

# CAMION RÉSILIENCE 44T — ARCHITECTURE EREV REX UNIQUE

**Bio-LCH4 · 400 kWe Rex unique · Autonomie 1 150–1 300 km**

*Extension de l'architecture Moteur Résilience au poids lourd — Programme Résilience V11*

Note technique — Mai 2026 — Corrections intégrées

---

**POSITIONNEMENT** — Cette note analyse la transposition de l'architecture EREV Rex au transport lourd 44 tonnes longue distance. Elle répond à un besoin réel : décarboner un véhicule qui doit parcourir 1 000–1 200 km sans immobilisation, avec charge utile préservée et coût kilométrique compétitif. Les corrections intègrent les observations de revue externe : autonomie ZEV recalibrée, rendement qualifié comme objectif industriel, prix d'achat repositionné comme cible volume, prix biocarburant décliné en 3 scénarios.

## Partie 1 — Contexte et contraintes du transport lourd

Un camion articulé 44 tonnes circulant à 85–90 km/h pleine charge consomme environ 125–140 kWh/100 km en traction électrique — dix fois la consommation d'une voiture particulière. L'objectif de 1 000–1 200 km d'autonomie totale exige une combinaison batterie tampon (ZEV urban) + range extender biométhane haute capacité.

Le transport lourd longue distance est le domaine où les limites des solutions mono-vecteur apparaissent le plus clairement : le tout-électrique génère des appels de puissance massifs sur le réseau et dégrade la charge utile (–3 t pour 300–500 km d'autonomie) ; l'hydrogène reste coûteux et dépend d'une infrastructure absente. La solution EREV Bio-LCH4 combine chaque vecteur là où il est le meilleur.

### 1.1 Pourquoi le Bio-LCH4 et non le GNV comprimé

Le GNV comprimé à 250 bar nécessiterait 2 700 L de réservoirs pour la même autonomie Rex — physiquement impossible sous châssis 44t. Le Bio-LCH4 à –162°C condense la même énergie dans 900 L (densité 5,86 kWh/L vs 2,64 kWh/L pour le GNV). C'est pourquoi Volvo, Scania et Iveco ont tous choisi le GNL pour leurs camions longue distance — le document ne propose pas une rupture mais l'intégration de cette technologie existante dans l'architecture EREV Rex.

### 1.2 Pourquoi un Rex unique et non deux

Un moteur industriel 15 L GNV à régime constant 1 800 tr/min, sans boîte de vitesses, sans cycles thermiques variables, atteint une durée de vie estimée de 2 millions de kilomètres. Le taux de panne en conditions stationnaires est inférieur à 0,3 % par an. La batterie 200 kWh fournit 110–130 km de dégagement en cas de panne — aucun scénario d'immobilisation brutale. La redondance double Rex ajoute 18 000 € et une complexité thermique non justifiée pour 90 % des usages. Elle reste disponible en option premium pour contrats critiques.

## Partie 2 — Spécifications techniques

| Composant                  | Spécification  | Valeur / Qualification  | Justification   |
|----------------------------|--|---|---|
| <b>GROUPE ÉLECTRIQUE</b>   |  |   |   |
| 2 moteurs él. traction     | 2 × SPMSM 250 kW   | 500 kW pic / 280 kW continu   | Grade 5 % à 80 km/h<br>✓ · Palier 90 km/h pleine charge   |
| <b>BATTERIE TAMPON</b>     |  |   |   |
| Pack LFP sous châssis      | 200 kWh net · 3 000 cycles                                   | Autonomie ZEV ~130–145 km théorique / ~110–130 km réel [hypothèse 130 kWh/100 km + marge 10–15 %]   | ZEV zones portuaires + filée sécurité panne<br>Rex · LFP >80 % à 800 000 km                     |
| <b>REX UNIQUE</b>          |  |   |   |
| Moteur Rex 15 L GNV        | 6 cyl. Miller-Atkinson · EGR 15 % · régime fixe 1 800 tr/min | 400 kWe continu · Rendement 48–52 % (objectif industriel visé — haut de gamme cycle Atkinson régime fixe) [objectif industriel, non acquis]         | Réf. Cummins ISX15N / Volvo D16 / MAN D3876 · Durée de vie >2 M km estimée                      |
| Fréquence générateur       | 1 800 tr/min × générateur 4 pôles = 60 Hz                    | 60 Hz natif — compatible équipements frigo transport et chantier · Convertisseur requis pour bâtiments EU (50 Hz) [⚠ à préciser selon usage]        | Standard 50 Hz EU : Rex à 1 500 tr/min ou convertisseur DC/AC à 50 Hz                           |
| NOx Euro VII               | ≤0,06 g/km   | Conforme Euro VII · EGR + refroidissement admission · Sans SCR/AdBlue   | GNV combustion propre · pas de suies · pas de FAP   |
| <b>RÉSERVOIRS BIO-LCH4</b> |  |   |   |
| 2 réservoirs cryogéniques  | 2 × 450 L — -162°C · 3–5 bar                                 | ~378 kg bio-CH <sub>4</sub> embarqués · Densité énergétique 5,86 kWh/L (vs 2,64 kWh/L GNV 250 bar)  | Choix LCH4 vs GNV : GNV nécessiterait 2 700 L pour même autonomie — impossible sous châssis 44t |
| Gestion boil-off (BOG)     | 0,1–0,3 %/jour · ~0,38–1,13 kg/j sur 378 kg                  | BOG vers Rex en marche (automatique) · Micro-brûleur catalytique à l'arrêt · Vid. vers cuve dépôt si arrêt >5 jours [⚠ Procédure opér. obligatoire] | Standard industrie LNG poids lourd · Volvo/Scania LNG équipés en série                          |

Note sur le rendement Rex 48–52 % (objectif industriel visé) : la valeur cible haute (52 %) correspond aux architectures dédiées à régime fixe sur cycles Miller-Atkinson optimisés. La valeur basse (48 %) est réalisée sur les moteurs industriels GNV actuels à haute cylindrée en configuration stationnaire (Cummins ISX15N, Volvo D16 GNV). Il s'agit d'un objectif industriel réaliste mais non acquis sur un prototype réel à ce jour. [Objectif industriel — à confirmer sur banc d'essai]

Note sur la fréquence 60 Hz à 1 800 tr/min : le générateur 4 pôles produit du 60 Hz natif (standard nord-américain). En Europe, le standard bâtiment est 50 Hz (régime 1 500 tr/min). Le 60 Hz est directement compatible avec les remorques frigorifiques Carrier/Thermo King, les outils de chantier exportés et certains équipements portuaires. Pour alimenter un bâtiment EU, un convertisseur DC/AC 50 Hz est nécessaire (· si l'argument prise de force bâtiment EU est prioritaire, prévoir régime 1 500 tr/min en variante).

## Partie 3 — Calcul d'autonomie

La consommation retenue est 32 kg bio-LCH4 / 100 km en croisière autoroute à 85 km/h — conforme aux données Volvo FH et Scania Super GNL actuels (28–36 kg/100 km selon charge et relief).

| Phase                                    | Source énergie         | Distance              | Conso.                   | Qualification   |
|--|------------------------|-----------------------|--------------------------|---|
| <b>Phase 1 — ZEV urbaine</b>             | Batterie 200 kWh       | <b>~110–145 km</b>    | ~130 kWh/100 km          | Théorique 130–145 km · Réel avec marges opér. 10–15 % : 110–130 km [précision à valider essais]   |
| <b>Phase 2 — Rex croisière autoroute</b> | Bio-LCH4 Rex 400 kWe   | <b>~950 km</b>        | ~32 kg/100 km            | Conforme données Volvo FH / Scania Super GNL (28–36 kg/100 km selon charge et relief) [✓]   |
| <b>Phase 3 — Réserve batterie</b>        | Rex surplus → batterie | <b>~100–150 km</b>    | Énergie récup. descentes | Batterie rechargée par surplus Rex en plat/descente · Buffer sécurité inclus  |
| <b>AUTONOMIE TOTALE</b>                  | Bio-LCH4 + Batterie    | <b>1 150–1 300 km</b> | Scénario conservateur    | Objectif 1 000–1 200 km atteint avec marges · Autonomie ajustée vs v. initiale (ZEV plus conservatrice) [✓] Cohérent données constructeurs] |

Note autonomie ZEV recalibrée vs version initiale : l'autonomie ZEV annoncée initialement à 150 km a été recalibrée. À 130 kWh/100 km de consommation, 200 kWh donnent 154 km théoriques. Avec une marge opérationnelle de 10–15 % (réserve sécurité + dégradation batterie), la valeur réelle est 110–130 km. Ce chiffre reste suffisant pour couvrir les zones à faibles émissions (ZPE portuaires, zones urbaines livraison) et pour assurer la filée de sécurité en cas de panne Rex.

## Partie 4 — Prix du bio-CH<sub>4</sub> — Trois scénarios

Le prix du biométhane liquide est la variable économique la plus sensible. Contrairement au diesel dont le prix est unique à la pompe, le bio-LCH<sub>4</sub> peut être approvisionné à trois niveaux selon l'organisation de la filière. La fourchette est large et l'argument économique dépend fortement du scénario retenu.

| Scénario d'approvisionnement               | Prix estimé [€]             | Coût/100 km         | Conditions / Qualification   |
|--|-----------------------------|---------------------|--|
| Auto-produit (méthaniseur coop. transport) | 0,35–0,50 €/kg              | 11–16 €/100 km      | Coopérative de transporteurs avec méthaniseur mutualisé · Modèle agri-transport · Programme Résilience V11 |
| Coopératif (pool biméthane régional)       | 0,60–0,85 €/kg              | 19–27 €/100 km      | Dépôts régionaux biméthane mutualisés entre transporteurs · Tarif intermédiaire                            |
| Marché (station bio-GNL publique)          | 1,00–1,40 €/kg              | 32–45 €/100 km      | Stations GNL publiques actuelles · Prix comparable GNL fossil. · Avantage fiscal bio certifié RED III      |
| <b>Réf. Diesel (prix marché 2025)</b>      | 1,35 €/L ≈ 3,00 €/kg équiv. | <b>~43 €/100 km</b> | Gasoil professionnel hors TVA recup. · Référence économique  |

Pour un décideur : l'avantage économique du Camion Résilience est certain en scénario auto-produit ou coopératif (11–27 €/100 km vs 43 €/100 km diesel). En scénario marché (station publique), l'avantage s'atténue mais reste positif si le carburant est certifié bio (détaxe partielle RED III). C'est le même raisonnement que pour le tracteur : le véhicule est le plus intéressant quand il est couplé à une filière biméthane intégrée.

## Partie 5 — Robustesse comparée

| Critère                       | Diesel 44t  | BEV 44t               | PHEV 44t             | Camion Résilience  |
|-------------------------------|-------------|-----------------------|----------------------|--|
| Panne moteur / groupe         | Arrêt total | Batterie vide = arrêt | Mode dégradé partiel | Batterie 200 kWh → 110–130 km ZEV · Atteindre le prochain arrêt garanti  |
| Durée de vie moteur thermique | ~1,2 M km   | N/A                   | ~900 000 km          | >2 M km estimé (régime fixe 1 800 tr/min) [  estimation industrielle] |
| Démarrages à froid/an         | ~2 500      | N/A                   | ~1 500               | ~200 (÷12,5 vs diesel)   |
| Maintenance 10 ans            | ~42 000 €   | ~28 000 €             | ~55 000 €            | ~28 000 € (Rex fixe, pas de boîte, pas FAP/AdBlue)   |
| CO <sub>2</sub> usage         | ~700 g/km   | 0 g/km (local)        | ~350 g/km            | 0 g/km · Bio-CH <sub>4</sub> bilan neutre à négatif (avec biochar co-produit)  |
| Note robustesse globale       | 7/10        | 6,5/10                | 6/10                 | 8/10   |

## Partie 6 — Coût total de possession 15 ans / 800 000 km

| Poste 15 ans / 800 000 km  | Diesel 44t       | BEV 44t          | PHEV 44t         | Camion Résilience  |
|----------------------------|------------------|------------------|------------------|--|
| Prix achat                 | 120 000 €        | 280 000 €        | 200 000 €        | ~155–175 000 €<br>[ 🏭 cible après montée en volume]                |
| Carburant / énergie 15 ans | 156 000 €        | 72 000 €         | 110 000 €        | 35–72 000 €<br>(0,45–1,20 €/kg selon scénario approv.) [ 🏭 ]       |
| Maintenance 15 ans         | 63 000 €         | 42 000 €         | 82 000 €         | 42 000 € (Rex régime fixe + pas boîte + pas FAP)                   |
| Remplacement batterie      | 0 €              | 80 000 €         | 35 000 €         | 28 000 € (LFP 3 000 cycles / 10 ans garanti)                       |
| Valeur résiduelle (-)      | -8 000 €         | -15 000 €        | -10 000 €        | -22 000 € (Rex faible usure → meilleure revente)                   |
| <b>COÛT TOTAL NET</b>      | <b>331 000 €</b> | <b>459 000 €</b> | <b>417 000 €</b> | <b>258–295 000 € selon prix carburant</b>                          |
| Économie vs diesel         | Référence        | -128 000 €       | -86 000 €        | +36 000 à +73 000 € (scénario approv. auto-produit à marché) [ 🏭 ] |

Note sur le prix d'achat 155–175 000 € : il s'agit d'une cible industrielle après montée en volume. Un Volvo FH LNG actuel dépasse 175–200 k€. La batterie 200 kWh ajoute ~40–60 k€ vs un camion GNL pur. La simplification Rex unique (vs architectures hybrides complexes) et la suppression de la boîte de vitesses sont les principaux leviers de réduction. Un premier unité prototype serait significativement plus cher — la cible 155–175 k€ est réaliste à partir d'une production de 500+ unités/an.

## Partie 7 — Gestion du boil-off LCH4

Les réservoirs LCH4 à  $-162^{\circ}\text{C}$  génèrent un boil-off (BOG) naturel de 0,1 à 0,3 %/jour. Pour les 900 L embarqués (378 kg), cela représente 0,38 à 1,13 kg/jour de CH<sub>4</sub> évacué si non géré — soit une émission directe de gaz à effet de serre qui annulerait partiellement le bénéfice climatique du biméthane. La gestion est obligatoire.

| Situation                       | Système activé   | Coût                               | Détail  |
|---------------------------------|--|------------------------------------|---|
| Camion en route (Rex en marche) | <b>BOG vers Rex automatiquement · Phase vapeur consommée en priorité</b> | 0 € · Connexion phase gaz standard | Solution naturelle · Standard Volvo FH LNG/Scania LNG · Zéro perte  |
| Arrêts courts (nuit, week-end)  | Micro-brûleur catalytique sans flamme (série)                            | 200–400 € · Standard série         | CH <sub>4</sub> brûlé en CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O · Zéro émission méthane · Aucune pièce mobile |
| Arrêts longs (>5 jours)         | <b>Vidange réservoir vers cuve dépôt LCH4 du transporteur</b>            | 0 € (procédure opérationnelle)     | Procédure standard LNG poids lourd · Cuve dépôt mutualisable entre plusieurs véhicules                    |

## Partie 8 — Tableau de synthèse pour décideurs

Ce tableau répond à la question centrale d'un décideur politique ou logisticien : où se situe le Camion Résilience par rapport aux alternatives sur les critères qui comptent opérationnellement ?

| Solution                               | Autonomie            | Remplissage                  | Charge utile          | Maturité / Risque  |
|--|----------------------|------------------------------|-----------------------|--|
| Diesel 44t                             | Excellente >1 200 km | 3–5 min                      | ~26 t                 | Mature · Dépendance fossile · CO <sub>2</sub> élevé                              |
| BEV 44t                                | Moyenne ~300–500 km  | 45–90 min (recharge rapide)  | ~23 t (-3 t batterie) | Développement · Stress réseau électrique · Charge utile dégradée                 |
| Hydrogène 44t                          | Bonne ~600–800 km    | 5–10 min                     | ~25 t                 | Démonstrateurs · Infrastructure H <sub>2</sub> absente · Coût élevé              |
| Camion Résilience Bio-LCH <sub>4</sub> | 1 150–1 300 km [🌱]   | 5–10 min (LCH <sub>4</sub> ) | ~25 t                 | Développement industriel réaliste · Technos existantes · Prix cible après volume |

Lecture stratégique : le Camion Résilience n'est pas la solution la plus simple (diesel) ni la plus ambitieuse (hydrogène). C'est la solution au meilleur rapport autonomie / temps de remplissage / charge utile / décarbonation. Elle ne nécessite pas d'infrastructure nationale préalable — une coopérative de transporteurs avec méthaniseur partagé peut démarrer indépendamment. C'est exactement la philosophie du Programme Résilience V11 : décarboner par les usages, pas par les infrastructures.

### 8.1 Quatre enseignements structurants

- Le Bio-LCH<sub>4</sub> est la seule solution viable pour 1 000+ km en poids lourd — le GNV comprimé nécessiterait 2 700 L de réservoirs, le tout-électrique dégrade la charge utile de 3 tonnes.
- Le Rex unique est plus fiable que deux Rex redondants : régime fixe 1 800 tr/min, sans boîte, sans cycles thermiques variables = durée de vie >2 M km estimée. La batterie 200 kWh est le filet de sécurité naturel.
- Le régime 1 800 tr/min produit du 60 Hz natif — compatible remorques frigorifiques et chantier. Variante 1 500 tr/min (50 Hz EU) disponible si alimentation bâtiments prioritaire.
- L'architecture EREV démontre que le biméthane peut être une molécule d'infrastructure commune : tracteurs, camions, groupes électrogènes, engins de chantier, backup réseau — tous alimentés par la même filière souveraine.

## Conclusion — Le transport lourd comme révélateur du système énergétique

Le camion 44 tonnes constitue un cas limite. Ses besoins en puissance, en autonomie et en continuité de service rendent inopérantes les approches reposant exclusivement sur l'électrification. Le Camion Résilience démontre qu'il est possible de concilier décarbonation, robustesse et performance économique en répartissant intelligemment les usages : l'électricité là où elle est excellente (ZEV urbain, pics de puissance), le méthane là où le stockage massif est nécessaire (longue distance).

| Dimension                 | Diesel 44t            | Camion Résilience Rex unique                               |
|---------------------------|-----------------------|--|
| Autonomie longue distance | >1 200 km — référence | 1 150–1 300 km [🌱] — objectif atteint                      |
| Charge utile              | ~26 t                 | ~25 t (comparable)   |
| CO <sub>2</sub> usage     | ~700 g/km             | 0 g/km (bio-CH <sub>4</sub> neutre à négatif avec biochar) |

|                          |                           |  |
|--------------------------|---------------------------|--|
| Coût énergétique/100 km  | ~43 €/100 km              | 11–45 €/100 km selon approv. (auto-produit à marché) [ 🇫🇷 ]                            |
| Souveraineté énergétique | Dépendance fossile totale | Bio-CH <sub>4</sub> 100 % national · Non embargable · Filière Programme Résilience V11 |

Message aux décideurs : la question n'est pas de savoir si le biométhane peut remplacer le diesel dans les camions — il peut. La question est de décider si la France veut construire une filière souveraine (150 sites + coopératives transport) ou continuer d'importer des fossiles. Le Camion Résilience est l'argument concret de cette décision.

## Sources et références

Programme Résilience V11 (mai 2026) · Volvo FH LNG / Scania Super LNG — données consommation constructeur · Cummins ISX15N GNV · MAN D3876 · Volvo D16 GNV — moteurs gaz industriels · CATL/BYD — packs LFP 200 kWh · Siemens/Bosch/ZF — moteurs électriques 250 kW · Directive RED III (UE) 2023/2413 · ADEME — biométhane coûts production · Chambre Nationale des Transporteurs Routiers · IRU (International Road Transport Union) — étude décarbonation PL 2024

Camion Résilience 44t EREV Rex unique — Programme Résilience V11 — Mai 2026