, R-1123, R-1225ye(Z)]

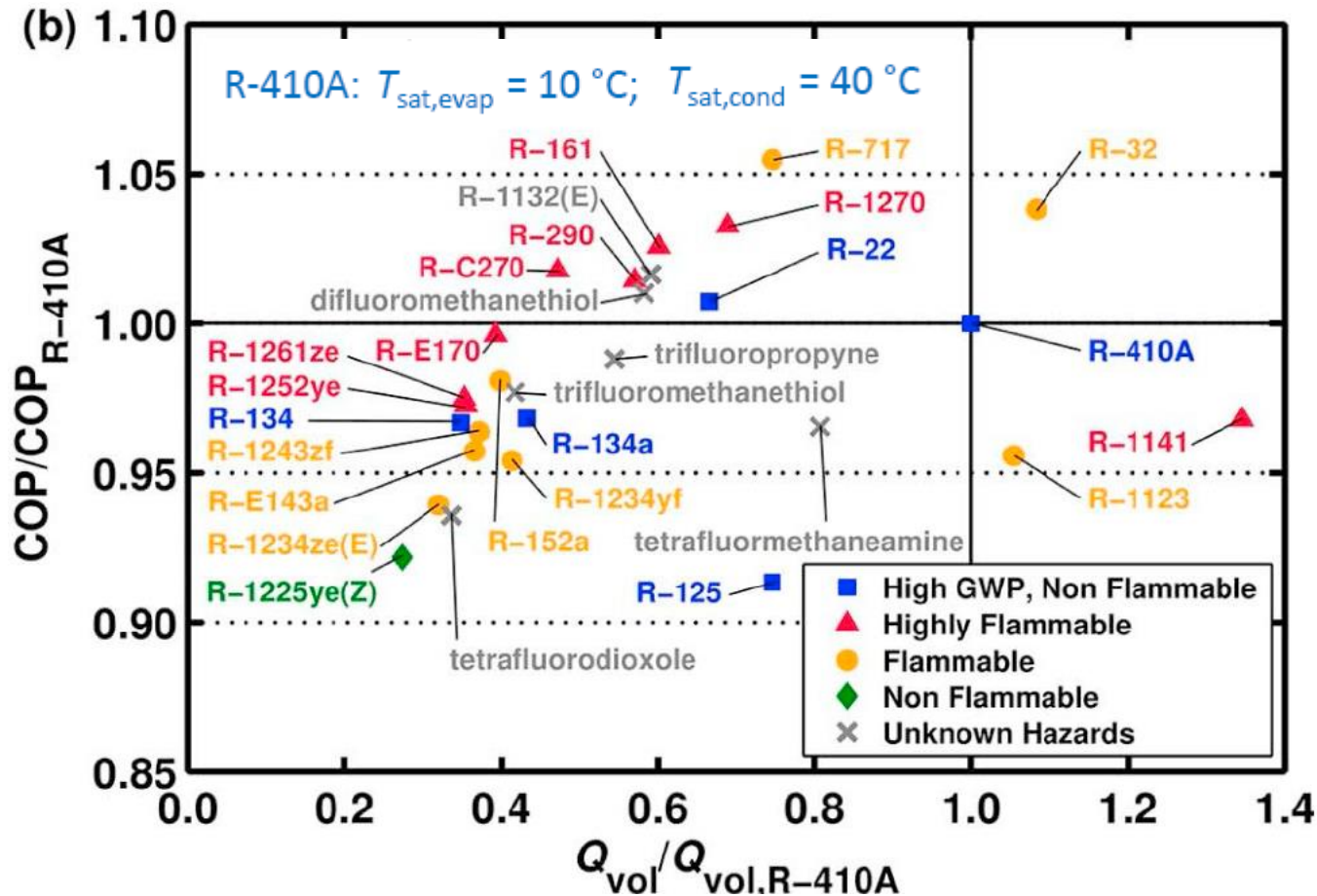
- supercritical or near-critical
operation; 4 fluids
[R-170, R-41, R-1132a, R-744]

- 28 candidats identifiés pour le remplacement du R410A

Source : P. Domanski, IEA HPT Annex 54 Workshop, 08/2019



US / NIST / SCREENING



- Il n'y a pas de HFO pour un remplacement direct du R410A
- Un compromis entre le GWP et l'inflammabilité est nécessaire
- Il est recommandé de redimensionner le nouvel équipement

Source : P. Domanski, IEA HPT Annex 54 Workshop, 08/2019

US / AHRI / PROGRAMME LOW-GWP AREP II

Baseline	Low-GWP Refrigerants	Composition	(Mass%)	Classification	GWP*
R-404A	ARM-35	R-32/R-125/R-1234yf	12.5/61/26.5	A1	2220
	DR-34 (R-452A)	R-32/R-125/R-1234yf	11/59/30	A1	2140
	N-40c (R-448A)	R-32/R-125/R-134a/R-1234yf/R-1234ze	26/26/21/20/7	A1	1387
	ARM-20a	R-32/R-1234yf/R-152a	18/70/12	A2L	139
	HDR110	R-32/R-1234yf/R-744	21.5/75.5/3	A2L	148
R-410A	ARM-71a	R-32/R-1234yf/R-1234ze(E)	68/26/6	A2L	460
	DR-5A (R-454B)	R-32/R-1234yf	68.9/31.1	A2L	466
	DR-55	R-32/R-125/R-1234yf	67/7/26	A2L	698
	HPR2A	R-32/134a/1234ze(E)	76/6/18	A2L	600
	L-41-1 (R-446A)	R-32/R-1234ze/R-600	68/29/3	A2L	461
	L-41-2 (R-447A)	R-32/R-1234ze/R-125	68/28.5/3.5	A2L	583
R22/R-407C	DR-93	R-32/R-125/R-1234yf/R-134a	20/20/31/29	A1	1251
	N-20b	R-32/R-125/R-134a/R-1234yf	13/13/31/43	A1	988
	R-449B	R-32/R-125/R-1234yf/R-134a	25.2/24.3/23.2/27.3	A1	1412
	ARM-20b	R-32/R-1234yf/R-152a	35/55/10	A2L	251
	DR-3	R-32/R-1234yf	21.5/78.5	A2L	148
	L-20a (R-444B)	R-32/R-1234ze/R-152a	41.5/48.5/10	A2L	295

Plus de 50
candidats à faible
GWP évalués

Choix d'un
fabricant
américain

GWP
400 -750

Source : Y. Wang, IEA HPT Annex 54 Workshop, 08/2019

US / CHEMOURS & HONEYWELL / MÉLANGES R32/HFO

Air Conditioning	R-410A	XL55 (R-452B)	XL41 (R-454B)	XL40 (R-454A)	R-22	XL20 (R-454C)
GWP AR4 (AR5)	2088 (1924)	698 (676)	466 (467)	239 (238)	1810 (1760)	148 (146)
Capacity vs. R-410A	-	-1%	-2%	-25%	-30%	-37%
COP vs. R-410A	-	+3%	+3%	+2%	+9%	+3%
Evap Glide [K]	0.1	1	1	4	0	5
T Discharge [°C]	102	111	111	95	107	88
P Discharge [kPa]	3435	3243	3207	2615	2175	2261

Thermodynamic cycle model results for HP Conditions:
0°C Avg Evap/ 55°C Avg Cond/ 3K Subcool/10K Superheat, 70% Compressor Efficiency

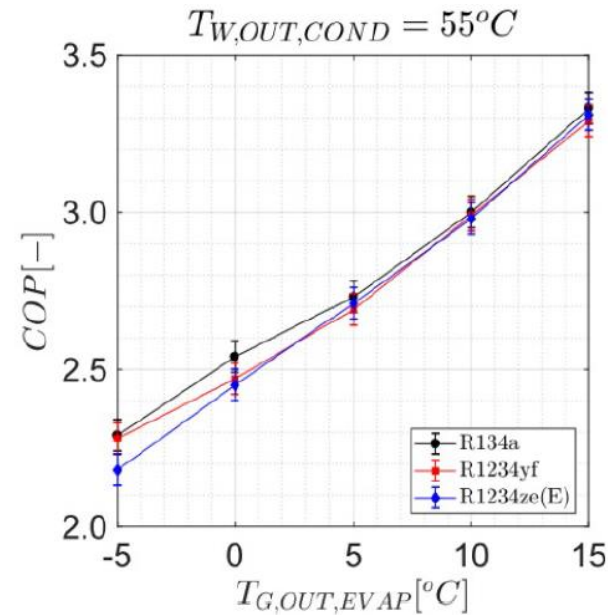
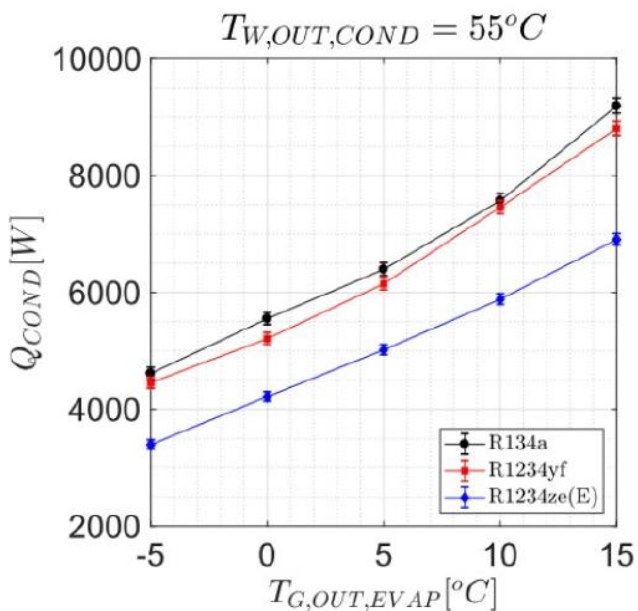
Source : J. Hughes, IEA HPT Annex 54 Workshop, 01/2019

- Pour un GWP (400-750), performances similaires
- Pour un GWP <300, la dégradation de puissance est supérieure à 10%

Name	Class	GWP (AR4)	Cap Cooling	COP Cooling	Cap Heating	COP Heating	Diff. T _{disch} (°C)	P _{disch}	Evap. Glide (K)
R410A	A1	2088	100%	100%	100%	100%	0	100%	0.1
R32	A2L	675	105%	100%	105%	100%	+ 17.2	102%	0.0
R-466A	A1	733	99%	100%	97%	100%	+ 8.0	95%	1.2
HDR-147	A1	GWP<400	95%	103%	93%	101%	+ 10.8	89%	3.8
HDR-139	A1	GWP<300	92%	103%	90%	100%	+14.0	86%	5.2

Source : S. Motta, IEA HPT Annex 54 Workshop, 08/2019

IT / POLITECNICO MILANO / REMPLACEMENT DU R134a



- Remplacement du R134a par du R1234yf et du R1234ze(E)
- Réduction de la puissance et du COP (léger) avec l'utilisation des HFO
- La puissance de la PAC pourrait être adaptée au niveau de celle du R134a en augmentant la vitesse du compresseur, mais le COP serait réduit

Source : L. Molinaroli, IEA HPT Annex 54 Workshop, 08/2019

DE / FRAUNHOFER / UTILISATION DU R290

- Réduire la charge de fluides frigorigènes

Objectif : **10 kW et 150g max avec R290**

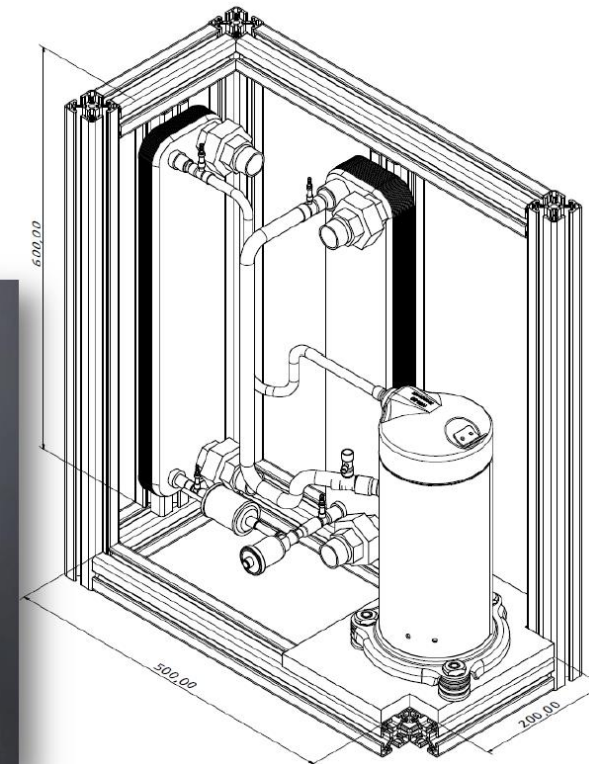
- ☐ Réduction du volume intérieur
- ☐ Compacité de l'unité

Zones d'attention :

- ☐ Échangeurs thermiques asymétriques
- ☐ Compresseur / Quantité d'huile
- ☐ Longueur de tuyauterie
- ☐ Volumes supplémentaires inutiles

New design

LC150



DE / FRAUNHOFER / UTILISATION DU R290

- Prévention des fuites

- ☐ Identification des composants / connexions faibles

- Détection de fuite

- ☐ Quantification des méthodes de détection

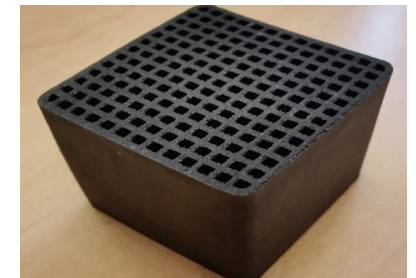
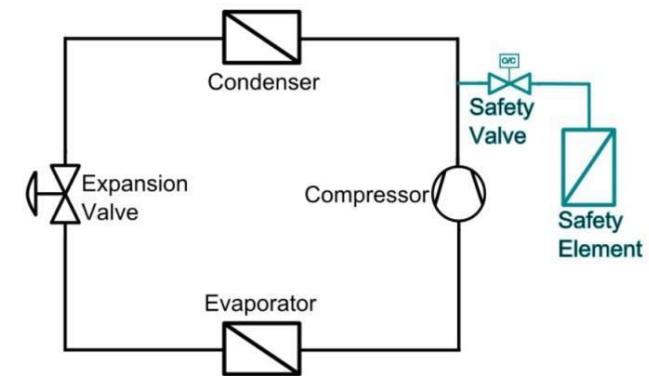
- Contrôle de fuite

- ☐ Développement et analyse de concepts de sécurité

- ☐ Capturer les réfrigérants à l'aide de matériaux de sorption

- ☐ Évaluation des risques

- ☐ Field tests



US / AHRTI / SÉCURITÉ DES A2L ET A3

Objectif : Produire des résultats techniques accessibles au public afin d'alimenter les activités réglementaires et normatives relatives à l'utilisation de fluides frigorigènes inflammables

- Essais de mise à feu des A2L et A3 dans une pièce pour comprendre la sévérité des accidents
- Les A2L sont difficilement mis à feu avec des sources domestiques
- En cours : élaboration de formations et de guides



R452B, 1920 grams, 47.4 g/sec
No mitigation
LFL = 11.9% v/v



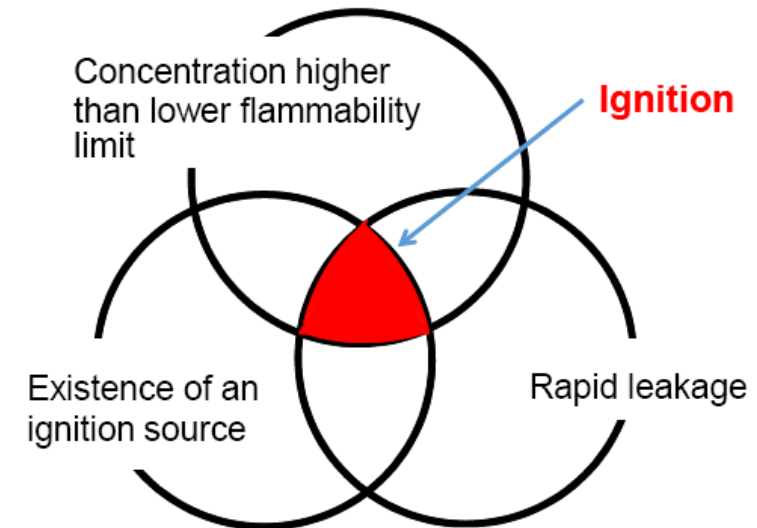
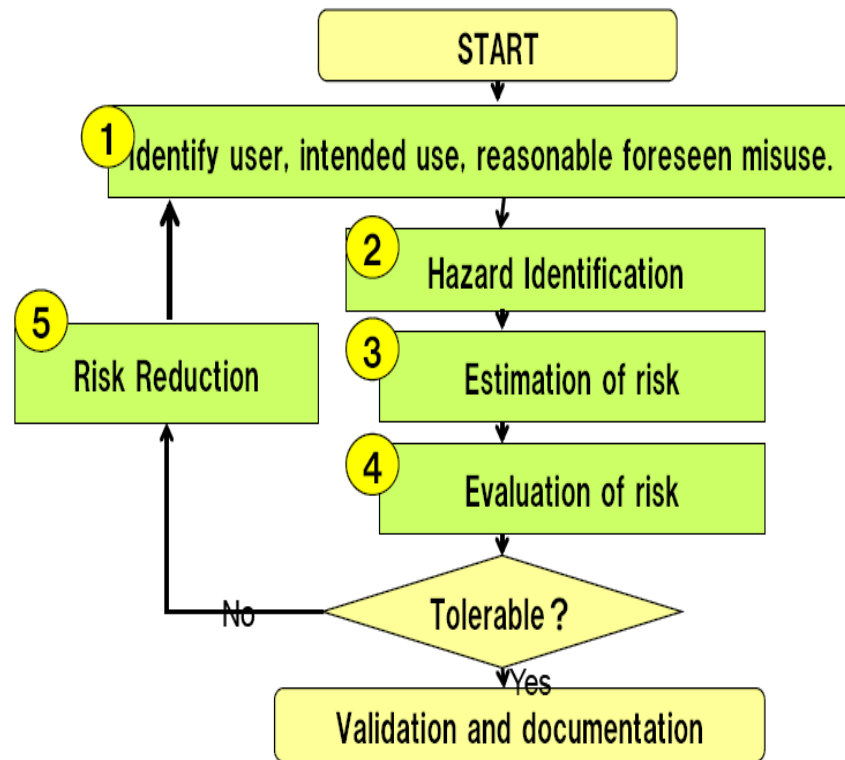
R290, 114 grams, 21 g/sec
No mitigation
LFL = 2.1% v/v



Source: X. Wang, IEA HPT Annex 54 Workshop, 08/2019

JP / JRAIA / SÉCURITÉ DES A2L ET A3

- Étude d'évaluation des risques de mise à feu des A2L (réalisée entre 2011 et 2016)



$$[\text{Probability of fire accident}] = [\text{Rapid leakage}] \times [\text{High concentration}] \times [\text{Ignition source}]$$

Source: E. Hihara, IEA HPT Annex 54 Workshop, 08/2019

JP / JRAIA / SÉCURITÉ DES A2L ET A3

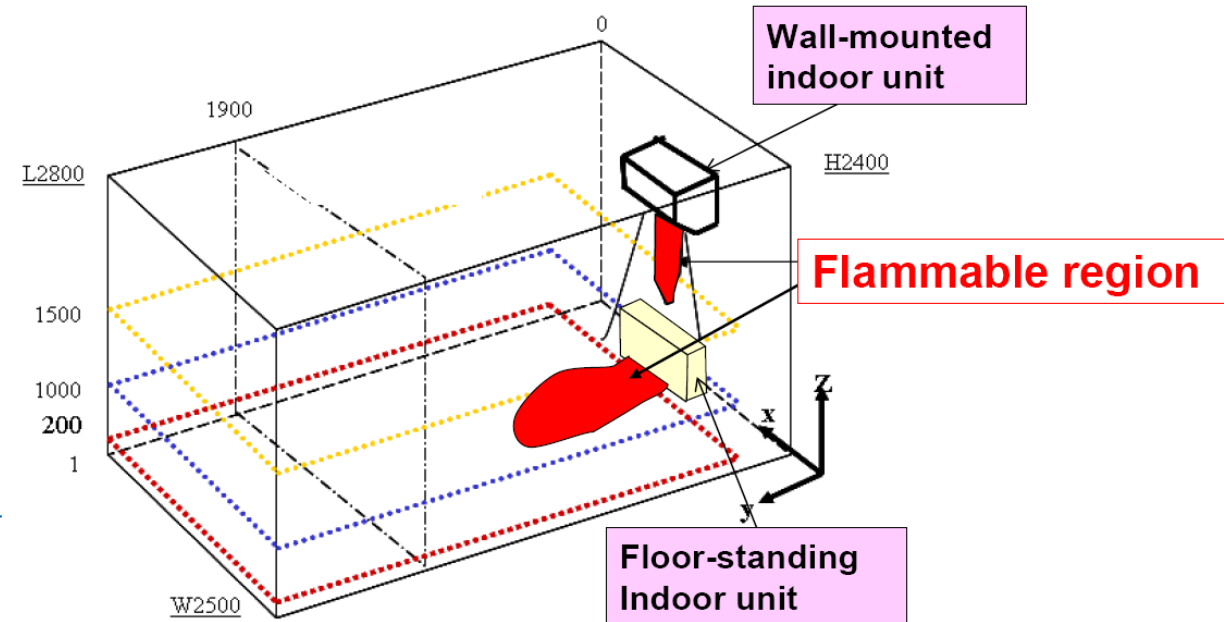
Results of risk assessment

Accident scenario	Ignition probability (times/year/unit)	Evaluation
At transportation	4.1×10^{-12}	Safe
At installation	2.7×10^{-10}	Safe
In operation	Indoor unit: 2.1×10^{-12} Outdoor unit: 1.5×10^{-10}	Safe Almost safe
In service	3.2×10^{-10}	Safe
At disposal	3.6×10^{-11}	Safe

- Probabilité de fuite rapide
- Volume et temps de gaz inflammable
- Sources de mise à feu

Rapport téléchargeable sur internet

http://www.jsrae.or.jp/jsrae/committee/binensei/risk_eng.html

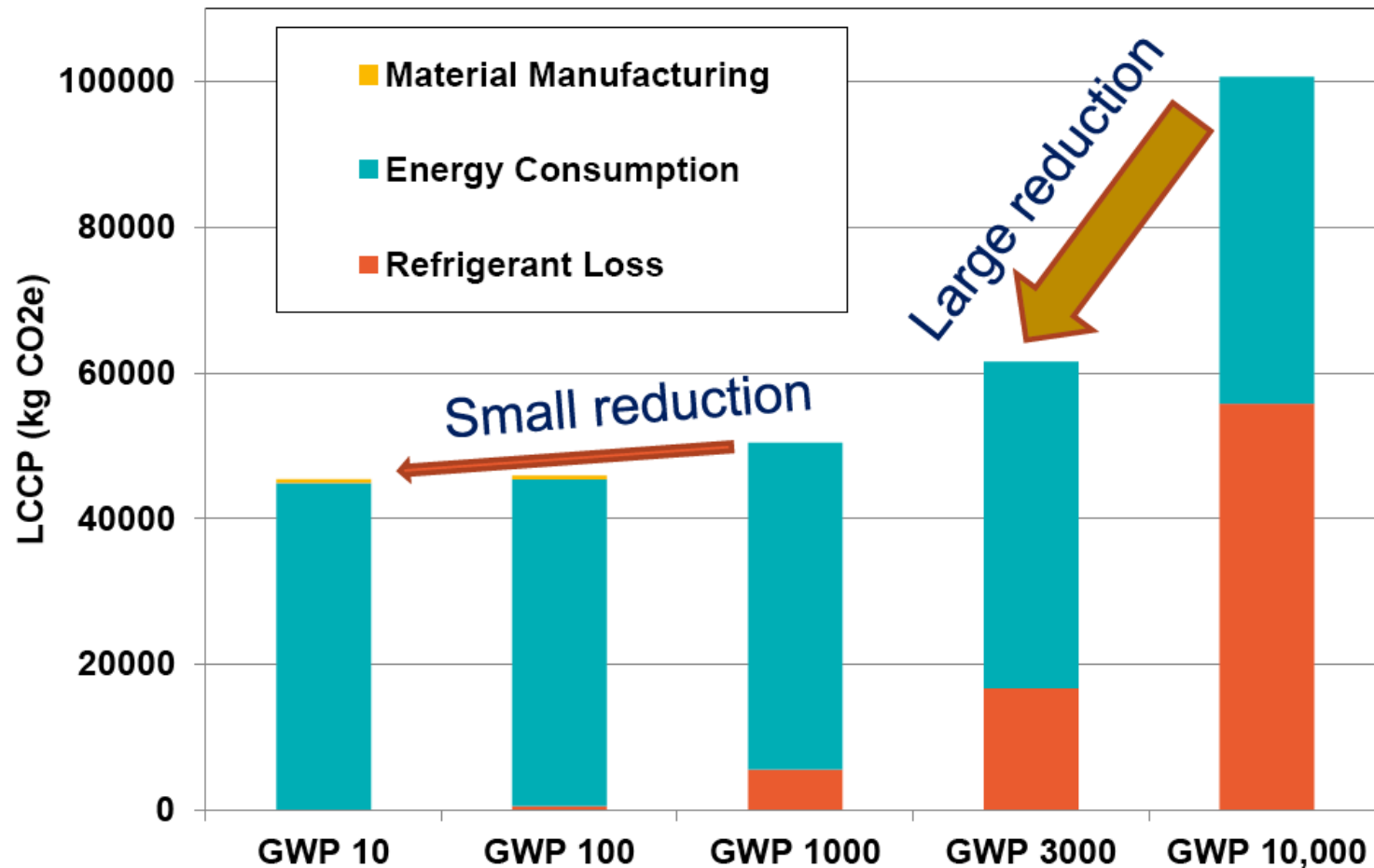


OPTIONS DE FLUIDES À FAIBLE GWP

Puissance (PAC/Clim)	Fluides frigorigènes à faible GWP
Petite puissance (avec de faibles charges en fluide frigorigène)	R290 (A3)
Moyenne puissance	R32 (A2L), CO ₂ (A1), mélanges (A1 ou A2L)
Forte puissance	HFO (A2L), mélanges (A1), H ₂ O (A1)

Source : Y. Wang, IEA HPT Annex 54 Workshop, 08/2019

IMPACT DU GWP SUR LE LCCP



Source : Y. Wang, IEA HPT Annex 54 Workshop, 08/2019

Hypothèse

Annual Refrigerant Leakage Rate (%)	4
End of Life Leakage (%)	15
Unit Lifetime (years)	15
Total Amount of Refrigerant Charge (kg)	2.3
Average Power Plant Emission Rate (kg CO ₂ e/kWh)	0.91
T&D loss (%)	18
ISEER (-)	5.2

- L'efficacité est également importante !

RÉSUMÉ

- Les futurs systèmes de climatisation / PAC devront :
 - **utiliser des fluides à faible GWP (voire nul)**
 - **être énergétiquement efficaces**
- Les fluides à faible GWP ($GWP < 750$) recensés sont :
 - **R32, mélanges (R32/ HFO/...) et fluides naturels (HC, CO₂ et eau)**
- Un compromis est nécessaire entre :
 - **le GWP, l'efficacité énergétique et la sécurité**
- Les fluides frigorigènes alternatifs ont des propriétés thermophysiques et thermodynamiques différentes, par conséquent, la conception de composants personnalisés et l'optimisation du système sont très importantes