



Promouvoir
une attitude
responsable

Fluides modérément ou extrêmement inflammables – comment cela se prouve ?

Denis CLODIC – EREIE

COLLOQUE AFCE – 25 SEPTEMBRE 2018

afce.asso.fr

Sommaire

- Contexte mondial : mise à jour des normes et du GHS
- Classification 3, 2, 2L ,1 : 20 ans de travaux pour différentier
- Les études de risques et les expérimentations réalistes
- Différentiation des règles d'usage

Que veulent dire ces nouvelles données de EN 378 ?

Classification ASHRAE	R-1234yf	R-1234ze(E)	R-152a	R-717	R-32
Composition	2,3,3,3- tétrafluoroprop-1- ène	Trans-1,3,3,3- tétrafluoroprop- 1-ène	1-1 Difluoroéthane	NH3	Difluorométhane
Classe de sécurité	A2L	A2L*	A2	B2L	A2L
Groupe de fluide DESP	1B	2*	1A	1B	1B
Limites pratiques (kg/m ³)	0,058	0,061	0,027	000035	0,061
ATEL/ODL (kg/m ³)	0,47	0,28	0,14	0,00022	0,30
LFL (kg/m ³)	0,289	0,303	0,13	0,116	0,307
PRP (kg eq. CO ₂)	4	7	124	0	675

Fluides modérément inflammables:

Base scientifique de la classification graduelle de l'inflammabilité

Introduction de la classe 2L et maintien de la classe 2 – Ashrae 2010

Travaux commencés en 1995 en France et au Japon,
puis démonstration de l'insuffisance
de la classification de l'inflammabilité entre 2 et 3

Flammability class	Definition	Representative refrigerant
Class 3 (Higher flammability)	$LFL \leq 3.5 \text{ vol\%}$ or $H_c \geq 19 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	R290, R600a
Class 2 (Flammable)	$LFL > 3.5 \text{ vol\%}$ and $H_c < 19 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	R152a
Class 2L (Lower flammability)	In class 2, $S_{u, \max} \leq 10 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$	R717, R32, R143a R1234yf, R1234ze (E)
Class 1 (No flame propagation)	No flame propagation	R134a, R410A, R22

Mise à jour des normes

- Ashrae 34 – 2010 introduit la classe 2L
- Révision de IEC 60335-3-40 en 2013
- Révision coordonnée ISO 817 et ISO 5149 en 2014
- Nouvelle Révision de IEC 60335-3-40 en 2017
- Révision de EN 378 en 2017

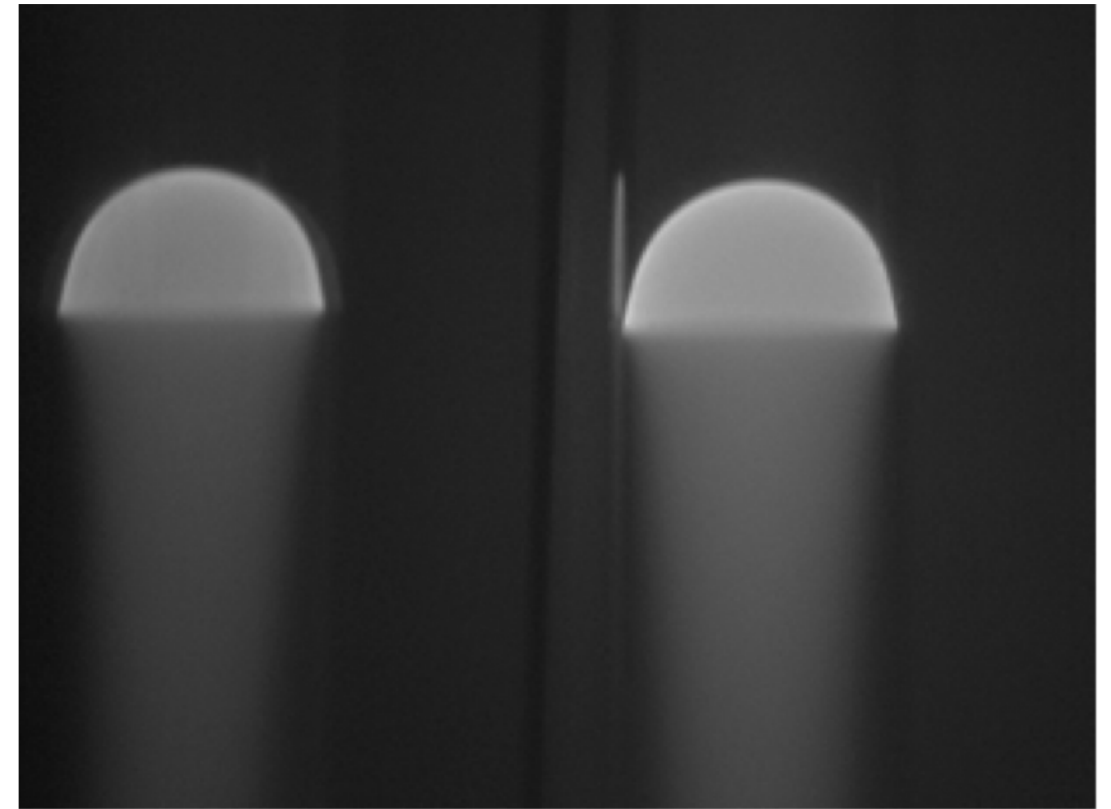
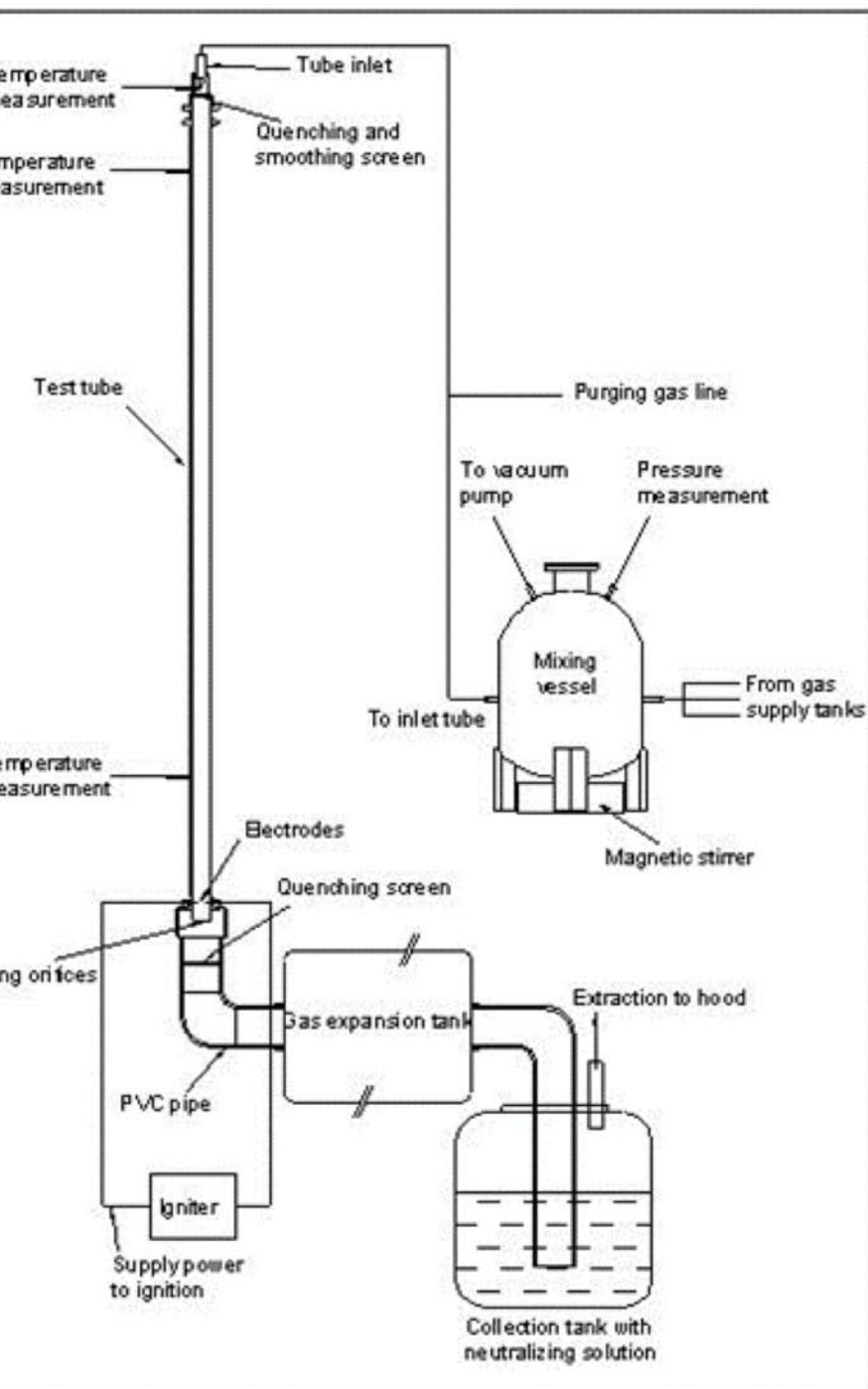
GHS classification

Category			Criteria
1A	Flammable gas		Gases, which at 20 °C and a standard pressure of 101.3 kPa: (a) are ignitable when in a mixture of 13% or less by volume in air; or (b) have a flammable range with air of at least 12 percentage points regardless of the lower flammability limit unless data show they meet the criteria for Category 1B
	Pyrophoric gas		Flammable gases that ignite spontaneously in air at a temperature of 54 °C or below
	Chemically unstable gas	A	Flammable gases which are chemically unstable at 20°C and a standard pressure of 101.3 kPa
		B	Flammable gases which are chemically unstable at a temperature greater than 20°C and/or a pressure greater than 101.3 kPa
1B	Flammable gas		Gases which meet the flammability criteria for Category 1A, but which are not pyrophoric, nor chemically unstable, and which have at least either: (a) a lower flammability limit of more than 6% by volume in air; or (b) a fundamental burning velocity of less than 10 cm/s;
2	Flammable gas		Gases, other than those of Category 1A or 1B, which, at 20 °C and a standard pressure of 101.3 kPa, have a flammable range while mixed in air

Introduction de la vitesse fondamentale de flamme avec le seuil de 10 cm/s homogène ainsi à la catégorie 2L

ISO TC-86-SC8 Burning Velocity

MOT

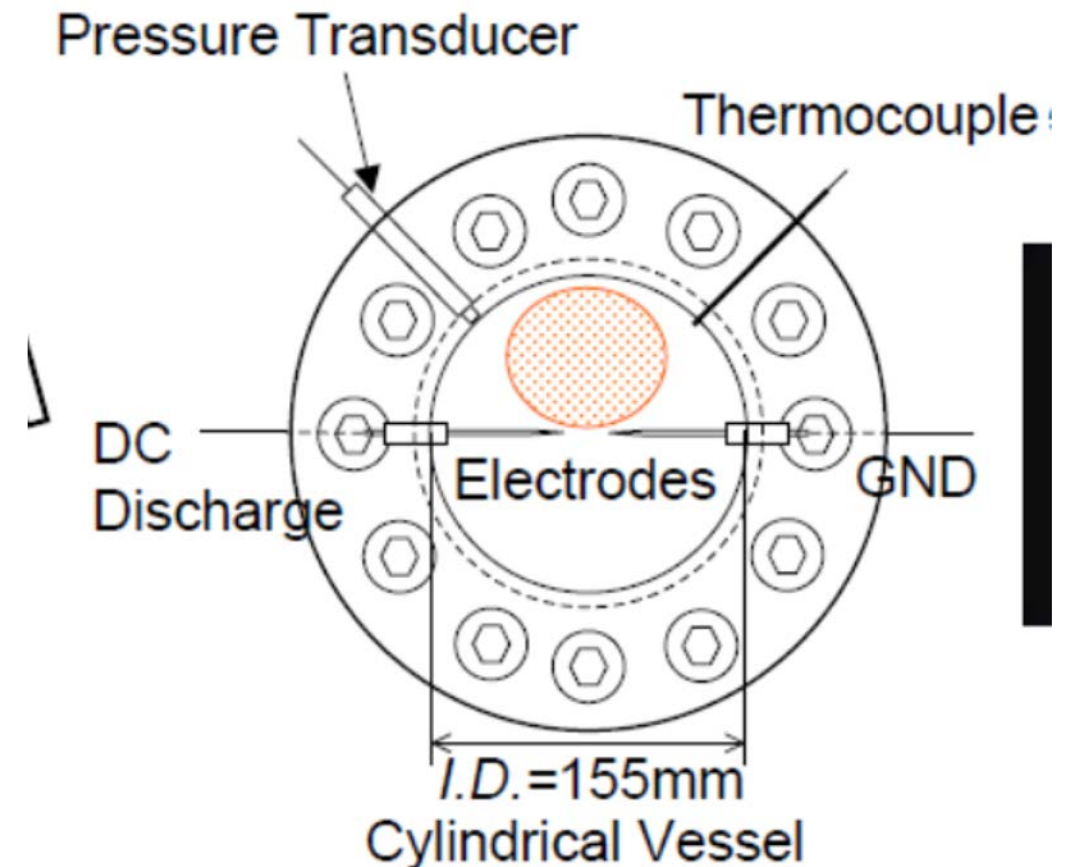


La méthode du tube vertical est fiable et relativement simple

Elle ne permet pas de mesurer des $S_u < 4$ cm/s

ISO TC-86-SC8 Burning Velocity MOT

- Méthode de la propagation de flamme dans un volume fermé
- Visualisation par méthode photographique « schlieren » (amélioration du contraste)
- Adaptée au très basses vitesses de flamme



- **Résultats :**

La vitesse fondamentale de flamme permet de séparer les substances très inflammables des faiblement et très faiblement inflammables

Les normes peuvent évoluer pour modifier les règles de charges maximales dans les pièces

Les études fondamentales et les études de risques

Etudes AHRI sur les fluides A2L

- Report 8004 - 2012: Risk assessment of Residential Heat pump system using A2L refrigerants; Th. Lewandowski
- Report 8005 -2013: Risk assessment of A2L refrigerants in chiller systems; B Goetzler & alii
- Report 8009- 2015 : Risk assessment of Refrigeration systems using A2L refrigerants; Gradient
- Report 8016 -2016: Risk assessment of A2L refrigerants in commercial rooftop units; B Goetzler & alii
- Report 9007 - 2017: Benchmarking Risk by whole room scale leaks and ignition testing of A2L refrigerants; P. Ghnadi & alii
- Report 9008 -2017 : Hot Surface ignition of A2L refrigerants ; M Cundy
- Report 9009 - 2017: leak detection of A2L refrigerants in HVAC equipment; M Wagner , R. Ferrenchiack

Risk assessment of Residential Heat pump system using A2L refrigerants

Conclusions principales

- Les simulations CFD sont validées par les mesures des concentrations de frigorigène lors de fuite
- Le risque d'utiliser du R-32, R-1234yf ou du R-1234ze est minime quelque soit l'emplacement de la pompe à chaleur dans la maison
- Ces risques sont du point de vue de l'analyse de risques bien inférieurs aux risques considérés comme acceptables

Risk assessment of class 2L refrigerants in commercial Roof Top units

Conclusions principales

- Les vitesses d'air dans le Roof Top sont bien supérieures à la vitesse fondamentale de flamme et les concentrations de R-1234yf situées entre la LFL et l'UFL ne peuvent pas être mise en flamme
- Quand la ventilation fonctionne il n'y a donc pas de risque d'ignition
- Le risque le plus élevé se situe lors de la maintenance avec une absence de ventilation

Risk assessment of Refrigeration systems using A2L refrigerants

Conclusions principales

- Les essais en conditions réalistes ont montré que des fuites de débits faibles n'amènent aucune concentration proche de la limite inférieure d'inflammabilité
- Les fuites simulées ont été des fuites catastrophiques entre 12 et 22 g/s
- Aucune fuite avec des charges allant de 2,3 kg à 4,5 kg n'ont permis d'atteindre la limite inférieure d'inflammabilité
- Les mesures de concentrations et les simulations CFD présentent un bon accord.

Benchmarking Risk by whole room scale leaks and ignition testing of A2L refrigerants

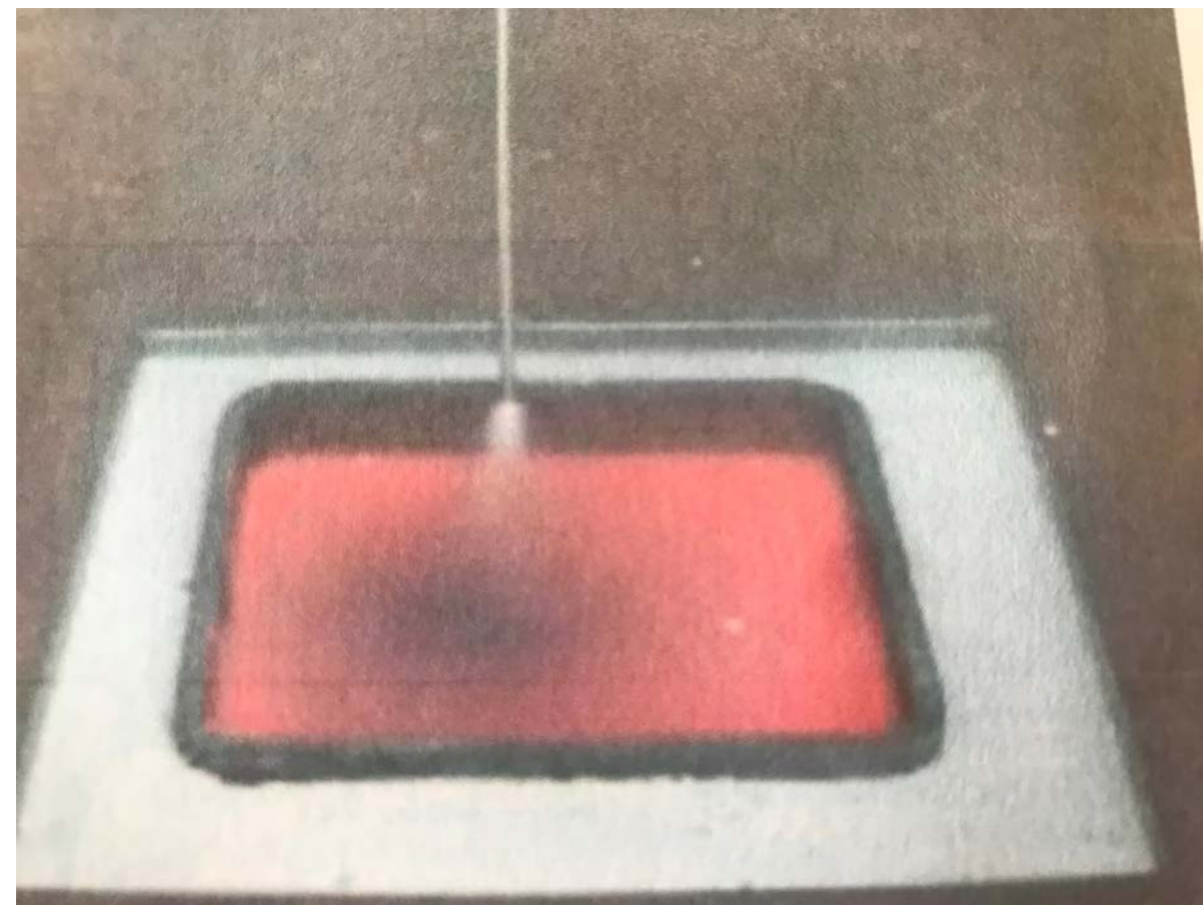
Conclusions principales

- Les données connues comme la hauteur du site de fuite et le débit de fuite jouent un rôle clé dans la formations de concentrations potentiellement inflammables : plus les fuites sont en partie basse, plus les concentrations inflammables vont se rencontrer au sol.
- Les obstacles autour des équipements jouent un rôle très significatif pour générer des concentrations potentiellement inflammables.
- Dans les conditions critiques présentées ci-dessus, des ignitions de R-32 et de R-452B ont été enregistrées.
- Les mesures de concentrations et les simulations CFD présentent un bon accord.

Hot Surface ignition of A2L refrigerants

Conclusions principales

- Méthode de test de la plaque plane chauffée et injection de liquide à sa surface
- Pas d'ignitions à 850 °C avec ou sans huile pour le R-32 ou R-124ze ou le R-452B



Etudes de la NFPA et du JSRIA

- JSRIA 2017 : Risk assessment of mildly flammable refrigerants
- NFPA 2017 : Evaluation of the fire Hazard of Ashrae class 3 refrigerants in commercial refrigeration applications – S. Davis

Objectifs et enseignements de ces études

- Avoir recours à l'expérimentation en conditions réalistes
- Utiliser les simulations CFD pour prévoir les écoulements des fluides inflammables dans les pièces
- Utiliser différentes sources d'inflammation
- Caractériser les agencements et situations dangereuses
- Mener les études de risques pour différents types d'équipements

Etude JSRIA – Etude fondamentale des fluides 2L

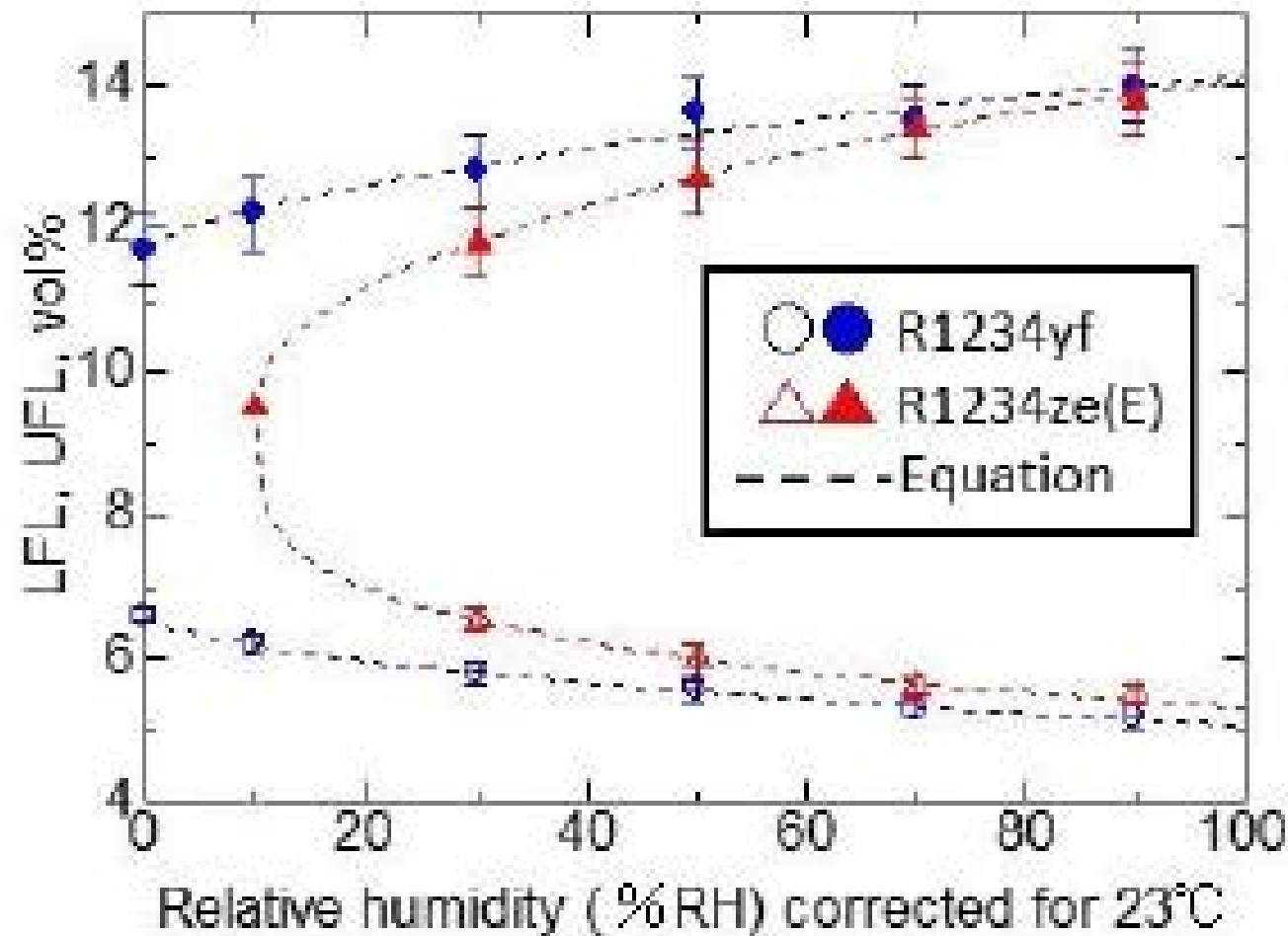
- Les 2 paramètres : vitesse fondamentale de flamme S_u , distance de coincement d_q sont reliées
- L'énergie minimum d'ignition MIE peut être estimée en utilisant S_u et d_q
- Il est démontré qu'il n'est pas possible d'initier une flamme par l'énergie statique provenant du corps humain
- De même l'énergie de décharge d'un sèche-cheveux ne peut entraîner l'ignition d'un fluide 2L

Etude JSRIA – Etude fondamentale des flammes

Flammable Material	$P_{\max}$ (100 kPa)	K_G (100 kPa·m·s ⁻¹)	Burning velocity (cm·s ⁻¹)	Flammability limits(%)	Detonation limits(%) ^{*3}		Autoignition Temperature (°C) ^{*6}
					Confined tube	Unconfined	
Acetylene	10.6 ^{*1}	1415 ^{*1}	166 ^{*2}	2.5—80.0 ^{*3}	4.2—50.0		305
Hydrogen	6.8 ^{*1}	550 ^{*1}	312 ^{*2}	4.2—75.0 ^{*3}	18.3—58.9		400
Ethylene			80 ^{*2}	2.70—36.0 ^{*3}	3.32—14.70		490
Diethyl ether	8.1 ^{*1}	115 ^{*1}	47 ^{*2}				
Benzene			48 ^{*2}	1.3—7.9 ^{*3}	1.6-5.55		562
Ethane	7.8 ^{*1}	106 ^{*1}	47 ^{*2}	3.0—12.4 ^{*3}	2.87—12.20	4.0—9.2	515
Propane	7.9 ^{*1}	100 ^{*1}	46 ^{*2}	2.1—9.5 ^{*3}	2.57—7.37	3.0—7.0	450
Butane	8.0 ^{*1}	92 ^{*1}	45 ^{*2}	1.8—8.4 ^{*3}	1.98—6.18	2.5—5.2	405
Ethyl alcohol	7.0 ^{*1}	78 ^{*1}		3.3—19.0 ^{*3}	5.1—9.8		
Methanol	7.5 ^{*1}	75 ^{*1}	56 ^{*2}				
Methane	7.1 ^{*1}	55 ^{*1}	40 ^{*2}				
R32	7.6 [†]	11 [†]	9 [†]	13.5—26.9 ^{*7}			478 [†] (530 ^{*9})
R1234ze(E)	6.8 [†]	9 [†]	5 [†]	5.95—12.7 ^{*8}			356 [†] (365 ^{*9})
R1234yf	6.6 [†]	8 [†]	3 [†]	5.4—13.5 ^{*8}			357 [†] (405 ^{*9})
Ammonia	5.0 (5.4 ^{*1})	5 [†] (10 ^{*1})	7.2 ^{*4}	15—28 ^{*5}			— (651 ^{*9})

- K_G l'indice de déflagration est une mesure de la surpression générée par la propagation de la flamme

Etude JSRIA – Etude fondamentale des fluides 2L



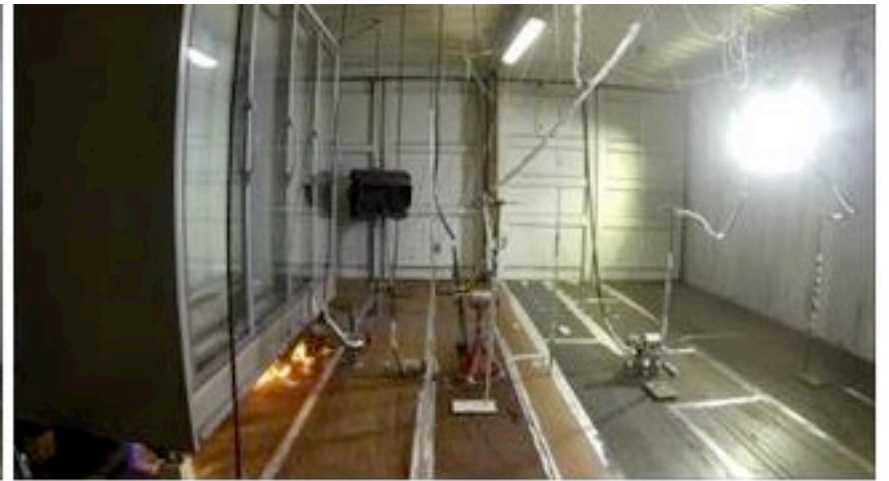
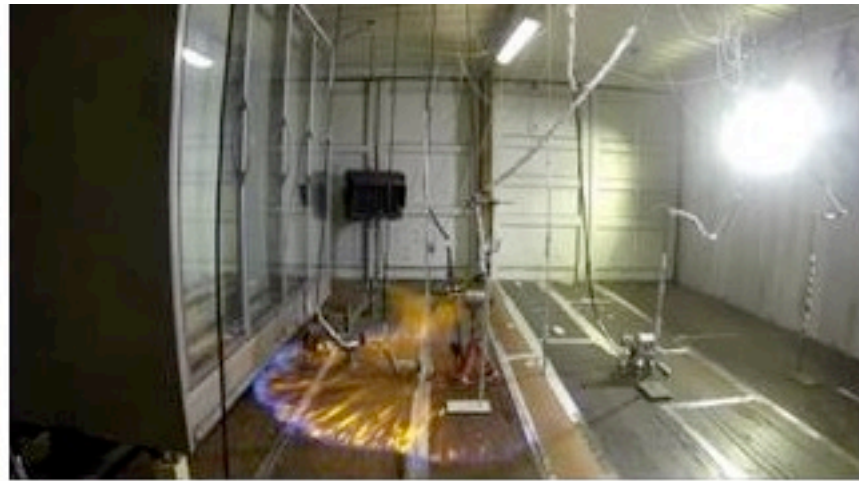
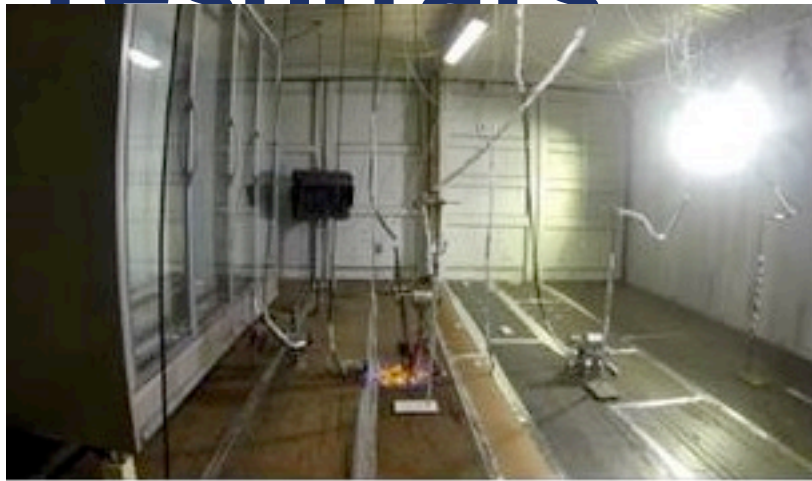
- L'humidité (50 % à 60 °C) renforce l'inflammabilité de certaines molécules dont le R-1234yf, le R-1234ze, mais aussi du R-134a et du R-410A et fait décroître celle du R-32,

Etude JSRIA – Etude pratique des

fluides 2L

- L'étincelle de décharge entre les électrodes d'un contacteur magnétique peut initier une flamme, mais cette flamme ne se maintient pas compte tenu de la distance entre les électrodes
- Une fuite simulée de R-1234yf dans une pièce contenant un système de chauffage à flamme n'a pas entraîné de propagation de flamme
- Une fuite de R-32 dans une situation de maintenance n'a pas entraîné d'ignition avec un briquet à allumage piézo mais l'ignition s'est produite avec un briquet au Kérosène
- Les scénarios de fuite avec du R-32 montrent qu'il n'y a pas d'ignition si les règles définies dans IEC- 60-335-2-40 ou EN-378 sont suivies

Etude de la NFPA – principaux résultats



120 g/min



- Tests dans des conditions réalistes : ici fuite de 150g de propane hors d'un meuble frigorifique de vente
- Validation des simulations CFD pour les écoulements lors des fuites

Etude de la NFPA – principaux

Charge Size and Geometry Scenarios						
Area (m ²)	11	13	28	33	56	256*
Area (ft ²)	405	441	1000	1159	1978	9040*
Charge Size	Sm. Store	Sm. Kitchen	Deli	Market	Med. Kitchen	Big Box Grocery
150g	✓	✓	✓	✓	✓	✓
300g	✗	✗	✓	✓	✓	✓
450g	✗	✗	✓	✓	✗	✓
600g	✗	✗	✗	✓	✗	✓
1000g	✗	✗	✗	✗	✗	✓

- Le risque augmente avec la charge car la masse accumulée lors de fuite sera plus grande
- Charges à limiter selon EN-378 : plafond de charge maximum en fonction du volume de la pièce
- Attention à l'accumulation à l'intérieur des meubles frigorifiques de vente
- Fonctionnement continu des ventilateurs et mise en place de détecteurs

Les limites de charge et les règles d'usage

Nouvelle classification de EN 378 - 2017

Classification ASHRAE	R-1234yf	R-1234ze(E)	R-152a	R-717	R-32
Composition	2,3,3,3-tétrafluoroprop-1-ène	Trans-1,3,3,3-tétrafluoroprop-1-ène	1-1 Difluoroéthane	NH3	Difluorométhane
Classe de sécurité	A2L	A2L*	A2	B2L	A2L
Groupe de fluide DESP	1B	2*	1A	1B	1B
Limites pratiques (kg/m ³)	0,058	0,061	0,027	000035	0,061
ATEL/ODL (kg/m ³)	0,47	0,28	0,14	0,00022	0,30
LFL (kg/m ³)	0,289	0,303	0,13	0,116	0,307
PRP (kg eq. CO ₂)	4	7	124	0	675

EN- 378 avec et sans ventilation

	Données d'inflammabilité selon ISO 817				Plafond de charge systèmes basé sur l'inflammabilité En espaces occupés (classe emplacement I et II) Selon NF EN 378		
Fluide frigorigène	Classification Iso 817	LFL [kg/m ³]	LFL [%=Vol/Vol]	kg/m ³	Plafond 1 Sans contrainte Limite Base	Plafond 2 Sans contrainte	Plafond 3 Avec contrainte + mesure sécurité
R-32	A2L	0,307	14,41%	2,13	1,84	11,97	59,87
R-1234yf	A2L	0,289	6,20%	4,66	1,73	11,27	56,36
R-1234ze	A2L	0,303	6,50%	4,66	1,82	11,82	59,09
R-143a	A2L	0,282	8,20%	3,44	1,69	11	54,99
R-152a	A2	0,13	4,81%	2,7	0,52	3,38	16,9
R-1270	A2	0,046	2,67%	1,72	0,18	1,2	5,98
R-290	A3	0,038	2,11%	1,8	0,15	0,99	1,5
R-600a	A3	0,043	2,38%	2,38	0,17	1,12	1,5

Prise en compte de la ventilation et de la détection

Conclusions et perspectives

- 20 ans de travaux ont établi les méthodologies permettant de différentier les niveaux d'inflammabilité des fluides frigorigènes 2L / 2 /3
- Les calculs des charges limites sont modifiés pour les fluides 2L
- L'introduction hors du domaine industriel de la détection de fuite et de la sur-ventilation est une grande nouveauté
- Différentiation des règles d'usage entre les fluides 2L, 2 et 3

Merci pour votre attention

Nom Prénom intervenant – Nom de la société



afce.asso.fr