

PROGRAMME RÉSILIENCE 2045

Note technique de sécurité — Annexe ÉREV / Bio-CH4

Comportement au feu des véhicules ÉREV au bio-CH4 : analyse comparative et éléments de réponse aux objections

Synthèse comparant les modes de défaillance en incendie des différentes motorisations (essence, diesel, GPL, GNC/bio-CH4, hydrogène, batterie lithium-ion) à partir de la réglementation en vigueur, des retours d'expérience des services d'incendie et de secours (SDIS), et des rapports d'enquête publics disponibles.

Version 1 — Juillet 2026

Document de travail — usage interne au programme, destiné à alimenter les réponses aux critiques et objections techniques

1. Synthèse pour décideur

Un ÉREV au bio-CH₄ stocke le gaz sous forme comprimée (GNC, 200 à 250 bar) dans des réservoirs composites homologués selon le règlement européen UN R110, qui impose deux niveaux de sécurité indépendants : résistance à la surpression et évacuation thermofusible (PRD) au-delà d'un seuil de température. Ce dispositif est identique, dans son principe, à celui équipant les 150 sites de pyrogazéification et l'ensemble du parc GNV existant (bus urbains, poids lourds, VUL).

Point clé : en cas d'incendie généralisé du véhicule, le scénario attendu et documenté est une torchère contrôlée (jet de flamme dirigé vers le haut, quelques mètres, plusieurs dizaines de secondes à quelques minutes), et non une explosion. Les retours d'expérience des SDIS sur plusieurs décennies de flotte GNV en France confirment ce comportement dans l'immense majorité des cas.

Ce comportement doit cependant être nuancé : la réglementation actuelle n'impose pas de doubler la sécurité thermofusible sur toute la surface du réservoir, et au moins un cas documenté (bus GNV, Montbéliard, 2005) a vu un réservoir exploser après qu'un incendie a atteint une zone du réservoir non protégée par le thermofusible. C'est un point de vigilance réel, à ne pas occulter dans la communication du programme — voir section 4.

2. Ce qui se passe physiquement : chronologie d'un feu de véhicule ÉREV bio-CH₄

2.1 Architecture de stockage

- Gaz stocké en phase gazeuse comprimée (GNC), pas liquide à température ambiante — contrairement au GNL (−160°C) ou au GPL (liquéfié sous faible pression).
- Réservoirs composites type III (liner métallique + fibre de carbone) ou type IV (liner polymère + fibre de carbone), pression de service 200 bar à 15°C, testés à des pressions bien supérieures à l'homologation.
- Chaque réservoir est équipé d'un dispositif de surpression à déclenchement thermique (PRD / thermofusible), qui s'ouvre autour de 110°C et évacue le gaz de façon dirigée vers l'extérieur du véhicule, jamais vers l'habitacle.

· Règlement UN R110 (ECE), Arrêté du 9 avril 1964 modifié (Légifrance), GRDF — réglementation GNV

2.2 Déroulé en cas d'incendie externe

- Phase 1 : le feu attaque la carrosserie, les plastiques, le circuit basse tension. Le réservoir, généralement positionné sous plancher ou protégé, monte progressivement en température.
- Phase 2 : au franchissement du seuil thermique, le PRD s'ouvre. Le gaz restant (de l'ordre de 15 à 20 kg selon le dimensionnement) est évacué en une dizaine de minutes environ, sous forme de torchère verticale dirigée vers le haut et l'avant du véhicule (angle de 30° imposé par R110).
- Phase 3 : une fois le réservoir vidangé et refroidi, il ne peut plus éclater. Les sapeurs-pompiers appliquent la doctrine standard : refroidissement à distance à la lance en jet diffusé tant que le déclenchement du thermofusible n'a pas été constaté visuellement, puis extinction rapprochée.

· Fiche SDIS « Véhicules à carburation alternative » ; Guide opérationnel départemental de référence, interventions d'urgence sur véhicules (SDIS 86) ; PNRS/ENSOSP, partage d'expérience SDIS du Nord, feu de bus GNC

2.3 Le point de vigilance réel : la limite du thermofusible unique

La réglementation n'impose pas systématiquement un thermofusible à chaque extrémité du réservoir. Si l'agression thermique se concentre à l'opposé du dispositif fusible, celui-ci peut ne pas se déclencher : le réservoir monte alors en pression sans évacuation contrôlée, avec un risque de rupture brutale (explosion) plutôt

qu'une simple torchère. C'est le scénario que redoutent les SDIS et qui justifie la doctrine de refroidissement à distance systématique tant que le déclenchement n'a pas été observé.

Cas documenté : le 1er août 2005 à Montbéliard, un autobus au GNV a vu l'incendie se propager plus vite que la fusion du thermofusible situé à côté d'un des deux réservoirs, provoquant l'explosion d'une bouteille. Le Bureau d'Enquêtes sur les Accidents de Transport Terrestre (BEA-TT) a documenté cet incident dans son rapport officiel. À l'inverse, d'autres feux de bus GNV survenus la même période (Saarbrücken, etc.) ont vu les thermofusibles jouer pleinement leur rôle et éviter toute explosion.

· BEA-TT, Rapport d'enquête technique sur les incendies d'autobus fonctionnant au GNV (Montbéliard et Nancy, août 2005)

3. Analyse comparative par type de motorisation

Le tableau ci-dessous synthétise les modes de défaillance en incendie des principales motorisations, à des fins de comparaison objective — utile pour répondre aux objections qui isoleraient le bio-CH4 sans le remettre en perspective face aux carburants aujourd'hui en circulation.

Motorisation	Mode de défaillance en feu généralisé	Prévisibilité / dispositif de sécurité	Doctrine d'intervention SDIS
Essence / Diesel	Nappe de carburant enflammée, propagation par ruissellement, pas de mécanisme de sur-pression brutale.	Élevée — comportement bien connu, pas de dispositif de sécurité actif spécifique.	Extinction standard à la mousse ou à l'eau.
GPL	Gaz liquéfié plus lourd que l'air : risque de nappe de gaz au sol avant inflammation ; réservoir équipé de soupape de sécurité, BLEVE possible si soupape défaillante en feu généralisé.	Moyenne — norme R67-01, mais retours d'expérience CTIF signalant des cas d'explosion après incendie.	Refroidissement à distance impératif, périmètre de sécurité élargi.
GNC / bio-CH4 (ÉREV)	Gaz plus léger que l'air, se disperse verticalement. Torchère contrôlée via PRD dans la grande majorité des cas documentés ; risque d'explosion résiduel si le thermofusible n'est pas atteint par le foyer (cas Montbéliard 2005).	Élevée dans la norme (R110, double niveau de sécurité), mais protection non redondante sur toute la surface du réservoir.	Vérifier le déclenchement de la torchère avant approche ; refroidissement à distance sinon ; périmètre ~50 m en milieu urbain dense.
Hydrogène (pile à combustible)	Torchère très rapide et bruyante (vitesse de flamme ~3 m/s contre ~0,44 m/s pour le CH4), mais énergie 3x plus faible à volume égal ; réservoirs non explosés dans les cas documentés (Belfort 2025) — l'incendie s'est propagé par les batteries, pas par l'H2.	Bonne en théorie (R134) mais retour d'expérience encore limité en France ; experts appellent à un renforcement réglementaire.	Éviter l'approche frontale de la torchère, laisser brûler si pas d'enjeu, surveiller les réservoirs.
Batterie lithium-ion (BEV)	Emballage thermique en chaîne (thermal runaway), auto-entretenu sans besoin d'oxygène extérieur ; ré-inflammation possible 2 à 24h après extinction apparente.	Statistiquement plus faible fréquence d'incendie que le thermique, mais gestion de l'incendie nettement plus complexe une fois déclenché.	Noyage prolongé, surveillance thermique (caméra IR) plusieurs heures, immersion possible, gaz toxiques (HF).

· Fiche SDIS véhicules à carburation alternative ; IZI by EDF ; Hexia Sécurité ; CREPIM ; h2-mobile.fr (interview Marc Mouthon, expert gaz, sur l'incendie des bus H2 de Belfort, 2025) ; iuv.sdis86.net

3.1 Données chiffrées disponibles : taux d'incidence par motorisation

Des données statistiques consolidées existent pour comparer la fréquence d'incendie des véhicules électriques (BEV) et thermiques classiques (essence/diesel), issues de plusieurs pays ayant un parc VE suffisamment large pour produire des statistiques robustes. Elles sont rassemblées ci-dessous à titre de référence de méthode, avant d'être mises en regard de ce qui existe (ou n'existe pas) pour le GNC/bio-CH4.

Pays / source	Période / échantillon	Taux BEV	Taux thermique
Suède (autorités nationales)	2022 : 611 000 VE en circulation, 4,4 M véhicules thermiques	23 incendies ($\approx 0,004$ %)	3 400 incendies ($\approx 0,08$ %)
Suède (2018-2022 cumulé)	Cumul sur la période	371 incendies ($\approx 0,01$ % du parc)	≈ 3 400 incendies ($\approx 0,08$ % du parc)
Australie — EV FireSafe	2010-2020, parc mondial suivi	$\approx 0,001$ à $0,0012$ %	$\approx 0,1$ %
Pologne	2020-2025, 51 142 incendies de véhicules recensés	87 incendies VE	50 833 thermiques + 222 hybrides
Norvège	Parc >90 % VE sur les ventes neuves	Risque 4 à 5× plus faible que le thermique	Référence (≈ 1)

· EV FireSafe (Australie) ; autorités suédoises citées par media24.fr et neozone.org ; données Pologne 2020-2025 citées par media24.fr ; retours Norvège citées par fiches-auto.fr

Ces chiffres convergent : sur toutes les sources disponibles, le VE affiche un taux d'incendie inférieur d'un facteur 5 à 80 selon les méthodologies, au thermique classique. C'est un point qu'il serait malhonnête d'ignorer si le programme Résilience venait à comparer défavorablement le BEV à l'ÉREV bio-CH4 sur le seul critère « fréquence d'incendie » — l'avantage du bio-CH4 documenté en section 3 porte sur la prévisibilité et la rapidité de mise en sécurité une fois l'incendie déclaré, pas sur la fréquence de départ de feu.

Absence de statistique équivalente pour le GNC/bio-CH4 en France

Contrairement au BEV, il n'existe pas, à la connaissance de cette note, de statistique française ou européenne centralisée rapportant le nombre d'incendies de véhicules GNC au nombre de véhicules en circulation.

L'Observatoire du (bio)GNV (data.gouv.fr) et l'AFGNV publient des données de parc (39 000 véhicules bioGNV en circulation en France en janvier 2026, dont 25 531 véhicules lourds) mais pas de données de sinistralité incendie consolidées. Les seules sources disponibles sont des retours d'expérience ponctuels (SDIS, BEA-TT, ARIA/BARPI) traitant d'incidents individuels, insuffisants pour calculer un taux.

Conséquence pour le programme : il est possible d'argumenter sur le mode de défaillance du GNC (prévisible, torchère contrôlée) à partir de sources solides, mais il n'est pas possible aujourd'hui d'affirmer avec des chiffres que le GNC brûle « plus ou moins souvent » que l'essence, le diesel ou le BEV. Toute affirmation chiffrée de ce type dans la communication du programme serait actuellement non sourçable et devrait être évitée, ou requalifiée en une demande de données à l'AFGNV / France Assureurs pour, à terme, construire un argumentaire quantifié solide.

· Observatoire du (bio)GNV, data.gouv.fr ; France Mobilité Biogaz, chiffres clés janvier 2026 ; France Assureurs, rapport annuel assurance automobile 2024-2025 (pas de ventilation par motorisation gaz disponible)

3.2 Ce que cette comparaison permet de dire, honnêtement

- Le bio-CH4/GNC n'est ni plus ni moins dangereux « par nature » que les autres énergies embarquées : chaque filière a un mode de défaillance propre, documenté et pris en compte par une doctrine SDIS dédiée.
- Face au BEV, l'avantage du GNC est la prévisibilité et la rapidité de mise en sécurité (torchère de quelques minutes vs surveillance de plusieurs heures pour une batterie).
- Face à l'essence/diesel, le GNC introduit un risque spécifique (surpression) mais retiré par un dispositif actif (PRD) — l'essence n'a pas ce risque mais n'a pas non plus ce filet de sécurité contre la propagation par nappe.
- Le point faible réel et assumé du GNC est la non-redondance du thermofusible sur toute la surface du réservoir — c'est un axe d'amélioration réglementaire identifiable et qu'il est plus solide de reconnaître que de minimiser face à un contradicteur informé.

4. Éléments de réponse aux critiques et objections attendues

Objection 1 : « Un réservoir de gaz sous pression, c'est une bombe. »

Réponse factuelle : la réglementation UN R110 impose des tests de résistance rendant le risque d'explosion « zéro » dans les conditions homologuées (choc, pression normale). En cas d'incendie, le dispositif thermofusible est précisément conçu pour évacuer le gaz avant que la pression ne devienne critique. Le retour d'expérience de plusieurs décennies de flotte GNV (bus urbains notamment) montre que la torchère contrôlée est le scénario très majoritaire, pas l'explosion.

Objection 2 : « Il y a eu des explosions de bus GNV, donc c'est dangereux. »

Réponse honnête : oui, un cas est documenté par le BEA-TT (Montbéliard, 2005), lié à une agression thermique atteignant une zone du réservoir non protégée par le thermofusible faute d'obligation réglementaire de redondance à l'époque. Ce point mérite d'être présenté comme un axe d'évolution réglementaire à porter (redondance des dispositifs thermofusibles), plutôt que d'être nié — c'est un argument plus crédible dans un dossier destiné à des parlementaires ou journalistes techniques.

Objection 3 : « Le bio-CH4 est plus dangereux que le BEV. »

Réponse factuelle : les deux filières ont des profils de risque différents, pas hiérarchisables simplement. Le GNC offre un scénario plus prévisible et une remise en sécurité plus rapide ; le BEV présente une fréquence d'incendie statistiquement plus faible mais une gestion de crise plus complexe (ré-inflammation possible, gaz toxiques, immersion prolongée). Présenter le bio-CH4 comme strictement supérieur ou inférieur au BEV sur ce critère serait une simplification excessive à éviter dans le dossier.

Objection 4 : « Les stations et parkings souterrains interdisent le gaz. »

Réponse factuelle : c'est inexact pour le GNV réglementaire — les véhicules GNV homologués R110 sont autorisés dans les parkings et tunnels au même titre que les véhicules thermiques classiques, précisément en raison du niveau de sécurité intrinsèque validé par cette réglementation.

5. Recommandations pour le programme Résilience

- Intégrer dans la documentation technique V11 une annexe sécurité citant explicitement le cas Montbéliard 2005, pour anticiper toute accusation de biais ou d'angle mort — la transparence sur ce point renforce la crédibilité de l'ensemble du dossier.
- Porter, dans les échanges avec Sénateur Piednoir (déjà engagé sur le volet réglementaire R.446-105), une proposition complémentaire de renforcement de la redondance thermofusible sur les réservoirs GNC, comme axe d'amélioration continue plutôt que faille cachée.

- Pour les 150 sites de pyrogazéification et le parc de véhicules ÉREV visés à 2045, s'appuyer sur le retour d'expérience GNV existant (bus urbains, poids lourds) plutôt que de présenter la technologie comme nouvelle ou non éprouvée — l'argument de maturité industrielle est un atout sous-exploité.
- Prévoir un chiffrage de sinistralité comparé (fréquence d'incendie par motorisation, rapportée au parc en circulation) si des statistiques françaises consolidées deviennent disponibles — les sources actuelles restent parcellaires et à dominante BEV/thermique classique.

6. Sources

- Règlement UNECE R110 et Arrêté du 9 avril 1964 modifié (Légifrance) — cadre réglementaire des réservoirs GNC.
- GRDF, « Tout savoir sur la réglementation GNV, stations et véhicules ».
- Guide pour l'adaptation des ateliers de maintenance des véhicules GNV/BioGNV, AFGNV/Mobiogaz.
- Fiche SDIS « Véhicules à carburation alternative », Version 2 ; Guide opérationnel départemental de référence, interventions d'urgence sur véhicules, SDIS 86.
- PNRS/ENSOSP, partage d'expérience SDIS du Nord, feu de bus roulant au GNC.
- BEA-TT, Rapport d'enquête technique sur les incendies d'autobus fonctionnant au GNV (Montbéliard et Nancy, août 2005).
- Base ARIA (BARPI/ministère de la Transition écologique) — retours d'expérience accidents technologiques, feux de bus GNV.
- Dossier de demande d'autorisation environnementale, Projet GNV du Centre bus de Pantin (RATP), Étude de dangers, DEKRA Industrial, 2023.
- h2-mobile.fr, interview de Marc Mouthon (expert gaz), incendie des bus hydrogène de Belfort, 2025.
- IZI by EDF, Hexia Sécurité, CREPIM, autolyse.fr — synthèses sur l'emballage thermique des batteries lithium-ion et retours d'expérience pompiers.
- gaz-mobilite.fr, « Sécurité : le GNV est-il dangereux ? ».

Document préparé pour le Programme Résilience V11 — à intégrer si utile au corpus technique existant (Resilience_V11_Pyrogazification_Synthese.docx et annexes associées).