

Groupe 1 — Législation & Thermodynamique élémentaire

Compétences 1.00 à 1.10 — Évaluation : Théorique (T) + Pratique (P) selon item

1.00 — Législation applicable [T]

Règlement F-Gaz — UE 2024/573 (remplace 517/2014)

Encadre toute manipulation de fluides frigorigènes fluorés :

- Certification obligatoire : attestation d'aptitude (personne physique) + attestation de capacité (entreprise)
- Quotas HFC : réduction progressive de la mise sur le marché jusqu'à élimination totale d'ici 2050
- Interdictions progressives sur certains équipements selon le PRP du fluide utilisé
- Obligations de récupération des fluides en fin de vie, traçabilité et tenue de registre
- Règlement d'exécution UE 2024/2215 : prescriptions minimales de certification (remplace 2015/2067)

Directive DEEE — 2012/19/UE

Déchets d'Équipements Électriques et Électroniques. Obligation de récupérer intégralement les fluides frigorigènes avant toute destruction ou recyclage de l'équipement. S'applique aux climatiseurs, réfrigérateurs, PAC en fin de vie.

Réglementation Écoconception — UE 2019/2021 et suivants

Exigences d'efficacité énergétique minimale imposées aux équipements mis sur le marché. Implique que l'installateur maintient ces performances lors de ses interventions.

Transposition française — Code de l'environnement

- Articles R.543-75 et suivants : attestation d'aptitude individuelle obligatoire
- Articles R.543-99 et suivants : attestation de capacité obligatoire pour les entreprises
- Dépôt dossier attestation de capacité : DREAL de la région du siège social
- Contrôle métrologique annuel obligatoire du manifold (R.543-75)

| Ancienne cat. | Nouvelle cat. | Périmètre |
|---------------|---------------|---|
| I | A1 | Toutes activités, tous fluides fluorés + hydrocarbures, sans limite de charge |
| II (limité) | A2 | Idem A1, équipements < 3 kg (ou < 6 kg hermétiques) |
| III | D | Récupération uniquement, < 3 kg |
| IV | E | Contrôle d'étanchéité sans accès au circuit |

1.01 — Unités normalisées ISO [T]

| Grandeur | Unité SI | Usuel terrain | Conversions clés |
|-------------|------------|---------------|-------------------------|
| Température | Kelvin (K) | °C | $K = ^\circ C + 273,15$ |

| | | | |
|----------|-------------------|---------------------------|----------------------------------|
| Pression | Pascal (Pa) | bar / psi | 1 bar = 100 000 Pa = 14,504 psi |
| Masse | Kilogramme (kg) | kg | — |
| Densité | kg/m ³ | kg/m ³ ou kg/L | 1 kg/L = 1 000 kg/m ³ |
| Énergie | Joule (J) | kJ / kWh | 1 kWh = 3 600 kJ |

Pression absolue vs pression relative (manométrique)

$$P_{\text{absolue}} = P_{\text{relative}} + P_{\text{atm}} \mid P_{\text{atm}} \text{ standard} = 1,013 \text{ bar} = 101\,325 \text{ Pa}$$

- Le manifold affiche toujours une pression RELATIVE (manométrique)
- Vide quasi parfait : manifold affiche –1 bar (soit 0 bar absolu)
- Attention : certains fluides (CO₂) travaillent à des pressions très élevées — lire attentivement l'échelle

1.02 — Cycle frigorifique et thermodynamique élémentaire [T]

Les 4 étapes du cycle de compression

| Étape | Composant | Transformation | État fluide |
|-----------------------|-------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| 1 → 2 Compression | Compresseur | BP → HP Température monte | Vapeur surchauffée |
| 2 → 3 Condensation | Condenseur | Cède chaleur à l'extérieur | Vapeur → liquide sous-refroidi |
| 3 → 4 Détente | Détendeur | HP → BP Température chute | Mélange liquide/vapeur |
| 4 → 1 Évaporation | Évaporateur | Absorbe chaleur de la pièce | Liquide → vapeur surchauffée |

Termes clés à maîtriser

Surchauffe (superheat) : Différence entre température réelle vapeur en sortie évaporateur et température de saturation à cette pression. Normale : 5–10 K. Trop élevée = manque de fluide. Trop faible = risque retour liquide au compresseur.

Sous-refroidissement (subcooling) : Différence entre température de saturation en sortie condenseur et température réelle du liquide. Normal : 3–8 K. Confirme que le fluide est bien condensé.

Côté HP (haute pression) : Circuit entre refoulement compresseur et entrée détendeur. Inclut condenseur.

Côté BP (basse pression) : Circuit entre sortie détendeur et aspiration compresseur. Inclut évaporateur.

Enthalpie (h) : Contenu énergétique du fluide en kJ/kg. Grandeur lue sur l'axe horizontal du diagramme log p/h.

Effet de réfrigération : Différence d'enthalpie entrée/sortie évaporateur = chaleur extraite de l'espace à refroidir.

Chaleur de compression : Énergie mécanique apportée au fluide par le compresseur. Augmente l'enthalpie et la température.

Mélange zéotropique : Mélange de fluides (ex : R407C, R410A) dont la composition change lors du changement d'état — glissement de température. Ne pas confondre avec un fluide pur.

1.03 — Diagramme log p/h et tables de saturation [T]

Structure du diagramme log p/h (Mollier)

- Axe X (horizontal) : enthalpie h en kJ/kg
- Axe Y (vertical, échelle log) : pression p en bar
- Zone gauche (liquide sous-refroidi) : fluide entièrement liquide
- Zone centrale (dôme) : mélange liquide + vapeur — changement d'état à pression constante
- Zone droite (vapeur surchauffée) : fluide entièrement gazeux
- Courbe de rosée (droite) : limite vapeur saturée sèche
- Courbe d'ébullition (gauche) : limite liquide saturé
- Point critique : sommet du dôme — au-dessus, pas de changement d'état

Lecture du cycle sur le diagramme

- Compression (1→2) : ligne verticale (isentropique idéale) de BP vers HP dans la zone vapeur surchauffée
- Condensation (2→3) : ligne horizontale de droite à gauche à pression HP constante — traverse le dôme
- Détente (3→4) : ligne verticale (isenthalpique) de HP vers BP — entre dans le dôme
- Évaporation (4→1) : ligne horizontale de gauche à droite à pression BP constante — sort du dôme
- Effet de réfrigération = $h_1 - h_4$ (différence d'enthalpie sur l'axe X au niveau BP)
- COP (coefficient de performance) = effet frigorifique / travail compresseur = $(h_1 - h_4) / (h_2 - h_1)$

Tables de saturation — utilisation

Pour un fluide pur, à chaque pression correspond une température de saturation unique (et vice versa). Les tables donnent :

- Température de saturation en fonction de la pression (et inversement)
- Enthalpie du liquide saturé (hL) et de la vapeur saturée (hV)
- Masse volumique liquide et vapeur
- Chaleur latente de vaporisation

Application terrain : tu lis la pression BP sur ton manifold → tu cherches dans la table la température de saturation correspondante → tu mesures la température réelle en sortie évaporateur → surchauffe = $T_{réelle} - T_{saturation}$.

1.04 — Composants principaux et leurs fonctions [T]

| Composant | Fonction | Point de fuite / vigilance |
|--------------------------|---|---|
| Compresseur | Aspire vapeur BP, comprime vers HP. Moteur + mécanique = source de chaleur | Joint de tige, raccords frigorific. côté aspiration/refoulement |
| Condenseur | Liquéfie le fluide HP en cédant la chaleur à l'air extérieur | Connexions, ailettes (vibrations = micro-fissures) |
| Détendeur thermostatique | Réduit pression HP→BP, régule le débit selon surchauffe | Bulbe capteur, raccords filetés ou brasés |
| Évaporateur | Vaporise le fluide BP en absorbant la chaleur de la pièce | Connexions, retour d'huile, givre excessif |
| Filtre déshydrateur | Élimine humidité et particules du circuit | Colmatage = chute de pression anormale |

| | | |
|-------------------|---|---------------------------------|
| Voyant de liquide | Indique état du fluide (bulles = manque, humidité) | Indicateur d'alerte indirect |
|-------------------|---|---------------------------------|

1.05 — Composants auxiliaires et prévention des fuites [T]

Vannes (robinets à boule, diaphragme, soupape)

Isolation des sections du circuit. Tout raccord fileté ou brasé est un point de fuite potentiel. Vérifier serrage et intégrité des joints.

Contrôles de pression et température

Pressostat HP/BP : coupe le compresseur en cas de dérive. Thermostat : régule la consigne. Dérive = symptôme d'un problème circuit.

Voyants et indicateurs d'humidité

Voyant colorimétrique : vert = sec, jaune = humidité détectée. Humidité dans le circuit = acide + corrosion interne = fuites futures.

Contrôles de dégivrage

Résistance électrique ou inversion de cycle (pompe à chaleur). Dégivrage insuffisant = givre bloquant l'évaporateur = pression BP anormalement basse.

Protecteurs du système

Pressostat différentiel d'huile, protecteur thermique compresseur. Déclenchement répété = signal d'alarme à investiguer.

Réservoirs et séparateurs

Réservoir de liquide (côté HP) : stocke l'excédent de fluide. Séparateur liquide/vapeur (côté BP) : protège le compresseur des retours liquides.

Systèmes de contrôle d'huile

L'huile lubrifie le compresseur et circule dans le circuit. Manque d'huile = usure rapide du compresseur. Huile contaminée (humidité, acide) = dégradation système.

Spécificités fluides inflammables (hydrocarbures) et haute pression (CO2)

- Hydrocarbures (R290, R600a) : ATEX obligatoire, outillage antidéflagrant, zones de sécurité autour de l'équipement
- CO2 (R744) : pressions de travail très élevées (jusqu'à 130 bar en transcritique) — matériel standard NON compatible
- NH3 (R717) : toxique, odeur caractéristique, détecteur spécifique, EPI complet

1.06 — Comportement des fluides de substitution dans le cycle [T]

Chaque fluide a ses propres paramètres dans le cycle. Points de vigilance pour les substitutions :

- Pressions de service différentes : R32 travaille plus haut en pression que R410A à même température
- Miscibilité avec l'huile : R32 nécessite huile POE spécifique — jamais d'huile minérale
- Charge massique différente : R32 a une capacité frigorifique volumique plus élevée → charges plus faibles en masse
- Glissement de température (zeotropes) : R407C a un glissement de ~7 K — la surchauffe/sous-refroidissement se mesure différemment
- Compatibilité matériaux : certains fluides HFO attaquent certains joints ou métaux — vérifier fiches techniques

1.07 — Caractéristiques comparées des fluides [T]

| Fluide | Type | PRP (GWP) | Inflammabilité | Pression BP typ. (0°C) | Usage principal |
|------------|-------------|-----------|----------------|------------------------|-----------------------------|
| R410A | HFC mélange | 2 088 | A1 (non) | ~7,9 bar | Clim résidentiel (sortant) |
| R32 | HFC pur | 675 | A2L (faible) | ~8,0 bar | Clim résidentiel (dominant) |
| R407C | HFC mélange | 1 774 | A1 (non) | ~4,7 bar | Remplacement R22 |
| R134a | HFC pur | 1 430 | A1 (non) | ~2,9 bar | Froid commercial, auto |
| R290 | HC propane | 3 | A3 (élevée) | ~4,7 bar | Froid domestique |
| R744 (CO2) | Naturel | 1 | A1 (non) | ~34,8 bar | Froid commercial, PAC |
| R717 (NH3) | Naturel | 0 | B2L (toxique) | ~4,3 bar | Froid industriel |
| R1234yf | HFO | <1 | A2L (faible) | ~6,2 bar | Auto, remplacement R134a |

1.08 — Combustibilité et restrictions de charge [T]

Classes de sécurité ASHRAE (format : toxicité + inflammabilité)

| Classe | Toxicité | Inflammabilité | Exemples | Risque |
|--------|----------|---|-----------------------|--------------------------------|
| A1 | Faible | Non inflammable | R410A, R134a, R744 | Minimal |
| A2L | Faible | Faiblement inflammable (LFL > 3,5%, Lv < 10 cm/s) | R32, R1234yf, R1234ze | Faible — précautions spéciales |
| A2 | Faible | Inflammable | R152a | Modéré |
| A3 | Faible | Hautement inflammable | R290, R600a | Élevé — ATEX |
| B2L | Élevée | Faiblement inflammable | R717 (NH3) | Toxique + inflammable |

Restrictions de charge pour fluides A2L (R32) — résidentiel

- Norme EN 378-1 : charge maximale selon volume de la pièce et hauteur d'installation
- Formule simplifiée : $m_{\text{max}} \text{ (kg)} = 2,5 \times A_{\text{pièce}} \text{ (m}^2\text{)} \times h_{\text{installation}} \text{ (m)} \times \text{LFL_correction}$
- LFL R32 = 0,307 kg/m³ — limite inférieure d'inflammabilité
- Splits muraux standard résidentiel : rarement problématique en pratique (charges < 1,5 kg usuellement)
- Obligation : étiquetage spécifique A2L sur l'équipement, notice d'installation avec précautions

- Interdiction : sources d'ignition dans la zone (interrupteurs non ATEX, flammes nues) lors de la manipulation

1.09 — Spécificités CO2 (R744) [T — certificat B uniquement, info pour A1]

- Pression critique : 73,8 bar à 31,1°C — au-dessus = état supercritique (pas de condensation classique)
- Cycle transcritique : le refroidissement HP se fait sans condensation — diagramme log p/h très différent
- Cycle subcritique : possible en conditions hivernales — fonctionnement plus proche d'un cycle classique
- Formation de glace carbonique (CO2 solide) : risque lors de détente rapides sous 5,2 bar / -56,6°C
- Pression de stagnation (équipement à l'arrêt, forte chaleur) : peut dépasser 100 bar — soupapes de sécurité obligatoires
- NON couvert par ton certificat A1 pour l'essentiel — info de culture générale pour l'examen

1.10 — Spécificités NH3 (R717) [T — certificat C uniquement, info pour A1]

- Toxicité : valeur seuil olfactif ~5 ppm, IDLH (danger immédiat) = 300 ppm, fatal > 2 500 ppm
- Détecteur spécifique obligatoire — les détecteurs HFC ne détectent pas le NH3
- EPI : masque à cartouche NH3, lunettes, gants résistants — non négociable
- Pression négative possible en congélation profonde (< -33°C) : risque d'aspiration d'air = acide dans le circuit
- Systèmes à détente directe vs noyés : DX = fluide en phase gazeuse en sortie évaporateur / noyé = surplus liquide permanent
- NON couvert par ton certificat A1 — info pour examen théorique

RÉCAPITULATIF EXAMEN — Groupe 1

| Item | Type éval. | Points clés à retenir |
|------|------------|--|
| 1.00 | T | F-Gaz 2024/573, DEEE, écoconception, Code env. R.543-75 |
| 1.01 | T | Unités SI, conversions bar/Pa/psi, pression absolue vs relative |
| 1.02 | T | 4 étapes cycle, surchauffe, sous-refroidissement, enthalpie, COP |
| 1.03 | T | Diagramme log p/h : zones, lecture cycle, tables de saturation |
| 1.04 | T | 4 composants principaux + filtre déshydrateur + voyant |
| 1.05 | T | Vannes, pressostat, dégivrage, protections, spéc. HC/CO2/NH3 |
| 1.06 | T | Pression, miscibilité huile, charge massique, glissement temp. |
| 1.07 | T | Tableau comparatif fluides : PRP, classe sécu, pression, usage |
| 1.08 | T | Classes A1/A2L/A2/A3/B2L, LFL R32, restrictions de charge |
| 1.09 | T | CO2 : cycle transcritique, pression critique, glace carbonique |
| 1.10 | T | NH3 : toxicité, pression négative, systèmes DX vs noyés |